

**Fuad İslamzadə
Arif Əfəndiyev
Faiq İslamzadə**

İNSAN BİOKİMYASININ ƏSASLARI

Tibb Universiteti üçün dərslik
(Yenidən işlənmiş və təkmilləşdirilmiş dördüncü nəşri)

I cild
(2 cildə)

**Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirinin
20 noyabr 2001-ci il tarixli 1/29 №-li əmri ilə
dərslik kimi təsdiq edilmişdir**

Bakı – “Müəllim” nəşriyyatı – 2015

Rəyçilər:

AMEA-nın müxbir üzvü, tibb elmləri doktoru, prof. F.İ.Cəfərov
Tibb elmləri doktoru, prof. S.Ə.Cavadov

Elmi redaktoru:

Fuad İslamzadə

F.İ.İslamzadə, A.M.Əfəndiyev, F.Q.İslamzadə.

İNSAN BİOKİMYASININ ƏSASLARI: 2 cildə, I cild, (IV nəşr). Bakı: “Müəllim” nəşriyyatı, 2015. - 548 səh., şəkilli (Ali məktəblər üçün dərsliklər və dərs vəsaitləri seriyasından).

Kitab Azərbaycan Tibb Universitetinin tədris proqramı əsasında yazılmış dərsliyin I cildinin IV nəşridir. İlk nəşrlərdən fərqli olaraq, dərsliyin 4-cü nəşri çapa 2-cildlik şəkildə hazırlanmışdır. Burada “Bioloji kimya” elminin inkişaf tarixi və statik bioloji kimyaya (orqanizmin kimyəvi tərkibi; zülalların, karbohidratların və lipidlərin kimyası), həmçinin həyat üçün vacib olan bioloji aktiv maddələrin əsas qruplarına – vitaminlərə, fermentlərə və hormanlara dair məlumat verilir. Bioloji aktiv maddələrin adı çəkilən növlərinin kimyəvi xassələri, orqanizmdə baş verən fizioloji və biokimyəvi proseslərə təsiri haqqında tədris proqramının tələbatına müvafiq şəkildə məlumat verilir; dərslikdə həm də bəzi fizioloji aktiv maddələrin sintezinin və sekresiyasının pozulması ilə əlaqədar olan patoloji proseslərə də müəyyən yer ayrılmışdır. Kitabın IV nəşrində əvvəlki nəşrlərdə nəzərə çarpan texniki qüsurlar aradan qaldırılmış bir sıra əlavələr və yeniləşdirmələr aparılmış, həmçinin mətn yenidən redaktura edilmişdir.

Kitabdan tibb universitetinin tələbələrindən əlavə, digər ali məktəblərin tibb və biologiya fakültələrinin tələbələri, həkimlər və elmi işçilər istifadə edə bilərlər.

ISBN 978-9952-435-60-3

© F.İ.İslamzadə, A.M.Əfəndiyev, F.Q.İslamzadə, 2015

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	8
Bioloji kimya fənni	8
Biokimyəvi tədqiqatın əsas prinsipləri	10
Bioloji kimyanın inkişaf tarixi haqqında qısa məlumat	13
Azərbaycanda bioloji kimyanın inkişafı	16
BİRİNCİ HISSƏ. STATİK BİOKİMYA	19
<i>I fəsil.</i> ORQANİZMİN KİMYƏVİ TƏRKİBİ HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT	20
<i>II fəsil.</i> KARBOHİDRATLAR	23
2.1. Karbohidratlar haqqında ümumi məlumat, onların bioloji əhəmiyyəti və təsnifatı	23
2.2. Monosaxaridlər: nomenklaturası, təsnifatı, əsas növlərinin xarakteristikası	25
2.2.1. Monosaxaridlərin fiziki və kimyəvi xassələri	35
2.2.2. Monosaxaridlərin kimyəvi törəmələri	40
2.3. Oliqosaxaridlər	44
2.4. Polisaxaridlər	48
2.4.1. Homopolisaxaridlər (qlikanlar)	50
2.4.2. Heteropolisaxaridlər (qlikozaminqlikanlar)	57
<i>III fəsil.</i> LİPİDLƏR	63
3.1. Lipidlərin ümumi xarakteristikası və təsnifatı	63
3.2. Lipid monomerləri və təkkomponentli lipidlər	66
3.2.1. Sterinlər	74
3.3. Sadə lipidlər	76
3.3.1. Yağlar və piylər	77
3.3.2. Mumlar	81
3.3.3. Steridlər	82
3.4. Mürəkkəb lipidlər	82
3.4.1. Fosfolipidlər	82
3.4.1.1. Qliserofosfolipidlər	83
3.4.2. Sfinqofosfolipidlər	88
3.4.3. Qlikosfinqolipidlər	90
<i>IV fəsil.</i> ZÜLALLARIN KİMYASI	92
4.1. Zülallar haqqında ümumi məlumat	92
4.2. Orqanizmdə və müxtəlif toxumalarda zülalların miqdarı	95
4.3. Zülalların ümumi xarakteristikası	97
4.4. Zülalların toxumalardan ayrılması və digər qarışıqlardan təmizlənməsi	99
4.4.1. Bioloji materialın homogenizasiyası	100
4.4.2. Zülalların ekstraksiyası	100
4.4.3. Zülalların fraksiyalaşdırılması və təmizlənməsi	101
4.4.3.1. Zülalların duz məhlulları vasitəsilə fraksiyalaşdırılması (duzlaşdırılma)	102
4.4.3.2. Zülal məhlullarının xırdamolekullu qarışıqlardan təmizlənməsi..	103
4.4.3.3. Xromatoqrafiya	104
4.4.3.4. Elektroforez	109

4.4.4. Zülalların homogenliyinin təyin edilməsi	111
4.5. Aminturşular	113
4.5.1. Proteinogen aminturşuların ümumi xarakteristikası	118
4.5.2. Zülal törətməyən (qeyri-proteinogen) aminturşular	121
4.5.3. Aminturşuların fiziki-kimyəvi xassələri	123
4.5.4. Aminturşuların ümumi kimyəvi xassələri	127
4.6. Zülalların molekul strukturu və onun tədqiq edilməsi	133
4.6.1. Zülal molekulunda aminturşular arasındakı rabitələrin növləri	133
4.6.2. Zülal molekulunda aminturşuların ardıcılığı və onun təyini	137
4.6.3. Zülalların quruluşu haqqında müasir təsəvvürlər	146
4.6.4. Bəzi fibrilliyar zülalların strukturunun əsas xüsusiyyətləri	153
4.7. Zülalların fiziki-kimyəvi xassələri	156
4.7.1. Zülal molekulalarının formaları	156
4.7.2. Zülalların molekul kütləsi	156
4.7.3. Zülalların həllolma qabiliyyəti	158
4.7.4. Zülalların optik xassələri	160
4.7.5. Zülalların amfoterliyi və izoelektrik nöqtəsi	161
4.7.6. Zülalların denaturasiyası və renativasiyası	162
4.7.7. Zülalların rəngdəyişmə və çökdürmə reaksiyaları	164
4.8. Zülalların təsnifat	165
4.9. Təbii peptidlər	168
4.10. Sadə zülallar (proteinlər)	171
4.11. Mürəkkəb zülallar	174
4.11.1. Metallı proteinlər	174
4.11.2. Fosfoproteinlər	176
4.11.3. Qlikoproteinlər	177
4.11.4. Lipoproteinlər və proteolipidlər	181
4.11.5. Xromoproteinlər	184
4.11.5.1. Hemproteinlər	185
4.11.5.2. Flavoproteinlər	195
4.11.6. Nukleoproteinlər	196
<i>V fəsil.</i> NUKLEİN TURŞULARININ KİMYASI	197
5.1. Nuklein turşularının ümumi xarakteristikası və onların öyrənilməsinin tarixi haqqında qısa məlumat	197
5.2. Nuklein turşularının kimyəvi tərkibi	198
5.2.1. Nukleozidlər və nukleotidlər	203
5.3. Nuklein turşularının quruluşu və struktur mütəşəkkilliyinin səviyyələri	208
5.3.1. Nuklein turşularının birincili strukturu	208
5.3.2. Dezoksiribonuklein turşusunun ikincili və üçüncülü strukturu	209
5.3.3. Ribonuklein turşusunun strukturunun əsas xüsusiyyətləri	214
<i>İKİNCİ HİSSƏ. TƏBİİ BİOLOJİ AKTİV MADDƏLƏR</i>	219
Bioloji aktiv maddələr haqqında ümumi məlumat	220
<i>I fəsil.</i> VİTAMİNLƏR	221
1.1. Vitaminlər haqqında ümumi məlumat	221
1.2. Vitaminlərin nomenklaturası və təsnifatı	222
1.3. Vitamin balansının pozulmaları haqqında ümumi məlumat	228

1.4. Vitaminlərin təyinedilmə üsulları	230
1.5. Yağda həll olan vitaminlər	230
1.5.1. A vitamini (antikseroftalmiya vitamini, retinol)	231
1.5.2. D vitamini (kalsiferol, antiraxit vitamini)	237
1.5.3. E vitamini (antisterillik vitamini, tokoferol)	242
1.5.4. K vitamini (antihemorragiya vitamini, naftoxinonlar)	246
1.6. Suda həll olan vitaminlər	250
1.6.1. B ₁ vitamini (tiamin, aneyrin, antinevrit amili)	251
1.6.2. B ₂ vitamini (riboflavin)	255
1.6.3. Pantoten turşusu (B ₃ vitamini)	259
1.6.4. Nikotin turşusu (PP vitamini, B ₅ vitamini, antipellaqra vitamini, niasin)	260
1.6.5. B ₆ vitamini (piridoksin, antidermatit vitamini, adermin)	265
1.6.6. Fol turşusu (folasin, Bc vitamini)	269
1.6.7. B ₁₂ vitamini (kobalamin, antianemiya vitamini)	274
1.6.8. Biotin (H vitamini)	280
1.6.9. C vitamini (askorbin turşusu, antiskorbut vitamini)	285
1.7. Vitaminəbənzər maddələr	290
1.7.1. P vitamini (keçiricilik vitamini, bioflavonoidlər)	290
1.7.2. İnozit (mioinozit, B ₈ vitamini)	292
1.7.3. Lipoy turşusu	294
1.7.4. Orot turşusu (B ₁₃ vitamini)	295
1.7.5. Panqam turşusu (B ₁₅ vitamini)	296
1.7.6. Karnitin (B _T vitamini)	297
1.7.7. Paraaminbenzoy turşusu	298
1.7.8. U vitamini (S-metilmetionin)	300
1.7.9. Xolin (B ₄ vitamini)	301
1.7.10. Ubixinon (Q koenzimi)	302
1.7.11. F vitamini	304
1.8. Vitaminlərin təbabətdə tətbiqi	306
1.9. Antivitaminlər	308
II fəsil. FERMENTLƏR	311
2.1. Enzimologiyanın inkişaf tarixi haqqında qısa məlumat	311
2.2. Fermentlərin ümumi xarakteristikası	314
2.2.1. Fermentlərlə qeyri-üzvi katalizatorların oxşarlıq və fərqləri	314
2.2.2. Fermentlərin kimyəvi təbiəti	315
2.2.3. Fermentlərin aktiv mərkəzi	317
2.2.4. Kofermentlər və prostetik qruplar	319
2.2.4.1. Vitamin kofermentləri	321
2.2.4.2. Tərkibində vitamin olmayan kofermentlər	328
2.2.4.3. Metal ionlarından ibarət olan prostetik qruplar və metallı fermentlər	331
2.2.5. Profermentlər (zimogenlər)	333
2.2.6. Fermentlərin müxtəlif molekulyar formaları və izofermentlər	335
2.2.7. Poliferment sistemləri	339
2.2.8. Fermentlərin hüceyrə orqanoidlərində, orqan və toxumalarda lokalizasiyanın xüsusiyyətləri	341
2.3. Fermentlərin nomenklaturası və təsnifatı	342
2.3.1. Fermentlərin siyahısı	346
2.4. Fermentlərin təsir mexanizmi	347

2.5. Fermentlərin əsas xassələri	353
2.6. Fermentativ reaksiyaların kinetikasi	358
2.6.1. Fermentlərin aktivliyinin təyin edilməsi	358
2.6.2. Fermentativ reaksiyaların sürəti və onların substratın qatılığında asılılığı	358
2.6.3. Reaksiya sürətinin fermentin qatılığında asılılığı	362
2.7. Fermentlərin aktivatorları və inhibitorları	363
2.7.1. Fermentlərin aktivatorları	363
2.7.2. Fermentlərin inhibitorları	365
2.8. Maddələr mübadiləsinin tənzimində fermentlərin sintezinin və fəallığının əhəmiyyəti	370
2.8.1. Fermentin miqdarının dəyişməsi	370
2.8.2. Substrat və fermentin miqdarca nisibətinin bioloji membranlar vasitəsilə idarə edilməsi	372
2.8.3. Fermentlərin fəallığının tənzimi	373
2.9. Fermentlərin sənayedə, kənd təsərrüfatında və təbabətdə tətbiqi	378
2.9.1. Fermentlərin tətbiqinin əsas istiqamətləri	378
2.9.2. Tibbi enzimologiya	379
III FƏSİL. HORMONLAR	388
3.1. Hormonlar haqqında ümumi məlumat	388
3.2. Hormonların nomenklaturası və təsnifatı	393
3.3. Hormonların sintezinin və sekresiyasının tənzimlənmə mexanizmləri	395
3.3.1. Endokrin vəzilərin funksiyaları arasında qarşılıqlı əlaqələr və onların bir-birinə təsiri	398
3.4. Hormonların ümumi xassələri və hormonal təsirin biokimyəvi mexanizmləri	399
3.4.1. Hormonların reseptorları	400
3.4.2. Hormonların təsir mexanizmi	401
3.4.2.1. Adenilat-tsiklaza sistemi	402
3.4.2.2. Qvanilat-tsiklaza sistemi	405
3.4.2.3. İkincili vasitəçisi Ca^{2+} ionları olan hormonlar	408
3.4.2.4. Reseptorları hüceyrədaxili mühitdə olan hormonların təsir mexanizmi	412
3.5. Hormonların sintezi və sekresiyası	413
3.6. Hormonların orqanizmdə sirkulyasiyası, metabolizmi və ekskresiyası	415
3.7. Endokrin sistemin fəaliyyətinin pozulmaları, onların səbəbləri və inkişaf mexanizmi	417
3.8. Hipotalamusun fizioloji aktiv maddələri	422
3.8.1. Hipotalamusun hormonları	422
3.8.2. Hipotalamusun neyrotransmitterləri	427
3.8.3. Hipotalamusun endokrin funksiyasının pozulmaları	428
3.9. Hipofizin endokrin funksiyası	429
3.9.1. Adenohipofizin hormonları	429
3.9.2. Neyrohipofiz hormonları	438
3.9.3. Hipofizin endokrin fəaliyyətinin pozulması ilə əlaqədar olan xəstəlik və patoloji proseslərin əsas formaları	441
3.10. Epifizin endokrin funksiyası	447
3.11. Timus vəzinin endokrin funksiyası	450

3.12. Qalxanabənzər vəzinin endokrin funksiyası	452
3.12.1. Tiroid hormonlar	452
3.12.2. Kalsitonin	459
3.12.3. Tiroid hormonlarının sekresiyasının pozulmaları	461
3.13. Qalxanabənzərətrafi vəzinin endokrin funksiyası	463
3.14. Mədəaltı vəzinin endokrin funksiyası	468
3.14.1. İnsulin	468
3.14.1.1. İnsulin sekresiyasının və bioloji təsirinin pozulmaları	474
3.14.2. Qlükaqon	478
3.14.3. Somatostatin və pankreas polipeptidi	480
3.15. Böyrəküstü vəzinin endokrin funksiyası	482
3.15.1. Böyrəküstü vəzinin beyin maddəsinin hormonları	482
3.15.2. Böyrəküstü vəzinin qabıq maddəsinin hormonları	491
3.15.3. Kortikosteroid sekresiyasının pozulması ilə əlaqədar olan xəstəlik və sindromlar	502
3.16. Cinsiyyət vəzilərinin endokrin funksiyası	510
3.16.1. Kişi cinsiyyət hormonları (androjenlər)	511
3.16.2. Qadın cinsiyyət hormonları	514
3.16.3. Kişi cinsiyyət vəzilərinin endokrin funksiyasının pozulmaları	520
3.16.4. Qadın cinsiyyət vəzilərinin endokrin funksiyasının pozulmaları...	521
3.17. Hormon preparatlarının hazırlanması	522
3.18. Hormonların təbabətdə tətbiqi	526
 <i>IV fəsil. ENDOGEN BİOLOJİ AKTİV MADDƏLƏRİN BAŞQA NÖVLƏRİ</i>	
4.1. Həzm sisteminin hormonabənzər maddələri	529
4.2. Eykozanoidlər	531
4.3. Sitokinlər	540

GİRİŞ

BİOLOJİ KİMYA FƏNNİ

Bioloji kimya (biokimya) – canlı orqanizmlərin tərkibinə daxil olan maddələrin kimyəvi təbiətini, bu maddələrin kimyəvi çevrilmələrini və həmin çevrilmələrin orqan və toxumaların fəaliyyəti ilə əlaqəsini öyrənən elmdir. Orqanizm daxilindəki kimyəvi çevrilmələrin məcmusu həyatın əsası olan maddələr mübadiləsini təşkil edir.

Adından məlum olduğu kimi, bioloji kimya elmi bir tərəfdən biologiya, digər tərəfdən isə kimya ilə sıx əlaqədədir. Bu elm sahəsi canlı orqanizmin həyat fəaliyyətini öyrəndiyinə görə, bioloji elmlər sırasına daxildir. Eyni zamanda, bioloji kimya canlıların həyat fəaliyyətini öyrənmək məqsədilə fiziki-kimyəvi və kimyəvi üsullardan, kimya elminin nəzəriyyə, praktika və metodlarından istifadə edir.

Bioloji kimya tarixi inkişaf baxımından üzvi kimya elmi ilə xüsusən sıx əlaqədə olmuşdur. Çünki məhz üzvi kimya elminin inkişafı sayəsində canlı aləmin kimyəvi tərkibinin öyrənilməsinə başlanılmış, bu isə sonralar maddələr mübadiləsinin öyrənilməsi üçün elmi zəmin yaratmışdır. Orqanizm daxilində baş verən kimyəvi proseslər fizioloji proseslərin əsasını təşkil etdiyinə görə, əvvəllər bioloji kimyaya fiziologiya elminin kimya bölməsi kimi baxılırdı. Buna görə XX əsrin əvvəllərində “bioloji kimya” termininin sinonimi kimi “fizioloji kimya” terminindən də istifadə edilirdi.

Qeyd etmək lazımdır ki, bir-birinə yaxın olan iki elmin qovuşduğu sahədə yaranan bioloji kimyaya kimya və fiziologiyanın mexaniki birləşməsi kimi baxmaq olmaz. Bu elm sahəsi metodoloji baxımdan üzvi və fiziki kimya ilə nə qədər əlaqədar olsa da, məqsəd və vəzifələrinə görə onlardan əsaslı surətdə fərqlənir. Üzvi kimya ilk növbədə kimyəvi birləşmələrin quruluşunu və xassələrini öyrənir. Məsələn, kimyəvi və fiziki-kimyəvi üsullardan (struktur və stereokimyəvi analiz, molekulların elektron orbitlərinin tədqiqi, kimyəvi analogların sintezi və müqayisəsi və s.) istifadə edilməklə, kimyəvi birləşmələrin molekul strukturu, elektron quruluşu, molekul daxili rabitələrinin növləri, izomer formaları, konformasiyaları və digər xassələri öyrənilir. Bunlardan fərqli olaraq, bioloji kimya elmi ilk növbədə orqanizmin daxilində kimyəvi maddələrin və fiziki-kimyəvi proseslərin funksional (bioloji) əhəmiyyətini və müxtəlif xəstəliklər zamanı bu proseslərdə baş verən pozulmaları öyrənir.

Beləliklə, bioloji kimya elminin məqsəd və vəzifələrinə aşağıdakılar daxildir:

1. Canlı orqanizmin hansı kimyəvi birləşmələrdən ibarət olduğunu aydınlaşdırılması və bioloji obyektlərə daxil olan irimolekullu birləşmələrin quruluşunun öyrənilməsi;
2. Fermentlərin katalitik funksiyalarının mexanizminin öyrənilməsi;
3. İnsanın və digər canlıların normal qidalanması üçün vacib olan maddələrin növlərinin və miqdarca nisbətinin öyrənilməsi;
4. Qida maddələrindən canlı hüceyrələrin tərkib hissəsini təşkil edən maddə-

- lərin əmələ gəlməsinin əsasını təşkil edən kimyəvi proseslərin mexanizminin tədqiqi;
5. Maddələrin orqanizm daxilində oksidləşməsi nəticəsində yaranan enerjinin hüceyrələrdə baş verən müxtəlif proseslərə hansı mexanizmlər vasitəsilə sərf edildiyinin öyrənilməsi;
 6. Canlı hüceyrənin strukturunun öyrənilməsi və burada baş verən kimyəvi proseslərin hüceyrə orqanoidlərinin funksiyaları ilə əlaqəsinin aydınlaşdırılması;
 7. Hüceyrələrin böyümə və çoxalma proseslərinin burada baş verən kimyəvi reaksiyalarla əlaqəsinin aşkar edilməsi;
 8. Orqanizmin daxili maye mühitinin hüceyrələrin normal fəaliyyətini təmin edə biləcək səviyyədə (sabit) saxlanılmasının mexanizmlərinin aydınlaşdırılması;
 9. İrsi məlumatın hüceyrə nüvəsində (xromosomlarda) mühafizə edilməsinin, nəsildən-nəslə (cinsiyyət hüceyrələri vasitəsilə) verilməsinin və somatik hüceyrələrin bölünməsi zamanı eyni xassələrin yeni yaranan hüceyrələrə ötürülməsinin hansı mexanizmlər vasitəsilə həyata keçdiyinin öyrənilməsi;
 10. Orqanizmə daxil olan yad cisimciklərə (xüsusən mikroorqanizmlərə) qarşı verilən mühafizə reaksiyalarının (immun reaksiyalar) kimyəvi mexanizmlərinin aydınlaşdırılması;
 11. Müxtəlif xəstəliklər zamanı orqanizmdə törənən biokimyəvi dəyişikliklərin aşkar edilməsi və onlardan xəstələrə diaqnoz qoymaq, həmçinin müalicənin gedişinə nəzarət məqsədilə istifadə edilməsi.

Müasir bioloji kimya 3 əsas bölmədən ibarətdir:

1. **Statik bioloji kimya** – orqanizmin kimyəvi tərkibini öyrənir; canlı orqanizmin tərkibinə daxil olan maddələrin strukturunun və bu maddələrin hansı canlı növündə hansı miqdar nisbətində olduğunun öyrənilməsi statik bioloji kimyanın vəzifələrinə aiddir;
2. **Dinamik bioloji kimya** – orqanizmin toxumalarında baş verən kimyəvi çevrilmələri, bunlarla əlaqədar olan enerji mübadiləsini və hüceyrələrdə əmələ gələn enerjinin sərfedilmə yollarını öyrənir;
3. **Funksional bioloji kimya** – kimyəvi birləşmələrin strukturunu və mübadilə prosesi zamanı onlarda törənən dəyişiklərlə toxuma və hüceyrələr arasındakı əlaqələri öyrənir.

Müxtəlif canlıların biokimyəvi xüsusiyyətləri bir-birinə oxşar olsa da, onlar arasında müəyyən fərqlər də vardır. Buna görə, müasir bioloji kimya tədqiqat obyektinin növündən asılı olaraq, müxtəlif elm sahələrinə ayrılmışdır. Bunlara *ümumi bioloji kimya*, *insan və heyvan biokimyəsi*, *bitki biokimyəsi*, *mikroorqanizmlərin biokimyəsi* və b. aiddir. İnsan biokimyəsinin tibb elminə inteqrasiyası sayəsində bu elmin böyük perspektivlərə malik olan bir sahəsi – **klirik biokimya** geniş inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuşdur.

Müasir bioloji kimya nəzəri təbabətin əsasıdır. Bu elmin patoloji proseslər zamanı orqanizmdə baş verən biokimyəvi prosesləri öyrənən sahəsi olan klinik biokimya nəzəri təbabətin mühüm tərkib hissəsini təşkil edir və klinik təbabətin

inkışafına böyük yardım göstərir. Məhz klinik biokimyayın inkışafı xəstəliklərin inkışaf mexanizminin aydınlaşdırılması, diaqnostikası və müalicə prosesinin gedişinə nəzarət edilməsi sahəsində mühüm nailiyyətlər əldə etməyə imkan yaratmışdır. Klinik biokimya üzrə biliklər xəstəliklərin patogenezi müəyyənləşdirməyə, düzgün diaqnoz qoymağa, mümkün olan ağırlaşmaların qarşısını almağa, müalicə taktikası seçməyə və proqnozun müəyyənləşdirilməsinə böyük yardım göstərir. Aydın ki, ümumi biokimya və sağlam orqanizmin biokimyəvi göstəriciləri haqqında aydın təsəvvürə malik olmadan xəstəlik və patoloji proseslər zamanı törənən biokimyəvi dəyişiklikləri düzgün qiymətləndirmək mümkün deyil.

Biokimyayın həyati prosesləri bioloji makromolekullar (zülallar, nuklein turşuları) səviyyəsində öyrənilən sahəsinə *molekulyar biologiya* adı verilmişdir. Son illərdə klinik biokimyada xəstəliklərin əksəriyyətinin molekulyar əsası olduğunu sübut edən və patoloji prosesləri molekulyar səviyyədə tədqiq edən yeni istiqamət – *molekulyar patologiya* – meydana çıxmışdır. Xəstəliklərin molekulyar əsaslarının tədqiq edilməsi çox vaxt onların səbəblərini aydınlaşdırmağa, inkışaf mexanizmini dərk etməyə imkan verir. Məhz bu tədqiqatlar sayəsində bir sıra irsi mübadilə pozulmalarının mahiyyəti aydınlaşdırılmışdır.

Fiziologiya, əmək gigiyenası, immunologiya və b. sahələrdə olan bir sıra elmi problemlərin həllində də bioloji kimyanın mühüm rolu vardır. Bundan əlavə, müxtəlif mənşəli zəhərli maddələrin və hipoksiyanın orqanizmə təsirinin müəyyənləşdirilməsində biokimyəvi biliklərin rolu çox böyükdür.

Biokimyəvi tədqiqatın əsas prinsipləri

Bioloji kimya üzrə tədqiqatlar canlı orqanizmdən alınmış material üzərində aparılır. Bioloji materialın kimyəvi tərkibini, fiziki-kimyəvi xassələrini, burada baş verən mübadilə proseslərinin gedişini öyrənmək üçün müxtəlif fiziki, fiziki-kimyəvi (o cümlədən, radioaktiv izotoplarla nişanlanmış atomlar vasitəsilə) və kimyəvi analiz üsullarından, bəzi irimolekullu birləşmələrin analizi zamanı isə onların elektron strukturunun öyrənilməsi məqsədilə kvant mexanikası hesablamalarından, rentgenostruktur analiz, spektrometriya, nüvə-magnit rezonansı, spektroskopiya və b. kimi mürəkkəb analitik metodlardan istifadə edilir.

Bioloji kimya elmi bioloji birləşmələrin strukturunun, hüceyrədaxili mühitdəki çevrilmələrinin və funksiyalarının öyrənilməsi üçün istifadə edilən kimyəvi, fiziki-kimyəvi, riyazi və fizioloji üsullardan əlavə, özünəməxsus analitik metodlara da malikdir. Bunlara fermentativ analiz üsullarını misal göstərmək olar. Bu üsuldən bioloji kimyadan başqa, praktik təbabətdə, əczaçılıq və yeyinti sənayesində, həmçinin xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində geniş surətdə istifadə edilir.

Biokimyəvi tədqiqatın metodologiyası çox mühüm və səciyyəvi xüsusiyyətlərə malikdir. Bu tədqiqatın əsas prinsiplərini 2 mühüm amil müəyyən edir: 1) tədqiqat aparılan bioloji material; 2) eksperimental tədqiqatın aparılma texnikası.

Biokimyəvi eksperimentlər fiziologiyada olduğu kimi, həm tam orqanizm səviyyəsində, həm də orqanizmdən təcrid edilmiş orqan və ya toxuma üzərində aparıla bilər. Bununla birlikdə, biokimyəvi təcrübələri orqan, toxuma və hüceyrə preparatları, həmçinin maya göbələkcikləri, bakteriyalar və viruslar üzərində aparmaq olar.

Biokimyəvi eksperiment canlı orqanizm üzərində aparıldığına görə, tədqiqat üçün hər hansı bioloji material götürülərkən, orqanizmə zərər vurmamaq məqsədilə maksimal surətdə əsirgəyici üsullardan istifadə edilir, bəzən isə bioloji molekulları fiziki-kimyəvi analiz üsulları vasitəsilə tədqiq etmək üçün bir sıra əlavə hazırlıq tədbirləri görülür. Doğrudur, eksperimental tədqiqat zamanı bir sıra hallarda bioloji material təcrübə aparılan heyvan öldürüldükdən sonra da götürülə bilər. Lakin belə hallarda heyvanı öldürmək və bioloji material götürmək üçün ciddi müəyyənləşdirilmiş üsullardan istifadə edilir ki, öyrənilən biokimyəvi göstəricilər əlavə təsirlər nəticəsində dəyişikliyə uğramasın.

Biokimyəvi tədqiqat məqsədilə orqanizmin bioloji mayələrindən (qan, limfa, hüceyrəarası maye, sidik və s.), bütöv orqanizmdən, təcrid edilmiş orqan və toxumalardan, toxuma kəsiklərindən, orqanların homogenatlarından, ekstraktından, hüceyrə orqanoidlərindən, maya göbələkciklərindən, bakteriyalardan və digər bioloji materialdan istifadə edilir.

Bütöv heyvan orqanizmləri üzərində aparılan biokimyəvi tədqiqatlardan bioloji kimyanın inkişafının erkən mərhələlərində nisbətən geniş istifadə edilirdi. Belə tədqiqatlar müxtəlif qida amillərinin orqanizm üçün əhəmiyyətinin aydınlaşdırılmasında böyük əhəmiyyətə malik olmuşdur. Bu üsulla qidalanmanın xarakterini (qidanın tərkibini) dəyişməklə aparılan təcrübələr əvəzədməz qida amilləri haqqında mülahizələrin meydana çıxmasına səbəb olmuş, vitaminlərin və bir sıra aminturşuların bioloji əhəmiyyəti aşkara çıxarılmışdır. “Əvəzədməz qida amilləri”⁴ adı altında elə birləşmələr nəzərdə tutulur ki, onlar maddələr mübadiləsinin, inkişaf və çoxalma proseslərinin tənzimində müəyyən əhəmiyyətə malik olduqları halda, orqanizmdə sintez edilmir və yalnız qidanın tərkibindən mənimsənilir. Vitaminlər və aminturşuların bir qrupu məhz belə amillərə aiddir.

Təcrid edilmiş orqanlar üzərində aparılan təcrübələrin biokimyanın inkişafında böyük rolu olmuşdur. Bu məqsədlə orqanizmdən ayrılan bu və ya digər orqan (məsələn, qaraciyər) xüsusi qidalı mühitdə saxlanılır və onun damarlarından fasiləsiz surətdə müəyyən maye (qan, plazma, süni məhlullar) keçirilir (bu prosesə *perfuziya* deyilir). Perfuziya edilən mayeyə tədqiq ediləcək maddə əlavə etməklə, bu maddənin tədqiqat aparılan orqanda hansı dəyişikliyə uğradığı müəyyənləşdirilir.

Tədqiqat üçün *toxuma kəsikləri* elə hazırlanmalıdır ki, onların qalınlığı ən minimal səviyyədə olsun. Bu məqsədlə xüsusi ultramikrotomlar vasitəsilə qalınlığı hətta bir hüceyrənin ölçülərindən artıq olmayan kəsiklər hazırlanır və tərkibinə görə orqanizmin daxili mühitinin mayələrinə yaxın olan maye mühitdə saxlanılır. Bu mayeyə biokimyəvi çevrilmələrinin öyrənilməsi planlaşdırılan maddə əlavə edilir və müəyyən müddət bədən temperaturuna müvafiq şəraitdə saxlanılır (buna *inkubasiya* deyilir). Bu şəraitdə aparılan histokimyəvi tədqiqatın maddələr mübadiləsinin bir sıra mərhələlərinin öyrənilməsində

böyük əhəmiyyəti olmuşdur.

Hüceyrədaxili mayenin və hüceyrə orqanoidlərinin tərkibinin biokimyəvi analizi zamanı xüsusi hazırlıq tədbirləri tələb olunur. Çünki, hüceyrələr və hüceyrə orqanoidləri membran vasitəsilə əhatə edildiyindən, onların daxili mühitindəki maddələr analiz üçün qabaqcadan azad edilməlidir. Hüceyrə membranları müxtəlif kimyəvi birləşmələri müxtəlif sürətlə keçirir; bəzi maddələr isə ümumiyyətlə membranlardan keçə bilmir (bunlara ilk növbədə hidrofob xassəli maddələr aiddir). Buna görə, hüceyrədaxili mühitdə olan maddələri ayırmaq üçün toxumaları doğrayıb xırda hissəciklər şəklində saldıqdan sonra müəyyən tərkibli maye ilə qarışdırıb, homogen kütlə halına düşənə qədər əzirlər. Bu proses *homogenizasiya* adlanır. Homogenizasiya etmək məqsədilə çox vaxt Potter homogenizatorundan istifadə edilir. Bu cihaz dibi sferik şəkildə olan qalın divarlı sınaq şüşəsindən və onun daxili diametrinə uyğun gələn porşendən ibarətdir. Porşen xüsusi elektrik mühərriki vasitəsilə öz oxu ətrafında fırladılır; içərisində toxuma kəsikləri olan sınaq şüşəsi yuxarı və aşağı hərəkət etdirilir. Bu zaman tədricən toxuma kəsikləri əzilir, hüceyrələr parçalanıb dağılır, hüceyrə orqanoidləri isə tamlığını saxlayır. Bu üsulla əldə edilən homogenat bioloji fəallığını saxlayır.

Homogenləşdirmə zamanı istifadə edilən mayenin tərkibi elə olmalıdır ki, tədqiq ediləcək maddənin tərkibinin və bioloji fəallığının dəyişməsinə səbəb olmasın. Təsvir edilən üsulla əldə edilən homogenat sentrifugaləşdirmə yolu ilə fraksiyalara ayrılır. Bu zaman sentrifujanın üst hissəsində sitozol mayesi, aşağı təbəqədə isə hüceyrə orqanoidləri toplanır. Sitozol fermentləri və digər bioloji molekullar maye təbəqənin tərkibində tədqiq edilir. Bu maye müvafiq orqan və ya toxumanın ekstraktı adlanır.

Biokimyəvi tədqiqatda hər hansı bir hüceyrə orqanoidinin öyrənilməsi nəzərdə tutulduqda həmin orqanoid mümkün qədər təmiz halda əldə edilməlidir. Bu məqsədlə orqan və toxuma homogenatını sentrifuqadan keçirdikdən sonra, alınan çöküntünü fraksiyalara ayırırlar.

Hüceyrə orqanoidlərini fraksiyalara ayırmaq üçün *homogenizasiya, ekstraksiya* və *sentrifugaləşdirmə* proseslərindən istifadə edilir.

Orqanoidlərin ekstraksiyası elə şəraitdə aparılmalıdır ki, onlar zədələnməsin. Buna görə, ekstraksiya prosesi yüksək temperatur şəraitində aparılmamalı, bundan ötrü istifadə edilən məhlulun pH-ı və osmos təzyiqi isə hüceyrədaxili mühitin eyni göstəricilərinə bərabər olmalıdır. Çox vaxt tədqiq ediləcək fermentlərin fəallığını mühafizə etmək məqsədilə, ekstraksiya prosesi 0-4°C temperaturda həyata keçirilir. Orqanoidlərin ekstraksiyası üçün çox istifadə edilən məhlullardan birinin tərkibinə fizioloji qatılıqlara müvafiq gələn miqdarda kalium və maqnezium ionları ilə birlikdə 0,25 M saxaroza daxildir; bu məhlulun pH-ı 0,5 M qatılıqlı xlorid turşulu tris-bufer (tris-hidroksimetilaminometanhidrokslorid) məhlulu əlavə edilməklə, 7,4-ə çatdırılır; bundan fərqli olaraq, lipidlərin ekstraksiyası üçün üzvi həlledicilərdən istifadə edilir. Bu məhlullarla qarışdırıldıqdan sonra homogenizasiya edilən toxuma kütləsi ilk dəfə aşağı sürətlə sentrifugaləşdirilir; alınan çöküntüdən *diferensial sentrifugaləşdirmə* üsulu ilə müxtəlif hüceyrə orqanoidləri ayrılır.

Toxuma homogenatının diferensial sentrifugaləşdirilməsi biokimyəvi təd-

qıqatın olduqca mühüm və məsuliyyətli mərhələlərindən biridir. Bu məqsədlə sentrifugallaşdırma ən azı 3 mərhələdə aparılır; hər bir mərhələdən sonra çöküntü və çöküntüüstü məhlul – *supernatant* – ayrılır və sonrakı mərhələdə yenidən sentrifugalşdırılır. Bunun nəticəsində 3 növ çöküntü əldə edilir: 1) nüvə fraksiyası; 2) mitoxondrial fraksiya; 3) mikrosom fraksiyası.

Doğrudur, adı çəkilən fraksiyaların heç biri hər hansı bir orqanoidin mütləq təmizlənmiş kütləsi ola bilməz. Lakin elektron mikroskopiyası və orqanoidlərin spesifik fermentlərinin tədqiqi göstərmişdir ki, bu fraksiyaların birincisində nüvə, ikincisində mitoxondrilər, üçüncüsündə isə mikrosomlar üstünlük təşkil edir. Mikrosomal fraksiya endoplazmatik şəbəkə elementlərindən və ribosomlardan ibarət olur. Son mərhələdə əldə edilən supernatantın tərkibi təxminən hüceyrə şirəsinin (sitozol) tərkibinə müvafiq gəlir. Təsvir edilən metodun müxtəlif modifikasiyalarından istifadə etməklə, bütün hüceyrə orqanoidlərini bu və ya digər dərəcədə təmizlənmiş halda əldə etmək mümkündür. Burada biokimyəvi tədqiqat üsullarının ümumi prinsipləri haqqında məlumat verildiyinə görə, adı çəkilən metodu tam incəliklərinə qədər izah etməmişik. Oxucu bu metod haqqında spesifik ədəbiyyatdan məlumat ala bilər. Əlavə etmək istərdik ki, bu üsulun bioloji kimyanın inkişafı üçün əvəzsiz əhəmiyyəti olmuşdur. Çünki, hüceyrə orqanoidlərinin spesifik funksiyaları yalnız bu üsulun tətbiqi sayəsində öyrənilmişdir.

Bioloji kimyanın inkişaf tarixi haqqında qısa məlumat

Bioloji kimya elmi XX əsrin əvvəllərində sərbəst inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuşdur. O vaxta qədər müasir biokimyanın öyrəndiyi bəzi məsələlərin tədqiqi ilə üzvi kimya və fiziologiya mütəxəssisləri məşğul olurdular. Beləliklə, müasir bioloji kimya adı çəkilən 2 elm sahəsinin inkişafı sayəsində yaranmışdır.

XIX əsrin sonlarına qədər statik biokimya üzrə müəyyən qədər məlumat əldə edilsə də, dinamik biokimya haqqında təsəvvürlər olduqca az idi. Məlumdur ki, təbii üzvi maddələrin tədqiqinə orta əsrlərdə əlkimyaçılar başlamışdılar. Əlkimyanın əldə etdiyi məlumatların tibbdə istifadə edilməsi sahəsində təşəbbüslərə Yaxın və Orta Şərqlərin alimlərindən Cabir-ibn-Xəyyarın (721-815), Ər-Razin (865-925), İbn Sinanın (980-1037) əsərlərində rast gəlinir. XVI-XVII əsrlərdə əlkimyanın topladığı bəsit elmi məlumatların təbabətə tətbiqi ideyası yatrokimyaçıların əsərlərində inkişaf etdirilmişdir.

Yatrokimyaçılar (yunanca: jatos – həkim+kimya) belə hesab edirdilər ki, insanın həyat fəaliyyətini yalnız kimyəvi baxımdan izah etmək mümkündür. Bu elmi cərəyanın ən görkəmli nümayəndəsi olan alman alimi F.Parasels (1493-1541) kimyanı tibb elminin əsası hesab edirdi. Kimya sahəsində aparılan tədqiqatlar Paraselsə və yatrokimya cərəyanının digər nümayəndələrinə bəzi kimyəvi maddələrin (kükürd, qurğuşun, civə və s.) orqanizmə zərərli təsirini aşkar etmək, həkimlik praktikasına kimyəvi diaqnostika üsulları tətbiq etmək, bəzi mineral maddələrin və maddələr sularının müalicəvi təsirini aydınlaşdırmaq imkanı vermişdir. Sonralar yatrokimya sahəsində Paraselsin davamçısı olan Y.Van-Helmont (1577-1644) canlı orqanizmin “şirələrində” müxtəlif kimyəvi

reaksiyalarda iştirak edən xüsusi katalizatorlar olduğu haqqında fərziyyə irəli sürmüş və bunları “fermentlər” adlandırmışdır. O, ilk dəfə olaraq, qazların təsnifatını hazırlamış, karbon qazını kəşf etmiş, podaqra xəstəliyinin orqanizmdə həddindən artıq turşu və duz toplanması ilə əlaqədar olduğu haqqında fikir yürütmüşdür.

Canlı toxumalarında baş verən kimyəvi proseslərin orqanizmin həyatı üçün əhəmiyyətinin dərk edilməsində XVIII əsrdə yaşamış fransız kimyaçısı A.Lavuazyenin (1743-1794) elmi işlərinin böyük əhəmiyyəti olmuşdur. O, üzvi maddələrin tərkibinə karbon, hidrogen və oksigen daxil olduğunu aşkara çıxarmış və müəyyən etmişdir ki, tənəffüs prosesi nəticəsində toxumalarda karbon və hidrogen zəif sürətlə oksidləşməyə uğrayır; bu zaman toxumalarda su və karbon qazı əmələ gəlir. O, müasiri P.S.Laplasla (1749-1827) birlikdə, insan və heyvan orqanizmində əmələ gələn istiliyin bioloji oksidləşmə prosesi ilə əlaqədar olduğunu sübut etmişdir. Bu kəşf maddələr mübadiləsi ilə enerji hasilatı arasındakı əlaqənin öyrənilməsinə təkan vermiş və XIX əsrin əvvəllərində karbohidratların, yağların və zülalların oksidləşməsi zamanı əmələ gələn enerjinin miqdarını hesablamaq üsulları aşkara çıxarılmışdır.

XIX əsrə qədər bioloji kimya sahəsində əldə edilən yeniliklər təkcə yuxarıda göstərilənlərdən ibarət deyil. Məsələn, XVIII əsrin ikinci yarısında Remyuar və Spallansani heyvan və quşların mədə şirəsinin müxtəlif qida maddələrinə təsirini öyrənməklə, həzm fermentlərinin tədqiqinin əsasını qoymuş, J.Pristli və J.İngelxauz isə fotosintez hadisəsini kəşf etmişlər. Bunlardan əlavə, XVIII əsrin ikinci yarısından başlayaraq, XIX əsrin 50-60-cı illərinə qədər müxtəlif canlı orqanizmlərin tərkibində təsadüf edilən üzvi maddələrin böyük hissəsinin kimyəvi təbiəti aydınlaşdırılmışdır. Bunlara süd, limon, oksalat, alma turşuları, qliserin və s. (K.Şeyele), karbamid (F.Völler), sirkə turşusu (A.Kolbe), yağlar (P. Bertlo), karbohidratlar (A.M.Butlerov), sidik turşusu (Berqman və Şeyele), xolesterin (J.Konradi), qlükoza və fruktoza (T.Lovits), xlorofil (Pelletye və Kaventri), kreatin (M.E.Şevröl), bitki alkaloidləri (Sertyurner və Meyster), qlisin və leysin aminturşuları (Prust və Brakonno), qlikogen (K.Bernar) və b. aiddir.

Beləliklə, XIX əsrin ortalarında bitki və heyvan orqanizmlərinin kimyəvi tərkibi haqqında geniş elmi məlumat əldə edilmişdi və artıq bu materialın sistemləşdirilməsinə ehtiyac duyulurdu. Zimonun 1842-ci ildə dərc edilmiş dərsliyi (J.E.Simon. Handbuch der ange-Wandten medizinischen Chemie) bu sahədə ilk təşəbbüs olmuşdur. Bundan bir qədər sonra – 1846-cı ildə Y.Libix fizioloji və patoloji kimya problemlərinə dair dərslik yazmışdır. Rusiyada isə ilk fizioloji kimya dərsliyi 1847-ci ildə (Xarkov universitetinin professoru A.İ.Xodnev) çap edilmişdir.

XIX əsrin ikinci yarısından başlayaraq, Avropa ölkələrində və Rusiya imperiyasında olan bir sıra universitetlərdə tibbi və ya fizioloji kimya kafedraları yaradılmağa başlandı. Rusiyada ilk belə kafedranı 1863-cü ildə Kazan universitetində A.Y.Danilevski yaratmışdır; 1864-cü ildə A.D.Buligin-ski Moskva universitetinin tibb fakültəsində tibbi kimya kafedrasının əsasını qoymuş, 1892-ci ildə isə A.Y.Danilevskinin təşəbbüsü ilə Peterburq Hərbi-Tibb (Hərbi-Cərrahlıq) akademiyasında fizioloji kimya kafedrası təşkil

edilmişdir. Beləliklə, bu sahə üzrə yaradılan ilk kafedralar tibbi və ya fizioloji kimya kafedraları adlanırdı. Bu, bioloji kimya elminin öz inkişafının başlanğıcından etibarən tibb elmi ilə sıx surətdə əlaqədar olduğunu sübut edir. “Bioloji kimya” terminini isə ilk dəfə 1903-cü ildə K.Neyberq işlətmişdir.

XX əsr bioloji kimya elminin hərtərəfli inkişafı ilə əlamətdar olmuşdur. Məhz bu əsrdə statik biokimya üzrə təsəvvürlər daha da genişlənmiş, dinamik və funksional biokimya isə rüşeym halından ən yüksək inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Bu əsrin əvvəllərində zülalların molekulyar strukturunu izah edən polipeptid nəzəriyyəsi irəli sürülmüşdü (E.Fişer, 1901). Bu nəzəriyyənin praktikada tətbiqi sayəsində tədricən bir sıra zülalların və polipeptidlərin strukturu tamamilə aydınlaşdırılmış, bəzi çox böyük bioloji əhəmiyyətə malik olan zülallar və polipeptidlər sintetik yolla əldə edilmişdir.

XX əsr vitaminlərin və hormonların kimyəvi tərkibinin və strukturunun aydınlaşdırılması, sintetik yolla əldə edilməsi və təbabətdə tətbiqi ilə də əlamətdar olmuşdur. Bundan əlavə, bu əsrdə fermentlərin kimyəvi təbiəti və təsir mexanizmi aydınlaşdırılmış, karbohidrat, lipid və zülal mübadiləsinin aralıq mərhələləri öyrənilmiş, orqanizmdə enerji yaranması və onun istifadə edilmə yolları ətraflı tədqiq edilmiş, hüceyrə fiziologiyasının biokimyəvi əsaslarının dərk edilməsi sahəsində mühüm nailiyyətlər əldə edilmişdir; nuklein turşularının kimyəvi təbiətinin, molekulyar strukturunun və funksiyalarının aydınlaşdırılması sayəsində irsi məlumatların nəsil-dən-nəslə verilməsi və zülal biosintezinin mexanizmləri haqqında təsəvvürlər genişləndirilmişdir.

Son onilliklər ərzində əldə edilən nailiyyətlərin genişliyi sayəsində artıq bioloji kimya vahid bir elm çərçivəsindən çıxaraq, bir-birilə sıx əlaqədar olan müxtəlif elmi istiqamətlərə bölünmüşdür. Son illərdə tibbi biokimyanın əldə etdiyi uğurlar klinik təbabətin müasir səviyyəsini müəyyən etməklə bərabər, həm də onun gələcək inkişafı üçün perspektivlər açmışdır.

Müasir dövrdə bioloji kimya elminin qarşısında duran əsas vəzifələrdən biri gen mühəndisliyi üsullarının və biotexnologiyanın inkişaf etdirilməsi ilə bağlıdır. Bu üsulların təkmilləşdirilməsi kənd təsərrüfatı üçün böyük əhəmiyyətə malik olan yeni heyvan cinslərinin və bitkilərin yaradılmasına, tibb elmində isə irsi xəstəliklərin yeni diaqnostika, müalicə və profilaktika üsullarının işlənilməsinə yardım göstərmək məqsədi daşıyır. Gen mühəndisliyi üsulunun enzimologiyaya tətbiqi təbabətdə və yeyinti məhsulları istehsalında geniş istifadə edilən fermentlərin (o cümlədən immobilizasiya edilmiş fermentlərin) əldə edilməsinə imkan yaradır. Bundan əlavə, biokimyanın inkişafı mikroorqanizm və virusların xassələrinin öyrənilməsinə və onların törətdiyi xəstəliklərə qarşı mübarizə vasitələrinin əldə edilməsinə, immunitetin molekulyar mexanizmlərinin daha dərinlən aydınlaşdırılmasına, kanserogenez prosesinin molekulyar aspektlərinin aşkar edilməsinə və şiş xəstəlikləri əleyhinə effektiv müalicə və profilaktika üsullarının hazırlanmasına imkan yaratmaq baxımından geniş perspektivlərə malikdir.

Azərbaycanda bioloji kimyanın inkişafı

Ölkəmizdə bioloji kimya elminin inkişafı ali təhsil sisteminin tarixi ilə bağlıdır. Məlumdur ki, Azərbaycanda ilk ali təhsil müəssisəsi 1919-cü ildə təsis edilən Bakı Dövlət Universiteti olmuşdur. Universitetin təsis edildiyi ilk illər ərzində burada bioloji kimya fənninin tədrisi ilə digər kafedraların müəllimləri məşğul olurdu və bu dövrə qədər Azərbaycanda biokimyəvi tədqiqat aparılmırdı. 1921-ci ildə əvvəllər Zaqafqaziya Universitetinin (Tbilisi) tibbi kimya və farmakologiya kafedrasına rəhbərlik etmiş rus alimi V. D. M a l e n y u k (1868-1932) Bakıya köçərək, burada BDU-nun 2 kafedrasına – ümumi gigiyena və fizioloji kimya kafedralarına – rəhbərlik etməyə başladı. Lakin biokimya elminə qəlbən bağlı olan V.D.Malenyuk 1926-cı ildə ümumi gigiyena kafedrasının rəhbərliyindən öz arzusu ilə imtina edərək, ömrünün sonuna qədər əmək fəaliyyətini bioloji kimya kafedrasında davam etdirdi. Bu illər ərzində kafedra tibb fakültəsinin nəzdində olduğuna görə, burada aparılan tədqiqat işləri də tibbi biokimya problemlərini əhatə edirdi. Məsələn, Azərbaycanda tibb elminin ən görkəmli nümayəndələrindən biri olan akademik M.M.Mirqasımov böyrək patologiyası zamanı orqanizmdə törənən biokimyəvi dəyişikliklərə həsr edilmiş doktorluq dissertasiyasını bu kafedrada – V.D.Malenyukun rəhbərliyi altında işləmişdir.

1930-cu ildə Bakı Dövlət Universitetinin Tibb fakültəsinin bazası əsasında Azərbaycan Dövlət Tibb İnstitutu təşkil edildikdən sonra bioloji kimya kafedrası bu institutun nəzdində fəaliyyət göstərmişdir.

1932-1937-ci illər ərzində ADTİ-nin (indiki Azərbaycan Tibb Universitetinin) bioloji kimya kafedrasına H. İ. S ə f ə r o v rəhbərlik etmişdir. O, kafedranın əməkdaşları ilə birlikdə insan və heyvan biokimyası (xüsusən mineral maddələr mübadiləsi) sahəsində tədqiqat aparmışdır. Sonralar H.İ.Səfərov Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı İnstitutunda (indiki Gəncə Dövlət Kənd Təsərrüfatı Akademiyası) bioloji kimya kafedrası təşkil etmiş və ömrünün axırına qədər (1964) həmin institutda elmi-pedaqoji fəaliyyətlə məşğul olmuşdur.

1937-ci ildə ATİ-nin bioloji kimya kafedrasının rəhbərliyi A. S. H ə s ə n o v a (1900-1972) həvalə edilmişdir. Respublikada insan biokimyasının və tibbi-biokimyanın sonrakı inkişafı məhz A.S.Həsənovun adı ilə bağlı olmuşdur. 1937-1972-ci illərdə kafedraya rəhbərlik edən A.S.Həsənov buradakı fədakar əməyinə görə, Azərbaycan Respublikasının əməkdar həkimi (1942), əməkdar elm xadimi (1943) kimi fəxri adlara layiq görülmüş, 1962-ci ildə Azərbaycan SSR EA-nın müxbir üzvü seçilmişdir. Onun öz əməkdaşları ilə birlikdə apardığı elmi-tədqiqat işlərinin əsasını vitaminlərin maddələr mübadiləsindəki rolunun öyrənilməsi, respublikanın kurort amillərinin (o cümlədən “İstisu” mineral suyunun və Naftalan neftinin) müalicəvi təsirinin tədqiqi, A vitamininin provitamini olan karotinin təklidə və Naftalan nefti ilə kompleks şəkildə tətbiqi zamanı bir sıra patoloji proseslərin sağalma mexanizmlərinin araşdırılması təşkil etmişdir. Bu istiqamətlər üzrə aparılan elmi-tədqiqat işləri sonralar əmək fəaliyyətini ADTİ-nin bioloji kimya kafedrasında və respublikanın müxtəlif elmi-tədqiqat institutlarında davam etdirən bir çox biokimyaçı

alimlərin namizədlik və doktorluq dissertasiyalarının əsasını təşkil etmişdir.

Ə.S.Həsənovun elmi məktəbinin yetirmələri olan A.Z.Babayev, Y.Babayev, H.M.Əliyev, N.A.Rzayev, S.B.Tağızadə, A.M.Əfəndiyev, F.Q.İslamzadə və digər alimlər sonralar öz elmi məktəblərini yaratmış, öz uğurlu elmi fəaliyyətləri ilə Azərbaycan elminə şərəf gətirmişlər. Bunlardan A.Z.Babayev toksikoloji kimya problemləri üzrə tədqiqat aparmış və 1972-1986-cı illərdə ATU-nun eyniadlı kafedrasına rəhbərlik etmişdir. Y.Babayev elmi fəaliyyətini Azərbaycan Elmi-Tədqiqat Baytarlıq İnstitutunda davam etdirmiş, bir sıra antropozoonoz infeksiyon xəstəliklər zamanı insan və heyvan orqanizmlərində törənən biokimyəvi dəyişiklikləri tədqiq etmişdir. H.M.Əliyev əczaçılıq kimyası problemləri üzrə tədqiqat aparmış və uzun müddət ATU-nun eyniadlı kafedrasına rəhbərlik etmişdir. O, indi də həmin kafedrada elmi-pedaqoji fəaliyyətini davam etdirir. S.B.Tağızadə (1929-1998) elmi fəaliyyətini onkoloji xəstələrdə karbohidrat mübadiləsinin tədqiqinə sərf etmişdir. N. A. R z a y e v (1927-1981) zülal mübadiləsi, qanın və limfanın bioloji kimyası, gerontologiya və geriatriyanın biokimyəvi aspektləri üzrə bir sıra əsaslı elmi-tədqiqat işlərinin müəllifidir. O, A.S.Həsənovun vəfatından sonra – 1973-1981-ci illərdə ATİ-nin bioloji kimya kafedrasına rəhbərlik etmişdir. Kafedranın əməkdaşları N.A.Rzayevin rəhbərliyi altında maddələr mübadiləsinin orqanizmin yaşı ilə əlaqədar olan dəyişikliklərinin tədqiqi ilə məşğul olmuşlar. Bu tədqiqatlar sayəsində laktatdehidrogenaza, qələvi və turş fosfatazalar, qlükoza-6-fosfatdehidrogenaza və b. fermentlərin fəallığının ontogenezin müxtəlif mərhələlərindəki dəyişiklikləri aşkar edilmişdir.

1981-ci ildən indiyə qədər ATU-nun bioloji kimya kafedrasına qısa fasilə ilə A.S.Həsənovun məktəbinin nümayəndələrindən olan A. M. Ə f ə n d i y e v rəhbərlik edir. 1984-1986-cı illərdə isə bu kafedra universitetin üzvi kimya kafedrası ilə birlikdə fəaliyyət göstərirdi; bu müddət ərzində kafedra bioüzvi və bioloji kimya kafedrası adlanırdı və kafedraya Azərb. EA-nın müxbir üzvü R.A.B a b a x a n o v (1929-1983) rəhbərlik edirdi. 1987-ci ildə yenidən sərbəst fəaliyyətə keçən bioloji kimya kafedrasında (kafedra müdiri – professor A.M.Əfəndiyev) və bu kafedra ilə yanaşı fəaliyyət göstərən “Hüceyrə patologiyasının biokimyası” Problem Elmi-Tədqiqat laboratoriyasında son onilliklər ərzində prostaqlandınların metabolizm xüsusiyyətləri, lipidlərin peroksid oksidləşməsi və hüceyrələrin təbii antioksidant sisteminin vəziyyəti, hemoqlobinopatiyalı xəstələrdə biokimyəvi defektlərin və immun sistemin vəziyyətinin tədqiqi, ürək əzələsinin hipertrofiyası zamanı kardiomyositlərdə baş verən biokimyəvi dəyişikliklərin öyrənilməsi istiqamətlərində elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır. Hazırda burada insan biokimyası (tibbi biokimya) üzrə elmi-tədqiqat işləri davam etdirilir.

XX əsrin ikinci yarısında Azərbaycanda elmi-tədqiqat institutları şəbəkəsinin genişlənməsi bioloji kimya elminin inkişafında da öz əksini tapmışdır. Hazırda respublikamızın müxtəlif elmi-tədqiqat institutlarında, Bakı Dövlət Universitetində, Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyasında, Azərbaycan Bədən Tərbiyəsi Akademiyasında, Azərbaycan Pedaqoji Universitetində bioloji kimyanın müxtəlif elmi istiqamətləri üzrə tədqiqat işləri aparılır.

Respublikamızda bitki biokimyası və fiziologiyası sahəsində təməli elmi-

tədqiqat işlərinin aparılmasında və bu sahədə ixtisaslı kadrlar yetişdirilməsində Azərbaycan Respublikası Milli Elmlər Akademiyasının akademiki C. Ə. Ə l i - y e v i n əvəzsiz xidməti vardır. Elmi-Tədqiqat Botanika İnstitutunda çalışan akademik C.Ə.Əliyevin bu sahədə apardığı tədqiqat işləri sayəsində respublikamızın təbii şəraitinə uyğunlaşdırılmış yüksək məhsuldarlıqlı buğda və digər kənd təsərrüfatı bitkiləri əldə edilmişdir.

Hazırda Bakı Dövlət Universitetinin bioloji kimya kafedrasında prof. A.Quliyevin rəhbərliyi altında texniki biokimya problemləri üzrə tədqiqat aparılır – uzun müddət saxlanılan kənd təsərrüfatı məhsullarının mühafizə edilməsinin biokimyəvi prinsipləri öyrənilir.

Azərbaycan Respublikası Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi ET Heyvandarlıq İnstitutunun bioloji kimya laboratoriyasında müxtəlif kənd təsərrüfatı heyvanlarının xəstəliklərinin biokimyəvi əsasları tədqiq edilir. Azərbaycan Bədən Tərbiyəsi Akademiyasının idman biokimyası kafedrasında funksional biokimya üzrə tədqiqat aparılır, idmançıların orqanizmində müxtəlif fiziki gərginlik şəraitində baş verən dəyişikliklər öyrənilir.

Azərbaycan Respublikası Milli EA-nın A.İ.Qarayev ad. Fiziologiya İnstitutunun nəzdində olan mərkəzi sinir sisteminin biologiyası laboratoriyasında akademiyanın müxbir üzvü, prof. T.M.Ağayevin rəhbərliyi altında beyində maddələr mübadiləsinin xüsusiyyətləri tədqiq edilir. Azərbaycan Respublikası Səhiyyə Nazirliyinin müxtəlif elmi tədqiqat institutların müvafiq laboratoriyalarında – M.A.Topçubaşov ad. Elmi Cərrahiyyə Mərkəzində, Respublika Onkoloji Elmi Mərkəzində, ET Mamalıq və Ginekologiya İnstitutunda (laboratoriya rəhbəri – N.K.Qaziyeva) və s., həmçinin ATU-nun Elmi-Tədqiqat Mərkəzində (rəhbəri – Q.Ş.Qarayev) klinik biokimya üzrə tədqiqatlar aparılır.

Azərbaycan biokimyəçilərinin elmi-tədqiqat işlərinin əlaqələndirilməsində 1959-cu ildə təşkil edilmiş Azərbaycan Biokimyəçilər Cəmiyyətinin böyük rolu olmuşdur. Bu cəmiyyətə 1959-1972-ci illərdə Azərb.SSR EA-nın müxbir üzvü, prof. A.S.Həsənov, 1972-1981-ci illərdə respublikanın əməkdar elm xadimi, prof. N.A.Rzayev, 1982-1998-ci illərdə Azərbaycan Respublikası Milli EA-nın müxbir üzvü T.M.Ağayev rəhbərlik etmişdir. 1998-ci ildə Azərbaycan Biokimyəçilər Cəmiyyətinin bazası əsasında Respublika Biokimyəçilər və Molekulyar Bioloqlar Cəmiyyəti təşkil edilmiş və bu cəmiyyətin prezidenti vəzifəsinə akademik C. Ə. Ə l i y e v seçilmişdir: cəmiyyət 1999-cu ildə Avropa Biokimyəçilər Cəmiyyətləri Federasiyasının üzvlüyünə qəbul edilmişdir. Federasiyanın nəzdində bioloji kimyanın tədrisi komissiyası təşkil edilmişdir. Bu komissiyaya üzv seçilmiş 8 nəfər biokimya mütəxəssisi arasında Azərbaycan Respublikasının nümayəndəsi də vardır (prof. A.M.Əfəndiyev). O, adı çəkilən komissiyada MDB ölkələrinin yeganə təmsilçisidir.

BİRİNCİ HİSSƏ

STATİK BİOKİMYA

I FƏSİL

ORQANİZMİN KİMYƏVİ TƏRKİBİ HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT

Bütün canlıların (o cümlədən insanın) orqanizmi kimyəvi tərkibinə görə ətraf mühətdən fərqlənir. Doğrudur, canlı orqanizmin toxumalarının tərkibində ətraf mühətdə olan kimyəvi elementlərin əksəriyyətinə təsadüf edilir. Lakin bunlar arasında həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət fərqləri vardır. Müxtəlif canlı növlərinin toxumalarında 70-ə qədər kimyəvi element aşkar edilmişdir. Bunlardan 22-yə qədərində bütün canlı növlərinin orqanizmində təsadüf edilir, qalan hissəsi isə ayrı-ayrı canlıların toxumalarında yayılmışdır.

Adətən kimyəvi elementin orqanizmdə olan miqdarı onu əhatə edən ətraf mühətdəkinə bərabər olmur. Orqanizm mühitə uyğunlaşma ilə əlaqədar olaraq, özündə kimyəvi elementləri ciddi qanunauyğunluğa malik miqdar nisbətində saxlayır. Məsələn, yer qabığında hidrogenin miqdarı cüzi olduğu halda, canlı orqanizminin ümumi kütləsinin 10%-ə qədəri (atomların sayına görə hesablaşma aparıldıqda isə daha artıq hissəsi) bu elementdən ibarətdir. Ətraf mühətdə xeyli miqdarda olan silisium və alüminium kimi elementlərin isə canlı toxumalarında yalnız izlərinə təsadüf edilir.

1.1-ci cədvəldə insan və heyvan orqanizmində və yer qabığında olan əsas kimyəvi elementlərin nisbi miqdarı (atomların sayına görə) verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, orqanizmin ümumi kütləsinin 96%-dən çoxu yalnız 4 elementin – oksigenin, karbonun, hidrogenin və azotun payına düşür.

Cədvəl 1.1

İnsan orqanizmində, bitkilərdə və yer qabığında (litosfer) bəzi elementlərin nisbi miqdarı (atomların sayına görə faizlə)

<i>Element</i>	<i>İnsan orqanizmində</i>	<i>Bitkilərdə</i>	<i>Yer qabığında</i>
Hidrogen	60,3	10	0,0001
Oksigen	25,5	70	62,5
Karbon	10,5	18	0,08
Azot	2,42	0,4	0,0001
Natrium	0,73	0,3	2,64
Kalsium	0,226	0,3	1,94
Fosfor	0,134	0,15	0,093
Kükürd	0,132	0,03	0,05
Kalium	0,036	0,3	2,5
Xlor	0,32	0,003	0,017
Silisium	<0,0001	0,15	21,2
Alüminium	<0,0001	<0,0001	6,47

Ümumiyyətlə, orqanizmdə olan kimyəvi elementləri miqdarına görə 4 qrupa bölmək olar: 1) miqdarı orqanizmin ümumi kütləsinin 1%-dən artıq olan elementlər – *makrobiogen* elementlər (makroelementlər) adlanır. Bu qrupa

oksigen, karbon, hidrogen, azot, kalsium və fosfor aiddir;

2) *oligobiogen* elementlər – miqdarı 0,01%-dən 1%-ə qədər olan elementlər (natrium, kalium, xlor, kükürd, maqnezium, dəmir);

3) *mikrobiogen* elementlər – miqdarı 0,01%-dən az olan elementlər (sink, mis, molibden, vanadium, manqan, kobalt, flüor, brom, yod, bor);

4) *ultramikrobiogen* elementlər – bu qrupa orqanizmdəki miqdarı 10^{-4} – 10^{-6} % olan elementlər daxildir. Bunlardan bəzilərinin (litium, selen, arsen, alüminium, titan, nikel, xrom və s.) heyvan və bitki orqanizmində mühüm bioloji funksiyaları yerinə yetirdiyi sübut edilmişdir, lakin onların orqanizmə təsirinin konkret mexanizmləri hələlik tam aydın deyil.

Qeyd etmək lazımdır ki, biogen elementlərin daha geniş yayılmış təsnifatına görə, bu elementlər 2 qrupa bölünür: 1) makroelementlər (miqdarı 0,001%-dən artıq olanlar) və 2) mikroelementlər (miqdarı 0,001%-dən az olanlar). Bu təsnifatda elementlərin kütləsinə görə miqdarı əsas götürülür: oksigen, hidrogen, karbon, azot, kükürd, fosfor, natrium, kalium, kalsium, maqnezium, xlor, yod, flüor və dəmir makroelementlərə, digər biogen elementlər (manqan, sink, mis, molibden, kobalt, bor, sink, stronsium, litium və s.) isə mikroelementlərə aiddir.

Canlı orqanizmlərdə civə, lantan, qızıl, bismut, seziyum, indium, tallium, germanium, sirkonium, prazeodim, neobium, neodim kimi elementlər olduqca az (10^{-4} - 10^{-12} %), bəzi radioaktiv elementlər isə daha az miqdarda olur.

Kimyəvi elementlər orqanizmdə qeyri-üzvi və üzvi maddə molekullarının tərkibində olur. Bu baxımdan yalnız oksigen, azot qazı və təsirsiz qazlar müstəsnalıq təşkil edir, yəni onlara sərbəst şəkildə də təsadüf edilir; orqanizmdə oksigenin əsas hissəsi hemoqlobin, mioqlobin və digər maddələrlə birləşmə halında olur, lakin qan plazmasının tərkibində az da olsa, sərbəst oksigenə təsadüf edilir və oksigenin sərbəst hissəsi mübadilə prosesində daha asanlıqla iştirak edə bilər. Oksigendən fərqli olaraq, orqanizmin bioloji mayələrində məhlul halında olan azot qazı və təsirsiz qazlar biokimyəvi reaksiyalarda iştirak etmir.

Canlı orqanizminin tərkibinə daxil olan molekullar arasında su və üzvi maddə molekulları üstünlük təşkil edir. Su orqanizmdə olan qeyri-üzvi maddələr və bir sıra üzvi birləşmələr üçün həlledici olmaqla bərabər, hüceyrələrin protoplazmasının kolloid vəziyyətində saxlanılmasında mühüm rol oynayan dispers mühitdir. Üzvi maddə molekulları strukturlarına görə bir-birindən fərqlənir. Onların bir hissəsi toxuma və hüceyrələrin strukturunu təşkil edir, bir hissəsi hüceyrələri enerji ilə təmin edir, digərləri isə hüceyrədaxili proseslərin tənzimlənməsinə təsir göstərir. Hüceyrələrdə baş verən biokimyəvi proseslərdə iştirak edən üzvi maddə molekullarına **b i o ü z v i m o l e k u l l a r** adı verilmişdir. Karbohidratlar, lipidlər, zülallar və nuklein turşuları bioüzvi molekulların ən mühüm tipləridir.

Karbohidratlar və lipidlər demək olar ki, bütün orqanizmlər üçün enerji mənbəyi rolunu oynayır. Zülallar həm hüceyrələrin struktur elementlərinə daxil olur, həm də hüceyrədaxili proseslərdə katalizator (ferment) və tənzimləyici kimi iştirak edir; nuklein turşuları isə orqanizmin spesifik zülallarının və digər mürəkkəb maddələrinin sintezi üçün lazım gələn irsi məlumatı özündə toplayır.

Bioüzvi maddələrin kimyəvi strukturlarına və fəza konfigurasiyalarına görə

bir-birindən kəskin sürətdə fərqlənən saysız-hesabsız növləri vardır. Lakin bu maddələrin strukturlarında oxşar cəhətlər də müşahidə edilir. Adətən mürəkkəb bioüzvi maddələr bir-birilə birləşib, uzun zəncirlər əmələ gətirən nisbətən sadə quruluşlu molekulların çoxsaylı kombinasiyalarından ibarət olur. Məsələn, irimolekullu karbohidratların (polisaxaridlər) əsas nümayəndələri olan nişasta və qlükogen çoxlu sayda qlükoza molekullarının polikondensasiyasından törənən maddələrdir; zülal molekulları bir-birilə kovalent rabitəyə girmiş amin-turşuların polimerləridir. Zülalların tərkibində cəmi 20 amin-turşu növü aşkar edilmişdir. Lakin onların müxtəlif kombinasiyalarda birləşməsi nəticəsində əmələ gələn zülal molekullarının növləri təsəvvürəgəlməz dərəcədə çoxdur. Nuklein turşularının da saysız-hesabsız növləri yalnız 5 növ nukleotidin müxtəlif miqdarda və müxtəlif kombinasiyada birləşməsi nəticəsində törənir. Qeyd edək ki, bütün canlı növlərinin spesifik zülallarının tərkibinə daxil olan 20 amin-turşu növü və nuklein turşularının tərkibinə daxil olan 5 nukleotid növü eynidir.

Orqanizmin makromolekullarının (zülallar, nuklein turşuları, polisaxaridlər) strukturuna daxil olan sadə bioüzvi molekullar adətən hüceyrələrdə bir neçə funksiyanı yerinə yetirir. Məsələn, amin-turşular zülal molekullarının struktur komponentlərinə daxil olmaqla bərabər, həm də başqa bioüzvi molekulların (hormonlar, alkaloidlər, porfirinlər) sintezi üçün ilkin material kimi istifadə edilir; mononukleotidlər həm nuklein turşularının strukturuna daxil ola bilər, həm də koferment və enerji mənbəyi funksiyası daşıyırlar.

Hüceyrələrdə müxtəlif kimyəvi maddələrin miqdarı canlı materiyanın struktur mütəşəkkilliyinin yüksək səviyyəsini təmin edə biləcək molekulyar nisbətdə olur. Məsələn, qaraciyər hüceyrəsinin quru kütləsi onun ümumi kütləsinin 30%-ni təşkil edir, bu kütlənin isə yalnız 3%-ə qədər qeyri-üzvi ionların və xırdamolekullu birləşmələrin (metabolitlər, irimolekullu üzvi maddələrin monomerləri, kofermentlər) payına düşür; hepatositlərin quru kütləsinin 27%-ə qədərini makromolekullar və onlardan 70%-ə qədərini zülallar təşkil edir. Beləliklə, hüceyrələrdə makromolekulların sintezinə sərf edilə bilən xırdamolekullu monomerlərin (amin-turşular, mononukleotidlər, qlükoza, üzvi turşular, qliserin) miqdarı olduqca azdır. Lakin onların həmin kiçik miqdarı canlı orqanizminin konkret mühit şəraitinə uyğunlaşmasını və özünə xas olan həyat tərzi keçirməsini təmin edə bilər.

Müxtəlif hüceyrələrdə zülalların, nuklein turşularının, lipidlərin və polisaxaridlərin miqdarı bir-birindən fərqlənir. Məsələn, bitki hüceyrələrində zülal heyvan toxumalarındakından xeyli azdır, nuklein turşuları isə bitki hüceyrələrində daha çox olur; bitki hüceyrələri və hepatositlər özlərində nisbətən çox polisaxarid saxlayır, piy toxumalarında isə daha çox lipid toplanır. Müxtəlif hüceyrələrdə və orqanizmlərdə suyun da nisbi miqdarı fərqli olur. Məsələn, bitki hüceyrələrində və piy toxumasında yalnız 40%-ə qədər su olduğu halda, qaraciyər hüceyrələrinin ümumi kütləsinin 70%-ə qədərini, meduza orqanizminin isə 99%-ə qədərini su təşkil edir. Sümük toxuması tərkibindəki suyun azlığına görə digər toxumalardan fərqlənir. Bu toxumanın ümumi kütləsinin yalnız 25%-ə qədərini su təşkil edir. Hüceyrələrdə olan qeyri-üzvi ionların növləri o qədər də çox deyil, lakin onlar orqanizmin çox mühüm və müxtəlif həyat funksiyalarının yerinə yetirilməsində iştirak edirlər.

II FƏSİL

KARBOHİDRATLAR

2.1. KARBOHİDRATLAR HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT, ONLARIN BİOLOJİ ƏHƏMİYYƏTİ VƏ TƏSNİFATI

Karbohidratlar – təbiətdə ən geniş yayılmış üzvi birləşmələrdir. Onlar kimyəvi strukturlarına görə, ya tərkibinə aldehid və ya keton qrupu daxil olan çoxatomlu spirtlər, ya da həmin spirtlərin polimerləridir. Bitkilərin quru kütləsinin 80-90%-i karbohidratlardan ibarətdir. Onlar bitkilərdə həm istinad toxumasının (sellüloza), həm də ehtiyat üçün saxlanan qida maddələrinin (nişasta, polifruktozanlar və s.) əsas kütləsini təşkil edir. Heyvan və insan orqanizmində karbohidratlar üzvi maddələrin digər növlərinə (zülallar, lipidlər) nisbətən az olur və toxumaların quru kütləsinin yalnız 2%-ə qədərini təşkil edir. Buna baxmayaraq, orqanizmin enerjiyə tələbatının ödənilməsi baxımından karbohidratların əhəmiyyəti heç də digər üzvi maddələrin əhəmiyyətindən az deyil. Təkcə bunu göstərmək kifayətdir ki, insan orqanizmi enerjiyə ehtiyacının 60%-ə qədərini karbohidratların hüceyrədaxili oksidləşməsi sayəsində əldə edir; orta bədən kütləsinə malik olan insan qıdanın tərkibində hər gün 400-600 q karbohidrat qəbul edir.

Karbohidratlar termininin meydana çıxmasının səbəbi – bu qrupa daxil olan üzvi maddələrin ilk nümayəndələrinin kimyəvi tərkibinin $C_n(H_2O)_n$ düsturuna uyğun gəlməsi olmuşdur. Göründüyü kimi, burada hidrogen və oksigen atomlarının miqdar nisbəti su molekullarındakına müvafiqdir (2:1). Lakin üzvi kimyanın inkişafı sahəsində aydın olmuşdur ki, əslində bu uyğunluq təsadüfidir: sonralar empirik formulu yuxarıda göstərilənə uyğun gəlməyən ramnoza – $C_6H_{12}O_5$ və dezoksiriboza ($C_5H_{10}O_4$) kimi karbohidratlar aşkar edilmiş və bundan əlavə, məlum olmuşdur ki, oksigen və hidrogen atomlarının nisbətinə görə həmin formula uyğun gəlsə də, karbohidrat xassəsinə malik olmayan üzvi birləşmələr də vardır. Formaldehid (CH_2O), asetat turşusu ($C_2H_4O_2$), süd turşusu ($C_3H_6O_3$) bunlara misal ola bilər.

Kimyəvi Nomenklaturanın İslahatı üzrə Beynəlxalq Komissiya 1927-ci ildə “karbohidratlar” termininin bu qrupa daxil olan üzvi maddələrin həm kimyəvi təbiətini, həm də tərkibini əks etdirmədiyini nəzərə alaraq, bu birləşmələri “qliseridlər” adlandırmaq təklifini irəli sürmüşdü. Lakin “qliseridlər” termini müvafiq elm sahəsi üzrə tədqiqat aparən alimlərin əsərlərində geniş yayılmadığına görə, diqqətdən kənar qalmışdır. Buna görə, Beynəlxalq Kimya İttifaqının (IUPAC) 1978-ci ildə nəşr etdiyi biokimyəvi nomenklaturada “karbohidratlar” termini saxlanılmışdır.

Təbiətdə yayılmış karbohidratların əsas mənbəyi bitkilərdir. Yaşıl bitkilərdə fotosintez prosesi sayəsində sintez edilən üzvi maddələrin ilk qrupunu karbohidratlar təşkil edir. Beləliklə, bütün heyvanlar aləmini də karbohidratlarla ya bilavasitə, ya da dolaylı yolla bitkilər aləmi təchiz edir. Doğrudur, heyvan və insan orqanizmində karbohidratların müəyyən növləri sintez edilir, lakin burada onların sintezi üçün bitkilərdə olduğu kimi, qeyri-üzvi maddə-

lərdən (CO₂ və su) deyil, müxtəlif üzvi maddələrin (o cümlədən karbohidratların) mübadiləsinin üzvi xarakterli aralıq məhsullarından istifadə edilir.

Karbohidratların bioloji əhəmiyyəti. Karbohidratlar orqanizmdə enerji mənbəyi və plastik material funksiyalarını yerinə yetirir. Bundan əlavə, karbohidratların mühafizəedici, istinad, tənziomedici və b. funksiyaları vardır.

Karbohidratlar metabolizm prosesində oksidləşmə reaksiyalarına uğrayaraq, öz daxili enerjilərini azad edirlər. 1q karbohidratın hüceyrədaxili oksidləşməsi zamanı təxminən 16,9 kc (4,1 kkal) enerji əmələ gəlir. Bu enerjидən orqanizmin tələbatına müvafiq şəkildə istifadə edilməsi karbohidratların enerji mənbəyi kimi əhəmiyyətini müəyyənləşdirir. Orqanizmdə bir sıra mühüm üzvi birləşmələrin, o cümlədən üzvi turşuların, lipidlərin, nuklein turşularının, aminoturşuların, zülalların sintezi zamanı ilkin material kimi karbohidratlardan istifadə edilir. Beləliklə, karbohidratlar orqanizm üçün plastik material funksiyası daşıyır. Bəzi karbohidrat törəmələri (xondroitinsulfat, hialuron turşusu və s.) və onların zülallarla kompleks birləşmələri insan və heyvan orqanizmində istinad funksiyasını yerinə yetirən birləşdirici toxuma törəmələrinin (qığırdaqlar, vətərlər, sümüklər və s.) tərkibinə daxil olur. Bitki toxumalarında da sellüloza və bir sıra başqa karbohidrat törəmələri hüceyrələri həm xarici mühit amillərinin zərərli təsirindən mühafizə edir, həm də ümumi mexaniki istinadgah funksiyası daşıyır. Həşəratların (cücülər) və xərçəngkimilərin orqanizminin xarici örtüyünə daxil olan karbohidratlar (xitin) da mühafizəedici və istinad funksiyalarına malikdir.

Orqanizm üçün enerji mənbəyi kimi əhəmiyyəti olan karbohidratların bir qrupu toxumalarda toplanaraq, ehtiyatda saxlanılır və lazım gəldikdə istifadə edilir. Yəni karbohidratların orqanizm üçün *ehtiyat qida maddəsi* kimi əhəmiyyəti vardır. İnsan və heyvan toxumalarında karbohidratlardan – qlikogen, bitkilərdə isə nişasta və polifruktozanlar qidalandırıcı maddə ehtiyatı kimi toplanır. Məsələn, müntəzəm surətdə qidalanma zamanı qaraciyərdə bu orqanın quru kütləsinin 10%-nə qədər qlikogen toplanma bilər, uzunmüddətli aclıq zamanı isə burada qlikogenin nisbi miqdarı 0,2%-ə enir.

Karbohidratlar orqanizmin bir sıra funksiyalarına tənziomedici təsir göstərir. Məsələn, qanın osmos təzyiqinin tənziimi müəyyən dərəcədə monosaxaridlərin qatılığından asılıdır. Bundan əlavə, qanda olan monosaxaridlərin qatılığı bir sıra hormonlar (insulin, qlükaqon, adrenalin, qlükokortikosteroidlər və s.) vasitəsilə tənzim edilsə də, onlar özləri də əks-əlaqə mexanizmi vasitəsilə həmin hormonların sekresiyasını tənzim edir; bitki mənşəli qida maddələrinin tərkibinə daxil olan sellüloza bağırsaqların reseptorlarına mexaniki qıcıqlandırıcı təsir göstərməklə, həzm sisteminin funksiyasının tənzimində iştirak edir.

Karbohidratların bir sıra növləri orqanizm üçün spesifik funksiyalara malikdir. Məsələn, tərkibinə karbohidrat komponenti daxil olan bir sıra irimolekullu birləşmələr (qlikoproteinlər, lipopolisaxaridlər) müxtəlif molekul və hüceyrələrin bir-birini “tanınmasına” şərait yaradır, yad amillərin antigen spesifikliyini və qan qruplarının fərqli xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirir. Hormonların, bakteriyaların və onların toksinlərinin hüceyrələrə təsirində spesifik vasitəçilər olan membran reseptorları da tərkibinə karbohidrat komponenti daxil olan birləşmələrdir. Karbohidratların mürəkkəb strukturlu törəmələri sinir

sisteminin reseptorlarının da tərkibinə daxildir; sinir impulslarının ötürülməsində iştirak edən sinaptik membranlarda spesifik qlükoproteinlər aşkar edilmişdir. Bunların həm sinir impulslarının ötürülməsində, həm də bəzi farmakoloji aktiv maddələrin təsirinin qəbul edilməsində böyük rolu vardır.

Karbohidratların bioloji əhəmiyyəti təkcə yuxarıda göstərilənlərdən ibarət deyil. Qətiyyətlə demək olar ki, canlı orqanizmi cansız təbiət əşyalarından fərqləndirən elə bir əlamət və ya proses yoxdur ki, orada karbohidrat törəmələrinin iştirakı tələb edilməsin. Məsələn, qlükoprotein mənşəli fermentlərin fiziki və kimyəvi amillərin təsirinə qarşı davamlı olması onların molekulyar strukturuna daxil olan karbohidrat komponentinin təsiri ilə izah edilir; okeanların qütb zonalarına yaxın sahələrində yaşayan bir sıra balıqların qanında olan bəzi qlükoproteinlər antifriz funksiyasına malik olmaqla, həmin balıqların toxumalarını donmadan mühafizə edir; orqanizmin təbii antikoagulyant sisteminin əsas komponenti olan heparin mürəkkəb karbohidratlar qrupuna aid olan üzvi birləşmədir.

Karbohidratların təsnifatı. Karbohidratlar 3 qrupa bölünür: 1) monosaxaridlər; 2) oliqosaxaridlər; 3) polisaxaridlər.

Kitabın aşağıdakı bölmələrində karbohidratların müxtəlif qrupları haqqında məlumat verilir.

2.2. MONOSAXARİDLƏR: NOMENKLATURASI, TƏSNİFATI, ƏSAS NÖVLƏRİNİN XARAKTERİSTİKASI

Monosaxaridlərin müxtəlif prinsiplərə əsaslanan təsnifatları vardır. Bununla əlaqədar olaraq, bəzi monosaxaridlərə verilən ümumişlək və elmi adlar da bir-birindən fərqlənir.

Molekulyar strukturunda aldehid və ya keton qrupları olduğuna görə, monosaxaridləri *aldozalar* və *ketozalar* adlanan 2 qrupa bölürlər. Bundan əlavə, monosaxaridlər molekulyar strukturunu təşkil edən karbon atomlarının sayına görə qruplaşdırılır. Bu baxımdan triozalar, tetrozalar, heksozalar, heptozalar və s. ayırd edilir.

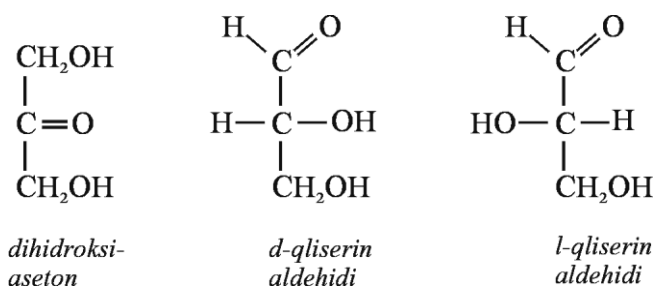
Kimyəvi xassələrinə görə, monosaxaridlərin 3 qrupu ayırd edilir: 1) neytral monosaxaridlər; 2) turş monosaxaridlər 3) aminşəkərlər.

Neytral monosaxaridlərin tərkibində yalnız karbonil (aldehid və ya keton) və hidroksil (spirt) qrupları olur; turş monosaxaridlər neytral monosaxaridlərin karboksil qrupuna, aminşəkərlər isə amin qruplarına malik olan törəmələridir. Bunlardan əlavə, polifunksional şəkərlərə də rast gəlinir; monosaxaridlərin bu qrupunun molekulyar strukturunda karbonil və hidroksil qruplarından başqa, eyni zamanda həm karboksil, həm də amin qrupları olur (məsələn, neyramin turşusu).

Monosaxaridlərin nomenklaturası haqqında düzgün təsəvvür vermək üçün əvvəlcə neytral monosaxaridlərin əsas növləri ilə tanış olmağı məqsədəuyğun hesab edirik. Çünki bu adlar monosaxaridlərin fiziki-kimyəvi xassələrini də özlərində əks etdirir.

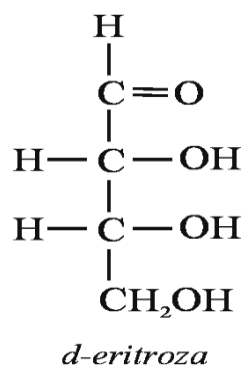
Triozalar – adından məlum olduğu kimi, molekulyarına 3 karbon atomu daxil olan monosaxaridlərdir. Onların 2 növü – dihidroksiaseton və qliserin

aldehidi – məlumdur. Qliserin aldehidi d- və l- stereoizomerlər (enantiomerlər) formasında ola bilər.



Göründüyü kimi, dihidroksiaseton ketozaların, qliserin aldehidi isə – aldozaların növlərindəndir. Triozaları qliserini oksidləşdirmək yolu ilə almaq olar. Bu zaman birinci spirt qrupu oksidləşərsə, qliserin aldehidi, ikinci spirt qrupu oksidləşərsə, dihidroksiaseton əmələ gələ bilər. Orqanizmdə sərbəst şəkildə triozalar olmur; onlar yalnız maddələr mübadiləsinin aralıq mərhələlərində fosfat efirləri şəklində əmələ gəlir və tezliklə ya oksidləşir, ya da digər üzvi maddələrin sintezinə sərf edirlər.

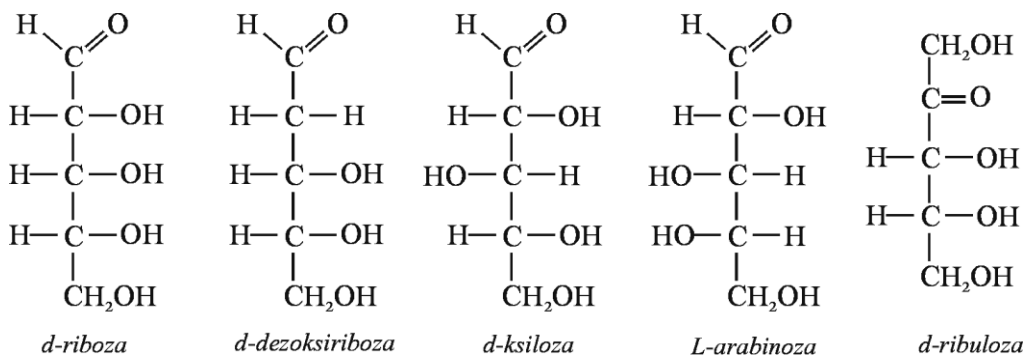
Tetrozalar – molekuluna 4 karbon atomu daxil olan monosaxaridlərdir; təbiətdə bunlara başqa karbohidratlara nisbətən az təsadüf edilir. Tetrozaların növlərindən d-eritrozanın müəyyən bioloji əhəmiyyəti vardır. Onun fosfat efiri (d-eritroza-4-fosfat) bitkilərdə fotosintez prosesinin və heyvan toxumalarında karbohidratların pentozafosfat tsikli üzrə oksidləşməsinin aralıq məhsullarından biridir. Yosun və şibyələrin tərkibində eritrozanın reduksiyaya uğraması nəticəsində əmələ gələn çoxatomlu spirt – eritrin – olur.



Pentozalar – molekuluna 5 karbon atomu daxil olan monosaxaridlərdir. Bunların növlərindən d-riboza, d-dezoksiriboza, d-ribuloza, d-ksiloza və l-arabinoza bioloji cəhətdən daha böyük əhəmiyyətə malikdir. D-riboza, d-ksiloza və l-arabinoza bir-birindən molekullarında –H və –OH qruplarının yerləşməsinə görə fərqlənir; dezoksiribozanı ribozanın ikinci karbon atomu ilə rabitəli olan hidroksil qrupunun hidrogen atomu ilə əvəz edilməsi nəticəsində əmələ gələn birləşmə hesab etmək olar, ribuloza isə ketopentozaların nümayəndəsidir.

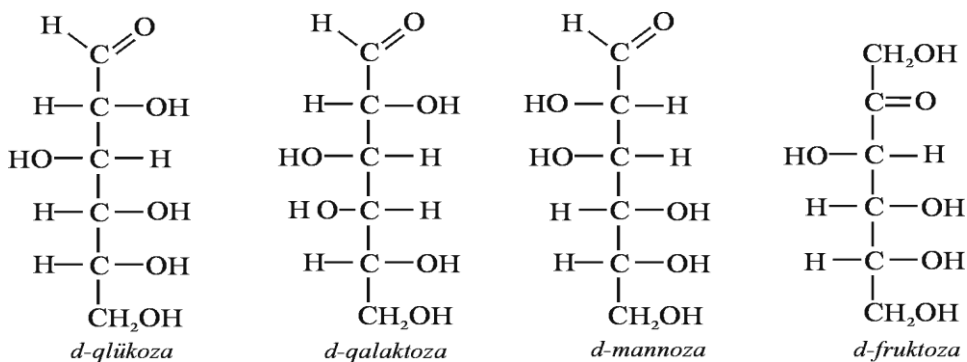
Pentozalar orqanizmdə çox vaxt mürəkkəb karbohidratların və ya başqa birləşmələrin (məsələn, DNT və RNT) tərkibində olur, metabolizm prosesində onların fosfat efirləri aralıq məhsul kimi əmələ gəlir. Sərbəst pentozalara isə nadir hallarda bəzi bitkilərin yarpaqlarında təsadüf edilir. Oduncağın, küləşin tərkibində və günəbaxan toxumunun qabıq hissəsində kimyəvi tərkibinə görə d-ksilozanın polimeri hesab edilən *pentozanlar* vardır. Bu birləşmələr həzm sistemində dəyişikliyə uğramır və sorulmur. Lakin onları orqanizmdən kənar, turş mühitdə hidroliz etməklə d-ksiloza almaq mümkündür. L - A r a b i n o z a pentozanların bəzi növlərinin, pektin maddələrinin, bitki qlükozidlərinin, kitrlərin (gilənar jelesi) tərkibində olur. Heyvanlar L-arabino-

zanı zəif mənimsəyir, maya göbələkcikləri isə ona təsir etmir. Digər pentozalardan fərqli olaraq, arabinozanın d-stereoizomerinə təbiətdə nadir hallarda təsadüf edilir.



Çox böyük miqdarda meyvə və meyvə şirəsi qəbul edildikdə sidikdə l-arabinoza aşkar edilir (alimantar pentozuriya). D-arabinoza bəzi bakteriyaların polisaxaridlərinin və bitki qlikozidlərinin bir hissəsinin tərkibində olur. D - r i b o z a və d - d e z o k s i r i b o z a nuklein turşularının və sərbəst nukleotidlərin tərkibinə daxildir. Ribozanın reduksiyası nəticəsində əmələ gələn ribitol spirtinə B₂ vitamininin və bəzi fermentlərin kofermentlərinin (FAD, FMN) tərkibində rast gəlinir.

Heksozalar – bütün canlıların toxumalarında karbohidrat mübadiləsinin ən əsas substratlarıdır. Bunların ən çox yayılmış nümayəndələri d-qlükoza, d-qalaktoza, d-mannoza və d-fruktozadır. Toxumalarda heksozaların çox hissəsi birləşmiş halda (oligo- və polisaxaridlər və qismən fosfat efirləri şəklində) olur. Lakin bunların bir qrupuna sərbəst şəkildə də rast gəlinir.



Qlükoza, fruktoza və mannoza müvafiq fermentlərin və zəif qələvilərin təsiri altında qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilə bilər. Məsələn, qlükoza məhluluna barium-hidroksid – Ba(OH)₂ və ya kalsium-hidroksid –Ca(OH)₂ məhlulu əlavə edildikdən bir müddət sonra məhlulda mannoza və fruktoza aşkar edilir. Mannoza və ya fruktoza məhluluna da zəif qələvilərlə təsir edildikdə eyni dəyişikliklər baş verir. D - q l ü k o z a (üzüm şəkəri, dekstroza) – sərbəst halda meyvələrin (xüsusən üzümün), balın tərkibində olur. Üzüm

şirəsində qlükozanın qatılığı 15%-ə qədərdir; buna görə qlükozaya üzüm şəkəri də deyilir; bundan əlavə, polyarizasiya müstəvisini sağa fırlatdığına görə, heksozaların bu növünə dekstroza da deyilir. Sağlam insanın qanında qlükozanın qatılığı 0,08-0,12% və ya 4,44-6,66 mmol/l olur. Qlükoza nişasta, qlikogen və sellüloza kimi polisaxaridlərin monomeridir. Saxaroza, laktoza və maltozanın (disaxaridlər) və rafinoza adlanan trisaxaridin tərkibində də qlükoza qalıqları olur. Sənayedə qlükozanı kartof və ya qarğıdalı nişastasını hidroliz etmək yolu ilə alırlar.

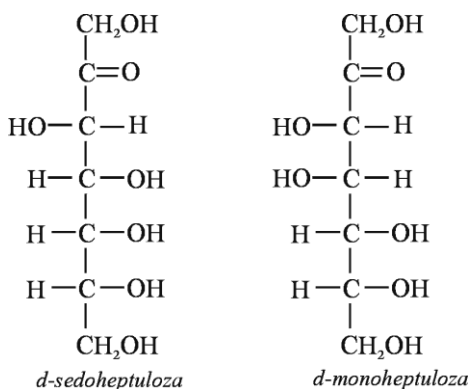
D-f r u k t o z a (meyvə şəkəri, levuloza) – sərbəst halda meyvə şirələrinin, çiçək nektarının və balın tərkibində, birləşmə şəklində isə *polifruktozan* adlanan bitki polisaxaridlərinin (məsələn, inulin) və saxarozanın tərkibində olur; polyarizasiya müstəvisini sola fırlatdığına görə, levuloza adlanır. Fruktozanın fosfat efiqləri insan orqanizmində qlükoza mübadiləsinin aralıq məhsullarından biridir; sənayedə saxarozanın hidrolizindən alınır.

D-q a l a k t o z a – canlı orqanizmlərdə sərbəst şəkildə olmur. Heksozaların bu növünə laktoza və melibioza adlanan disaxaridlərin, rafinozanın (trisaxarid), staxioza və verbaskozanın (oligosaxaridlər), həmçinin bitki və heyvan mənşəli bəzi polisaxaridlərin tərkibində rast gəlinir. Tərkibi yalnız qalaktoza qalıqlarından ibarət olan polisaxarid *qalaktan* adlanır.

D-m a n n o z a – mürəkkəb polisaxaridlər olan bitki seliklərinin və hemisellülozanın tərkibinə daxildir. İnsan və heyvan orqanizmində mannoza qlikoproteinlərin və proteoqlikanların prostetik qruplarının tərkibində müşahidə edilir. Bəzi qram-mənfi tipli bakteriyaların antigenlərinin tərkibində də mannoza aşkar edilmişdir.

Heksozaların təbiətdə nisbətən az rast gəlinən nümayəndələri də vardır. Monodezoksiheksozalar (l-fükoza, l-ramnoza) və didezoksiheksozalar (məsələn, ürək qlikozidlərinin bəzilərinin tərkibində olan d-diqitoksoza) bunlara misal ola bilər. Molekul strukturuna 7 və daha artıq karbon atomu daxil olan monosaxaridlərə ali şəkərlər deyilir. Bunların bitki və heyvan toxumalarında ən çox rast gəlinən növləri **h e p t o z a l a r** – sedoheptuloza və monoheptulozadır.

Sedoheptuloza fotosintez prosesində fosfat efiri şəklində əmələ gəlir; ilk dəfə dovşankələmi bitkisinde müşahidə edildiyinə görə sedoheptuloza adlanır (yunanca: *cedum* – dovşan kələmi).



İnsan orqanizmində karbohidratların pentozafosfat tsikli üzrə oksidləşməsi prosesində də aralıq məhsullarından biri sedoheptulozanın fosfat efiridir. Bəzi bakteriyaların və maya göbələkciklərinin tərkibində d-qlisero-d-mannoheptoza, d-qlisero-d-qlükoheptoza və başqa ali şəkərlər olur. Bir sıra tropik bitkilərin meyvələrində molekulunda səkkiz karbon atomu olan monosaxaridlər – *oktozalar* və doqquz karbon atomuna malik olan monosaxaridlər – *nonnozalar* – aşkar edilmişdir. Bunlar insan və heyvan toxumalarında tapılmamışdır.

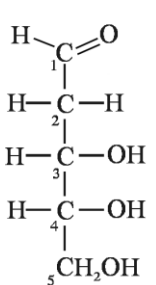
Monosaxaridlərin növlərinin və onların törəmələrinin **nomenklaturasında** müxtəlif prinsiplər əsas götürülür. Onların molekul tərkibində olan karbon atomlarının sayına əsaslanan adları haqqında yuxarıda məlumat verilmişdir.

Monosaxaridlərin elmdə istifadə edilən adlarının əsasını çox vaxt onların neytral növlərinin kortəbii surətdə formalaşmış ümumişlək adları təşkil edir: riboza, ksiloza, qlükoza, qalaktoza, fruktoza kimi terminlər deyilənlərə misal ola bilər. Bu terminlər əsasında müvafiq aminşəkərlərin və karboksil qrupuna malik olan monosaxaridlərin adları düzəldilir. Məsələn, qlükoza və qalaktozanın amin törəmələri müvafiq surətdə qlükozamin və qalaktozamin adlanır; “qlükuron turşusu”, “qalakturon turşusu” kimi terminlər isə həmin monosaxaridlərin turş xassəli törəmələrini (1-ci karbon atomu turşu qrupu şəklində olan törəmələr) ifadə edir.

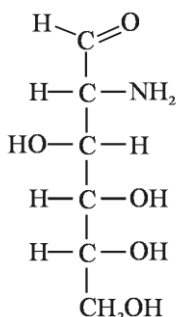
Monosaxaridlərin adlarında olan “oza” sonluğu müvafiq birləşmənin karbohidratlar qrupuna aid olduğunu göstərir, bu sözlərin kökü isə çox vaxt həmin monosaxaridin müəyyən bir xassəsinə əks etdirir; məsələn “fruktoza” sözü bu ad altında nəzərdə tutulan şəkərin meyvə mənşəli olduğunu, qalaktoza isə həmin şəkərin süddən alındığını əks etdirir (yunanca: *fructos* – meyvə, *gala*, *galactos* – süd).

Keton xassəli monosaxaridlərin (ketozalar) adlarına – uloza sonluğu əlavə edilir; bu prinsipə görə, molekuluna 5 karbon atomu daxil olan ketozalar – pentuloza, 6 karbon atomunun birləşməsindən ibarət olan ketozalar – heksuloza adlanır. Bundan əlavə, monosaxaridlərin adları qarışıq prinsip üzrə də düzəldilir, yəni belə adlar bir tərəfdən monosaxaridin aldoza və ya ketoza qrupuna aid olduğunu, digər tərəfdən isə molekul strukturuna daxil olan karbon atomlarının sayını əks etdirir: aldotrioza, ketopentoza və s.

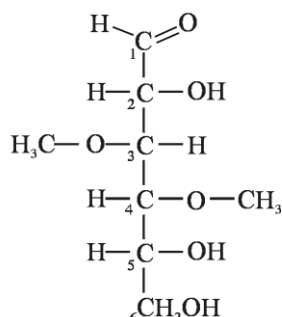
Monosaxaridlərin müxtəlif törəmələrini adlandırmaq üçün onları molekul strukturuna daxil olan karbon atomları aldehid qrupu olan tərəfdən və ya keton qrupunun yaxınlıqda yerləşdiyi tərəfdən nömrələyirlər; yan zəncirə birləşmiş əlavə radikalın adından əvvəl onun rəbitədə olduğu karbon atomunun nömrəsi qeyd edilir və əgər əlavə radikal karbon atomu ilə deyil, başqa atom vasitəsilə birləşsə, onda həmin atomun adı göstərilir. Dezoksişəkərlərin adlarında isə “dezoksi” sözü və oksigenlə rəbitədə olmayan karbon atomunun nömrəsi göstərilir; Məsələn, 2-dezoksiriboza, 3,4-di-0-metilqlükoza, 2-amin-2-dezoksiqlükoza və s.



2-dezoksiriboza



2-amin-2-dezoksi-
qlükoza

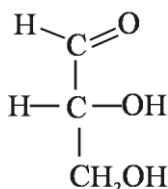


3,4-di-O-metil-
qlükoza

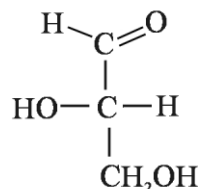
Monosaxaridlərin bütün növləri müxtəlif stereoizomerlər şəklində ola bilər (bu cəhətdən yalnız triozaların bir növü olan dihidroksiaseton müstəsnaıq təşkil edir). Bu, monosaxaridlərin molekullarında asimmetrik karbon atomlarının olması ilə əlaqədardır. Məlumdur ki, *eyni ardıcılıqla yerləşən, lakin fəzadakı mövqeyi bir-birindən fərqlənən atomların birləşməsindən ibarət olan molekullar stereoizomerlər hesab edilir.*

Üzvi maddə molekullarında 4 valentlik vahidinin hər biri müxtəlif kimyəvi radikallarla birləşmiş karbon atomları asimmetrik atomlar adlanır. Hər bir *asimmetrik* karbon atomu müvafiq kimyəvi birləşmənin 2 stereoizomerini törədə bilər. Bunlara d- və l-izomerlər (enantiomerlər) deyilir.

Monosaxaridlərin ən bəsit strukturlu növü olan qliserin aldehidinin (aldotrioz) molekulunda 1 asimmetrik karbon atomu vardır. Buna görə qliserin aldehidi 2 stereoizomer formada ola bilər. Molekulun müstəvi üzərindəki proyeksiyasında –OH qrupu karbon atomundan sağ tərəfdə yerləşən qliserin aldehidi d-izomer, həmin radikalı



d-qliserin
aldehidi



l-qliserin
aldehidi

sol tərəfdə olan qliserin aldehidi molekulu isə l-izomer adlandırılır. Formullarından görüldüyü kimi, bu izomerlər bir-birinin güzgüdəki əksinə bənzəyir (bu işarələr *dextro* – sağ və *laevo* – sol sözlərindən götürülmüşdür).

Aldoza strukturlu tetrozalarda 2, pentozalarda 3, heksozalarda isə 4 asimmetrik karbon atomu olur. Ketozaların molekullarında asimmetrik karbon atomlarının sayı molekul strukturunda eyni sayda karbon atomu olan aldotalardakına nisbətən 1 ədəd az olur. Əgər hər hansı monosaxarid molekulunda olan asimmetrik karbon atomlarının sayını n-lə işarə etsək, onun törədə biləcəyi stereoizomerlərin sayını $N=2^n$ düsturu ilə hesablaya bilərik (burada N-stereoizomerlərin sayını göstərir). Beləliklə, aydın olur ki, aldotriozaların 2, aldotetrozaların – $4(2^2)$, aldopentozaların $2^3=8$, aldohexozaların $2^4=16$ stereoizomeri ola bilər. Ketozaların molekullarında asimmetrik karbon atomlarının sayı aldotalardakından 1 ədəd az olduğuna görə, ketotriozalarda belə atom olmur; ketotetrozalarda 1, ketopentozalarda 2, ketoheksozalarda isə – 3 asimmetrik karbon atomu olur. Deməli onların stereoizomerlərinin sayı müvafiq surətdə 2, 4 və 8 olmalıdır.

Aralarındakı fərqlər yalnız eyni bir karbon atomuna birləşən radikalların

fəzadakı mövqeyinin fərqli olması nəticəsində yaranan stereoizomerlərə *enantiomerlər* deyilir. Yəni qliserin aldehidinin d- və l- formaları bir-birinin enantiomerləridir. Monosaxaridlərin enantiomer xassəsinə malik olmayan stereoizomerlərinin (diastereoizomerlər) sayı daha çox olur və onlar kimyəvi və fiziki xassələrinə (o cümlədən həllolma qabiliyyətlərinə, ərimə və qaynama temperaturlarına) görə bir-birindən daha çox fərqlənirlər. Belə stereoizomerlərin molekullarında karbon atomları zəncirlərinin müxtəlif səviyyələrinə birləşən kimyəvi radikallar bir-birindən fərqlənən fəza strukturuna malik olur. Məsələn, d-qlükoza l-qlükozanın enantiomeri, aldeheksozaların digər 14 növünün (l- və d- qalaktoza, l- və d- mannoza və s.) isə *diastereoizomeridir*.

Canlı orqanizmlərdə monosaxaridlərin əksəriyyətinin d-stereoizomerləri olur. Bu baxımdan l-arabinoza, nadir hallarda təsadüf edilən bakteriya mənşəli monosaxarid – l-ramnoza və bitki monosaxaridi – l-sorboza müstəsnaqlıq təşkil edir.

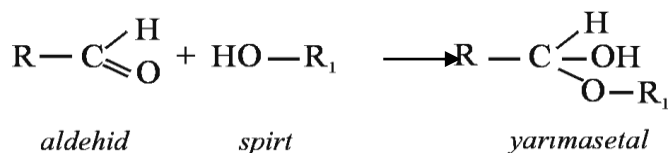
Müxtəlif xiral mərkəzlərindən (yəni asimmetrik mərkəzlərin ətrafındakı konfigurasiyaları fərqli olan sahələrdən) birinə görə fərqlənən üzvi maddələr *epimerlər* adlanır. Məsələn qlükoza ilə qalaktoza və qlükoza ilə mannoza bir-birinin epimerləridir. Bir epimerin digərinə çevrilməsi *epimerləşmə reaksiyası* adlanır.

Bütün monosaxaridlər optik-fəal maddələrdir. Yəni onların hamısının məhsulları polyarimetrdə işıq şüasının istiqamətini sağ və ya sol tərəfə dəyişmək (fırlatmaq) xassəsinə malikdir. Qeyd etmək lazımdır ki, monosaxaridlərin optik fəallığının stereoizomerliklə birbaşa əlaqəsi yoxdur; bəzi d-izomerlər polyarizasiya müstəvisini sola, l-izomerlər isə sağa fırlada bilər. Məsələn, d-qliserin aldehidi polyarizasiya müstəvisini sağa, l-qliserin aldehidi isə sola fırladır, bunların əksinə olaraq, təbiətdə rast gəlinən d-fruktoza polyarizasiya müstəvisini sola fırladan izomerdir. Buna görə monosaxaridlərin adlarında optik fəallıq xassələrini də əks etdirmək üçün d- və l- işarələrindən sonra onların polyarizasiya müstəvisini sağa və ya sola fırlatdığını göstərmək məqsədilə, müvafiq surətdə (+) və ya (-) işarəsi yazılır: d(+)-qliserin aldehidi, l(-)-qliserin aldehidi, d(+)-qlükoza, d(-)-fruktoza və s.

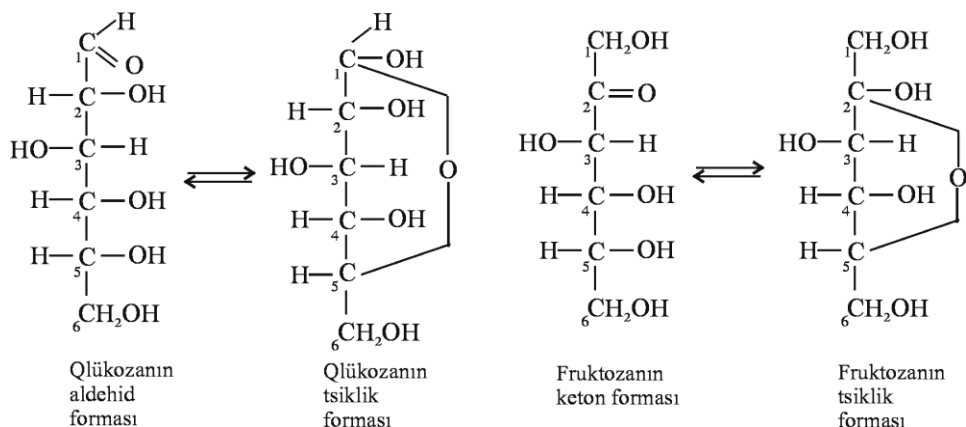
Monosaxaridlərin molekul strukturunun düzxətli karbon atomları zəncirindən və yan radikallardan ibarət olan formulunu 1906-cı ildə E.Fişer təklif etmişdir. Bu formullar monosaxaridlərin stereoizomer formalarının və ümumi xassələrinin nümayiş etdirilməsi üçün əlverişlidir. Lakin monosaxaridlərin düzxətli molekul strukturları onlara aid olan bəzi reaksiyaları və m u t o r o t a s i y a hadisəsini özündə əks etdirmir.

M u t o r o t a s i y a h a d i s ə s i dedikdə, məhlul halında saxlanan monosaxaridin optik fəallığının tədricən dəyişməsi nəzərdə tutulur. Məsələn, təzə hazırlanmış qlükoza məhlulu polyarizasiya müstəvisinin istiqamətini $+112,2^\circ$ dəyişdirdiyi halda, uzun müddət saxlanmış həmin məhlulun xüsusi fırlatma göstəricisi $+52,5^\circ$ -yə enir. Ümumiyyətlə, d(+)-qlükozanın xüsusi fırlatma göstəricisi $+130^\circ$ və $+19^\circ$ olan iki forması aşkar edilmişdir. Mutorotasiya hadisəsi isə bu formaların qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilməsi ilə izah edilir; 1870-ci ildə A.A.Kolli belə bir fərziyyə irəli sürmüşdür ki, qlükozanın açıq strukturundan başqa, qapalı (tsiklik) strukturu da ola bilər. 1883-cü

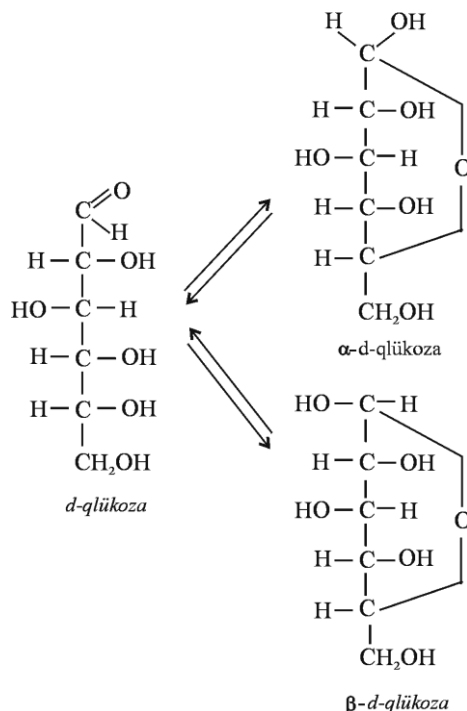
İldə B.Tollens A.Kollinin nəzəriyyəsinə təcrübələrlə əsaslandırılmışdır. Bu nəzəriyyə aldehydlərin spirtlərlə aşağıdakı tənlik üzrə reaksiyaya girərək yarımasetal əmələ gətirməsi hadisəsinə əsaslanır.



Monosaxaridlərin hər bir molekulunda həm karbonil (C=O), həm də hidroksil (-OH) qrupları olduğuna görə, onlarda yuxarıda göstərilən reaksiya 1 molekul daxilində də baş verə bilər.

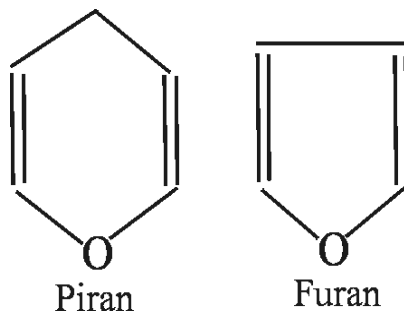


Qlükozanın tsiklik formasının molekulunda aldehyd formadan fərqli olaraq, 5 asimmetrik karbon atomu vardır. Onun molekulunun tsiklik yarımasetal formaya çevrilməsi zamanı baş verən dəyişiklik polyarizasiya müstəvisinin fırlanma bucağının dəyişməsinə izah etməyə imkan verir. Bu proses zamanı qlükoza molekulunda əmələ gələn əlavə asimmetrik mərkəz 2 yeni izomerin, yəni α - və β -izomerlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Belə izomerlərin fərqli cəhətləri monosaxaridin karbonil qrupu ilə əlaqədar olduğuna görə, onlara *anomərlər* deyilir (yunanca – “ano”-“yuxarı tərəf” sözündən), çünki adətən monosaxarid molekulunun struktur formulalarının karbonil qrupu olan hissəsi yuxarı tərəfdə yazılır. Beləliklə, α - və β -izomerlərin strukturunda birinci karbon atomu ilə birləşən hidrogen atomlarının və yarımasetal hidroksil qrupunun fəza konfigurasiyası bir-birindən



fərqlənir. Buna görə məhlulda qlükozanın (və digər monosaxaridlərin) qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilə bilən 3 forması ola bilər. Anomerlərin α - və ya β -qrupuna aid olduğunu yarımasetal hidroksili ilə molekulda olan sonuncu asimmetrik karbon atomuna birləşmiş hidroksil qrupunun fəzadakı mövqeyinə görə müəyyənləşdirirlər. Onlar molekul zəncirinin bir tərəfində (sis-vəziyyətdə) olduqda monosaxarid α -izomerlər qrupuna, müxtəlif tərəflərdə (trans-vəziyyətdə) yerləşdikdə isə β -izomerlər qrupuna aid edilir. Anomerlərin əmələ gəlməsində iştirak edən karbon atomları – yarımasetal (ketozalarda yarımketal) və ya anomer karbon atomları, əmələ gələn hidroksil qrupları isə yarımasetal və ya qlikozid hidroksilləri adlanır.

N.N.Xeuors monosaxaridlərin tsiklik strukturlarını təsvir etmək üçün nisbətən əlverişli olan üsul təklif etmişdir. Onun təklifinə görə, struktur düsturlarının tsiklik hissəsində karbon atomları yazılmır və monosaxaridin molekul strukturu şərti olaraq, yastı formada təsvir edilir; karbon zəncirinin müşahidəçiyə yaxın tərəfdə yerləşən (qabarıq) hissəsi qalın xətlə işarə edilir; hidroksil qrupları isə müvafiq karbon atomunun konfigurasiyasından asılı olaraq, molekulun səthindən ya yuxarıda, ya da aşağıda yazılır.

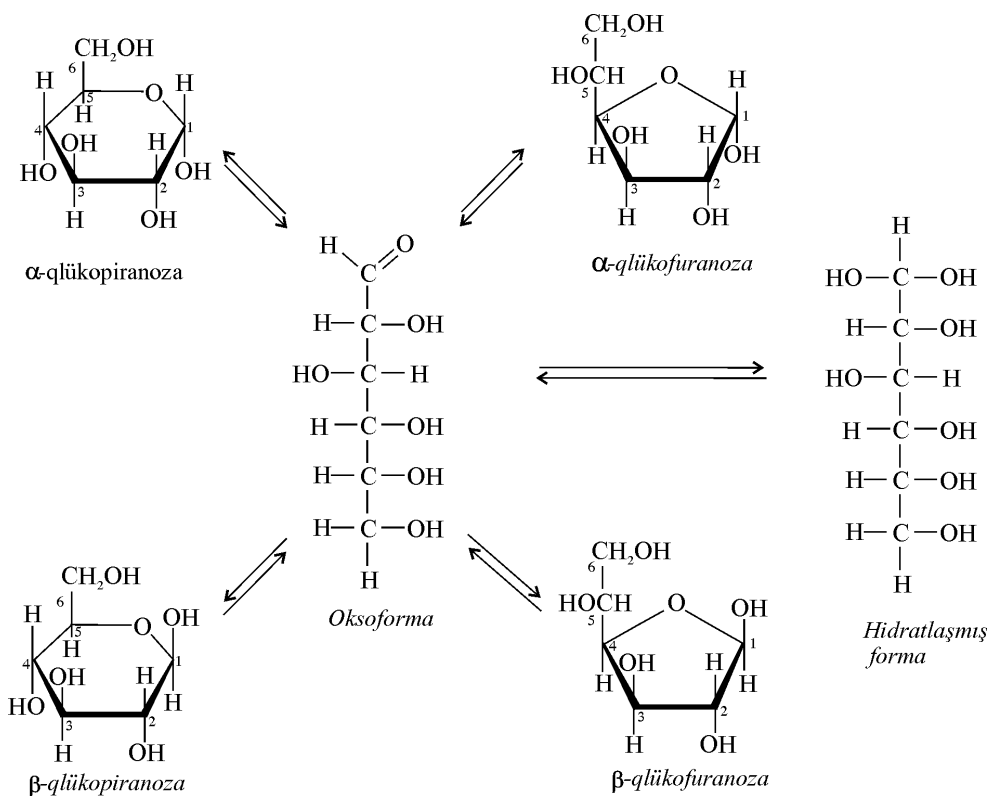


Monosaxaridlər yarımasetal strukturunun əmələ gəlməsində hansı karbon atomlarının iştirak etdiyindən asılı olaraq, altüzlü və beşüzlü tsiklik formalar törədə bilirlər. Bunlardan birincisi altüzlü tsiklik efir olan piranın, ikincisi isə beşüzlü tsiklik efir olan furanın strukturuna oxşayır. Buna görə, həmin formalara *piranoz* və *furanoz* formalar deyilir.

Xeuors üsulu üzrə struktur formulları yazıldıqda 1-ci karbon atomu ilə rabitədə olan hidroksil qrupu α -formalı molekul üçün tsiklik müstəvinin aşağısında, β -forma üçün yuxarı tərəfində yazılır.

Adətən pentozaların əksəriyyəti furanoz struktura malik olur. Heksozalar həm piranoz, həm də furanoz formada ola bilər. Lakin bunlar arasında piranoz formanın sayı üstünlük təşkil edir. Ümumiyyətlə, kristal vəziyyətdə olan şəkərlər tsiklik yarımasetal strukturuna malikdir. Sulu məhlulda isə onlar müxtəlif tautomer formada olur. Məsələn, qlükozanın sulu məhlulunda 2 növ piranoz (α -və β -), 2 növ furanoz (α -və β -) forma və atsiklik qlükoza molekulları olur və bu formaların hamısı atsiklik forma (okso-forma) vasitəsilə qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilə bilər (sxem 2.1.).

Qlükoza sulu məhlullarda əsasən α - və β -qlükopiranoz formada olur; onun α - və β -qlükofuranoz forması nisbətən az, aldehid forması (okso-forma) isə daha az – yalnız 1%-ə qədər ola bilər. Sərbəst şəkildə isə qlükozanın yalnız α -və β -piranoz formalarına rast gəlinir, furanoz və aldehid formaları isə qeyri-sabit olduqlarına görə sərbəst şəkildə qalmır.



Sxem 2.1. Su məhlulunda qlükozanın müxtəlif formalarının qarşılıqlı çevrilmələri

Ketoheksozaların molekullarında karbonil qrupu ilə 5-ci və ya 6-cı karbon atomuna birləşən hidrosil qrupları arasında yarımketal rabitəsi yarana bilər. Birinci halda furanoz, ikinci halda isə piranoz forma əmələ gəlir. Heksoza və pentozaların piranoz formaları furanoz formalara nisbətən sabit birləşmələrdir. Buna görə məhlulda həmişə piranoz formaların miqdarı üstünlük təşkil edir. Lakin oliqo- və polisaxaridlərin tərkibində heksozaların furanoz formalarına da rast gəlinir. Məsələn, saxarozanın tərkibində fruktoza furanoz formada olur.

Yuxarıda göstəriləni kimi, monosaxaridlərin fiziki və kimyəvi xassələrində olan fərqlər onların tsiklik formalarının adi aldehid və ketonlardan fərqlənən struktur əldə etməsi ilə əlaqədardır. Mutarotasiya (latınca: *muto-dəyişdirirəm+retatio*-çevirmə və ya fırlatma, çevirərək fırlatma) və ya multirotasiya (latınca: *multirotatia* – çoxlu fırlanma) hadisəsinin bu fərqlə əlaqədar olduğu haqqında yuxarıda məlumat verilmişdir. Bundan əlavə, monosaxaridlərin kimyəvi xassələrində onları aldehid və ketonlardan fərqləndirən əlamətlər də vardır. Bunlara aşağıdakılar aiddir:

1. Tsiklik formalı monosaxaridlərin molekullarında sərbəst karbonil qrupu olmadığına görə, onlar aldehidlərə xas olan bəzi rəngdəyişmə reaksiyalarına girə bilmirlər;

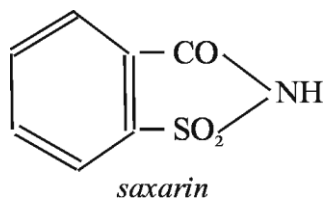
2. Digər hidrosil qruplarından fərqli mövqə tutan yarımketal hidrosilləri spirtlərlə qeyri-sabit efir törəmələri əmələ gətirirlər;

3. Hər monosaxarid növünün d-və l- formaları 2 izomer şəklində (α - və β -) ola bildiyinə görə, 4 növ birləşmə əmələ gətirə bilər.

Monosaxaridlərin piranoz və furanoz formaları kağız üzərində yastı şəkildə təsvir edilsə də, təbii şəraitdə bu təsvirlərdən fərqlənir. Əslində bu molekullarda olan atomların bir-birilə qarşılıqlı münasibətləri sayəsində yaranan müxtəlif konformasiyaları vardır. Məsələn, piranoz strukturlu molekulların müxtəlif formaları qayıq və kreslo adlanan 2 qrupa bölünür. Qayıq formalılar “B” hərfi ilə (ingiliscə: *boat* – qayıq), kreslo formalılar isə “C” hərfi ilə (ingiliscə: *chair* – kreslo) işarə edilir; bunlardan birincisinin 6, ikincisinin 2 növü vardır (bu formalar haqqında tibb universitetinin tələbələrinə “Üzvi kimya” kursunda izahat verilir).

2.2.1. MONOSAXARİDLƏRİN FİZİKİ VƏ KİMYƏVİ XASSƏLƏRİ

Monosaxaridlər – rəngsiz, kristalşəkili, bərk maddələrdir; suda yaxşı həll olur; üzvi həlledicidə isə ya çətinliklə həll olur, ya da həll olmurlar. Bütün monosaxaridlər – şirin dadlı maddələrdir. Lakin onların şirinliyi bir-birindən fərqlənir. Əgər saxarozanın şirinliyini 100% hesab etsək, onunla müqayisədə fruktozanın şirinliyi 17,3%, qlükozanın, ksilozanın və laktozanın şirinliyi isə müvafiq surətdə 74%, 40% və 16% olar. Şirin dadlı maddələr olduğuna görə, monosaxaridləri və disaxaridləri *şəkərlər* adlandırırlar. Lakin üzvi maddələrin şəkərlər qrupuna daxil edilməsi yalnız onların şirin dadları ilə deyil, həm də karbohidratlar qrupuna aid olması ilə əlaqədardır. Məsələn, kimyəvi strukturuna görə karbohidratlardan fərqlənən saxarinin şirinliyi saxarozaya nisbətən 500 dəfə artıqdır. Halbuki bu üzvi maddə şəkər hesab edilmir.

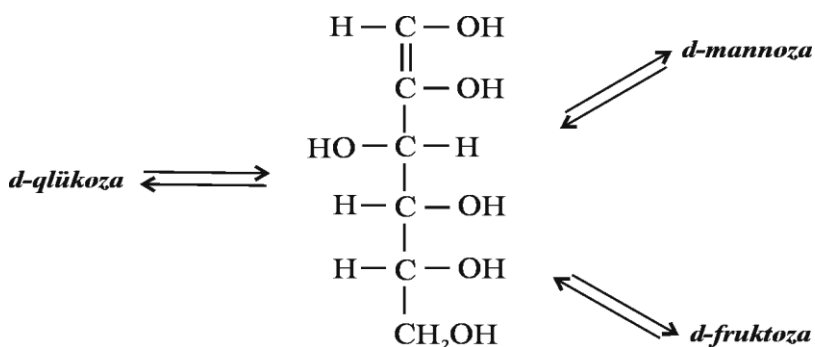


Monosaxaridlərin suda məhlulları neytral reaksiyalı olur.

Monosaxaridlərin kimyəvi xassələri. Monosaxaridlər qələvilərin, turşuların, oksidləşdirici və reduksiyaedici maddələrin təsiri altında müxtəlif xarakterli dəyişikliklərə uğrayırlar. Əksər hallarda monosaxaridlər bir növ kimyəvi maddə ilə cürbəcür reaksiyalar verir. Bu, bir tərəfdən monosaxaridlərin molekul strukturunda müxtəlif kimyəvi radikallar olması ilə, digər tərəfdən isə su məhlullarında monosaxaridlərin müxtəlif formalara çevrilə bilməsi ilə əlaqədardır.

Monosaxaridləri zəif qələvi məhlulları [$\text{Ca}(\text{OH})_2$; $\text{Ba}(\text{OH})_2$ və s.] ilə qarışdırıb, uzun müddət otaq temperaturunda saxladıqda onların molekullarında olan anomer hissə ilə və həmin hissənin qonşuluğunda yerləşən karbon atomları ilə birləşmiş kimyəvi qruplar arasında yerdəyişmə reaksiyası baş verir, digər karbon atomları isə dəyişikliyə uğramır. Yəni bu zaman *epimerləşmə* reaksiyası baş verir. Bu reaksiya heksozalar üçün xüsusilə səciyyəvidir.

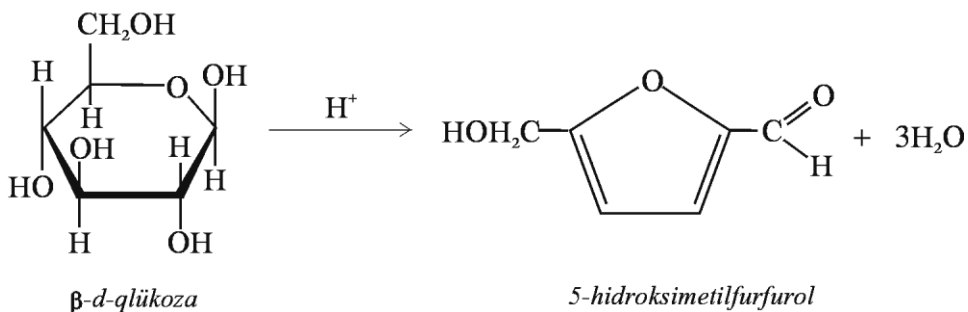
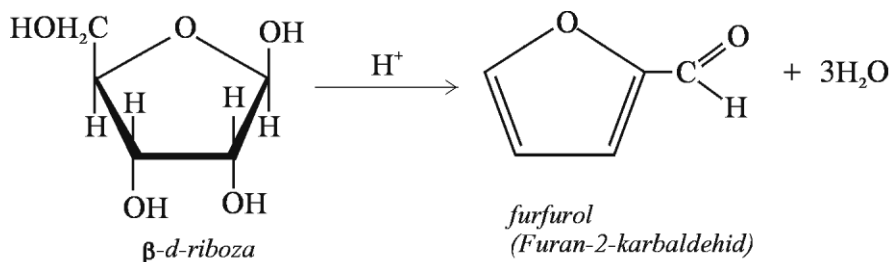
Epimerləşmə prosesinin ilk mərhələsində heksozaların geniş yayılmış 3 növü (qlükoza, fruktoza və mannoza) üçün ümumi olan *enolform* əmələ gəlir. Bundan sonra dönər kimyəvi reaksiyalar sayəsində heksozaların digər epimer formaları əmələ gəlir. D-qlükoza məhluluna əhəng suyu əlavə edib, otaq temperaturu şəraitində saxladıqda 5 gündən sonra həmin məhlulda 63,5% d-qlükoza, 34% d-fruktoza və 2,5% d-mannoza aşkar edilir.



Heksozaların enol forması

Aldozaları duru qələvi məhlulları ilə birlikdə qaynatdıqda və ya onları qatı qələvi məhlulları ilə qarışdırdıqda molekul daxili dəyişikliklər, fraqmentasiya və polikondensasiya reaksiyaları baş verir, nəticədə müxtəlif kimyəvi birləşmələr, o cümlədən süd turşusu, formiat turşusu və qummin maddələri əmələ gəlir. Bu zaman məhlul şəkərin qatılığından asılı olaraq, sarı rəngdən tünd qəhvəyi rəngə qədər müxtəlif rəng çalarları əldə edilir. Sidikdə şəkəri təyin etmək məqsədilə istifadə edilən *Althausen sınağı* bu reaksiyaya əsaslanır.

Monosaxaridlər q e y r i - ü z v i turşuların zəif məhlullarının təsirinə qarşı davamlı olur, lakin qatı turşu məhlulları ilə birlikdə qızdırıldıqda dehidratasiyaya uğrayır, reaksiya nəticəsində tsiklik aldehydlər (furfurallar) əmələ gəlir; pentozaların dehidratasiyasının məhsulu furfurool, heksozaların eyni reaksiyasının məhsulu isə oksimetilfurfurool adlanır.



Furfurallar fenol törəmələri (α -naftol, rezorsin, anilin, difenilamin və s.) ilə reaksiyaya girərək, rəngli maddələr əmələ gətirirlər; məsələn, furfurool məhluluna anilin əlavə edildikdə, 5-hidroksimetilfurfurool isə rezorsinlə qarışdırıl-

dıqda məhlul qırmızı rəngə boyanır. Birinci reaksiyadan pentozaların vəsfi analizində istifadə edilir. Ketoheksozalar dehidratasiya reaksiyasına aldoheksozalara nisbətən sürətlə girir və reaksiya mühitinə rezorsin əlavə edildikdə nisbətən tez müddətdə rəngdəyişmə müşahidə edilir; fruktozanı təyin etmək üçün istifadə edilən Selivanov sınağı ketoheksozaların dehidratasiya reaksiyasının sürətli olmasına əsaslanır.

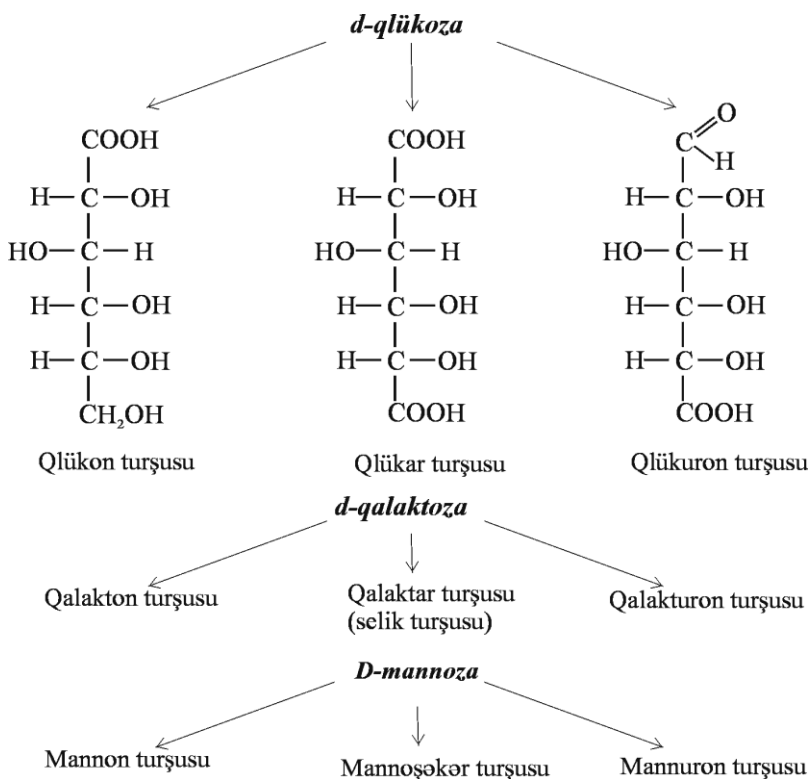
Monosaxaridlərin iştirakı ilə gedən reaksiyaların bir qrupu onların *karbonil radikallarının* xassələri ilə əlaqədardır. Məlumdur ki, kristal halında olan preparatların və məhlulların tərkibində monosaxaridlərin sərbəst karbonil qrupuna malik olan (düzxətli) tautomer forması cüzi miqdarda olur. Lakin tautomerləşmə prosesinin dönərliyi sayəsində aldoza strukturlu monosaxaridlər aldehidlərə, ketozalar isə ketonlara xas olan bütün reaksiyalara girə bilirlər. Məsələn, aldehidlərin bütün nümayəndələri kimi, qlükoza da gümüş-nitratla və Felinq mayesi ilə reaksiyaya girir. Bu reaksiyalar qızdırılma şəraitində baş verir. Hər iki reaksiyada qlükoza molekulunda olan aldehid qrupu oksidləşərək, karboksil qrupuna ($-\text{COOH}$) çevrilir və nəticədə qlükon turşusu əmələ gəlir. Birinci reaksiya sınaq şüşəsində aparıldıqda ayrılan gümüş şüşənin dibinə çökərək, nazik güzgü təbəqəsi əmələ gətirir (gümüş-güzgü reaksiyası). İkinci reaksiyada istifadə edilən Felinq reaktivi mis-2-hidroksidin seqn et duzu ilə qarışıq məhlulüdür. Bu reaktivlə aparılan reaksiya zamanı mis-2-hidroksid qlükozanı oksidləşdirir, özü isə reduksiyaya uğrayıb, mis-1-hidroksidə (CuOH) çevrilir. Bu birləşmə isə asanlıqla mis-1-oksiddə (Cu_2O) və suya parçalanır; nəticədə maye sarı və ya narıncı rəngə boyanır və sınaq şüşəsinin divarına kərpici rəngli mis-1-oksiddə çökür. Felinq reaktivi ilə qlükozanın rəngdəyişmə ilə müşayiət edilən reaksiyasından sidikdə şəkəri aşkar etmək məqsədilə istifadə edilir. Bu məqsədlə Felinq reaktivinin əvəzinə Nilander reaktivindən də (bismut-nitrat – 2 q, seqnet duzu – 4 q, natrium-hidroksid – 10 q, distillə edilmiş su – 100 ml) istifadə etmək olar. Bu reaktiv aldozalarla birlikdə qızdırıldıqda qara rəngli çöküntü alınır.

Monosaxaridlərin oksidləşmə reaksiyalarının nəticəsi oksidləşdirici amilin qüvvəsindən asılıdır. Aldoheksozaların oksidləşməsindən əmələ gələn məhsulların bioloji əhəmiyyəti böyük olduğuna görə, aşağıda onlar haqqında məlumat veririk.

Aldozaları $t u r \dot{s} m \ddot{u} h i t d \grave{e}$ oksidləşdirdikdə əmələ gələn şəkər turşularını 3 qrupa bölmək olar: aldondan, aldar və alduron turşuları (sxem 2.2.).

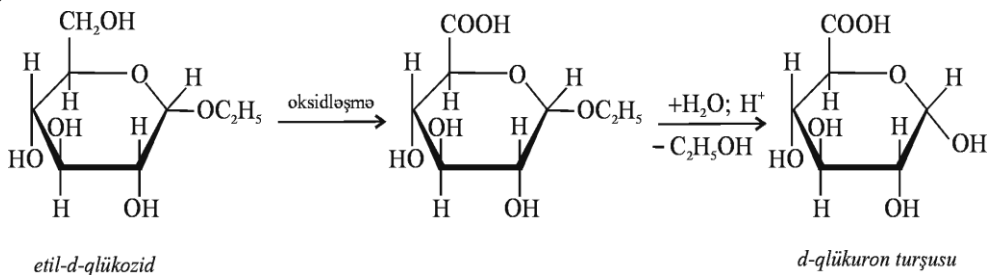
Aldozalar zəif oksidləşdiricilərin və ya spesifik fermentlərin təsiri altında oksidləşdikdə aldondan turşuları əmələ gəlir. Bu şəraitdə qlükoza qlükon turşusuna, mannoza mannan turşusuna çevrilir. 2.2.-ci sxemdən göründüyü kimi, aldondan turşuları aldozaların aldehid qruplarının oksidləşməsinin məhsullarıdır. Bunlardan qlükon turşusu orqanizmdə karbohidratların pentozafosfat yolu ilə oksidləşməsi prosesinin aralıq mərhələlərində fosfat efiri şəklində əmələ gəlir. Qlükon turşusunun kalsium duzundan tibbdə dərman maddəsi kimi istifadə edilir.

Aldozalara güclü oksidləşdiricilərlə (məsələn, nitrat turşusu ilə) təsir edildikdə onların molekullarının uc hissələrində yerləşən aldehid və birli spirt qrupları oksidləşir, əmələ gələn dikarbon turşularına ümumi şəkildə *aldar turşuları* deyilir. Belə oksidləşmə reaksiyası zamanı d-qlükozadan d-qlükər

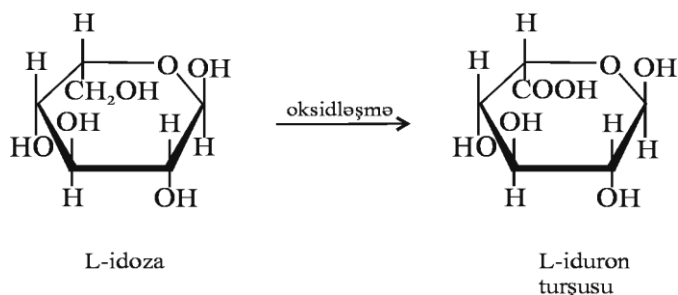


Sxem 2.2. Aldohexozaların oksidləşmə məhsulları

turşusu, d-qalaktozadan d-qalaktar (və ya selik) turşusu, d-mannozadan d-mannoşəkər turşusu əmələ gəlir. Bu turşuların bioloji əhəmiyyəti çox böyük deyil. Onlardan fərqli olaraq, aldozaların oksidləşmə məhsullarının üçüncü qrupu – alduron turşuları bir sıra mühüm biokimyəvi proseslərdə iştirak edir. Alduron (və ya uron) turşularının molekullarında aldehid qrupu dəyişikliyə uğramamış şəkildə qalır, birli spirt qrupu isə oksidləşərək, karboksil qrupuna çevrilir. Sərbəst monosaxaridlərin aldehid qrupları oksidləşdiricilərin təsirinə daha həssas olduğuna görə, adi şəraitdə uron turşularının əmələ gəlməsi mümkün deyil. Bunları əldə etmək üçün karbonil qrupunu oksidləşdirici amilin təsirindən mühafizə edən birləşmələrdən istifadə edilir. Məsələn, əvvəlcə aldozaların spirtlərlə reaksiyasından istifadə etməklə, qlikozidlər əldə edilir. Qlikozidlər oksidləşdirici amilin təsirinə məruz qaldıqda, onların tərkibində olan monosaxaridin birli spirt qrupu karboksil radikalına qədər oksidləşir. Əmələ gəlmiş birləşməni hidroliz reaksiyasına uğratmaqla, uron turşusunu sərbəst vəziyyətə gətirmək olar.



Uron turşularının bir sıra növləri insan və heyvan orqanizmlərində geniş yayılmış heteropolisaxaridlərin tərkibinə daxildir. Məsələn, heparinin tərkibində d-qlükuron və l-iduron turşuları olur. L-iduron turşusu l-idozanın oksidləşmə məhsuludur. Bu turşu hialuron turşusunun və xondroitinsulfatların (birləşdirici toxumanın ara maddəsində olan heteropolisaxarid) tərkibinə daxildir.

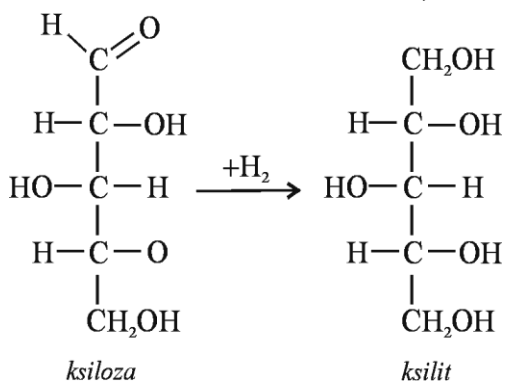


Uron turşuları (xüsusən, qlükuron turşusu) orqanizmdə toksik təsiri maddələrin zərərsizləşdirilməsi üçün istifadə edilir. Bir sıra toksik təsiri maddələr və dərman preparatları qaraciyərdə qlükuron turşusu ilə birləşdikdən sonra həll olan birləşmələrə (qlükuronidlərə) çevrilərək, sidinin tərkibində orqanizmdən xaric edilir. Meyvə və giləmeyvələrin tərkibində olan pektin maddələri d-qalakturon turşusunun polikondensasiya məhsullarıdır.

Aldozaları qələvi mühitdə oksidləşdirdikdə əvvəl aldon turşuları əmələ gəlir, sonra həmin məhsulların karbon skeleti parçalanır və yüksək reduksiyaedicilik xassəsinə malik olan bir sıra məhsullar yaranır. Bu birləşmələr oksidləşdiricilik qabiliyyəti zəif olan müxtəlif birləşmələri (mis-2-oksid, gümüş-nitrat və s.) asanlıqla reduksiya uğradır. Bu dəyişikliklər aldozalarla gümüş-nitrat və Felinq reaktivi arasında gedən reaksiyaların mərhələlərinin əsasını təşkil edir (bu haqda yuxarıda məlumat verilmişdir).

Ketozalar həm turş, həm də qələvi mühitdə oksidləşdirici amillərin təsirinə uğradıldıqda, onların karbon zəncirləri parçalanır və müxtəlif tərkibli xırdamolekullu törəmələr əmələ gəlir.

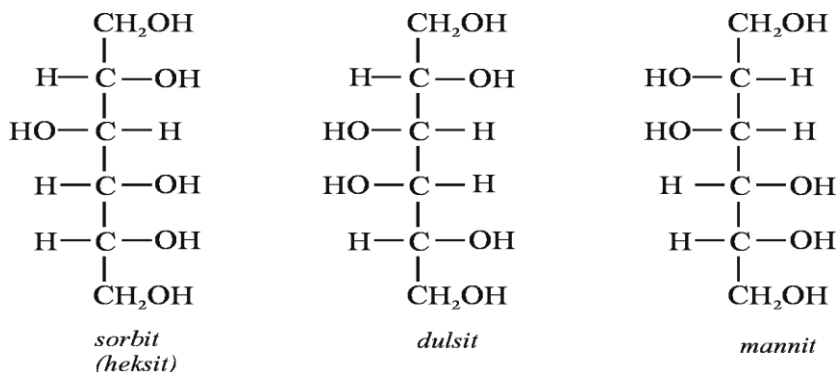
Monosaxaridlərin reduksiyası. Monosaxaridlər katalizator funksiyası daşıyan nikel və ya palladiumun iştirakı şəraitində hidrogenlə reaksiyaya girərək, molekul zəncirində karbonil qrupunun yerləşdiyi hissədən reduksiya uğrayırlar. Bu zaman çoxatomlu spirtlər əmələ gəlir. Bu spirtlərin adları onların əmələ gəlməsinə başlanğıc verən monosaxaridin adının kökünə – it şəkilçisi əlavə edilməklə düzəldilir: ksilit, mannit və s.



Monosaxarid törəmələri olan çoxatomlu spirtlər şirin dadlı, suda yaxşı həll olan, kristalşəkilli maddələrdir. Onların bəzilərindən (ksilit, sorbit) şəkərli diabet xəstəliyi zamanı şəkərlərin əvəzedicisi kimi tətbiq edilir. Heksozaların reduksiya edilməsi zamanı əmələ gələn altıatomlu spirtlərdən tibb praktikasında daha geniş istifadə edilir. Hidrogenləşmə zamanı d-qlükozadan

sorbit, d-mannozadan *mannit*, d-qalaktozadan *dulsit* adlanan altıatomlu spirt əmələ gəlir. Fruktosa reduksiyaya uğradıldıqda d-mannitlə d-sorbitin ekvilyar qarışığına çevrilir. Çünki fruktozanın ikinci karbon atomu hidrogenləşmə zamanı asimmetrik vəziyyət əldə edir.

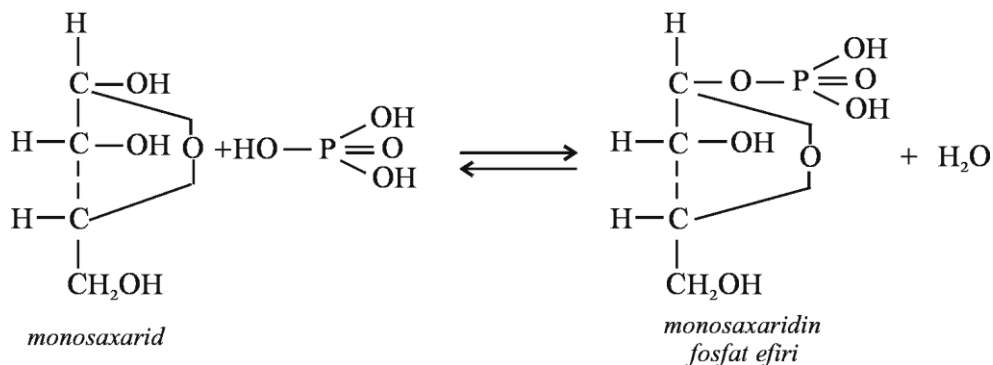
Altıatomlu spirtlərin növlərindən olan sorbitdən pəhriz ərzağı kimi, mannitdən isə dərman maddəsi kimi istifadə edilir. Mannitin hipertonic məhlulları qan damarlarına yeridildikdə güclü diuretik təsir göstərir (qanın osmos təzyiqinin artması ilə əlaqədar). Buna görə mannit böyrək çatışmazlığı, beyin ödemisi və müxtəlif mənşəli intoksikasiyalar zamanı müalicəvi təsir göstərir.



2.2.2. MONOSAXARİDLƏRİN KİMYƏVİ TÖRƏMƏLƏRİ

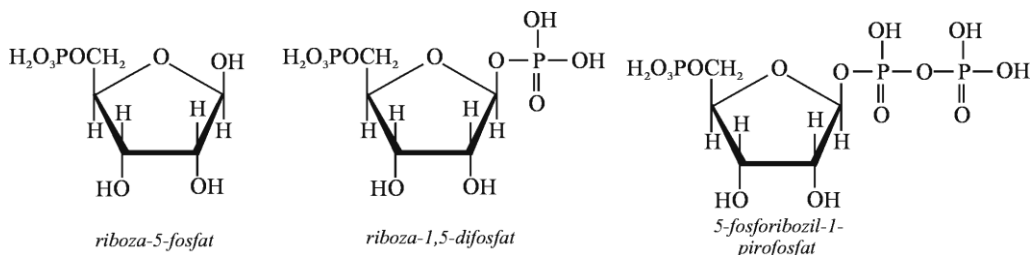
Monosaxaridlərə orqanizmin toxumalarının tərkibində həm sərbəst şəkildə, həm də müxtəlif kimyəvi birləşmələrin tərkibində rast gəlinir. Onların müxtəlif törəmələri maddələr mübadiləsinin aralıq mərhələlərində əmələ gəlir, sonra isə ya katabolizmə uğrayaraq, orqanizmin enerji ilə təminatında iştirak edir, ya da daha irimolekullu maddələrin sintezinə sərf edilirlər. Orqanizmdə geniş yayılmış monosaxarid törəmələrinin əsas qrupları aşağıdakılardır.

1. Monosaxaridlərin fosfat efirləri – maddələr mübadiləsində mühüm rol oynayan birləşmələrdir. Bu efirlərin əmələ gəlməsini sxematik şəkildə aşağıdakı kimi təsvir etmək olar.



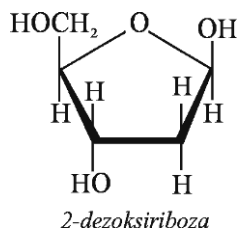
Triozalar heyvan toxumalarında maddələr mübadiləsinin aralıq mərhələlərində yalnız fosfat efirləri şəklində əmələ gəlir. *Tetrozaların* və *heptozaların*

fosfat efrirlərinin (eritroza-4-fosfat, sedoheptuloza-7-fosfat) bir sıra biokimyəvi proseslərdə mühüm rolu olduğu sübut edilmişdir. *Pentozaların* (xüsusən riboza və dezoksiriboza) fosforlu birləşmələri bioloji cəhətdən çox böyük əhəmiyyəti olan nuklein turşularının tərkibinə daxildir. Ribozanın fosforlu törəmələrindən riboza-5-fosfat, riboza-1,5-difosfat və 5-fosforibozil-1-pirofosfat purin və pirimidin əsaslarının biosintezinin aralıq məhsullarıdır. Bunlardan birincisi orqanizmdə qlükozanın pentozamono-fosfat tsikli üzrə oksidləşməsi prosesində yaranır və digər iki fosforlu efrin sintezi üçün ilkin substrat funksiyası daşıyır.

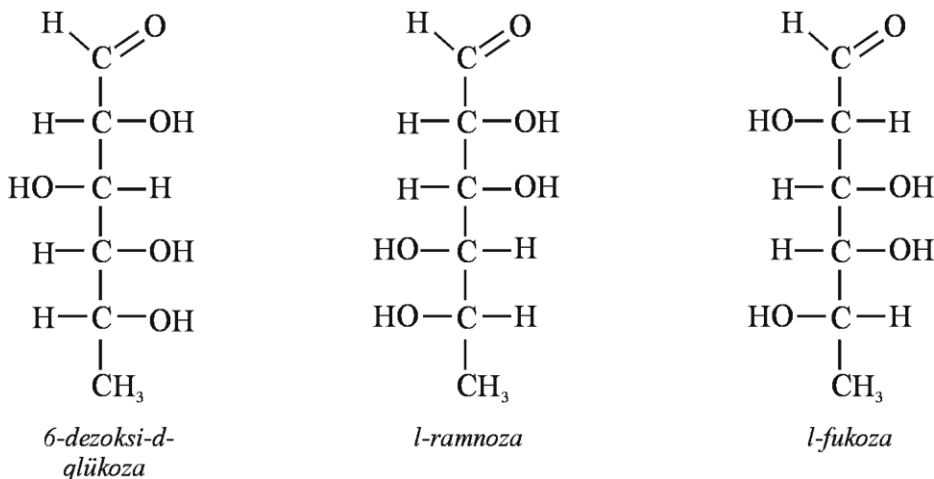


Heksozaların mono- və difosfat efrirlərinin maddələr mübadiləsində mühüm rolu vardır. Bunlardan qlükoza-1-monofosfat, qlükoza-6-monofosfat, qlükoza-1,6-difosfat, fruktoza-6-monofosfat və fruktoza-1,6-difosfat efrirlərinə insan və heyvan toxumalarında daha çox rast gəlinir.

2. Dezoksişəkərlər – hidrosil qruplarından biri və ya bir neçəsi hidrogen atomu ilə əvəz edilmiş monosaxaridlərdir. Təbiətdə (canlı orqanizmlərdə) dezoksialdozalar dezoksiketozalara nisbətən çox yayılmışdır. Bunların ən mühüm nümayəndəsi 2-dezoksiribozadır.

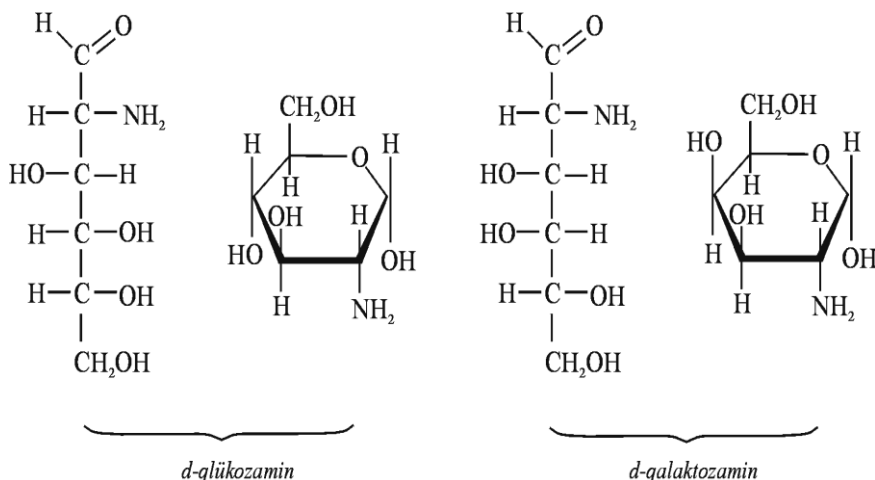


Bəzi bitki polisaxaridlərinin tərkibində 6-dezoksiheksozalar geniş yayılmışdır. Bunlara metil-pentozalar da deyilir. Bu qrupa aid olan dezoksişəkərlərdən 6-dezoksi-d-qlükoza, l-ramnoza, l-fukoza nisbətən ətraflı öyrənilmişdir. L-Ramnoza bəzi bitki polisaxaridlərinin və qlükozidlərin, l-fukoza isə süddə olan oliqosaxaridlərin, bitki və heyvan mənşəli polisaxaridlərin tərkibində aşkar edilmişdir.



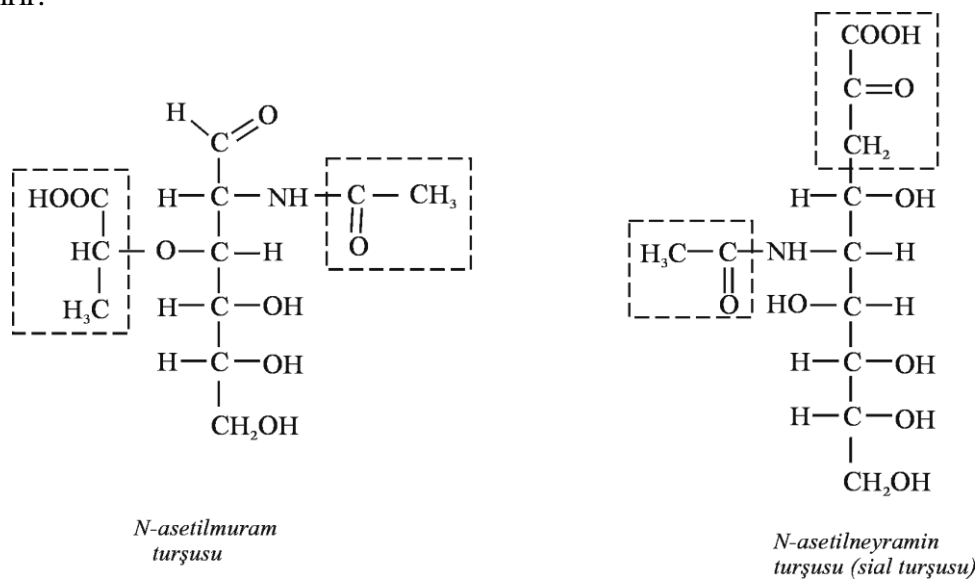
Dezoksişəkərlər üzvi həlledicilərdə adi şəkərlərə nisbətən yaxşı həll olur. Bu, dezoksişəkərlərin polyarlığının zəif olması ilə əlaqədardır.

3. Aminşəkərlər – hidrosil qruplarından birinin və ya bir neçəsinin yerində amin qrupu olan monosaxaridlərdir. Bunlardan d-qlükozamin və d-qalaktozamin biosferdə nisbətən çox yayılmışdır.



Qlükozamin hialuron turşusunun tərkibində olur; xərcəngin və həşəratların xarici skeletini təşkil edən xitin qlükozaminin polimeridir. Mukopolisaxaridlərin tərkibində asetat turşusu ilə birləşmiş heksozamin qalıqları olur.

Aminşəkərlər aminlərin və monosaxaridlərin kimyəvi xassələrinə malik olurlar. Bütün aminlər kimi, aminşəkərlər də qələvi xassəli maddələrdir. Bundan əlavə, aminşəkərlərin hidrosil və amin qruplarının bir-birinin yaxınlığında yerləşməsi ilə əlaqədar olan bəzi xassələri onları neytral şəkərlərdən fərqləndirir.

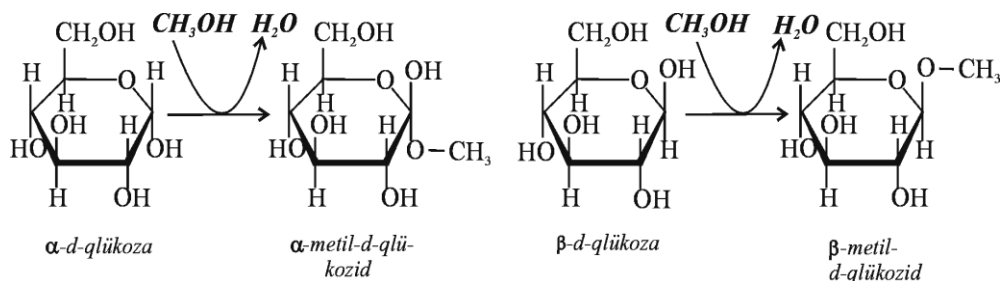


Bakteriyaların hüceyrə membranlarında olan polisaxaridlərin tərkibində N-asetilmuram turşusu adlanan şəkər törəməsi olur. Kimyəvi strukturuna görə d-qlükozaminin törəməsi olan N-asetilmuram turşusunu asetilləşmiş d-qlüko-

zəminlə süd turşusunun efir birləşməsi hesab etmək olar. İnsan və heyvanların hüceyrə membranlarında olan qlikoprotein və proteoqlikanların tərkibində isə bir qayda olaraq, N-asetil neyramin turşusu aşkar edilir. Bu birləşmə, kimyəvi strukturuna görə d-mannozaminin törəməsidir. N-asetil-neyramin turşusu və neyramin turşusunun digər O- və N-asil törəmələri ümumi şəkildə sial turşuları adı altında birləşdirilir.

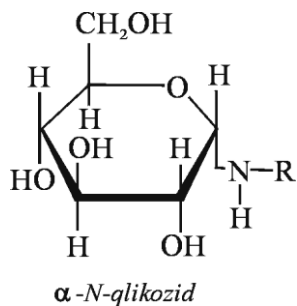
4. Qlikozidlər. Monosaxaridlərin yarıasetal (və ya yarımketal) qruplarının digər hidrosil qrupuna malik olan birləşmələrlə efir rəbitəsinə girməsi nəticəsində əmələ gələn törəmələrə qlikozidlər deyilir. Bütün monosaxaridlər qlikozid əmələ gətirə bilər. Qlikozidlər digər sadə efirlərdən fərqli olaraq, turşu mühitdə asanlıqla hidroliz olunur. Bundan əlavə, müxtəlif canlıların toxumalarında və həzm şirələrində qlikozidləri hidroliz edən fermentlər – qlikozidazalar olur. Hidroliz zamanı qlükozidlərin monosaxarid komponenti karbohidrat olmayan komponentdən ayrılır. Qlikozidlərin qeyri-karbohidrat komponentləri *aqlikon* adlanır.

Monosaxaridlərin α - və β -stereozomerləri efirləşmə reaksiyasına girərək, müvafiq surətdə α - və β -qlikozidlər əmələ gətirə bilər. Məsələn, qlükozanın α - və β -stereozomerlərinin metil spirti ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində müvafiq surətdə α - və β -metilqlükozidlər əmələ gəlir.



Metil spirtinin əvəzinə asetat turşusundan istifadə etməklə, müvafiq surətdə α - və β -asetil-D-qlükəzid almaq mümkündür. Təbiətdə geniş yayılmış qlükəzidlərin müxtəlif növləri bir-birindən aqlükon komponentinin növünə görə fərqlənir; onların əksəriyyəti β -qlükəzid strukturuna malik olur.

Göründüyü kimi, haqqında məlumat verilən qlükəzidlərin molekullarında karbohidrat komponenti aqlükonla oksigen körpücüyü vasitəsilə birləşir. Buna görə, belə birləşmələrə *O-qlikəzidlər* də deyilir. Qlikozid strukturuna malik olan bəzi antibiotiklərin və nuklein turşusu mübadiləsinin bəzi aralıq məhsullarının molekullarında aqlükonla karbohidrat komponenti bir-birilə azot atomu vasitəsilə əlaqələnir. Adı qlükəzidlərdən fərqləndirmək üçün bunlara *N-qlikəzidlər* deyilir. Beləliklə, N-qlikəzidləri molekulu karbohidrat hissəsinin karbohidratlar qrupuna aid olmayan üzvi maddə radikallarına azot atomu vasitəsilə birləşməsi nəticəsində əmələ gələn monosaxarid törəməsi hesab etmək olar.



Qeyd etmək lazımdır ki, qlükəzidlərin karbohidrat komponentləri digər monosaxaridlər kimi, həm piranoz, həm də furanoz

formada ola bilər. Birinci halda onlara *piranozidlər*, ikinci halda isə *furanozidlər* deyilir. Təbiətdə geniş yayılmış oliqosaxaridlər də qlikozid strukturuna malik olan birləşmələrdir. Çünki, onların molekulları bir monosaxaridin yarımasetal (və ya yarımketal) hidroksil qrupunun digər monosaxaridin eyni radikalı ilə birləşməsi nəticəsində əmələ gəlir. Buna baxmayaraq, qlikozid adı altında adətən şəkərlərin karbohidrat strukturuna malik olmayan maddələrlə (əsasən spirtlərlə) birləşmələri nəzərdə tutulur (bunların karbohidrat komponenti qlükozadan ibarət olan növləri qlükozidlər adlanır).

Qlikozidlərin əksəriyyəti acı dadlı və spesifik iyli maddələrdir. Bəzi ədviyyat növlərinə xarakterik iyi və dadı onların tərkibinə daxil olan qliko-zidlər verir. Məsələn, qara xardal toxumunun iyi və acılığı tərkibindəki *siniqrin* adlı qlikozidlə əlaqədardır; acı badamın dadı tərkibində olan *amiqdalindən* asılıdır.

Amiqdalin hentobioza adlanan disaxaridin qlikozididir; onun aqlikon hissəsi benzoy aldehidi ilə sianid turşusunun birləşməsidir. Acı badamın, gilənarın, gavalının, şaftalı və əriyin toxumlarında amiqdalinlə birlikdə onu hidroliz edən spesifik ferment – *emulsin* olur. Emulsin amiqdalini hidroliz edərək, güclü toksik təsiri olan sianid turşusu əmələ gətirir. Buna görə, tərkibində həm amiqdalin, həm də emulsin olan çürümüş meyvələrin yeyilməsi insan və heyvan orqanizminin zəhərlənməsinə səbəb ola bilər.

Bəzi ağacların (alma, armud, gilənar və s.) kötüyündə floridzin adlı qlükozid olur. Floridzin böyrək borucuqlarında qlükozanın reabsorbsiyasını azaldır. Buna görə floridzinlə zəhərlənmə zamanı qanda şəkərin qatılığı azalır (hipoqlikemiya) və sidiklə şəkər ifraz edilir (qlükozuriya). Floridzinin qlükozurik təsiri böyrək borucuqlarının epitel hüceyrələrində heksokinaza fermentinin aktivliyinin azalması və beləliklə, qlükozanın fosforlaşmasının və nəticədə reabsorbsiyasının zəifləməsi ilə əlaqədardır. Bu qlükozid orqanizmə daxil olduqda, qlükozanın bağırsaqlardan sorulması da azalır. Ondan eksperimental tədqiqatlarda böyrək mənşəli qlükozuriya yaratmaq üçün istifadə edilir.

Bitki qlikozidlərinin bir qrupundan ürək-damar sistemi xəstəliklərinin müalicəsi zamanı dərman maddəsi kimi istifadə edilir. Bunlara *ürək qlikozidləri* deyilir. Ürək qlikozidlərini üskükotundan (*digitalis*), *Strophanthus* cinsindən olan bitki növlərindən (*strofantin*), xoruzgülü otundan (*adonizid*) və b. bitkilərdən alırlar. Bunların əksəriyyəti ürək fəaliyyətində diastola fazasının müddətini artırmaqla, miokardın gərginliyini azaldır, ürək yığılmalarının tezliyini aşağı salır və bu yolla qan dövrəni çatışmazlıqları zamanı müalicəvi təsir göstərir.

Monosaxaridlərin bioloji cəhətdən əhəmiyyətli olan törəmələri arasında turş xassəli şəkərlərin (*aldon*, *aldar* və *alduron* turşuları), həmçinin çoxatomlu spirtlərin (*ksilit*, *sorbit*, *mannit* və s.) də xüsusi yeri vardır. Bu törəmələr haqqında yuxarıdakı bölmədə məlumat verilmişdir.

2.3. OLİQOSAXARİDLƏR

Oliqosaxaridlər 2-dən 10-a qədər monosaxarid molekulunun kondensasiya məhsullarıdır. Onlar suda yaxşı həll olan, şirin dadlı, kristalşəkilli maddələrdir. Polisaxaridlərdən fərqli olaraq, oliqosaxaridlər suda həll edildikdə həqiqi məhlullar əmələ gətirir (polisaxaridlərin bir qrupu suda həll olmur, bir qrupu

isə kolloid məhlul əmələ gətirir).

Oliqosaxaridləri molekul strukturunu təşkil edən monosaxarid qalıqlarının sayına görə bir-birindən fərqlənən qruplara bölmək olar; bu baxımdan disaxaridlər, trisaxaridlər, tetrasaxaridlər və s. ayırd edilir. Monosaxarid qalıqlarının strukturuna görə, oliqosaxaridlərin 2 qrupu ayırd edilir: 1) *homooliqosaxaridlər* – molekulu eyni monosaxarid qalıqlarından ibarət olanlar və 2) *heterooliqosaxaridlər* – müxtəlif monosaxaridlərin birləşməsindən ibarət olanlar.

Çox vaxt oliqosaxaridlərin nomenklaturasında onların müəyyən bir əlamətini özündə əks etdirən, kortəbii surətdə yaranmış ümumişlək adlardan istifadə edilir. Məsələn, laktoza (süd şəkəri), maltoza (səməni şəkəri) sözləri bu adlar altında nəzərdə tutulan disaxaridlərin əsas mənbəyinin adından götürülmüşdür (yunanca: *galactus* – süd; latınca: *maltum* – səməni). Oliqosaxaridlərin elmi adlarında isə molekul strukturuna daxil olan monosaxaridlərin adları və onlar arasındakı rabitənin xarakteri nəzərə alınır. Monosaxaridlərin bir-birilə birləşməsinin 2 tipi ayırd edilir: 1) *monosaxaridlərin hər ikisinin yarımasetal (qlikozid) hidrksili arasında olan rabitələr*, 2) *bir monosaxaridin qlikozid (yarımasetal) hidrksil qrupu ilə digərinin hər hansı spirt qrupunun (spirt hidrksilinin) arasında olan rabitələr*. Birinci qrupa aid olan disaxaridlərin (saxaroza) molekulalarında yarımasetal hidrksilinin sərbəst forması olmadığına görə, onlar reduksiyaedicilik xassəsinə malik olmur. Belə disaxaridlərə *reduksiya etməyən şəkərlər* deyilir. İkinci qrupa aid olan disaxaridlərin (laktoza, maltoza, sellobioza) molekulalarında isə yarımasetal hidrksillərindən biri sərbəst qaldığına görə, onlar reduksiyaedicilik qabiliyyətlərini saxlayırlar. Buna görə belə disaxaridlərə *reduksiyaedici şəkərlər* də deyilir. Oliqosaxaridlərin daha mürəkkəb formalarının da (trisaxaridlər, tetrasaxaridlər və s.) reduksiya edən və etməyən növləri ola bilər.

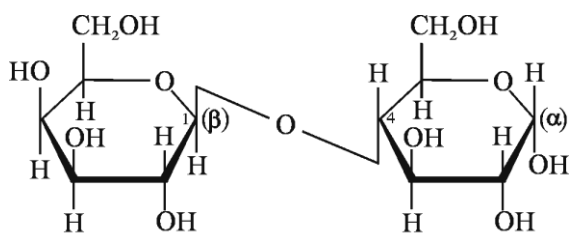
Oliqosaxaridlərin elmi nomenklaturasında müxtəlif prinsiplər əsas götürülür. Bu üsullardan birində reduksiyaedici oliqosaxaridin adına yarımasetal hidrksil qrupu sərbəst qalan monosaxaridin adı əsas götürülərək, olduğu kimi saxlanır, yarımasetal qruplarını birləşməyə sərf edən monosaxarid qalıqlarının adları isə sonluğunda olan -oza şəkilçisi ilə şəkilçisi ilə əvəz edilməklə, əsas kimi götürülən monosaxaridin adından əvvəl yazılır; eyni zamanda, monosaxaridlərin birləşməsinə sərf edilən karbon atomunun sıra nömrəsi və molekul konfigurasiyası göstərilir. Reduksiya etməyən şəkərlərin elmi adlarında isə bütün birləşmələrə qlikozid kimi baxılır.

İkinci nomenklatura üsuluna görə, monosaxarid qalıqlarının adları sıra ilə yazılır, onların arasında yan-yan yerləşən qalıqlarda hansı atomların birləşdiyini göstərən rəqəmlər və bu rəqəmlər arasında ox işarəsi yazılır. Əvəzedici monosaxaridin adını göstərən sözün kökünə *-il* sonluğu, əsas kimi qəbul edilən monosaxaridin sonluğuna isə *oza* şəkilçisinin əvəzinə *id* sonluğu yazılır.

Oliqosaxaridlərin növlərindən canlı təbiətdə ən geniş yayılanları disaxaridlərdir. Onlardan isə laktoza, saxaroza və maltozanın bioloji əhəmiyyəti xüsusilə böyükdür. Aşağıda oliqosaxaridlərin ən əhəmiyyətli növləri haqqında məlumat verilir.

L a k t o z a – südün tərkibində olan disaxariddir. Qadın südündə 5,5-8,4%, inək südündə 4,0-5,5% laktoza olur. Laktoza molekulu 1 molekul d-qalaktoza

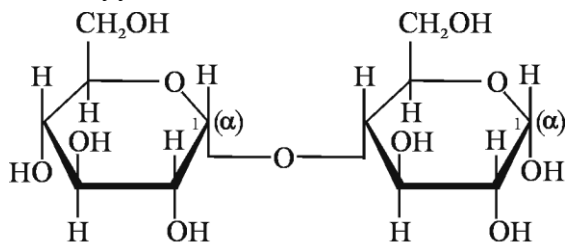
ilə 1 molekul d-qlükozanın birləşməsindən ibarətdir. Onun tərkibində piranoz formalı qalaktoza və qlükoza molekulları arasında 1,4 qlikozid rabitəsi olur. Buna görə, laktozanın elmi adı (β-d-qalaktopiranozil)-d-qlükopiranoza və ya β-d-qalaktopiranozil (1→4)-d-qlükopiranozadır. Kimyəvi strukturundan görüldüyü kimi, laktoza molekulunun oksigen körpücüyünün əmələ gəlməsində qalaktozanın yarımasetal hidroksili ilə qlükozanın 4-cü karbon atomuna birləşmiş hidroksil qrupu iştirak edir; qlükoza qalığının yarımasetal hidroksili isə sərbəst qalır. Buna görə, laktoza reduksiyaedici xassəli şəkərlər qrupuna aiddir; yəni monosaxaridlərə aid rəngdəyişmə reaksiyalarına (Nilander və Felinq reaktivləri ilə reaksiyaya) girə bilər.



Laktoza
[β-d-qalaktopiranozil-(1→4)-d-qlükopiranoza]

Laktoza maya göbələkciklərinin təsiri nəticəsində qıvcırma prosesinə uğrayır, həzm sistemində isə laktaza fermentinin təsiri altında hidroliz olunub, qalaktoza və qlükozaya parçalanır. Sütün tərkibində laktozanın sial turşusu ilə birləşməsindən ibarət olan oliqosaxarid aşkar edilmişdir. Onun molekulunda sial turşusu qalığı qalaktozanın 6-cı karbon atomu ilə birləşmiş vəziyyətdə olur. Bu oliqosaxarid patogen bağırsağ bakteriyalarının inkişafını ləngidir. Görünür ana südünün südəmər körpələrin həzm sisteminin fəaliyyətinə müalicəvi təsirində süddə olan oliqosaxaridlərin müəyyən rolu vardır.

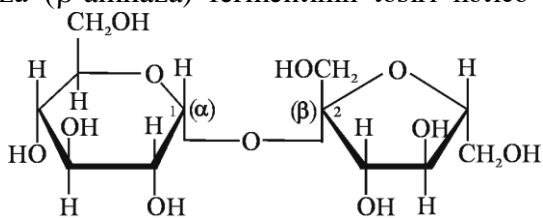
M a l t o z a [α-d-qlükopiranozil-(1→4)-α-d-qlükopiranoza]: sərbəst şəkildə cücərmiş dənli bitkilərin (buğda, arpa, çovdar və s.) tərkibində olur; buna görə s ə m ə n i ş ə k ə r i adlanır; nişasta və qlikogenə α-amilaza fermentinin təsiri nəticəsində əmələ gələn hidroliz məhsuludur. Maltoza molekulunu 1→4-qlükozid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş 2 qlükoza qalığından ibarətdir. Maltoza molekulunda da (laktozada olduğu kimi) sərbəst qlikozid hidroksili vardır (yəni maltoza da reduksiyaedici xassəsinə malikdir).



maltoza
[α-d-qlükopiranozil(1→4)-α-d-qlükoza]

Maltoza həzm sistemində maltaza (β-amilaza) fermentinin təsiri nəticəsində hidroliz olunub, 2 molekul qlükozaya çevrilir; maya göbələkciklərində olan fermentlərin təsirinə qıvcırır.

S a x a r o z a [α-d-qlükopiranozil-(1→2)-β-d-fruktofuranozil] – bitkilərdə geniş yayılmış disaxariddir; şəkər çuğundurunda



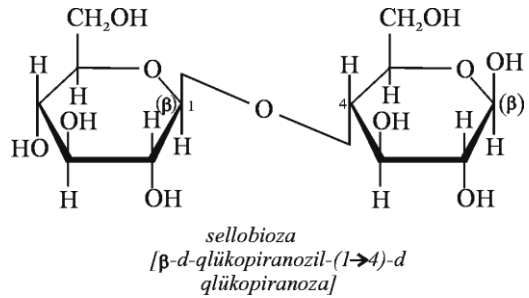
saxaroza
[α-d-qlükopiranozil-(1→2)-β-d-fruktofuranozil]

(27%-ə qədər) və şəkər qamışında (20%-ə qədər) daha çox olduğuna görə saxarozaya *çuğundur* və ya *qamış şəkəri* də deyilir.

Saxarozanın molekuluna 1 qlükoza və 1 fruktoza qalığı daxildir. Onların birləşməsində hər iki monosaxaridin qlikozid hidrksilləri iştirak edir. Buna görə saxarozanın reduksiyaedicilik qabiliyyəti yoxdur.

Saxarozaya həzm sistemində *saxaraza* fermentinin təsiri altında hidroliz olunub, bərabər miqdarda qlükoza və fruktoza əmələ gətirir. Onun fermentativ hidrolizindən alınan qlükoza və fruktoza qarışığı polyarizasiya zamanı işıq şüalarını kəskin sürətdə sola fırladır (saxarozaya özü isə polyarizasiya müstəvisini sağa fırladan maddədir; məhlulun polyarizasiya müstəvisinin fırlanma istiqamətinin dəyişməsi *inversiya* adlanır). Buna görə, saxarozaya *invert şəkər*, onu hidroliz etməklə, inversiya törədən saxarozaya fermentinə isə *invertaza* adları verilmişdir. İnversiyanın səbəbi bundan ibarətdir ki, hidroliz zamanı xüsusi polyarizasiya göstəricisi $+66,5^\circ$ olan saxarozadan yarıbayarı xüsusi fırlatma göstəriciləri müvafiq sürətdə $+52,5^\circ$ və -92° olan qlükoza və fruktoza əmələ gəlir. Balın tərkibində bərabər miqdarda qlükoza və fruktoza olur. Buna görə balı təbii invert şəkər hesab etmək olar.

S e l l o b i o z a [β -d-qlükopiranozil (1 \rightarrow 4)-d-qlükopiranoza]–sellülozanın natamam hidrolizi nəticəsində əldə edilən disaxariddir; molekulunda 1,4-qlükozid rabitəsi ilə birləşmiş 2 qlükoza qalığından ibarət olduğuna görə, maltozaya bənzəyir. Lakin sellobiozanın tərkibində qlükozid rabitəsinin əmələ gəlməsində

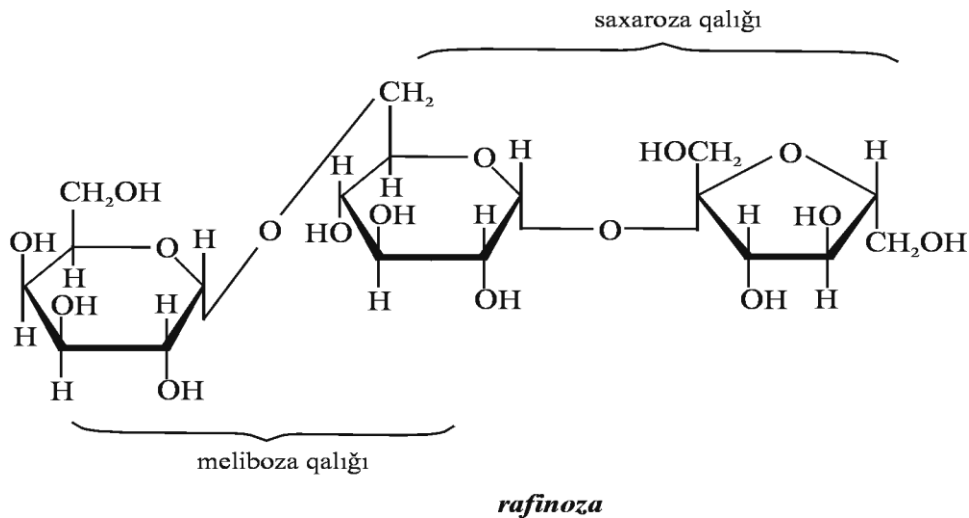


iştirak edən qlükoza molekulunda β -konfigurasiyalıdır. Sellobioza reduksiyaedicilik xassəsinə malikdir. İnsanın həzm şirələrində sellobiozunu hidroliz edə bilən ferment yoxdur. Buna görə sellobioza və ona müvafiq gələn polisaxarid – sellüloza insanın həzm sistemində parçalanmır və sorulmur. Lakin otlayan heyvanlar bu karbohidratlardan qida maddəsi kimi istifadə edə bilər. Çünki, onların bağırsaqlarında olan bakteriyalarda sellülozunu və sellobiozunu hidroliz edən fermentlər hazırlanır. Sellobioza maya göbələkciklərinin təsirindən qıvcırmır.

T r e q a l o z a [α -d-qlükopiranozil-(1 \rightarrow 1)- α -d-qlükopiranozid] – göbələklərdə, çovdar mahmızında, yosunlarda və bəzi ali bitkilərdə olan disaxariddir; bunlardan əlavə, treqalozaya həşəratların orqanizmində də rast gəlinir. Elmi adımdan məlum olduğu kimi, treqaloza molekulunda bir-birilə yarımasetal (qlükozid) hidrksilləri vasitəsilə birləşmiş 2 α -d-qlükoza qalığından ibarətdir.

Trisaxaridlər və oliqosaxaridlərin başqa nümayəndələri. Təbii trisaxaridlərin ən geniş yayılmış nümayəndəsi *rafinozadır*. Rafinoza şəkər çuğundurunda, dənli bitkilərdə, pambıq çiyyində və b. bitki mənşəli məhsullarda aşkar edilmişdir; təbii mənbələrdə digər oliqosaxaridlərə nisbətən az olan rafinoza [α -d-qalaktopiranozil-(1 \rightarrow 6)- α -d-qlükopiranozil-(1 \rightarrow 2)- β -d-frukto-furanozid] molekulunda monosaxarid qalıqlarının bütün qlükozid hidrksilləri rabitəli şəkildədir. Buna görə, rafinozanın reduksiyaedicilik xassəsi yoxdur. Bu birləş-

mənin molekulu β -fruktoza, α -qlükoza və α -qalaktoza qalıqlarından ibarətdir. Rafinoza saxaraza fermentinin təsiri altında hidroliz edildikdə *melibioza* adlı disaxarid və β -fruktoza əmələ gəlir; α -qalaktozidaza fermenti isə rafinozanı hidroliz edərək, bərabər molekulyar nisbətdə α -qalaktozaya və saxarozaya çevirir. Rafinoza bitkilərdə karbohidratların nəql edilən formasıdır.



Rafinozadan başqa, trisaxaridlərin 2 növü – *melesitoza* və *gensianoza* məlumdur. *Melesitoza* bəzi iynəyarpaqlı ağacların (şam ağacı və s.) şirələrində tapılmışdır. Onun molekuluna 2 ədəd α -d-qlükoza və 1 ədəd β -d-fruktoza qalığı daxildir. Bitki mənşəli trisaxaridlərin daha bir növü – *gensianoza* da molekul strukturuna daxil olan monosaxarid qalıqlarına görə, melesitozaya oxşardır. Lakin ikincidən monosaxarid qalıqları arasındakı rabitələrin yerinə görə fərqlənir. Bəzi bitkilərdə tetra- və pentasaxaridlərə də təsadüf edilir. Bunlardan əlavə, biosferdə pentozalarla heksozaların birləşməsindən ibarət olan oliqosaxaridlər də aşkar edilmişdir. Bunlardan *primaverozanı* (ksiloza ilə qlükozanın birləşməsi) və *vitsianozanı* (arabinoza ilə qlükozanın birləşməsi) göstərmək olar.

2.4. POLİSAXARİDLƏR

Təbiətdə geniş yayılmış karbohidratların əsas kütləsini polisaxaridlər, yəni monosaxaridlərin polikondensasiya məhsulları təşkil edir. Onlar qlikozid rabitələri vasitəsilə bir-birilə birləşən və çox vaxt şaxələnən monosaxarid qalıqlarından ibarətdir. Beləliklə, polisaxaridləri poliqlikozidlər hesab etmək olar. Çox vaxt onların molekulalarında bir monosaxaridin yarımətal (qlikozid) hidrosil qrupu digərinin spirt qruplarından biri (adətən 4 və ya 6-cı karbon atomu ilə rabitədə olan hidrosil qrupu) ilə birləşir. Yəni onlar arasında 1,4 və 1,6 qlikozid rabitələri olur; heyvan toxumalarında və bakteriyalarda olan polisaxaridlərdə bəzən 1,2 və 1,3 qlikozid rabitələrinə də təsadüf edilir.

Polisaxaridlərin kimyəvi strukturu və bioloji əhəmiyyəti arasında qanunauyğunluq olmadığına görə, onların mükəmməl təsnifatını yaratmaq mümkün

deyil. Eyni polisaxarid müxtəlif mənbələrdən alınsa da, çox vaxt onların təsnifatı üçün alınma mənbəyi əsas götürülür. Bu təsnifata görə, polisaxaridləri 3 qrupa bölmək olar: *fitopolisaxaridlər*, *zoopolisaxaridlər* və *mikroorqanizmlərin polisaxaridləri*. Fizioloji funksiyalarına görə, istinad toxumalarının struktur polisaxaridləri (sellüloza, hemisellüloza, pektin maddələri, xitin və s.) və maddələr mübadiləsində tədricən sərf edilən ehtiyat polisaxaridlər (nişasta, qlikogen və s.) ayırd edilir (cədvəl 2.1.).

Molekul strukturlarına görə, polisaxaridlərin şaxələnmiş (qlikogen, amilopektin) və şaxələnməmiş (amiloz) növləri vardır. Molekul strukturlarına daxil olan monomerlərin növlərinə görə, polisaxaridlərin 2 qrupu ayırd edilir: 1) *homopolisaxaridlər*; 2) *heteropolisaxaridlər*.

H o m o p o l i s a x a r i d l ə r yalnız bir monosaxarid növünün polikondensasiya məhsullarıdır; *h e t e r o p o l i s a x a r i d l ə r i n* molekulları isə müxtəlif monomer qalıqlarından ibarətdir.

Cədvəl 2.1

Polisaxaridlərin təbiətdə yayılmasına və bioloji əhəmiyyətlərinə əsaslanan təsnifatı

<i>Mənbəyinə görə ümumi adı</i>	<i>Mənbə</i>	<i>Bioloji rolu</i>		
		<i>Struktur polisaxaridləri</i>	<i>Ehtiyat polisaxaridlər</i>	<i>Başqa funksiyalı polisaxaridlər</i>
Fitopolisaxaridlər	Ali bitkilər	Sellüloza, hemisellüloza, pektin maddələri	Amiloz, amilopektin, fruktanlar	Kitrələr, seliklər
	Yosunlar	Qalaktanlar, aqar-aqar, algin turşuları, fukan, sellüloza, pektin maddələri	Laminarin, bitki nişastası, mannan	
Mikroorqanizm polisaxaridləri	Bakteriyalar, göbələklər, kif göbələkcikləri	Xitin, sellüloza, qlikoproteinlər	Nişasta, fruktanlar, qlikogen	Hüceyrə strukturuna daxil olmayan polisaxaridlər
Zoopolisaxaridlər	Onurğalı heyvanlar	Xondroitin-sulfat	Qlikogen	Heparin, hialuron turşusu, qlikoproteinlər, spesifik qan qrupu polisaxaridləri
	Onurğasız heyvanlar	Xitin	Qlikogen, qalaktan	

Homopolisaxaridlərə ümumi şəkildə *qlikanlar* da deyilir; heksoza qalıqlarının polikondensasiya məhsulu olan qlikanlar *heksozanlar*, pentozalardan ibarət olanlar isə pentozanlar adlanır. Monosaxaridlərin növünə görə, qlukanlar, mannanlar, fruktozanlar, qalaktanlar və b. ayırd edilir. Bu qrupa bir sıra b i t k i

(nişasta, sellüloza, pektin maddələri), heyvən (qlikogen, xitin) və baktəriya (dekstranlar) mənşəli polisaxaridlər aiddir. Heteropolisaxaridlərin növləri daha çox olsa da, onların əksəriyyətinin strukturu nisbətən az öyrənilmişdir. Lakin bu polisaxaridlərin də bioloji əhəmiyyəti kifayət qədər böyükdür.

Polisaxaridlər irimolekullu üzvi birləşmələrdir. Buna görə, bütün irimolekullu üzvi birləşmələr kimi, polisaxaridlərdə də molekul strukturunun yüksək səviyyəli mütəşəkkilliyi müşahidə edilir. Onların birincili və ikincili strukturu ayırd edilir. Polisaxaridlərin birincili strukturunu monomer qalıqlarının ardıcılığı, ikincili strukturunu isə molekul zəncirinin üçölçülü fəzada tutduğu vəziyyət müəyyənləşdirir. Polisaxaridlərin əksəriyyəti turş mühitdə asanlıqla hidroliz reaksiyasına uğrayır, qələvi mühitdə isə davamlı olur. Onların tam hidrolizi zamanı monosaxaridlər sərbəst hala keçir, natamam hidrolizi zamanı isə müxtəlif molekul kütləsinə malik olan aralıq məhsullar – oliqosaxaridlər və o cümlədən, disaxaridlər əmələ gəlir.

2.4.1. HOMOPOLISAXARİDLƏR (QLİKANLAR)

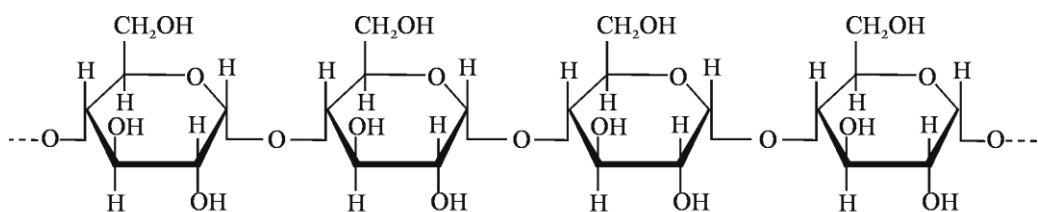
Nişasta bitkilərin toxumalarında, köklərində və kök yumrularında (məsələn, kartof) toplanan ehtiyat qida maddəsidir. İnsanın gündəlik qida rasionunda birinci yeri tutan nişasta dənli bitkilərin toxumlarında daha çox olur. Məsələn, düyü və qarğıdalı dəninin ümumi kütləsinin 82%-ni, buğda ununun 75%-ə qədərini nişasta təşkil edir. Nişasta bitkilərin yaşıl hissəsində – xloroplastlarda sintez edilir. Xlorofili olmayan bitkilərdə nişastanın sintezi leykoplast adlanan rəngsiz plastidlərdə baş verir.

Nişasta soyuq suda həll olmur, onun su ilə qarışığı 60-80°C-yə qədər qızdırıldıqda nişasta çirəsi adlanan yapışqanşəkili kütlə əmələ gəlir.

Nişasta hiqroskopik maddə olduğundan, tərkibində 10-20%-ə qədər su saxlayır. Sürətlə qızdırıldıqda nişastanın makromolekulyar zənciri hiqroskopik su ilə hidroliz olunub nisbətən xırda hissəciklərə – dekstrinlərə çevrilir. Bişirilən xəmirin bir hissəsinin dekstrinə çevrilməsi çörəyin həzm edilməsini asanlaşdırır. Çünki, dekstrinlər həzm sistemindən nisbətən asanlıqla mənimsənilir.

Nişasta – monomerləri qlükoza qalıqlarından ibarət olan irimolekullu maddədir. Onun empirik formulu $(C_6H_{10}O_5)_n$ düsturu ilə ifadə edilir. Məhlulunun reduksiyaedicilik xassəsinin olmaması nişasta molekulundakı monomerlərin qlikozid hidrosillərinin birləşmiş vəziyyətdə olduğunu göstərir. Təbii nişasta molekul strukturuna və iriliyinə görə bir-birindən fərqlənən 2 maddənin qarışığıdır. Bu qarışığın tərkibinə *amiloza* (10-20%) və *amilopektin* (80-90%) adlanan polisaxaridlər daxildir. Amiloza suda yaxşı həll olur, yodun təsirindən göy rəngə boyanır; amilopektin isə suda həll olmur və yodla qarışdırıldıqda bənövşəyi rəng alır.

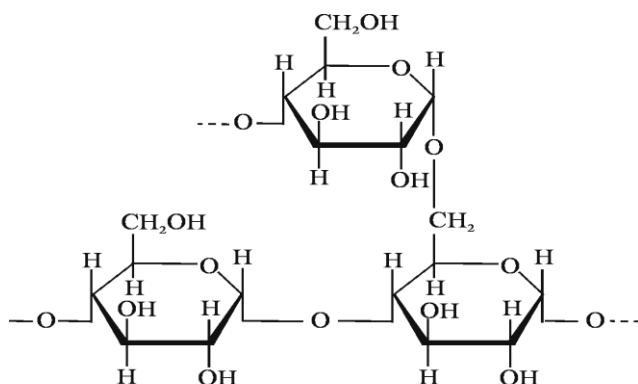
Amiloza molekulu bir-birilə (1,4)- α -qlikozid rabitələri vasitəsilə birləşən qlükoza qalıqlarından ibarətdir. Onun molekulunda qlükoza qalıqlarının sayı 200-dən 1000-ə qədər, molekul kütləsi isə 35 mindən 200 minə qədər ola bilər. Amiloza molekulinin düzxətli (şaxələnməmiş) monomer zəncirindən ibarət olduğunu nəzərə alsaq, onun sxematik strukturunu aşağıdakı kimi təsvir edə bilərik:



amiloza

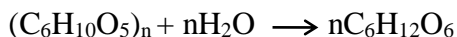
Rentgenostruktur analiz üsulu ilə aparılan tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, amiloza molekulları spiral şəklində (burulmuş vəziyyətdə) olur. Bu spiralın hər bir dövrəsində 6 qlükoza qalığı yerləşir.

Amilozadan fərqli olaraq, amilopektin molekulu şaxəlidir. Onun şaxələnən nöqtələrində qlükoza qalıqlarının arasında α -(1,6)-qlükozid rabitəsi olur. Bunu nəzərə alaraq, amilopektin molekulunun şaxələnən hissəsini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar (sxem 2.3):

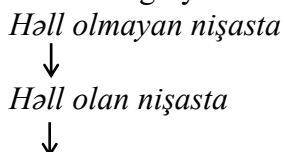


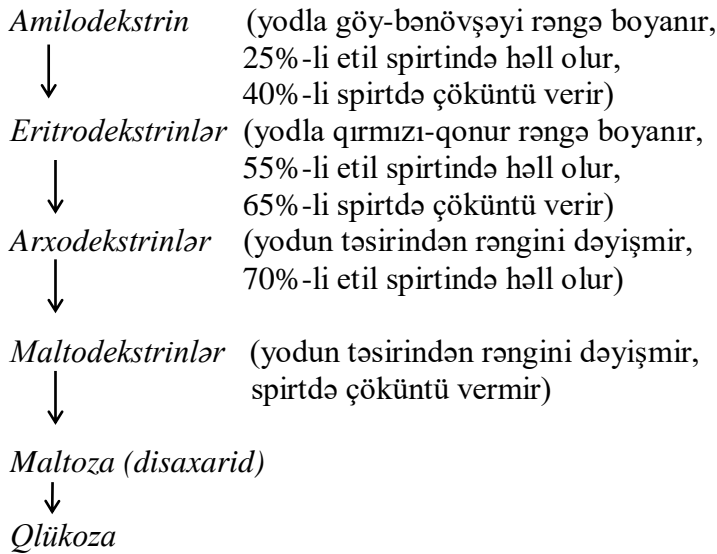
Sxem 2.3. Amilopektin molekulunun şaxələnən hissəsi

Amilopektin zəncirlərinin şaxələnmə nöqtələri arasında 20-25 qlükoza qalığı olur. Onun ümumi molekul kütləsi 1-6 milyona qədər ola bilər. Nişastanın tərkibində qlükoza qalıqlarının sərbəst hidrosil qrupları ilə birləşmiş fosfat turşusu qalıqları da olur. Əgər fosforun faizlə miqdarını P_2O_5 -ə görə hesablasaq, bu göstərici amilopektin üçün 0,1-0,8%-ə, amiloza üçün 0,03%-ə bərabər olar. Amilozanın və amilopektinin şaxələnməmiş hissəsinin 2 monosaxariddən ibarət olan fraqmentləri maltozanın strukturuna müvafiqdir. Nişastanın tam hidrolizi zamanı qlükoza əmələ gəlir.



Bu proses bir sıra aralıq mərhələlər üzrə həyata keçir və reaksiyanın aralıq məhsulları dekstrinlər adlanır. Dekstrinləri nişasta molekulunun hissəcikləri hesab etmək olar. Hidroliz məhsullarının iriliyindən asılı olaraq, dekstrinlərin müxtəlif növləri ayırd edilir. Bu zaman nişasta aşağıdakı ardıcılıqla kimyəvi çevrilmələrə uğrayır:



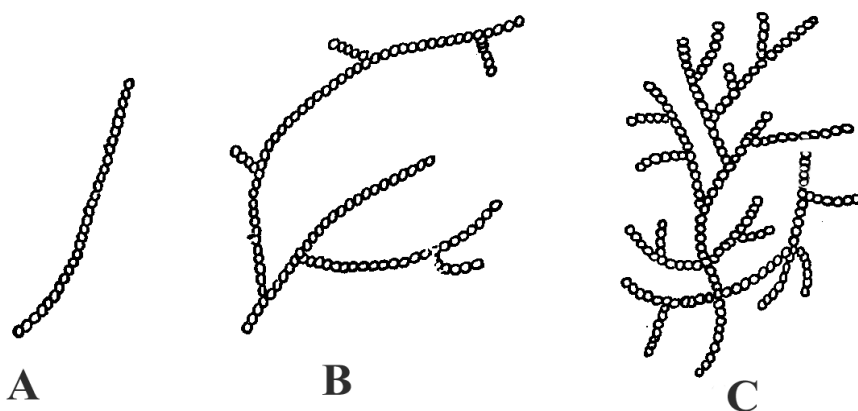


Qlikogen. İnsan və heyvan orqanizmində enerji mənbəyi funksiyasını yerinə yetirən karbohidratların əsas ehtiyatı qlikogen şəklində toplanır. Əsasən heyvan orqanizmində yayıldığına görə, qlikogenə heyvani nişasta da deyilir; lakin bəzi göbələklərin, ali bitkilərin və mikroorqanizmlərin də tərkibində qlikogen olur. Qaraciyərdə və əzələlərdə qlikogen ehtiyatı xüsusilə çoxdur. Qida ilə çoxlu karbohidrat qəbul edildikdə qlikogenin miqdarı bu orqanın quru çəkisinin 10%-ə qədərini təşkil edir, aclıq halında isə 0,2%-ə qədər azalır; əzələlərdə 0,2-4,0% qlikogen olur. Sağlam uşaqların qanında qlikogenin qatılığı 0,75-1,17 q/l, yetkin yaşlı şəxslərin qanında isə 1,17-2,06 q/l ola bilər. Qanda olan qlikogenin əsas hissəsi (73-87%) formalı elementlərdə, nisbətən az hissəsi isə plazmada (17-23%) toplanır. Leykositlərdə qlikogenin miqdarı daha çox olduğuna görə, leykositlərdə qanda bu polisaxaridin qatılığı artır.

Qlikogen molekulları strukturuna və iriliyinə görə amilopektinə bənzəyir: yəni onun molekul zənciri bir-birilə düzxətli sahələrdə α -1,4-rabitələri, şaxələnmə nöqtələrində isə α -1,6-rabitələri vasitəsilə birləşmiş d-qlükopiranoza (d-qlükoza) qalıqlarından ibarətdir. Lakin amilopektin molekullarında şaxələnmə nöqtələri arasındakı hissələrdə 20-25 d-qlükoza qalığı olduğu halda, qlükogendə α -1,6-qlükozid rabitələrinin arasında 8-12 qlükoza qalığı yerləşir. Yəni qlikogen molekulunu amilopektinə nisbətən çoxşaxəli olur (şəkil 2.1.). Qlikogenin molekul kütləsi də amilopektinin eyni göstəricisindən çoxdur. Onun molekul kütləsi 300 mindən 100 milyona qədər olur; buradan belə nəticə çıxarmaq olar ki, qlikogen molekulunu 2 mindən 600 minə qədər və daha artıq qlükoza qalığını özündə birləşdirə bilər. Qlikogen molekulunun çoxşaxəli olması ona yığcam fəza strukturu əldə etmək imkanı verir. Bundan əlavə, çoxşaxəli molekulun uc hissələrinin sayı da çox olduğundan, qlikogen nisbətən sürətlə parçalanaraq, əmələ gələn qlükozanın orqanizmin tələbatına sərf edilməsinə şərait yarada bilər. Yuxarıda göstəriləni kimi, bitkilərdə qlikogenin funksiyasını amilopektin yerinə yetirir, lakin onun şaxələrinin sayı azdır. Bitkilərdə mübadilə proseslərinin sürəti az olduğuna görə, onlara çox sürətli enerji hasilatı lazım gəlmir. İnsan və heyvan orqanizmində isə enerjiyə tələbat olduqca sürətlə dəyi-

şikliyə uğrayır. Fiziki gərginlik, zehni fəaliyyət, müxtəlif mənşəli stress vəziyyətləri zamanı orqanizmin enerjiyə tələbatı dəfələrlə artır. Bu şəraitdə orqanizmin enerji mənbəyi (qlükoza) ilə təmin edilməsində qlikogenin çoxşaxəli strukturunun əvəzsiz rolu vardır.

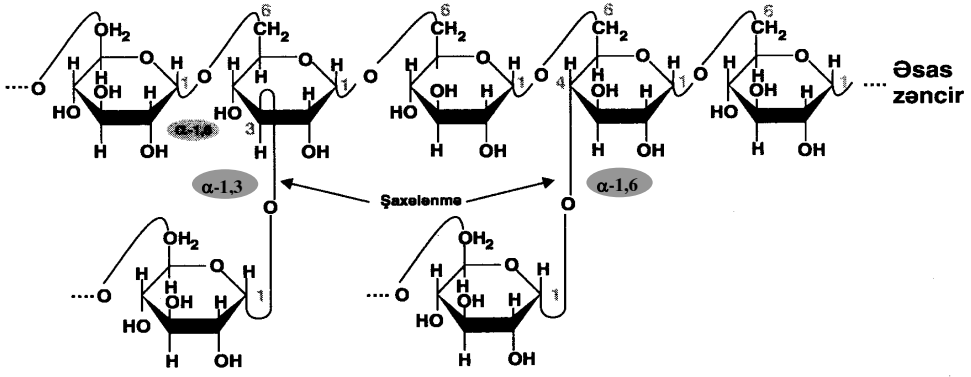
Təmiz qlikogen ağ rəngli amorf toz şəklindədir; suda kolloid məhlul əmələ gətirir, yodun təsirindən qırmızı rəngə boyanır; qələvilərin təsirinə davamlıdır. Sonuncu xassədən qlikogeni toxumalardan ayırmaq məqsədilə istifadə edirlər. Bundan ötrü, tədqiq edilən materialı 5-10 N qatılıqlı kalium-hidroksid məhlulunda həll olana qədər qaynadırlar. Alınan məhlula eyni miqdarda spirt əlavə edildikdə qlikogen çökür. Bu çöküntünü turş mühitdə tam hidroliz etdikdə qlikogenin miqdarına müvafiq miqdarda qlükoza əmələ gəlir. Alınan qlükozanın miqdarını kimyəvi analiz üsulu ilə müəyyənləşdirdikdən sonra, tədqiq edilən toxumada qlikogenin neçə faiz olduğunu hesablamaq mümkündür.



Şəkil 2.1. Amiloza (A), amilopektin (B) və qlikogen (C) molekullarının quruluşu (sxem).

Dekstranlar – bakteriyaların və maya göbələkciklərinin müəyyən qrupunun ehtiyat polisaxaridləridir; molekulları (1→6) qlikozid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş α-d-qlükoza (qlükopiranoza) qalıqlarının şaxələnmiş zəncirlərindən ibarətdir. Müxtəlif dekstranların şaxələnmə nöqtələrində 1→4 və 1→3 (bəzən 1,2) qlikozid rabitələri ola bilər (sxem 2.4.).

Dekstranlar irimolekullu birləşmələrdir. Onların molekul kütləsi $5 \cdot 10^8$ -ə yaxındır. Təbii dekstranlar antigen xassəsinə malik olur. Onların molekullarının hidroliz vasitəsilə xırdalanmış hissəciklərinin məhlullarından praktik tətbiqatdə qanəvəzedicilər və antikoagulyant xassəli dərman preparatları kimi istifadə edilir. Bu məqsədlə istehsal edilən poliqlükün, reopoliqlükün və reoqlüman preparatları dekstranın molekul kütləsi 30 mindən 100 minə qədər olan natamam hidroliz məhsullarıdır. Dekstranın kimyəvi dəyişikliklərə uğradılmış törəmələri olan sefadeks və sefarozaadan biokimyəvi laboratoriyalarda müxtəlif maddələrin elektroforez üsulu ilə qarışıqlardan təmizlənməsi zamanı istifadə edilir. Sənayedə dekstran istehsalında mikrobioloji üsuldən istifadə edilir: *Leuconostoc mesenteroides* tipli mikroorqanizmlərin saxarozalı mühitdə inkişaf etdirilməsi nəticəsində dekstran alınır.



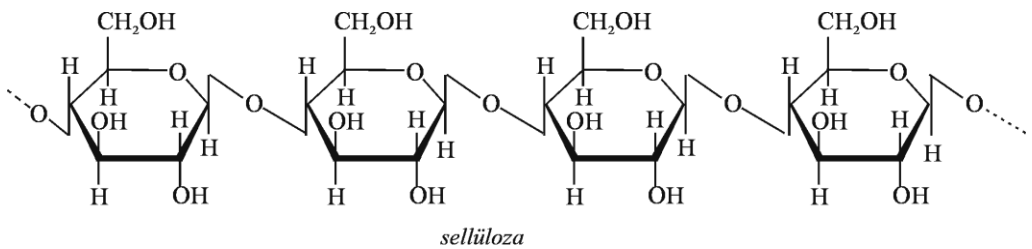
Sxem 2.4. Dekstran molekulunun strukturunun sxemi: düzxətli zəncirlərdə qlükoza qalıqları 1→6, şaxələnmə nöqtələrində isə 1→4 və 1→3-qlikozid rabitələri ilə birləşir.

Polifruktozanlar – monomerləri fruktoza qalıqlarından ibarət olan homopolisaxaridlərdir; bəzi bitkilərin (xüsusən mürəkkəbtoxumlular fəsiləsindən olan bitkilərin) ehtiyat qida maddəsi olub, onlarda nişastanı əvəz edir. Polifruktozanların növlərindən *inulinin* xassələri daha ətraflı öyrənilmişdir. İnulin yerarmudunun (topinambur) kök meyvələrində, georgin, zəncirotu, kök-saqqız bitkilərində geniş yayılmışdır. Onun molekuluna 1,2-qlikozid rabitəsi ilə birləşmiş 28 fruktoza qalığı daxildir; empirik formulu nişastanınkı kimidir – $(C_6H_{10}O_5)_n$.

İnulin suda yaxşı həll olur, Felinq reaktivini reduksiya etmir, polyarizasiya müstəvisini sola fırladır. İnsan orqanizmində inulini hidroliz edən ferment yoxdur; buna baxmayaraq, qida maddələrinin tərkibində həzm sisteminə düşən inulin asanlıqla mənimsənilir. Çünki inulin mədə şirəsinin turş mühitində qeyri-fermentativ yolla hidroliz olunur. Məhlul şəklində qan damarlarına yeridildikdə isə inulin heç bir dəyişikliyə uğramır və böyrəklər vasitəsilə orqanizmdən xaric edilir; ondan böyrəyin filtrasiyaedici funksiyasını öyrənmək məqsədilə istifadə edilir.

Sellüloza – təbiətdə ən çox yayılmış üzvi maddədir; bitkilərin ən mühüm struktur polisaxarididir. Biosferdə olan bütün üzvi maddələrin ümumi miqdarının yarısından çoxu sellülozanın payına düşür. Bitkilərin oduncaq hissəsinin ümumi kütləsinin 50-70%-ni sellüloza təşkil edir; pambıq lifində sellülozanın miqdarı xüsusilə çoxdur (90-95%).

Sellülozanın struktur vahidləri β-D-qlükoza (qlükopiranoza) qalıqlarından ibarətdir; qlükopiranoz qalıqlarının arasında β-1,4-qlikozid rabitələri olur. Aşağıda sellülozanın strukturunun sxemi təsvir edilir:



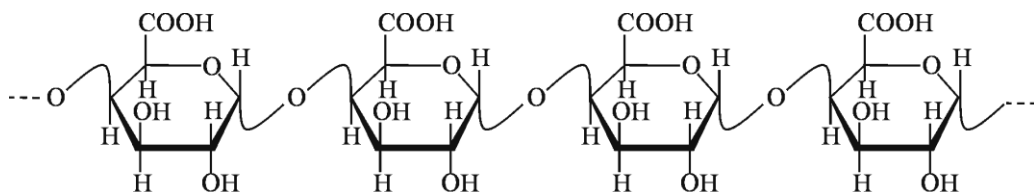
Sellülozanın molekül zəncirində şaxələnmə olmur. Onun molekül kütləsi 400 mindən 3-3,3 milyona qədərdir; bu, 2500-20000 qlükoza qalıqına müvafiq gəlir. Sellüloza molekülünün 1 cüt β -qlükoza qalıqından ibarət olan fraqmentləri sellobioza adlanan disaxaridin molekül strukturuna müvafiq gəlir. Bu polisaxariddən natamam hidroliz zamanı sellobioza, tam hidroliz zamanı β -d-qlükoza əmələ gələ bilər.

Sellülozanın düzxətli molekül zəncirlərində anomer karbon atomuna birləşmiş vəziyyətdə olan oksigen atomları hidrogen rabitəsi əmələ gətirməyə meyilli olur. Bunun sayəsində sellülozanın polimer zəncirinin daxilində, həm də onunla qonşuluqda yerləşən zəncirlər arasında yaranan hidrogen rabitələri sellülozaya xarakterik möhkəmlik verir.

Sellüloza suda həll olmur, həzm fermentlərinin təsirindən parçalanmır və insan orqanizmi bu polisaxaridi mənimsəyə bilmir. Lakin qida maddələrinin tərkibində müəyyən qədər sellülozanın olması vacibdir, çünki qidada sellüloza olmadıqda nəcis kütləsinin formalaşması prosesi pozulur.

Pektin maddələri – meyvələrin (alma, armud, üzüm, gilənar, heyva və s.), kökümeyvələrin (çuğundur, yerkökü) və bitki şirələrinin tərkibinə daxil olan polisaxariddir. İnsan üçün qida maddəsi kimi əhəmiyyəti vardır. Bitkilərdə 2 forması aşkar edilmişdir: 1) hüceyrəarası sahədə və hüceyrə qılıfının matriksində toplanan, həll olmayan *p r o t o p e k t i n*; və 2) meyvə və tərəvəz şirələrinin tərkibində məhlul şəklində olan *p e k t i n*.

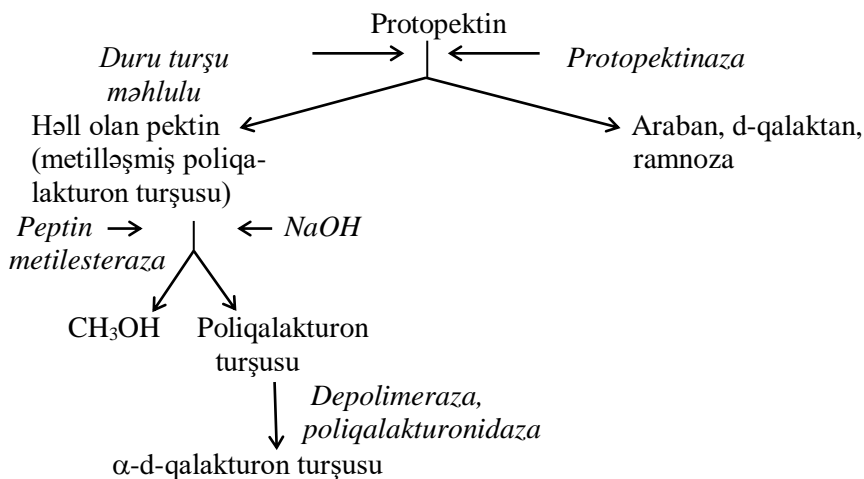
Pektinin molekül strukturunun əsasını d-qalakturon turşusunun kalsium və maqnezium duzları təşkil edir: d-qalakturon turşusu qalıqları bir-birilə 1,4-qlikozid rabitələri vasitəsilə birləşib, polimer zənciri əmələ gətirir (buna *pektin turşusu* deyilir). Beləliklə, “pektin maddələri” adı altında pektin turşusu və onun duzları (pektanlar) nəzərdə tutulur. Pektin maddələrinin tərkibində olan karboksil qruplarının metilləşmə yolu ilə əmələ gətirdiyi efirlər – pektinlər adı ilə birləşdirilir. Pektin turşularının əsasını təşkil edən qalakturon turşusu qalıqlarının birləşmələrini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar:



pektin turşusu

Həll olmayan protopektin həll olan pektinin hüceyrə qılıfları ilə rabitəli olan qalaktan və arabanla birləşmələridir. Onların tərkibində qalakturon turşusu qalıqları metil efirləri şəklində olur; bundan əlavə, protopektinin əmələ gəlməsində sellüloza, kalsium, maqnezium və fosfat turşusu iştirak edir. Protopektin duru turşu məhlullarının və protopektinaza fermentinin təsiri nəticəsində həll olan pektinə çevrilir. Bitkilərdə protopektinin pektinə çevrilməsi fermentativ yolla həyata keçən mürəkkəb biokimyəvi prosesdir. Bu prosesdə protopektinaza, pektinmetilesteraza, depolimerazalar və pektinpoliqalakturonazalar iştirak edir. Meyvələrin yetişmə dövründə onların tərkibində olan proto-

pektinlər pektinə çevrilir və onların bir hissəsi tam hidroliz olunaraq, sərbəst qalakturon turşusu şəklində ayrılır. Yetişmə dövründə meyvələrin dadının yaxşılaşması ilə müşayiət edilən bu proses bir neçə ardıcıl kimyəvi reaksiyadan ibarətdir (sxem 2.5); prosesin ilk mərhələsində protopektinaza fermenti protopektini pektinə çevirir; bundan sonra pektin maddələrinin tərkibində olan metil qruplarının mürəkkəb efir rabitələri pektinmetilesteraza fermentinin təsiri altında hidroliz edilir; pektin molekulları depolimerazanın təsirindən xırdamolekullu pektinlərə parçalanır; bunlar isə poliqaalakturonidazanın katalizatorluğu şəraitində hidroliz olunur. Nəticədə qlükuron turşusu qalıqları arasında olan 1,4 qlükozid rabitələri parçalanır və sərbəst qlükuron turşusu əmələ gəlir.



Sxem 2.5. Protopektinin deqradasiyası

Pektin maddələri 65-70%-li şəkər məhlullarında və pH-ı 3,1-3,5-ə bərabər olan mühitdə gələ çevrilir. Belə gəlin əmələ gəlməsi üçün məhlulda 0,2-1,5% pektin maddəsi olmalıdır. Pektin maddələrinin bu xassəsindən qənnadı sənayesində jelle, marmelad və cem istehsalında istifadə edilir.

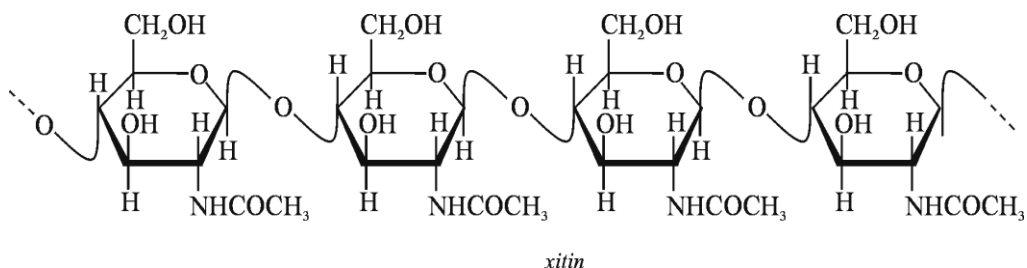
Ərzaq məhsullarının tərkibində olan pektin maddələrinin böyük əhəmiyyəti vardır. Orqanizm onlardan enerji mənbəyi kimi istifadə edə bilər. Bundan əlavə, pektin maddələri bağırsaqların funksiyalarını tənzim edir, ağır metal duzları ilə zəhərlənmələr zamanı detoksikasiyaedici təsir göstərir. Onların bəzi növləri xora əleyhinə təsir göstərir. Məsələn, bağıyarpağından hazırlanan və mədə xorasının müalicəsində istifadə edilən plantaqlüsid preparatının əsasını pektin maddələri təşkil edir.

Bəzi dəniz yosunlarından alınan aqar-aqar adlı polisaxarid də kimyəvi tərkibinə görə pektin maddələrinə oxşardır. Aqar-aqar aqarozla ilə aqaropektinin qarışığından ibarətdir. Aqarozanın molekulyar zənciri d-qalaktoza və 3,6-anhidro-1-qalaktoza qalıqlarının növbə ilə β (1→4) və α (1→3) rabitələri vasitəsilə birləşməsinin məhsuludur. Aqaropektin d-qalaktopiranozanın polimeridir; onun tərkibində qalaktoza qalıqlarının bir hissəsi sulfatlaşmış vəziyyətdə olur.

Aqar-aqar qızdırılma zamanı həll olur. Onun məhlulları otaq temperaturunda gələ çevrilir. Aqar-aqardan bakterioloji tədqiqatlar zamanı qidalı mühit kimi istifadə edilir, qənnadı sənayesində isə ondan jele və marmelad hazırlanır.

Xitin – struktur polisaxaridlərinin bir növüdür; buğumayaqlıların və bəzi başqa onurğasız heyvanların xarici skeletinin tərkibinə daxildir.

Xitinə göbələklərin hüceyrə qişalarının tərkibində də rast gəlinir. Kimyəvi strukturuna görə, xitin bir-birilə 1,4-β-qlikozid rabitələri vasitəsilə birləşmiş N-asetil qlükozamin qalıqlarından ibarət olan polimerdir.



Xitin adətən zülallarla, lipidlərlə, piqment maddələri ilə və qeyri-üzvi duzlarla (kalsium birləşmələri) rabitəli şəkildə olur, suda və üzvi həlledicilərdə çox çətinliklə həll olur. Bu polisaxarid müxtəlif canlıların orqanizmində mexaniki, istinad və mühafizəedici funksiyaları daşıyır.

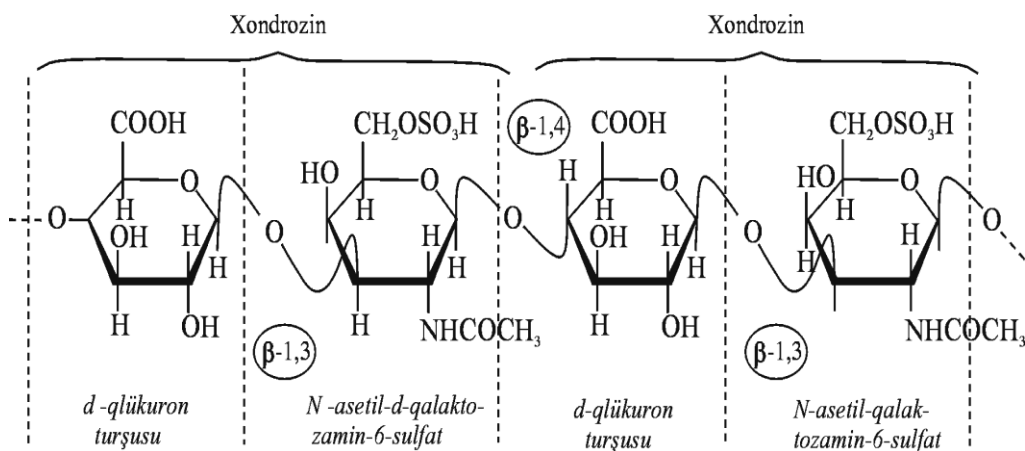
2.4.2. HETEROPOLİSAXARİDLƏR (QLİKOZAMİNLİKANLAR)

Heteropolisaxaridlərin polimerşəkilli molekul strukturlarının formalaşmasında 2 və daha artıq monosaxarid növü iştirak edir. İnsan orqanizmində olan heteropolisaxaridlərin hamısının tərkibinə heksozaminlər daxil olur. Buna görə onlara qlikozaminqlikanlar deyilir. Əvvəllər bu birləşmələr mukopolisaxaridlər adı altında öyrənilirdi. Onların əksəriyyətinin molekul strukturunda 2 müxtəlif monomer növü ardıcıl olaraq təkrarlanır və adətən bu monomerlərdən biri heksozaminlər, digəri isə heksuron turşuları qrupundan olur. Bəzi heteropolisaxaridlərin tərkibinə sulfat turşusu qalıqları da daxil olduğuna görə, onlar polianion şəklində olub, kəskin turş reaksiya verirlər. Bu birləşmələrin suda məhlulları gel xassəli olur (mukopolisaxarid adı bununla əlaqədardır; latınca *mucos* – selik sözündən).

Orqanizmdə heteropolisaxaridlərin əksəriyyətinə zülallarla kompleks birləşmələr (proteoqlikanlar) şəklində rast gəlinir. Bunlar əsasən birləşdirici toxumanın ara maddəsinin tərkibinə daxil olurlar. Bunlardan heparin, xondroitinsulfatlar və hialuron turşusu nisbətən ətraflı tədqiq edilmişdir. Adı çəkilən polisaxaridlərin ümumi cəhətləri bundan ibarətdir ki, onların hamısının molekullarının 2 yanaşı yerləşən monomerdən ibarət olan fraqmentində 1 uron turşusu (d-qalakturon, d-qlükuron və ya L-iduron turşusu) və 1 ədəd N-asetilheksozamin (N-asetilqlükozamin və ya N-asetilqalaktozamin) qalığı olur. Bunlardan başqa, birləşdirici toxumada neytral xassəli homopolisaxaridlərə (neytral mukopolisaxaridlər) də rast gəlinir. Aşağıda heteropolisaxaridlərin növləri haqqında məlumat veririk.

Xondroitinsulfatlar – bütün birləşdirici toxumaların tərkibinə daxildir; qığırdaq toxumasının quru kütləsinin 40%-ni xondroitinsulfat təşkil edir; bu birləşmələr dəridə, vətərlərdə, ürək qapaqlarında və arteriyaların divarlarında da geniş yayılmışdır. Toxumalarda xondroitinsulfat zülallarla birləşmiş (xondromukoid) şəkildə olur.

Xondroitinsulfatın strukturunun əsasını N-asetil qrupuna malik olan *xondroz*in adlı disaxarid təşkil edir; xondrozinin tərkibinə d-qlükuron turşusu və N-asetil-d-qalaktozamin daxildir; bunlar arasında β -1,3-qlikozid rabitəsi olur, iki xondroz qalığı isə bir-birilə β -1,4-qlikozid rabitəsi vasitəsilə birləşir. Adlarından məlum olduğu kimi, xondroitinsulfatların tərkibinə sulfat turşusu qalıqları da daxildir; onların strukturuna daxil olan N-asetil-d-qalaktozamin qalıqları ilə sulfat turşusu qalıqlarının arasında efir rabitələri olur. Sulfat turşusu N-asetilqalaktozaminin ya dördüncü, ya da 6-cı karbon atomu ilə birləşir. Bununla əlaqədar olaraq, bu birləşmələrin 2 növü – xondroitin-4-sulfat və xondroitin-6-sulfat ayırılmalıdır. Aşağıda xondroitin-6-sulfatın strukturunun sxemi təsvir edilmişdir (sxem 2.6). Xondroitin-4-sulfat ondan yalnız sulfat turşusu qalığının yerinə görə fərqlənir.



Sxem 2.6. Xondroitin-6-sulfat

Xondroitinsulfatın molekul zəncirinin sonunda 1 ədəd d-qlükuron turşusu, 2 ədəd d-qalaktoza və 1 ədəd d-ksiloza qalıqlarından ibarət tetrasaxarid fraqmenti olur. Bu fraqment xondroitinsulfatı zülallarla birləşdirir. Xondroitinsulfat-peptid kompleksinin yaranmasında bir tərəfdəki d-ksiloza qalığı ilə digər tərəfdəki serin amin turşusunun –OH radikalı arasında olan O-qlikozid rabitəsi iştirak edir. Xondroitin-sulfatların molekul kütləsi 50 minlə 100 min arasında təəddüd edir.

Birləşdirici toxuma proteoqlikanlarının qeyri-zülal komponentləri arasında strukturuna görə xondroitinsulfatlara bənzəyən *d e r m a t a n s u l f a t* və *k e r a t a n s u l f a t* adlanan polisaxaridlər də aşkar edilmişdir. Əvvəllər dermatansulfata xondroitinsulfat B deyilirdi, xondroitin 4- və 6-sulfatlar isə müvafiq olaraq, xondroitinsulfat A və xondroitinsulfat C adlanırdı. Dermatansulfatın tərkibində, xondroitinsulfatlardan fərqli olaraq, d-qlükuron turşusunun

əvəzində l-iduron turşusu qalıqları olur, onlar α -1,3-qlikozid rabitələri vasitəsilə sulfatlaşmış N-asetilqalaktozamin qalıqları ilə birləşir.

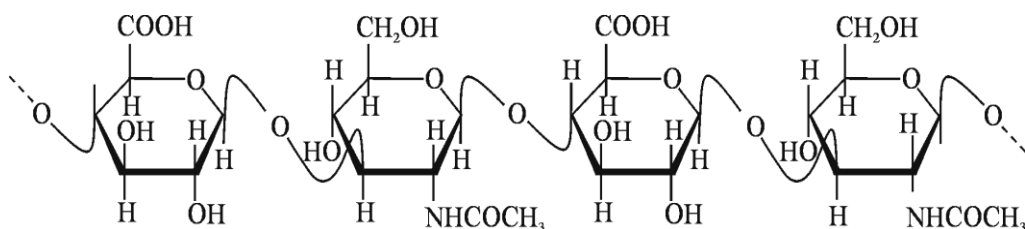
Keratansulfatın molekulyar zənciri isə β (1,4)-qlikozid rabitəsi ilə birləşmiş d-qalaktoza və N-asetilqlükozamin-6-sulfat qalıqlarından ibarət olan disaxarid fraqmentlərinin birləşməsi nəticəsində əmələ gəlir. Bu disaxaridlər arasında β (1,3)- qlikozid rabitələri olur.

Dermatansulfatın bioloji rolu haqqında ətraflı məlumat yoxdur. Lakin belə hesab edilir ki, bu polisaxarid antikoaqulyant təsiri göstərir və kollagen liflərinin möhkəmliyini artırır. Keratansulfatlar əsasən qığırdaq toxumasının ara maddəsində və gözün buynuz qişasının tərkibində olur.

Hialuron turşusu – ən çox yayılmış və ətraflı öyrənilmiş heteropolisaxaridlərdəndir; qığırdaq və buynuz toxuması müstəsna olmaqla, birləşdirici toxumanın bütün növlərinin ara maddəsinin tərkibinə daxildir; sinovial maye və göbək ciyəsi hialuron turşusu ilə xüsusən zəngindir.

Hialuron turşusu adətən zülallarla kompleks birləşmə şəklində olur; bu komplekslərin molekulyar kütləsi bir neçə milyona qədərdir, təmiz hialuron turşusu isə nisbətən kiçik molekulyar kütləsinə (270000-500000) malik olan, suda həll edildikdə özlü kolloid məhlul (gel) əmələ gətirən maddədir.

Hialuron turşusunun molekulyar zənciri N-asetil- β -d-qlükozaminlə β -d-qlükuron turşusunun 1:1 nisbətində növbələşən sırasından ibarətdir: burada aminşəkərlə qlükuron turşusu arasında 1,3 və 1,4- β -qlikozid rabitələri növbələşir (sxem 2.7).



Sxem 2.7. Hialuron turşusu molekulyar zəncinin fraqmenti

Hialuron turşusunun hidrolizi zamanı qlükozamin, qlükuron turşusu və sirkə turşusu əmələ gəlir. Bu polisaxaridi toxumalardan duru qələvi məhlulu, fenol və trixlorasetat vasitəsilə ekstraksiya edirlər. Ekstraksiyadan sonra hialuron turşusu spirt vasitəsilə çökdürülür və zülallardan ayrılır.

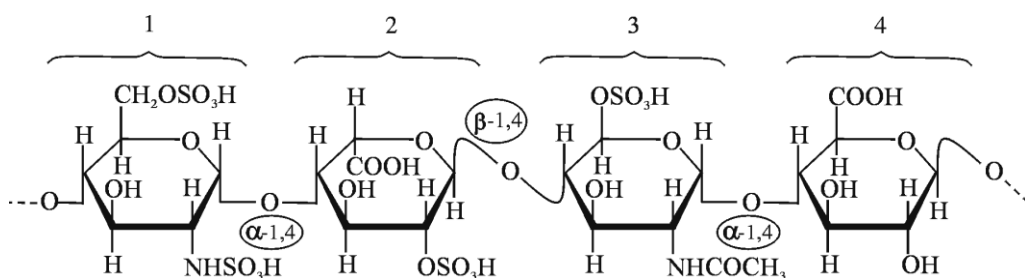
Hialuron turşusu birləşdirici toxumanın hüceyrəarası maddəsinə daxil olur və xarici mühitin zərərverici amillərinin toxumaya daxil olmasının qarşısını alır. Birləşdirici toxumanın baryer funksiyası əsasən buradakı hialuron turşusunun miqdarından və fiziki-kimyəvi xassələrindən asılıdır. Patogen mikroorqanizmlərin bir qrupunun ferment komplekslərinə hialuron turşusunu parçalayan fermentlər də daxildir; onların insan və heyvan toxumalarına daxil olmasının mexanizmi hialuron turşusunun depolimerizasiyası ilə əlaqədardır. Bəzi fiziki zərərverici amillərin (məsələn, radioaktiv şüaların) təsiri nəticəsində hialuron turşusunun parçalanması sürətlənir. Belə hallarda toxuma baryerlərinin keçiriciliyi artır və orqanizmin infeksiyaya qarşı müqaviməti azalır. Hialuron turşusu sinovial mayeyə xarakterik yağlılıq verir ki, bunun da

oynaqlara dəyən zərbələrin yüngülləşdirilməsi baxımından müəyyən əhəmiyyəti vardır.

Hialuron turşusu fibroblast hüceyrələrdə sintez edilir. Yaraların və iltihabi proses nəticəsində zədələnmiş toxumaların çapıqlaşması zamanı fibroblastların fəallığı artır, onlarda sintez edilən hialuron turşusu və kollagen zədələnmiş sahələrin çapıq toxuması ilə tutulmasına şərait yaradır. Oynaq kontrakturalarının, xronik tendovaginitin, artrit və artrozların müalicəsi zamanı hialuronidaza fermentindən toxumalarda toplanan hialuron turşusunun artıq miqdarını hidrolitik parçalanmaq və sorulmasına nail olmaq məqsədilə istifadə edilir.

Heparin – insan və heyvan orqanizmində birləşdirici toxumanın tosqun hüceyrələrində sintez edilən bioloji aktiv maddədir; ilk dəfə qaraciyərdə aşkar edildiyinə görə *heparin* adı almışdır. Heparin qaraciyərdə başqa orqanlara nisbətən çox olur (hər 1 kq qaraciyər toxumasında 100 mq). Lakin orqanizmin demək olar ki, bütün toxuma və orqanlarında (qan, ağciyər, ürək, dalaq, qalxanabənzər vəzi, mədənin selikli qişası və s.) heparin aşkar edilmişdir. Heparin orqanizmin ən mühüm təbii antikoagulyantıdır; əsas bioloji funksiyası qanın laxtalanmasının ləngidilməsi ilə əlaqədardır. Heparin həm bilavasitə, həm də orqanizmin təbii koagulyant sisteminin əsas komponentlərindən biri olan antitrombin III-ün fəallığını artırmaq yolu ilə trombinin fəallığını azaldır və trombozların qarşısını alır. Bundan əlavə, heparin lipoproteinlipaza fermentinin fəallığını artırmaqla, lipid mübadiləsinə təsir göstərir. Onun təsirindən qanla piy hüceyrələri arasında lipid mübadiləsi tənzim edilir.

Heparin – molekul kütləsi 16-20 min olan heteropolisaxariddir. Onun kimyəvi strukturu digər qlikozaminqlikanların strukturuna oxşardır. Heparinin molekul zəncirində də d-qlükozaminlə uron turşusu qalıqlarından ibarət olan disaxarid cütünü təkrarlanır. Hər monosaxarid cütündə 1 ədəd d-qlükozamin qalığı və 1 ədəd uron turşusu (ya d-qlükuron, ya da l-iduron turşusu) qalığı olur. Adətən l-iduron turşusu qalıqlarına d-qlükuron turşusuna nisbətən çox rast gəlinir. Disaxarid fraqmentlərinin daxilində ya 1,4- α -qlikozid rabitəsi (α -qlükozaminlə l-iduron turşusu arasında), ya da β -1,4-qlikozid rabitəsi (d-qlükozaminlə d-qlükuron turşusu arasında) ola bilər (sxem 4.8).



Sxem 4.8. Heparinin molekul zəncirinin fraqmenti: 1 – sulfatlaşmış d-qlükozamin qalığı; 2 – sulfatlaşmış l – iduron turşusu qalığı; 3 – sulfatlaşmış və asetilləşmiş d-qlükozamin qalığı; 4 – d-qlükuron turşusu qalığı

Heparin zəncirinin sxematik təsvirindən görüldüyü kimi, burada qlükozamin qalıqlarının amin qrupları çox vaxt sulfatlaşmış, bəzən isə asetilləşmiş

vəziyyətdə olur; l-iduron turşusu qalıqlarında 2-ci, qlükozamin qalıqlarında 6-cı karbon atomları ilə sulfat turşusu qalıqları arasında efir rəbitəsi olur, d-qlükuron turşusu isə sulfatlaşmamış vəziyyətdə olur. Orta hesabla hər saxarid fraqmentinə 2,5-3 ədəd sulfat turşusu radikalı düşür.

Heparin qanın tərkibində və toxumalarda zülal komponenti ilə kompleks birləşmə (proteoqlikan) şəklində olur. Onun zülal komponenti strukturuna görə, məlum olan bütün zülallardan fərqlənir: bu zülalın peptid zənciri yalnız serin və qlisin qalıqlarından ibarətdir; molekul kütləsi isə 5-15 min (bəzən 100 minə qədər) olur. Onun tərkibində olan serin qalıqlarının təxminən hər üçündən birinin hidroksil qrupu heparinlə rəbitəyə cəlb edilir. Burada peptid zəncirində olan serin qalığının –OH radikalları ilə heparinin molekul zəncirinin sonluğunda olan d-ksiloza qalığı arasında efir rəbitəsi yaranır (heparinin də molekul zəncirinin son hissəsi xondroitinsulfat kimi, tərkibinə d-ksiloza qalığı daxil olan tetrasaxaridlə başa çatır).

Heparindən praktik təbabətdə trombozların müalicə və profilaktika vasitəsi kimi istifadə edilir. Bundan əlavə, heparin bəzi ürək-damar sistemi xəstəliklərinin və yanq xəstəliyinin müalicəsi və donor qanınin sabitləşdirilməsi məqsədilə tətbiq edilir.

Trombositlərin və endotel hüceyrələrinin səthində (membranla rəbitəli vəziyyətdə) kimyəvi strukturuna və bioloji fəallığına görə heparinə oxşar olan polisaxarid aşkar edilmişdir. *Heparan-sulfat* adlanan bu polisaxaridin strukturu da, heparin kimi, disaxarid fraqmentlərindən ibarətdir. Lakin onun tərkibində asetil qruplarının sayı çox, sulfat qruplarının sayı isə nisbətən az olur.

Neytral mukopolisaxaridlər. Dəridə və birləşdirici toxumalarda turş xassəli heteropolisaxaridlərdən başqa, tərkibində qlükuron və sulfat turşuları olmayan və buna görə yuxarıda nəzərdən keçirilən qlikozaminqlikanlardan fərqli olaraq, polianion xassəsi göstərməyən heteropolisaxaridlər də vardır. Neytral heteropolisaxaridlər (mukopolisaxaridlər) adı almış bu birləşmələrin molekul zəncirlərinə qlükozamin, qalaktoza, mannoza, l-fukoza, neyramin və sial turşularının qalıqları daxil olur (l-fukoza, neyramin və sial turşuları haqqında yuxarıda məlumat verilmişdir; səh. 42). Müəyyən edilmişdir ki, həzm sistemi şirələrinin və müxtəlif selikli ifrazatların (burun, traxeya, uşaqlıq boynu ifrazatları) tərkibinə daxil olan qlikoproteinlər neytral polisaxaridlərlə zülalların kompleks birləşmələridir. Neytral polisaxaridlər turş polisaxaridlərdən fərqli olaraq, zülallarla davamlı kompleks birləşmələr əmələ gətirir.

Eritrositlərin membranları ilə rəbitəli olan spesifik qan qrupu antigenləri neytral lipopolisaxaridlərlə zülalların kompleks birləşmələridir. Bu antigenlərin ümumi kütləsinin 15%-ni peptidlər; 85%-ni isə karbohidratlar təşkil edir. Qrup amillərinin fərqli cəhətləri 4 qan qrupunu müəyyənləsərsə də, onların kimyəvi strukturu bir-birindən az fərqlənir. Bu amillərin zülal hissəsinin tərkibində hidroksiturşular (serin, treonin) və prolin daha çox olur; bunlar bütün amin-turşu qalıqlarının 50%-ə qədərini təşkil edir. Bu amillərin antigen xassələrindəki fərqlər polisaxarid komponentinin tərkibindəki monosaxarid qalıqlarının miqdar nisbətindən asılıdır. Onların hidrolizatında N-asetil-d-qlükozamin, N-asetil-d-qalaktozamin, qalaktoza və l-fukoza daha çox olur. Qan qrupu amillərinin karbohidrat və peptid komponentləri bir-birilə serin və

treoninin hidroksil qrupları vasitəsilə birləşir. Hər polipeptid zəncirinə tərkibində orta hesabla 21-23 monosaxarid qalığı olan 50-dən artıq polisaxarid zənciri birləşir. Karbohidrat komponentlərinin molekul zəncirlərində uc hissədə yerləşən və reduksiyaedicilik xassəsi olmayan monosaxarid qalıqları bu amillərin qrup spesifikliyini müəyyənləşdirir.

III FƏSİL

LİPİDLƏR

3.1. LİPİDLƏRİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI VƏ TƏSNİFATI

Kimyəvi strukturlarına və bioloji funksiyalarına görə bir-birindən əsaslı surətdə fərqlənən, lakin fiziki-kimyəvi xassələrinə görə oxşar olan bioüzvi maddələrin böyük bir qrupu *lipidlər* adı altında birləşdirilir (yunanca: *lipos* – yağ). Bu maddələrin bir qrupa daxil edilməsi ilk növbədə həlledicilərə münasibətləri ilə əlaqədardır: lipidlər suda həll olmur, üzvi həlledicilərdə (etanol, efir, benzol, xloroform və s.) isə asanlıqla həll olurlar. Toxuma homogenatını bir və ya bir neçə üzvi həlledici ilə qarışdırdıqda, onun tərkibində olan lipidlər asanlıqla məhlula keçir. Bu üsuldən bioloji materialda olan lipidləri ayırmaq üçün istifadə edilir.

Lipidlərin əksəriyyəti piy turşularının qliserinlə və ya spesifik strukturlu başqa spirtlərlə əmələ gətirdiyi mürəkkəb efirlərdir. Bundan əlavə, lipidlərin bir sıra növlərinin molekul strukturuna fosfat turşusu, azot əsasları və karbohidratlar daxil olur. Heyvan və bitki toxumalarından üzvi həlledicilər vasitəsilə lipidlərin ekstraksiyası zamanı alınan qarışıqın (ekstraktın) tərkibində çox vaxt alifatik və politsiklik spirtlər, steroid hormonlar, prostaqlandinlər, bəzi kofermentlər, həmçinin yağda həll olan vitaminlər aşkar edilir. Buna görə, əksər müəlliflər həmin birləşmələri də lipidlər qrupuna aid edirlər. Beləliklə, bioüzvi birləşmələrin lipidlər qrupuna aid edilməsində 3 meyar əsas götürülür: 1) üzvi birləşmənin hidrofob xassəyə malik olması (yəni suda həll olmaması, üzvi həlledicilərdə isə həll olması); 2) maddənin bioloji obyektədən alınması (bioloji mənşəli olması); 3) molekul strukturunda alkil radikallarının (birvalentli doymuş karbohidrogen radikalı) və ya tsiklik karbohidrogen radikalının olması.

Lipidlərin təsnifatı. Lipidlərin müxtəlif prinsiplərə əsaslanan təsnifatları vardır. Bunların bir qrupunda lipidlərin *struktur-kimyəvi* əlamətləri, digər qrupunda *fiziki-kimyəvi xassələri*, üçüncü qrupunda isə *fizioloji əhəmiyyəti* əsas götürülür. *Struktur-kimyəvi* xassələrə əsaslanan təsnifat üzrə bölgüdə lipidlərin əsas növlərinin qələvi mühitdə hidroliz olunaraq, piy turşularının duzlarına, yəni sabunlara çevrilməsi əsas götürülür. Bu baxımdan lipidlərin 2 qrupu – *sabunlaşan* və *sabunlaşmayan lipidlər* – ayırılır. Sabunlaşmayan lipidlərə həm də *tərkibə mülki lipidlər* deyilir. Çünki, onlar hidroliz prosesinə uğramır və bu şəraitdə özlərini bircinsli birləşmə kimi aparırlar. Sabunlaşan lipidlər qrupuna ikikomponentli (sədə lipidlər) və hidroliz zamanı bir neçə komponentə parçalanan (mürəkkəb lipidlər) üzvi birləşmələr aiddir. Onlar qliserinin və ya müxtəlif spesifik strukturlu spirtlərin mürəkkəb efirləridir.

Lipidlərin *fiziki-kimyəvi təsnifatında* onların molekullarının polyarlığı əsas götürülür. Bu baxımdan polyar və qeyri-polyar (neytral) lipidlər ayırılır. Birinci qrupa ion yükünə malik olan lipidlər (məsələn, fosfolipidlər), ikinci qrupa isə elektrik yükü daşımayan lipidlər (asilqliserinlər, xolesterol və onun

efirləri) aiddir.

Fizioloji funksiyalarına görə, lipidlərin *ehtiyat, struktur* və *bioloji aktivliyə malik olan* növləri vardır. Ehtiyat lipidlər xüsusi piy toxumalarında və hüceyrələrdə toplanır və lazım gəldikdə orqanizmin enerjiyə ehtiyacının ödənilməsinə sərf edilir. Bunlar orqanizmin ən əsas enerji mənbəyidir. Orqanizm hər 1 q ehtiyat lipidin oksidləşməsi zamanı 39 kc (9,3kkal) enerji əldə edir ki, bu da karbohidratların eyni miqdarının verdiyi enerjiden 2 dəfədən də artıq çoxdur. Ehtiyat lipidlər adətən asilqliserin strukturuna malik olur. Lipidlərin *mühafizəedici* əhəmiyyəti də vardır: dərialtı piy toxumasına toplanan lipidlər istilik izolyatoru olmaqla, orqanizmi soyuğun təsirindən mühafizə edir. Bu funksiyanın xüsusən qütb zonasının yaxınlığında yaşayan dəniz heyvanları üçün böyük əhəmiyyəti vardır. *Struktur lipidləri* bioloji membranların, bitki və həşəratların mühafizəedici örtüklərinin və onurğalı heyvanların dərisinin strukturuna daxil olur.

İnsan orqanizminin ümumi kütləsinin 10-20%-ni lipidlər təşkil edir. Orta bədən kütləsinə malik olan insan orqanizmində 10-12 kq lipid olur; əsasən bioloji membranların tərkibinə daxil olan struktur lipidlərinin miqdarı 2-3 kq-dır. Orqanizmdəki lipidlərin qalan hissəsi isə ehtiyat üçün saxlanır. Ehtiyat lipidlərin 98%-ə qədəri piy toxumasında olur. Hüceyrə membranlarının ümumi kütləsinin 40%-ə qədərini lipidlər təşkil edir. Struktur lipidləri müxtəlif toxumalar arasında qeyri-bərabər paylanır. Sinir toxumasında bu lipidlərin miqdarı daha çoxdur (ümumi miqdarın 20-25%-i qədər).

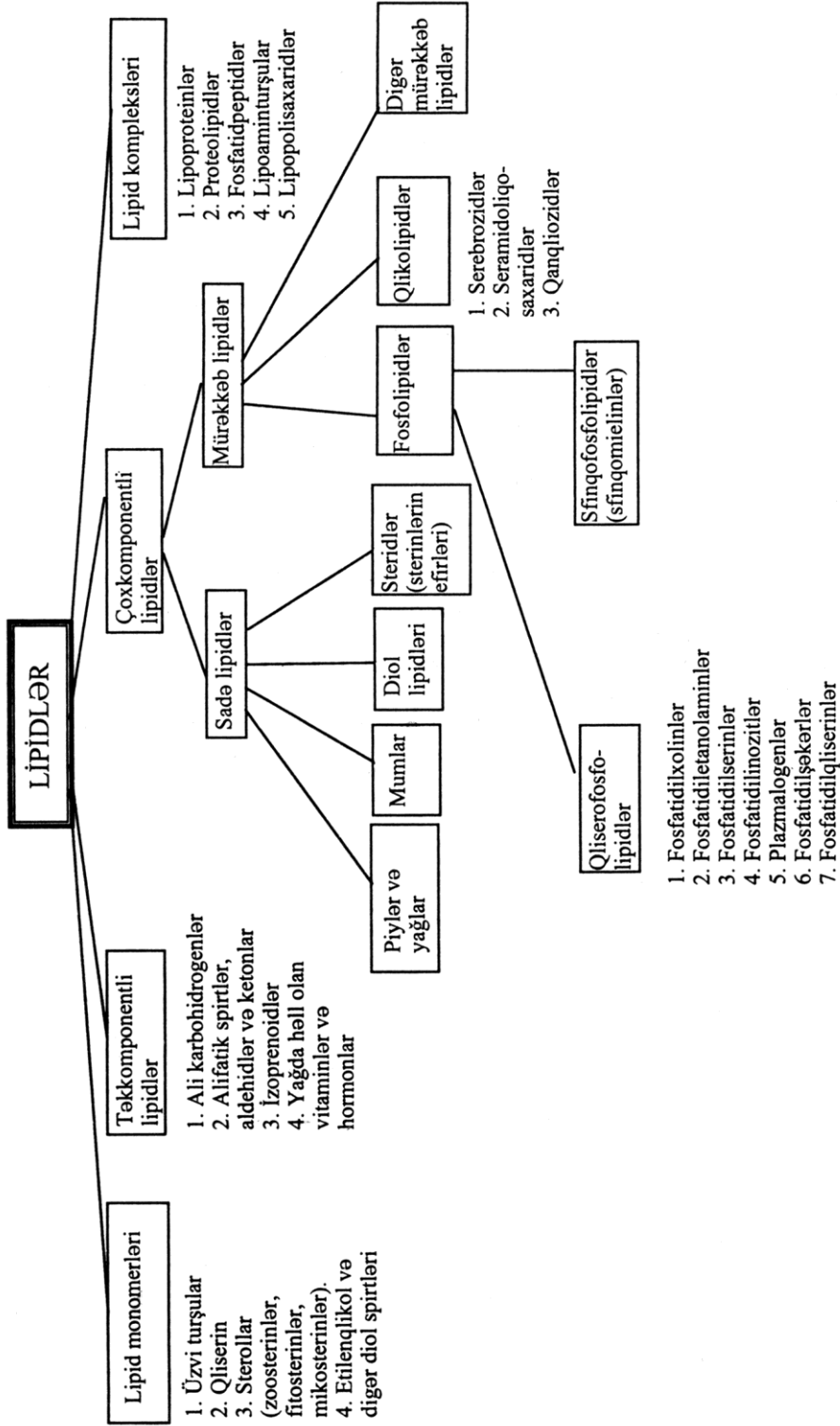
Kimyəvi strukturlarına və fiziki-kimyəvi xassələrinə görə lipidlər qrupuna aid olan bir sıra birləşmələr (prostaqlandinlər, yağda həll olan vitaminlər, ubixinon, bəzi kofermentlər) orqanizmin funksiyalarının və biokimyəvi proseslərin tənzimində iştirak edirlər. Lipidlərin *tənziməedici funksiyası* bundan ibarətdir.

Yuxarıda verilən təsnifatların (struktur-kimyəvi, fiziki kimyəvi, funksional) hər birinin müəyyən üstün cəhətləri vardır. Lakin onların heç biri toxumalardan alınan lipid fraksiyalarının tərkibini tam dolğunluğu ilə əks etdirmir. Bizim fikrimizcə, lipidlərin müxtəlif növlərinin struktur-kimyəvi və fiziki-kimyəvi fərqlərini aydın təsvir etmək üçün, onları öyrənərkən adı çəkilən ilk iki təsnifatın kombinasiyasından istifadə etmək daha əlverişlidir. Biz bu prinsipə əsaslanaraq, lipid fraksiyasına daxil olan birləşmələri aşağıdakı 4 qrupa bölməyə üstünlük veririk (sxem 3.1).

1. **L i p i d m o n o m e r l ə r i**: bu qrupa aid olan birləşmələr həqiqi lipidlərin hidrolizi zamanı alınan məhsullardır. Lakin toxumalarda həmin birləşmələrin müəyyən hissəsinə sərbəst halda da təsadüf edilir;

2. **T ə k k o m p o n e n t l i l i p i d l ə r** – hidroliz reaksiyasına uğramayan üzvi birləşmələrdir.

3. **Ç o x k o m p o n e n t l i l i p i d l ə r**: bu qrupa aid olan lipidlər hidroliz olunduqda 2 və daha artıq xırdamolekullu birləşməyə parçalanır. Hidroliz məhsullarının növlərinə görə, bu qrupu 2 yarımqrupa – *sadə və mürəkkəb lipidlərə* bölmək olar; birinci yarımqrupa hidroliz məhsulları arasında yalnız üzvi turşular və spirtlər (əsasən qliserin, nisbətən az hallarda isə ikiatomlu və ya təkatomlu spirtlər) olan hidrofob xassəli üzvi birləşmələr daxildir. Mürəkkəb lipidlərin isə hidroliz məhsulları arasında sadə lipidlərin komponentlərindən əlavə, fosfat turşusu, azot əsasları (xolin, serin, kolamin və s.) və b. maddələr aşkar edilir.



Sxem 3.1. Lipidlərin fiziki-kimyəvi və struktur kimyəvi əlamətlərinə əsaslanan təsnifatı

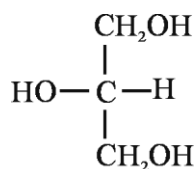
4. Lipidlərin başqa üzvi maddələrlə kompleks birləşmələri (3.1-ci sxemdə təsnifat haqqında daha ətraflı məlumat verilmişdir).

Yuxarıdakı təsnifatın 4-cü qrupuna daxil olan lipid kompleksləri haqqında dərsləyin müvafiq fəsilələrində məlumat verilmişdir. Burada isə ilk 3 qrupun əsas xüsusiyyətləri izah edilir.

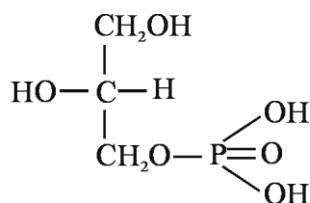
3.2. LİPİD MONOMERLƏRİ VƏ TƏKKOMPONENTLİ LİPİDLƏR

Lipidlərin müxtəlif növləri hidroliz edildikdə üzvi turşular, qliserin, ali alifatik spirtlər, aldehidlər, ketonlar, ali aminspirtlər, çoxatomlu spirtlər, steroidlər, terpenlər, bəzi xırdamolekullu azotlu üzvi birləşmələr və fosfat turşusu əmələ gələ bilər. Lipidlərin nisbətən geniş yayılmış növlərinin tərkibində isə alifatik üzvi turşular (yağ və ya piy turşuları) və qliserin üstünlük təşkil edir.

Qliserin. Neytral yağların (triasilqliserinlər) və fosfolipidlərin tərkibinə daxil olan əsas komponentlərdən biri qliserindir. Qliserin təbiətdə ən geniş yayılmış üçatomlu spirtədir. Otaq temperaturunda özlü maye şəkildə olan qliserin şirin dadlı maddədir, su və spirtlə yaxşı qarışır, efiərdə isə həll olur; həm üzvi, həm də qeyri-üzvi turşularla reaksiyaya girib, efiərlər əmələ gətirə bilər. Qliserin yağların və piylərin tərkibində alifatik üzvi turşularla birləşmə şəkildə olur. Fosfolipidlərin tərkibində olan qliserinin spirt qruplarından biri fosfat turşusu ilə efiə rəbitəsində olur. Qliserinin fosfat efiəri orqanizmdə sintez edilir, həmçinin lipidlərin katabolizmi və sintezi zamanı aralıq məhsul kimi əmələ gəlir.



qliserin



l-qliserin-3-fosfat

Üzvi turşular. Alifatik karbohidrogenlərin karboksil qrupuna (və ya qruplarına) malik olan törəmələri üzvi turşular adlanır. Canlıların toxumalarında üzvi turşuların sərbəst formalarına nadir hallarda təsadüf edilir. Lakin lipidlərin əsas növlərinin və onların mübadilə məhsullarının əksəriyyətinin strukturuna bu turşuların efiə rə və ya amid birləşmələri daxil olur. Onlar sadə və mürəkkəb lipidlərin əsas hidrofob komponentləridir.

Təbii triasilqliserinlərin tərkibində üzvi turşuların 200-ə yaxın növü aşkar edilmişdir. Onlar bir-birindən karbohidrat zəncirlərinin uzunluğuna, karbon atomlarının hidrogenlə doyma dərəcəsinə, ikiqat rəbitələrin sayına və yerləşməsinə, struktur konformasiyasına, molekul zəncirinin şaxələnmələrinin xarakterinə və tərkiblərində olan əlavə radikalların növünə (hidroksi-, epoksi-, ketoqruplar, tsiklik strukturlu radikallar və s.) görə fərqlənir.

Bitki və heyvan mənşəli lipidlərin tərkibinə daxil olan üzvi turşuların aşağıdakı xarakter xassələri vardır: 1) adətən lipidlərin tərkibində olan üzvi turşuların molekul zəncirlərində karbon atomlarının sayı cüt olur, lakin nadir

hallarda təksaylı karbon atomları zəncirinə malik turşulara da rast gəlinir; 2) lipidlərin tərkibinə adətən monokarbon turşuları daxil olur, yəni bu turşuların tərkibində yalnız 1 ədəd karboksil qrupu olur; bu turşuların əksəriyyətinin molekulyar zəncirində şaxələnmə və tsiklik strukturlu hissə olmur; 3) yağ (piy) turşuları doymuş və ya doymamış üzvi birləşmələrdir.

Ali üzvi turşular ilk dəfə piylərin (yağların) tərkibində aşkar edildiyinə görə, piy (və ya yağ) turşuları adlanır. Lipidlərin tərkibində aşkar edilən doymuş üzvi turşuların əksəriyyətinin molekulyar zəncirində 12-dən 18-ə qədər karbon atomu olur. 5.1.-ci cədvəldə bu turşuların əsas növləri haqqında məlumat verilmişdir. Bu turşuların tərkibində olan karbon atomlarını nömrələyərkən karboksil qrupuna malik olan atomu 1-ci, molekulyar digər uc hissəsində yerləşən karbon atomu (metil qrupu) sonuncu hesab edilir; karboksil qrupundan sonra gələn karbon atomunu α - ilə də işarə edirlər.

Cədvəl 3.1

Doymuş piy turşularının əsas növləri

Turşunun ümumişlək adı	Beynəlxalq (Cenevrə) nomenklatura üzrə adı	Molekulda karbon atomlarının sayı	Struktur formulu
Kaprin turşusu	Dekan turşusu	10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Laurin turşusu	Dodekan turşusu	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Miristin turşusu	Tetradekan turşusu	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
*Palmitin turşusu	Heksadekan turşusu	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
*Stearin turşusu	Oktadekan turşusu	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Araxin turşusu	Eykozan turşusu	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Begen turşusu	Dokozan turşusu	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Liqnoserin turşusu	Tetrakozan turşusu	24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$
Serotin turşusu	Heksakozan turşusu	26	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{COOH}$
Montan turşusu	Oktakozan turşusu	28	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{26}\text{COOH}$

*Heyvan mənşəli lipidlərin tərkibində daha çox olan turşular.

Heyvan və insan orqanizmində tərkibində müvafiq surətdə 16 və 18 karbon atomu olan palmitin və stearin turşusu daha geniş yayılmışdır. Bu lipidlərin tərkibində molekulyar strukturuna 10 və daha az karbon atomu daxil olan üzvi turşu qalıqlarına olduqca az, təksaylı karbon zəncirinə malik olan turşulara isə nadir hallarda təsadüf edilir. Bakteriya və bitki yağlarının tərkibində üzvi turşuların daha çox növü olur. Bakteriyalardan ekstraksiya edilən lipidlərin tərkibində molekulyar zəncirində 6-dan (kapron turşusu) 26-ya qədər karbon atomu olan doymuş üzvi turşulara (o cümlədən təksaylı karbon zəncirinə malik turşulara) rast gəlmək mümkündür.

Piy turşularının molekulyar zəncirlərində karbon atomlarının sayı artdıqca, ərimə və qaynama temperaturları da yüksək olur. Molekulyar zəncirinə 10 və daha az karbon atomu daxil olan piy turşuları otaq temperaturunda maye halında, 10-dan artıq karbon atomundan ibarət olan turşular isə – bərk halda olur.

Doymamış piy turşularının əsas növləri

Ümumiş-lək adı	Cenevrə nomenklaturası üzrə adı	Molekul zənci-rində karbon atomlarının sayı, ikiqat rabitələrin sayı və vəziyyəti	Struktur formulu	Yayılməsi
Monoen turşuları (1 ədəd ikiqat rabitəsi olan turşular)				
Palmito-olein turşusu	<i>sis</i> - Δ^9 -heksade-sen turşusu	16:1; 9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COOH}$	Demək olar ki, bütün piylərin tərkibində
Olein turşusu	<i>sis</i> - Δ^9 -heksade-sen turşusu	18:1; 9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COOH}$	Təbii piylərin əksəriyyətində
Elaidin turşusu	<i>trans</i> - Δ^9 -oktadesen turşusu	18:1; 9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COOH}$	Otyeyən heyvan-ların piylərində və hidrogenləşdiril-miş bitki yağla-rında
Eruk turşusu	<i>sis</i> - Δ^{13} -dokozen turşusu	22:1; 13	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_{11}\text{-COOH}$	Xardal və raps yağında
Nervon turşusu	<i>sis</i> - Δ^{15} -tetrakozen turşusu	24:1; 15	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_{13}\text{-COOH}$	Serebrozidlərin tərkibində
Dien turşuları (tərkibində 2 ədəd ikiqat rabitə olan turşular)				
Linol turşusu	<i>sis</i> , <i>sis</i> - Δ^9 , Δ^{12} -oktadekadi-en turşusu	18:2; 9, 12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-OH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COOH}$	Buğda, araxis, pambıqyağı və müxtəlif bitki yağları
Trien turşuları (tərkibində 3 ədəd ikiqat rabitə olan turşular)				
Linolen turşusu	tam- <i>sis</i> -9-, 12-, 15 oktadeka-trien turşusu	18:3; 9, 12, 15	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COOH}$	Çox vaxt linol turşusu ilə birlikdə aşkar edilir (xüsusən kətan yağında)
Tetraen turşuları (4 ədəd ikiqat rabitəli turşular)				
Araxidon turşusu	tam- <i>sis</i> -5, 8, 11, 14-eykozate-trien turşusu	20:4; 5, 8, 11, 14	$\text{CH}_3\text{-}(\text{CH}_2)_4\text{-}(\text{CH=CH-CH}_2)_4\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-COOH}$	Bitki yağlarında linol turşusu ilə birlikdə aşkar edilir (xüsusən araxis yağında), heyvan fosfolipid-lərinin mühüm komponentidir
Pentaen turşuları (5 ədəd ikiqat rabitəsi olan turşular)				
Timnodon turşusu	tam <i>sis</i> -5, 8, 11, 14, 17-eykoza-pentaen turşusu	20:5; 8, 11, 14, 17	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}(\text{CH=CH-CH}_2)_5\text{-}(\text{CH}_2)_2\text{-COOH}$	Balıq yağında

Bütün canlı növlərinin toxumalarından alınan lipidlərin tərkibində doymuş turşularla birlikdə doymamış turşular da olur. 3.2.-ci cədvəldə bu turşuların adları və strukturları verilmişdir. Cenevrədə qəbul edilmiş Beynəlxalq nomenklaturaya görə, doymamış üzvi turşunun adı müvafiq doymuş turşunun adının sonluğunu “-en” hecası ilə əvəz etmək yolu ilə düzəldilir. Buna müvafiq olaraq, tərkibində iki, üç, dörd, beş ikiqat rabitə olan üzvi turşuların adlarının sonluğu müvafiq surətdə “dien”, “trien”, “tetraen” və “pentaen” kimi ifadə edilir; molekulda ikiqat rabitələrin yerini göstərmək üçün üzvi turşunun adına müxtəlif işarələr əlavə edilə bilər. Məsələn, Δ^9 işarəsi üzvi turşunun molekulundakı ikiqat rabitənin karboksil qrupu olan tərəfdən sayıldıqda 9-cu və 10-cu karbon atomları arasında yerləşdiyini, ω^6 işarəsi isə bu rabitənin üzvi turşu molekulunun karbon zənciri sırasında metil qrupu tərəfdən 6-cı və 7-ci atomlar arasında olduğunu ifadə edir.

Adətən lipidlərin tərkibində doymamış üzvi turşuların miqdarı doymuş turşulara nisbətən çox olur. Poykiloterm (qeyri-sabit) temperaturu orqanizmlərdə və bitkilərdə doymamış turşuların miqdarı xüsusilə çoxdur. Bu turşuların ərimə temperaturu çox aşağı olduğuna görə, onların daxil olduğu lipidlərin də ərimə temperaturu kifayət qədər aşağıdır (5°C və daha az). Məlumdur ki, poykiloterm orqanizmlərin bədən temperaturu xarici mühitin temperaturundan asılıdır. Buna görə, onların orqanizmində olan piylərin ərimə temperaturunun aşağı olmasının bioloji əhəmiyyəti vardır.

Bitki mənşəli yağ turşularının strukturunda 2 və daha artıq ikiqat rabitə olduqda onlar çox vaxt bir-birinə birləşmiş ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$) vəziyyətdə olur; buna konyuqasiya vəziyyəti deyilir. Heyvan toxumalarından alınan lipidlərdə isə ikiqat rabitələr divinilmetan ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$) qrupu şəklində yerləşir. Görünür, bunların bioloji membranların strukturu üçün müəyyən əhəmiyyəti vardır.

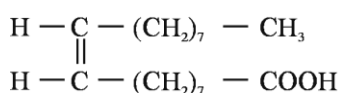
Təbiətdə geniş yayılmış bütün doymamış piy turşuları otaq temperaturunda maye halında olur. Onların molekul zəncirlərində ikiqat rabitələrin sayı nə qədər çox olarsa, ərimə temperaturları bir o qədər aşağı, qeyri-polyar həlledicilərdə həllolma qabiliyyətləri bir o qədər yüksək olur (cədvəl 3.3).

Cədvəl 3.3

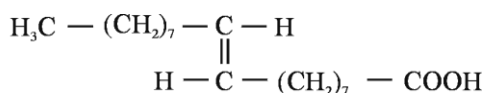
Molekul zəncirində 18 karbon atomu olan piy turşularının bəzi xassələri

Turşunun adı	İkiqat rabitələrin sayı	Ərimə temperaturu ($^{\circ}\text{C}$)	Soyuq etil spirtində həllolma qabiliyyəti
Stearin turşusu	0	70	2,5%
Olein turşusu	1	14	Qeyri-məhdud
Linol turşusu	2	5	Qeyri-məhdud
Linolen turşusu	3	-11	Qeyri-məhdud

Təbii mənbələrdən alınan doymamış üzvi turşuların əksəriyyəti *sis*-konfigurasiyalı olur. Bu baxımdan elaidin turşusu müstəsnaq təşkil edir. Bu turşu olein turşusunun *trans*-izomeridir.



Olein turşusu (sis-izomer)



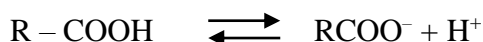
Elaidin turşusu (trans-izomer)

İnsanın və məməli heyvanların toxumalarında doymamış turşulardan – 2 ədəd ikiqat rabitəsi olan linol turşusuna (18:2), 3 ikiqat rabitəli linolen turşusuna (18:3) və 4 ikiqat rabitəli araxidon turşusuna (20:4) rast gəlinir. Doymamış yağ turşularından orqanizmdə tənzimedicilərin mühüm növləri olan prostaqlandinlər, tromboksanlar və leykotrienlər sintez edilir. Kimyəvi strukturuna görə, prostaqlandinlər tsiklik oksiturşular, leykotrienlər isə oksiturşular qrupuna aiddir. Doymamış turşuların bioloji əhəmiyyətini onların metabolizm məhsulları olan prostaqlandinlərin yüksək bioloji aktivliyə malik tənzimedicilərin olması müəyyənləşdirir. Bu turşulardan təbiətdə ən çox yayılanı – olein turşusudur. Ona bitki yağlarının tərkibində (zeytun yağı, günəbaxan yağı və s.) rast gəlinir.

Linol turşusu da əsasən bitki yağlarının tərkibində olur, heyvan toxumalarında bu turşunun cüzi miqdarına təsadüf edilir. Heyvan və insan toxumalarında linolen turşusunun yalnız izləri olur, lakin bitki yağlarının tərkibində bu turşunun da miqdarı kifayət qədər çoxdur. Araxidon turşusu isə insan və heyvan toxumalarında nisbətən geniş yayılmışdır. Bu turşu toxumalarda orqanizmə bitki mənşəli ərzaq maddələrinin tərkibində daxil olan linol və linolen turşularından sintez edilir.

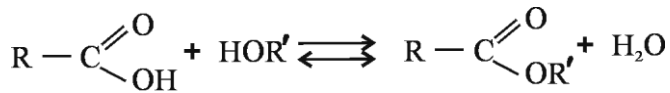
Piy turşularının fiziki və kimyəvi xassələrini molekul strukturlarının xarakteri müəyyənləşdirir. Onların molekullarının bir tərəfi (karboksil qrupu yerləşən hissə – polyar, digər tərəfi isə qeyri-polyar xassəlidir. Lipidlər qrupuna aid olan digər maddələr kimi, piy turşuları da suda həll olmur, qeyri-polyar həlledicilərdə isə həll olur. Molekul zənciri nisbətən qısa olan üzvi turşular (yağ turşusu, kapron turşusu) suda həll olan birləşmələrdir. Bu turşulara lipidlərin tərkibində efir rabitəsi ilə birləşmiş şəkildə rast gəlinir. Lakin suda həll olduqlarına görə, onların sərbəst formalarını lipidlər qrupuna daxil etmək olmaz.

Piy turşuları zəif turşu xassəli maddələr olub, məhlulda aşağıdakı tənlik üzrə dissosiasiyaya uğrayırlar:



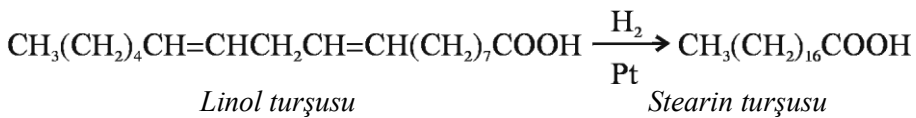
Buna görə piy turşuları qələvilərlə (KOH, NaOH) reaksiyaya girib, müvafiq duzlara çevrilə bilirlər. İnsanın gündəlik həyatda istifadə etdiyi sabunlar – piy turşularının duzlarıdır. Bu turşuların kalium duzları maye sabun, natrium duzları isə bərk sabun şəklində olur.

Piy turşuları spirtlərlə reaksiyaya girib, mürəkkəb efirlər əmələ gətirə bilirlər. Mühit temperaturunun və pH-ın artması efirləşmə reaksiyalarını sürətləndirir.



Efirləşmə reaksiyası

Doymamış piy turşularının molekul zəncirlərində olan ikiqat rabitələrin bir sıra reaksiyaları onları doymuş turşulardan fərqləndirir. Bunlar arasında hidrogenləşmə reaksiyalarının və halogenlərlə reaksiyaların xüsusi yeri vardır. Həm doymamış piy turşuları, həm də onların efirləri müvafiq katalizatorların (platin, palladium və aktivləşdirilmiş nikel tozları) təsiri nəticəsində hidrogenlə birləşə bilər (buna hidrogenləşmə reaksiyası deyilir). Doymamış turşuları tam hidrogenləşdirdikdə müvafiq doymuş turşular alınır. Məsələn, linol və ya linolen turşusunu tam hidrogenləşdirmə yolu ilə stearin turşusuna çevirmək mümkündür:

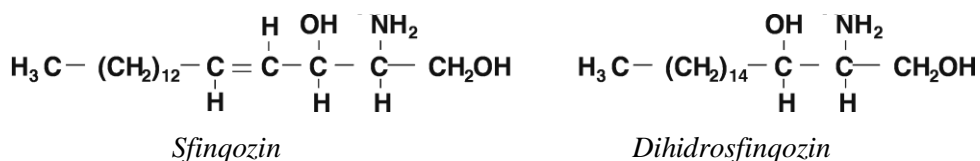


Halogenlər (Br₂, J₂) piy turşusunun ikiqat rabitə olan hissələrinə asanlıqla birləşir. Doymamış turşular oksidləşmə reaksiyalarına doymuş turşulara nisbətən asanlıqla girirlər. Onlar havanın tərkibində olan oksigenin təsirindən özbaşına və zəif sürətlə oksidləşirlər. Bu proses yağların qaxsımasının əsasını təşkil edir. Belə hesab edilir ki, bu zaman ikiqat rabitə sahələri peroksidləşmə prosesinə uğrayır və bunun ardınca üzvi turşu peroksidləri parçalanaraq ketoturşulara və oksiketoturşulara çevrilir.

Ali alifatik spirtlər, aldehidlər və ketonlar. Bunlar karbohidrogenlərin oksi-törəmələridir. Əksər hallarda çoxkomponentli lipidlərin tərkibində, bəzən isə sərbəst halda olurlar. Ali alifatik spirtlər mumların tərkib hissələridir. Bunlara setil spirtini (C₁₆H₃₃OH) misal göstərmək olar. Ali alifatik aldehidlər piy turşularının reduksiya məhsullarıdır; bunlar piy toxumalarının tərkibində həm sərbəst, həm də birləşmiş şəkildə ola bilər. Doymamış alifatik aldehidlərə asetalfosfatidlərin tərkibində təsadüf edilir. Ali alifatik ketonlar sərbəst halda bakteriya lipidlərinin tərkibində olur; həşərat orqanizmlərinin bəzi bioloji aktiv maddələrinin (feromonların) tərkibində ali alifatik ketonların şaxələnmiş molekul zəncirinə malik olan növləri aşkar edilmişdir.

Ali çoxatomlu spirtlər. Molekul strukturuna bir neçə hidroksil qrupu daxil olan kifayət qədər irimolekullu karbohidrogen törəmələri (ali poliollar) lipid monomerlərinin olduqca kiçik qrupunu təşkil edir. Bunlar mikroorqanizmlərdə nisbətən çox yayılmışdır və sadə və mürəkkəb diol lipidlərinin əmələ gəlməsində iştirak edir.

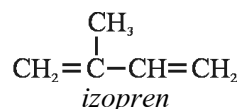
Ali aminspirtlər. Lipid monomerləri arasında ali aminspirtlərin 2 növünə təsadüf edilir. Sfinqolipidlərin tərkibinə daxil olan bu birləşmələrdən biri sfinqozin, digəri isə dihidrosfinqozin adlanır. Adlarından məlum olduğu kimi, bu aminspirtlərin kimyəvi strukturlarında oxşarlıq vardır: sfinqozin doymamış aminspirtidir; dihidrosfinqozin isə birincinin hidrogenləşmiş (doymuş) formasıdır.



Ali karbohidrogenlər. Bu qrupa daxil olan birləşmələri lipidlərin ən sadə strukturlu formaları (təkkomponentli lipidlər) hesab etmək olar. Müxtəlif mikroorqanizmlərdə ali karbohidrogenlərin normal, şaxəli molekul zəncirinə malik olan və doymamış formalarına rast gəlmək mümkündür. Yüksəktəkamüllü canlılar üçün bu birləşmələrin əhəmiyyəti yoxdur.

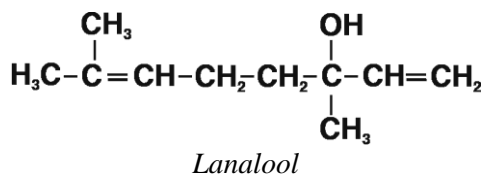
Yağda həll olan vitaminlər. Retinol (A vitamini), kalsiferollar (D vitamini), tokoferollar (E vitamini), naftoxinonlar (K vitamini) və vitaminəbənzər maddə – ubixinon, həmçinin F vitamini (əvəzedilməyən doymamış yağ turşuları) fiziki-kimyəvi xassələrinə görə, lipidlər qrupuna aiddir. A, D və E vitaminləri üzvi turşularla efrələşmə reaksiyasına girə bilər. Belə güman edilir ki, bu vitaminlərin efrələri toxumalarda toplanır və yalnız hidroliz reaksiyası vasitəsilə sərbəst hala keçdikdən sonra bioloji aktivlik əldə edirlər.

Terpenlər. Biokimyəvi analiz zamanı toxumalardan lipid fraksiyasının tərkibində ekstraksiya edilən üzvi maddələrin bir qrupunu terpenlər təşkil edir. Terpenlər – molekul strukturuna müxtəlif sayda izopren qalıqları daxil olan bioüzvi birləşmələrdir. Buna görə, onlara izoprenoidlər də deyilir. Bu qrupa efir yağları (kamfora, mentol, geraniol, limonen, pinen və s.), müxtəlif strukturlu bitki piqmentləri (α -, β - və γ -karotinlər), A vitamini, skvalen, qatran turşusu, kauçuk və b. birləşmələr daxildir. Kimyəvi strukturlarına görə, E vitamini, K vitamini və ubixinon da terpenlərlə bir qrupa daxil edilə bilər. Bu qrupa həm də toxumalarda terpen strukturlu birləşmələrdən sintez edilən üzvi maddələr daxil edilmişdir. Məsələn, xolesterinin və digər steroid strukturlu maddələrin sintezi zamanı orqanizmdə skvalendən istifadə edildiyinə görə, onlar da terpenlərin növləri hesab edilir.



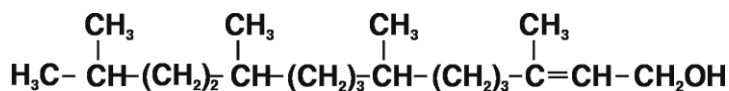
Terpenlər molekul strukturuna daxil olan izopren qalıqlarının sayına görə, müxtəlif qruplara bölünür; tərkibinə 2 izopren qalığı daxil olan birləşmələr monoterpənələr, 3 izopren qalığından ibarət olanlar seskviterpənələr, 4, 6 və 8 izopren qalığının birləşmələri isə müvafiq surətdə diterpənələr, triterpənələr və tetraterpənələr adlanır.

Tərkibinə oksigen daxil olan terpenlərin böyük əhəmiyyəti vardır. Bunlar arasında bitkilərə səciyyəvi aromat verən izoprenoid spirtləri qeyd etmək olar. Efir yağları adlanan bu maddələr terpenlərin aldehid və keton törəmələridir. Məsələn, monoterpən spirti olan *lanalool* sitrus bitkilərinin qabığında və inciçiçəyində geniş yayılmışdır. Bu maddə inciçiçəyinin iyini verir.



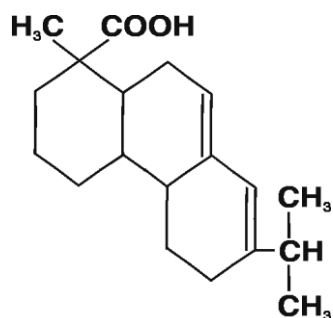
Qızılgülün və ətirşah yarpaqlarının tərkibində kimyəvi strukturuna görə lanoloolə yaxın olan *geraniol* və *sitronellol* adlı terpen törəmələri vardır. Bu maddələrdən ətir istehsalında istifadə edilir.

Bitki qatranlarının tərkibində terpenlər qrupuna aid olan tsiklik və atsiklik strukturlu spirtlər, karbohidrogenlər və turşular aşkar edilir. Məsələn fitol və A vitamini (retinol) spirt xarakterli terpen birləşmələridir. Fitol təbiətdə sərbəst halda olmur, lakin onun müəyyən dəyişikliyə uğramış formaları naftoxinonun (K vitamini), tokoferolun (E vitamini) və xlorofilin strukturuna daxil olur.



Fitol

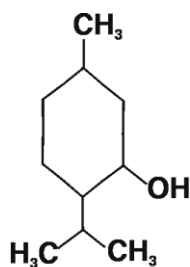
Qatran turşuları tsiklik strukturlu diterpen birləşmələri qrupuna aiddir. İynəyarpaqlı bitkilərin qatranlarının ümumi kütləsinin 80%-ə qədərini empirik formulu $\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}_2$ olan qatran turşuları təşkil edir. Terpentinin bitkisinin qatranını distillə etdikdə ondan skipidar yağı ayrılır və kanifol adlanan bərk maddə qalır. Kanifolun əsas kütləsini qatran turşularının bir növü olan *abetin turşusu* təşkil edir.



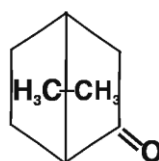
Abetin turşusu

Qatran turşuları bir sıra kimyəvi xassələrinə görə piy turşularına oxşardır. Onların Na və K duzları sabun xassəsinə malikdir. Buna görə, kanifoldan bəzən yüksək köpüklənmə xassəsi olan sabunlar istehsal edirlər. Bundan əlavə, kanifol təsərrüfatın müxtəlif sahələrində işlədilən rezin, plastik kütlə, süni gön, lak, boyaq maddələri və b. materialların istehsalı üçün istifadə edilir.

Tsiklik monoterpenlərdən mentol və kamforanın böyük əhəmiyyəti vardır. Bu maddələr təbabətdə müalicə vasitəsi kimi tətbiq edilir. Mentol tsiklik monoterpen strukturlu spirt, kamfora isə bitsiklik monoterpen strukturlu ketondur.



Mentol

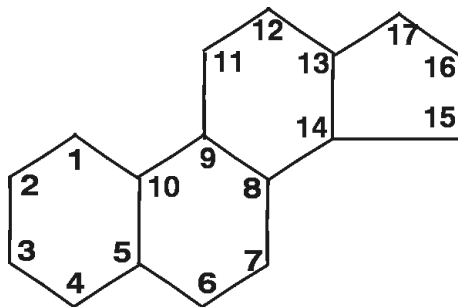


Kamfora

3.2.1. STERİNLƏR

Sterinləri kimyəvi strukturlarına və biokimyəvi mənşələrinə görə, tsiklik triterpen törəmələri hesab etmək olar. Çünki bunların ən geniş yayılmış növləri toxumalarda skvalen və lanosterin adlı triterpenlərdən sintez edilir. Sterinlər və onların mübadilə məhsulları olan digər birləşmələr steroidlər adı altında birləşdirilir. Steroidlərin kimyəvi strukturunun əsasını doymuş politsiklik karbohidrogen olan tsiklopentanperhidrofenantren (steran) təşkil edir.

Steroidlər qrupuna sterinlər (və ya sterollar), steridlər (sterinlərin mürəkkəb efirləri), öd turşuları, qadın və kişi cinsiyyət hormonları, böyrəküstü vəzinin qabıq maddəsinin hormonları, D qrupu vitaminləri, ürək qlikozidləri, bəzi zəhərli maddələr və b. aiddir. Təbiətdə geniş yayılmış steroidlərin əksəriyyətinin molek



Steran (tsiklopentanperhidrofenantren)

kul strukturuna tsiklopentanperhidrofenantrenin politsiklik nüvəsinin 3-cü karbon atomunun oksigenlə, 10-cu və 13-cü karbon atomlarının isə metil qrupları ilə birləşmiş törəməsi daxildir. Hüceyrələrdə sterinlərin miqdarı bütün digər steroid törəmələrinə nisbətən çox olur.

Sterinlər qrupuna aid olan birləşmələrin strukturunda tsiklopentanperhidrofenantren nüvəsinin 17-ci karbon atomuna 8-10 ədəd karbon atomundan ibarət olan yan zəncir və 3-cü karbon atomuna hidroksil qrupu birləşmiş olur. Onlara bioloji mənbələrdə həm sərbəst, həm də piy turşuları ilə efir birləşmələri (steroidlər) şəklində rast gəlinir.

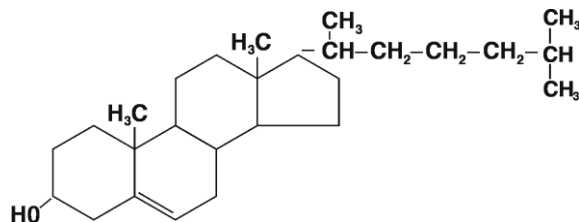
Sterinləri alınma mənbələrinə görə 3 qrupa bölürlər: 1) *zoosterinlər* (heyvan orqanizmində sintez edilən sterinlər); 2) *fitosterinlər* – bitki sterinləri; və 3) *mikosterinlər* – göbələk sterinləri.

Zoosterinlərin ən geniş yayılmış və ən mühüm növü xolesterindir. Ona həm insan, həm də heyvan orqanizmlərində təsadüf edilir.

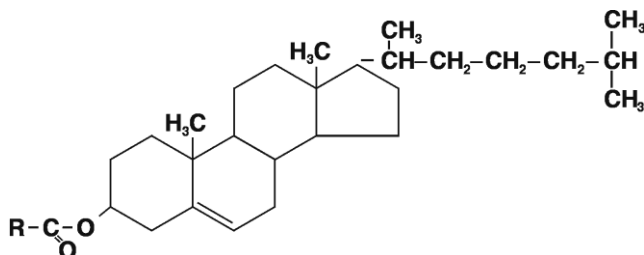
Xolesterin (xolesterol) üzvi həlledicilərdə (efir, benzol, xloroform, qızdırılmış spirt və s.) asanlıqla həll olan, suda isə həll olmayan, asanlıqla kristallaşan bərk maddədir. Neytral yağlardan və fosfatidlərdən fərqli olaraq, xolesterin qələvilərlə sabunlaşma reaksiyası vermir. Kimyəvi strukturuna görə, xolesterin sabunlaşmayan lipidlər qrupuna aid olan biratomlu spirtədir. Onunla piy turşuları arasında gedən efirləşmə reaksiyaları nəticəsində mürəkkəb efirlər – *xolesteridlər* əmələ gəlir. Sərbəst xolesterindən fərqli olaraq, xolesteridlər sabunlaşma reaksiyasına girir; bu zaman piy turşusunun müvafiq qələvi metalla birləşməsi olan sabunlar əmələ gəlir, xolesterin isə sərbəst hala keçir.

Xolesterinin molekul strukturunu ilk dəfə Vindaus müəyyənləşdirmişdir. Onun molekul strukturu yuxarıda təsvir edilən sterinlərin ümumi formuluna uyğundur; yeganə fərq bundan ibarətdir ki, burada tsiklopentan nüvəsinin 5-ci və 6-cı karbon atomları arasında ikiqat (doymamış) rabitə vardır. Xoleste-

ridlərin tərkibinə piy turşularından ən çox stearin, palmitin və olein turşuları daxil olur.



xolesterin



xolesterid (burada R – piy turşusu radikalıdır)

Xolesterin orqanizmdə həm sərbəst, həm də piy turşularının mürəkkəb efirləri şəklində ola bilər. Məsələn, qanın tərkibində 0,5 q/l-ə qədər sərbəst, 1,1-1,5 q/l-ə qədər birləşmiş xolesterin (xolesterid) olur. Qanda xolesterin və xolesteridlərin ümumi miqdarı isə normal halda 1,5-2 q/l-ə bərabərdir. Sinir toxumasında, böyrəküstü vəzilərdə, qaraciyərdə, yumurta sarısında və başqa toxumalarda xolesterin və onun efirləri aşkar edilir. Xolesterin sinir toxumasında xüsusilə çox olur; beynin quru kütləsinin 10-12%-i xolesterinin payına düşür.

Radioaktiv karbon atomları ilə “nişanlanmış” reaktivlərlə aparılan eksperimental tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, orqanizmdə böyrəküstü vəzinin qabıq maddəsinin hormonları və cinsiyyət hormonları xolesterindən sintez edilir. Orqanizmdə toplanan xolesterinin artıq hissəsi ödün tərkibində bağırsaqlara, oradan isə – reduksiyaya uğrayıb, koprosterinə çevrildikdən sonra – nəcis vasitəsilə xarici mühitə ifraz edilir. Ödün tərkibində xolesterinin miqdarı öd turşularına nisbətən 15-25 dəfə az olur. Bu nisbətənin xolesterinin artması hesabına dəyişməsi xolesterinli öd daşlarının əmələ gəlməsinə səbəb ola bilər.

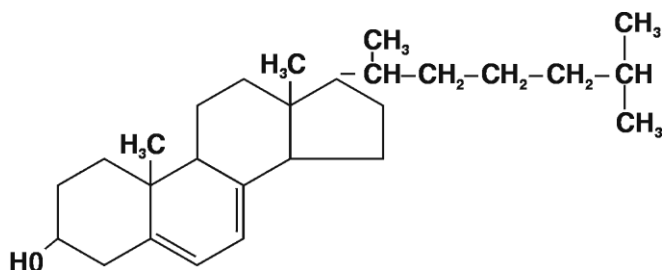
Xolesterin orqanizmdə bioloji aktiv maddələrin (hormonların) və öd turşularının sintezinə sərf edilməkdən əlavə, hüceyrə membranlarının keçiriciliyinin tənzimində də iştirak edir, eritrositləri hemolitik təsirli zəhərlərin təsirindən mühafizə edir; eyni zamanda xolesterinin limon turşusu dövrənini kataliz edən bəzi fermentlərin fəallığını artırdığı haqqında məlumat vardır.

Xolesterin heyvan mənşəli sterinlər (zoosterinlər) qrupuna aid olsa da, ona bəzi yosunların və çiçək tozcuqlarının tərkibində də təsadüf edilir.

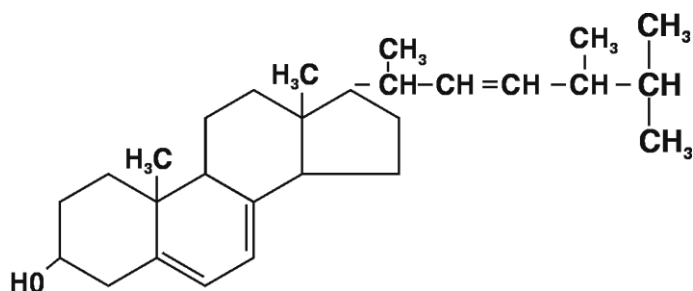
İnsan və heyvan toxumalarında sterinlərin digər nümayəndələri xolesterinə nisbətən az yayılmışdır. Bunlardan ən əhəmiyyətli 7-dehidroxolesterindir.

7-Dehidroxolesterin dəridə xolesterinin biosintezinin son mərhələlərində

əmələ gələn əlavə məhsullardan biridir. Ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında dəridə 7-dehidroxolesterindən D₃ vitamini sintez edilir. Göbələk mənşəli sterinlərin əsas növü olan *erqosterin* kimyəvi strukturuna görə 7-dehidroxolesterinə oxşar olub, ondan yan zəncirində 2 hidrogen atomunun az olmasına (yəni əlavə ikiqat rabitəyə malik olmasına) və karbon zəncirinin əlavə metil qrupu vasitəsilə şaxələnməsinə görə fərqlənir. Bu birləşmədən insan dərisində D₂ vitamini sintez edilir. Beləliklə, həm 7-dehidroxolesterin, həm də erqosterin D vitamininin provitaminləridir.



7-dehidroxolesterin



erqosterin

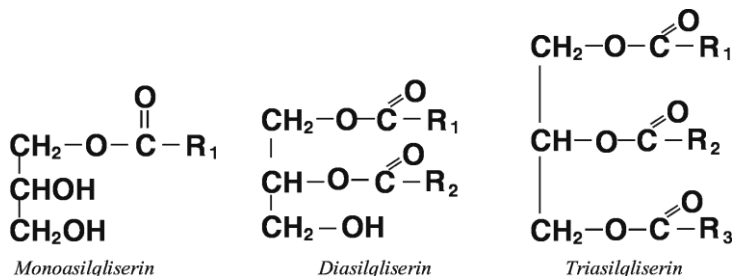
Bitki sterinlərinin (fitosterinlərin) müxtəlif növləri aşkar edilmişdir. Bunlardan ən geniş yayılanları sitosterin və stiqmasterindir. Bunlardan əlavə, bitkilərdə sterolların polihidroksil törəmələri də aşkar edilmişdir; maraqlıdır ki, bu birləşmələr kimyəvi strukturlarına görə, həşəratlarda cinsiyyət hormonu funksiyası daşıyan *ekdizon*lara uyğun gəlir.

3.3. SADƏ LİPİDLƏR

Sadə lipidlər spirt və turşu strukturlu üzvi birləşmələrin mürəkkəb efriləridir. Bu qrupa yağlar və ya piylər (asilqliserinlər), mumlar və steridlər aiddir.

3.3.1. YAĞLAR VƏ PIYLƏR

Yağlar və piylər lipidlərin ən geniş yayılmış növləridir. Bunlar kimyəvi strukturlarına görə üçatomlu spirt olan qliserinlə piy turşularının mürəkkəb efirləridir. Buna görə, yağ və piylərə *asilqliserinlər* də deyilir (əvvəllər bu qrupa aid olan lipidlər *asilqliseridlər* adı altında öyrənilirdi). Neytral xassəli birləşmələr olduğuna görə, asilqliserinlərə neytral lipidlər də deyilir. Qliserin molekulunun bütün hidrosil qrupları və ya onlardan ikisi və hətta yalnız biri efir rabitəsinə girə bilər. Bundan asılı olaraq, asilqliserinlərin 3 növü – triasilqliserinlər, diasilqliserinlər və monoasilqliserinlər ayırd edilir.



Məməli heyvanların və bəzi bitkilərin toxumalarında ikiatomlu spirtlərin (xüsusən, etilenqlikolun) piy turşuları və ya alifatik spirtlərlə əmələ gətirdikləri efir birləşmələri də aşkar edilmişdir. Lakin belə lipid törəmələrinin miqdarı əhəmiyyətsiz dərəcədədir.

Diol lipidləri adlanan bu birləşmələrin müxtəlif növləri (mono - və diasildiollar, diol spirtlərinin sadə və mürəkkəb efirləri) olur. Aşağıda sadə və mürəkkəb diol efirlərinin sxematik təsviri verilmişdir (R_1 və R_2 – piy turşusu radikalıdır):



Yağlar (piylər) orqanizmdə həm ehtiyat qida maddəsi şəklində toplanır, həm də hüceyrə strukturunun formalaşmasında iştirak edir. İnsan və heyvan orqanizminin əsas yağ ehtiyatı dərialtı sahədə, piylikdə və mezenteriumda olur. Toxumalarda piylərin miqdarı müxtəlifdir. Məsələn, əzələ toxumasında 0,1%-ə qədər, piylikdə isə 90%-ə qədər piy olur. Bəzi mühüm daxili orqanların (böyrək, ürək və s.) ətrafında toplanan piylər həmin orqanları mexaniki təsirlərdən mühafizə edir. Dərialtı toxumada olan piylər isə həm ehtiyat qida maddəsi, həm də mühafizəedici amil funksiyalarına malikdir. Soyuq iqlim şəraitində yaşayan heyvanların dərialtı piy təbəqəsinin qalın olması onlara bədən temperaturunun sabitliyini saxlamaq imkanı verir.

Hüceyrələrdə ehtiyat üçün saxlanan triasilqliserinlərin digər ehtiyat qida maddələrinə (karbohidratlar, zülallar) nisbətən müəyyən üstünlükləri vardır: bu turşular suda həll olmadıqlarına görə, hüceyrə şirəsi ilə qarışmır, sitoplazmanın fiziki-kimyəvi xassələrinə (pH, osmos təzyiqi və s.) təsir göstərmir, hidroliz prosesinə uğrayana qədər heç bir kimyəvi reaksiyaya daxil olmur.

Təbii piy və yağların əsasını təşkil edən triasilqliserinlərin sadə və qarışıq növləri vardır. *Sadə triasilqliserinlər* dedikdə, molekulu qliserinlə yalnız bir növ üzvi turşunun birləşməsindən ibarət olan neytral lipidlər nəzərdə tutulur. Onların adları molekul strukturuna daxil olan üzvi turşunun adından düzəldilir; məsələn, tripalmitin, triolein və s. *Qarışıq triasilqliserinlərin* tərkibinə isə üzvi turşuların müxtəlif növləri daxil olur: dipalmitostearin, palmitooleinostearin və s. Təbii piy və yağların tərkibində müxtəlif triasilqliserinlər qarışıq şəkildə olur. Adətən bu qarışıqlarda sadə triasilqliserinlərin miqdarı nisbətən az olur. Məsələn, kərə yağının əsas kütləsini oleopalmitobutirin təşkil edir.

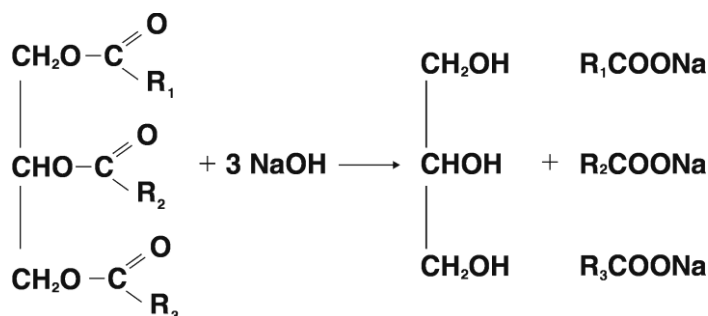
Doymuş üzvi turşuların triqliserinlərinin ərimə temperaturu doymamış turşuların triqliserinlərinin müvafiq göstəricisinə nisbətən yüksəkdir. Buna görə doymuş üzvi turşuların triqliserinləri otaq temperaturunda bərk, doymamış turşuların triasilqliserinləri isə maye halında olur. Piy və yağların aqreqat halı məhz onları təşkil edən triasilqliserinlərin tərkibindəki ikiqat rabitələrin sayından asılıdır. Otaq temperaturunda bərk halda olan triasilqliserinlər qarışığı *piylər*, maye halında olanlar isə *yağlar* adlanır. Bir qayda olaraq, heyvan mənşəli piylərin tərkibində doymuş üzvi turşular, bitki yağlarının tərkibində isə doymamış turşular miqdarca üstünlük təşkil edir. Buna görə, adətən heyvan piyləri otaq temperaturu şəraitində bərk, bitki yağları isə maye halında olur. Bu baxımdan kokos və kakao yağları müstəsna olaraq təşkil edir. Bu yağlar otaq temperaturunda bərk haldadır, çünki həmin yağların tərkibində palmitin (35%) və stearin (40%) turşularının miqdarı çoxdur.

Piy və yağların bütün növləri sudan yüngüldür. Onlar adi şəraitdə suda həll olmur, lakin suya səthi gərilməni azaldan maddələr qatıldıqda davamlı emulsiya əmələ gətirirlər. *Su-yağ sərhəddində səthi gərilməni azaltmaqla, yağların emulsiya halına düşməsinə şərait yaradan maddələrə emulqatorlar deyilir.* Emulqatorlar su-yağ sərhəddində nazik pərdə əmələ gətirərək, kiçik yağ hissəciklərinin bir-birinə qarışmasının qarşısını alır.

Emulqator xassəsinə malik olan maddələrə sabunları, zülalları və öd turşularını misal göstərmək olar. Təbii emulqatorlardan ən yüksək bioloji əhəmiyyətə malik olanları – öd turşularıdır. Qidanın tərkibində bağırsaqlara düşən yağlar öd turşularının təsiri sayəsində emulsiya əmələ gətirir; bu, həzm sistemində yağların hidrolizini kataliz edən fermentin (lipaza) təsirinə şərait yaradır. Yağlar yalnız hidroliz olunaraq, öz tərkib hissələrinə parçalandıqdan sonra bağırsaqlardan sorula bilər.

Piy və yağların kimyəvi xassələri onların mürəkkəb efir rabitəsinə malik olmasından və molekullarına daxil olan doymuş və doymamış üzvi turşuların miqdar nisbətindən asılıdır. Onlar turşu, qələvi və lipaza fermentinin təsiri nəticəsində hidroliz olunaraq, sərbəst yağ turşularına və qliserinə çevrilirlər. Turşu mühitdə triasilqliserinlərin hidrolizi temperaturdan asılıdır. Yəni temperatur artdıqca, bu reaksiya sürətlənir. Triasilqliserinlərin qələvi iştirakı ilə

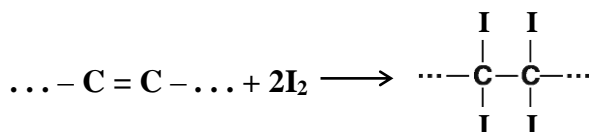
hidrolizi sabunlaşma adlanır. Bu reaksiya nəticəsində qliserin sərbəst hala keçir və üzvi turşuların duzları, yəni sabunlar əmələ gəlir.



Sabunlaşma reaksiyası NaOH-la aparıldıqda bərk sabun, KOH-la aparıldıqda maye sabun əmələ gəlir. Bu reaksiya üçün lazım gələn qələvinin miqdarı hidroliz zamanı triasilqliserinlərdən ayrılı biləcək üzvi turşuların molyar nisbətindən asılıdır. Buna görə, üzvi turşunun molekul kütləsi nə qədər çox olarsa, onun tam neytrallaşdırılması üçün lazım gələn qələvinin nisbi kütləsi bir o qədər az olur.

1 q piyin (və ya yağın) hidrolizindən alınan turşuların tam neytrallaşdırılması üçün sərf edilən kalium-hidroksidin miqdarına *s a b u n l a ş m a ə d ə d i* deyilir. Sabunlaşma ədədi triasilqliserinlərin tərkibindəki üzvi turşu molekullarında karbon atomları zəncirinin böyüklüyünü ifadə edən mühüm göstəricilərdən biridir. Təbii yağların tərkibində müəyyən qədər xırdamolekullu üzvi turşular (butiril, kapron və kapril turşuları da) olur. Onların miqdarca çoxluğu yağın ərimə temperaturunu aşağı salır. Çünki, yağların ərimə temperaturu onların molekullarına daxil olan karbon atomlarının sayca çoxluğundan müəyyən dərəcədə asılıdır. Yağın tərkibində olan xırdamolekullu üzvi turşular qaynadılma zamanı buxarlanır. Bundan yağların kimyəvi tərkibini xarakterizə edən Reyxert-Meyssel ədədini müəyyənləşdirmək üçün istifadə edirlər. *R e y x e r t – M e y s s e l* ədədi 5 q yağ distillə edildikdə ondan su ilə birlikdə buxarlanan turşuların neytrallaşdırılması üçün lazım gələn 0,1 n qatılıqlı natrium-hidroksid məhlulunun millilitrlərlə miqdarı ilə ölçülür.

Yağların tərkibində olan doymamış turşular hidrogenlə və halogenlərlə reaksiyaya girmək qabiliyyətinə malikdir. Müvafiq katalizatorların iştirakı şəraitində baş verən hidrogenləşmə reaksiyası nəticəsində, maye halda olan yağlar bərk halda olan yağlara çevrilir. Bu reaksiyadan marqarin yağı istehsalında istifadə edilir. Həm hidrogen, həm də halogenlər yağların tərkibində olan ikiqat rabitəli karbon atomları ilə reaksiyaya girir. Məsələn, yodla reaksiya aşağıdakı sxem üzrə baş verir:



Yağlarda olan doymamış üzvi turşuların miqdarı haqqında nəticə çıxarmaq üçün yodlaşdırma reaksiyasından istifadə edilir. *100 q yağın reaksiyaya girə bildiyi yodun qramlarla miqdarı y o d ə d ə d i* adlanır.

Yod ədədi, sabunlaşma ədədi, Reyxert-Meyssel ədədi, ərimə temperaturu kimi göstəricilərdən yağların keyfiyyətini müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilir. Müxtəlif mənbələrdən alınan yağlarda bu göstəricilər bir-birindən fərqlənir; bir orqanizmdən müxtəlif vaxtlarda götürülmüş piylərin də keyfiyyət göstəriciləri, qidanın keyfiyyətindən asılı olaraq, müəyyən hədd daxilində dəyişə bilər (cədvəl 3.4.).

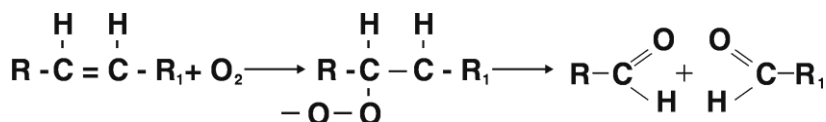
Cədvəl 3.4

Yağların xassələrini ifadə edən bəzi kəmiyyətlər

	Kərə yağı	Donuz piyi	Zeytun yağı	Treska yağı
Yod ədədi	28-42	48-64	77-95	154-170
Sabunlaşma ədədi	216-240	195-203	185-196	179-190
Reyxert-Meyssel ədədi	24-34	0,2-0,8	0,5-0,6	0,2
Ərimə temperaturu (°C)	28-38	36-46	Otaq temperaturunda maye halında olur	Otaq temperaturunda maye halında olur

Yağların qaxsıması. Yağlar uzun müddət saxlanıldıqda işığın, hava oksigeninin və rütubətin təsiri nəticəsində xoşagəlməz iy və dad verir. Buna yağların qaxsıması deyilir. Yağın uğradığı kimyəvi dəyişikliyə görə, qaxsımanın 2 növü ayırd edilir: 1) *hidrolitik qaxsıma* və 2) *oksidləşmə qaxsıması*. Hidrolitik qaxsıma zamanı yağda olan üzvi turşu qalıqlarının bir hissəsi sərbəst hala keçir və bunlar arasında olan xırdamolekullu üzvi turşular yağa xoşagəlməz dad və iy verir.

Yağların oksidləşmə yolu ilə qaxsıması hidrolitik qaxsımaya nisbətən tez müddətdə baş verir. Bu prosesin sürəti işığın təsiri nəticəsində artır; yüksək temperatur və rütubət də bu prosesi sürətləndirir. Adətən yağların molekul zəncirlərində olan ikiqat rabitəli sahələr oksidləşmə qaxsımasına daha tez məruz qalır. Bu zaman həmin sahələrdə hava oksigeninin təsiri nəticəsində peroksid radikalları əmələ gəlir. Bundan sonra karbon zəncirinin qırılması nəticəsində aldehidlər və xırdamolekullu oksiturşular əmələ gəlir. Bunlar isə yağın dadının və iyunin dəyişməsinə səbəb olur.



Qaxsıma prosesində bəzi fermentlər də (məsələn, lipooksigenaza) iştirak edir. Yağların qaxsımasının qarşısını almaq üçün onlara oksidləşmə prosesinin qarşısını alan maddələr – antioksidantlar – qatılır. Antioksidantların ən yüksək bioloji əhəmiyyətə malik olan növlərindən biri – E vitaminidir. Yağların qaranlıq mühitdə, soyuq şəraitdə və ya vakuüm altında saxlanması da qaxsımanı ləngidir. Metallar isə bu prosese sürətləndirici təsir göstərir.

Yağların qaxsıma dərəcəsinə müəyyənləşdirmək üçün turşuluq ədədi adlanan kəmiyyətdən istifadə edilir. *1q yağın tərkibində olan sərbəst turşuların neytrallaşdırılması üçün lazım gələn kalium-hidroksidin milligramlarla miqdarına turşuluq ədədi deyilir.* Bu, yağların və yağlı qida maddələrinin ən mühüm keyfiyyət göstəricilərindən biridir. Yağlar saxlandıqca, onların turşuluq ədədi artır.

3.3.2. MUMLAR

Mumlar – irimolekullu biratomlu spirtlərlə piy turşularının mürəkkəb efiirləridir. Onların molekullarına çox vaxt alifatik sıradan olan karbohidrogenlərin spirt törəmələri, az hallarda isə aromatik spirtlər daxil olur. Bundan əlavə, təbii mənbələrdən alınan mumların tərkibində bir qədər uzun molekul zəncirinə malik olan spirtlər, sərbəst piy turşuları, doymuş karbohidrogenlər, ətirli maddələr və boyaq maddələri ola bilər. Bu spirtlərin və piy turşularının molekullarında karbon atomlarının sayı müvafiq surətdə 22-dən 32-yə qədər və 14-dən 34-ə qədər ola bilər; alifatik sıradan olan karbohidrogenlərin molekul zəncirinə isə 21-37 karbon atomu (o cümlədən təksaylı) daxil olur. Adı çəkilən qarışıqların ümumi miqdarı mumun kütləsinin 50%-ə qədərini təşkil edə bilər. Mumların tərkibində həm adi piy turşuları (stearin turşusu, palmitin turşusu və s.), həm də neytral yağ və piylərin tərkibinə daxil olmayan irimolekullu üzvi turşular aşkar edilir. Serotin turşusu ($C_{25}H_{51}COOH$), montan turşusu ($C_{27}H_{55}COOH$) və b. bunlara misal ola bilər. Mumların tərkibində aşkar edilən irimolekullu spirtlərdən setil spirti – $C_{16}H_{33}OH$ və miritsil spirti $C_{31}H_{63}OH$ nisbətən ətraflı tədqiq edilmişdir.

Mumlara heyvanların, bitkilərin və bəzi mikroorqanizmlərin tərkibində təsadüf edilir. Bu birləşmələrin orqanizm üçün mühafizəedici əhəmiyyəti vardır. Mumlar heyvan və quşların dərisində, yununda və lələklərində mühafizəedici örtük təşkil edir, bir sıra həşəratların xarici skeletini, bitkilərin gövdəsini, yarpaqlarını, meyvə və toxumlarını əhatə edir. Bu örtük vasitəsilə canlıların orqanizmi rütubətin təsirindən qorunur, eyni zamanda onlara müxtəlif mikroorqanizmlərin daxil olmasının, isti iqlim şəraitində isə qurumanın qarşısı alınır.

Heyvan mənşəli mumların ən geniş yayılmış və nisbətən əhəmiyyətli növləri arı mumu, spermaset və lanolindir.

Arı mumu işçi arıların xüsusi vəzilərində hazırlanır. Onun tərkibində miritsil spirti ilə palmitin turşusunun mürəkkəb efiirinin (miritsilpalmitat) miqdarı xüsusilə çox olur, lakin eyni zamanda digər mürəkkəb efiirlərə, sərbəst alifatik spirtlərə və karbohidrogenlərə də rast gəlinir. Bundan əlavə, arı mumunun tərkibində müəyyən qədər ona spesifik iy və rəng verən üzvi birləşmələr və qeyri-üzvi maddələr də olur. Arı mumundan xalq təsərrüfatının müxtəlif sahələrində, o cümlədən əczaçılıq sənayesində istifadə edilir. Ondan bəzi məlhəm və kremlər hazırlanır.

Spermaset balina və delfinlərin kəllə boşluğundan alınır. Bu dəniz heyvanlarının kəllə boşluğunda xüsusi fibroz kisədə toplanan spermaset ultrasəs dalğalarının ötürücüsü funksiyasını yerinə yetirir. Onun ümumi kütləsinin

90%-ə qədərini setil spirti ilə palmitinin mürəkkəb efiri təşkil edir. Eyni zamanda spermasetin tərkibində laurin turşusunun ($C_{11}H_{23}COOH$) və miritsil spirtinin mürəkkəb efirləri də olur. Spermasetdən kosmetik məlhəmlərin, bəzi dərmanların və şamların istehsalında xammal kimi istifadə edilir.

Lanolin – qoyun yununun xarici səthini örtən mumdur. Kimyəvi tərkibinə görə, lanolin steridlər qrupuna aiddir. Onun tərkibində əsasən iki növ sterinin – lanosterin və aqnoosterinin piy turşuları ilə mürəkkəb efir birləşmələri olur. Lanolindən bəzi dərman və məlhəmlərin istehsalında istifadə edilir.

Mumlar neytral reaksiyalı amorf kütlədən ibarətdir. Onlar triqliserinlərdən çətinliklə hidroliz olunmalarına görə fərqlənirlər.

3.3.3. STERİDLƏR

Steridlər – sterinlərlə (sterollarla) piy turşularının mürəkkəb efirləridir. Zoosterinlərin nümayəndəsi olan xolesterinin üzvi turşularla birləşmələri – xolesteridlər canlılar aləmində daha geniş yayılmışdır. Heyvan mənşəli ərzaq məhsullarının (yumurta sarısı, kərə yağı, yağlı qoyun, mal və donuz əti və s.) tərkibində müəyyən qədər xolesterin olur. İnsan və heyvan orqanizmində xolesterinin 60-70%-i efir (xolesteridlər) şəklində olur. Xolesteridlər qan lipoproteinlərinin tərkibinə daxil olur və bu fraksiya vasitəsilə orqanizmin toxumalarına nəql edilir.

Yuxarıda göstəriləyi kimi, qoyun yununun tərkibində olan lanolin adlı mumabənzər maddə də kimyəvi strukturuna görə steridlərin bir növüdür. Bitkilərdə isə β -sitosterinin, stiqlasterinin və erqosterinin mürəkkəb efirlərindən ibarət olan steridlərə rast gəlinir. Bütün steridlər – rəngsiz, bərk maddələrdir; onların adları da bərk konsistensiyalı olmaları ilə əlaqədardır (latınca: *steros* – bərk).

3.4. MÜRƏKKƏB LİPİDLƏR

Mürəkkəb lipidlər sadə lipidlərdən molekulyar strukturuna daxil olan komponentlərinə görə fərqlənir: onların tərkibinə lipidlərə aid olmayan xırdamolekullu maddələrin (fosfat turşusu qalıqı, azotlu üzvi maddələr, karbohidratlar və s.) qalıqları olur. Mürəkkəb lipidlərin çox yayılmış növlərini 2 qrupa bölmək olar: 1) fosfolipidlər; 2) qlikolipidlər.

3.4.1. FOSFOLİPİDLƏR

Fosfolipidlər – molekulyar strukturuna fosfat turşusu qalıqı daxil olan birləşmələrdir. Onların tərkibinə ya qliserin, ya da sfinqozin adlı biratomlu spirt, piy turşuları, fosfat turşusu və polyar strukturlu xırdamolekullu birləşmə qalıqı daxil olur. Bu komponentlər bir-birinə mürəkkəb efir rabitəsi vasitəsilə birləşir. Əvvəllər bu birləşmələrə fosfatidlər deyilirdi. Bu termin Beynəlxalq Nomenklatura Komitəsinin tövsiyəsi ilə “*fosfolipidlər*” termini ilə əvəz edilmişdir.

Fosfolipidlər heyvan və bitki orqanizmlərində geniş yayılmışdır, mikro-orqanizmlərdə isə lipidlərin ümumi kütləsinin əsas hissəsini təşkil edir. Piy və yağlardan fərqli olaraq, fosfolipidlərin əsas hissəsi hüceyrə membranlarının strukturuna daxil olur; onların yalnız cüzi hissəsi ehtiyat üçün toplanır. Beyin toxuması, ürək, qaraciyər, yumurta sarısı, balıq kürüsü və bitkilərin toxumaları fosfolipidlərlə zəngindir. İnsanın və onurğalı heyvanların sinir toxumasında fosfolipidlərin miqdarı xüsusilə çoxdur.

Fosfolipidlər hüceyrələrin sitoplazmatik membranlarının və hüceyrə orqanoidlərinin (nüvə, endoplazmatik şəbəkə, ribosomlar, mitoxondrilər) membranlarının əsasını təşkil edir. Müxtəlif maddələrin (xüsusən piy və yağların) bir toxumadan digərinə daşınmasında fosfolipidlərin mühüm rolu vardır. Onlar çox vaxt zülallarla kompleks birləşmə (fosfolipoprotein) şəklində olurlar.

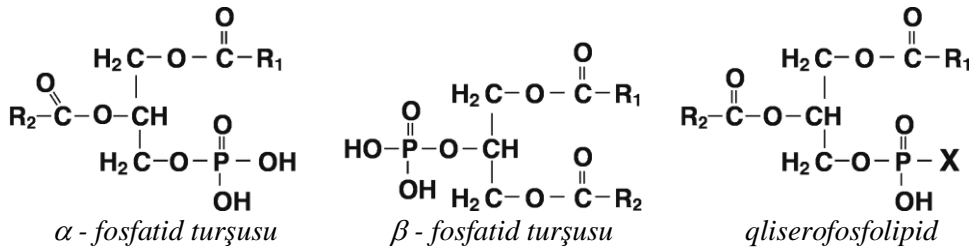
Fosfolipidlərlə lipidlərin digər növləri arasında müəyyən oxşarlıq vardır. Lakin bəzi fiziki-kimyəvi xassələri onları digər lipidlərdən fərqləndirir. Bu birləşmələrin müxtəlif növlərinin üzvi həlledicilərdə həllolma qabiliyyəti eyni deyil: bəziləri efirdə, bəziləri benzolda, digərləri isə etil spirtində həll ola bilər. Lakin fosfolipidlər adətən asetonda həll olmur. Bu, fosfolipidlərin molekullarındakı polyar kimyəvi radikallarla izah edilir. Fosfolipidlərin həllolma qabiliyyətindəki fərqli cəhətlərdən onları lipidlərin başqa növlərindən ayırmaq məqsədilə istifadə edirlər.

Fosfolipidlər suda həll olmur, lakin uzun müddət su mühitində saxlanıldıqda şişirlər; onlar hava oksigeninin təsiri altında tədricən oksidləşib rənglərini dəyişirlər (sarımtıl-yaşıl və ya qəhvəyi rəng alırlar). Bu, fosfatidlərin strukturunda ikiqat rabitələrin olması ilə izah edilir. Kimyəvi strukturlarına görə, fosfolipidləri 2 qrupa bölmək olar: 1) *qliserofosfolipidlər*; 2) *sfinqofosfolipidlər*. Aşağıda bu qruplar haqqında məlumat verilir.

3.4.1.1. Qliserofosfolipidlər

Qliserofosfolipidlərin molekul strukturunun əsasını *fosfatid turşusu* təşkil edir. Fosfatid (və ya diqliseridfosfat) turşusunun tərkibinə bir-birinə efir rabitəsi ilə birləşmiş qliserin, iki alifatik turşu molekulu qalığı və bir fosfat turşusu qalığı daxildir. Fosfat turşusu qalığının qliserin molekulunda olan karbon atomlarının hansı ilə birləşməsindən asılı olaraq, fosfatid turşusunun α -və β -izomerləri ayırd edilir. Təbii mənbələrdən alınan fosfolipidlərin tərkibində, bir qayda olaraq, α -fosfatid turşusuna rast gəlinir. Qliserofosfolipidlər fosfatid turşusundan molekul strukturuna polyar xassəli əlavə komponentlərin daxil olmasına görə fərqlənir. Aşağıda onların sxematik strukturunun təsvirini veririk. Burada R_1 və R_2 piy turşusu radikalları, X isə polyar radikalıdır. Polyar radikal çox vaxt bu və ya digər azot əsasında ibarət olur.

Təbii qliserofosfolipidlərin əksəriyyətinin molekul strukturunda qliserin qalığının birinci karbon atomu doymuş, ikinci karbon atomu isə doymamış piy turşusu ilə rabitəli olur (doymuş turşunun molekul zəncirinə 16-18, doymamış turşunun molekuluna isə 16-20 karbon atomu daxil ola bilər).



Fosfatid turşusu sərbəst şəkildə yalnız bitkilərdə və olduqca az miqdarda olur. Lakin bu turşu həm bitkilərdə, həm də insan və heyvan toxumalarında qliserofosfolipidlərin biosintezinin aralıq məhsuludur. Onun tərkibində olan fosfat turşusu qalığı müxtəlif polyar xassəli kimyəvi radikallarla mürəkkəb efir rabitəsinə girə bilər. Qliserofosfolipidlərin müxtəlif tipləri bir-birindən həmin polyar qrupların növünə görə fərqlənir. Eyni zamanda hər bir qliserofosfolipid tipinin bir-birindən tərkibindəki 2 piy turşusu qalığının növünə görə fərqlənən müxtəlif formaları vardır.

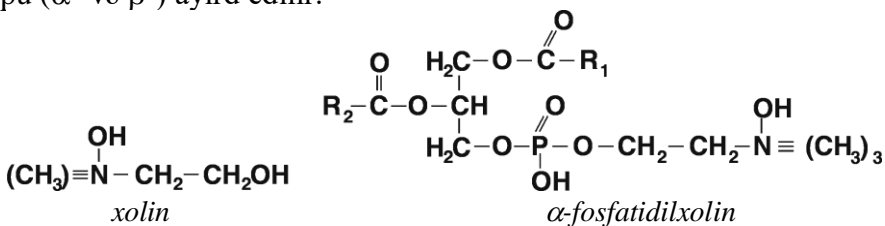
Polyar qrupunun kimyəvi strukturundan asılı olaraq, qliserofosfolipidlərin aşağıdakı tipləri ayırd edilir: 1) fosfatidilxolinlər; 2) fosfatidiletanolaminlər; 3) fosfatidilserinlər; 4) fosfatidilinozidlər; 5) fosfatidilşəkərlər; 6) fosfatidilqliserinlər; 7) plazmalogenlər (*fosfatidallar*).

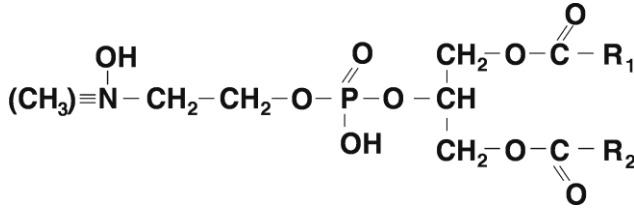
Heyvanların və ali bitkilərin toxumalarında fosfatidilxolinlər və fosfatidiletanolaminlər daha geniş yayılmışdır.

1. Fosfatidilxolinlər – qliserofosfolipidlərin ən geniş yayılmış növləridir. İlk dəfə yumurta sarısından (K.Dyakonov, 1867) alındığına görə, əvvəllər bunlara *lesitinlər* də deyilirdi (yunanca: *lekitos* – yumurta sarısı). İnsan orqanizmində fosfatidilxolinlər beyin toxumasının və periferik sinirlərin tərkibinə daxildir; qanda və digər toxumalarda da az miqdarda fosfatidilxolin vardır. Bitki mənşəli ərzaq maddələrindən soya, günəbaxan toxumu, buğda fosfatidilxolinlə zəngindir. Bakteriyalarda isə fosfatidilxolinlərə nadir hallarda təsadüf edilir.

Fosfatidilxolinlər fosfatid turşusu ilə xolinin mürəkkəb efirləridir. Onların tərkibində olan aminspirt – xolin güclü qələvi xassəsinə malikdir və turşularla reaksiyaya girib, duz əmələ gətirə bilər. Xolin – fizioloji aktiv maddədir; orqanizmdə həm sərbəst şəkildə, həm də müxtəlif birləşmələrin tərkibində olur. Onun ən əhəmiyyətli fizioloji aktiv törəmələrindən biri olan asetilxolin sinir sisteminin mediatorudur. Bundan əlavə, xolin orqanizmdə baş verən biokimyəvi proseslərdə metil qruplarının donoru kimi iştirak edir.

Fosfatidilxolin molekullarında fosfat turşusu ilə xolin arasında mürəkkəb efir rabitəsi olur. Fosfat turşusu qalığının qliserin molekulu ilə birləşdiyi karbon atomunun sıra nömrəsindən (1 və ya 2) asılı olaraq, fosfatidilxolinlərin 2 qrupu (α - və β -) ayırd edilir.



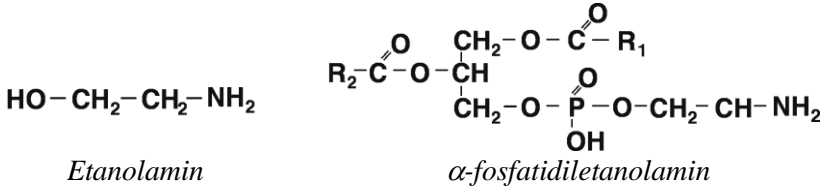


β-fosfatidilxolin

Fosfatidilxolinlər ağ rəngli, mumabənzər maddələrdir, etil spirtində və efirdə yaxşı həll olur, asetonda isə həll olmurlar; qələvi təsirindən asanlıqla hidroliz olunurlar. Onların hidrolizi zamanı çox vaxt *α*-fosfoliserin əmələ gəlir. Bu, təbiətdə geniş yayılmış fosfatidilxolinlərin əksəriyyətinin *α*-struktur- lu olduğunu göstərir. *α*-Fosfatidilxolinlərin hər bir növünün 2 stereoizomeri ola bilər; bu, qliserin qalığında olan 2-ci karbon atomunun müxtəlif radikallarla birləşməsi nəticəsində asimetrik mövqeyə malik olması ilə əlaqədardır. Bunun nəticəsində fosfatidilxolinlər optik fəallığa da malik olurlar. *β*-Fosfatidil- xolin molekullarında alifatik turşu radikallarının hər ikisi eyni olduqda asimetriklik pozulur və belə molekullar optik fəallığa malik olmur.

Fosfatidilxolin molekulundakı doymamış üzvi turşu hidroliz edildikdə lizofosfatidilxolin (lizolesitin) adlanan hemolitik təsirli maddə əmələ gəlir. Kobra cinsindən olan ilanların zəhərində göstərilən reaksiyanı kataliz edən spesifik fosfolipaza fermenti (fosfolipaza B) vardır. İlan sancmış xəstənin eritrositlərinin parçalanması (hemoliz) həmin fermentin təsiri ilə izah edilir.

2. Fosfatidiletanolaminlər – fosfatid turşusu ilə kolaminin efirləşmə məhsullarıdır. Onları qliserofosfolipidlərin digər növlərinin əksəriyyətindən fərqləndirən etanolamin (kolamin) kimyəvi strukturuna görə etil spirtinin aminləşmiş törəməsidir. Fosfatidilxolinlər kimi, fosfatidiletanolaminlərin də *α*- və *β*-formaları vardır.

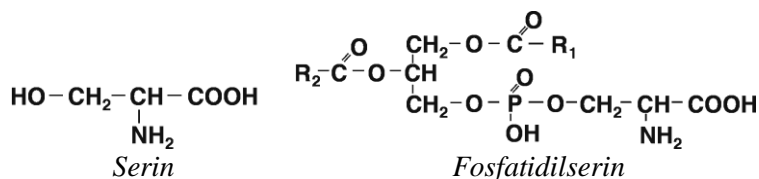


Fosfatidiletanolaminlər ilk dəfə baş beyninin tərkibində aşkar edilmişdir. Buna görə əvvəllər onlara kefalinlər (latınca: *cephalus* – baş) deyilirdi. Heyvan və bitki hüceyrələrinin daxili membranlarının tərkibində fosfatidiletanolaminlərin miqdarı xüsusilə çox olur (20 %-ə qədər). Onlar beyindən başqa, qaraciyərdə və paxlalı bitkilərin meyvələrində geniş yayılmışdır. Lakin digər heyvan və bitki toxumalarında da fosfatidiletanolaminlər olur.

Fosfatidiletanolaminlər spirtə həll olmur və bu xassələrinə görə, fosfatidilxolinlərdən fərqlənir. Onlar da spesifik fermentlərin təsiri nəticəsində doymamış turşu qalıqlarını itirib, müvafiq lizofosfolipidə çevrilə bilərlər.

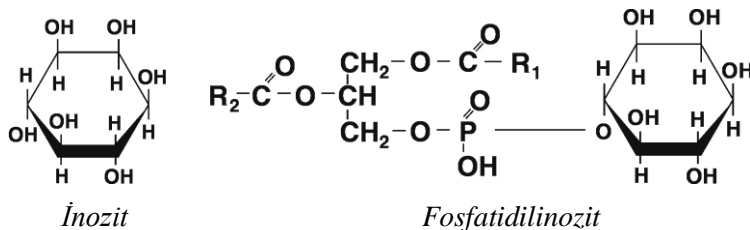
3. Fosfatidilserinlər – fosfatid turşusunun hidrokسيل qrupuna malik amin-turşu olan serinlə mürəkkəb efirləridir. Onun tərkibində serinin karboksil qrupu sərbəst qaldığına görə, turşulara xas olan kimyəvi reaksiyalara girə bilər. Bu

birleşmələr ilk dəfə qaramalın baş beyində aşkar edilmişdir. Sonralar aydın olmuşdur ki, heyvan və bitkilərin toxumalarının əksəriyyətində və hətta bakteriyalarda fosfatidilserinlər vardır. Lakin onlar fosfolipidlərin yuxarıda haqqında məlumat verilən ilk iki növünə nisbətən canlılar aləmində az yayılmışdır.



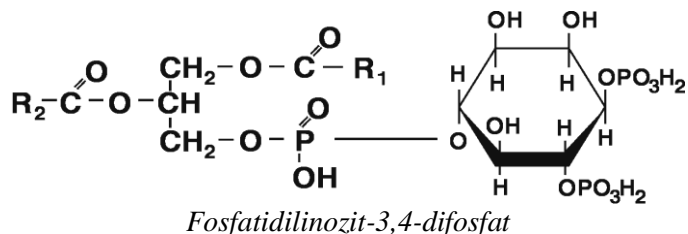
Orqanizmdə serin, etanolamin və xolin xüsusi ferment sistemlərinin təsiri altında qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilə bilər: serin karboksilsizləşmə yolu ilə etanolaminə, sonuncu isə metilləşmə reaksiyaları vasitəsilə xolinə çevrilir. Bu reaksiyalar sayəsində fosfatidilxolinlər, fosfatidiletanolaminlər və fosfatidilserinlər qarşılıqlı surətdə bir-birinə çevrilə bilər.

4. Fosfatidilinozidlər – fosfatid turşusunun altıatomlu tsiklik spirt olan inozitlə əmələ gətirdiyi mürəkkəb efiirlərdir. İlk dəfə vərəm mikobakteriyalarında, sonra isə bitki və heyvan toxumalarında aşkar edilmişdir. Heyvan orqanizmində miokardın, qaraciyərin və ağciyərin tərkibində olur. Sinir liflərinin mielin qişasında fosfatidilinozidlərin miqdarı xüsusilə çoxdur.



Canlı aləmdə aşkar edilən fosfatidilinozidləri 3 qrupa bölmək olar: 1) *monofosfoinozidfosfatidlər* – bunların molekullarında 1 ədəd fosfat turşusu qalığı olur; 2) *polifosfoinozidfosfatidlər* – inozit qalığının hidrosil qruplarından bir neçəsi fosfat turşusu qalıqları ilə rabitəli olur; 3) *mürəkkəb fosfatidilinozidlər* – bunların molekullarında inozit qalığı başqa maddələrlə (aminturşular, sfinqozin, monosaxaridlər, aminspirtlər və s.) rabitədə olur.

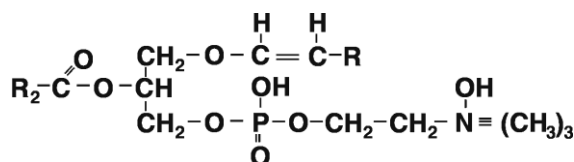
Polifosfoinozidfosfatidlər insan və heyvanların baş beyində aşkar edilmişdir. Güman edilir ki, onların sinir sisteminin fəaliyyətində müəyyən rolu vardır. Beyin toxumasında fosfatidilinozidlərin ümumi miqdarının yarısından çoxunu fosfatidilinozid-4-fosfat və fosfatidilinozid-3,4-difosfat təşkil edir. Bitki məhsullarından soya paxlasının tərkibində polifosfoinozidfosfatidlər aşkar edilmişdir.



Mürəkkəb fosfatidilinozidlər bakteriyalarda daha geniş yayılmışdır. Lakin bu birləşmələrə araxisin, soyanın, günəbaxan toxumunun və b. bitki məhsullarının tərkibində də rast gəlinir.

5. Plazmalogenlər – ilk dəfə qan plazmasının kimyəvi analizi zamanı müşahidə edilmişdir (Felgen, 1924); buna görə fosfolipidlərin bu tipinə “plazmalogen” adı verilmişdir. Plazmalogenlər fosfolipidlərin digər növlərindən qliserin qalığının 1-ci karbon atomuna birləşmiş kimyəvi qrupun növünə görə fərqlənir. Onların molekullarında digər fosfolipidlərdən fərqli olaraq, C₁ vəziyyətində piy turşusunun əvəzinə α- və β-karbon atomları arasında ikiqat rabitə olan doymamış spirt qalığı yerləşir. Qliserin qalıqına sadə efir rabitəsi vasitəsilə birləşən spirt qalığının tərkibində 12-dən 18-ə qədər karbon atomu ola bilər. Plazmalogen molekulunun digər komponentləri qliserofosfolipidlərin başqa növlərinə uyğun gəlir. Yəni bunların molekullarında fosfat turşusu qalığı ya xolinlə, ya etanolaminlə, ya da serinlə birləşmiş vəziyyətdə olur. Beləliklə, molekul strukturuna daxil olan azot əsaslarının növünə görə, plazmalogenlərin 3 tipi ayırd edilir: *fosfatidaxolinlər*, *fosfatidaletanolaminlər* və *fosfatidaserinlər*.

Plazmalogenlərin molekullarında doymamış spirt və qliserin qalıqları arasındakı sadə efir rabitəsi duru turşu məhlullarının təsiri nəticəsində parçalanır. Bu zaman α, β-vəziyyətində ikiqat rabitə olan spirt müvafiq aldehidə çevrilir. Bu aldehidlərə ilk dəfə plazmada müşahidə edildiklərinə görə, plazmalar deyilir. Plazmalogen (plazmal törədən) sözü də buradan yaranmışdır.



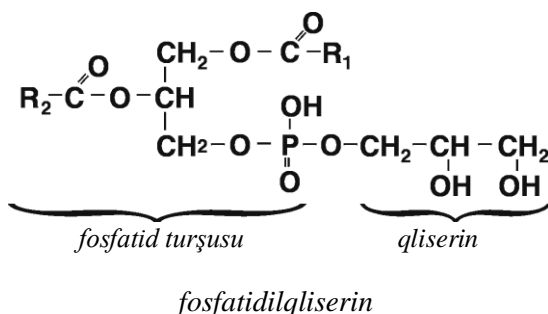
fosfatidaxolin

Plazmalogenlər əzələ liflərinin və sinir hüceyrələrinin membranlarında xüsusilə geniş yayılmışdır. Baş beyində və onurğa beyində olan fosfolipidlərin ümumi kütləsinin 50%-dən artığını plazmalogenlər təşkil edir. Orqanizmin bütün fosfolipidlərinin isə 20%-i plazmalogenlərdən ibarətdir. Bitki toxumalarında plazmalogenlərin olması haqqında hələlik dəqiq məlumat yoxdur, lakin onların olmadığını da iddia etmək olmaz. Bəzi bakteriyalarda isə plazmalogenlər aşkar edilmişdir.

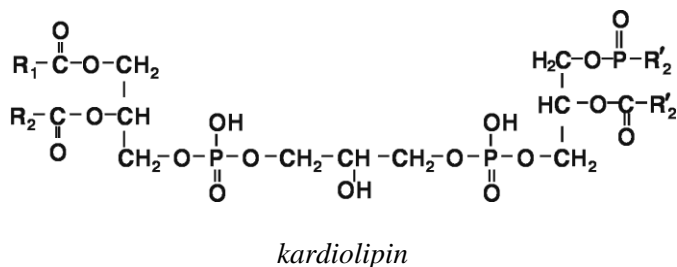
6. Fosfatidilşəkərlər – bitkilərdə və mikroorqanizmlərdə aşkar edilmişdir. Bunların strukturunda polyar qrup funksiyasını şəkər molekulları yerinə yetirir. Bu lipidlər molekul strukturlarına görə qlikolipidlərdən fərqlənir: qlikolipidlərin molekullarında karbohidrat komponenti olsa da, fosfat turşusu qalığı olmur.

7. Fosfatidilqliserinlər – ilk dəfə bəzi bakteriyaların membranlarında aşkar edilmiş poliqliserofosfatid tipli lipidlərdir; bitki xloroplastlarının tərkibinə daxil olur; yarpaqlarda olan lipidlərin 50%-ə qədəri fosfatidilqliserinlərdən ibarətdir.

Fosfatidilqliserinlərin molekulları fosfatid turşusu ilə qliserinin sadə efirindən ibarətdir. Bakteriyaların membranlarında fosfatidilqliserinlərin bir hissəsi aminturşularla (lizin, alanin və s.) birləşmə şəklində olur. Belə birləşmələrə *lipoaminturşular* və ya *aminasilfosfatidilqliserinlər* deyilir.



İnsan və heyvan orqanizmində aşkar edilən **kardiolipin** kimyəvi strukturuna görə fosfatidilqliserinlərin törəməsidir. Kardiolipinin molekulunda 3 ədəd qliserin qalığı olur. Onlardan biri 1-ci və 3-cü hidrosil qruplarını müxtəlif fosfatid turşusu molekullarının fosfat qalıqları ilə efir rabitəsinə sərf edir:



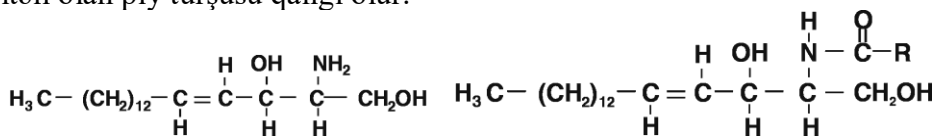
Kardiolipin ilk dəfə qaramalın ürək əzələsində aşkar edilmişdir (kardiolipin adı da bu orqanın adından götürülmüşdür). Sonralar insan və heyvanların toxumalarının əksəriyyətində, bitki yarpaqlarında və maya göbələkciklərində kardiolipin olduğu aşkar edilmişdir. Əsasən mitoxondrilərdə (bitkilərdə isə xloroplastlarda) toplanan kardiolipinin bioloji funksiyaları hələlik tam aydınlaşdırılmayıb. Lakin mitoxondrilərin daxili membranlarında daha çox kardiolipin toplandığına görə, onun elektronların nəql edilməsi və oksidləşmə fosforlaşması proseslərində müəyyən rolu olduğu güman edilir.

3.4.2. SFİNQOFOSFOLİPİDLƏR

Sfinqofosfolipidlər (sfinqomielinlər) molekul strukturuna sfinqozin spirti daxil olan fosfolipidlərdir. Onların kimyəvi strukturlarında həm qliserofosfolipidlərlə, həm də qlikosfinqolipidlərlə oxşar cəhətlər vardır. Sfinqofosfolipidlərdən fərqli olaraq, qlikosfinqolipidlərin strukturunda fosfat turşusu qalığı və karbohidrat törəmələri müşahidə edilmir. Bu baxımdan sfinqofosfolipidlər qliserofosfolipidlərə daha çox oxşayır. Onların strukturunda fosfatid turşusunun tərkibinə daxil olan qliserini doymamış *sfinqozin* sperti və ya onun doymuş törəməsi dihidrosfinqozin əvəz edir.

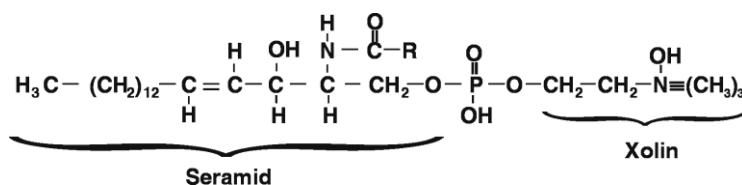
Sfinqofosfolipidlərin ən çox təsadüf edilən növlərinin tərkibində 18 karbon atomu zəncirinə malik sfinqozin qalığı olur. Lakin bəzən sfinqozinin molekulyar zəncirində 16, 17, 19 və 20 karbon atomu olan analoqlarına da təsadüf edilir. Onun molekulyarında ikiqat rabitənin ətrafında yerləşən hidrogen radikalı trans-vəziyyətində olur, asimmetrik karbon atomlarının ətrafında yerləşən əvəzədicilərin vəziyyəti isə d-konfiqurasiyasına uyğun gəlir.

Sfinqozinin N-asil törəmələri *seramidlər* adlanır. Bunlara, demək olar ki, bütün heyvan və bitki toxumalarında rast gəlinir. Lakin sərbəst seramidlərin toxumalardakı miqdarı olduqca azdır. Seramidlər həm sfinqofosfatidlərin, həm də qlikosfinqolipidlərin tərkibinə daxil ola bilər. Adı çəkilən törəmələrin birinci qrupu (sfinqofosfolipidlər) daha geniş yayılmışdır. Bunların əsas növlərinin molekulyar strukturunda seramid qalığı ilə fosfoefir rabitəsi vasitəsilə birləşən xolin qalığı olur. Bu birləşmələr strukturlarına görə fosfatidilxolinlərə bənzəyir, yəni onların da molekulyarının bir tərəfində polyar xassəli xolin qalığı olur, molekulyarın digər iki uc hissəsini isə qeyri-polyar xassəli quyruqcucular təşkil edir: bunlardan birində efir rabitəsi vasitəsilə fosfat turşusu qalığına birləşmiş sfinqozinin karbohidrogen zənciri, digərində isə sfinqozinin azot atomu ilə rabitəli olan piy turşusu qalığı olur.



sfinqozin

seramid (R-piy turşusu radikalıdır)



sfinqofosfolipid (sfinqomielin) molekulyarı

Sfinqofosfolipidlər sinir toxumasında xüsusilə geniş yayılmışdır. Onlar əsasən sinir liflərinin mielin qışasının tərkibinə daxil olurlar (onların ikinci adı – *sfinqomielin* – buradan götürülmüşdür).

Sfinqomielinlərin sinir toxumasında toplanması baş beyninin təkamül prosesindəki inkişafı (filogenezi) ilə əlaqədardır. Aşağıtəkamüllü heyvanlarda (məsələn, dəniz molyusklarında və milçəklərdə) sfinqofosfolipidlərin onurğalı heyvan orqanizmi üçün xas olan (xolin qalıqlarına malik) forması olmur. Onlarda xolinin əvəzində etanolamin olur; qarınayaqlılar cinsindən olan molyusklarda və soxulcanlarda isə ümumiyyətlə, sfinqofosfolipid aşkar edilməyib. Sfinqofosfolipidlər aşağı təkamüllü onurğalıların orqanizmində bütün fosfolipidlərin 4%-ə qədərini, ali məməlilərin orqanizmində isə –10-12%-ni təşkil edir.

Orqanizmin fərdi inkişafı dövründə də sfinqofosfolipidlərin sintez sürətində dəyişikliklər baş verir. İnsanda sinir liflərinin mielinləşməsi yenidoğulma

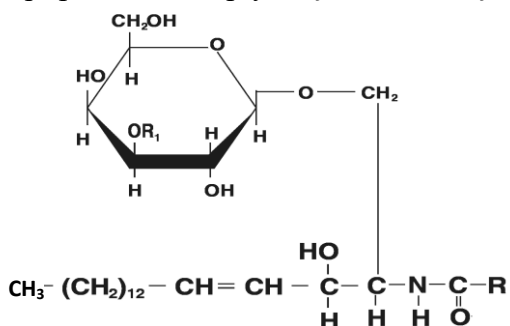
dövrünün ilk günlərində başlayır və bətdənkənar inkişaf dövrünün ilk 4 ayı ərzində davam edir (buna mielinləşmə dövrü deyilir; müxtəlif məməlilərin mielinləşmə dövrünün müddəti bir-birindən fərqlənir). Orqanizmdə sfinqomielinlərin əsas kütləsi mielinləşmə dövründə toplanır. Fərdi inkişafın sonrakı mərhələlərində sfinqomielinlərin (və digər sfinqolipidlərin) sintezi beynin kütləsinin artması və ali sinir fəaliyyətinin inkişafı ilə əlaqədar olur.

Sfinqomielinlərin əsas kütləsi sinir toxumasında toplansa da, ona başqa orqan və toxumalarda da rast gəlinir. Məsələn, qaraciyərdə, ağciyərlərdə, da-laqda, böyrəklərdə və b. orqanlarda sfinqomielin olur; qan plazmasında və eritrositlərin membranlarında sfinqolipidlər lipidlərin ümumi kütləsinin müvafiq surətdə –8-15 və 30-40%-ni təşkil edir.

3.4.3. QLIKOSFİNQOLİPİDLƏR

Qlikosfinqolipidlər – molekuluna karbohidrat qalığı daxil olan lipidlərdir. Mürəkkəb lipidlərin digər növlərindən fərqli olaraq, qlikosfinqolipidlərin strukturunda sfinqozin qalığı aşkar edilir. Bu birləşmələr əsasən sinir toxumasında (xüsusən baş beynində) toplanır və əksəriyyət etibarlı ilə plazmatik membranlarda lokalizasiya edir.

Sfinqofosfolipidlərdə olduğu kimi, qlikosfinqolipidlərin strukturunda da sfinqozin qalığı N-asil törəməsi (amin qrupu vasitəsilə piy turşusu ilə birləşmə) şəklindədir. Yuxarıda göstəriləyi kimi, sfinqozinin N-asil törəmələri seramidlər adlanır. Beləliklə, molekul strukturuna karbohidrat qalıqlarının da daxil olduğunu nəzərə alsaq, qlikosfinqolipidləri *qlikozilseramidlər* də adlandırmaq olar. Onların bir qrupunun strukturuna qalaktoza, digər qrupunun strukturuna isə həm qlükoza həm də qalaktoza qalıqları daxildir. Bu baxımdan qlikosfinqolipidləri 2 qrupa bölmək olar: 1) *qalaktozilseramidlər*; 2) *qlükozilseramidlər*.



Qalaktozilseramid (qalaktoserebrozid) molekulunun strukturunu (Burada R-piy turşusu qalığıdır, R₁ isə qalaktoserebrozid molekulunda hidrogen radikalı, sulfoqalaktozid molekulunda isə –SO₄²⁻ radikalıdır)

Molekul strukturunda olan monosaxarid qalıqlarının sayına və tərkibinə görə, qlikosfinqolipidlərin 3 qrupu ayırd edilir: serebrozidlər, seramidoliqosaxaridlər və qanqliozidlər.

1. Serebrozidlər – əsasən sinir hüceyrələrinin membranlarında (mielin qişada) toplanan seramid-monosaxarid kompleksləridir. Bunlar hidroliz edildikdə eyni molekulyar nisbətdə sfinqozin, piy turşusu və qalaktoza əmələ gəlir. Buna görə, sfinqolipidlərin bu növünə *qalaktozfinqolipidlər* və ya *qalaktozilseramidlər* deyilir. Lakin nadir hallarda, tərkibinə qalaktoza əvəzinə qlükoza qalığı daxil olan serebrozidlərə – *qlükozilseramidlərə* təsadüf edilir.

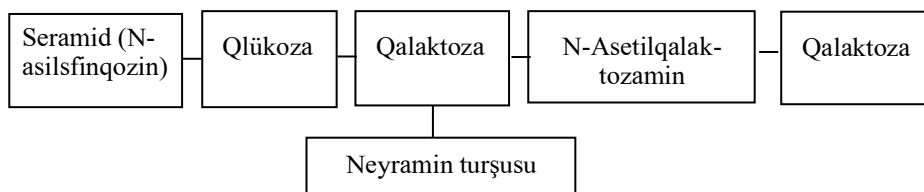
Serebrozidlərin molekul strukturunda piy turşularından *liqnotserin* – CH₃(CH₂)₂₂-COOH; *serebron* (hidroksiliqnotserin – CH₃(CH₂)₂₁-CH(OH)-

COOH, *nervon* – $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{13}-\text{COOH}$ və hidrosinevron turşuları aşkar edilmişdir. Serebrozidlərin bir qrupunun molekul strukturunda sulfat radikalları da olur. Bunlara sulfolipidlər və ya sulfoserebrozidlər (və ya sulfoqalaktozidlər) deyilir.

Sulfoserebrozidlərin molekul strukturunda sulfat turşusu qalığı qalaktozanın 3-cü karbon atomu ilə rəbitəli olan hidroksil radikalına birləşir. Onlar kəskin turş reaksiyalı olur və kationlarla asanlıqla birləşir. Belə güman edilir ki, sulfoserebrozidlər (sulfolipidlər) kationların sinir hüceyrələrinin və liflərinin membranlarından keçirilməsinə yardım göstərir. Buna görə, sinir sisteminin normal elektrokimyəvi potensiallarının yaranmasında sulfolipidlərin mühüm rolu vardır.

2. Seramidoliqosaxaridlər – qlikosfinqolipidlərin molekul strukturuna heterooliqosaxaridlər daxil olan formalarıdır. Kimyəvi strukturuna görə, seramidtrisaxaridlər, seramidtetrasaxaridlər və b. ayrd edilir. Bunların molekulalarında oliqosaxaridlərlə seramid arasında qlikozil rəbitəsi olur.

3. Qanqliozidlər – kimyəvi strukturlarına görə seramidoliqosaxaridlərə bənzəyir. Lakin bunların molekul strukturunda bir və ya bir neçə sial turşusu qalığı da olur. Qanqliozidlər serebrozidlərdən fərqli olaraq, beynin boz maddəsində toplanır. Boz maddədə olan lipidlərin 6%-ə qədərini qanqliozidlər təşkil edir. İnsan beynində aşkar edilən qanqliozidlərin tərkibində olan sial turşularının əsas növü – *N-asetilneyramin turşusudur*. Molekul strukturuna daxil olan neyramin (sial) turşularının sayına görə, monosialqanqliozidlər, disialqanqliozidlər, trisialqanqliozidlər və s. ayrd edilir. Onların tərkibində seramid (asil-sfinqozin) və N-asetilneyramin turşusundan başqa, d-qalaktoza, N-asetilqlükozamin və N-asetilqalaktozamin qalıqları olur. Neyramin turşularının sayı 1-dən 5-ə qədər ola bilər. Qanqliozidlərin strukturuna daxil olan seramid çox vaxt sfinqozinlə stearin turşusunun birləşməsi şəklində olur. Aşağıda insan bağırsağının epitel hüceyrələrinin membranında aşkar edilmiş qanqliozidlərdən birinin sxematik strukturu təsvir edilmişdir. Bu qanqliozid vəba toksininin reseptorudur.



Sxemdən göründüyü kimi, qanqliozidlər karbohidrat komponenti ilə zəngin olan mürəkkəb lipidlərdir. Molekullarına daxil olan karboksil qrupları qanqliozidlərə kəskin turş xassə verir. Əsasən beynin boz maddəsinin hüceyrələrində və neyroqliya hüceyrələrində toplansalar da, qanqliozidlərə orqanizmin digər hüceyrələrinin membranlarında da təsadüf edilir. Onlar başlıca olaraq, membran reseptoru funksiyası daşıyırlar.

IV FƏSİL

ZÜLALLARIN KİMYASI

4.1. ZÜLALLAR HAQQINDA ÜMUM MƏLUMAT

Z ü l a l l a r – bir-birilə peptid rabitələri vasitəsilə birləşmiş aminturşuların mürəkkəb struktura malik zəncirlərindən ibarət olan irimolekullu azotlu üzvi maddələrdir. Canlı orqanizminin ən mühüm həyati funksiyalarının (böyümə, çoxalma, əzələ fəaliyyəti və s.) yerinə yetirilməsi zülalların xassələri ilə əlaqədardır. Təkcə bunu göstərmək kifayətdir ki, orqanizmdə baş verən bütün kimyəvi çevrilmələri idarə edən fermentlər zülal təbiətli maddələrdir. Zülallara verilən “protein” adı onların həyat üçün çox böyük əhəmiyyətə malik olduğunu özündə əks etdirir (yunanca “proteos”); “birinci”, “ən vacib” mənası verən bu adı elmi ədəbiyyatda ilk dəfə 1838-ci ildə Hollandiya kimyaçısı Q.Mulder Bertseliusun tövsiyəsi ilə işlətmişdir. Azərbaycan dilində özünə geniş yer tapmış “zülal” sözü isə insanlara çox qədim zamanlardan məlum olan yumurta ağının adından götürülmüşdür. Məlumdur ki, yumurta ağı zülal məhlulundan ibarətdir. “Zülal” sözü ərəb dilində 2 mənada işlədilir: 1) yumurta ağı; 2) təmiz, şəffaf su.

Elmi ədəbiyyatda zülallar haqqında ilk məlumatı 1728-ci ildə Bekkari vermişdir. O, buğda unundan xəmirə yapışqanlıq verən maddəni ayıraraq, həmin maddənin bəzi xassələrinə görə yumurta zülalına bənzədiyini müşahidə etmişdir. Sonralar Q.Mulder müxtəlif mənşəli zülalların xassələrini tədqiq edərək, onların həyat üçün böyük əhəmiyyətə malik azotlu üzvi birləşmələr olduğunu müəyyənləşdirmişdir. 1890-cı ildə Hofmeyster yumurta albuminini kristal şəklində əldə etmişdir. Bu, kristal şəklində əldə edilən ilk zülali maddə idi. Bundan sonra aparılan tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, zülallar bütün canlıların orqanizminin əsas tərkib hissəsidir. Heyvan orqanizminin quru kütləsinin 40-50%-i zülallardan ibarətdir; bitkilərdə isə heyvan orqanizminə nisbətən az (20-25%-ə qədər) zülal olur.

Hüceyrələrin bütün fərdi xassələri onlarda olan zülal molekullarının növlərindən və funksiyalarından asılıdır. Hər bir zülal molekulu bir-birilə peptid rabitələri vasitəsilə birləşmiş çoxlu sayda (onlar, yüzlər və ya minlərlə) aminturşu qalıqlarından, yəni peptid zəncirlərindən ibarət olur. Peptid zəncirinin müxtəlif hissələri arasındakı molekul daxili qarşılıqlı təsirlər zülal molekulunun fəza konfigurasiyasını müəyyən edir. Həmin molekulların bəzi sahələrində isə başqa maddə molekulları ilə spesifik surətdə rabitəyə girmək xassəsinə malik olan sahələr yerləşir. Bu sahələrə birləşə bilən maddələr l i q a n d adlanır. Zülal molekulunun spesifik funksiyaları onun öz spesifik liqandı ilə birləşməsinə şərait yaradan sahəsi ilə əlaqədardır.

Orta bədən kütləsinə malik olan insan orqanizmində 15 kq-a qədər zülal olur; insan orqanizmindəki zülal molekullarının növləri isə 30 mindən artıqdır. Onların hər biri digər zülal molekullarından struktur və funksiyalarına görə fərqlənir. 2.1.-ci cədvəldə zülalların funksional əlamətlərinə əsaslanan təsnifatı və hər bir funksional qrupa dair misallar verilmişdir. Zülallara xas olan əsas funksiyalar aşağıdakılardan ibarətdir:

Zülalların funksiyalarına əsaslanan təsnifatı

Zülal qrupu	Qrupa aid olan zülallardan nümunələr	Lokalizasiyası/funksiyası
Katalitik funksiyalı zülallar (fermentlər)	Tripsin Qlutaminsintetaza Laktatdehidrogenaza	Zülalların hidrolizini kataliz edir Qlutamin turşusundan və ammon-yakdan qlutaminin sintezini kataliz edir Piroüzüm turşusunu reduksiya yolu ilə süd turşusuna çevirir
Ehtiyat maddə funksiyası daşıyan zülallar	Yumurta albumini Kazein	Yumurta ağının tərkibində olur Süd zülalı
Mühafizəedici zülallar	Anticisimciklər Fibrinogen Trombin Lizosim	Yad zülallarla kompleks birləşmə əmələ gətirib, onların zərərsizləşdirilməsinə şərait yaradır. Qanın laxtalanması zamanı fibrinə çevrilir. Laxtalanma prosesində iştirak edir. Bakteriyaların qılıfını əridir.
Nəqlənmə proseslərində iştirak edən zülallar	Hemoqlobin Hemosianin Mioqlobin Qan serumu albuminləri	Onurğalı heyvanların orqanizmində olan oksigendəşiyici zülal. Onurğasız heyvanların orqanizmində olan oksigendəşiyici zülal. Əzələ toxumasının oksigendəşiyici zülalı. Üzvi turşuların, lipidlərin və b. maddələrin daşıyıcıları.
Struktur zülalları	Kollagen α -Keratin Elastin Sklerotin Mukoproteinlər Virusların xarici örtüyünün zülalları	Birləşdirici toxumanın, sümüklərin, və-tərlərin və qığırdaqların əsas zülal komponenti. Dəridə, sümüklərdə, dırnaqlarda, buy-nuzlarda, quş tükündə olur. Elastik birləşdirici toxumalarda (bağlarda) olur. Həşəratların (cücülərin) xarici skeletində olur. Sinovial mayenin və selikli şirələrin tərkibində olur. Viruslarda nuklein turşularını əhatə edir.
Yığılma (təqəllüsetmə funksiyasına malik olan zülallar)	Miozin Aktin	Sarkomerin miofibrillərinin hərəkətli hissəsində yerləşir. Miofibrillərin hərəkətsiz hissəsində yerləşir.
Hormon funksiyasına malik olan zülallar	İnsulin Qlükaqon AKTH	Maddələr mübadiləsinin tənzimləyiciləridir.
Toksinlər	İlan zəhəri Difteriya toksini	Ferment xassəli zülallardır. Difteriya törədicilərinin toksik xassəli zülalları.

1. Katalitik funksiya. Orqanizmin daxilində bütün kimyəvi çevrilmələr bioloji katalizator funksiyası daşıyan fermentlər vasitəsilə həyata keçirilir. İndiyə qədər elmə məlum olan 4000-ə qədər fermentin, demək olar ki, hamısı zülal strukturlu maddələrdir (bu baxımdan son vaxtlarda aşkar edilən ribozim adlı ferment xassəli birləşmələr müstəsnaqlıq təşkil edir; onlar ribonuklein turşusu törəmələri olub, RNT sintezi zamanı autosplaysinq funksiyasını yerinə

yetirirlər, yəni transkripsiyadan sonrakı dövrdə intronların RNT molekulundan ayrılması prosesini kataliz edirlər).

2. Qidalandırıcı (ehtiyat) funksiya. Bəzi zülallar hüceyrələrdə ehtiyat qida maddəsi şəklində saxlanılır və lazım gəldikdə istifadə edilir. Bunlara yumurta zülallarını (ovalbuminlər) və dölün qida maddəsi kimi istifadə etdiyi ehtiyat zülalları misal göstərmək olar. Südün tərkibinə daxil olan əsas zülali maddə – kazein də təkamül prosesində yalnız qidalandırıcı funksiyaya malik zülal xarakteri əldə etmişdir. Bundan əlavə, orqanizm daxilində sintez edilib, ehtiyat şəklində saxlanılan bəzi zülallar müxtəlif bioloji aktiv maddələrin sintezi üçün lazım gələn aminturşuların mənbəyi kimi istifadə edilə bilər.

3. Mühafizətmə funksiyası. Orqanizmin infeksiya mənşəli zərərverici amillərdən (bakteriyalar, bakteriya toksinləri, viruslar, rikketsiyalar, patogen göbələkciklər) mühafizəsi anticisimcik adlanan spesifik xassəli zülalların köməyi ilə həyata keçirilir. Orqanizmdə sintez edilən lizosim adlı zülali maddə müxtəlif növ mikroorqanizmlərin xarici membranını əritməklə (lizisə uğratmaqla) onları zərərsizləşdirir, müxtəlif virus növlərinə məhvəddici təsir göstərən interferon da zülal strukturuna malikdir. Lizosim və interferon anticisimciklərdən (immün cisimciklərdən) təəcirlərinin qeyri-spesifikliyinə görə fərqlənir. Qanın laxtalanmasında iştirak edən amillərin də əksəriyyəti zülallardan ibarətdir. Damarların zədələnməsi zamanı laxtalanma amilləri arasında baş verən zəncirşəkilli reaksiyalar sayəsində əmələ gələn tromboplastin trombinə aktivləşdirir (yəni, protrombinə trombinə çevirir), trombin isə qan plazmasının spesifik zülali maddəsi olan fibrinogeni fibrinə çevirməklə, qanı laxtalandırır və orqanizmi qanitirmədən mühafizə edir.

4. Nəqləmə funksiyası. Oksigenin toxumalara nəql edilməsi (yəni qanın tənəffüs funksiyası) zülali maddə olan hemoqlobin vasitəsilə həyata keçirilir. Lipidlər toxumalara qan serumunda olan albuminlərlə kompleks birləşmə şəklində daşınır. Qan serumu zülallarının bəzi növləri mis, dəmir, A və B₁₂ vitaminləri, müxtəlif hormonlar (tiroksin, triyodtironin, kortikosteroidlər) və b. maddələrlə kompleks birləşmə əmələ gətirərək, onların toxumalara daşınmasını təmin edir. Bir sıra maddələrin hüceyrə membranından nəql edilməsi də burada olan spesifik zülali maddələrin fəaliyyəti ilə əlaqədardır.

5. Struktur funksiyası. İnsan orqanizmində struktur funksiyasına malik olan zülalların miqdarı bütün digər xassəli zülallardan çoxdur. Bunlara kollagen, elastin və keratin zülallarını misal göstərmək olar. Kollagen birləşdirici toxumanın, elastin damar divarının, keratin isə tük, dırnaq və dərinin əsas zülali maddəsidir. Hüceyrə membranlarının strukturuna (lipidlərlə kompleks birləşmə şəklində) daxil olan zülalları da struktur funksiyalı zülallar hesab etmək olar.

6. Yığılma (təqəllüsetmə) funksiyası. Əzələlərin yığılması spesifik zülallar olan aktin və miozinin funksiyası ilə əlaqədardır; bəzi hüceyrə zülalları da yığılma qabiliyyətinə malikdir. Bu, hüceyrələrdə bəzi mühüm fizioloji funksiyaların yerinə yetirilməsinə imkan yaradır.

7. Hormonal funksiya. Orqanizmin əsas tənziməddici amilləri olan hormonların bir qrupu (məsələn, hipofizin və mədəaltı vəzinin hormonları) zülal və polipeptid təbiətli maddələrdir.

8. İstinad funksiyası. Orqanizmdə istinad funksiyasını yerinə yetirən

toxumaların (sümüklər, vətərlər, oynaq bağları) kütləsinin böyük hissəsini zülallar təşkil edir. Kollagen və elastin kimi struktur zülalları bu funksiyanı da yerinə yetirir.

9. Reseptor funksiyası. Orqanizmin hüceyrələrinə tənzimedicilə amillərin (hormonlar, sinir mediatorları) təsiri həmin amillərlə seçici surətdə birləşmək qabiliyyətinə malik olan spesifik zülallar vasitəsilə həyata keçirilir. Bunlara reseptorlar deyilir.

Zülalların bütün funksiyalarını təkcə yuxarıda sadalananlarla məhdudlaşdırmaq olmaz. Bunlardan əlavə, zülallar orqanizmin maye mühitində (qan, limfa, hüceyrəarası maye) və hüceyrədaxili mühitdə onkotik təzyiqin və pH-ın tənzimində iştirak edir. Zülalların tənzimedicilə funksiyası da təkcə fermentlər və hormonlarla əlaqədar deyil; məlumdur ki, hüceyrə genomunun fəallığı zülal tərkibli tənzimedicilə vasitəsilə idarə edilir. Bəzi polipeptidlər fermentlərin fəallığını inhibisiya etməklə, onların təsirini tənzimləyir. Heyvan və mikroorqanizm mənşəli bəzi zülallar orqanizmə toksik təsir göstərmək xassəsinə malikdir. Bunlara ilan zəhərini və difteriya toksinini misal göstərmək olar. Beləliklə, zülalların funksiyalarının yuxarıda verilən natamam siyahısı onların həyat üçün müstəsna dərəcədə əhəmiyyətli olduğunu sübut edir. Əgər nuklein turşularının hüceyrə bölünməsi, zülal biosintezi, çoxalma və əlamətlərin nəsil-dən-nəslə verilməsi kimi mühüm həyati proseslərdə sərbəst şəkildə deyil, zülallarla kompleks birləşmə halında iştirak etdiyini nəzərə alsaq, onda bu iki biopolimer qrupundan hansının daha yüksək bioloji əhəmiyyətə malik olduğu haqqında sual verməyin mənasız olduğu üzə çıxar.

4.2. ORQANİZMDƏ VƏ MÜXTƏLİF TOXUMALARDA ZÜLALLARIN MİQDARI

Canlı orqanizminin ümumi kütləsinin böyük hissəsini zülallar təşkil edir. Heyvan orqanizminin ümumi kütləsinin 25%-ə qədəri, quru kütləsinin isə 45-50%-i zülallardan ibarətdir. Mikroorqanizmlərdə və bitkilərdə heyvan və insan orqanizmindəkinə nisbətən az zülal olur. Lakin onların miqdarca azlığı heç də həyat üçün əhəmiyyətinin az olduğunu göstərmir.

Zülallara bütün toxuma və orqanlarda təsadüf edilir. Qıgırdağın, sümüyün, tüklərin, dırnaq və buynuz toxumasının tərkibində aşkar edilən və suda həll olmayan bir sıra maddələr də kimyəvi tərkibinə və bəzi digər xassələrinə görə zülallar qrupuna aiddir. Lakin müxtəlif toxumalarda olan zülallar həm fiziki-kimyəvi xassələrinə, həm də miqdarlarına görə bir-birindən fərqlənir. Əzələlərdə, dalaqda, böyrəklərdə və ağciyərdə zülalların miqdarı quru kütləyə görə 70-80%-ə çatdığı haqda, sümük və piy toxumasında bundan xeyli az zülal olur (cədvəl 4.2).

Zülallar hüceyrə orqanoidləri arasında da qeyri-bərabər miqdarda paylanır; adətən hüceyrə şirəsində (hialoplazma) onların miqdarı daha çox olur. Müxtəlif hüceyrə orqanoidlərində olan zülalların miqdarı həmin orqanoidlərin ölçülərindən və miqdarından asılıdır. 4.3-cü cədvəldə müxtəlif hüceyrə orqanoidlərində olan zülalların ümumi hüceyrəyə görə faizlə miqdarı verilmişdir.

**İnsanın orqan və toxumalarında zülalların miqdarı
(T.T.Beryozov və B.F.Korovkin, 1998)**

<i>Orqan və toxumalar</i>	<i>Zülalların miqdarı (%-lə)</i>		<i>Orqan və toxumalar</i>	<i>Zülalların miqdarı (%-lə)</i>	
	<i>Quru kütləyə görə</i>	<i>Bədəndə olan zülalın ümumi miqdarına görə</i>		<i>Quru kütləyə görə</i>	<i>Bədəndə olan zülalların ümumi miqdarına görə</i>
Dəri	63	11,5	Böyrəklər	72	0,5
Sümük (bərk toxumalar)	20	18,7	Mədəaltı vəzi	47	0,1
Dişlər (bərk toxumalar)	18	0,1	Həzm traktı	63	1,8
Eninəzolaqlı əzələlər	80	34,7	Piy toxuması	14	6,4
Beyin və sinir toxuması	45	2,0	Maye toxumalar	85	1,4
Qaraciyər	57	3,6	Bərk toxumalar	54	14,6
Ürək	60	0,7	Bütöv orqanizm	45	100
Ağciyər	82	3,7			
Dalaq	84	0,2			

Müxtəlif hüceyrə orqanoidləri zülallarının hüceyrədə olan zülalın ümumi kütləsinə görə nisbi miqdarı

<i>Hüceyrə orqanoidi</i>	<i>Zülalın miqdarı (%-lə)</i>
Nüvə	12,0
Mitoxondrilər	20,0
Lizosomlar	2,0
Mikrosomlar	20,0
Peroksisomlar	2,5
Plazmatik membran	1,5
Hialoplazma (hüceyrə şirəsi)	40,0
Digər hissəciklər	2,0

4.3. ZÜLALLARIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Zülallar bir sıra ümumi xassələrinə görə üzvi maddələrin digər qruplarından fərqlənir. Bu fərqlərə aşağıdakılar aiddir:

1. Zülalların tərkibində kifayət qədər sabit miqdarda azot olur;
2. Zülal molekullarının struktur vahidləri aminturşulardır;
3. Zülal molekulunda olan aminturşular bir-birilə peptid rabitələri vasitəsilə birləşərək, polipeptid zəncirləri təşkil edir;
4. Zülallar böyük molekul kütləsinə malik olan üzvi birləşmələrdir (onların molekul kütləsi 4-5 mindən bir neçə milyon vahidə qədər ola bilər);
5. Zülalların fiziki-kimyəvi xassələri və bioloji xüsusiyyətləri polipeptid zəncirlərinin mürəkkəb strukturu ilə əlaqədardır.

Zülalların kimyəvi tərkibi. Təbiətdə rast gəlinən bütün zülalların tərkibinə əsasən 5 kimyəvi element – karbon, hidrogen, oksigen, azot və kükürd daxildir. 4.4-cü cədvəldə müxtəlif zülalların tərkibində olan kimyəvi elementlərin orta miqdarı haqqında məlumat verilir.

Cədvəl 4.4

Zülalların tərkibində olan elementlər

Element	Elementin %-lə miqdarı
Karbon	50-55%
Hidrogen	6,5-7,3%
Oksigen	21,5-23,5%
Azot	15-18%
Kükürd	0,2-3,4%

Cədvəldən göründüyü kimi, zülalların tərkibində kükürdün miqdarı başqa elementlərdən fərqli olaraq, nisbətən geniş həddə dəyişir. Azotun miqdarı isə heyvan, bitki və mikroorqanizm mənşəli bütün zülalların tərkibində kifayət qədər sabit olub, orta hesabla 16% təşkil edir. Bu əlamətdən istifadə etməklə, bioloji materialda zülalın miqdarını hesablamaq mümkündür; hesablama məqsədilə materialın tərkibində azotun miqdarı müəyyənləşdirilir və alınan rəqəm 6,25 əmsalına ($100:16=6,25$) vurulur. Eyni üsulla orqanizmdə müəyyən zaman ərzində katabolizmə uğrayan zülalların da miqdarını hesablamaq mümkündür. Bundan ötrü nəcis və sidiyin tərkibində orqanizmdən xaric edilən azotun miqdarı 6,25 rəqəminə vurulur. Qeyd etmək lazımdır ki, bəzi zülalların tərkibində azotun miqdarı yuxarıda göstərilən qanunauyğunluğa müvafiq gəlmir. Məsələn, protaminlərin tərkibində 30%-ə qədər azot vardır. Buna görə zülalları azotlu üzvi maddələrin başqa növlərindən təkcə azotun faizlə miqdarına görə fərqləndirmək mümkün deyil.

Bəzi zülalların tərkibində yuxarıda göstərilən elementlərdən əlavə, az miqdarda fosfor, dəmir, yod, mis, sink, brom, manqan, kalsium, molibden kimi elementlər də olur. Bu elementlər həmin zülalların bioloji funksiyalarının yerinə yetirilməsinə şərait yaradır və onların spesifik xassələrini müəyyən edir. Məsələn, hemoqlobinin tərkibində olan dəmir tənəffüs prosesində oksigen-daşıyıcı kimi iştirak etməklə, adı çəkilən zülalın bioloji funksiyasının yerinə

yetirilməsində mühüm rol oynayır; qalxanabənzər vəzi zülallarının tərkibində olan yod burada həmin vəzinin hormonlarının sintezinə sərf edilir; südün tərkibində olan kazein zülalının hidrolizi zamanı ayrılan fosfor südəmər körpə orqanizminin bu elementə tələbatının ödənilməsinə sərf edilir.

Zülallar element tərkiblərinə görə bir-birinə çox yaxın olsalar da, struktur və bioloji funksiya baxımından bir-birindən kəskin surətdə fərqlənirlər. Təkcə müxtəlif canlı növlərinin deyil, hətta eyni növə daxil olan müxtəlif fərdlərin də zülalları bir-birindən fərqlənir. Hər bir canlı növünün orqanizmində isə minlər və onminlərlə zülal növünə təsadüf edilir.

Zülalların struktur vahidləri (yəni monomerləri) aminturşulardan ibarətdir. Zülal molekulunun peptid rabitəsi vasitəsilə bir-birilə birləşmiş aminturşulardan ibarət olduğunu 1902-ci ildə Fişer və Hofmeyster müəyyənləşdirmişdir. Sonrakı illərdə bəzi zülallar təmiz halda alınmış, onların molekul çəkiləri və tərkibinə daxil olan aminturşuların növləri müəyyən edilmişdir. İndiyə qədər bir sıra zülalların molekullarında aminturşuların hansı ardıcılıqla düzüldüyü və hansı fəza konfigurasiyasına malik olduğu aydınlaşdırılmışdır.

Zülalları hidrolizə uğratmaq üçün turşu, qələvi və spesifik fermentlərdən istifadə edilir. Bu üsullar zülalların tərkibini müəyyənləşdirmək məqsədilə geniş surətdə tətbiq edilməkdədir. Adətən zülalların hidrolizi üçün sulfat və ya xlorid turşularından, yaxud da natrium-hidroksiddən istifadə edilir. Bu məqsədlə, zülalları 6-12 n qatılıqlı turşu və ya 2 n qatılıqlı qələvi məhlulu ilə qarışdırıb, 10-12 saat ərzində 100°C temperaturda saxlayırlar. Bu üsulların hər birinin müəyyən qüsurları vardır: turş mühitdə aparılan hidroliz zamanı bəzi aminturşular (məsələn, triptofan) parçalanır, bəziləri isə (serin və treonin) qismən dəyişikliyə uğrayır. Zülalların qələvi mühitdə hidrolizi arginin, sistin, serin və treoninin parçalanmasına, başqa aminturşuların isə optik aktivliyinin itirilməsinə səbəb olur. Zülalların hidrolizi üçün təbii (bioloji) materiallardan alınmış fermentlərdən istifadə edildikdə isə göstərilən qüsurlar aradan qalxır.

Zülal molekullarından hidroliz nəticəsində ayrılan monomerlərin hamısı L-sirasından olan α - aminturşulardır. Onların 20 növü ayırd edilir (4.5-ci bölməyə bax). Aminturşular bir-birilə peptid rabitəsi vasitəsilə birləşir. Onların peptid zəncirlərindəki yerləşmə ardıcılığı, miqdarca nisbəti və hər bir peptid zəncirindəki aminturşuların sayı olduqca müxtəlifdir. Beləliklə, zülalların saysız-hesabsız növləri 20 aminturşu növünün müxtəlif kombinasiyalı birləşmələrindən ibarətdir. Təxmini hesablamalara görə, təbiətdə olan zülal növlərinin ümumi sayı 10^{10} -la 10^{12} arasında təbəddüd edir. Bu qədər zülal isə olduqca xırda (hətta filtdən süzülə bilən) canlılar olan viruslardan insana qədər, Yer üzündə olan 1 milyona yaxın canlı növünün həyatını təmin edir. E.Coli mikroorqanizmlərində 3 minə qədər, insan orqanizmində isə 30 mindən artıq zülal növü vardır.

Zülalların molekul kütləsi geniş həddə dəyişir. Orqanizmdə təsadüf edilən peptid strukturlu maddələri molekul kütləsinə görə 3 qrupa bölmək olar: 1) *peptidlər* – molekul zəncirinə 2-dən 10-a qədər aminturşu qalığı daxil olan birləşmələrdir; 2) *polipeptidlər* – 10-dan 50-yə qədər aminturşunun birləşmələridir; 3) *zülallar* – molekulunu 50-dən artıq aminturşu qalığından ibarət olan irimolekullu biopolimerlərdir.

Peptidlərin molekul kütləsi 1000-ə yaxın, polipeptidlərin molekul kütləsi

5000-ə qədər, zülalların eyni göstəricisi isə 5-6 mindən bir neçə milyona qədər olur. 4.5-ci cədvəldə bəzi polipeptid və zülalların molekulyar kütləsi və tərkibində olan aminturşu qalıqlarının sayı verilmişdir.

Cədvəl 4.5

Bəzi polipeptid və zülalların molekulyar kütləsi və tərkibində olan aminturşu qalıqlarının sayı

<i>Polipeptid və ya zülal</i>	<i>Molekulyar kütləsi</i>	<i>Aminturşu qalıqlarının sayı</i>
Qlükaqon	3485	29
İnsulin	6000	51
Parathormon (paratirin)	9500	84
Ribonukleaza	12640	124
Mioqlobin	16890	153
Hemoqlobin	64500	574
γ - amilaza	97600	məlum deyil

Zülal molekulları struktur mürəkkəbliyinə görə, molekulyar zənciri yalnız bir aminturşu növündən ibarət olan təbii və sintetik mənşəli irimolekulyar polipeptidlərdən fərqlənir. Zülallar peptid zəncirlərini hidroliz edə bilməyən müxtəlif fiziki və kimyəvi amillərin təsiri nəticəsində denaturasiyaya uğrayır və bioloji funksiyalarını itirirlər; molekulyar eyni aminturşu qalıqlarından ibarət olan polipeptidlərlə aparılan təcrübələr zamanı isə denaturasiya hadisəsi müşahidə edilmir. Yalnız zülallar üçün səciyyəvi olan bu xassələr onların molekullarının fəza konfigurasiyasının mürəkkəbliyi ilə əlaqədardır.

4.4. ZÜLALLARIN TOXUMALARDAN AYRILMASI VƏ DİGƏR QARIŞIQLARDAN TƏMİZLƏNMƏSİ

Zülalların fiziki-kimyəvi və bioloji funksiyalarını öyrənmək üçün ilk növbədə onları təbii mənbələrindən təmiz halda almaq lazımdır. Lakin təbii mənbələrdən alınan zülalların təmizlənməsi böyük çətinliklərlə əlaqədardır. Çünki, çox vaxt təmiz halda alınması nəzərdə tutulan zülal ilkin materialın cüzi hissəsini (0,1%-ə qədər) təşkil edir və başqa zülallarla qarışıq şəkildə olur. Əgər zülalların bir-birilə və digər maddələrlə asanlıqla kompleks birləşmə əmələ gətirdiyini və bu birləşmələrin tərkib hissələrinə ayrılmasının da çətinliklərini nəzərə alsaq, zülalların təmizlənməsinin nə qədər mürəkkəb problem olduğu aydınlaşar. Tədqiqatın uğurlu keçməsi üçün əsas zəmin yaradan bu hazırlıq dövrü 3 mərhələdən ibarətdir: 1. Bioloji materialın xırdalanıb homogen kütlə halına salınması (homogenizasiya); 2) zülalların məhlul halına salınması (ekstraksiya); 3) tədqiq edilən zülalın məhlulda qarışıq şəkildə olan digər zülallardan təmizlənməsi.

Məlumdur ki, zülallar mühit temperaturunun və pH-ın dəyişikliklərinə, həmçinin müxtəlif kimyəvi maddələrin (turşular, qələvilər, üzvi həlledicilər) təsirinə qarşı yüksək dərəcədə həssas olur və onların təsiri nəticəsində öz əsas

xassələrini asanlıqla itirirlər. Buna görə, üzvi kimyanın müəyyən maddələri qarışıqlardan təmizləmək üçün istifadə edilən qızdırılma, distilləetmə, sublimasiya, kristallaşdırılma kimi üsullarını zülallara tətbiq etmək məsləhət görülmür. Çünki, bu üsulların tətbiqi zamanı zülallar denaturasiyaya uğrayır, yəni öz təbii xassələrini (xüsusən bioloji aktivliyini və həllolma qabiliyyətini) itirir. Buna görə, zülalları digər qarışıqlardan ayırmaq üçün xüsusi üsullar işlənib hazırlanmışdır. Bu üsullar aşağı temperatur şəraitində (4°C-yə qədər) və zülal molekullarının strukturuna mənfi təsir göstərməyən xüsusi reaktivlərdən istifadə edilməklə həyata keçirilir. Aşağıda həmin üsulların ümumi prinsipləri haqqında qısa məlumat veririk.

4.4.1. BİOLOJİ MATERIALIN HOMOGENİZASİYASI

Canlı toxumalarında olan zülalları ayırmaq üçün əvvəlcə toxuma kəşiklərini homogen kütlə alınana qədər xırdalayır. Bu əməliyyat *homogenizasiya* adlanır. Homogenizasiya hüceyrə strukturları tamamilə dağılana qədər davam etdirilir. Homogenizasiya prosesi homogenizator adlanan müxtəlif konstruksiyalı cihazlar vasitəsilə həyata keçirilir. Məsələn, yumşaq toxumaları Potterin həvəng-dəstəli homogenizatorunda və ya Uorrenin bıçaqlı homogenizatorunda homogenizasiya etmək olar. Sərt toxumaların (sümük, qığırdaq və s.) homogenizasiyası isə valli və ya diyircəkli dəyirman adlanan, elektrik mühərriki vasitəsilə işləyən xüsusi cihazlar vasitəsilə aparılır. Bəzən toxumanı növbə ilə dondurur və donunu açır, bu zaman buz kristallarının təsiri nəticəsində hüceyrə qişalarının tamlığı pozulur. Şərait olduqda xüsusən mikrob hüceyrələrinin homogenizasiyası “azot bombası” üsulu ilə aparılır, bundan ötrü, hüceyrələr yüksək təzyiqlə azotla doyuzdurulur, sonra isə həmin hüceyrələrin yerləşdiyi mühitdə atmosfer təzyiqi kəskin sürətdə azaldılır. Bu zaman hüceyrələrdə həll olmuş azot sürətlə məhlul halından çıxır və nəticədə hüceyrə qişaları parçalanıb dağılır. Bunlardan əlavə, hüceyrələrin tamlığını pozmaq üçün ultrasəsdən və digər fiziki təsir üsullarından da istifadə etmək olar.

4.4.2. ZÜLALLARIN EKSTRAKSİYASI

Ekstraksiya prosesi zülalların təmizlənməsinin 2-ci mərhələsi hesab edilə bilər, adətən homogenizasiya ilə paralel sürətdə aparılır. Zülalları homogenatın tərkibindən ayırmaq üçün müxtəlif məhlullardan istifadə edilir. Bu məqsədlə işlədilən məhlulun pH-ı ekstraksiya ediləcək zülalın xassələrinə müvafiq gəlməlidir. Çox vaxt ekstraksiyaedici kimi bəzi duzların 8-10%-li məhlullarından istifadə edilir və məhlulun pH-ı müxtəlif bufer xassəli maddələr vasitəsilə müvafiq göstəricilərə çatdırılır. Bunlardan əlavə, ekstraksiya zamanı üzvi həlledicilərdən və zülal molekullarının həm bir-birilə, həm də lipidlərlə əmələ gətirdiyi hidrofob rabitələri parçalayan maddələrdən istifadə edilir.

Zülalların həllolma qabiliyyəti mühitin pH-dan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Buna görə, toxuma zülallarını məhlula keçirmək üçün fosfat, sitrat və ya borat bufer sistemləri vasitəsilə, ekstraksiya ediləcək zülalın xassələrinə müvafiq gələn zəif turş və ya qələvi mühit yaradılır. Bu, zülalların həm həll

olmasına, həm də öz təbii xassələrini saxlamasına imkan verir. Bu məqsədlə çox vaxt “tris-bufer” sistemindən istifadə edilir. Adı çəkilən bufer sistemi tris-oksümetil-aminmetanın $[(\text{HOCH}_2)_3\text{CNH}_2]$ 0,2 M qatılıqlı məhlulu ilə 0,1 M qatılıqlı xlorid turşusu məhlulunun müxtəlif nisbətli qarışıqından ibarətdir.

Ekstraksiya zamanı qliserin və saxaroza kimi üzvi birləşmələrin zəif məhlullarından da istifadə edilir. Qan serumu zülallarının bir-birindən ayrılması üçün onları etil spirti, aseton, butil spirti və ya bu maddələrin müxtəlif nisbətli qarışıqları vasitəsilə çökdürürlər.

Zülalları lipidlərlə və digər zülallarla kompleks birləşmələrindən ayırmaq üçün müxtəlif detergent xassəli maddələrin təsirindən istifadə edilir. Məsələn, mitoxondrilərin membranları ilə rabitəli olan zülalların (fermentlərin) ekstraksiyası məqsədilə, homogenatlarla dezoksixol və dodesilsulfat turşularının natrium duzları və triton X-100 qarışdırılır. Lakin bu zaman nəzərə alınmalıdır ki, detergentlər zülal molekulları arasındakı kompleks rabitələri parçalamaqla, onların dördüncülü quruluşunun (4.6.3-cü bölməyə bax) da pozulmasına səbəb olur.

4.4.3. ZÜLALLARIN FRAKSİYALAŞDIRILMASI VƏ TƏMİZLƏNMƏSİ

Toxuma zülallarını hüceyrələrdən və hüceyrə orqanoidlərindən azad etdikdən sonra onların müxtəlif növlərini bir-birindən ayırırlar. Bu əməliyyat *zülalların fraksiyalaşdırılması* adlanır. Fraksiyalaşdırma məqsədilə zülal məhluluna müxtəlif üsullarla təcir göstərilir. Bu üsullara məhlulun duzlaşdırılması, zülalların istilik təciri ilə denaturasiyası, üzvi həlledicilərin köməyi ilə çökdürülmə, iondəyişdirici vasitələrin tətbiqi, xromatoqrafiya, elektroforez, kristallaşdırılma, ikifazlı sistemlər vasitəsilə ayrılma və b. üsullardan istifadə edilir.

Homogenizasiya və ekstraksiya nəticəsində məhlul halında əldə edilən zülalları digər qarışıqlarından ayırmaq və məhlulda olan hər hansı bir zülalı tam təmiz halda əldə etmək üçün çoxmərhələli əməliyyatlar aparılır. Bu zaman təmiz halda əldə edilməsi nəzərdə tutulan zülali maddə qarışıqda olan digər maddələrdən ayrılmalıdır. Adətən toxuma ekstraktının tərkibində molekul kütləsi 100-dən 10 milyona qədər olan bir neçə min maddə növünə təsadüf edilir və bu maddələrin qatılığı 10^{-15} -mol/l-dən 10^{-2} mol/l-ə qədər olur. Təmizləmə prosesinin bir və ya bir neçə mərhələsini keçirməklə, toxuma ekstraktının tərkibinə daxil olan maddələrin birini digərindən yalnız qismən ayırmaq mümkündür.

Zülalların suda həll olması hidratlaşma ilə müşayiət edilir. Yəni bu zaman zülal molekulları onlarla əlaqəyə girmiş su molekullarından ibarət olan xüsusi qışa ilə əhatə edilir. Məhlula hidratlaşma prosesini pozan kimyəvi maddələrlə (qələvi metalların qatı məhlulları, spirt, aseton və s.) və ya fiziki amillərlə (istilik, şüalandırılma və s.) təsir edildikdə zülallar məhlul halından çöküntüyə keçir. Lakin belə zülalları çökdürücü amillərin təsirindən azad etdikdə onlar yenidən suda həll ola bilər. Bu hadisədən zülalları təmiz halda almaq məqsədilə istifadə edilir. Aşağıda zülalların fraksiyalaşdırılma və təmizlənməsinin ümumi prinsipləri haqqında məlumat verilir.

4.4.3.1. Zülalların duz məhlulları vasitəsilə fraksiyalaşdırılması (duzlaşdırılma)

Yuxarıda göstəriləyi kimi, zülal məhluluna qələvi metalların və qələvi torpaq metallarının duzları əlavə edildikdə onlar çöküntüyə keçir; ammonium duzları da zülallara çökdürücü təsir göstərir. Duzlaşdırma yolu ilə çökdürülən zülallar əsas kimyəvi və bioloji xassələrini itirmir və məhlulda duzların miqdarı azaldıqda yenidən həll ola bilər.

Klinik laboratoriyalarda duzlaşdırma üsulundan qan serumunda və digər bioloji mayelərdə olan zülalların analizi zamanı nisbətən çox istifadə edilir. Lakin bu üsuldan digər hər hansı toxuma zülallarının tədqiqi zamanı da istifadə edilə bilər. Zülalların müxtəlif növlərini çökdürmək üçün məhlula qatılmalı olan duzların miqdarı bir-birindən fərqlənir. Məsələn, qan serumunda olan qlobulinlər ammonium-sulfatın qatılığı doymuş məhlul əmələ gətirə biləcək qatılığın 50%-nə bərabər səviyyəyə çatdırıldıqda çöküntüyə keçir, albuminlərin çökməsi isə yalnız məhlul ammonium-sulfatla tam doyuzdurulduqda mümkün olur.

Zülalların duzlaşdırılma üsulu ilə çökdürülməsinin sürəti çökdürücü duzun növündən əlavə, mühitin pH-dan və temperaturdan da asılıdır. Duzların çökdürücü təsirinin reallaşması isə onların ion yükündən asılıdır. Buna görə adətən müxtəlif duzların zülallara çökdürücü təsirinin intensivliyi *ion qüvvəsi* adlanan kəmiyyətlə ifadə edilir. İon qüvvəsi məhlulda olan müxtəlif ionların qatılıqları ilə valentlik vahidlərinin kvadratları hasilinin cəmindən ibarət olan rəqəmin yarısına bərabərdir:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c \cdot V^2$$

Bu düsturda μ – ion qüvvəsi, c – hər bir ionun qatılığı, V – müvafiq ionun valentliyi, Σ isə toplama işarəsidir.

İnsanın qan plazması zülallarının aşağı temperatur şəraitində etil spirti vasitəsilə təcir göstərilməklə aparılan fraksiyalaşdırılma üsulu (Kon üsulu) klinik-laboratoriya tədqiqatı üçün daha əhəmiyyətlidir. Bu üsulla 3°C temperaturda fraksiyalaşdırma aparıldıqda fibrinogenin çökdürülməsi üçün mühit pH-nın 7,2-yə bərabər olduğu şəraitdə məhlula 8%-li etil spirti əlavə etmək lazım gəlir. Mühitin temperaturu 5°C-yə, pH-ı 5,2-yə, etil spirtinin qatılığı isə 18%-ə çatdıqda α_1 -qlobulinlər çökür; β - və γ -qlobulinlərin çökdürülməsi üçün eyni temperatur şəraitində mühitin pH-ı 6,9, məhlulda spirtin qatılığı isə 25% olmalıdır; mühitin pH-ı 5,8-ə, etil spirtinin qatılığı isə 40%-ə çatdırıldıqda α_2 -qlobulinlər, pH-ın 4,8-ə, etil spirtinin 40%-ə bərabər olduğu şəraitdə isə albuminlər çöküntüyə keçir. Bu üsulla çökdürülən zülallar sonradan yenidən məhlul halına düşə bilər. Belə fraksiyalaşdırma zamanı zülalların bioloji xassələri saxlandığına görə, bu üsuldan qanın müxtəlif fraksiyalarından ibarət olan müalicə vasitələrinin (qanəvəzedicilər) istehsalında da istifadə edilir.

4.4.3.2. Zülal məhlullarının xırdamolekullu qarışıqlardan təmizlənməsi

Fraksiyalaşdırma üsulu ilə digər irimolekullu maddələrdən ayrılan zülallar xırdamolekullu hissəciklərlə qarışıq şəklində olur. Onları belə qarışıqlardan təmizləmək üçün dializ, gelxromatoqrafiya, kristallaşdırma və ultrafiltrasiya üsullarından istifadə edilir. Məhlullarda olan qeyri-üzvi duzlar və digər xırdamolekullu hissəciklər bitki və heyvan zarlardan, həmçinin sintetik yarımkeçirici zarlardan (sellofan, kolloid pərdə) asanlıqla keçir, zülal molekulları isə iriölcülü (0,1-0,01 mk) olduqlarına görə, belə maneəni dəf edə bilmir. Buna görə toxuma ekstraktını və ya onun müxtəlif fraksiyalarını belə materialdan hazırlanmış kisəyə doldurub, təmiz həlledicinin içərisində saxladıqda, zülallarla birlikdə toxumalardan ayrılmış xırdamolekullu hissəciklər tədricən kisənin divarından həllediciyə keçir. Həlledici maye tez-tez dəyişdirildikdə bu proses sürətlənir. Bu proses dializ metodunun əsasını təşkil edir. Dializ zamanı toxuma ekstraktının tərkibindəki zülallar istifadə edilən kisənin içərisindəki məhlulda qalır. Bu qarışığı müxtəlif çökdürücü maddələr və həlledicilər vasitəsilə yenidən fraksiyalaşdırıb, öyrənilməsi nəzərdə tutulan zülalları təmiz halda əldə edirlər. Bu məqsədlə tətbiq edilən sadə üsullardan biri zülalların kristallaşdırılmasıdır.

Zülallar kristallaşma qabiliyyətinə görə bir-birindən fərqlənir. Buna görə hər bir zülalı kristallaşdırmaq üçün xüsusi şərait (zülalın və suçıxarıcı maddənin müəyyən qatılığı, məhlulun pH-ı, temperatur) yaradılmalıdır. Zülalın təmizlik dərəcəsini artırmaq üçün, onu bir neçə dəfə həll edib, yenidən kristallaşdırırlar. Əvvəllər bir neçə dəfə həll edilib, yenidən kristallaşdırılmış zülallar kimyəvi cəhətdən təmiz hesab edilirdi. Lakin həssas biokimyəvi analiz üsulları göstərmişdir ki, təkcə zülalların kristallaşması faktına əsaslanaraq, onların homogenliyi haqqında nəticə çıxarmaq olmaz. Çünki çox vaxt xassələrinə görə bir-birinə yaxın olan zülallar birlikdə kristallaşır. Yəni belə kristalların tərkibində mexaniki qarışıq və ya kompleks birləşmə şəklində müxtəlif zülallar olur. Məsələn, kristallaşdırılmış yumurta albumininin tərkibində iki, qan serumu qlobulininin tərkibində isə üç (α -, β - və γ -qlobulinlər) zülal fraksiyası ola bilər. Kristallaşdırılmış zülal preparatlarının heterogenliyini (yəni müxtəlif zülal qarışığından ibarət olmasını) bir sıra fiziki-kimyəvi üsullarla (elektroforez, xromatoqrafiya, ultrasentrifuqalaşdırma) və həmin zülalların spesifik bioloji xassələrinin (fermentativ və ya hormonal aktivliyinin) tədqiqi vasitəsilə sübut etmək mümkündür.

Zülalları xırdamolekullu qarışıqlardan ayırmaq üçün istifadə edilən üsullardan ultrafiltrasiya və gel-filtrasiyanın effektivliyi xüsusilə yüksəkdir. Ultrafiltrasiya üsulu zülal məhlulunun xüsusi zarlardan müəyyən təzyiq altında keçirilməsinə əsaslanır. Bu üsuldən istifadə edildikdə, məhlulda olan xırdamolekullu maddələr və su ayrılır və dializ kisəsinin içərisində qalan zülal təmizlənməkdən əlavə, həm də qatılaşır. Gel-filtrasiya üsulunun mahiyyəti haqqında dərsləyin növbəti bölməsində məlumat verilir.

4.4.3.3. Xromatoqrafiya

Xromatoqrafiya – maye və ya qaz qarışıqlarının tərkibində olan müxtəlif maddələrin bir-birindən ayrılması üçün istifadə edilən fiziki-kimyəvi analiz üsuludur. Bu üsulun əsas prinsipini tərkib hissələrinə ayrılacaq qarışıqların bir-biri ilə qarışmayan 2 mühit arasında yayılması təşkil edir. Adətən bu mühitlərdən biri hərəkətsiz (stasionar) olur, digəri isə hərəkətli olub, fasiləsiz sürətdə hərəkətsiz mühitin içərisindən keçir. Xromatoqrafiya maddələrin müxtəlif mühitdə bir-birindən fərqlənən sürətlə yayılmasına əsaslanan digər üsullardan (məsələn, ekstraksiya) dinamik prosesə əsaslanmasına görə fərqlənir. Yəni bu üsulun köməyi ilə həm mayələrin tərkibindən, həm də qaz qarışıqlarından üzvi və qeyri-üzvi maddələri, onların qatılıq dərəcəsinə asılı olmadan ayırmaq mümkündür. Xromatoqrafiya zamanı mütəhərrik mühit kimi qazlardan və mayelərdən (zülalları qarışıqlardan təmizləmək üçün maye mühitdən, yəni məhlul şəklində olan qarışıqlardan) istifadə edilir, stasionar (qeyri-mütəhərrik) mühit funksiyasını isə maye və ya bərk cisim yerinə yetirə bilər. Bu zaman mütəhərrik fazada olan maddələrin bir-birindən ayrılmasına onların müxtəlif sürətlə adsorbsiyaya uğraması, həllolma və ya qeyri-mütəhərrik fazada olan maddələrlə reaksiyaya girmə qabiliyyətlərinin müxtəlifliyi səbəb olur.

Xromatoqrafiya üsulunu ilk dəfə 1903-cü ildə rus alimi M.S.Svet bitki mənşəli piqment maddələrini bir-birindən ayırmaq üçün istifadə etmişdir. Üsulun tətbiqi sayəsində bitki yarpaqlarının ekstraktında 2 növ yaşıl piqment maddəsi (**a** və **b** tipli xlorofillər) və bir neçə sarı rəngli piqment maddəsi (karotinoidlər) olduğu aşkara çıxmışdır. Üsulun xromatoqrafiya adlanması da bu təcrübə ilə əlaqədardır [*shromo* (yunanca) – rəng + *graphein* (yunanca) – yazıram]. XX əsrin 40-cı illərindən sonra xromatoqrafiya üsulu daha da təkmilləşdirilmiş, onun müxtəlif növləri ayırd edilmiş və müvafiq aparatlar – xromatoqraflar – hazırlanmışdır.

Xromatoqrafiya üsulunun tətbiqi zamanı tərkib hissələrinə ayrılmalı olan qarışıq mütəhərrik mühiti təşkil edən maye və ya qazın hərəkət qüvvəsinin təsiri nəticəsində stasionar mühitin məsamələrinə daxil olur. Bəzi hallarda stasionar mühit kimi, doğranılıb narın hala salınmış və ya dənəciklər şəklində olan bərk maddələrdən istifadə edilir; bu maddələr ensiz şüşə və ya metal borucuğun içərisinə yerləşdirilir, yəni silindr şəklində salınır; çox vaxt mütəhərrik mühiti belə silindrlərdən təzyiq altında keçirirlər. Bundan əlavə, stasionar mühit kimi, şüşə lövhəyə yayılmış xırda hissəciklərdən ibarət olan sorbsiyaedici xassəli bərk maddə təbəqəsindən, məsaməli materialdan hazırlanan pərdədən, xüsusi kağız növlərindən mütəhərrik fazanın mayesində həll olmayan qeyri-mütəhərrik maye mühitindən istifadə etmək olar.

Çeşidlərə ayrılan maddələrin xromatoqrafiya sistemində hərəkəti zamanı onların molekullarının mütəhərrik mühitdən qeyri-mütəhərrik mühitə keçməsi *sorbsiya*, bunun əksinə olan proses isə *desorbsiya* adlanır. Qeyri-mütəhərrik (stasionar) mühiti təşkil edən maddə çeşidlərə ayrılan molekullara adsorbsiyaedici təsir göstərdikdə həmin molekullar sorbent vasitəsilə udulur (bu proses adsorbsiyaedici xromatoqrafiyanın əsasını təşkil edir); adsorbsiyaedici təsire malik olmayan sorbentlərdən istifadə edildikdə sorbsiya prosesi ayrılan mole-

kulların qeyri-mütəşəkkil mühitdə mexaniki ləngidilməsi ilə nəticələnir. Xromatoqrafiya üsulu ilə çeşidlərə ayrılma prosesi məsaməli sorbent vasitəsilə aparıldıqda molekulların hərəkəti həmin məsamələrdə ləngiyir (məsələn, gel-filtrasion xromatoqrafiya zamanı). Xromatoqrafiya üsullarının müxtəlif növlərinin hər hansı bir meyarə görə təsnifatını yaratmaq olduqca çətindir. Çünki bu metodların hər biri bir neçə variantda tətbiq edilə bilər. Məsələn, çökdürmə üsuluna əsaslanan xromatoqrafiyanı sorbent silindrlərində, kağız üzərində və gəldə aparmaq mümkündür. Molekulların çeşidlənməsi üçün istifadə edilən hər hansı bir üsul çox vaxt müxtəlif xromatoqrafiya metodlarının əsasını təşkil edir. Eyni zamanda hər hansı bir xromatoqrafiya üsulunda müxtəlif prinsiplərdən istifadə edilə bilər. Məsələn, nazik lövhəcik üzərində aparılan xromatoqrafiya zamanı molekulların çeşidlənməsi üçün sorbsion, yayılma, iondəyişmə və b. prinsiplərdən istifadə etmək mümkündür.

Xromatoqrafiya müxtəlif məqsədlərlə aparıla bilər. Bu baxımdan xromatoqrafiyanın 3 növü ayırd edilir: 1. *Analitik xromatoqrafiya*: mürəkkəb qarışıqların tərkibini müəyyənləşdirmək məqsədilə həyata keçirilir; 2. *Preparativ xromatoqrafiya*: qarışıqda olan maddəni təmiz halda əldə etmək üçün aparılır; 3. *Fiziki-kimyəvi tədqiqat məqsədilə aparılan xromatoqrafiya*.

Xromatoqrafiya üsulları stasionar mühit kimi istifadə edilən sorbentlərin növlərinə görə də bir-birindən fərqlənir. Bu baxımdan xromatoqrafiyanın aşağıdakı tipləri ayırd edilir: 1) adsorbsion; 2) iondəyişdirici; 3) bölüşdürücü; 4) çökdürücü; 5) affın; 6) oksidləşdirici-reduksiyaedici; 7) gel-filtrasion xromatoqrafiyalar.

1. *Adsorbsion xromatoqrafiya* – qarışıqda olan müxtəlif maddələrin adsorbsiyaya uğrama qabiliyyətinin fərqli olmasına əsaslanan üsuldür. Bu fərqlər maddələrin kimyəvi strukturundan və xassələrindən asılı olur. Çeşidlənməsi nəzərdə tutulan maddələrin adsorbsiyaedilmə xassəsində və ya sorbsiya və desorbsiya qabiliyyətində olan cüzi fərqlər onların bir-birindən ayrılmasına şərait yaradır. Adsorbsion xromatoqrafiya zamanı stasionar mühit kimi aktivləşdirilmiş ağac kömüründən, alüminium oksidindən, silikogeldən və başqa adsorbentlərdən istifadə edilir. Xüsusi həlledici ilə qarışdırılmış adsorbent şüşə borucuğa yığılır (həlledicinin tərkibi çeşidlənməsi nəzərdə tutulmuş maddələrin xassələrinə görə müəyyənləşdirilir və çox vaxt bufer maddələrdən ibarət olur). Şaquli istiqamətdə fiksə edilən şüşə borucuğun içərisində olan adsorbentin üzərinə əlavə edilən qarışığın tərkib hissələri adsorbsiyaya uğrayır. Bundan sonra müvafiq çıxarıcı maddələrdən istifadə etməklə, adsorbsiyaya uğramış maddələri desorbsiya edirlər.

2. *İondəyişdirici xromatoqrafiya* – məhlulda və adsorbentdə olan ionların qarşılıqlı mübadiləsinə əsaslanan üsuldür. Bu üsulla aparılan xromatoqrafiya zamanı xromatoqrafiya borusunu aniondəyişdirici və ya kationdəyişdiricilərlə doldururlar. Bu məqsədlə ionitlər adlanan iondəyişdirici qatranlardan istifadə edilir.

İonitlər – dissosiasiyaya uğraya bilən funksional kimyəvi qruplara malik olan, iondəyişdirici qatranın strukturu ilə birləşərək ona turşu (kationitlər) və ya qələvi (anionitlər) xassəsi verən irimolekullu birləşmələrdir. Sənayedə

ionitlərin bir neçə növündən istifadə edilir. Bunlara molekulyar strukturuna kation və ya anion qrupları daxil edilmiş sintetik iondəyişdirici qatranlar, sellüloza, dekstran və ya aqaroza aiddir. Kationlarla birləşmək qabiliyyətinə malik olan iondəyişdirici qatranlar – *kationdəyişdiricilər*, anionlarla reaksiyaya girə bilənlər isə – *aniondəyişdiricilər* adlanırlar. Bunlardan əlavə, amfoter ionitlərdən – amfolitlərdən də istifadə edilir; onlar həm kationlarla, həm də anionlarla reaksiyaya girə bilirlər. 4.6-cı cədvəldə xromatoqrafiya məqsədilə istifadə edilən bəzi tipik ionitlər haqqında məlumat verilmişdir.

İondəyişdirici xromatoqrafiya üsulundan qarışıqları selektiv surətdə müəyyən ionlardan təmizləmək məqsədilə geniş istifadə edilir. Tərkibi və pH-ı qarşıya qoyulmuş məqsədə müvafiq gələn məhluldan istifadə etməklə, qarışığın tərkibindən bir qrup ionu çıxarmaq, başqa ion qrupunu isə saxlamaq mümkündür. Məsələn, anionitlər aminturşuları sorbsiya edir və ammoniyakın köməyiylə qarışıqların tərkibindən çıxarılır. Lakin müxtəlif aminturşular məhlulun tərkibindən bir-birindən fərqlənən sürətlə və müxtəlif ardıcılıqla təmizlənir: adətən aminturşu qarışıqlarından asparagin turşusu daha tez çıxır, bundan sonra isə serin, qlutamin turşusu, alanin, valin və leysin ayrılır. Ümumiyyətlə müxtəlif maddələr qarışığını aminturşularından təmizləmək üçün 2 növ iondəyişdirici mühitdən istifadə edilir. Bunlardan biri qarışıqdan turşu, neytral və aromatik aminturşuları, digəri isə qələvi xassəli aminturşuları (diaminmonokarbon turşuları) çıxarır.

Cədvəl 4.6

**Xromatoqrafiya zamanı istifadə edilən ionitlərin bəzi tipik növləri
(A.Uayt və b., 1981)**

<i>Kationitlər</i>		<i>Anionitlər</i>	
Polimer daşıyıcı	Funksional qrup	Polimer daşıyıcı	Funksional qrup
Sulfatlaşdırılmış polistirol	–SO ₃ H	Trietilamin-polistirol	–N ⁺ (CH ₂ –CH ₃) ₃
Polimetakril turşusu	–COOH	Dimetil (oksimetil) amin-polistirol	–N ⁺ (CH ₃) ₂ CH ₂ –OH
Fosfocellüloza	–O–PO ₃ H ₂	Dietilamin-etilsellüloza	–(CH ₂) ₂ –N < $\begin{matrix} \text{CH}_2\text{--CH}_3 \\ \text{CH}_2\text{--CH}_3 \end{matrix}$
Karboksimetil-sellüloza	–CH ₂ –COOH	Dietil (2-oksi-propil) amin-etilendekstran	–(CH ₂) ₂ –N ⁺ (CH ₂ –CH ₃) ₂ CH ₂ –CH–CH ₃ OH
Sulfopropildekstran	–(CH ₂) ₃ –SO ₃ H		

3. *Bölüşdürücü xromatoqrafiya* – qarışığın tərkibində olan müxtəlif komponentlərin bir-birindən fərqli olan 2 həlledicidə müxtəlif sürətlə həll olmasına əsaslanan üsuldur. Adsorbsion xromatoqrafiyadan fərqli olaraq, bölüşdürücü xromatoqrafiyada bərk maddələr stasionar maye mühit üçün yalnız istinadgah funksiyası daşıyır. Bölüşdürücü xromatoqrafiya zamanı məsələləri

olan bərk maddələrdən istifadə edilir. Məsələn, şüşə borucuğa nəm nişasta və ya silikagel doldurulur; maddə qarışığı müvafiq həlledicidə məhlul halına salınır və şüşə boruya (sütuncuğa) daxil edilir; üzvi həlledicidə həll olmuş qarışıqdan ibarət olan mütəhərrik mühit hərəkətsiz stasionar mühiti təşkil edən su təbəqəsindən keçirildikdə qarışığın müxtəlif komponentləri şüşə borunun dibinə doğru müxtəlif sürətlə hərəkət edir. Bundan sonra sütuncuğun müxtəlif səviyyələrində yerləşən ayrı-ayrı fraksiyaları müvafiq həlledici vasitəsilə ayıraraq, təmiz halda əldə edirlər.

Bölüşdürücü xromatoqrafiyanın geniş istifadə edilən variantlarından biri – *kağız üzərində aparılan xromatoqrafiya*dır. Bu üsuldən biokimyəvi və klinik laboratoriyalarda peptidləri, aminturşuları və b. üzvi maddələri ayırmaq üçün istifadə edilir. Kağız üzərində aparılan xromatoqrafiya zamanı qeyri-mütəhərrik mühit funksiyasını filtr kağızına hopdurulmuş su təşkil edir. Qarışığı kağız lövhəciyin bir kənarına töküüb, həmin kənarı tədqiqatın məqsədinə müvafiq gələn üzvi həlledici ilə isladırırlar. Aminturşularla aparılan tədqiqat zamanı butil spirti, sirkə turşusu və suyun müəyyən nisbətli qarışığından həlledici kimi istifadə etmək olar. Həlledici məhlul kağız üzərində hərəkət etdikcə, qarışığın müxtəlif komponentləri filtrin məsamələrinə toplanır. Bundan sonra, xromatoqramı xüsusi boyaq maddələri vasitəsilə boyayaraq, gözlə görünə bilən zolaqların hər birində hansı maddənin toplandığını isə fiziki-kimyəvi analiz üsulları vasitəsilə müəyyənləşdirirlər. Aminturşuları xromatoqrafiya kağızı üzərində müşahidə etmək üçün ninhidrin məhlulundan istifadə edilir. Bu məhlul kağızın aminturşu toplanan sahələrini göyümtül rəngə boyayır.

4. *Çökdürücü xromatoqrafiya* – məhlulda olan maddələrin kimyəvi təsir vasitəsilə zəif həll olan birləşmələrə çevrilməsinə əsaslanır. Xromatoqrafiyanın bu üsulundan vəsfi və miqdarı analiz, qarışıqların tərkibində olan maddələri bir-birindən ayırmaq və məhlulda olan maddələrin qatılığını artırmaq məqsədilə istifadə edilir. Bu üsulla aparılan xromatoqrafiya zamanı maddələr ardıcıl olaraq, bir neçə dəfə çökdürülüb yenidən həll edilir və əmələ gələn çökdünlərdə olan maddələrin yenidən həllolma qabiliyyətlərindəki fərqlərdən onları bir-birindən ayırmaq məqsədilə istifadə edilir. Çökdürülmə xromatoqramlarını sütuncuq (silindr), filtr kağızı və nazik təbəqə üzərində almaq mümkündür. Bu məqsədlə istifadə edilən sütuncuqlarda daşıyıcıdan əlavə, çökdürücü maddələr də olmalıdır. Belə sütuncuqları hazırlamaq üçün ovulub xırdalanmış daşıyıcı maddəyə çökdürücü maddənin məhlulu hopdurulur. Daşıyıcı maddə kimi, çökdürücü maddə ilə və qarışıqla kimyəvi reaksiyaya girə bilməyən, filtrasiyaedici xassəsi yüksək olan maddələrdən istifadə edilir. Bu məqsədlə həm silikagel və alüminium oksidi kimi yüksəkdispersli maddələrdən, həm də barium-sulfat kimi kobud dispersli birləşmələrdən istifadə edilə bilər. Kağız üzərində çökdürücü xromatoqrafiya aparıldıqda xromatoqrafiya kağızı daşıyıcı funksiyasını yerinə yetirir.

5. *Affin xromatoqrafiya* (maddələrin kimyəvi struktur cəhətdən oxşarlığına əsaslanan xromatoqrafiya üsulu). Bu xromatoqrafiya üsulunda zülalların və ya digər irimolekullu maddələrin onlarla spesifik surətdə birləşmə qabiliyyətinə malik olan maddələrlə (liqandlarla) reaksiyalarından istifadə edilir. Birləşdirici maddənin növü elyuaasiya (qarışıqdan ayrılma) edilməsi nəzərdə tutulmuş

zülalın xassələrindən asılı olaraq seçilir. Məsələn, ferment xassəli zülalların substrat və ya kofermentlə, anticisimciklərin spesifik antigenlərlə, hormonların reseptorlarla birləşmə qabiliyyətindən istifadə edilə bilər. Bu məqsədlə spesifik liqandlar qeyri-mütəhərrik mühiti təşkil edən daşıyıcılarla birləşdirilir, yəni onların immobilizasiya edilmiş formaları yaradılır. İmmobilizasiya edilmiş liqandın spesifikliyi sayəsində xromatoqrafiya sütuncuğundan keçirilən qarışıqın tərkibindəki zülalların yalnız bir növü onunla birləşir. Bundan sonra həmin zülal xüsusi kimyəvi üsullar (müxtəlif pH-a malik bufer məhlulları ilə təsiretmə, ion rəbitələrinin zəiflədilməsi, zülalla liqand arasındakı rəbitələrə xüsusi detergentlərlə təsir göstərilməsi) vasitəsilə xromatoqrafiya sütuncuğundan ayrılır. Bu üsul zülalların yüksək dərəcədə təmizlənmiş şəkildə ayrılmasına imkan verədiyinə görə, digər xromatoqrafiya üsullarından fərqlənir.

6. *Oksidləşdirici-reduksiyaedici xromatoqrafiya* (oksixromatoqrafiya) – analiz edilən maddə qarışıqının tərkibində müxtəlif dərəcədə oksidləşdiricilik və ya reduksiyaedicilik potensialına malik birləşmələr olduqda onların oksidləşdirici və ya reduksiyaedici reagentləri olan xromatoqrafik sütuncuqlardan keçirilərkən müxtəlif zonalarda ləngiməsi hadisəsinə əsaslanır. Bu zaman maddələr xromatoqrafiya sütuncuqlarından keçərkən öz oksidləşmə-reduksiya potensiallarına müvafiq gələn ardıcılıqla dəyişikliyə uğrayır. Yəni oksidləşdirici sütuncuqda ilk növbədə oksidləşmə-reduksiya potensialı ən aşağı səviyyədə olan maddə, reduksiyaedici sütuncuqda isə – bu xassəli ən yüksək olan maddə dəyişikliyə uğrayır.

Oksixromaskopiya üsulunun zülalların ayrılması üçün əhəmiyyəti yoxdur; bu üsuldan oksidləşmə və reduksiya reaksiyaları zamanı rəngini dəyişən maddələrin vəsfi analizindən ötrü istifadə edilir.

7. *Gel-filtrasion xromatoqrafiya* və ya “molekul ələkləri” üsulu müxtəlif maddələri qarışıqlarının tərkibindən molekul kütləsinin böyüklüyünə görə ayırmaq üçün geniş istifadə edilən üsullardan biridir. Bu üsulun inkişafında epixlorhidrinlə dekstranın (polisaxarid) qarşılıqlı təsiri nəticəsində gel əmələ gəldiyinin aşkara çıxarılması böyük əhəmiyyətə malik olmuşdur. Epixlorhidrinin təsiri nəticəsində dekstran molekullarında əmələ gələn əlavə rəbitələr onun hidrofily xassəli dənəciklərə çevrilməsinə səbəb olur. Sefadeks adlanan bu dənəciklər suda həll olmur, lakin su mühitində şiddətli sürətdə şişərək, gel əmələ gətirir. Sefadexlə su qarışıqını şüşə boruya doldurmaqla, xromatoqrafiya sütuncuğu düzəldirlər. Müəyyən edilmişdir ki, həlledicilərdə həll olmayan sintetik qatran, polisaxaridlər (dekstran, aqaroza) və b. məsaməli materiallar müəyyən mayelərdə dənəciklərdən və mayedən ibarət olan suspenziya halına salındıqda 2 növ həlledici mühit əmələ gəlir; bunlardan biri dənəciklərin daxilində, digəri isə onlardan xaricdə yerləşir; belə suspenziyadan ibarət olan sütuncuqdan (şüşə boruya doldurulmuş suspenziya) müxtəlif molekul kütləsinə və quruluşuna malik olan maddələr qarışığı keçirildikdə, onlar “molekul ələkləri” kimi təsir göstərir, yəni bu zaman xırdamolekullu hissəciklər hər iki mühitdə bərabər paylanır, nisbətən iri ölçülü molekullar isə daxili mühitə keçə bilmir. Dənəcikli materialı xüsusi kimyəvi üsullarla işləməklə, elə hala salmaq mümkündür ki, onların məsamələrinə daxil ola bilən maddələrin təxmini molekul kütləsinə müəyyənləşdirmək mümkün olsun.

Məsamələrinin ölçüləri (molekul kütləsi) nəzərdə tutulan səviyyədən artıq olan maddələrin daxili mühitə keçməsinə imkan verməyən daşıyıcıdan ibarət olan xromatoqrafiya sütuncuğundan müxtəlif maddələr qarışığı keçirildikdə nəzərdə tutulan ölçülərdən kiçik olan molekullar daxili mühitə keçib, iriölçülü molekullardan ayrılır. Bu üsul molekul kütləsinə görə fərqlənən müxtəlif maddələri bir-birindən ayırmağa imkan verir. Bu üsul preparativ enzimologiyada geniş surətdə tətbiq edilir.

4.4.3.4. Elektroforez

Zülalları fraksiyalaşdırmaq üçün istifadə edilən üsullardan ən əlverişlisi elektroforez hadisəsinə əsaslanır.

“Elektroforez” adı altında mayədə olan yüklü hissəciklərin elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində hərəkəti nəzərdə tutulur. Zülalların elektrik sahəsindəki hərəkətini ilk dəfə 1869-cu ildə F.Reys müşahidə etmişdir. 1937-ci ildə Nobel mükafatı laureatı A.Tizelius məhlulda zülalların elektroforezini müşahidə etməyə imkan verən xüsusi cihaz ixtira etmiş və bu prosesin idarə edilməsi üsulunu işləyib hazırlamışdır. Məlumdur ki, bufer məhlulunda olan yüklü hissəciklərin (o cümlədən zülalların) hərəkət sürəti və istiqaməti onların ion yükündən asılıdır. Müxtəlif zülal növlərinin ion yükləri bir-birindən fərqləndiyinə görə, onlar elektrik sahəsində müxtəlif sürətlə hərəkət edərək, bir-birindən ayrılır. Tizeliusun elektroforez cihazı müxtəlif zülalların elektrik sahəsində bir-birindən fərqlənən sürətlə hərəkət etməsinə əsaslanır. Bu cihazın ilk variantı mayenin tərkibində olan sərbəst zülalların elektroforezi üçün nəzərdə tutulmuşdu.

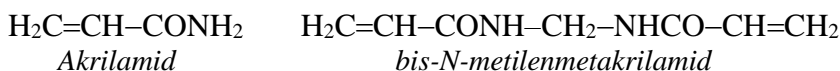
Mayədə sərbəst şəkildə hərəkət edən zülal hissəciklərinin elektroforezi zamanı müxtəlif zülallar arasındakı sərhədlər mühitdə işıq şüalarının sınımasını qeyd edən xüsusi cihazlar (nefelometr, refraktometr) vasitəsilə müəyyənləşdirilir. Bu zaman optik cihazlar hərəkət edən hissəciklərin müxtəlif qatılığa malik olan bir neçə zonasını qeyd edir. Bu üsulun mənfə cəhətləri müxtəlif fraksiyalar arasında sərhədlərin dəqiq müəyyənləşdirilməsinin çətinlikləri ilə əlaqədardır. Hazırda bu qüsurları aradan qaldırmaq məqsədilə bərk gel mühitində nisbətən yüksək elektrik gərginliyi altında aparılan elektroforezdən daha geniş istifadə edilir. Buna *zona elektroforezi* deyilir.

Zona elektroforezinin sərbəst maye mühitdə aparılan elektroforezə nisbətən üstünlüyü bunlardan ibarətdir: 1) elektroforezin bu növündən istifadə edildikdə mütəhərrik maye mühit kimyəvi cəhətdən neytral olan bərk konsistensiyalı qeyri-mütəhərrik mühit üzrə hərəkət etdirilir, bu isə bufer məhlulunda həll olmuş hissəciklərin temperatur dəyişikliklərindən asılı olan xaos hərəkətini məhdudlaşdırır; 2) lazım gəldikdə bərk konsistensiyalı mühitin müəyyən hissəsini ayıraraq, orada toplanan hər hansı maddəni tədqiq etmək mümkün olur.

Zona elektroforezi zamanı neytral daşıyıcı kimi xromatoqrafiya kağızından, asetat-sellülozadan, silikageldən hazırlanmış sütuncuqlardan, sefadeks gelindən və b. materiallardan istifadə etmək olar. Kimyəvi cəhətdən inert olan polimerlərdə aparılan zona elektroforezi müxtəlif maddələri həm ion yüklərinin səviyyəsinə görə, həm də molekul çəkilərinə görə fraksiyalaşdırmağa imkan

verir. Bu baxımdan poliakrilamid və aqaroza gellərinin əhəmiyyəti daha böyükdür. Poliakrilamidin əsas üstünlüklərindən biri də bundan ibarətdir ki, onun qatılığını dəyişməklə, istənilən ölçülü məsamələrə malik olan gel hazırlamaq mümkün olur və bu gellə aparılan elektroforez zamanı adsorbsiya və elektroosmos qüvvələrinin tədqiqata təsiri olmur.

Elektroforez məqsədilə istifadə edilən poliakrilamid geli hazırlamaq üçün diametri 1 sm²-na qədər olan şüşə boruya tərkibində monomer (akrilamid), az miqdarda birləşdirici maddə (bis-N-metilenmetakrilamid) və polimerləşmə reaksiyasının təşəbbüsçüsü (katalizatoru) funksiyasını yerinə yetirən bufer məhlulu doldurulur. Katalizator kimi ammonium-persulfatdan və ya riboflavindən istifadə etmək olar.



Ammonium-persulfatın katalizatorluğu ilə polimerləşmə reaksiyası adi şəraitdə keçir və otaq temperaturunda saxlanılan qarışıq qısa müddətdən sonra akrilamid gelinə çevrilir. Katalizator kimi riboflavindən istifadə edildikdə, polimerləşmə reaksiyasının baş verməsi üçün məhlulu lüminessent lampası vasitəsilə şüalandırmaq lazımdır. Təsvir edilən üsulda pH-ı müxtəlif olan bufer məhlullarından istifadə edilir və akrilamidin müxtəlif qatılıqları vasitəsilə məsamələrinin ölçüləri bir-birindən fərqlənən gellər hazırlanır (bu üsulun müxtəlif variantları haqqında spesifik ədəbiyyatdan məlumat almaq olar). Bu üsul disk-elektroforez adlanır (ingiliscə *discontinius* – fasiləli). Gel vasitəsilə aparılan elektroforez yüksək effektivliyi ilə fərqlənir. İnsanın qan serumu zülallarının sərbəst maye mühitində elektroforezi zamanı 5, xromatografiya kağızı üzərində aparılan elektroforezi zamanı 6 zülal fraksiyası ayrıldığı halda, nişasta gelində elektroforez edildikdə qan serumunda 10, poliakrilamid gelində isə 18-25 zülal fraksiyası aşkar edilir.

Elektroforez prosesinin gedişini müşahidə etmək üçün tədqiq edilən maddələrin qarışığına kimyəvi cəhətdən inert olan (yəni fraksiyalaşdırılan maddələrə kimyəvi təsir göstərməyən) xırdamolekullu boyaq maddələri qatılır. Bu boyaq maddələrinin molekulları fraksiyalaşdırılan maddə molekulları kimi ion yükünə malik olmalı və elektroforez prosesində ən sürətlə hərəkət edən və ilkin olaraq ayrılan zülala nisbətən bir qədər artıq mütəhərriklik göstərməlidir. Bu məqsədlə neytral və qələvi xassəli bufer məhlullarında çox vaxt bromfenol abısından, turş mühitdə isə – yaşıl metil boyağından və ya pironindən istifadə edilir. Boyanmış zona gəlin sonuna çatdıqda elektroforezi dayandırirlar. Bundan sonra geli fiksasiya edib, müəyyən müddət ərzində spesifik boyaq məhlulunda saxlayırlar. Zülalla zəngin olan zonalar boyandıqdan sonra boyanın artıq hissəsini yuyurlar. Bu zaman gəldə müxtəlif ölçülü zolaqlar nəzərə çarpır (şəkil 4.1). Bunlar elektroforez zamanı ayrılan zülal fraksiyalarının yerləşdiyi sahələrə müvafiq gəlir.

Disk-elektroforez vasitəsilə ayrılan müxtəlif zülal fraksiyalarının nisbi miqdarı densitometr adlanan cihaz vasitəsilə müəyyənləşdirilir. Bu cihazın iş prinsipi gel üzərində olan zolaqlarda boyanma intensivliyinin müəyyənləşdiril-

məsinə əsaslanır.

Bəzən yuxarıda göstərilən üsullardan heç biri ayrılıqda mürəkkəb tərkibli zülal qarışıqlarının tam fraksiyalaşdırılmasına nail olmağa imkan vermir. Belə hallarda təkrarlanan elektrofezdən istifadə edilir, yəni zülal qarışığını ilk dəfə elektroforez etdikdən sonra alınan hər bir zülal zolağını yenidən elektroforez etməklə fraksiyalara ayırırlar. Bu zaman ikinci elektroforez sütuncuğunda müxtəlif zülal növləri ayrd edilir. Bəzən bu yolla bioloji materialın tərkibindən 2000-ə qədər zülal növü ayrılır. Lakin hətta bu üsul da qarışıqda olan bütün zülalların bir-birindən ayrılması üçün kifayət etməyə bilər. Buna görə hazırda elektroforezlə xromatografiyanın əsas prinsiplərini özündə birləşdirən fraksiyalaşdırma üsulları kombinasiyasından geniş istifadə edilir.



Şəkil 4.1. Qan serumu zülallarının elektroforezi aparılmış poliakrilamid gellərinin sütuncuqları boyadıldıqdan sonra: horizontal istiqamətdə yerləşən zolaqlar rənglənmiş zülal zonalardır

4.4.4. ZÜLALLARIN HOMOGENLİYİNİN TƏYİN EDİLMƏSİ

Hər hansı bir zülalı yuxarıda göstərilən üsulların dəfələrlə tətbiq edilməsi yolu ilə digər qarışıqlardan ayırdıqdan və təmizlədikdən sonra onun homogenliyinə (yəni tam təmiz şəkildə alındığına) əmin olmaq üçün müəyyən yoxlama tədbirləri keçirilməlidir. Bu məqsədlə zülalın homogenliyinin müxtəlif meyarlarından istifadə edilir. Aydındır ki, xırdamolekullu maddələrin kimyəvi təmizliyinin meyarlarını zülallara və eləcə də, digər irimolekullu maddələrə (nuklein turşuları, polisaxaridlər) tətbiq etmək olmaz. Belə hallarda molekulun tərkibinə daxil olan elementlərin nisbətini müəyyənləşdirməklə, heç bir nəticə əldə etmək olmur. Çünki makromolekulların tərkibində atomların sayı hədsiz dərəcədə çox olur və onların nisbi miqdarı molekulun strukturu haqqında heç bir məlumat vermir. Makromolekulların kristallaşma qabiliyyətinin zəif olması və əksər hallarda fiziki-kimyəvi xassələrinə görə oxşar olan makromolekulların qarışıq şəkildə kristallaşması bu üsulun da (kristallaşdırma üsulu) əhəmiyyətini azaldır.

Beləliklə, irimolekullu maddələrin (o cümlədən zülalların) təmizlik dərəcəsini tam dəqiqliklə müəyyənləşdirməyə imkan verən spesifik üsul yoxdur. Bu məqsədlə məhlulda olan qarışıqları aşkara çıxarmağa imkan verən müxtəlif üsulların kombinasiyasından istifadə edilir. Belə hesab edilir ki, əgər həyata keçirilməsi mümkün olan üsullardan heç biri zülalın homogen olmadığını göstərmirsə, onu tam təmizlənmiş hesab etmək olar. Tədqiq edilən zülalda olan qarışıqları müşahidə etmək üçün çoxpilləli analiz üsullarından istifadə edilir.

Tədqiq edilən zülalın homogenliyini molekul kütləsinin göstəricilərinə görə müəyyənləşdirmək üçün ultrasentrifugaləşdirma və ya gel-filtrasiya üsullarından istifadə etmək olar. Lakin bu üsullar dəqiqlik dərəcəsinə görə zülal mo-

lekullarının ion yükünün səviyyəsinə əsaslanan üsullardan (məsələn, elektroforez üsulu) geri qalır. Buna görə zülal və polipeptidlərin homogenliyini müəyyənləşdirmək üçün zona elektroforezi üsulundan daha geniş istifadə edilir. Bu məqsədlə tədqiq edilən zülalın elektroforetik mütəhərriqliyini müxtəlif pH-lı bufer sistemlərindən istifadə etməklə, bir neçə dəfə müəyyənləşdirirlər.

Zülal məhlulunda digər qarışıqların olduğunu iondəyişdirici xromatoqrafiya üsulu ilə də müəyyənləşdirmək mümkündür. Qeyri-polyar mühitdə aparılan bölüşdürücü xromatoqrafiya üsulu isə zülalların əksəriyyətinin tədqiqi üçün tətbiq edilmir. Çünki zülalların çox hissəsi qeyri-polyar həlledicilərdə pis həll olur və asanlıqla denaturasiyaya uğrayır. Molekul zəncirinə 40-50 amin-turşu qalığı daxil olan polipeptidlərin kimyəvi cəhətdən təmiz olduğunu kağız üzərində aparılan xromatoqrafiya vasitəsilə də müəyyənləşdirmək mümkündür.

Qeyd etmək lazımdır ki, çox vaxt bir üsulla tədqiq edildikdə homogen kimi nəzərə çarpan zülal qarışığının qeyri-homogen olduğunu başqa üsullar vasitəsilə müəyyənləşdirmək olur. Məsələn, ultrasentrifugaləşdirmə üsulu ilə tədqiqat aparıldıqda eyni ölçüyə və formaya malik olan zülallar bir-birindən ayrılmadığı halda, onların elektroforez üsulu ilə analizi zamanı molekullarının ion yüklərinin miqdarına görə bir-birindən fərqlənən müxtəlif zülal növlərindən ibarət olduğunu sübut etmək olar. Buna görə, hər bir maddənin kimyəvi cəhətdən təmiz olduğunu sübut etmək üçün onun molekullarının müxtəlif xassələrini (yəni ölçülərini, ion yükünü, həllolma qabiliyyətini və s.) xarakterizə edən analiz üsullarından kompleks şəkildə istifadə etmək lazımdır. Bunlarla birlikdə, zülalların homogenliyini aydınlaşdırmaq üçün onların bioloji xassələri də tədqiq edilməlidir. Zülalların spesifik funksional xassələrinə (fermentativ və hormonal aktivlik, antigen xassəsi və s.) əsaslanan tədqiqat üsulları çox vaxt dəqiqliyinə görə adi fiziki-kimyəvi üsullardan daha böyük əhəmiyyətə malik olur. Əgər zülal preparatı müxtəlif kimyəvi reaksiyalara katalitik təsir göstərsə, bu təsir yalnız bir növ zülalın funksiyası ilə əlaqədar olduqda, əlavə təmizləmə metodlarının təsiri nəticəsində dəyişmir. Məsələn, tutaq ki, fermentativ aktivliyə malik olan zülal preparatı müəyyən bir maddəni onunla oxşar olan digər maddəyə nisbətən 10 dəfə artıq sürətlə dəyişikliyə uğradır. Ferment preparatını təkrarən təmizlədikdən sonra həmin maddələrə göstərilən təsirin sürətləri arasındakı nisbətənin kəskin dərəcədə dəyişməsi müşahidə edilən katalitik prosesin müxtəlif növ zülalların fermentativ funksiyaları ilə əlaqədar olduğunu göstərir.

Məlumdur ki, zülalların əksəriyyəti antigen xassələrinə malikdir. Yəni onlar parenteral yolla heyvan orqanizminə yeridildikdə həmin heyvanın orqanizmində spesifik anticisimciklərin sintezini stimulyasiya edirlər. Yeganə zülal növünün inyeksiyası zamanı heyvan orqanizmində yalnız bir növ anticisim əmələ gəlir (monovalent sensibilizasiya), inyeksiya edilən maddə müxtəlif zülalların qarışığından ibarət olduqda isə müəyyən müddətdən sonra heyvan orqanizmində bir neçə anticisim növü müşahidə edilir (polivalent sensibilizasiya). Məhlulda antigen xassəli zülalın olduğunu həmin antigenlə sensibilizasiya edilmiş heyvan qanının serumu vasitəsilə aparılan immunoloji sınaqlarla da aşkara çıxarmaq olar (aqlütinasiya və presipitasiya reaksiyaları).

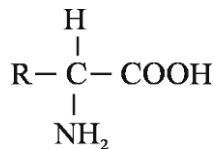
4.5. AMİNTURŞULAR

Aminturşular – molekulunun karbohidrat zəncirində karbon atomları ilə rəbitədə olan hidrogenlərdən ən azı biri amin qrupu ilə əvəz edilmiş üzvi turşu törəmələridir. Onların ən sadə strukturlu törəməsi olan qlisini 1820-ci ildə A.Brakonno jelatinin turş mühidə aparılan hidrolizinin məhsulları arasında aşkar etmişdir. 1871-ci ildə isə N.N.Lyubavin həzm sistemi fermentlərinin hidrolitik təsirinə məruz qalan zülalların müxtəlif aminturşulara çevrildiyini müəyyənləşdirmişdir; beləliklə, aydın olmuşdur ki, zülallar – struktur monomerləri aminturşulardan ibarət olan irimolekullu üzvi birləşmələrdir. Zülalların tərkibinə daxil olan bütün aminturşuların strukturu isə XX əsrin birinci yarısında aydınlaşdırılmışdır.

İndiyə qədər müxtəlif canlıların orqanizmində 300-ə qədər aminturşu növü aşkar edilmişdir. İnsan orqanizmində 60-a qədər aminturşu növünə və ya onların törəmələrinə təsadüf edilir. Lakin bu aminturşuların yalnız 20-yə qədəri zülalların strukturuna daxil olur. Zülalların tərkibinə daxil olan aminturşulara “zülaltörədici (proteinogen) aminturşular” deyilir; heç bir zülal molekulunun strukturuna daxil olmayan aminturşulara isə “zülal törətməyən (qeyri-proteinogen) aminturşular” adı verilmişdir.

Yuxarıda göstəriləyi kimi, zülalların strukturuna daxil olan əsas aminturşuların 20 növü vardır. Lakin bunlardan başqa, bəzi zülalların tərkibində nadir hallarda təsadüf edilən aminturşular da məlumdur. Zülalların tərkibində nisbətən az yayılmış bəzi aminturşular (hidroksiprolin, hidroksilizin, aminlimon turşusu və s.) əslində əsas aminturşuların törəmələridir. Tərkibinə nişanlanmış izotoplar daxil olan nadir aminturşularla aparılan təcrübələrdən aydın olmuşdur ki, onlar orqanizmdə sintez edilən zülalların tərkibinə daxil ola bilmir. Lakin toxuma zülallarının hidrolizatları arasında belə aminturşular aşkar edilir. Bu təcrübələrdən aydın olmuşdur ki, nadir aminturşular orqanizmdə sintez edilmiş zülalların tərkibində olan əsas aminturşu qalıqlarının biosintezdən sonrakı dəyişiklikləri nəticəsində əmələ gəlir.

Təbiətdə rast gəlinən zülaltörədici aminturşuların hamısı α -strukturuna malikdir. Yəni onların molekullarında amin qrupları karboksil qrupunun yanında yerləşən karbon atomu ilə birləşmiş vəziyyətdə olur. Beləliklə, α -aminturşuların molekul quruluşu aşağıdakı ümumi struktura müvafiq gəlir:



Aminturşuların ən sadə nümayəndəsi olan qlisinin molekulundakı R radikalı hidrogen atomundan ibarətdir. Digər aminturşuların strukturuna daxil olan R radikalı isə müxtəlif karbohidrogenlərin törəmələridir. Beləliklə, α -aminturşular bir-birindən yan zəncirlərinin strukturuna görə fərqlənir və müxtəlif α -aminturşuların fiziki-kimyəvi xassələrində olan fərqləri də bu radikalın müəyyənliyinə bağlıdır.

Aminturşuların təsnifatı bir neçə prinsipə əsaslanır:

I. Molekulda olan yan zəncirin (R radikalı) xarakterinə görə atsiklik (alifatik) və tsiklik aminturşular ayırd edilir. Tsiklik aminturşuların da homotsiklik və heterotsiklik növləri vardır.

II. Yan zəncirinin ion yükünün olub-olmamasından, onların polyarlığından asılı olaraq, aminturşuların aşağıdakı növləri ayırd edilir: 1) qeyri-polyar (hidrofob) yan zəncirli aminturşular (qlisin, alanin, valin, leysin, izoleysin, prolin, fenilalanin, triptofan); 2) polyar, lakin ion yükü olmayan yan zəncirinə malik aminturşular (serin, treonin, sistein, metionin, asparagin, qlutamin); 3) mənfi yüklü polyar zəncirə malik aminturşular (asparagin və qlutamin turşuları); 4) müsbət yüklü polyar yan zəncirə malik aminturşular (lizin, arginin, histidin).

Aminturşuların yan zəncirlərinin elektrokimyəvi xüsusiyyətlərinə əsaslanan digər təsnifatda onların turş, qələvi və neytral olmaqla, 3 qrupu ayırd edilir. Yan zəncirində əlavə karboksil qrupu olan aminturşular bu təsnifat üzrə *turş xassəli aminturşular* qrupuna daxildir; asparagin, qlutamin və amin-limon turşuları bu qrupun əsas nümayəndələridir; eyni zamanda tirozinin hidroksil və sisteinin sulfhidril qrupları da bu aminturşulara zəif turşu xassəsi verir.

Lizinin əlavə amin qrupu, arginin molekulunda olan quanidin qrupu və histidin imidazol qrupu bu aminturşulara qələvi xassəsi verir. Buna görə adı çəkilən aminturşular *qələvi aminturşular* qrupuna daxil edilmişdir. *Neytral aminturşular* qrupuna isə yan zəncirləri qələvi, və ya turş xassəyə malik olmayan aminturşular daxildir. Molekul strukturundakı yan zəncirin polyarlığı baxımından turş və qələvi xassəli aminturşular polyar, neytral aminturşular isə qeyri-polyar qrupa daxildir.

III. Molekul zəncirində olan amin və karboksil qruplarının sayına əsaslanan təsnifatda aminturşuların 4 qrupu ayırd edilir: 1) *monoaminmonokarbon turşuları* (qlisin, alanin, valin, leysin, izoleysin, serin, treonin, sistein, metionin, triptofan, tirozin, fenilalin); 2) *diaminmonokarbon turşuları* (lizin, arginin, sitrullin); 3) *monoamindikarbon turşuları* (asparagin və qlutamin turşuları); 4) *diamindikarbon turşuları* (sistin).

4.7.-ci cədvəldə aminturşular amin və karboksil qruplarının sayına görə olan təsnifata müvafiq sıra üzrə təsvir edilmişdir.

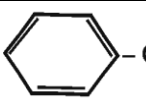
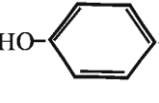
IV. Bioloji (fizioloji) roluna əsaslanan təsnifatına görə aminturşuların 3 qrupu ayırd edilir: 1) əvəzedilən; 2) qismən əvəzedilən; 3) əvəz edilməyən aminturşular.

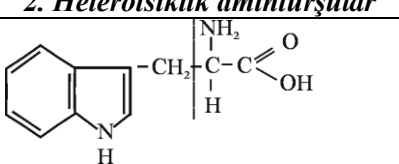
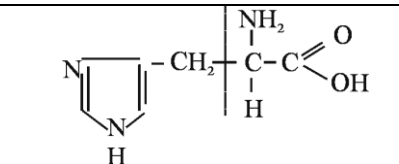
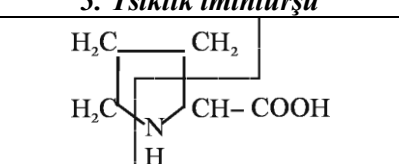
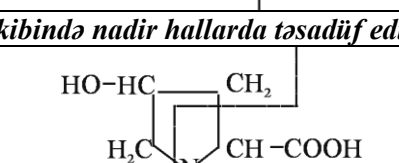
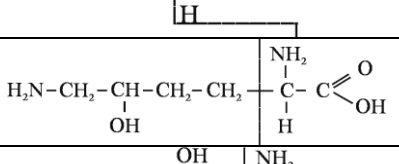
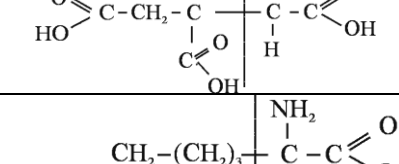
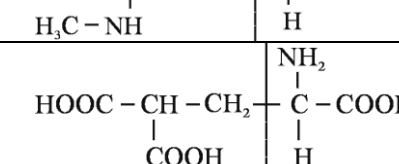
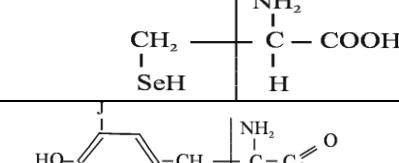
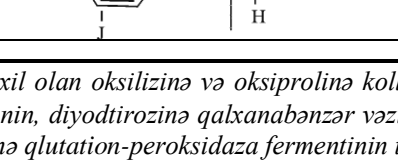

Əvəzedilən aminturşular insan və heyvanların toxumalarında digər aminturşulardan və başqa üzvi birləşmələrdən sintez edilə bilər. Buna görə, orqanizm həmin aminturşuları qida vasitəsilə almasa da, onlara qarşı ehtiyacını ödəyir. Əvəzedilən aminturşular qrupuna alanin, asparagin, asparagin turşusu, qlisin, qlutamin, qlutamin turşusu, prolin, serin və sistein daxildir.

Qismən əvəzedilən aminturşular insan orqanizmində sintez edilir. Lakin onların sintezi orqanizmin tələbatını tam ödəyə bilmir. Buna görə, belə aminturşular qidanın tərkibində də orqanizmə daxil olmalıdır. İnsan orqanizmi üçün qismən əvəzedilən aminturşular qrupuna arginin, histidin və tirozin aiddir.

Aminturşuların molekul strukturuna əsaslanan təsnifatı

Aminturşunun adı	Molekul strukturunu		Şərti işarəsi
	Yan zəncir	Amin və karboksil qrupu	
1	2	3	4
I. Atsiklik aminturşular			
1. Monoaminmonokarbon turşuları			
Qlisin (qlikokol), α-amin-sirkə turşusu		$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Qli
Alanin (α-amin-propion turşusu)		$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Ala
Valin (α-amin izovalerian turşusu)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Val
Leysin (α-amin-izokapron turşusu)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Ley
İzoleysin (α-amin-β-metil-β-etil-propion turşusu)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	İley
2. Yan zəncirində əlavə funksional qrup olan monoaminmonokarbon turşuları			
a) Hidroksiaminturşular			
Serin (α-amin-β-hidroksipropion turşusu)	HO - CH ₂	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Ser
Treonin (α-amin-β-hidroksiyağ turşusu)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Tre
b) Kükürlü aminturşular			
Sistein (α-amin-β-tiopropion turşusu)	HS - CH ₂	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Sis

1	2	3	4
Sistin (di- α -amin- β -tiopropion turşusu).		$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
Metionin (α -amin- γ -tiometilyağ turşusu)	$\text{H}_3\text{C-S-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Met
v) Karboksiaminturşular (monoamindikarbon turşuları).			
Asparagin turşusu (amin kəhrəba turşusu)		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{H} \end{array}$	Asp
Qlutamin turşusu (α -amin qlutar turşusu)		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{H} \end{array}$	Qlu
Asparagin (asparagin turşusunun amidi, γ -amid- α -amin kəhrəba turşusu)		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{H} \end{array}$	Asn
Qlutamin (qlutamin turşusunun amidi, δ -amid- α -aminqlutar turşusu)		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{H} \end{array}$	Qln
c) Diaminmonokarbon turşusu			
Lizin (α, ϵ -diamin-kapron turşusu)	$\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Liz
c) Guanidin qrupuna malik olan aminturşu			
Arginin (α -amin- δ -guanidin-valerian turşusu).	$\text{H}_2\text{N-C-NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$ \parallel NH	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Arg
II. Tsiklik aminturşular			
1. Aromatik aminturşular			
Fenilalanin (α -amin- β -fenilpropion turşusu).		$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Fen
Tirozin (α -amin- β -hidroksifenilpropion turşusu, parahidroksifenil-alanin)		$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Tir

1	2	3	3
2. Heterotsiklik amin turşular			
Triptofan (α -amin- β -indolilpropion turşusu)			Tri
Histidin (α -amin- β -imidazolil propion turşusu)			His
3. Tsiklik iminturşu			
Prolin (pirrolidin- α -karbon turşusu)			Pro
III. Zülalların tərkibində nadir hallarda təsadüf edilən amin turşular.			
Hidroksiprolin (γ -hidroksipirrolidin- α -karbon turşusu)			Hpr
Hidroksilizin (α , ϵ -diamin- δ -hidroksikapron turşusu)			
Aminlimon turşusu (α -amin- β -hidroksi- β -karboksi qlutar turşusu)			
ϵ -N-metillizin			
γ -karboksi-qlutamin turşusu			
Selen-sistein			
3.5. Diyodtirozin			

Q e y d: sonuncu qrupa daxil olan oksilizinə və oksiprolinə kollagen zülalının; γ -karboksiqlutamin turşusuna protrombinin, diyodtirozinə qalxanabənzər vəzi zülallarının, ϵ -N-metillizinə miozin zülalının, selen-sisteinə qlutation-peroksidaza fermentinin tərkibində rast gəlinir.

Əvəzedilməyən aminturşular orqanizmdə başqa üzvi maddələrdən sintez edilmir. Buna görə, belə aminturşular orqanizmə yalnız xarici mühitdən – qida vasitəsilə – daxil olmalıdır. Proteinogen aminturşulardan valin, leysin, izoleysin, treonin, lizin, metionin, fenilalanin və triptofan insan üçün əvəzedilməyən aminturşular hesab edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda adları sadalanan 8 aminturşu bütün heyvan növləri üçün əvəzedilməyən qida amilləridir. Lakin başqa canlılar üçün əvəzedilməyən aminturşuların siyahısı nisbətən fərqli ola bilər. Məsələn, siçan və siçovul orqanizmi üçün əvəzedilməyən aminturşuların sayı 9-dur (bu heyvanların orqanizmində yuxarıda siyahısı verilən 8 aminturşudan başqa, histidin də sintez edilmir). İnsan orqanizmində qismən əvəz edilə bilən histidin, arginin və tirozin aminturşuları toyuq orqanizmində qətiyyən sintez edilmir. Beləliklə, toyuq orqanizmi üçün əvəzedilməyən aminturşuların sayı 11-dir.

4.5.1. PROTEİNOGEN AMİNTURŞULARIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

1. Monoaminmonokarbon turşuları (qlisin, alanin, valin, leysin, izoleysin). Bu turşuların molekullarında amin qruplarının sayı karboksil qruplarının sayına bərabərdir. Buna görə onların məhlulları neytral reaksiyalı olur və lakmus kağızının rəngini dəyişmir. Bu qrupun ən sadə nümayəndəsi qlikokol və ya qlisindir.

Q l i s i n – optik aktivliyə malik olmayan yeganə aminturşudur. Şirin dadlı maddə olan qlisin təbiətdə olduqca geniş yayılmışdır. Kollagen və elastirin zülallarının tərkibində qlisinin miqdarı xüsusilə çox olur. Qlisin müxtəlif canlıların toxumalarında purinlərin, hemoqlobinin tərkibinə daxil olan porfirin nüvəsinin, hemin fermentlərinin və xlorofilin sintezinə sərf edilir; bakteriyaların hüceyrə qışasının əmələ gəlməsində iştirak edir; sərbəst şəkildə qlisinə onurğa beynində və baş beyni kötüyünün müxtəlif nüvələrində rast gəlinir; qlisin sinir sisteminin adı çəkilən strukturlarında tormozlayıcı mediator funksiyasını yerinə yetirir.

L-A l a n i n ə bütün zülalların tərkibində rast gəlinir. Bu aminturşu orqanizmdə karbohidratların, yağların, karotinoidlərin (bitkilərdə) sintezinə sərf edilir.

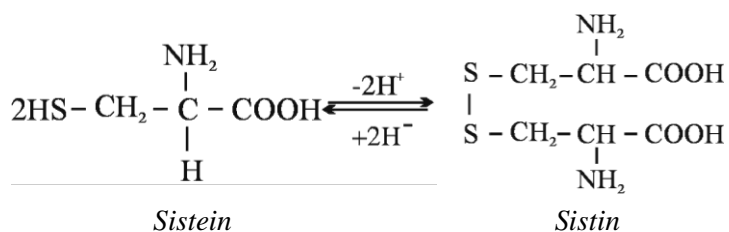
L-V a l i n zülalların əksəriyyətinin tərkibinə daxil olur, lakin onun miqdarı nisbətən azdır. Bu aminturşu müxtəlif canlıların toxumalarında alkaloidlərin, tsiklopeptidlərin, pantoten turşusunun, penisillin antibiotikinin [Penicillinin chrysogenum (notatum) tipli mikroorqanizmlərdə] sintezinə sərf edilir.

L-L e y s i n və l-i z o l e y s i n zülalların tərkibində az miqdarda olur, insan orqanizmində sintez edilmir. Hidrofob xassəyə malik olan leysin və izoleysin zülalların molekul strukturunun sabit şəkildə saxlanılmasına yardım göstərir.

2. Hidroksiaminturşular (serin, treonin). Bunlardan serin insan orqanizmində sintez edilə bilər; treonin isə əvəz edilməyən aminturşular qrupuna aiddir. L-Serin bütün canlılarda maddələr mübadiləsinin normal gedişini təmin edən amillərdən biridir. Bu aminturşu fosfolipidlərin (serinfosfatidlər), bradikininin və kallidin adlanan polipeptidlərin tərkibinə daxildir. Bundan əlavə, serin

proteolitik fermentlərin aktiv mərkəzlərinin strukturunda iştirak edir, sfinqolipidlərin tərkibinə daxil olan sfinqozin adlı aminspirtin sintezinə sərf edilir. Serin bəzi zülalların (südü tərkibində olan kazein zülalı, yumurta sarısının tərkibində olan vitellin və s.) tərkibində fosfat efiri şəklində (serin-fosfat) olur. L-Treonin zülalların tərkibinə daxil olmaqdan əlavə, bəzi bakteriyalarda B₁₂ vitamininin və aktinomisin D adlanan antibiotikin sintezinə sərf edilir.

3. Kükürlü aminturşular (sistein, sistin, metionin). L-sistein maddələr mübadiləsində kükürd mənbəyi kimi mühüm rola malikdir; bundan əlavə, sisteinin tərkibində olan sulfhidril (-SH) qrupu reduksiyaedici funksiyası daşıyır. Bu aminturşu böyük bioloji əhəmiyyətə malik olan qlutation adlı tripeptidin və bir sıra fermentlərin aktiv mərkəzlərinin tərkibinə daxil olur; koenzim A-nın tərkibinə sisteinin karboksilsizləşmiş törəməsi (merkaptotetilamin) daxildir. Bir sıra zülalların və peptidlərin (insulin, AKTH və s.) molekul strukturuna daxil olan sistein qalıqları bir-birilə disulfid körpüçükləri əmələ gətirməklə, molekul zəncirinin bir hissəsini digərilə birləşdirir və bu yolla zülalların üçüncülü strukturunun formalaşmasında iştirak edirlər. Oksidləşmə reaksiyaları nəticəsində 2 sistein molekulu sulfhidril qrupu hidrogenlərini itirib, sistinə çevrilir; bu reaksiya asanlıqla geriyyə dönə bilər:



Bu reaksiya canlı orqanizmdə baş verən bir sıra oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarının əsasını təşkil edir; hüceyrə membranlarının oksigenin zərərli təsirindən mühafizə edilməsində yuxarıdakı reaksiyanın mühüm rolu vardır.

Zülalların tərkibində sistinin miqdarı sisteinə nisbətən çox olur. Bu aminturşu tük, buynuz və dırnaq toxumalarında olan zülallar arasında xüsusilə geniş yayılmışdır.

L-Metionin toxumalarda bir sıra üzvi maddələrin (xolin, adrenalin, digər kükürlü aminturşular, kreatin, sterinlər və b.) sintezi zamanı metil qrupunun donoru kimi iştirak edir; bitki və mikroorqanizmlərdə tiaminin (B₁ vitamini) sintezi üçün istifadə edilən kükürd atomları da əsasən metionindən alınır. Metionin süd zülalının (kazein) tərkibində xüsusilə çox olur. Ondan hazırlanan dərman preparatından qaraciyərin piy infiltrasiyasının və aterosklerozun müalicəsində lipotrop amil kimi istifadə edilir.

4. Diaminmonokarbon turşuları (lizin) və guanidin qrupuna malik olan aminturşu (arginin). L-L i z i n zülalların əksəriyyətində geniş yayılmışdır; protamin və histonların tərkibində isə xüsusilə çox olur. Bu aminturşu bitkilərdə bir sıra alkaloidlərin (nikotin, anabazin və s.) sintezi zamanı ilkin material kimi istifadə edilir; bəzi fermentlərin (məsələn, fəallığı biotindən asılı olan fermentlərin) zülali hissəsi kofermentlə lizinin ε-amin qrupu vasitəsilə birləşir.

L-A r g i n i n bütün zülalların tərkibində olur. Lakin onun miqdarı qələvi xassəli zülalların – protamin və histonların – tərkibində daha çoxdur. Arginin karbamidin (sidik cövhəri) və kreatinin sintezində iştirak etməklə, zülal mübadiləsində mühüm rol oynayır. Argininin fosforlu törəməsi (fosfoarginin) onurğasız heyvanların əzələlərində yüksəktəkamüllü heyvanlarda fosfokreatinin yerinə yetirdiyi funksiyaları həyata keçirir.

5. Monoamindikarbon turşuları (asparagin turşusu, qlutamin turşusu və onların amidləri). L-A s p a r a g i n t u r ş u s u suda çətinliklə həll olur; məhlulu turş reaksiyaya malikdir. Bu aminturşunun həm heyvan, həm də bitki toxumalarında gedən metabolizm proseslərində olduqca mühüm rolu vardır. Asparagin turşusu yenidən aminləşmə reaksiyalarında, karbamid, kreatin və tsiklopeptidlərin sintezində iştirak edir. Onun karboksilsizləşmə (dekarboksilləşmə) reaksiyası nəticəsində əmələ gələn α - və β -alanin orqanizmdə karnozinin, anserinin və koenzim A-nın sintezinə sərf edilir. Asparagin turşusu orqanizmdə oksidləşmə ilə aminsizləşmə reaksiyasına uğrayıb, oksalat-sirkə turşusuna, bu turşu isə asetil-koenzim A- ilə kondensasiya reaksiyasına girərək, limon turşusuna çevrilə bilər; bu prosesin orqanizmdə karbohidrat mübadiləsinin pozulması ilə əlaqədar olan proseslər (şəkərli diabet, karbohidrat aclığı və s.) zamanı yağların β -oksidləşmə yolu ilə parçalanması nəticəsində əmələ gələn asetilkoenzim A-nın limon turşusu dövrəsinə daxil olmasında böyük əhəmiyyəti vardır. Asparagin turşusunun amidi – a s p a r a g i n insulin, hemoqlobin, mioqlobin və b. zülalların tərkibinə daxildir. Asparaginə paxlalı bitkilərin toxumlarının tərkibində də rast gəlinir. İnsan və heyvan orqanizmində asparagin də asparagin turşusu kimi, yenidən aminləşmə reaksiyalarında iştirak edə bilər; bundan əlavə, bu aminturşuların hər ikisindən purin və pirimidin əsaslarının, nikotin turşusunun sintezi zamanı istifadə edilir; onlar bitkilərdə azotun ehtiyat mənbəyi və nəqlənmə forması funksiyasını yerinə yetirirlər.

L-Q l u t a m i n t u r ş u s u n u n suda məhlulları turş reaksiyalıdır; Zülalların tərkibində çoxlu miqdarda qlutamin turşusu olur. Bu aminturşu fol turşusunun (“Vitaminlər” bəhsinə baxın) və qlutationun tərkibinə daxildir; transaminləşmə (yenidən aminləşmə), dezaminləşmə (aminsizləşmə) və vasitəsiz aminləşmə reaksiyalarında iştirak etməklə, zülal və aminturşu mübadiləsində mühüm funksiyaları yerinə yetirir. Qlutamin turşusunun dekarboksilləşmə reaksiyası nəticəsində əmələ gələn γ -aminyaq turşusunun mərkəzi sinir sisteminin funksiyalarında böyük rolu vardır; γ -aminyaq turşusu beyində tormozlayıcı mediator funksiyasına malikdir. Qlutamin turşusunun dekarboksilləşməsi nəticəsində əmələ gələn digər məhsul – δ -aminlevulin turşusu porfirinlərin sintezində istifadə edilən ilkin substratdır.

Q l u t a m i n t u r ş u s u n u n a m i d i – qlutamin – heyvan və bitki toxumalarında azotun nəqlənmə formasıdır; bundan əlavə, qlutamindən purin və pirimidin əsaslarının, həmçinin nikotin turşusunun sintezində istifadə edilir. Qlutamin turşusunun mononatrium duzu toyuq bulyonunun iyini və dadını verdiyinə görə, ondan qida əlavəsi kimi istifadə edilir.

6. Tsiklik aminturşular və iminturşular (fenilalanin, tirozin, triptofan, histidin, prolin). L - f e n i l a l a n i n bütün zülalların tərkibində olur. Məhlulda zülal olduğunu göstərən ksantoprotein reaksiyasını əsasən fenilalanin

qalıqları törədir. Antibiotiklərdən qramisidinin və tirosidinin tərkibinə D-fenilalanin daxildir. L-fenilalanindən fərqli olaraq, D-fenilalaninə canlı təbiətdə sərbəst şəkildə təsadüf edilmir.

L-T i r o z i n təbiətdə ən geniş yayılmış aminturşulardan biridir. Protaminlərin bəzi növləri müstəsna olmaqla, bütün zülalların tərkibində tirozin qalıqları olur. Tirozin heyvan və insan orqanizmində bəzi hormonların (tiroksin, triyodtironin, adrenalin, noradrenalin), bitkilərdə isə alkaloidlərin (morfin, kodein, papaverin) sintezi zamanı ilkin material kimi istifadə edilir. Dəridə və tüklərdə olan melanın pigmenti tirozinin oksidləşmə məhsuludur.

L-T r i p t o f a n, demək olar ki, bütün zülalların tərkibində olur. Lakin taxıl bitkilərinin dənələrində olan zülalların tərkibində bu aminturşunun miqdarı cüzi dərəcədədir. Toxumalarda triptofandan nikotin turşusunun sintezi üçün ilkin material kimi istifadə edilir. Zülalların turş mühitdə hidrolizi zamanı triptofan parçalanır.

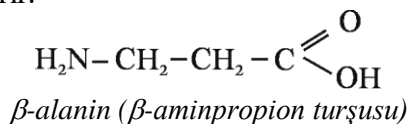
L-H i s t i d i n – qələvi xassəli aminturşular qrupuna daxildir. Hemoqlobinin zülal hissəsində (qlobin) histidin xüsusilə çox olur; bir sıra fermentlərin aktiv mərkəzlərində histidin aşkar edilmişdir.

L-P r o l i n – iminturşular qrupunun nümayəndəsidir. Kollagen, elastin, diş minası zülalları və taxıl bitkilərinin toxumlarının tərkibinə daxil olan zülallar prolinlə xüsusilə zəngindir. Prolin tsiklopeptid strukturlu bəzi antibiotiklərin (qramisidin, lixeniformin, aktinomisin D) tərkibinə daxildir. L-Prolinin oksidləşmiş törəməsi olan *L-hidroksiprolin* hüceyrə membranı zülallarının, jelatinin və kollagenin tərkibində daha geniş yayılmışdır.

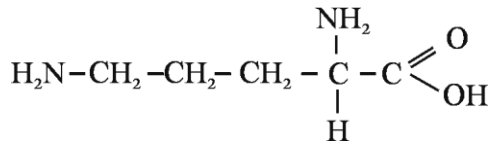
4.5.2. ZÜLAL TÖRƏTMƏYƏN (QEYRİ-PROTEİNOGEN) AMİNTURŞULAR

Canlı orqanizmlərdə aşkar edilmiş aminturşuların əksəriyyəti zülalların strukturuna daxil olmur. Onların növləri çox olsa da, orqanizmdəki miqdarı proteinogen (zülaltörədic) aminturşulara nisbətən xeyli azdır. Lakin bu aminturşuların bəzi növləri metabolizm proseslərində mühüm bioloji funksiyaları yerinə yetirir. Aşağıda zülalların strukturuna daxil olmayan aminturşuların ən mühüm növləri haqqında məlumat veririk.

β - a l a n i n – koenzim A-nın, pantoten turşusunun (B₃ vitamini), karnozin və anserinin tərkibinə daxil olur; insan orqanizmində β -alanin sərbəst şəkildə də aşkar edilmişdir; bu aminturşu mərkəzi sinir sisteminin fəaliyyətinə tormozlayıcı təsir göstərir.

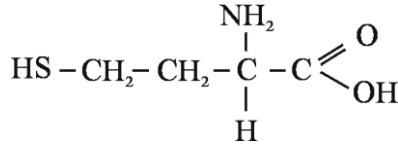


L - o r n i t i n – orqanizmdə argininin parçalanması nəticəsində əmələ gəlir (arginaza fermentinin təsiri altında); karbamidin sintezi (ammonyakın zərərsizləşdirilməsi) prosesində iştirak edir; bəzi alkaloidlərin və qramisidin adlanan antibiotikin tərkibinə daxildir.



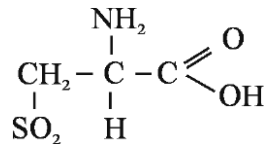
L-ornitin (α, δ-diamin-valerian turşusu)

H o m o s i s t e i n (2-amin-4-merkaptoyağ turşusu) sisteyinin biosintezinin aralıq məhsuludur.



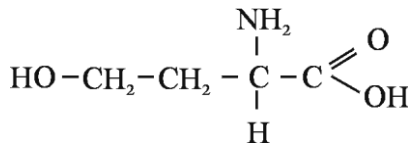
Homosistein

S i s t e i n i l s u l f i n t u r ş u s u (α-amin-β-sulfopropion turşusu)–sisteinin katabolizmində aralıq məhsuldur.



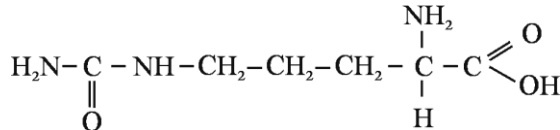
Sisteinilsulfin turşusu

H o m o s e r i n (α-amin-γ-hidroksiyağ turşusu) – treonin, asparagin turşusu və metioninin katabolizmində aralıq məhsullardan biridir.



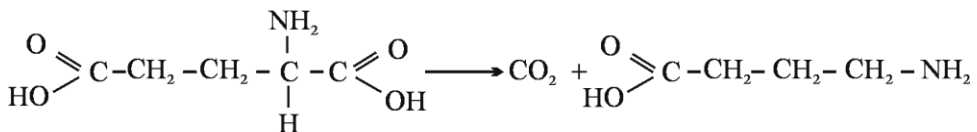
Homoserin

L - s i t r u l l i n – karbamid sintezinin aralıq məhsullarından biridir; sərbəst şəkildə qarpız şirəsinin tərkibində aşkar edilmişdir; aminturşunun adı da alınma mənbəyi ilə əlaqədardır (latınca: *Citrullis vulgaris* – qarpız).



L-sitrullin (α-amin-δ-karbamidvalerian turşusu)

γ-A m i n - y a ğ t u r ş u s u – insanın və bütün məməlilərin, quşların və bəzi suda-quruda yaşayan heyvanların beyin toxumasında, həmçinin bir sıra bitkilərdə olur. Beyində qlutamin turşusunun qlutamatdekarboksilaza fermentinin təsiri altında baş verən karboksilsizləşməsi nəticəsində əmələ gəlir.



Qlutamin turşusu

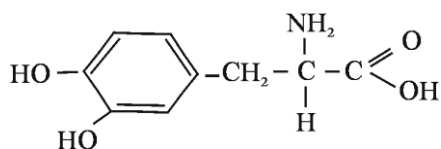
γ-amin-yağ turşusu

γ -Amin-yağ turşusu (QAYT) insan və heyvanlarda tormozlayıcı sinir impulslarının ötürülməsində iştirak edir, yəni neyromediator funksiyası daşıyır.

Mərkəzi sinir sistemində metabolizm prosesinin normal gedişi QAYT-ın miqdarından asılıdır. Bu neyromediatorun təsiri nəticəsində baş beyin toxumalarında enerjियaranma prosesləri sürətlənir, beyində oksigen və qlükozanın sərf edilməsi artır, tənəffüs fermentləri aktivləşir, beyin qan dövrəni yaxşılaşır və buradan metabolizmin toksik məhsullarının xaric olması stimulyasiya edilir.

Əczaçılıq sənayesində QAYT-ın dərman preparatları (“Aminalon”, “Qammalon”) istehsal edilir.

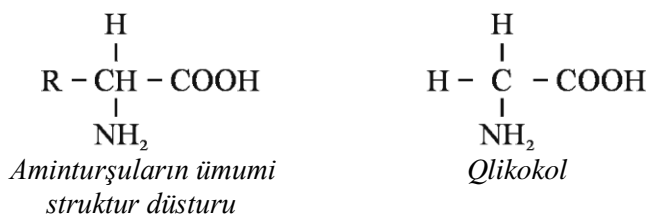
D i o k s i f e n i l a l a n i n – tirozin metabolizminin aralıq məhsullarından biridir; orqanizmdə katexolaminlərin (adrenalin, noradrenalin) və melanın pigmentinin sintezinə sərf edilir. Bundan əlavə, dioksifenilalanin mərkəzi sinir sisteminin fəaliyyətində müstəqil neyromediator kimi iştirak edir.



Dioksifenilalanin (3,4-dihidroksifenilalanin)

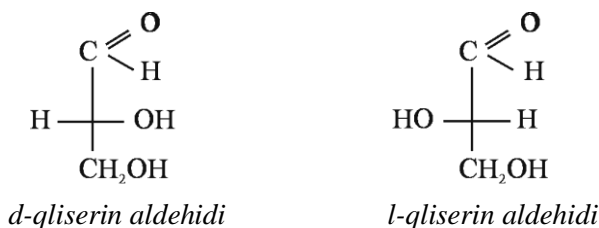
4.5.3. AMİNTURŞULARIN FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİ

1. Aminturşuların stereoizomerləri və optik-fəallığı. Təbiətdə rast gəlinən proteinogen aminturşuların hamısı α -strukturuna malikdir. Yəni onların molekullarında amin qrupları bilavasitə karboksil qrupu ilə rəbitədə olan karbon atomuna birləşmişdir. Buna görə, qlikokol müstəsna olmaqla, bütün aminturşuların molekullarında karboksil qrupundan sonra yerləşən karbon atomu müxtəlif radikallarla birləşmiş vəziyyətdə olur. Qlikokol molekulunda isə α -karbon atomu amin və karboksil qruplarından başqa, 2 ədəd hidrogen atomu ilə birləşir.

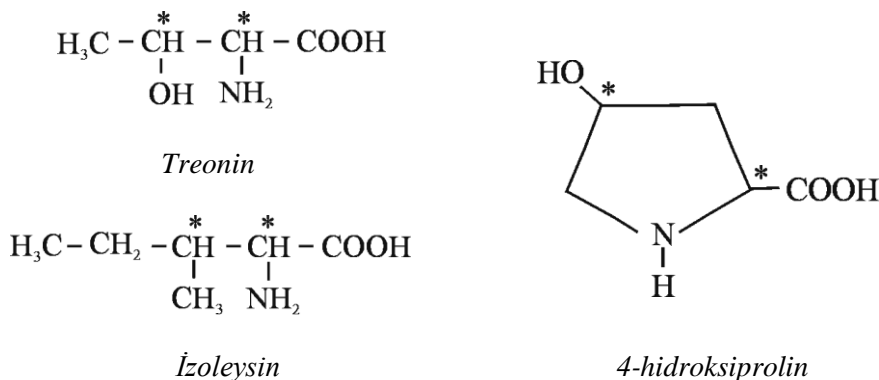


Beləliklə, qlikokoldan başqa, bütün proteinogen α -aminturşuların 2-ci karbon atomları asimmetrik izomerlər (stereoizomerlər) əmələ gətirə bilər. Asimmetrik atomlarla birləşən kimyəvi radikalların fəzadakı mövqeyindən asılı olaraq, stereoizomerlərin 2 qrupu – l- və d- izomerlər – ayırd edilir. L- və d-izomerlərin bir-birinə oxşarlığını eyni bir əşyanın güzgüdəki əksinə bənzətmək olar. Buna görə onlara güzgü izomerləri və ya enantiomerlər də deyilir. Aminturşuların l- və d-izomerlərini bir-birindən fərqləndirmək üçün 1906-cı ildə M.A.Rozanov qliserin aldehidinin molekul strukturundan “açar” kimi istifadə etməyi məsləhət görmüşdür. Proyeksiya təsvirdə –OH qrupu mole-

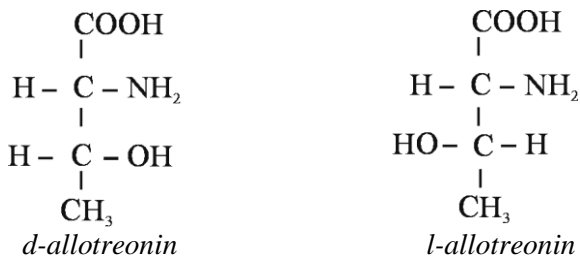
kulun boylama oxundan sağda yerləşən qliserin aldehidi d-izomer hesab edilir, –OH qrupu molekulun boylama oxundan solda yerləşdikdə isə onu l-izomer kimi işarə edirlər.



Aminturşunun d- və ya l- formaya aid olduğunu müəyyənləşdirmək üçün onun molekul konfigurasiyasını qliserin aldehidinin enantiomerləri ilə müqayisə edirlər. Beləliklə, amin qrupu molekulun boylama oxundan sağda yerləşən aminturşu d-izomer, amin qrupu solda yerləşənlər isə l-izomer hesab edilir. Bəzi aminturşuların (treonin, izoleyisin, sistin, hidroksprolin) molekullarında α-karbon atomundan əlavə, 2-ci asimmetrik karbon atomları da vardır. Buna görə, belə aminturşuların 4 növ stereoizomeri ola bilər. Molekulun karboksil qrupundan uzaqda olan hissəsində (yan zəncirində) yerləşən asimmetrik karbon atomları ilə birləşmiş radikalların fəza konfigurasiyası ilə əlaqədar olan izomerlərə, enantiomerlərdən fərqli olaraq, diastereoizomerlər və ya alloformalar deyilir; bunların da növləri d- və l- ilə işarə edilir. Aşağıda 2 izometriya mərkəzinə malik olan aminturşuların kimyəvi strukturları verilmişdir (asimmetrik mərkəzlər ulduz işarəsi ilə göstərilir).



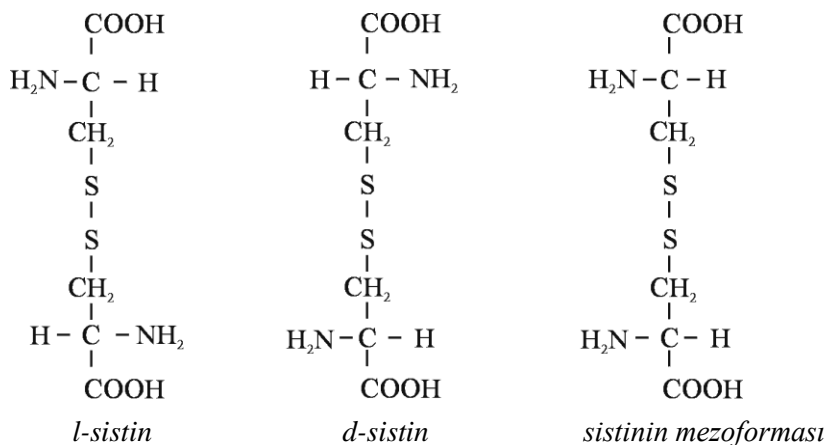
Allosterik izomerlərin struktur fərqlərini d- və l-allotreonin misalında təsvir edirik.



2 asimmetrik mərkəzə malik olan digər aminturşulardan fərqli olaraq, sistinin yalnız 3 növ stereoizomeri vardır. Bu, sistin molekulunun disulfid

körpüçükləri ilə birləşmiş iki eyni radikaldan ibarət olması və simmetriyanın disulfid rabitələri səviyyəsində yastı şəkildə yerləşməsi ilə əlaqədardır.

Zülalların tərkibində aminturşuların yalnız l-izomerlərinə rast gəlinir. Lakin bəzi spor əmələ gətirən bakteriyaların (məsələn, qarayara çöpləri) sporlarının xarici qişasına d-qlutamin turşusu və d-alanin daxildir; bir sıra antibiotiklərin (qramisidin, aktinomisin C, polimiksin, tirosidin, etamisin) tərkibində müxtəlif aminturşuların d-izomerləri olur.



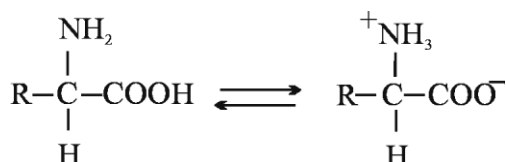
Məlumdur ki, üzvi maddələrin məhlulları onların stereoizomerliyindən asılı olaraq, polyarizasiya müstəvisini müxtəlif istiqamətdə və müxtəlif həddə fırlada bilər. Polyarizasiya müstəvisini saat əqrəbi istiqamətində fırladan enantiomerlər sağ izomerlər adlanır və müsbət (“+”) işarəsi ilə qeyd edilir, həmin müstəvini saat əqrəbinin əksinə fırladan izomerlər isə sol izomerlər adlanır və onların adının qarşısında mənfi (“-”) işarəsi yazılır. L-aminturşuların əksəriyyəti polyarizasiya müstəvisini sola, bəziləri isə sağa fırladır. Buna görə, onların adlarının qarşısına polyarizasiya müstəvisinə təsirindən asılı olaraq, ya “+”, ya da “-” işarəsi yazılır. Lakin müasir dövrdə aminturşuları təkə polyarizasiya müstəvisinə göstərdiyi təsire görə qruplaşdırmaq məqsədəuyğun deyil. Çünki bu əlamət müxtəlif şərait amillərindən (həllədicinin növü, mühitin reaksiyası, məhlulda olan duzların miqdarı və s.) asılı olaraq, dəyişə bilər. Məsələn, 20°C temperaturu suda həll edilmiş l-histidin xüsusi fırlatma əmsalı -39,3° olduğu halda, həmin turşu xlorid turşusu məhlulunda həll edildikdə eyni temperatur şəraitində polyarizasiya müstəvisini +11,1° meyl etdirir.

Aminturşuların həllolma qabiliyyəti. Aminturşuların hamısı suda həll olur. Lakin molekulyarın bir hissəsi hidrofob olan aminturşuların (leysin, tirozin) suda həllolma qabiliyyəti o qədər də yüksək deyil (cədvəl 4.8.). Monoaminmonokarbon turşularının karbohidrat radikalı böyüdükcə, suda həllolma qabiliyyəti azalır, spirtə həllolma qabiliyyəti isə artır.

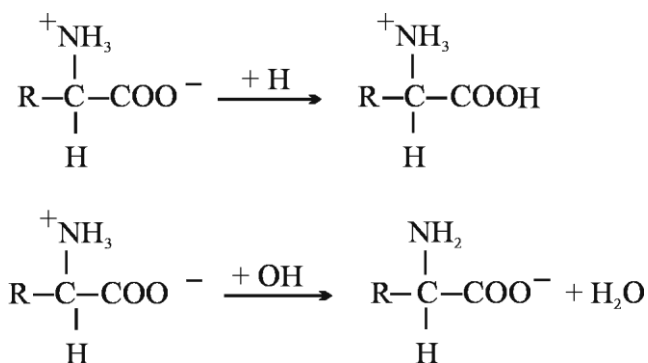
Aminturşuların dadı stereoizomerlərinin növündən asılıdır: l-sırası aminturşuları acı, d-sırası aminturşuları isə şirin olur. Lakin bu baxımdan l-qlisin müstəsnaq təşkil edir. Aminturşuların elmə məlum olan ilk nümayəndəsi – l-qlisin şirin dadlı maddədir. Qlisini ilk dəfə dəri, vətər və qığırdaq

toxumalarının uzun müddət qaynadıldığı məhlulda aşkar edən A.Brakonno (1820) məhz şirin dadına görə qlikokol adlandırmışdır (yunanca: glykos – şirin). D-izomerlərin bəziləri dadsız olur. Məsələn, d-qlutamin turşusu dadsız olduğu halda, l-qlutamin turşusu toyuq əti bulyonunun dadını verir.

Aminturşuların dissosiasiyətmə qabiliyyəti. Bütün α -aminturşular sulu məhlullarda ikiqütblü ionlar (svitterionlar) şəklində olur; onların karboksil qrupları dissosiasiyaya uğrayır, amin qrupları isə protonla birləşərək, müsbət yüklü hissəciyə çevrilir.



Molekulların ikiqütblü olması aminturşulara bir sıra fərqləndirici xassələr verir; bunun nəticəsində aminturşuların əksəriyyəti suda yaxşı, üzvi həlledicilərdə isə nisbətən zəif həll olur və onların məhlulları dielektrik xassəsi əldə edir. Mühitin pH-dan asılı olaraq, aminturşular anion, kation, elektroneytral və ya bu formaların müxtəlif nisbətli qarışığı şəklində ola bilər. Aminturşular turş məhlullarda müsbət ionlar (kationlar), qələvi məhlullarda isə mənfi ionlar (anionlar) şəklində olur. Beləliklə, aminturşular – amfoter elektrolitlərdir:



Buna görə aminturşular həm turşularla, həm də qələvilərlə reaksiyaya girib, müvafiq duzlara çevrilə bilərlər.

Beləliklə, mühitin pH-dan asılı olaraq, aminturşu molekulları ya müsbət və ya mənfi yüklənir, ya da onların yüklərinin cəmi sıfıra bərabər olur. Aminturşunun ümumi ion yükünün sıfıra bərabər olması *izoelektrik vəziyyəti* adlanır. Aminturşunun izoelektrik nöqtəsinin sıfıra bərabər olmasına səbəb olan məhlulun pH-ı *izoelektrik nöqtəsi* (pHi) adlanır. İzoelektrik nöqtəsinə müvafiq gələn mühitdə aminturşu elektrik sahəsinin təsiri altında nə anoda, nə də katoda doğru hərəkət edə bilər. İzoelektrik nöqtəsi – aminturşu molekulunda olan müxtəlif kimyəvi qruplarının turşu-qələvi xassələrini özündə əks etdirən mühüm əlamətlərdən biridir. Hər bir aminturşunun izoelektrik nöqtəsi sabit kəmiyyətdir (cədvəl 4.8).

Proteinogen aminturşuların suda həllolma qabiliyyəti və izoelektrik nöqtəsi (25°C temperaturda)

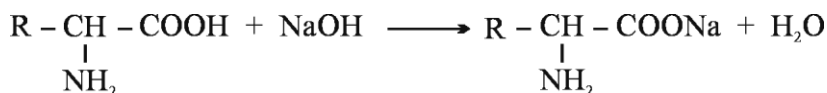
<i>Aminturşu</i>	<i>Həllolma qabiliyyəti (100 ml suda qramlarla)</i>	<i>İzoelektrik nöqtəsi (pH)</i>	<i>Aminturşu</i>	<i>Həllolma qabiliyyəti (100 ml suda qramlarla)</i>	<i>İzoelektrik nöqtəsi</i>
Qlisin	24,99	5,97	Asparagin	3,11	5,41
Alanin	16,54	6,00	Qlutamin turşusu	0,84	3,22
Valin	8,85	5,96	Qlutamin	3,60	5,65
Leysin	2,19	5,98	Metionin	3,35	5,07
İzoleysin	4,12	6,02	Fenilalanin	2,96	5,74
Serin	5,02	5,68	Tirozin	0,045	5,48
Treonin	20,50	6,16	Prolin	162,30	5,66
Lizin	çox yaxşı	9,74	Oksiprolin	36,11	6,30
Arginin	çox yaxşı	10,76	Triptofan	1,14	5,83
Asparagin turşusu	0,50	2,77	Histidin	1,29	5,89

Hidrofob aminturşuların izoelektrik nöqtəsi pH-ın neytral qiymətlərinə yaxın olur, turş xassəli aminturşuların (diaminmonokarbon turşuları) izoelektrik nöqtəsi isə pH-ın aşağı qiymətlərinə müvafiq gəlir. Məsələn, fenilalanin üçün bu göstərici 5,74-ə, qlisin üçün 5,97-yə, prolin üçün 5,74-yə, asparagin turşusu üçün 2,8-ə, qlutamin turşusu üçün 3,2-yə bərabərdir. Sistin və sisteinin izoelektrik nöqtəsi 5,0-dir. Bu, kükürlü aminturşuların zəif turş xassəli olması ilə əlaqədardır. Qələvi xassəli aminturşuların (arginin, lizin, histidin) izoelektrik nöqtəsi neytral mühitin pH-dan xeyli yüksəkdir.

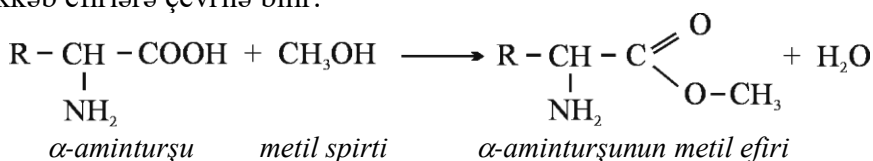
İnsan və heyvan orqanizminin daxili mühiti (hüceyrədaxili və hüceyrə-dənkənar mayelər) neytral səviyyəyə yaxındır. Bu şəraitdə orqanizmin daxili mühitində qələvi xassəli aminturşuların ion yüklərinin cəmi müsbət, turş xassəli aminturşuların eyni göstəricisi mənfi olur, digər aminturşular isə orqanizmin mayələrində ikiqütblü hissəciklər şəklində dövr edir. Turş və qələvi xassəli aminturşular digər aminturşulara nisbətən çox hidratlaşmış vəziyyətdə olur.

4.5.4. AMINTURŞULARIN ÜMUMİ KİMYƏVİ XASSƏLƏRİ

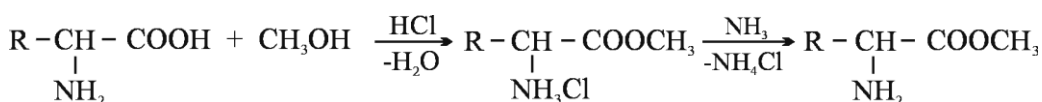
Aminturşular amfoter birləşmələr olduqlarına görə, həm turşulara, həm də əsaslara xas olan kimyəvi reaksiyalara girə bilirlər. Karboksil qrupuna malik olan bütün üzvi birləşmələr kimi, aminturşular da əsaslarla reaksiyaya girib, duz əmələ gətirir:



Üzvi turşuların digər növləri kimi, aminturşular spirtlərlə reaksiyaya girib, mürəkkəb efirlərə çevrilə bilər:

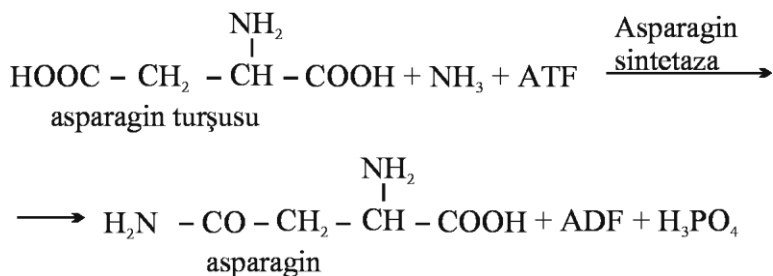


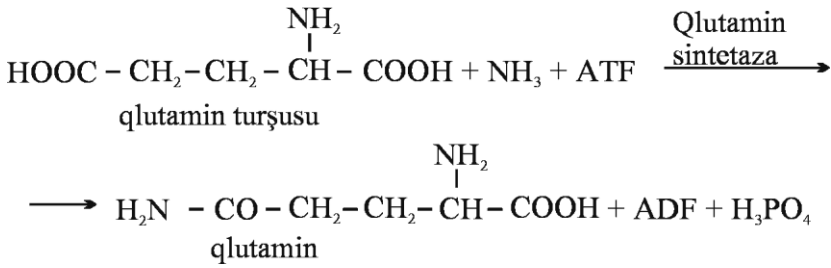
Aminturşuların efirləşmə reaksiyası turş mühitdə baş verir. Bundan ötrü katalizator kimi, qaz halında olan hidrogen-xloriddən istifadə edilir. Bu zaman hidrogen-xloridlə aminturşunun amin qrupu arasında reaksiya gedir; nəticədə, ilk mərhələdə alınan efir hidroxlorid birləşməsi şəklində olur; sərbəst efir əldə etmək üçün bu birləşməyə qaz halında olan ammoniyak vasitəsilə təsir göstərilir:



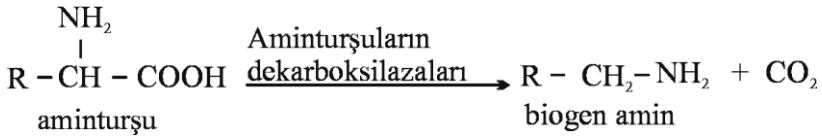
α -Aminturşuların metil efirləri üzvi həlledicilərdə yaxşı həll olur və asanlıqla buxarlanır. Aminturşuları ayırmaq üçün ilk dəfə E.Fişerin (1901) işləyib hazırladığı kondensasiya üsulu bu birləşmələrin metil efirinin uçuculuq xassəsinə əsaslanır. Məsələn, qlisin aminturşusu kifayət qədər yüksək temperaturda (292°C) əriyən bərk maddədir; qlisinin metil efiri isə maye halında olub, 130°C temperaturda qaynayır. Bu xassəindən istifadə etməklə, qlisini zülal hidrolizatından ayırmaq mümkündür. Hazırda zülal hidrolizatının aminturşu tərkibini müəyyənəşdirmək üçün α -aminturşuların efir törəmələrinin qazlı-mayeli xromatoqrafiyası üsulundan geniş istifadə edilir.

α -Aminturşuların karboksil qruplarının amidləşmə və dekarboksilləşmə reaksiyalarının biokimyəvi baxımdan böyük əhəmiyyəti vardır. Çünki bu reaksiyalar canlı orqanizmlərdə də baş verir. Canlı toxumalarında asparagin və qlutamin turşularının amidləşmə reaksiyaları müvafiq fermentlərin təsiri altında ATF-dən alınan enerji hesabına həyata keçir:



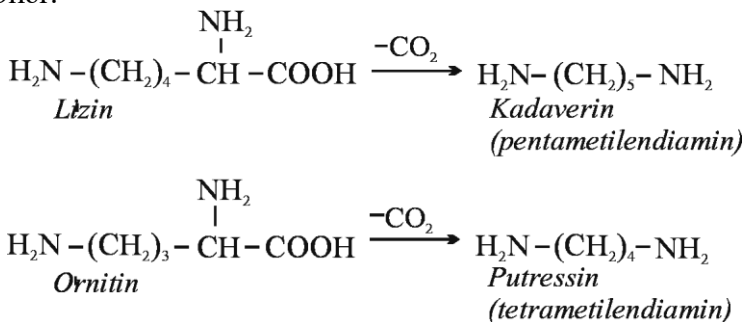


Aminturşuların karboksil qrupunu itirməsi (dekarboksilləşmə reaksiyası) nəticəsində əmələ gələn məhsullar **biogen aminlər** adlanır:



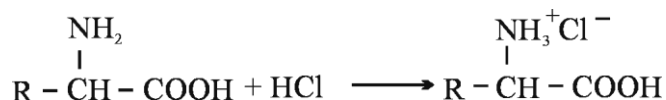
Biogen aminlərin əksəriyyəti yüksək bioloji aktivliyə malikdir. Məsələn, histidin dekarboksilləşməsi nəticəsində əmələ gələn **histamin** damarların tonusunu azaldır (damargenişləndirici təsir göstərir) və damar divarının keçiriciliyini artırır. Adətən histamin iltihabi proses olan sahələrdə daha çox əmələ gəlir; iltihab ocağında damarları genişləndirmək və damar divarının keçiriciliyini artırmaqla, buraya leykositlərin emiqrasiyasını (formalı elementlərin qan damarlarından hüceyrəarası sahəyə gəlməsi və oradakı hərəkəti) sürətləndirir. Histamin mədə şirəsinin tərkibinə sekresiya edilən xlorid turşusunun miqdarını artırır, allergik reaksiyaların və ağrı sindromunun əmələ gəlməsində iştirak edir. Arı zəhərinin törətdiyi ağrı və iltihabi proses onun tərkibində olan histaminin təsiri ilə əlaqədardır. Bir sıra başqa zəhərli canlıların zəhərlərinin də tərkibində histamin olur; çovdar mahmızının (taxılda xəstəlik törədən göbələkcik növü) tərkibində histaminin miqdarı xüsusilə çoxdur.

Lizin və ornitin dekarboksilləşməsi nəticəsində əmələ gələn biogen aminlər – kadaverin və putressin – tibbi biokimya baxımından müəyyən maraq doğurur. Kadaverin və putressin meyit zülallarının çürüməsi zamanı əmələ gələn və çürümüş ətə xarakterik iy verən maddələrdir. Onların adları da buradan götürülmüşdür (latınca: *cadaver*–meyit, *putresko*–çürümə); uzun müddət saxlanmış ətə toplanan karaverin və putressin insanın zəhərlənməsinə səbəb ola bilər.

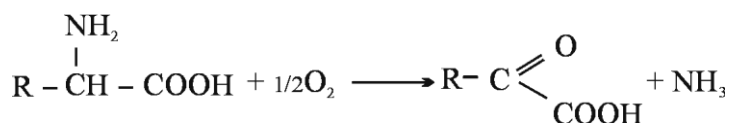


İnsanın bağırsaqlarında mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyəti nəticəsində müəyyən qədər kadaverin və putressin (həmçinin digər aminlər) əmələ gəlir. Normal halda bu məhsullar bağırsaqların selikli qişa hüceyrələrində və qaraciyərdə asanlıqla zərərsizləşdirilir (bu birləşmələrin zərərsizləşdirilməsi oksidləşməklə dezaminləşmə, asetilləşmə və b. reaksiyalarla əlaqədardır). Həzm sisteminin bəzi xəstəlikləri zamanı bağırsaqlarda aminlərin əmələ gəlməsi prosesi olduqca sürətlənir. Bu zaman həzm sistemindən qana sorulan aminlərin zərərsizləşdirilməmiş hissəsi qan dövrünü vasitəsilə orqanizmə yayılıb, b a ğ ı r s a q a u t o i n t o k s i k a s i y a s ı törədə bilər.

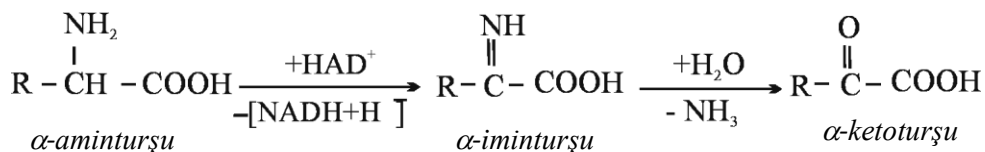
Aminturşuların amin qruplarının iştirakı ilə gedən reaksiyalar. Bütün amin qrupuna malik olan maddələr kimi, aminturşular da turşularla reaksiyaya girib duz əmələ gətirir:



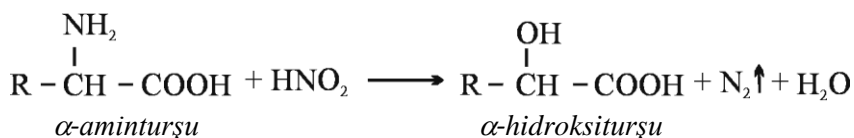
Aminturşu molekulundan amin qruplarını ayırmaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə etmək olar. Bunlar arasında ən əlverişlisi oksidləşməklə aminsizləşmədir:



Yuxarıdakı reaksiyaya bənzəyən oksidləşməklə dezaminləşmə (aminsizləşmə) reaksiyası orqanizm daxilində aminturşuların artıq miqdarının katabolizmə uğraması prosesində böyük əhəmiyyətə malikdir. Orqanizmdə oksidləşməklə dezaminləşmə reaksiyaları spesifik oksidazaların katalizatorluğu şəraitində baş verir. Bu zaman aminturşu koferment funksiyasına malik olan NAD^+ iştirakı ilə ikimərhələli dəyişikliyə uğrayır və oksigen mənbəyi olaraq, sudan istifadə edilir:

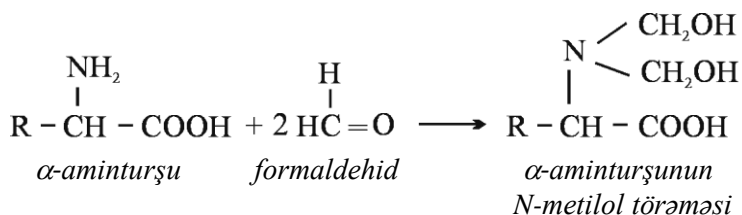


Orqanizm daxilində baş verən dezaminləşmə reaksiyalarının digər növləri haqqında dərsliyin 2-ci cildində ətraflı məlumat verilmişdir. Orqanizmdən kənarında dezaminləşmə reaksiyası aparmaq üçün çox vaxt nitrit turşusundan istifadə edilir. Bu zaman müvafiq hidrositurşu və qaz halında olan azot əmələ gəlir:



Yuxarıdakı reaksiyadan aminturşuların miqdarını müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilir (Van Slayk üsulu): burada əmələ gələn azotun ümumi miqdarının yarısı aminturşu molekulundan ayrılır; bunu nəzərə alaraq, reaksiya zamanı xaric olan azotun miqdarına əsasən qarışıqda olan aminturşunun miqdarını hesablamaq olar.

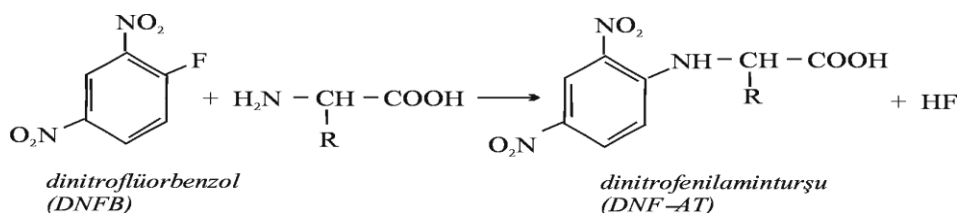
Aminturşuların tərkibində olan amin qrupları formalinlə aşağıdakı tənlik üzrə reaksiyaya girə bilər:



Formalin reaksiyasının əhəmiyyəti bundan ibarətdir ki, bu reaksiya zamanı amin qrupunun funksiyası blokada alınır; əmələ gələn birləşmə adi turşu xassəsinə malik olduğundan, onun miqdarını qələvilər vasitəsilə titirləmə yolu ilə müəyyənləşdirmək mümkün olur (Serensenin formalinli titirləmə üsulu). Aminturşuların amin qruplarına xas olan bəzi reaksiyalardan zülal molekullarında monomerlərin (aminturşuların) hansı ardıcılıqla yerləşdiyini müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilir. Aşağıda belə reaksiyalar haqqında məlumat veririk.

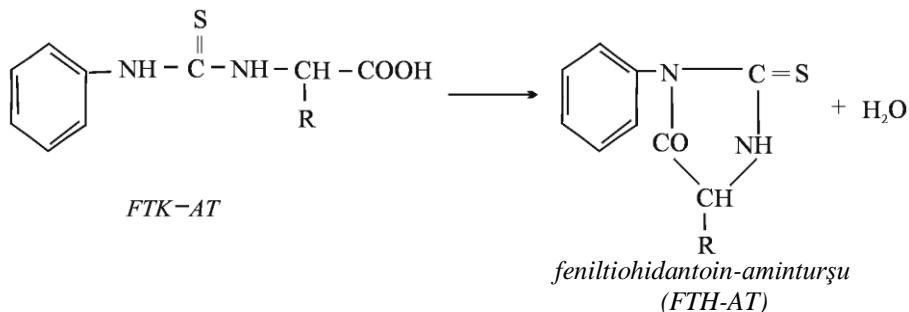
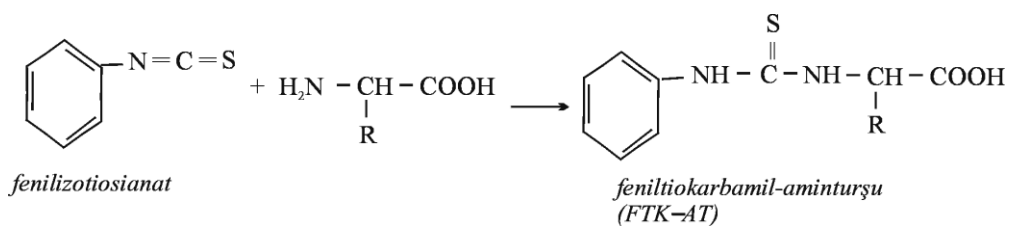
Aminturşuların dinitrofluorbenzolla reaksiyası (Senger reaksiyası).

Aminturşuların 1-flüor-2,4-dinitrobenzolla (DNFB) reaksiyasının böyük praktik əhəmiyyəti vardır. Aminturşu molekulunda olan amin qrupunun bu reaktivlə qarşılıqlı təsiri nəticəsində flüorid turşusu ayrılır və sarı rəngli dinitrofenilaminturşu (DNF-AT) əmələ gəlir:



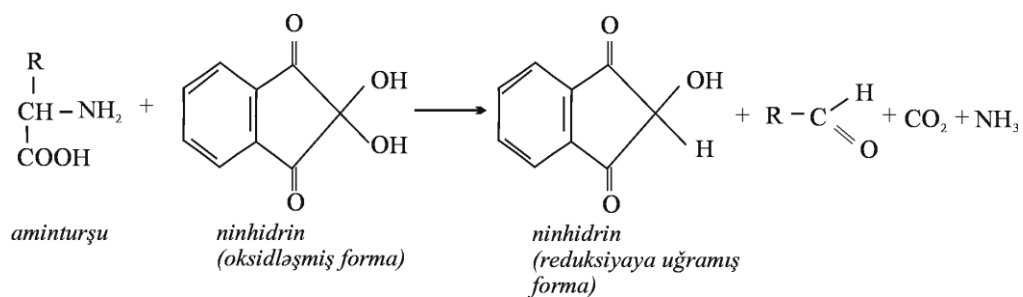
DNFB zülalların tərkibində olan sərbəst amin qrupları ilə də yuxarıdakı tənliyə uyğun reaksiyaya girə bilər. Reaksiyanı apardıqdan sonra zülalı hidrolizə uğratdıqda aminturşular ayrılır, lakin DNF-AT-ın strukturu pozulmur. Bundan sonra DNF-AT-ın üzvi həlledicilərdə həllolma qabiliyyətindən istifadə etməklə, onu digər zülal hidrolizatından ayıraraq, tərkibindəki aminturşunun növünü müəyyənləşdirirlər. Bu təyinat zülal molekulunda olan aminturşulardan hansının amin qrupunun sərbəst qaldığını aydınlaşdırmağa imkan verir.

Fenilzotiosianatla reaksiya (Edman reaksiyası). Fenilzotiosianat qələvi mühitində amin qrupları ilə reaksiyaya girib, feniltiokarbamilaminturşu kompleksinə (FTK-AT), bu kompleks isə zəif turş mühitdə dehidratasiyaya uğrayıb, fenilhidantoin-aminturşu kompleksi adlanan tsiklik birləşməyə çevrilir:

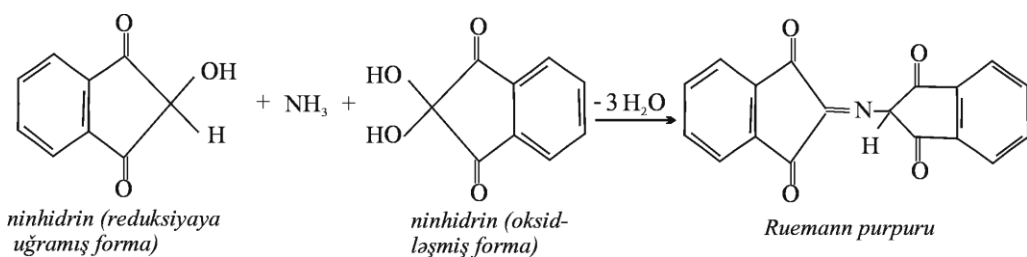


Zülalların tərkibində amin qrupu sərbəst şəkildə olan aminturşunu fenilzotiosianatın təsirinə uğratdıqdan sonra fenilhidantoin törəməsi şəkildə ayırıb, həmin aminturşunun növünü müəyyənləşdirmək mümkündür. Bu üsul zülal molekulunun uc hissəsində olan aminturşu qalığının növünü aydınlaşdırmağa imkan verir və bu təyinat zamanı zülalın digər hissələrini hidrolizə uğratmağa ehtiyac qalmır.

Ninhidrinlə reaksiya (Ruemann reaksiyası). Aminturşuların vəsfi və miqdarı analizi üçün onların ninhidrinlə reaksiyasından geniş istifadə edilir. Reaksiyanın birinci mərhələsində aminturşular oksidləşməklə dezaminləşmə reaksiyasına uğrayır və karboksil qrupunu itirir, ninhidrin isə reduksiya məruz qalır.



İkinci mərhələdə ninhidrinin 1 molekul oksidləşmiş və 1 molekul reduksiya uğramış forması aminturşudan ayrılan ammonyakla reaksiyaya girərək, məhlula göy-bənövşəyi rəng verən Ruemann purpuruna çevrilir. Bu zaman məhlulun rənginin intensivliyi aminturşunun miqdarı ilə mütənasib şəkildə dəyişikliyə uğrayır (belə məhlul dalğa uzunluğu 580 nm olan işıq şüalarını udur).



Prolin və oksiprolin (iminturşular) α -aminturşulardan fərqli olaraq, ninhidrinlə reaksiya zamanı sarı rəngli boyaq maddəsi əmələ gətirir və bu zaman ammoniyak ayrılır (bu boyaq maddəsinin məhlulu spektrofotometriya zamanı dalğa uzunluğu 440 nm olan işıq şüalarını udur).

Ninhidrinlə aparılan reaksiya qeyri-spesifikdir. Amin qrupuna malik olan bütün birləşmələr (o cümlədən zülallar) və ammoniyak ninhidrinlə reaksiyaya girir, lakin bu zaman karbon qazı əmələ gəlmir. Ninhidrin reaksiyası zamanı karbon qazının əmələ gəlməsi α -aminturşular üçün spesifikdir. Bu reaksiya əsasında aminturşuların miqdarı analizi üsulu hazırlanmışdır. Bundan ötrü, aminturşuların kağız üzərində xromatoqrafiyasından və elektroforez üsulundan istifadə edilir. Zülal hidrolizəti (aminturşu qarışığı) xüsusi iondəyişdirici qatran (sulfopolistiroil kationiti) hopdurulmuş kağız üzərində müxtəlif fraksiyalara ayrılır. Neytral mühitdə aparılan elektroforez zamanı mənfi yüklü (turş xassəli) aminturşular anoda, müsbət yüklü (qələvi xassəli) aminturşular katoda doğru hərəkət edir, neytral xassəli aminturşular isə yerini dəyişmir. Buna görə, adətən neytral aminturşuları fraksiyalara ayırmaq üçün elektroforezi turş mühitdə (pH=1,8-2,0) aparırlar. Aminturşular fraksiyalara ayrıldıqdan sonra elektroforez kağızı ninhidrin məhlulu ilə isladılır. Bunun nəticəsində hər bir fraksiya intensivliyi aminturşunun miqdarından asılı olan göy-bənövşəyi rəngə boyanır (prolin və oksiprolin fraksiyaları isə sarı rəng alır). Hər bir fraksiya ayrılıqda xüsusi məhlulla yuyulur və fotoelektrokəlimetr vasitəsilə həmin məhlulun tərkibində olan aminturşuların miqdarı hesablanır.

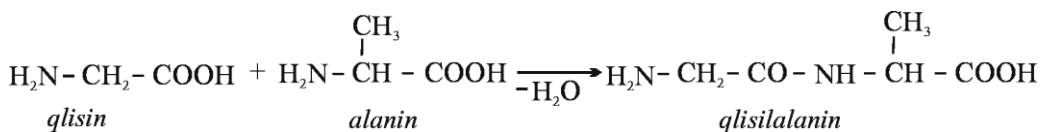
4.6. ZÜLALLARIN MOLEKUL STRUKTURU VƏ ONUN TƏDQIQ EDİLMƏSİ

4.6.1. ZÜLAL MOLEKULUNDA AMİNTURŞULAR ARASINDAKI RABİTƏLƏRİN NÖVLƏRİ

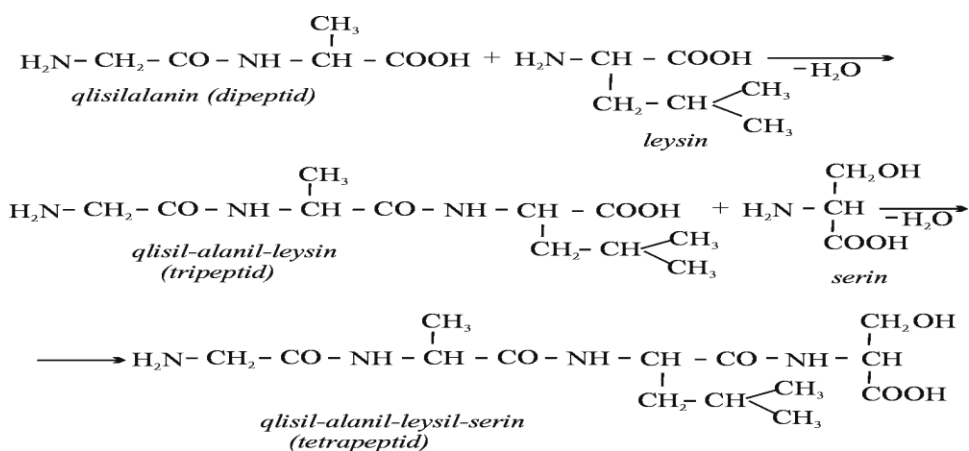
Zülalların molekulyar strukturu haqqında düzgün təsəvvür əldə edilməsinin böyük elmi-praktik əhəmiyyəti vardır. Çünki bu, müxtəlif zülalların orqanizm daxilində yerinə yetirdiyi saysız-hesabsız funksiyaların mexanizminin aydınlaşdırılmasına imkan verir. İlk dəfə 1880-ci ildə rus alimi A.Y. Danilevski göydaş (CuSO_4) məhlulunun həm xırdamolekullu birləşmə olan biuretə, həm də zülallarla eyni xarakterli rəng reaksiyası verdiyini nəzərə alaraq, zülal molekulyarında biuretin molekulyar strukturuna bənzərən hissələr olduğu haqqında fərziyyə irəli sürmüşdür.

Biuret ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$) məhluluna qələvi mühitdə bir neçə damcı CuSO_4 məhlulu əlavə edildikdə bənövşəyi və ya qırmızı-bənövşəyi rəng alınır. Biuretdən başqa, oksamid ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{CO}-\text{NH}_2$), qlisinamid ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}_2$), malonamid ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}_2$) də göydaş məhlulu ilə qarışdırıldıqda eyni rəngə boyanır. Göründüyü kimi, müsbət biuret reaksiyaları verən bu birləşmələrin hamısının tərkibində $-\text{CO}-\text{NH}-$ qrupları vardır. Zülallar da göydaş məhlulu ilə yuxarıda təsvir edilən formada reaksiyaya girdiyinə görə, bu reaksiyadan biokimyəvi laboratoriyalarda zülalların vəsfi analizi üçün istifadə edilir. **B i u r e t r e a k s i y a s ı** (və ya Piotrovski reaksiyası) adlanan bu sınaq zülallardan fərqli olaraq, sərbəst aminturşuların əksəriyyəti ilə aparıldıqda müsbət nəticə vermir (yalnız histidin, serin və treoninin çox qatı məhlulları göydaş məhlulu ilə müvafiq rəngdəyişmə reaksiyası verə bilər). Verilən məlumatdan aydın olur ki, zülalların göydaş məhlulu ilə biuret kimi rəng reaksiyası verməsi onların strukturunda olan $-\text{CO}-\text{NH}-$ qrupları ilə əlaqədardır. Əvvəllər bu mülahizə yalnız fərziyyə şəklində idi. Lakin XX əsrin əvvəllərində alman alimi E.Fişerin (1902) apardığı təcrübələr bu fərziyyənin həqiqətə uyğunluğunu aşkara çıxardı və beləliklə, zülalların strukturunu izah edən polipeptid nəzəriyyəsi irəli sürüldü. Bu nəzəriyyəyə görə, zülal molekullarında müxtəlif aminturşular bir-birilə α -amin və α -karboksil qrupları arasında yaranan rabitələr vasitəsilə birləşir. Yəni zülal molekullarının monomerləri arasındakı rabitələrə bir aminturşunun α -amin qrupu ilə digərinin α -karboksil qrupunun qarşılıqlı təsirinin məhsulu kimi baxmaq olar. Belə kimyəvi rabitələrə **p e p t i d r a b i t ə l ə r i** deyilir. Peptid zəncirini təşkil edən aminturşu qalıqlarının sayından asılı olaraq *dipeptidlər*, *tripeptidlər*, *tetrapeptidlər*, *pentapeptidlər*, ... *oligopeptidlər* (molekul zəncirinə 20-yə qədər aminturşu qalığı daxil olan peptidlər), *polipeptidlər* (21-50 ədəd aminturşu qalığına malik olan peptidlər) və *zülallar* (aminturşu qalıqlarının sayı 51-dən artıq olanlar) ayırılır.

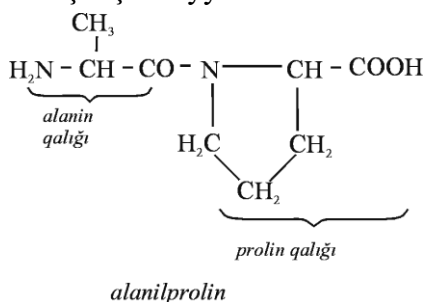
Peptidləri adlandırmaq üçün molekul zəncirlərinə daxil olan aminturşuların adlarından istifadə edilir və onların adları amin qrupu sərbəst olan tərəfdən başlanmaqla oxunur; bu zaman karboksil qrupunu peptid rabitəsinin əmələ gəlməsinə sərf edən aminturşunun adının sonluğu “il” şəkilçisi ilə əvəz edilir, karboksil qrupu sərbəst qalan aminturşunun adı isə – olduğu kimi peptidin adının axırında tələffüz edilir. Məsələn, qlisin və alanin aşağıdakı şəkildə peptid rabitəsi əmələ gətirə bilər.



Beləliklə, yuxarıda göstərilən dipeptidin molekulunda qlisinin amin qrupu, alaninin isə karboksil qrupu sərbəst qalmışdır. Buna görə həmin dipeptid qlisilalanin adlandırılır. Bu dipeptid də sərbəst qalan amin və ya karboksil qrupları vasitəsilə digər aminturşularla reaksiyaya girərək, tədricən tripeptid, tetrapeptid, pentapeptid və s. əmələ gətirə bilər:

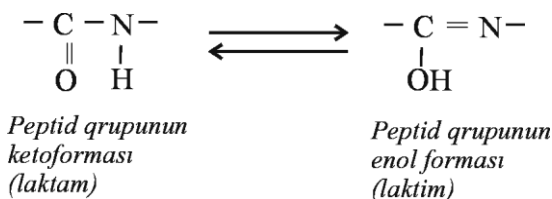


Qeyd etmək lazımdır ki, prolinin imin qrupunun əmələ gətirdiyi peptid rabitəsi digər peptid rabitələrindən fərqlənir. Çünki prolinin imin qrupu peptid rabitəsinə girərkən, yeganə hidrogen atomunu itirir və 3 ədəd karbon atomu ilə birləşmiş vəziyyətdə olur.



Polipeptidlərin adlarını yazmaq üçün onların tərkibinə daxil olan aminturşuların adlarının ixtisar edilmiş formalarından da istifadə edilir. Bu üsuldən istifadə edildikdə peptidlərin uc amin qrupu (N-terminal hissə) H ilə, karboksil qrupu (C-terminal hissə)-OH işarəsi ilə göstərilir, aminturşuların amidləri $-\text{NH}_2$ (məsələn, qlutamin-qlu- NH_2), disulfid körpüçükləri $-\text{S}-\text{S}-$ ilə

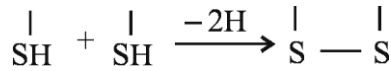
işarə edilir. Yuxarıda strukturu təsvir edilmiş tetrapeptidin adı bu üsulla H-qliala-ley-ser-OH, dipeptidin adı isə H-ala-pro-OH kimi yazılır. Zülalların peptid qrupları *keto* və *enol* formalarda ola bilər; bunlara tautomer formalar deyilir (bir maddənin asanlıqla bir-birinə çevrilə bilən izomerlər şəklində mövcudluğu).



Peptid rabitələri zülal molekullarında olan aminturşu qalıqlarının bir-birilə əlaqələndirilməsində ən mühüm vasitə olsa da, yeganə rabitə növü deyil. Onlardan əlavə, peptid zəncirləri arasında disulfid və hidrogen rabitələri, həmçinin turş və qələvi xassəli funksional qruplar arasında elektrostatik cazibə sayəsində yaranan ion rabitələri mövcuddur.

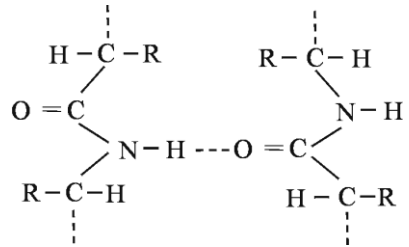
Disulfid rabitəsi. Zülal molekullarının strukturunun formalaşmasında kovalent xarakterli disulfid körpüçüklərinin böyük əhəmiyyəti vardır. Bu rabitələr polipeptid zəncirində olan sistein qalıqlarındakı sulfhidril ($-\text{SH}$) qruplarının hidrogenlərini itirib (oksidləşib), bir-birilə birləşməsi nəticəsində

əmələ gəlir:

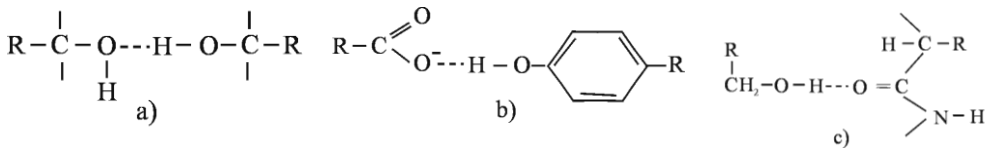


Spiralabənzər saplar şəklində olan polipeptid zəncirlərinin müxtəlif hissələri və ya müxtəlif polipeptid molekulaları disulfid rabitələrinin köməyiylə bir-birinə birləşib, yumaqşəkili fəza strukturu əldə edir. Disulfid rabitələri zülalların turş hidrolizi zamanı parçalanmır, lakin reduksiyaedici maddələrin təsiri nəticəsində parçalanır. Zülal molekulalarında olan sistin qalıqları reduksiya reaksiyaları zamanı 2 atom hidrogen qəbul edib, sistein qalıqlarına çevrilir və molekulun müvafiq hissəsində polipeptid zənciri qırılır; reduksiyaedicilərin təsiri nəticəsində bəzi zülalların öz ilkin bioloji xassələrini itirməsi bununla izah edilir.

Hidrogen rabitəsi. Zülal molekulalarında polipeptid zəncirlərinin müxtəlif hissələrini və ya müxtəlif polipeptid zəncirlərini bir-birilə birləşdirən çoxlu miqdarda hidrogen rabitələri olur. Bu rabitələr polipeptid zəncirlərində olan =NH və =CO qruplarının elektrostatik cazibə qüvvələri sayəsində yaranır. Polipeptid zəncirlərində olan =CO qrupları qismən mənfi elektrik yükü əldə edir, =NH qruplarının mənfi elektrik yükü isə zəif olur. Bunun nəticəsində karbonil qrupundakı oksigen atomunun nisbətən sərbəst olan elektronları hidrogenə doğru meyli edir; oksigen və azot atomları arasında hidrogen körpücüyü əmələ gəlir:



Hidrogen rabitəsi zülal molekulalarının kovalent rabitəli hidrogen atomlarına malik olan başqa sahələrində də əmələ gələ bilər. Lakin bu rabitələr bir qayda olaraq, qismən müsbət yüklənmiş hidrogen atomları ilə qismən mənfi yüklənmiş oksigen atomları arasında yaranır. Bunlara a) iki hidrosil qrupu arasında; b) ionlara dissosiasiya edən karboksil qrupu (–COOH) ilə tirozin qalığının –OH qrupu arasında və s.) serin qalığının –OH qrupu ilə peptid rabitəsi arasında yaranan hidrogen rabitələrini misal göstərmək olar:



Hidrogen körpücüyü zülal molekulunda olan kovalent rabitələrə (peptid və disulfid rabitələrinə) nisbətən 10-12 dəfə zəifdir. Akseptor funksiyası daşıyan atomların mənbəyindən asılı olaraq, hidrogen rabitələrinin müxtəlif növləri də möhkəmliyinə görə bir-birindən fərqlənir. Zülalların quruluşunun və bioloji aktivliyinin qeyri-sabitliyi əsasən hidrogen rabitələrinin zəifliyi və fiziki-kimyəvi amillərin təsiri altında asanlıqla parçalanması ilə əlaqədardır.

Aminturşu rabitələrinin digər növləri. Bəzi zülallar mühitin pH-ı azacıq dəyişdikdə öz ilkin bioloji xassələrini itirir. Belə şəraitdə peptid, disulfid və hidrogen rabitələri heç bir dəyişikliyə uğramadığına görə, belə güman etmək

olar ki, zülalların molekulyar strukturunun formalaşmasında dissosiasiyaya uğraya bilən kimyəvi qrupların elektrostatik xassələrinin də müəyyən dərəcədə rolu vardır. Bunlara lizinin peptid rabitəsində iştirak etməyən amin qrupu, asparagin və qlutamin turşularının ikinci karboksil radikalları, argininin guanidin qrupu, histidinimimidazol qrupu, tirozinin –OH və sisteinin –SH radikalları aiddir. Amin, guanidin və imidazol qrupları özlərinə hidrogen ionu birləşdirməklə qələvi, karboksil qrupları və tirozinin –OH qrupu isə H⁺ ionlarını dissosiasiya etməklə turşu xassəsinə malik olur. Belə əks-ışarəli qrupların elektrostatik cazibəsi nəticəsində zülal molekullarında ion rabitələri əmələ gəlir.

Aminturşuların bir-birinin yaxınlığında yerləşən qeyri-polyar qrupları da molekul daxili cazibə qüvvələri (Van-der-Vaals qüvvələri) hesabına bir-birinə yaxınlaşa bilər; alaninin metil qrupu ilə valin, leysin, izoleysin, fenilalanin və triptofan belə cazibə qüvvələri sayəsində bir-birinə yaxınlaşır.

4.6.2. ZÜLAL MOLEKULUNDA AMİNTURŞULARIN ARDICILLIĞI VƏ ONUN TƏYİNİ

Zülal molekulları bir-birilə müxtəlif nisbətdə və müxtəlif ardıcılıqla birləşmiş aminturşu qalıqlarından ibarətdir. Onların fərdi xüsusiyyətləri aminturşu qalıqlarının düzülüşündən asılıdır. Polipeptid zəncirində aminturşu qalıqlarının hansı ardıcılıqla yerləşdiyinin təyin edilməsi böyük çətinliklərlə əlaqədardır. Bu çətinliklərin nədən ibarət olduğunu aydınlaşdırmaq üçün tərkibinə 3 aminturşu qalığı daxil olan tripeptidin molekulunda həmin qalıqların yerləşmə ardıcılığının mümkün olan variantlarını nəzərdən keçirək (misal olaraq, qlisin, alanin və serini müvafiq surətdə A, B və C hərfləri ilə işarə edək). Beləliklə, 3 aminturşu qalığından əmələ gələn tripeptidin 6 izomeri olduğu aydınlaşır:

- | | |
|----------|---------------------|
| 1) A-B-C | qlisil-alanil-serin |
| 2) A-C-B | qlisil-seril-alanin |
| 3) B-A-C | alanil-qlisil-serin |
| 4) B-C-A | alanil-seril-qlisin |
| 5) C-A-B | seril-qlisil-alanin |
| 6) C-B-A | seril-alanil-qlisin |

Hesablamalardan aydın olur ki, 4 aminturşu ($1 \times 2 \times 3 \times 4$)=24, beş aminturşu – 120, altı aminturşu 720 oliqopeptid izomeri əmələ gətirə bilər. 10 aminturşu qalığından əmələ gələn peptid zəncirində monomerlərin hərəsi 1 dəfə iştirak edərsə, onun 362 000 izomeri ola bilər. Təbii mənbələrdən alınan zülalların tərkibində 20 növ aminturşu qalığı olduğunu nəzərə alsaq, aydın olur ki, tərkibinə bu qədər aminturşu növünün hərəsindən 1 ədəd daxil olan peptidin $2,4 \times 10^{18}$ izomeri ola bilər. Nəzərə almaq lazımdır ki, zülalların strukturuna daxil olan aminturşu qalıqlarının sayı müxtəlifdir və hər bir zülal molekuluna eyni aminturşu növündən müxtəlif sayda daxil ola bilər. Beləliklə, aydın olur ki, canlı təbiətdə olan zülalların növləri olduqca müxtəlifdir. İndiyə qədər təkcə E.Coli bakteriyalarının tərkibində 3000-ə qədər zülal növü aşkar edilmişdir. İnsan orqanizmində isə zülal növlərinin sayı 35 minə yaxındır. Göstərilən faktlar hər hansı bir zülal növünün tam təmiz halda alınmasının və struk-

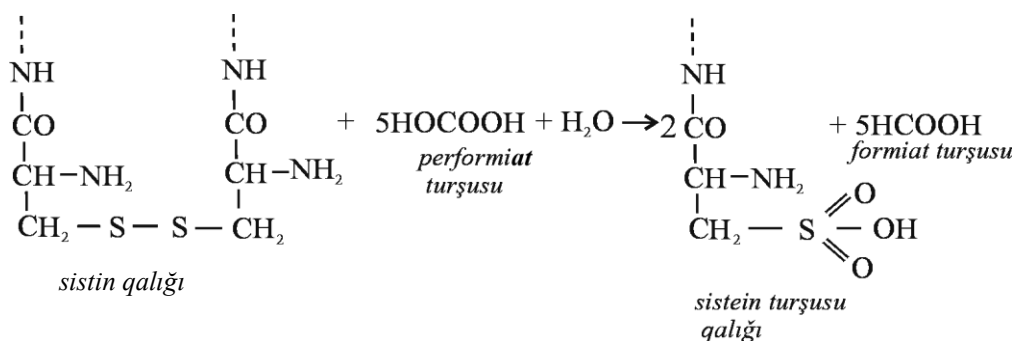
turunun müəyyənləşdirilməsinin nə dərəcədə çətin problem olduğunu nümayiş etdirir. Bütün bunlara görə, XX əsrin ikinci yarısına qədər zülalların molekulyar strukturunun müəyyənləşdirilməsi və kimyəvi sintez üsulu ilə alınması qeyri-mümkün hesab edilirdi. Lakin 1954-cü ildə F.Senger molekuluna 51 amin turşu qalığı daxil olan insulinin strukturunu öyrənməklə, bu problemin həllinin qeyri-mümkünlüyü haqqında fikirləri alt-üst etdi. Sonralar müxtəlif alimlərin səyləri nəticəsində çoxlu sayda zülalların molekulyar strukturlarında amin turşu ardıcılığını aydınlaşdırıldı və onların bir hissəsi laboratoriya şəraitində sintez edildi.

Müasir dövrdə kifayət qədər yüksək səviyyəli texniki təchizata malik olan elmi-tədqiqat laboratoriyalarında müxtəlif zülalların birincili strukturunun öyrənilməsi davam etdirilir. Bu məqsədlə ilk növbədə digər qarışıqlardan təmizlənmiş zülal tam hidroliz edilərək, müxtəlif amin turşu növlərinə ayrılır və zülalın molekulyar kütləsinə görə, onun tərkibində olan amin turşuların nisbi miqdarı hesablanır. Lakin zülalların strukturu haqqında tam təsəvvür əldə etmək üçün onların hansı amin turşu qalıqlarından ibarət olduğunu aydınlaşdırılması kifayət etmir. Əsas məsələ amin turşuların zülal molekulunda hansı ardıcılıqla yerləşdiyinin aydınlaşdırılmasından ibarətdir. Bundan ötrü, zülalları natamam hidroliz etdirərək, xırdamolekullu peptidlərə parçalayır və ayrılıqda götürülmüş peptid zəncirlərində amin turşu ardıcılığını müəyyənləşdirirlər. Beləliklə, bu tədqiqatın əsas mərhələlərindən biri – polipeptid zəncirlərinin xırdamolekullu peptidlərə (oligopeptidlərə) parçalanmasıdır. Bundan ötrü, amin turşu rabitələrinə seçici təsir göstərən kimyəvi vasitələrdən və fermentlərdən istifadə edilir. Yəni bu zaman elə reaktiv və fermentlərdən istifadə edilir ki, onlar yalnız müəyyən bir amin turşunun peptid rabitələrini hidroliz edir, başqa amin turşu rabitələrinə isə təsir göstərmir. Məsələn, metioninin peptid rabitələrinə bromsianidlə (CNBr), asparagin və qlisinin peptid rabitələrinə hidrosilaminlə, triptofan qalıqlarına N-bromsuksinamidlə təsir göstərmək olar. Adətən zülal molekulalarında metionin qalıqları başqa amin turşu qalıqlarına nisbətən az olur. Buna görə, zülalları oligopeptidlərə parçalamaq üçün bromsianiddən istifadə edilməsi daha əlverişlidir, çünki bu zaman əmələ gələn oligopeptidlərin sayı az olur və onlar asanlıqla fraksiyalara ayrılır. Zülalların hidrolizinin fermentativ üsulları da bəzi proteolitik fermentlərin peptid rabitələrinə seçici surətdə spesifik təsir göstərmək xassəsinə əsaslanır. Məsələn, tripsin – arginin və lizinin, ximotripsin isə – triptofan, tirozin və fenilalaninin peptid rabitələrinə hidrolitik təsir göstərir (cədvəl 4.9.). Zülalların natamam hidrolizi üçün bir sıra bakterial mənşəli proteazalardan da istifadə edilir. Bu əməliyyatdan sonra natamam proteoliz nəticəsində əmələ gəlmiş oligopeptidləri elektroforez və xromatoqrafiya üsulları vasitəsilə fraksiyalara ayıraraq, tərkiblərini öyrənirlər.

Zülal molekulunun tərkibində disulfid rabitələri vasitəsilə bir-birilə rabitədə olan müxtəlif polipeptid zəncirləri olarsa, onları ayırmaq üçün

performiat $(\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{OH})$ turşusundan istifadə edilir. Bu turşu disulfid

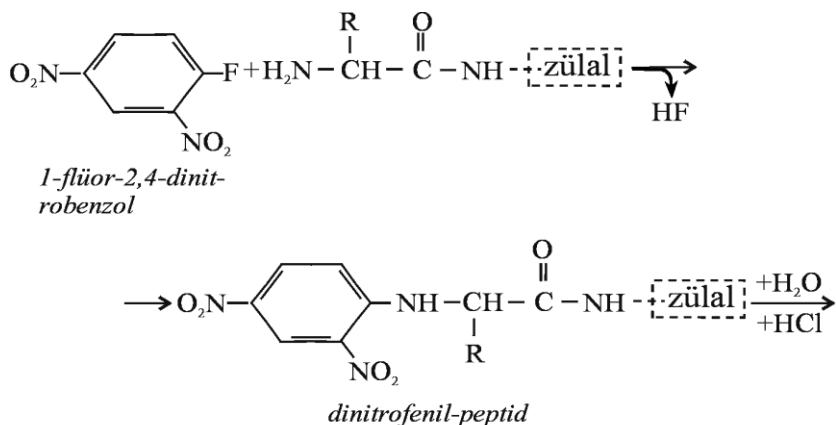
rabitələrinə oksidləşdirici təsir göstərərək, onların parçalanmasına səbəb olur.

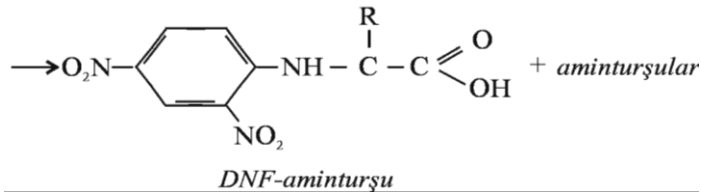


Alınan polipeptidlərin hidrolizindən sonra sərbəst hala keçən sistein turşusunun miqdarını təyin etməklə, zülal molekulunda olan disulfid rabitələrinin sayı haqqında nəticə çıxarmaq olar. Qeyd etmək lazımdır ki, bu metodun tətbiqi zamanı zülalların tərkibində olan triptofan qalıqları da oksidləşir. Buna görə tərkibində triptofan qalıqları olan zülalları performiat turşusu vasitəsilə tədqiq etmək məsləhət görülmür.

Bu tədqiqatın ən məsuliyyətli mərhələsi ümumi zülal molekullarında və onların hissəvi hidroliz məhsulu olan oliqomerlərdə aminturşu qalıqlarının hansı ardıcılıqla düzüldüyünün aydınlaşdırılmasından ibarətdir. Bundan ötrü, xüsusi kimyəvi üsullar vasitəsilə polipeptid zəncirlərinin uc hissələrində yerləşən aminturşuların növü aydınlaşdırılır, sonra isə həmin aminturşular hidrolizə uğradılıb, onlardan sonra gələn aminturşu qalıqları tədqiq edilir. Polipeptid zəncirlərinin amin qrupu sərbəst olan və karboksil qrupu sərbəst olan uclarının (N-terminal və C-terminal hissələr) tədqiqi bir-birindən fərqlənir.

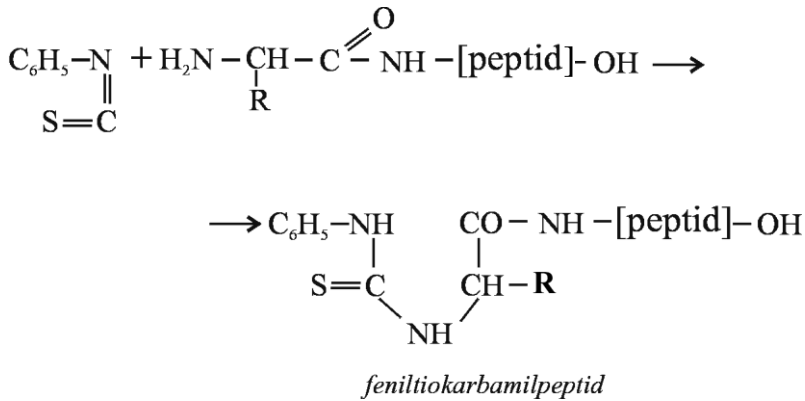
N-terminal aminturşuları müəyyənləşdirmək üçün istifadə edilən üsullar. N-Terminal aminturşunu müəyyənləşdirmək üçün müxtəlif üsullar təklif edilmişdir. Bunlar arasında Sengerin təklif etdiyi dinitrofenil-aminturşu sınağının xüsusi yeri vardır. Zülallara dinitroflüorbenzolla (DNFB) təsir edildikdə bu reaktiv polipeptid zəncirinin uc hissəsində amin qrupu sərbəst şəkildə olan aminturşu qalığı ilə reaksiyaya girir: alınan məhsulu turşu mühitdə hidroliz etdikdə N-terminal aminturşu dinitrofenil (DNF) qalığı ilə birləşmiş şəkildə ayrılır, digər aminturşular isə sərbəst hala keçir:



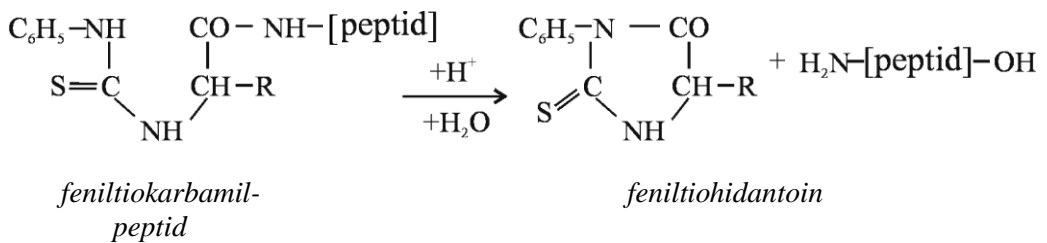


Birinci reaksiya zamanı alınan məhsul (dinitrofenil-peptid) turş mühitdə hidroliz edildikdən sonra xromatoqrafiya üsulu ilə aminturşu fraksiyalarına ayrılır; polipeptid zəncirinin N-terminal hissəsində yerləşən aminturşu qalığının DNF ilə birləşməsi digər aminturşulardan rənginin sarılığına görə fərqlənir. Bu fraksiyanı ayıraraq, aminturşunun növünü müəyyənləşdirirlər. Aparılan tədqiqat zamanı bir neçə növ DNF-aminturşu törəməsinin alınması tədqiq edilən zülal molekulunun bir neçə növ polipeptid zəncirinin birləşməsindən ibarət olduğunu göstərir.

Peptid zəncirindəki N-terminal aminturşunu müəyyənləşdirmək üçün Edmanın feniltiohidantoin üsulundan daha geniş istifadə edilir. Çünki, bu üsul həssaslıq dərəcəsinə və mərhələlərlə təkrar edilməsinin mümkünlüyünə görə, Sengerin DNFB üsulundan üstündür. Bu üsul fenilzotiosianatın peptid zənciri ilə spesifik reaksiya verməsi prinsipinə əsaslanır: reaktiv peptid zəncirinin uc hissəsində yerləşən və sərbəst amin qrupuna malik olan aminturşu qalığı ilə birləşir:

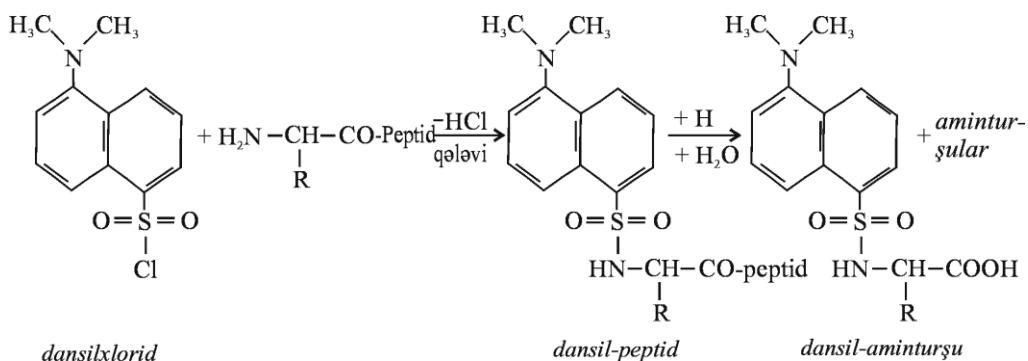


Reaksiyanın məhsuluna otaq temperaturu şəraitində turşu vasitəsilə təsir edildikdə N-terminal hissədə yerləşən aminturşu ilə feniltiohidantoin adlanan tsiklik birləşməyə çevrilir, peptid isə 1 aminturşu qalığı qədər qısalır:



Polipeptid zəncirini Edman üsulu ilə deqradasiyaya uğratmaq üçün çox vaxt xüsusi avtomatik cihazdan istifadə edilir. Əlverişli şərait olduqda bu cihaz vasitəsilə çoxmərhələli reaksiya apararaq, peptid zəncirindən ardıcıl yerləşmiş 40-50 aminturşunu ayırmaq mümkündür. Hər bir mərhələdən sonra turş mühitdə hidroliz vasitəsilə əmələ gələn feniltiohidantoin fraksiyası nazik qatlı və ya qazlı-mayeli xromatoqrafiya üsulu vasitəsilə ayrılmalı və onun tərkibindən ayrılıb sərbəst hala keçən aminturşunun növü müəyyənləşdirilməlidir. Bu təyinatı dəfələrlə təkrar etməklə, polipeptid zəncirində aminturşuların hansı ardıcılıqla yerləşdiyini (N-terminal hissədən başlamaqla) aydınlaşdırırlar.

N-terminal aminturşuları müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilən həssas tədqiqat üsullarından biri də dansilxlorid (1-dimetilamin-naftalin-5-sulfonilxlorid) vasitəsilə aparılan sınaqdır. Dansilxloridin aminturşularla qarşılıqlı təsiri nəticəsində əmələ gələn birləşmələri güclü flüoressensiyaedici xassələri sayəsində, hətta ən cüzi qatılıqda olduqda da aşkara çıxarmaq mümkündür.

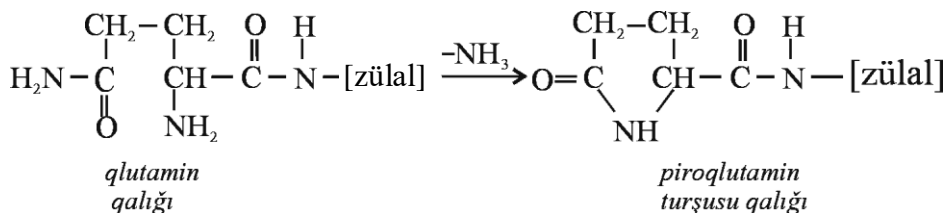


Dansilxlorid sınağından çox vaxt Edmanın deqredasiya üsulu ilə birlikdə istifadə edilir. Yəni bu iki metod bir-birilə növbələşdirilir: fenilzotiosianatın təsirindən sonra peptid molekulunun qalan hissəsinə dansilxloridlə təsir göstərilir, sonra isə peptid zəncirindəki növbəti aminturşu qalığının təbiəti aydınlaşdırılır.

N-terminal aminturşunu təyin etmək üçün kimyəvi üsullardan başqa, proteolitik fermentlərdən də istifadə etmək olar. Bu məqsədlə tədqiqat aparılarkən proteolitik fermentlərin təsir spesifikliyi, yəni seçici sürətdə hidrolizə uğratdığı peptid rabitələrinin növü nəzərə alınmalıdır (cədvəl 4.9). Məsələn, leysinaminpeptidaza peptid zəncirinə sərbəst amin qrupu olan tərəfdən hidrolitik təsir göstərir. Bu ferment peptid zəncirində yerləşən və NH_2 qrupları sərbəst olan leysin qalıqlarının karboksil qrupu vasitəsilə yaratdığı peptid rabitəsini digər aminturşuların birləşmələrinə nisbətən sürətlə hidroliz edir. Lakin onun təsiri ilə prolindən başqa, bütün aminturşuların peptid rabitələri, ardıcıl növbələşdirilməklə, parçalanır. Leysinaminpeptidazanın təsiri nəticəsində aminturşu qalıqları peptid zəncirindən növbə ilə (bir-bir) ayrılır. Yəni əgər peptid zəncirinin amin qrupu sərbəst olan tərəfində aminturşuların düzülüşünü $\text{H}_2\text{N}-\text{A}, \text{B}, \text{C}, \text{Ç}, \dots$ kimi işarə etsək, leysinaminpeptidazanın təsiri zamanı molekuldan əvvəl A, sonra B, daha sonra isə C, Ç hərfləri ilə işarə edilən aminturşular ayrıla bilər. Buna görə, fermentativ katalizin bütün mərhələlərində sərbəst hala keçmiş A aminturşusunun miqdarı B-dən, B aminturşusunun

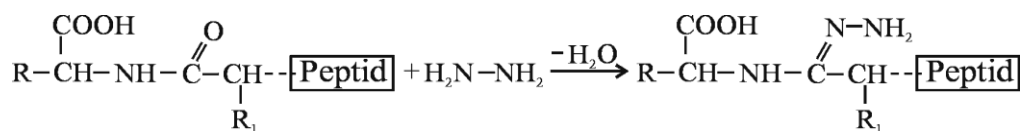
miqdarı C-dən, C aminturşusunun miqdarı isə Ç-dən artıq olacaqdır. Buna əsaslanaraq, aminturşuların hansı sürətlə ayrılmasını aydınlaşdırmaq, onların peptid zəncirindəki ardıcılığı haqqında nəticə çıxarmaq olar.

Yuxarıda təsvir edilən kimyəvi və fermentativ üsullar yalnız yeganə peptid zəncirinin və ya eyni peptid zəncirlərinə malik olan zülal molekullarının tədqiqi zamanı düzgün nəticə verə bilər. Bir sıra zülalların tərkibində peptid zəncirlərinin sayı ilə sərbəst şəkildə olan amin qruplarının sayı bir-birinə bərabər olur. Lakin sərbəst amin qruplarına malik olmayan zülallar da vardır (məsələn, sitoxrom C-nin apoferment hissəsi, ovalbumin və s.). Bu zülalların bəzilərinin başlanğıc hissəsində yerləşən amin qrupları asetillənmiş vəziyyətdə olur. Bəzi zülallarda isə molekulun uc hissəsində piroqlutamin (pirrolidon-karbon) turşusu yerləşir. Adı çəkilən birləşmə molekulunun başlanğıc hissəsində qlutamin turşusu olan zülalların tərkibində, onların sintezindən sonrakı dövrdə əmələ gəlir. Bu zaman əvvəlcə qlutamin turşusunun ikinci karboksil qrupu ammoniyakla reaksiyaya girir; nəticədə qlutamin turşusu qalıqı qlutamin qalıqına (qlutamin turşusunun amidi) çevrilir; bundan sonra qlutaminin γ -amin azotu molekuldan ayrılır, α -amin qrupu ilə karbonil qrupu arasında rabitə yaranır; beləliklə, zülal molekulunun uc hissəsində piroqlutamin turşusu qalıqı əmələ gəlir.



C-terminal aminturşunu müəyyənləşdirmək üçün istifadə edilən üsullar. Peptid zəncirində karboksil qrupu sərbəst olan tərəfdəki aminturşunun növünü müəyyənləşdirmək üçün istifadə edilən üsullardan ən əlverişlisi fermentativ hidroliz üsuludur. Bu məqsədlə aparılan tədqiqat zamanı müxtəlif canlıların orqanizmində geniş yayılmış bəzi proteolitik fermentlərin peptid rabitələrinə təsirinin spesifikliyi nəzərə alınır (cədvəl 4.9). Bundan ötrü peptidləri karboksil qrupu sərbəst olan üç tərəfindən hidrolizə uğradan karboksipeptidaza fermentindən daha geniş istifadə edilir; adı çəkilən fermentin təsiri nəticəsində ayrılmış aminturşu xromatoqrafiya üsulu vasitəsilə fraksiyalaşdırılır və onun növü müəyyənləşdirilir.

C-terminal aminturşunu müəyyənləşdirmək üçün hidrazindən də istifadə etmək olar (Akabori üsulu). Hidrazin ($\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$) peptid rabitəsində olan karbonil ($\text{C}=\text{O}$) qrupları ilə asanlıqla birləşərək, hidrazonlar əmələ gətirir. Lakin bu birləşmə karboksil qrupu sərbəst olan aminturşuya təsir edə bilmir.



Bəzi proteolitik fermentlərin spesifikliyi (A.Uayt və b., 1981).

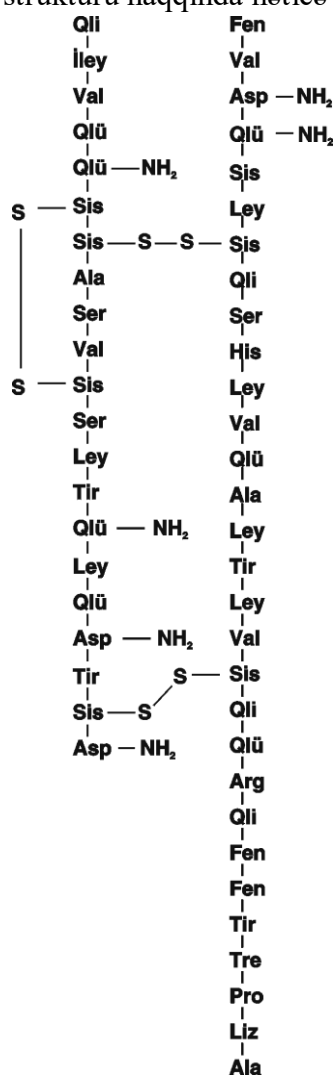
Proteolitik ferment	Alınma mənbəyi	Təcir göstərdiyi peptid rabitəsi	Əlavə təsir sahələri
Tripsin	Mədəaltı vəzi	Arginin, lizin	R-prolin rabitələrinə təsir etmir.
Ximotripsin	Mədəaltı vəzi	Triptofan, fenilalanin, tirozin	Leysin, metionin, asparagin, histidin
Elastaza	Mədəaltı vəzi	Neytral aminturşu qalıqları	
Pepsin	Mədənin selikli qişası	Triptofin, fenilalanin, tirozin, metionin, leysin	Turş xassəli aminturşuların və bəzi başqa monomerlərin peptid rabitələrinə təsir göstərir
Karboksipeptidaza A	Mədəaltı vəzi	Tirozin, triptofan, fenilalanin və b. aminturşuların C-terminal rabitələri	Arginin, lizin və prolin rabitələrinə təsir göstərmir
Karboksipeptidaza B	Mədəaltı vəzi	Arginin və lizinin C-terminal rabitələri	Yoxdur
Leysinamin-peptidaza	Böyrəklər, bağırsaqların selikli qişası və s.	N-terminal hissədə yerləşən müxtəlif aminturşu qalıqları	R-prolin rabitələrindən başqa
Stafilokokk proteazası	Stafilokokklar	Qlutamin turşusu	Asparagin, turşusunun bəzi aminturşularla rabitələri
Papain	Papayya bitkisi	Arginin, lizin, qlutamin turşusu	
Subtilizin	Bacillus subtilus	Aromatik və alifatik aminturşu qalıqları	
Termolizin	B. thermoproteolyticus	Alifatik aminturşu qalıqlarında olan amin qruplarının rabitələri	Asparagin turşusunun bəzi rabitələri

Qeyd: Cədvəldə əsasən müvafiq aminturşuların karboksil qruplarının əmələ gətirdiyi peptid rabitələrini hidroliz edən fermentlər (karboksipeptidazalardan və termolizindən başqa) göstərilmişdir. Məsələn, tripsin arginin və lizinin karboksil qruplarının peptid rabitələrinə hidrolitik təsir göstərir.

Hidrazinin təsirinə uğradılmış zülalın hidrolizatında karboksil qrupunu peptid rabitəsinin yaranmasına sərf edən aminturşuların hamısı hidrazinlə birləşmiş vəziyyətdə olur, karboksil qrupu sərbəst olan aminturşu isə dəyişikliyə uğramamış şəkildə tapılır.

Yuxarıda göstərilən tədqiqat üsullarından heç biri ayrılıqda, peptid zəncirinin strukturu haqqında tam etibarlı nəticə çıxarmağa kifayət etmir. Buna görə, adətən belə tədqiqatlar kompleks şəkildə aparılır, sonra isə müxtəlif

tədqiqatların nəticəsi müqayisəli şəkildə təhlil edilməklə, öyrənilən zülalın strukturu haqqında nəticə çıxarılır.

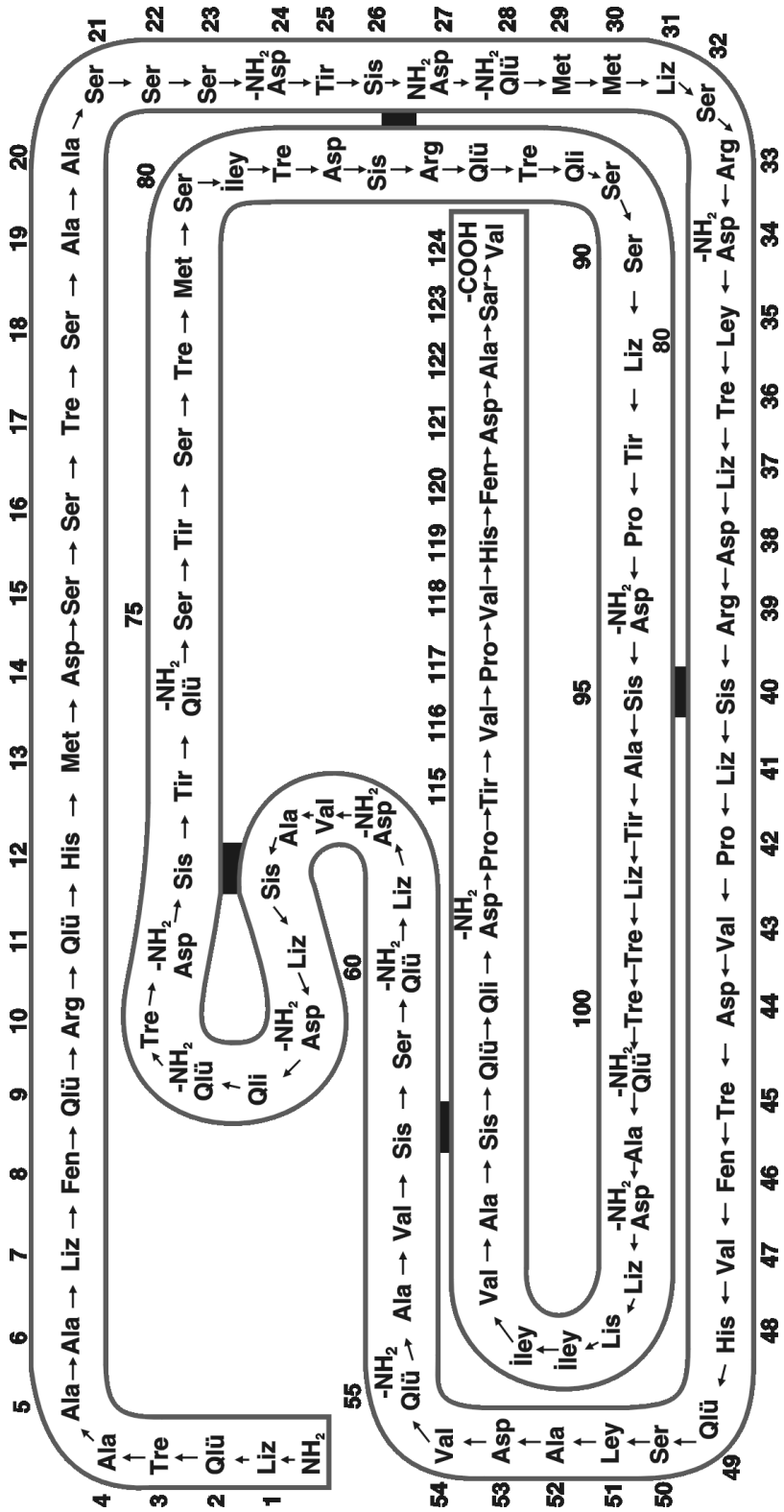


Şəkil 4.2. İnsulin molekulunun strukturu (sxem)

Yuxarıda göstəriləyi kimi, izah edilən üsulların köməyiylə ilk dəfə insulin molekulunun strukturu öyrənilmişdir. F.Sengerin (1954) tədqiqatı sayəsində aydın olmuşdur ki, insulin molekulunu bir-birilə 2 disulfid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş 2 ədəd peptid zəncirindən ibarətdir (şəkil 4.2). Bu zəncirlərin birində 21, digərində isə 30 aminturşu qalığı vardır. Zəncirlərdən birincisini A, ikincisini isə B hərfləri ilə işarə edirlər. Zəncirlərin arasında disulfid körpücüyü əmələ gətirən sistein qalıqlarının bir cütü A və B polipeptidlərinin aminturşu qalıqları sırasında 7-ci yerləri tutur, digər disulfid körpücüyünü A-zəncirinin aminturşu sırasında 20-ci, B-zəncirinin sırasında isə 19-cu yeri tutan sistein qalıqları təşkil edir. Bunlardan əlavə, A zəncirində aminturşu sırasında 6 və 11-ci yerlərini tutan sistein qalıqları da öz aralarında daxili disulfid rabitəsi yaratmış vəziyyətdədir. Qeyd etmək lazımdır ki, insulin – molekul strukturu tam aydınlaşdırılmış ilk zülaldır. Onun strukturunun müəyyənləşdirilməsi Frederik Şengerə Nobel mükafatı qazandırmışdır.

İnsulinin kimyəvi quruluşunun aydınlaşdırılması daha mürəkkəb quruluşlu zülalların strukturunun öyrənilməsi sahəsində aparılan tədqiqatlar üçün başlanğıc olmuşdur. 1960-cı ildə S.Mur və U.Şteynin rəhbərliyi altında işləyən bir qrup tədqiqatçı ribonukleaza fermentinin strukturunu aydınlaşdırmağa müvəffəq oldu. Ribonukleaza – molekul kütləsi 13700 olan yeganə polipeptid zəncirindən ibarətdir. Tərkibinə 124 aminturşu qalığı daxil olan ribonukleazanın molekul zənciri spiral şəkildə burulur. Onun molekulunun müxtəlif hissələri 4 disulfid rabitəsi vasitəsilə bir-birinə birləşir (şəkil 4.3). İnsulin və ribonukleazanın

ardınca oksitosin, vazopressin, melanotrop və adrenokortikotrop hormonlar, qlükaqon, hemoqlobin, sitoxrom C, lizosim, tütün mozaikası xəstəliyinin törədici virusun zülalı və b. zülalların molekul strukturu öyrənilmişdir. XX əsrin 70-ci illərindən sonra daha iri molekullu zülalların strukturunun öyrənilməsinə başlanılmışdır. Bunlardan molekul strukturuna 1300 aminturşu qalığı daxil olan insan immunoqlobulinini (C. Edelman, R.Porter), RNT-polimerazanın 1342 və 1407 aminturşu qalığından ibarət olan β- və β₁-polipeptid zəncirlərini (Yu.A.Ovçinnikov və b.), 412 aminturşu qalığından ibarət olan aspartatamintransferazanı (A.E.Braunşteyn, Yu.A.Ovçinnikov və b.) göstərmək olar. Ümumiyyətlə, indiyə qədər onminlərlə zülal növünün molekul strukturu tam öyrənilmişdir. Bunların əksəriyyətinin təbabət üçün böyük



Şəkil 4.3. Ribonukleaza.

əhəmiyyəti vardır. Məsələn, hemoqlobinin tərkibinə daxil olan polipeptid zəncirlərində aminturşu qalıqlarının yerləşmə ardıcılıqlarının öyrənilməsi sayəsində, hemoqlobinopatiyalar qrupuna daxil olan xəstəliklər zamanı qan-yaradıcı sistemdə sintez edilən qeyri-normal hemoqlobinlərin adı hemoqlobindən fərqi aydınlaşdırılmışdır. Strukturu öyrənilən bəzi zülal və peptidlərin (insulin, vazopressin) kimyəvi sintez yolu ilə alınan preparatlarından hazırda dərman vasitəsi kimi istifadə edilir.

4.6.3. Zülalların quruluşu haqqında müasir təsəvvürlər

Müasir dövrdə zülal molekullarının struktur mütəşəkkilliyinin 4 səviyyəsi ayırd edilir. Bunlara birincili, ikincili, üçüncülü və dördüncülü strukturlar deyilir.

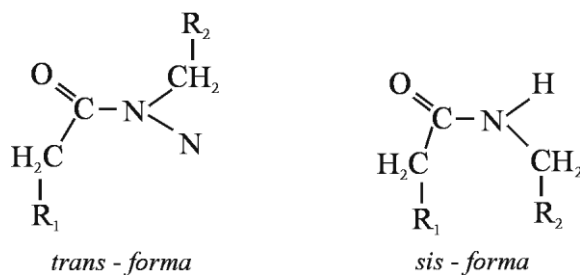
1. Zülalların birincili strukturu. Zülal molekulunun “birincili strukturu” adı altında aminturşu qalıqlarının peptid zəncirlərində (və ya molekula daxil olan polipeptid zəncirlərində) yerləşmə ardıcılığı və disulfid körpüçüklərinin lokalizasiyası nəzərdə tutulur. Çox vaxt polipeptid zəncirlərinin bir ucunda sərbəst amin qrupu (N-terminal hissə), digər ucunda isə karboksil qrupu (C – terminal hissə) yerləşir. Polipeptid zəncirinin amin qrupu sərbəst olan ucu molekulun başlanğıcı hesab edilir. Ribosomlarda zülal molekullarının sintezi də məhz N-terminal hissədən başlanır.

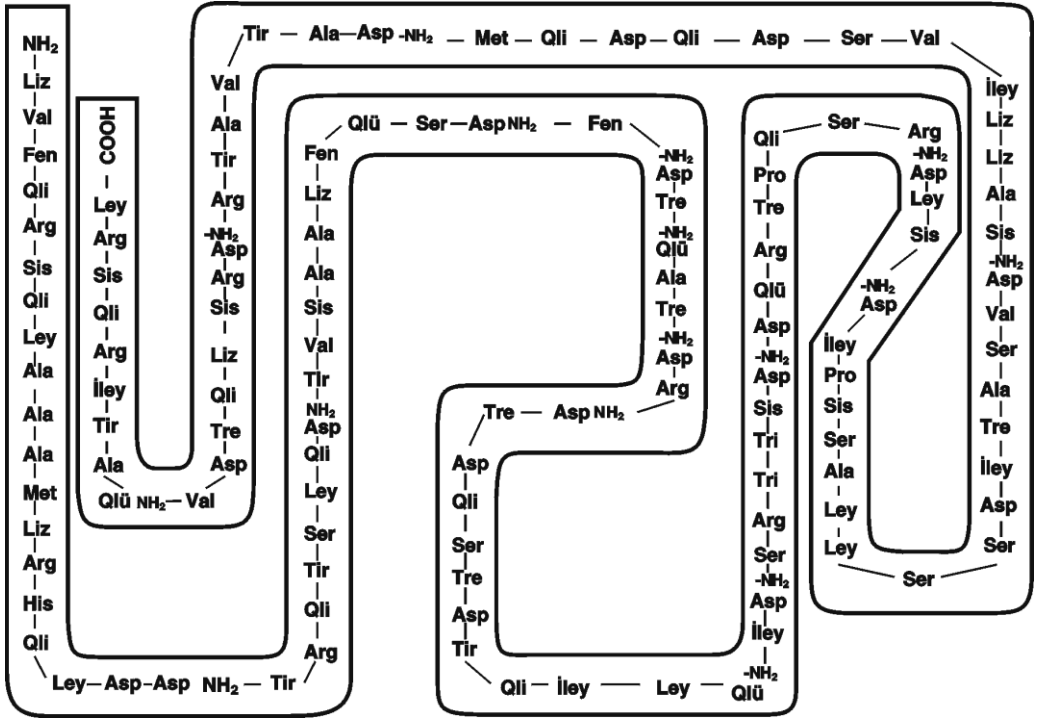
Bəzən polipeptid zəncirinin N-terminal hissəsindəki amin qrupu asetilləşmiş, yəni sirkə turşusu ilə birləşmiş ($H_3C-CO-NH-...$) vəziyyətdə olur. Bir sıra zülal molekullarında isə (bəzi hormonlar, immunqlobinlərin bəzi formaları) N-terminal hissədə piroqlutamin turşusu (pirrolidonkarbon turşusu) yerləşir.

Bunlardan əlavə, bir sıra heyvan, həşərat və mikroorqanizmlərdə formil və ya metil qrupu ilə birləşmiş α -amin qruplarına malik olan zülallar da müşahidə edilir.

Polipeptid zəncirlərində sərbəst karboksil qruplarının modifikasiyaya uğramış formalarına nisbətən az təsadüf edilir. Bəzi peptid strukturlu hormonların sonuncu aminturşu qalıqlarının karboksil qrupları amid törəməsi şəklində olur; belə zülallara arı zəhərinin tərkibində də təsadüf edilir.

Aminturşu qalıqları arasında olan peptid ($-CO-NH-$) rabitələri və disulfid rabitələrinin ($-S-S-$) bir hissəsi zülalların birincili strukturuna daxildir (şəkil 4.4). Aminturşu qalıqları peptid rabitələrinin ətrafında (bir-birinə nisbətən) *trans*- və *sis*- vəziyyətdə yerləşə bilər. Lakin, polipeptid zəncirində olan aminturşu qalıqları çox vaxt bir-birinə nisbətdə *trans*-vəziyyətdə mövqe tutur. Çünki bu forma *sis*- formaya nisbətən davamlıdır.





Şəkil 4.4. Yumurta lizosiminin birincili strukturu

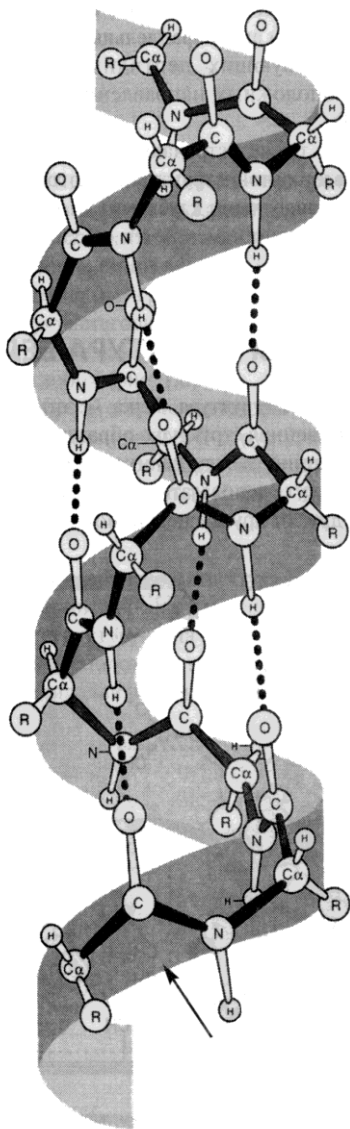
Zülalların bioloji xassələri birincili strukturdan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Uzunluğuna və tərkibindəki aminturşu qalıqlarının sayına görə bir-birinə bərabər olan zülal molekullarının xassələri və orqanizmdə həyata keçirdiyi funksiyalar bir-birindən fərqlənə bilər. Bu, zülalların tərkibindəki aminturşu qalıqlarının növlərinin bir-birindən fərqli olması ilə əlaqədardır.

Müasir dövrdə müxtəlif zülal növlərinin birincili strukturlarını yuxarıda təsvir edilən üsullardan əlavə, onların biosintezini idarə edən məlumat RNT-sinin nukleotid ardıcılığına görə də aydınlaşdırmaq mümkündür. Bundan ötrü genetik kod cədvəllərindən istifadə edilir.

2. Zülalların ikincili strukturu. Zülalları təşkil edən polipeptid zəncirləri aminturşu qalıqlarının funksional kimyəvi qruplarının qarşılıqlı təsiri sayəsində müəyyən üçölçülü fəza quruluşuna malik olur. Buna *zülalların konformasiyası* deyilir. Zülalların konformasiyası onların ikincili və üçüncülü strukturları ilə əlaqədardır.

Zülalın *ikincili strukturu* dedikdə, bir peptid zəncirinin və ya bir-birinin qonşuluğunda yerləşən peptid zəncirlərinin funksional kimyəvi qrupları arasında olan hidrogen rabitələri vasitəsilə yaranan fəza strukturu nəzərdə tutulur. Rentgenstruktur analiz və elektron mikroskopiyası üsullarının tətbiqi sayəsində aydın olmuşdur ki, zülal molekulları əsasən spiralsəkilli struktura malikdir; belə fəza strukturunun əmələ gəlməsi məhz hidrogen rabitələrinin təsiri ilə əlaqədardır. Hidrogen rabitələri müxtəlif peptid qruplarında olan karbonil radikalındakı oksigen atomu ilə amin qrupunun hidrogeni arasında əmələ gəlir. Qeyri-kovalent xarakterli hidrogen rabitəsi adi kimyəvi rabitələrə nisbətən zəif olmasına görə fərqlənir. 1 mol kimyəvi rabitənin parçalanması üçün, növündən

asılı olaraq, 84 kc-dən 8400 kc-yə qədər enerji lazım gəldiyi halda, 1 mol hidrogen rabitəsinin parçalanmasına sərf edilən enerji 6,3 kc-dən artıq deyil. Zülalların ikincili strukturunun yaranmasında hidrogen rabitələrindən başqa, az miqdarda disulfid rabitələri də iştirak edir. Bu rabitələr zülal molekulunun müxtəlif hissələrini bir-birilə birləşdirməklə, onun tsiklik formaya düşməsinə səbəb olurlar.



Şəkil 4.5. Zülalın ikincili strukturunun α -spiral tipi

Zülal molekulalarında polipeptid zəncirlərinin ümumi uzunluğunun orta hesabla 70%-ə qədəri α -spiral şəklində olur; müxtəlif zülallar üçün bu göstərici bir-birindən fərqlənir. Məsələn, hemoqlobin molekulunun α - və β - polipeptid zəncirlərinin ümumi uzunluğunun 75%-ə qədəri, lizosimin uzunluğunun 42%-ə qədəri, pepsinin uzunluğunun isə 30%-ə qədəri spirallaşmış vəziyyətdə olur. Polipeptid zəncirlərinin spiral şəklində olmayan hissələrində digər struktur

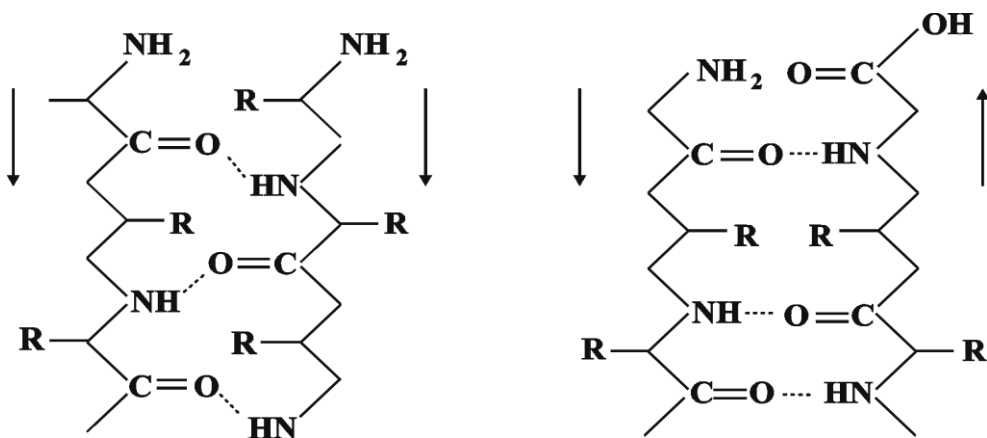
Hidrogen rabitələrinin polipeptid zəncirlərindəki düzülüşünə görə, zülalların ikincili strukturunun 2 tipi ayırd edilir: 1) α -spiral; 2) β -struktur və ya təbəqəli-bükümlü forma. α -S p i r a l strukturunu eyni bir polipeptid zəncirinin molekul daxili hidrogen rabitələri hesabına əmələ gəlir. Bu rabitələr polipeptid zəncirindəki hər bir peptid rabitəsinin karbonil qrupunu onunla qonşuluqda olan 4-cü amin qrupu ilə birləşdirir (şəkil 4.5). Bunun sayəsində polipeptid zənciri burğuya və ya spirala bənzəyən fəza konfigurasiyası əldə edir. Burulmuş polipeptid zəncirinin hər bir dövrəsinə orta hesabla 3,6 aminturşu qalığı düşür. Elektrik pilotəsinin spiralını xatırladan α -spiralın bir-birilə qonşuluqda yerləşən dairələrinin arasındakı məsafə 0,54 nm-ə bərabər olur.

Beləliklə, hər bir aminturşu qalığı zülal molekulunun ümumi boylama oxu ətrafında bir qədər burulmuş vəziyyətdə olur; hər aminturşu qalığının hündürlüyü isə 0,15 nm ($0,54:3,6=0,15$ nm) olur. Bu məlumatdan aydın olur ki, aminturşu qalıqlarının hər biri α -spiralın əmələ gəlməsində bərabər səviyyədə iştirak edir. Zülal molekulalarında α -spiralların hər birinin uzunluğu 2,7 nm olur; bu böyüklükdə α -spiralın əmələ gəlməsində 5 dövrəyə düzülmüş 18 aminturşu qalığı iştirak edir.

törəmələri əmələ gəlir. Bu, aminturşu qalıqlarının xassələri ilə əlaqədardır. Məsələn, prolin qalığında amin qrupu hidrogeni olmadığına görə, bu aminturşu hidrogen rabitəsinə girə bilmir və α -spiral törətmir.

Fırlanma istiqamətinə görə, α -spiralın sağ və sol formaları ola bilər. Bunlardan birincisində spiralın burğuları saat əqrəbi istiqamətində, ikincisində isə onun əksinə olur.

Polipeptid zəncirinin bükülmüş hissələri arasında və bir-birinin qonşuluğunda yerləşən müxtəlif polipeptid zəncirləri arasında əmələ gələn hidrogen rabitələri də zülalların fəza konfigurasiyasının formalaşmasında iştirak edə bilər. Bu üsulla əmələ gələn konformasiyaya β -struktur və ya *təbəqəli-büküşlü struktur* adı verilmişdir. β -Strukturun müxtəlif formaları vardır. Polipeptid zəncirinin bir hissəsinin digərinin üzərinə büküldüyü sahələrdə məhdud ölçülü β -struktur əmələ gəlir; buna qısa β -struktur və ya β -strukturun kross-forması deyilir. Bir-birilə paralel vəziyyətdə yerləşən polipeptid zəncirləri arasında bu zəncirlərin bütün hissələrində növbələnmiş şəkildə olan hidrogen rabitələri sayəsində β -struktur əmələ gələ bilər; buna *tam β -struktur* deyilir. Tam β -strukturun da 2 variantına təsadüf edilir (şəkil 4.6). Eyni istiqamətli iki polipeptid zəncirinin hidrogen rabitələri vasitəsilə birləşməsi nəticəsində yaranan β -struktura paralel β -struktur deyilir. Yəni bu polipeptid zəncirlərinin başlanğıc hissələri (N-terminal hissə) bir istiqamətdə olur. Başlanğıc hissələri əks-istiqamətdə olan polipeptid zəncirlərinin törətdiyi β -struktur isə antiparalel struktur adlanır.



Şəkil 4.6. β -strukturun sxematik təsviri.
a – paralel β -struktur; b – antiparalel β -struktur

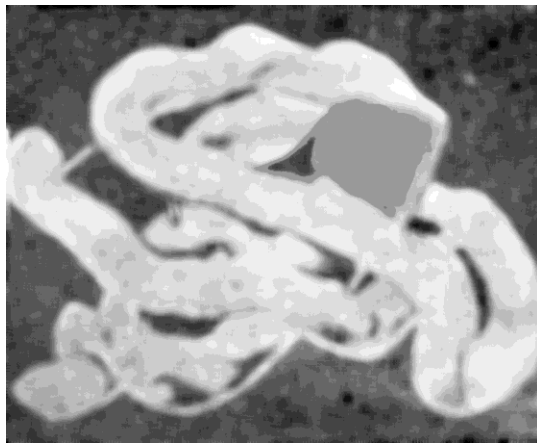
3. Zülalların üçüncülü quruluşu. Yuxarıda göstərildiyi kimi, polipeptid zəncirlərində spirallaşmış və spirallaşmamış hissəciklər bir-birilə növbələnir. Bunun nəticəsində zülal molekulları yumaq və ya kələf forması alır; zülal molekullarının belə fəza strukturu polipeptid zəncirinin bir-birindən uzaqda yerləşən hissələri arasında yaranan molekul daxili rabitələr sayəsində mühafizə edilir. *Zülal molekulunu təşkil edən polipeptid zəncirlərinin müxtəlif hissələri arasındakı rabitələr sayəsində formalaşan nisbi-sabit fəza strukturu üçüncülü*

struktur adlanır.

Zülallar üçüncülü strukturlarına görə 2 qrupa bölünür: 1) *qlobulyar* və 2) *fibrillyar* zülallar.

Qlobulyar zülallar çox vaxt ellips şəklində, fibrillyar zülallar isə uzunsov (çöpçük və ya mil formalı) olur. Çox vaxt qlobulyar zülalların molekullarında α -spiral, fibrillyar zülalda isə β -struktur əlamətləri üstünlük təşkil edir. Lakin bu cəhətdən istisna təşkil edən zülallar da vardır. Məsələn, α -keratin və tropomiozinlər (əzələ zülallarının bir növü) fibrillyar zülallar qrupuna aid olsa da, onların ikincili strukturunda α -spirallar üstünlük təşkil edir. Spirallaşma nəticəsində polipeptid zəncirlərinin uzunluğu təxminən 4 dəfə azalır, üçüncülü strukturun formalaşması isə zülal molekulunun daha da yığcam görünüş və forma əldə etməsinə səbəb olur.

Üçüncülü strukturu tədqiq edilən ilk zülali maddə – kaşalot (dişli balinalar qrupundan olan dəniz heyvanı) mioqlobinidir. Mioqlobin molekulu (nisbi kütləsi 16700) tərkibinə 151 amin-turşu qalığı daxil olan yeganə polipeptid zəncirindən ibarətdir.

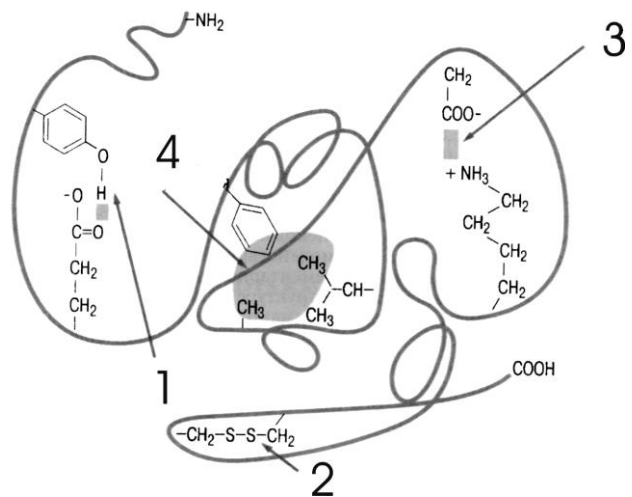


Şəkil 4.7. Mioqlobinin üçüncülü strukturunun modeli

C.Kendryunun apardığı rentgen-struktur analizlərdən aydın olmuşdur ki, mioqlobinin polipeptid zənciri yumağa bənzəyən borucuq şəklində olub, prostetik qrup funksiyası daşıyan hemə sarınmış vəziyyətdədir (şəkil 4.7). Prostetik qrupunun oksigenlə birləşmə qabiliyyətinə malik olması sayəsində, mioqlobin əzələlər üçün ehtiyat oksigen mənbəyi funksiyası daşıyır.

Üçüncülü struktur tam aydınlaşdırılmış zülallara pepsin, tripsin, ximotripsin, lizosim, sitoxrom C, karboanhidraza, aspartatamin-transferaza, insan immunoqlobulinin bəzi fraqmentləri və bir çox digər zülallar aiddir.

Zülalların üçüncülü strukturunun əmələ gəlməsində hidrogen, disulfid, ion rabitələri və molekullarası cazibə qüvvələri (hidrofob qarşılıqlı təsirlər) iştirak edir (şəkil 4.8).



Şəkil 4.8. Zülalların üçüncülü strukturunu sabitləşdirən rabitələr: 1 – hidrogen rabitələri; 2 – disulfid rabitələri; 3 – ion rabitələri; 4 – molekullarası cazibə qüvvələri

Hidrogen rabitələri bir aminturşunun yan zəncirinə daxil olan karboksil qrupunu digər aminturşunun $-NH_2$, $-OH$ və ya $-SH$ radikalları ilə birləşdirir və polyar rabitə xassəsinə malik olur; *disulfid* ($-S-S-$) *rabitələri* polipeptid zəncirinin müxtəlif hissələrində yerləşən sistein qalıqları arasında kovalent əlaqələr yaradır. *İon rabitələri* (və ya elektrostatik rabitələr) lizin, histidin aminturşularının yan zəncirlərində olan yüklü amin hissəcikləri ilə monoamindikarbon turşularının (asparagin və qlutamin turşuları) amin qrupundan uzaqda yerləşən karboksil radikallarını birləşdirir. *Hidrofob xassəli rabitələr* – aminturşuların qeyri-polyar yan zəncirləri arasında olan cazibə qüvvələri (Van-der Vaals qüvvələri) hesabına əmələ gələn rabitələrdir; bunlar alanin, valin, izoleysin, metionin, fenilalanin kimi neytral aminturşuların su mühitində bir-birinə cəzb edilməsi sayəsində əmələ gəlir və aminturşu rabitələrinin bütün digər növlərinə nisbətən zəif olur. Yuxarıda sadalananlardan əlavə, polipeptid zəncirlərinin müxtəlif hissələri arasında nadir hallarda *efir rabitələrinə* də təsadüf edilir; monoamindikarbon turşularının karboksil qrupları ilə hidrok-siaminturşuların (serin, treonin) $-OH$ qrupları arasında efir rabitələri yarana bilər.

Beləliklə, polipeptid zəncirlərinin üçüncü strukturunu onun tərkibindəki aminturşuların yan radikallarının xassələri və bu molekulları əhatə edən mikromühit müəyyənləşdirir. Müasir dövrdə mövcud olan elmi təsəvvürlərə görə, zülalların üçüncü strukturunu peptid zəncirində aminturşuların yerləşmə ardıcılığından əhəmiyyətli dərəcədə asılı olsa da, ribosomda zülal sintezi başa çatdıqdan sonra formalaşır; aminturşuların yan radikallarının su molekulları ilə qarşılıqlı təsiri bu prosesin əsas hərəkətverici qüvvəsidir. Zülal molekulları su mühitində öz tamlıqlarını mühafizə etmək üçün ən az enerji sərf edə biləcək forma almağa çalışır. Buna görə, aminturşu qalıqlarının qeyri-polyar xassəli yan zəncirləri (hidrofob hissəciklər) sanki sudan “gizlənməyə” çalışaraq, molekulun daxili hissəsində mövqe tutur; hidrofil (polyar) hissəciklər isə zülal molekulunun hidrofob nüvəciyini xaricdən əhatə edərək, su molekulları ilə təmasda olur; bu şəraitdə polipeptid zəncirinin müxtəlif hissəcikləri bükülür və üçölçülü fəza konformasiyası əmələ gətirir; zəncirlərin bükülmüş hissələrində spiralşəkilli struktur olmur; bu sahələrdə çox vaxt peptid rabitəsi sahəsində amin qrupu hidrogeninə malik olmayan (və buna görə də hidrogen rabitəsinə girə bilməyən prolin və oksiprolin) və ya yan radikalı çox qısa (yalnız bir hidrogen atomundan ibarət) olan qlisin qalığı yerləşir. Digər aminturşu qalıqları polipeptid zəncirlərinin α - və β - strukturlarının əmələ gəlməsində iştirak edir. Üçüncü fəza konfigurasiyasına malik olan zülalların molekul zəncirlərinin müxtəlif hissələrində α -spiral, β -struktura və qeyri-müəyyən quruluşlu yumaqcıq şəklində olan törəmələrə təsadüf edilir. Bunların müxtəlif nisbətli kombinasiyaları sayəsində zülal molekulu spesifik üçüncü konformasiya əldə edir. Fiziki və kimyəvi amillərin təsiri nəticəsində zülalların spesifik bioloji funksiyalarını itirməsi bu konfigurasiyanın pozulması ilə əlaqədardır.

Peptid zəncirinə 200-dən artıq aminturşu qalığı daxil olan zülal molekullarının fəza strukturunda çox vaxt bir neçə (2 və daha artıq) domen aşkar edilir. Domen qlobulyar zülalın molekulunu təşkil edən polipeptid zəncirinin həmin zəncirin digər hissələrindən asılı olmadan fəza kontormasiyası əmələ

gətirən bölməsi olub, üçüncülü strukturun tərkib hissəsini təşkil edir. Bəzi hallarda polipeptid zəncirinin müxtəlif struktur hissəciklərini də domen adlandırırlar. Zülal molekulunun domenlərini bir-birindən ayırmaq üçün onları bir-birinə birləşdirən düzxətli polipeptiz zənciri hissələrini asanlıqla hidroliz edən proteolitik fermentlərin təsirindən istifadə edilir. Bəzən bu üsulla ayrılan domenlər öz ilkin funksiyalarını saxlaya bilir.

4. Zülalların dördüncülü strukturu. Bəzi zülalların molekulları hər biri ayrılıqda üçüncülü struktura malik olan polipeptid zəncirlərinin birləşmələrindən ibarət olur. Bu birləşmələri təşkil edən polipeptid zəncirləri bir-birilə ion və hidrogen rabitələri vasitəsilə əlaqəli olur; bundan əlavə, həmin polipeptidlər arasında qeyri-polyar hidrofob əlaqələr (Van-der Vaals qüvvələri) sayəsində də rabitə yarana bilər. Belə zülalların quruluşu dördüncülü struktur anlayışı ilə ifadə edilir. Yəni “dördüncülü struktur” adı altında bir neçə polipeptid zəncirinin funksional cəhətdən vahid şəkildə olan zülal molekulunda birləşməsi nəzərdə tutulur. Dördüncülü struktura malik olan zülallara oliqomerlər, onları təşkil edən polipeptid zəncirlərinə isə “protomerlər” və ya “submolekulyar vahidlər” deyilir. Bu zülalların protomerləri öz üçüncülü strukturlarına xas olan əsas konfigurasiyalarını qoruyub saxlayır. Protomerlər bir-birinə yalnız səthlərinin müəyyən hissələri vasitəsilə təsir göstərə bilər. Onların bir-birini qarşılıqlı surətdə “tanınması” molekul strukturlarının komplementarlığı ilə əlaqədardır; protomerlərin biri digərilmə müxtəlif nöqtələrdə birləşir. Buna görə oliqomerlərin tərkibinə “səhvən” başqa strukturlu polipeptid zəncirinin daxil olması qeyri-mümkündür. Oliqomer strukturlu zülalların tərkibindəki submolekulyar vahidlərin (protomerlər) sayı çox vaxt cüt (əsasən 2 və ya 4, bəzi hallarda isə 6 və ya 8 ədəd) olur; onların molekul kütlələri bir-birinə bərabər ola bilər, lakin bu, vacib şərt deyil. Məsələn, hemoqlobinin zülal hissəsi – qlöbin – hər biri ayrılıqda birincili, ikincili və üçüncülü struktura malik olan 4 protomerdən ibarətdir (şəkil 4.9). Bunlardan ikisi α -, ikisi β -polipeptid zənciri adlanır. Hər bir polipeptid zəncirinə hem adlanan 1 ədəd prostetik qrup birləşir.



Şəkil 4.9. Hemoqlobnin dördüncülü strukturu (M.Perutsa görə): bir-birinin eyni olan α -zəncirlər (2 ədəd) açıq, digər 2 zəncir (β -polipeptidlər) isə tünd rəngdə təsvir edilmişdir; N – α -polipeptid zəncirinin amin qrupu sərbəst olan uclarını, C isə həmin polipeptidlərin karboksil qrupu sərbəst olan uclarını göstərir; hər polipeptid zəncirinə 1 ədəd hem birləşmişdir.

Aminturşu qalıqlarının düzülüşünə görə, həm α -zəncirlərinin, həm də β -zəncirlərinin birinə digərinin surəti kimi baxmaq olar; α -zəncirlərin hər biri 141, β -zəncirlərin isə hər biri 146 aminturşu qalığından ibarətdir. Beləliklə, hemoqlobin molekulunun zülal hissəsinə 574 aminturşu qalığı daxildir. M.Perutsun rentgenstruktur analiz üsulu ilə apardığı tədqiqatdan aydın olmuşdur ki, α - və β -polipeptid zəncirləri α -spiral strukturuna (ikincili struktur) malik olan elementlərdən ibarətdir. α -Polipeptid zəncirində 7, β -polipeptid zəncirində isə 8 seqment vardır; seqmentlər bir-birilə spiral strukturuna malik olmayan sahələr vasitəsilə birləşir. Bəzi duzların və ya qatı (8 mol) karbamid məhlulunun təsiri nəticəsində hemoqlobinin α - və β - polipeptid zəncirləri bir-birindən ayrılır (dissosiasiyaya uğrayır). Duzların və ya karbamidin təsiri aradan qaldırıldıqda hemoqlobin molekulunun əvvəlki strukturu bərpa olunur.

İndiyə qədər 1000-ə yaxın zülal növünün oliqomer struktura malik olduğu sübut edilmiş və onların bir hissəsinin dördüncülü strukturu tam müəyyənləşdirilmişdir. Dördüncülü strukturu tam aşkar edilən zülallar arasında laktatdehidrogenaza, fosforilaza A, tütün mozaikası virusunun ribonukleoproteinini və b. zülallar vardır. Bu zülalların strukturunun aydınlaşdırılması həyat proseslərinin anlaşılması və bir sıra xəstəliklərin diaqnostikası üçün böyük əhəmiyyətə malikdir. Məsələn, laktatdehidrogenaza fermentinin strukturunun öyrənilməsi nəticəsində onun izofermentləri arasında olan fərqlər aydınlaşdırılmışdır. Bu izofermentlərin elektroforetik mütəhərriqliyi arasındakı fərqlərdən ürək və qaraciyər xəstəliklərinin diaqnostikasında istifadə edilir.

4.6.4. BƏZİ FİBRİLLYAR ZÜLALLARIN STRUKTURUNUN ƏSAS XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Fibrillyar zülallar həm funksiyalarına, həm də struktur xüsusiyyətlərinə görə qlobulyar zülallardan fərqlənir. Heyvan orqanizmində olan fibrillyar zülalları 2 qrupa bölmək olar.

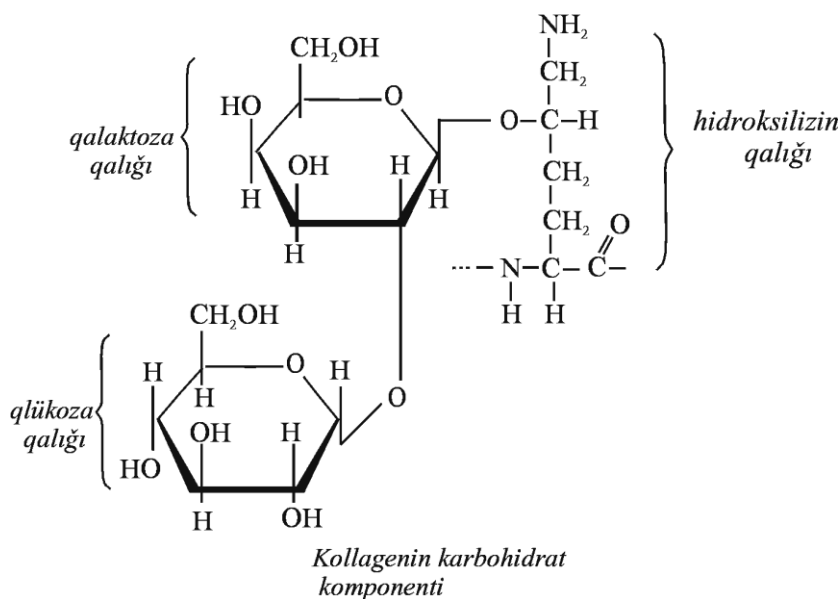
1. Mühafizəedici və plastik (struktur) funksiyaya malik olan fibrillyar zülallar (kollagen, elastin, α -keratin, β -keratin);

2. Əzələ yığılmasında və hüceyrələrin hərəkətində iştirak edən zülallar (miozin, aktin, tubulin).

Fibrillyar zülalların molekulları çox vaxt bir neçə lifdən ibarət olur; bu liflər α -spiral (α -keratinlər, miozin), β -strukturlu təbəqələr (β -keratinlər, fibroin) və ya bir-birinə sarınmaqla xüsusi görkəm almış spirallar (kollagenlər) şəklində ola bilər. İnsan orqanizmində ən geniş yayılmış zülal növü olan kollagen – fibrillyar zülalların ən tipik nümayəndəsidir. Orqanizmdə olan zülalların 1/3 hissəsini məhz kollagen təşkil edir. Vətərlərin, dəridə olan lifli birləşdirici toxumanın, damar divarının, sümüklərin, dişlərin, qığırdaqların tərkibində kollagen olur.

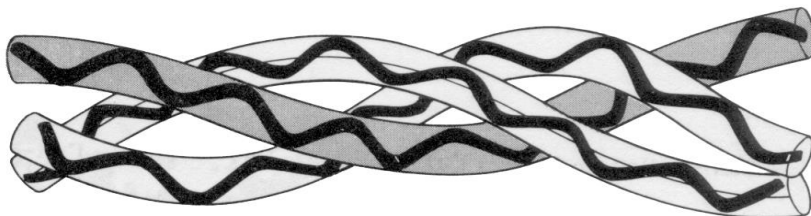
Kollagenin tərkibində olan aminturşu qalıqlarının 1/3 hissəsini qlisin, 25%-ə qədərini isə prolin və hidroksoprolin təşkil edir. Bu zülalın birincili strukturunu (qli-X-Y)_n düsturu ilə ifadə etmək olar. Yəni kollagenin molekul zənciri hərəsi 1 ədəd qlisin qalığından və 2 ədəd hər hansı başqa aminturşunun qalığından ibarət olan tripletlərin birləşməsidir. Bu əlamətlər kollageni bütün

başqa zülallardan fərqləndirir. Müqayisə üçün qeyd edək ki, hemoqlobinin tərkibində qlisin qalığı 5%-ə qədərdir; heç bir başqa zülalın molekulunda kollagendə olan triplet strukturu müşahidə edilməmişdir. Kollagenin tərkibində prolinin miqdarı məlum olan zülalların əksəriyyətindəkinə nisbətən çoxdur. Bundan əlavə, kollagenin tərkibində başqa zülallarda olduqca nadir təsadüf edilən 2 aminturşu – hidroksprolin və hidrosilizin qalıqlarına rast gəlinir. Bunlar biosintezdən sonrakı dövrdə zülal molekulunun tərkibində prolin və lizinin oksidləşməsi nəticəsində əmələ gəlir. Kollagenin tərkibində hidrosilizinlə kovalent rabitə vasitəsilə birləşmiş karbohidrat komponenti olur. Bu, qlükoza və qalaktoza qalıqlarının disaxarid şəklində birləşməsidir. Adı çəkilən karbohidratların hidrosilizin – OH qrupu ilə ardıcıl birləşmə reaksiyaları kollagenin zülal hissəsinin sintezindən sonra qalaktoziltransferaza və qlükoziltransferaza fermentlərinin təsiri altında baş verir. Karbohidrat komponentinin miqdarı toxumanın növündən asılıdır. Məsələn, vətərin tərkibindəki hər tropokollagen molekulunda 6, göz büllurunun tropokollagenində isə 110 karbohidrat komponenti olur.



Kollagen lifli struktura malik olan irimolekullu zülaldır (şəkil 4.10). Kollagen liflərinin submolekulyar vahidləri (protomerləri) tropokollagen adlanır. Tropokollagen molekulı – hər biri spiral şəklində burulmuş sapşəkilli 3 polipeptiddən ibarətdir. Spiralların hər dairəsinə 3 aminturşu qalığı daxil olur. Polipeptid zəncirləri bir-birinə sarınmış şəkildə olur və diametri 1,5 nm, uzunluğu isə 300 nm olan tropokollagen molekulunu təşkil edir. Bunların molekul kütləsi təxminən 300 000-ə bərabərdir. Bir-birinə sarınmış 3 polipeptid zənciri (α -zəncirlər) bərabər uzunluqda olur. Onların hər biri 1000-ə yaxın aminturşu qalığından ibarətdir. Kollagenin növündən və hansı orqanın tərkibinə daxil olmasından asılı olaraq, polipeptid zəncirlərindəki aminturşu qalıqları bir-birinin eyni və ya bir-birindən fərqli ola bilər. Peptid zəncirləri bir-birilə hidrogen rabitələri və kovalent rabitələr vasitəsilə birləşir və bunun

sayəsində molekulun möhkəmliyi təmin edilir; polipeptid zəncirlərində olan lizin, hidrosilizin, allizin və hidrosiallizin qalıqları arasında kovalent rabitələr olur (allizin və hidrosiallizin müvafiq aminturşuların ϵ -amin qruplarının oksidləşməsi nəticəsində əmələ gələn aldehid törəmələridir). Bir polipeptiddə olan aldehid qrupu digər zəncirdə yerləşən lizin və ya oksilizin qalığının ϵ -amin qrupu ilə birləşərək, köndələn istiqamətdə yerləşən aldimin rabitələri (şiff əsasları) əmələ gətirir.



Şəkil 4.10. Kollagenin 3 spiralın birləşməsindən ibarət olan fəza strukturu

Tropokollagen spiralları bir-birilə uc-uca və yan-yana birləşməklə, kollagen molekulunun ikincili və üçüncülü strukturunu formalaşdırırlar.

Tropokollagen molekullarının α -zəncirlərinin növündən asılı olaraq, kollagenin 4 tipi ayırd edilir. α -Zəncirlərin müxtəlif növləri kimyəvi strukturuna görə bir-birindən fərqlənir. Onların α_1 - və α_2 - zəncirlər adlanan 2 qrupu ayırd edilir; α_1 -zəncirlərin isə 4 tipi (I, II, III, IV tiplər) ayırd edilir. Kollagenin birinci tipi iki α_1 (I) və bir α_2 -zəncirdən, ikinci tipi – üç α_1 (II) zəncirdən, üçüncü tipi – üç α_1 (III) zəncirdən, dördüncü tipi – üç α_1 (IV) zəncirdən ibarət olur. Bunlardan – kollagenin birinci tipi canlı təbiətdə daha geniş yayılmışdır; sümüklərdə, dəridə və vətərlərdə kollagenin birinci tipi, qığırdaqda isə – ikinci tipi daha çox olur (bir toxumada müxtəlif kollagen tipləri ola bilər).

Saçın, buynuz toxumasının, dərinin və quş lələklərinin tərkibinə daxil olan α -keratin adlı zülalın molekulunda α -spiral konfigurasiyasına malik 3-7 polipeptid zənciri olur. Hər biri 100-ə qədər aminturşu qalığından ibarət olan bu polipeptidlər bir-birilə disulfid körpüçükləri vasitəsilə birləşir və bir-birinə sarılaq sol istiqamətli superspiral əmələ gətirir; superspirallardan isə diametri təxminən 2 nm olan mikrofibrillər əmələ gəlir. α -Keratinə isti buxarla təsir göstərildikdə polipeptidlər arasındakı hidrogen rabitələri pozulur və belə lifləri dartdıqda onları təşkil edən zülal molekulları β -struktur əldə edir, yəni α -keratin β -keratinə çevrilir. Keratinin birincili strukturunda –*sis*- *sis*-*glu*-*pro*-*ser*- ardıcılığı ilə yerləşmiş 5 aminturşu qalığından ibarət olan struktur vahidi (pentapeptid) təkrarlanır.

İpəyin tərkibinə daxil olan *fibroin* zülalı molekul strukturuna görə β -keratinə bənzəyir. Bu zülalın tərkibi qlisin, serin və alaninlə zəngindir. Keratindən fərqli olaraq, fibroin molekulunda qonşuluqda yerləşən polipeptid zəncirləri antiparalel vəziyyətdə olur (yəni onların N-terminal və C-terminal hissələri bir-birinin əksi istiqamətində olur); zəncirlər arasında disulfid rabitəsi olmur. Fibroinin molekul zənciri –*qli*-*ser*-*qli*-*ala*-*qli*-*ala*- tərkibli heksapeptidin təkrarından ibarətdir.

4.7. ZÜLALLARIN FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİ

Müxtəlif zülal növləri fiziki-kimyəvi xassələrinə görə bir-birindən fərqlənir. Bu fərqlər aşağıdakı amillərlə əlaqədardır: 1) zülal molekullarının müxtəlif formaya və fəza konfigurasiyasına malik olması; 2) zülalların molekul kütlələrinin fərqləri; 3) zülal molekullarının elektrik yüklərinin (aminturşu qalıqlarında olan anion və kation qruplarının) ümumi miqdarının fərqli olması; 4) zülal molekullarının səthi hissəsində polyar və qeyri-polyar aminturşularının bir-birinə nisbəti.

Sadalanən amillər zülalların həllolma qabiliyyəti, zülal məhlulunun özlülüyü, diffuziyaya olduqca zəif uğraması, optik aktivliyi, elektrik sahəsindəki mütəhərrikiyi, məhlullarının osmos təzyiqinin zəif, onkotik təzyiqinin isə yüksək olması kimi mühüm xassələrini müəyyən edir.

Zülallar – hidrofilyar xassəli birləşmələr olduğuna görə, su mühitində şişir və bu zaman onların həcmi dəfələrlə artır. Zülal məhlulunun osmos təzyiqi aşağı, özlülüyü isə yüksək olur. Zülal molekulları nə süni yarımkəçirici zarlardan (sellofan, perqament), nə də bitki və heyvan toxumalarından ibarət olan bioloji membranlardan keçə bilir. Tərkibində olan sərbəst amin və karboksil qrupları zülallara amfoterlik xassəsi verir.

4.7.1. ZÜLAL MOLEKULLARININ FORMALARI

Zülal molekulları formalarına görə 2 qrupa bölünür: 1) *qlobulyar* (latınca: *globulus*–kürə)–kürəşəkilli və ya ellips formalı molekullardan ibarətdir. Bu zülallar suda və zəif duz məhlullarında yaxşı həll olur; 2) *fibrilliyar* zülallar (latınca: *fibrilla* – lif) – molekulları lifə və ya sapa bənzər zülallardır. Bu zülallar suda uzun müddət saxlanıldıqda şişir, lakin həll olmur.

Qan serumunun albumin və qlobulinləri, hemoqlobin, həzm şirəsi fermentləri – qlobulyar, miozin (əzələ zülalı), keratin (buynuz toxumasının zülalı), kollagen və elastin (birləşdirici toxuma zülalları) isə fibrilliyar zülalların nümayəndələridir.

Fibrilliyar və qlobulyar zülallar arasında kəskin sərhəd yoxdur. Çünki, bunlar arasında keçid formalarına da təsadüf edilir. Məsələn, qarğıdalı dəninin tərkibində olan *zein* adlı zülalın molekulları uzunsov olduğuna görə, həm qlobulyar, həm də fibrilliyar zülallara oxşayır; bəzi fibrilliyar zülallar isə (miozin, aktin, fibroin və s.) müəyyən şəraitdə qlobulyar formaya çevrilə bilər.

4.7.2. ZÜLALLARIN MOLEKUL KÜTLƏSİ

Müxtəlif zülalların molekul kütlələri bir-birindən kəskin surətdə fərqlənir. Yuxarıda göstəriləni kimi, zülallar qrupuna peptid zəncirində 50-dən artıq aminturşu qalığı olan maddələr daxildir. Bu əlamətə görə, ən xırda molekullu zülal insulindir. Hormon xassəsinə malik olan bu zülalın molekul zəncirinə 51 aminturşu qalığı daxildir, molekul kütləsi isə 6000-ə yaxındır. Zülalların molekul kütləsi 1 mln və daha artıq olan növləri də vardır. Bir sıra zülal

molekulları nisbi kütləsi 6 minlə 100 min arasında (və ya daha artıq) olan polipeptid zəncirlərinin aqreqatlarından ibarətdir.

Zülalların molekul kütlələrinin təyin edilməsi olduqca çətindir. Çünki, onların molekul kütləsini xırdamolekullu maddələrin tədqiq edildiyi fiziki üsullarla (krioskopiya, ebulioskopiya, məhlulun osmos təzyiqinin dəyişməsinə əsaslanan üsul) müəyyənləşdirmək mümkün deyil. İrimolekullu maddələr olan zülalların ən qatı məhlullarının da molyar konsentrasiyası çox yüksək olmur. Buna görə, onların molekul kütlələrini məhlulun donma temperaturunun fərqiə əsaslanan üsulla (krioskopiya üsulu) müəyyənləşdirmək mümkün deyil. Məhlulun qaynama temperaturuna əsaslanan üsulu (ebulioskopiya) tətbiq etmək isə daha çətindir. Çünki zülalların əksəriyyəti suyun qaynama temperaturundan xeyli aşağı temperaturda denaturasiyaya uğrayır (laxtalanır).

Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar olaraq, zülalların molekul kütləsini müəyyənləşdirmək üçün başqa üsullar təklif edilmişdir. Müasir dövrdə öz əvvəlki əhəmiyyətini itirmiş (yalnız tarixi əhəmiyyət kəsb edən) belə üsullardan biri zülalın tərkibində olan metalların miqdarına əsaslanırdı və minimal molekul kütləsini təyin etmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilirdi:

$$M.K. = \frac{\left[\frac{\text{Zülalın tərkibində olan}}{\text{metallın atom kütləsi}} \right] \times 100}{\text{Zülalın tərkibində olan}} \\ \text{metallın faizlə miqdarı}$$

Hemoqlobinin tərkibində 0,355% dəmir olduğunu nəzərə alsaq, bu üsul vasitəsilə aparılan hesablamada zamanı onun molekul kütləsinin 16700-ə bərabər olduğu haqqında nəticə çıxara bilərik:

$$\frac{55,85 \cdot 100}{0,355} = 16700$$

Lakin sonralar təklif edilən daha etibarlı tədqiqat üsullarının tətbiqi sayəsində aydın olmuşdur ki, hemoqlobinin molekul kütləsi yuxarıdakı üsulla hesablamadan alınan nəticədən təxminən 4 dəfə artıqdır (64450). Buradan aydın olur ki, hemoqlobin molekulu hər birinin tərkibinə 1 ədəd dəmir atomu daxil olan 4 submolekulyar vahiddən (protomerdən) ibarətdir.

Zülalların molekul kütləsini müəyyənləşdirmək üçün 1925-ci ildə İsveç alimi T.Svedberq yeni bir üsul təklif etmişdir. *Sedimentasiya analiz* adlanan bu üsul irimolekullu maddə molekullarını ultrasentrifuqada çox yüksək sürətlə (80000 dövr/dəq. və daha artıq) fırlatdıqda, onların hissəciklərinin forma və kütlələrindən asılı olaraq, müxtəlif sürətlə hərəkət etməsinə əsaslanır. Sedimentasiya sürətini təyin etmək üçün həlledicinin və zülalın optik xassələrini qeyd edən xüsusi cihazdan istifadə edilir. Zülal hissəciklərinin sedimentasiya əmsalı onların kütləsindən və formasından asılıdır. Sedimentasiya əmsalı (S) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$S = \frac{v}{\omega^2 \cdot r}$$

Burada v – həlledici ilə zülalın sərhədinin dəyişmə sürətini (sm/san. ilə), ω – sentrifuqanın hərəkətinin bucaq sürətini (rad/san-lərlə), r isə fırlanma radiusunu (sentrifuqanın mərkəzindən içərisində məhlul olan sınaq şüşəsinin yerləşdirildiyi “yuvacığın” mərkəzinə qədər olan məsafəni (santimetrlərlə) ifadə edir. Sedimentasiya sürəti saniyələrlə ifadə edilir. Bu göstəricini ifadə edən $1 \cdot 10^{-13}$ saniyəlik müddət 1 sedimentasiya vahidi hesab edilir; sedimentasiya vahidinə Svedberqin adı verilmişdir. Sedimentasiya əmsalı müəyyənləşdirildikdən sonra məhlulda olan zülalın molekulyar kütləsi (M) digər göstəricilərə (həlledicinin və zülalın sıxlığı, diffuziya əmsalı, zülal molekulyar həcmi və s.) görə aşağıdakı düstur vasitəsilə hesablanır:

$$M = \frac{R \cdot T \cdot S}{D(1 - \bar{V}\rho)}$$

Burada R – qaz sabiti [erq/(mol.dərəcə)]; T – mütləq temperatur (Kelvin şkalası üzrə); S – sedimentasiya sürəti; ρ – həlledicinin sıxlığı; \bar{V} – zülal molekulyar həcminin parsial xüsusi həcmi; D isə diffuziya əmsalıdır.

Son vaxtlarda zülalların molekulyar kütləsini müəyyənləşdirmək üçün nisbətən sadə üsullardan istifadə edilir. Bu üsullar xromatoqrafiya və elektroforez vasitəsilə aparılan tədqiqata əsaslanır. Sedimentasiya analiz üsulundan fərqli olaraq, xromatoqrafiya və elektroforez üsulları az vaxt tələb edir və onları aparmaq üçün çox qiymətli cihazlara ehtiyac yoxdur.

Yuxarıda adı çəkilən tədqiqat üsullarının hər birinin özünəməxsus mənfi cəhətləri vardır. Buna görə dəqiq nəticə almaq üçün çox vaxt bu üsullardan birlikdə istifadə etmək lazım gəlir.

4.7.3. ZÜLALLARIN HƏLLOLMA QABİLİYYƏTİ

Zülallar suda, duz məhlullarında və bəzi üzvi həlledicilərin sulu məhlullarında (məsələn, spirt məhlulunda) həll olur. Hidrofil xassəli maddələr olan zülallar quru halda suya salındıqda əvvəlcə şişir və yalnız bundan sonra tədricən məhlul əmələ gətirir. Şişmə zamanı su molekulları zülalların polyar xassəli kimyəvi rabitələri ilə birləşir. Bundan sonra suyun artıq qalan hissəsi zülal molekullarını bir-birindən ayırır və məhlula keçirir. Lakin bəzi zülallar suyun təsiri nəticəsində kifayət qədər şişsələr də, həll olmur. Məsələn, suda uzun müddət saxlanılan kollagen böyük miqdarda su qəbul edərək, şişmiş vəziyyətdə qalır. Tərkibində kollagen olan ərzaq maddələrini uzun müddət qaynatdıqda zülalın polipeptid zəncirləri arasındakı rabitələr qırılır və sərbəst hala düşən polipeptidlər məhlula keçir. Bu zaman kollagen molekulları qismən hidrolizə uğrayır; nəticədə həll olan kollagen əmələ gəlir. Kollagenin qaynadılma zamanı həll olan fraksiyası *jelatin* adlanır. Jelatinin qatı məhlulları 40°C-dən aşağı temperaturda həlməşikşəkilli kütlə əmələ gətirir. Kollagen zülalının adı da onun denaturasiya məhsulu olan jelatinin yapışqana bənzəməsi ilə əlaqədardır (yunanca: *kolla* – yapışqan + *gennao* – yaratmaq). Bu xassəsinə görə, jelatindən damar protezləri və yaraların müalicəsində istifadə edilən lövhəciklər, əczaçılıq sənayesində isə dərman kapsulları hazırlanır.

Zülallar hidrofil kolloidlər olduqlarına görə, onların məhlulları kolloid məhlullara xas olan bir sıra xassələrə malikdir. Məsələn, zülal məhlulundan ensiz işıq şüası keçirdikdə şüanın məhlul içərisindəki yolu, kolloid hissəciklərin işığı səpələməsi nəticəsində, aydın görünür (*Tindal hadisəsi*); həqiqi məhlullarda isə bu hadisə müşahidə edilmir.

Müxtəlif zülalların həllolma qabiliyyəti bir-birindən fərqlənir. Bu, zülal molekulunun tərkibində olan aminturşuların xarakterindən, zülalın strukturdan və b. amillərdən asılıdır. Məsələn, tərkibində polyar xassəli aminturşu qalıqlarının miqdarı çox olan zülallar yaxşı, qeyri-polyar aminturşuları çox olan zülallar isə zəif həll olur; qlobulyar zülalların həllolma qabiliyyəti fibrilyar zülallarınkına nisbətən yüksəkdir. Albuminlər zəif duz məhlullarında, prolaminlər (bitki zülalları) 60-80%-li spirt məhlulunda həll olur, kollagen və keratin isə heç bir həlledicidə həll olmur.

Zülal hissəciklərinin davamlı kolloid məhlul şəklində olmasında onların ion yükünün və hidratlaşma qabiliyyətinin böyük rolu vardır. Hər bir zülal molekulu polyar kimyəvi radikallarının dissosiasiyaya uğraması sayəsində müəyyən elektrik yükü əldə edir və eyni yüklü hissəciklər bir-birini dəf etdiyinə görə, məhlulda qalır. Buna görə, molekulun ion yükünün və su qışasının saxlanması şərait yaradan amillər zülalların həll olmasını asanlaşdırır.

Zülal molekullarının ion yükü ilə hidratlaşma qabiliyyəti arasında mütənəsiblik vardır. Yəni zülalın tərkibində polyar aminturşular nə qədər çox olarsa, onun hidratlaşma qabiliyyəti də bir o qədər çox olur. Lakin bəzi zülalların (məsələn, kollagenin) hidratlaşma qabiliyyəti yüksək olduğu halda, həllolma qabiliyyəti zəif olur.

Zülalların həllolma qabiliyyəti ilə $m \cdot u \cdot h \cdot i \cdot t \cdot i \cdot n \cdot p \cdot H$ -ı arasında asılılıq vardır; mühitin pH-ı zülalın elektrik yükünə təsir göstərməklə, həllolma qabiliyyətini də dəyişikliyə uğradır. Buna görə, izoelektrik (yəni molekulundakı mənfə və müsbət yüklü radikalların sayı bərabər olan) vəziyyətdə zülalın həllolma qabiliyyəti minimal səviyyəyə enir. Çünki bu şəraitdə zülal molekulları bir-birinə asanlıqla yaxınlaşır və birləşib, çöküntüyə keçir.

Neytral duzların zəif qatılıqlı məhlullarında zülallar yaxşı həll olur. Bu şəraitdə bəzən təmiz suda həll olmayan zülallar da (məsələn, euqlobulinlər) həll olur. Çünki, duz ionları zülal molekullarının əks-ışarəli radikallarına təsir göstərərək, onlar arasında körpücük əmələ gəlməsinin qarşısını alır. Lakin məhlulda duzların qatılığının artması zülalların həllolma qabiliyyətinə əks-istiqamətli təsir göstərir. Bundan əlavə, müxtəlif duzların zülallara göstərdiyi çökdürücü təsirin intensivliyi arasında fərq vardır; bu, həmin duzların anion və kationlarının hidratlaşmış zülallara göstərdiyi suxarıcı təsirin (hiqroskopik aktivliyin) fərqli olması ilə əlaqədardır. Beləliklə, hiqroskopik maddələrin zülallara çökdürücü təsiri onların hidratlaşmış zülalları dehidratasiyaya uğratması ilə izah edilir. Duz məhlullarından başqa, üzvi həlledicilər də (spirt, aseton və s.) zülallara hiqroskopik təsir göstərir.

Müxtəlif zülalları çökdürmək üçün müxtəlif miqdarda hiqroskopik maddədən istifadə edilməlidir. Məsələn, qan serumu zülallarının qlobulin fraksiyası neytral duzların yarımdoymuş məhlullarının təsiri nəticəsində çökdüyü halda, albuminlər yalnız məhlulda duzun qatılığı doyma səviyyəsinə çatdıqda çökün-

tüyə keçir. Zülal çöküntüsünü hiqroskopik maddədən ayırdıqdan sonra yenidən suda həll etmək mümkündür.

Zülalların neytral duz məhlulları vasitəsilə çökdürülməsinə *duzlaşdırılma* deyilir. Adətən anionların çökdürücülük qabiliyyəti daha yüksək olur. *Anion və kationların zülallara duzlaşdırıcı təsirinin (hiqroskopik aktivliyinin) yüksəkliyinə əsaslanan düzülüşünə liotrop sıra (Hofmeyster sırası) deyilir.* Əsas anion və kationların liotrop sırası aşağıdakı kimidir:

Anionlar üçün: $\text{SO}_4^{2+} > \text{F}^- > [\text{sitrat}]^{3-} > [\text{tartrat}]^{2-} > [\text{asetat}]^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{Br}^- > \text{J}^- > \text{CNS}^-$

Kationlar üçün: $\text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$

4.7.4. ZÜLALLARIN OPTİK XASSƏLƏRİ

Zülallar – optik-fəal maddələrdir. Bu xassə həm zülalların tərkibində olan aminturşu qalıqlarından, həm də polipeptid zəncirlərinin spesifik spirallabənzər strukturundan asılıdır. Kimyəvi cəhətdən təmiz halda olan bütün zülallar polyarizasiya müstəvisini müəyyən dərəcədə sola fırladır. Zülalların optik fəallığı mühitin pH-dan asılı olaraq dəyişir; lakin izoelektrik nöqtəsində hər bir zülal növünün optik fəallığı sabit kəmiyyətdir. Hidrogen rabitələri pozulduqda (məsələn, denaturasiya zamanı) zülalların optik fəallığı kəskin dəyişikliyə uğrayır.

Zülal məhlulları *opalessensiyaedici* xassəyə malikdir. Yəni bu məhlullara bir tərəfdən işıq şüası düşdükdə məhlulun içərisində konus və ya zolaqşəkilli işıqlanan sahə görünür. *Tindal effekti* adlanan bu əlamət zülalların qatı məhlulları üçün səciyyəvidir. Tindal hadisəsinin mexanizmi belə izah edilir: zülal molekullarının ölçüləri işıq şüalarının dalğa uzunluğundan artıq olduğuna görə, onlar, kiçik güzgülər kimi, işıq şüalarını müxtəlif istiqamətlərdə səpələyirlər. Bunun sayəsində məhlulun içərisində işığın keçdiyi yol görünür. Məhlulda olan zülalların işıq şüalarını səpələməsindən onların miqdarını müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilir. Bu prinsipə əsaslanan miqdari analiz metodu **nefelometriya** adlanır: məhlulun işıq şüalarını nə dərəcədə səpələdiyini xüsusi cihaz (nefelometr) vasitəsilə ölçüb, alınan nəticəni standart məhlulun nefelometrik göstəricisi ilə müqayisə edirlər.

Bütün zülallar spektrofotometriya zamanı ultrabənövşəyi şüaların dalğa uzunluğunun 3 zonasına uyğun gələn dalğaları udur. Uzunluğu 250 nm-dən 280 nm-ə qədər olan şüaların udulması zülalların tərkibində olan aromatik aminturşularla (fenilalanin, tirozin, triptofan) əlaqədardır. Zülalların tərkibində aromatik aminturşu qalıqlarından əlavə, atsiklik aminturşu qalıqlarının, hidrogen rabitələrinin və α -spiral strukturlarının olması sayəsində, 210-250 nm uzunluqlu dalğalar udulur; 190 nm-ə yaxın zonada dalğaların udulması isə əsasən zülallarda olan peptid rabitələri ilə əlaqədardır. Sonuncu zonada şüaların udulma intensivliyi α -spiralların miqdarından asılı olaraq dəyişikliyə uğrayır.

Zülalların miqdari analizi üçün istifadə edilən spektrofotometriya metodu onların ultrabənövşəyi şüalara göstərdiyi uducu təsirə əsaslanır. Bu tədqiqat zamanı uzunluğu 280 nm olan işıq dalğalarının udulma intensivliyi ölçülür və

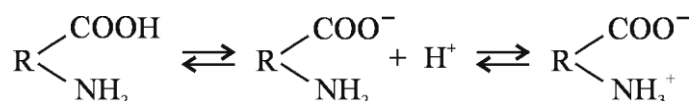
alınan nəticəyə görə, məhlulda zülalın miqdarı haqqında nəticə çıxarılır. Lakin bu üsulun dəqiqlik səviyyəsi o qədər də yüksək deyil. Çünki ultrabənövşəyi şüaları əsasən triptofan və tirozin qalıqları udur; onların miqdarı isə müxtəlif zülalların tərkibində böyük həddə fərqli ola bilər. Zülalları spektrofotometriya üsulu ilə tədqiq edərkən spektrofotometrin 280 nm-lik zonasında 1 optik sıxlıq vahidi (küvetin qalınlığı 1 sm olan şəraitdə) şərti olaraq 1mq/ml zülala ekvivalent hesab edilir. Bu metod tam dəqiq olmasa da, müasir dövrdə geniş tətbiq edilir. Çünki, spektrofotometriya kifayət qədər sadə tədqiqat üsuludur, olduqca az vaxt tələb edir və bu üsulla aparılan tədqiqat zamanı bioloji material dəyişikliyə uğramadığına görə, ondan başqa analizlər üçün də istifadə etmək mümkündür.

Zülal məhlulları həm də flüoressensiyaedici xassəyə malikdir. Yəni onlar elektronların həyəcanlanmış vəziyyətdən adi vəziyyətə keçməsi zamanı kvant şüaları buraxır. Zülalların bu xassəsindən flüoressent spektroskopiya üsulunda istifadə edilir. Flüoressensiya spektri həmişə yerini uzundalğalı şüaların udulma spektrinə nisbətən dəyişmiş vəziyyətdə olur. Çünki, elektronlar həyəcanlanmış vəziyyətdən adi vəziyyətə keçərkən molekullar enerji itirir. Zülalların flüoressensiyası əsasən triptofan, tirozin və fenilalanin qalıqlarının xassələri ilə əlaqədardır. Lakin mürəkkəb zülalların tərkibində başqa flüoressensiyaedici maddələr də ola bilər.

4.7.5. ZÜLALLARIN AMFOTERLİYİ VƏ İZOELEKTRİK NÖQTƏSİ

Zülal molekullarında olan əks-işarəli funksional qruplar onlara amfoterlik xassəsi verir. Polipeptid zəncirinin uc hissələrində yerləşən amin və karboksil qrupları, asparagin və qlutamin turşularının peptid rabitəsinə sərf edilməyən – COOH qrupu, lizinin ε-amin qrupu, arginin molekulundakı quanidin radikalı bunlara misal ola bilər.

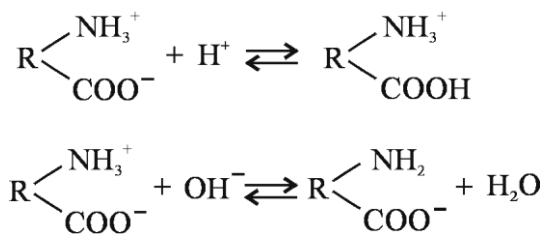
Zülal molekulunda sərbəst karboksil qruplarının dissosiasiyası nəticəsində əmələ gələn hidrogen ionları amin qrupları ilə birləşib, müsbət yüklü hissəciklər əmələ gətirir. Bunun nəticəsində zülal molekulu həm mənfi, həm də müsbət yüklü radikallara malik olur, yəni amfionlara (amfoter hissəciklərə) çevrilir və kimyəvi reaksiyalarda həm turşu, həm də qələvi kimi iştirak etmək imkanı əldə edir.



Amfionlar turş mühitdə qələvilərə, qələvi mühitdə isə turşulara xas olan reaksiyalara girə bilər. Turş mühitdə hidrogen ionlarının artıq hissəsi amfionların karboksil qrupları ilə birləşib, müsbət yüklü hissəciklər (kationlar) əmələ gətirir; qələvi mühitdə isə hidrosil (-OH) ionlarının artıq hissəsi amfionlarla reaksiyaya girərək, onları aniona (mənfi yüklü hissəciyə) çevirir.

Bütün elektrolitlər kimi, zülal məhlullarından da elektrik cərəyanı keçirildikdə, burada olan yüklü hissəciklər müəyyən bir elektroda doğru hərəkət edir. Zülalların elektrik sahəsindəki hərəkətinin istiqaməti mühitin reaksiyasından

asilidir: amfoter elektrolit olan zülal hissəcikləri turş mühitdə katoda, qələvi mühitdə isə anoda doğru hərəkət edir.



Zülal molekulunda mənfi və müsbət yüklənmiş hissəciklərin sayı bir-birinə bərabər olduqda (yəni zülalın elektroneytral vəziyyətində) onun elektrik sahəsindəki hərəkəti dayanır. Bütün amfoter birləşmələr kimi, zülal hissəciklərinin də elektroneytral vəziyyəti mühitin pH-nın səviyyəsindən asılıdır; pH-ın müəyyən bir qiymətində zülal molekulunda olan mənfi və müsbət hissəciklərin sayı bir-birinə bərabərləşir, yəni zülalın izoelektrik səviyyəsinə müvafiq gələn pH-ın qiyməti həmin zülalda olan sərbəst amin və karboksil qruplarının sayından asılıdır.

İzoelektrik sahəsində zülal hissəciklərinin hərəkətinin dayanmasına şərait yaradan mühitin pH-ı izoelektrik nöqtəsi adlanır.

Yuxarıdakı izahatdan aydın olur ki, sərbəst karboksil və amin qruplarının sayı bərabər olan zülalların izoelektrik nöqtəsi neytral mühitə (pH=7,0) uyğun gəlməlidir. Suda həll olan zülalların əksəriyyətinin izoelektrik nöqtəsi zəif turş mühitin pH-na (pH=4-6,9) müvafiqdir (cədvəl 4.10). Lakin bəzi zülallar müstəsnaqlıq təşkil edir. Məsələn, pepsinin izoelektrik nöqtəsi pH=1,0-dir. Lizosim, ximotripsin, sitoxrom C, ribonukleaza və protaminin izoelektrik nöqtəsi isə qələvi mühitə müvafiqdir.

Cədvəl 4.10

Bəzi zülalların izoelektrik nöqtəsi

Zülalın adı	İzoelektrik nöqtəsi (pH)	Zülalın adı	İzoelektrik nöqtəsi (pH)
Pepsin	1,0	Ximotripsin	8,1
α-kazein	4,1	Ribonukleaza	9,45
β-kazein	5,9	Ximotripsinogen	9,0
β-laktoqlobulin	5,1	Lizosim	10,5
Prolaktin	5,7	Sitoxrom C	10,65
Fosforilaza	5,8	Yumurta albumini	4,8
Hemoqlobin	6,7	Qan serumu qlobulini	5,4
Qlobin	7,5		

4.7.6. ZÜLALLARIN DENATURASIYASI VƏ RENATİVASIYASI

Zülallara molekulların struktur mütəşəkkilliyinin yüksək səviyyəsini (ikincili, üçüncülü və dördüncülü strukturları) pozan müxtəlif amillər vasitəsilə təsir edildikdə onlar öz ilkin (təbii, nativ) xassələrini itirirlər. Bu dəyişiklik *d e n a t u r a s i y a* adlanır.

Denaturasiya zülalların əsas xassələrindən biridir. Bu proses zülalları bütün üzvi maddələrdən (o cümlədən aminturşulardan və xırdamolekullu peptidlərdən) fərqləndirir. Denaturasiya zamanı zülalların spesifik bioloji fəallığı azalır; həllolma qabiliyyəti, optik fəallığı, molekul konfigurasiyası, adsorbsiyə aetmə xassəsi dəyişikliyə uğrayır; ilkin zülal molekulunda rabitəli vəziyyətdə olan bəzi kimyəvi qruplar (məsələn, -SH və imidazol qrupları, tirozinin -OH qrupu, peptid rabitələrinə sərf edilməyən karboksil və amin qrupları) sərbəst hala keçir.

Zülalları denaturasiyaya uğradan amillər, fiziki və kimyəvi olmaqla, 2 qrupa bölünür. Fiziki amillərə temperatur, təzyiq (5000 atmosferə qədər), rentgen şüaları, ultrabənövşəyi və radioaktiv şüalar, kimyəvi amillərə isə turş və qələvi mühit (H^+ və OH^- ionları), üzvi həlledicilər (aseton, spirt, karbamid), ağır metal duzları, detergentlər (yuyucu vasitələr), alkaloidlər və s. aiddir.

Müxtəlif denaturasiyaedici amillərin təsir mexanizmi bir-birindən fərqlənir. Lakin bütün hallarda denaturasiya zamanı zülal molekulunda baş verən əsas dəyişikliklər hidrogen rabitələrinin qırılması ilə əlaqədar olur. Qızdırılma (yüksək temperaturun təsiri) vasitəsilə aparılan denaturasiya zamanı zülalların əksəriyyəti laxtalanır (koaqulyasiyaya uğrayır) və çöküntüyə keçir. Lakin bəzi zülallar yüksək temperatura qarşı davamlı olmalarına görə fərqlənir. Bunlara tripsin, ximotripsin, lizosim və bioloji membranlarda olan bəzi zülallar aiddir. İsti bulaqlarda yaşayan bakteriyaların (termitlər) zülalları yüksək temperaturun təsirinə xüsusilə davamlı olmalarına görə fərqlənir. Görünür, bəzi zülalların, temperatur təsirinə qarşı davamlılığı qızdırılma zamanı onların polipeptid zəncirlərində törənən istilik hərəkətlərinin molekul daxili rabitələri pozmağa kifayət etməməsi ilə əlaqədardır. Adətən zülallar 70-100°C-yə qədər qızdırıldıqda denaturasiyaya uğrayaraq, çöküntü əmələ gətirir. Lakin bəzən zülallar denaturasiyadan sonra da məhlulda qala bilir. Məsələn, qan serumunun zülalları turş və qələvi mühitdə qızdırıldıqda çöküntü vermir, lakin belə məhlul neytrallaşdırıldıqdan sonra çöküntü əmələ gəlir.

Karbamid və qvanidin-xlorid hidrogen rabitələri əmələ gətirməyə meylli olduğuna görə, zülal molekulundakı hidrogen rabitələrini asanlıqla qırır. Temperatur yüksəldikcə bu maddələrin denaturasiyaedirici təsiri qüvvətlənir. Çünki, yüksək temperatur şəraitində su molekulaları da hidrogen rabitələrinə dağıdıcı təsir göstərir. Turşu və qələvilər (H^+ və OH^- ionları) zülal molekulalarında olan ion rabitələrini parçalamaqla, denaturasiya törədir. Zülalların əksəriyyəti pH-ı 3-dən aşağı və 10-dan yuxarı olan mühitdə denaturasiyaya uğrayır. Lakin bəzi zülallar bu baxımdan müstəsna təşkil edir. Məsələn, pepsin pH-ı 1,0-ə bərabər olan mühitdə davamlı olsa da, mühitin pH-ı 6,0-dan çox olduqda denaturasiyaya uğrayır.

Denaturasiya zamanı zülalların birincili quruluşunda dəyişiklik olmur. Bunu nəzərə alaraq, denaturasiyaya belə tərif vermək olar: - *“Zülalların birincili strukturunun (yəni molekul zəncirində aminturşu ardıcılığının saxlanması şərtilə) ikincili, üçüncülü və dördüncülü strukturunda törənən hər bir dəyişiklik denaturasiya adlanır”*. Adətən denaturasiya zamanı zülalların üçüncülü strukturu daha çox dəyişikliyə uğrayır.

Denaturasiyaya uğramış zülalların rəngdəyişmə reaksiyaları təbii zülalların

eyni reaksiyalarına nisbətən intensiv olur. Bu, denaturasiya zamanı zülal molekullarında bəzi kimyəvi qrupların (-SH, -OH, imidazol, qvanidin və s.) rəbitəli vəziyyətdən sərbəst hala keçməsi ilə əlaqədardır.

Denaturasiya uzun müddət geriyə dönməyən proses hesab edilirdi. Lakin təcrübələr göstərmişdir ki, bəzi hallarda denaturasiyaetdirici amilin təsiri aradan qaldırıldıqda zülalın ilkin (nativ) vəziyyəti bərpa oluna bilər. Buna xüsusən denaturasiyanın ilk mərhələlərində nail olmaq mümkündür. Denaturasiyaya uğramış zülalın fiziki-kimyəvi və bioloji xassələrinin bərpa olunması *renaturasiya* (və ya *renativasiya*) adlanır. Pepsinin qələvi mühitdə, tripsinin isə turş mühitdə denaturasiyasını mühitin pH-nı ilkin vəziyyətə qaytarmaqla, geriyə döndərmək mümkündür.

Zülalın molekulu kiçik olduqca, denaturasiyaetdirici amillərin təsirinə qarşı davamlılığı artır. Buna görə qlobulyar zülallar denaturasiyaya fibrillyar zülallara nisbətən çətinliklə uğrayır.

4.7.7. ZÜLALLARIN RƏNGDƏYİŞMƏ VƏ ÇÖKDÜRMƏ REAKSİYALARI

Zülalların kimyəvi xassələrini xarakterizə edən bir sıra reaksiyalar məhlulun rənginin dəyişməsi ilə və ya reaksiya məhsulunun çöküntüyə keçməsi ilə nəticələnir. Belə reaksiyalardan bioloji materialda (məsələn, sidikdə) zülalın olub-olmadığını müəyyənləşdirmək məqsədilə istifadə edilir. Haqqında bəhs edilən reaksiyaların əksəriyyəti aminturşular üçün də səciyyəvidir, onların bir hissəsindən isə zülal molekullarının uc tərəfində yerləşən aminturşuları müəyyənləşdirmək üçün istifadə edilir. Onlar haqqında “Aminturşuların kimyəvi xassələri” və “Zülal molekulunda aminturşu ardıcılığının müəyyənləşdirilməsi” bəhslərində ətraflı məlumat verilmişdir. Buna görə, həmin reaksiyaların zülalların vəsfi analizi zamanı istifadə edilən növlərini qısa şəkildə şərh edirik.

1. Biuret reaksiyası (Piotrovski reaksiyası). Bu reaksiyanı tərkibində peptid rəbitəsi olan bütün maddələrlə aparmaq mümkündür. Zülallar da molekul zəncirlərində olan peptid (-CO-NH-) rəbitələri sayəsində biuret reaksiyasına girə bilər. Yəni qələvi mühitdə hazırlanmış zülal məhluluna bir neçə damcı CuSO_4 məhlulu əlavə edildikdə bənövşəyi və ya qırmızı-bənövşəyi rəng alınır.

2. Ninhidrin reaksiyası (Ruemann reaksiyası). Ninhidrinin sərbəst aminturşularla və zülallarla reaksiyası zamanı məhlul göy rəngə boyanır. Bu reaksiya bütün zülallarla və tərkibində ən azı 1 aminturşu qalığı və 1 karboksil qrupu olan bütün birləşmələrlə müsbət nəticə verir. Beləliklə, ninhidrin və biuret reaksiyaları təkcə zülallar üçün spesifik olan reaksiyalar deyil.

3. Ksantoprotein reaksiyası. Bu reaksiya zülalların tərkibində olan (aromatik aminturşu) tirozin, fenilalanin və triptofan qalıqlarının xassələri ilə əlaqədardır: zülal məhlulu qatı nitrat turşusu ilə qarışdırıldıqda çöküntü əmələ gəlir; bu çöküntü qızdırıldıqda yenidən həll olur və məhlul sarı rəngə boyanır. Məhlula qələvi əlavə edildikdə sarı rəng narıncı rənglə əvəz olunur. Reaksiya zamanı yuxarıda adı çəkilən tsiklik aminturşu qalıqları aromatik nitrobir-

ləşmələrə çevrilir. Üzərinə nitrat turşusu tökülmüş dəridə də sarı ləkələrin əmələ gəlməsi ksantoprotein reaksiyası ilə əlaqədardır.

4. Millon reaksiyası. Bu, tirozin molekulunun fenol qalığı üçün spesifik olan reaksiyadır: zülal məhluluna Millon reaktivi (civənin bir və ikivalentli nitrit və nitrat duzlarının nitrat turşusu məhlulu ilə qarışığı) əlavə edilərək, qızdırıldıqda məhlul qırmızı-kərpici rəng alır.

5. Hopkins-Adamkeviç reaksiyası. Bu reaksiya mürəkkəb maddələrin tərkibində indol qrupunun olmasından asılıdır və buna görə tərkibində triptofan qalığı olan zülallar üçün spesifikdir. Reaksiyanı aparmaq üçün zülal məhlulunu qlioksil turşusu ilə qarışdırıb, üzərinə ehtiyatla (laylaşdırma üsulu ilə) qatı sulfat turşusu əlavə edirlər. Bu zaman sulfat turşusu nazik təbəqə şəklində birinci məhlulun səthində qalır. Məhlulda zülal olduqda iki təbəqə arasında bənövşəyi zolaq görünür. Tərkibində tirozin və triptofan olmayan zülallar (məsələn, jelatin) Millon və Hopkins-Adamkeviç reaksiyaları vermir.

Klinik və analitik laboratoriyalarda zülalları təyin etmək üçün bəzi *çökdürmə reaksiyalarından* da istifadə edilir. Zülalları qızdırmaqla və ya spirtdən, ağır metal duzlarından və hiqroskopik maddələrdən istifadə etməklə çökdürmək olar. Spirt prolaminlər (bitki zülalı) müstəsna olmaqla, bütün zülalları koaulyasiyaya uğradır. Bu xassəsinə görə, spirtdən dezinfeksiyaedici kimi istifadə edirlər (spirt mikroorqanizmlərin zülallarını denaturasiyaya uğratmaqla, onlara məhvedici təsir göstərir). Dərini sterilləşdirmək üçün spirtin 70%-li məhlulundan istifadə etmək məsləhət görülür. Çünki, duru spirt məhlullarının çökdürücü xassəsi zəif olur, qatı məhlullar isə dərinin dərin qatlarına daxil ola bilmir.

Klinik laboratoriyalarda sidikdə zülalın olduğunu aşkarlamaq üçün çox vaxt *sulfosalisil* və *nitrat* turşularının çökdürücü təsirindən istifadə edilir.

Ağır metalların (civə, gümüş, qurğuşun və s.) duzları da zülallara çökdürücü təsir göstərir. Bu duzların həzm sisteminə düşməsi zəhərlənmə ilə nəticələnir. Belə zəhərlənmələrin müalicəsində çökdürmə reaksiyalarının əhəmiyyəti böyükdür. Bu zaman xəstəyə zülalla zəngin olan süd, qatıq, yumurta ağı kimi maddələr içirildikdə zəhərli maddələrin mədədə qalan hissəsi zülallarla birləşərək, çöküntü əmələ gətirir. Bundan sonra zəhərlənmiş şəxsin mədəsini yumaqla, ağır metal ionlarının sorulmasının qarşısını alırlar.

4.8. ZÜLALLARIN TƏSNİFATI

Zülalların struktur və funksiyaları hədsiz dərəcədə müxtəlif olduğuna görə, onların mükəmməl təsnifatını yaratmaq mümkün deyil. Adətən zülalların təsnifatında hər hansı bir əlamət (molekul strukturu, suda həllolma qabiliyyəti, bioloji funksiyaları və s.) ön plana çəkilir. Lakin belə təsnifatların hər birində digər əlamətlərə görə bir-birinə oxşar olan zülallar müxtəlif qruplara və ya bir-birindən fərqli olan zülallar eyni qrupa düşür. Bu isə zülalların bütün xassələrinin həmin təsnifatlar üzrə izahatını çətinləşdirir. Zülalların struktur əlamətlərinə əsaslanan təsnifatdan nisbətən geniş istifadə edilir (cədvəl 4.11). Bu təsnifata görə, bütün zülalları 3 qrupa bölmək olar: 1) qlobulyar zülallar; 2) fibrillyar zülallar; 3) keçid formalar (cədvəl 4.11).

Zülalların strukturlarına görə təsnifatı

Zülal qrupu	Xassələri	Bioloji funksiyaları
Qlobulyar zülallar	Birincili strukturu daha böyük əhəmiyyət kəsb edir. Polipeptid zənciri kompakt kürəcik və ya ellips formasında olur. Suda həll olaraq, kolloid məhlul əmələ gətirir.	Ferment, antitel (qan serumu qlobulinləri), bəzi növləri isə hormon (məsələn, insulin) funksiyası daşıyır. Protoplazmada olan qlobulinlər burada suyun və bəzi başqa maddələrin saxlanması şərait yaradır.
Fibrillyar zülallar	İkincili strukturu böyük əhəmiyyətə malikdir (üçüncü strukturu ya olmur, ya da zəif olur). Suda həll olmur. Mexaniki möhkəmliyinə görə fərqlənir. Paralel surətdə yerləşən uzun polipeptid zəncirləri köndələn istiqamətdə bir-birilə birləşib lifli və ya təbəqəli struktur əmələ gətirir.	Hüceyrələrdə və hüceyrəarası sahədə struktur funksiyasını yerinə yetirirlər; bu qrupa kollagen (vəterlərdə, hüceyrəarası sahədə, sümük toxumasında olur), miozin (əzələ zülallarının bir növü), fibroin (ipəkdə və hörümçək torunda olur), keratin (tüklərdə, buynuz və dırnaqlarda, quş lələklərində olur) aiddir.
Keçid formalı zülallar	Fibrillyar struktura malik olsalar da, suda həll ola bilirlər.	Bu qrupa fibrinogeni misal göstərmək olar. Fibrinogen qanın laxtalanması zamanı həllolma qabiliyyətini itirib, fibrinə çevrilir.

Qlobulyar zülalların molekulları kürə və ya ellips şəklində olur. Təbiətdə rast gəlinən zülalların müxtəlif növlərinin öyrənilməyə başladığı ilk vaxtlarda qlobulyar zülalları suda həllolma qabiliyyətlərinə görə qruplara bölməyə cəhd edirdilər. Müasir dövrdə belə təsnifat yalnız tarixi baxımdan maraqlıdır. Bu təsnifata görə, qlobulyar zülalların suda yaxşı həll olan növlərinə *albuminlər*, adi şəraitdə zəif həll olan, lakin xörək duzunun (NaCl) zəif məhlullarında asanlıqla həll olan növlərinə isə *qlobulinlər* deyilir. Bu terminlərdən hazırda yalnız müəyyən bir zülal növünün adı kimi istifadə edilir.

Fibrillyar zülallar qlobulyar zülallardan molekullarının uzunsov olmasına görə fərqlənir. Onların uzunluğu diametrinə nisbətən dəfələrlə artıq ola bilər. Bu qrupa əsasən birləşdirici toxumanın və əzələlərin struktur (plastik) zülalları, həmçinin dərinin, tüklərin və dırnaqların suda həll olmayan zülalları aiddir. Bu zülalların konkret növləri haqqında dərslərin müvafiq bölmələrində məlumat verilir.

Zülalların müxtəlif növlərinin bioloji funksiyalarına əsaslanan təsnifatı elmi cəhətdən müəyyən maraqlıdır. Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, təbii zülalların saysız-hesabsız növlərindən olduqca az hissəsinin bioloji funksiyası öyrənilmişdir. Bu baxımdan yalnız zülalların bir qrupunu təşkil edən fermentlərin təsnifatını müəyyən dərəcədə mükəmməl hesab etmək olar. Ümumiyyətlə,

müxtəlif müəlliflərin təklif etdikləri təsnifatlarda zülallar funksional əlamətlərinə görə müxtəlif sayda qruplara bölünür. Bu isə həmin təsnifatların əhəmiyyətini azaldır və onların öyrənilməsini çətinləşdirir (bax: cədvəl 4.1).

4.1-ci cədvəldən görüldüyü kimi, funksional təsnifatda eyni xassəli zülallar müxtəlif qruplara düşə bilər. Məsələn, ferment xassəsinə malik olan lizosim mühafizəedici funksiyaya malikdir, ilan zəhərinin tərkibində olan müxtəlif fermentlər isə toksinlər qrupuna daxil edilmişdir. Cədvəldə göstərmədiyimiz membran zülallarını, struktur genlərin fəaliyyətinin tənzimləyicilərini, fermentlərin inhibitorlarını və b. zülal təbiətli maddələri də funksional baxımdan müstəqil qruplara daxil etmək olar.

Zülalların (xüsusən qlobulinlərin) əksəriyyətinin molekulyar strukturuna aminturşu qalıqlarından başqa, prostetik qrup adlanan və strukturuna görə aminturşulardan fərqlənən əlavə komponent də daxildir. Prostetik qruplar zülalların öz spesifik bioloji funksiyalarını yerinə yetirməsində mühüm rol oynayır. Zülalların prostetik qruplarının təbiətinə əsaslanan təsnifatı onların funksiyalarının da asanlıqla dərk edilməsinə imkan verə bilər. Biz tədris prosesində bu təsnifata daha geniş yer ayırmağı məqsəduyğun hesab edirik. Bu baxımdan zülalları 2 böyük qrupa bölmək olar: 1) sadə zülallar – hidroliz məhsulları yalnız aminturşulardan ibarət olan zülallardır; 2) mürəkkəb zülallar – hidroliz məhsulları arasında həm aminturşular, həm də aminturşu strukturu daşımayan birləşmələr olan zülallardır. Bu qrupların hər biri yarımqruplara bölünür. Sadə zülalların yarımqruplara bölünməsində onların müxtəlif həlledicilərə münasibəti əsas götürülür. Qeyd etmək lazımdır ki, sadə zülalların təsnifatı çox əhəmiyyətli olmayan əlamətlərə əsaslandığına görə, mükəmməllikdən uzaqdır; ətraflı tədqiqat zamanı əvvəllər sadə zülallar qrupuna daxil edilən bəzi zülalların (qan serumu qlobulinləri, yumurta albumini, kollagen və s.) tərkibində qeyri-zülali komponent olduğu aşkar edilmişdir. Buna baxmayaraq, sadə zülalların həllolma qabiliyyətinə əsaslanan təsnifatından indiyə qədər istifadə edilir. Bu baxımdan sadə zülalların protaminlər, histonlar, albuminlər, qlobulinlər, prolaminlər, qlütelinlər və digər növləri ayırılmalıdır.

Mürəkkəb zülalların təsnifatında onların strukturuna daxil olan qeyri-zülal komponentin kimyəvi tərkibi əsas götürülür. Bu baxımdan mürəkkəb zülalların müxtəlif növləri nukleoproteinlər (nuklein turşusu ilə birləşmiş zülallar), fosfoproteinlər (prostetik qrupu fosfat turşusu qalıqlarından ibarət olanlar), xromoproteinlər (tərkibinə piqment maddəsi daxil olan zülallar), qlikoproteinlər (karbohidrat qalıqları ilə birləşmiş zülallar), lipoproteinlər (tərkibində lipid olan zülallar) və metalloproteinlər adlanan qruplara bölünür. Uzun müddət ərzində sadə zülalları proteinlər, mürəkkəb zülalları isə proteidlər adlandırırdılar; lakin son vaxtlarda bütün zülalların adlarına “in” sonluğu əlavə edilməsi daha məqsəduyğun hesab edilir. Çünki “proteid” termini əslində “zülalabənzər maddə” mənası verir.

Orqanizmdə sadə və mürəkkəb zülallardan əlavə, strukturuna görə zülallara bənzəyən, lakin onlardan tərkibindəki aminturşu qalıqlarının azlığına görə fərqlənən peptidlərə də rast gəlinir. Təbii peptidlərin bəzilərinin molekulyar zəncir-

lərində zülalların tərkibində təsadüf edilməyən (qeyri-proteinogen) aminturşu qalıqları olur.

4.9. TƏBİİ PEPTİDLƏR

İnsan və heyvan orqanizmində sintez edilən və müəyyən bioloji aktivliyə malik olan təbii peptidlər mənşəyinə və təsir spesifikliyinə görə 4 qrupa bölünür: 1) *hormonal aktivliyə malik olan peptidlər* (vazopressin, oksitosin, adrenokortikotrop hormon, qlükaqon, kalsitonin, melanositstimulyasiyaedici hormon, liberinlər, statinlər və s.);

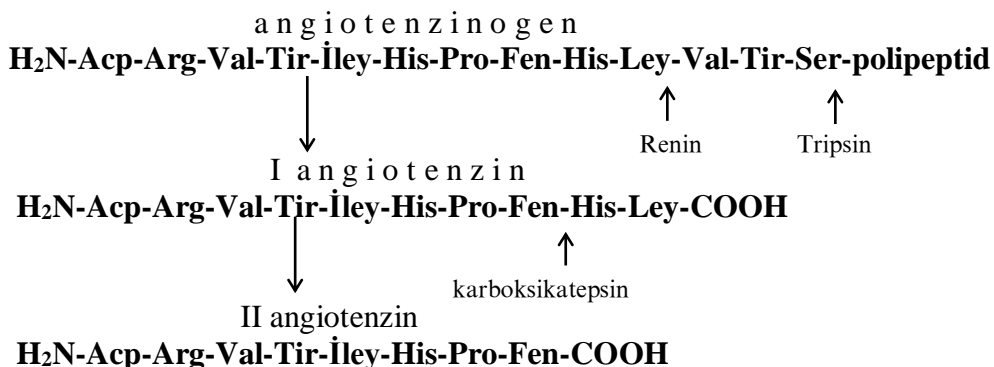
2) *həzm sisteminin fəaliyyətinin tənzimində iştirak edən peptidlər* (gastrin, sekretin, pankreozimin və s.);

3) *qan serumunun α_2 -globulin fraksiyasına daxil olan zülalların və ya toxuma zülallarının hissəvi proteolizi nəticəsində əmələ gələn peptidlər* (angiotenzin, bradikinin, kallidin və s.);

4) *neyropeptidlər*.

Təbii peptidlərin hormonal aktivliyə malik olan və həzm sisteminin funksiyalarını tənzim edən növləri haqqında dərsləyin müvafiq bölmələrində məlumat verilmişdir.

Təbii peptidlərin əksəriyyəti zülalların tərkibinə daxil olmur və onların sintezində aralıq məhsul kimi əmələ gəlmir. Lakin onlardan bir qrupu orqanizmdə sintez edilən müəyyən zülalların dəyişikliyə uğraması nəticəsində əmələ gəlir; angiotenzin və kininlər belə peptidlərə misal misal ola bilər. Məsələn, damar tonusunun təbii tənzimləyicilərindən biri – a n g i o t e n z i n qan serumu zülallarının α_2 - globulinlər fraksiyasına daxil olan angiotenzinogenin biokimyəvi dəyişikliklərə uğraması nəticəsində əmələ gəlir. Bu proses 2 mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələdə angiotenzinogen molekuluna tripsinin və böyrək parenximinin yukstaqlomerulyar hüceyrələrində sintez edilən reninin təsiri nəticəsində, 10 aminturşu qalığının birləşməsindən (dekapeptid) ibarət olan I angiotenzin ayrılır. Bundan sonra qaraciyərdə sintez edilən karboksikatepsin adlı spesifik fermentin katalizatorluğu şəraitində qeyri-aktiv I angiotenzin molekulundan 2 aminturşu qalığı ayrılır və yüksək bioloji fəallığa malik olan II angiotenzin əmələ gəlir. Təbii vazopressor (damar tonusunu artıran) maddələrdən ən qüvvətli olan II angiotenzin 8 aminturşu qalığının birləşməsindən ibarətdir:



Göründüyü kimi, renin angiotenzinin əmələ gəlməsi prosesində təşəbbüsçü amil kimi iştirak edir. Böyrəklərin damar tonusuna təsirində renin sintezinin mühüm rolu vardır. Böyrəyin qanla təchizatı azaldıqda yukstaqlomerulyar (yumaqcıqətrafi) hüceyrələrdən renin sekresiyası sürətlənir. Bunun nəticəsində əmələ gələn renin isə angiotenzinin əmələ gəlməsinə təkan verməklə, damar tonusunu artırır. Bundan əlavə, angiotenzin böyrəküstü vəzilərin qabıq maddəsində aldosteron sintezini sürətləndirir. Aldosteron isə böyrək borucuqlarında natrium ionlarının və suyun reabsorbsiyasını artırır; bu, dövran edən qanın həcmnin azalması əleyhinə təsir göstərən fizioloji mexanizmlərdən biridir.

Zülalların parçalanması nəticəsində əmələ gələn təbii peptidlərin mühüm bir qrupu kininlərdir. Bunlardan bradikinin və kallidin in bioloji təsiri daha ətraflı öyrənilmişdir. Bradikinin molekuluna 9, kallidin molekuluna isə 10 amin turşu qalığı daxildir. Kininlər orqanizmdə 2 yolla yaranır. Bunlardan birincisi (yüksək sürətli kininogenez) qan serumu zülallarının α_2 -qlobulinlər fraksiyasına daxil olan prekallikreinin kallikreinə çevrilməsi ilə başlayır. Kallikreinin təsiri nəticəsində kininogen zülalından tərkibinə 10 amin turşu qalığı daxil olan polipeptid – kallidin (lizil-bridikinin) ayrılır. Bundan sonra aminpeptidaza fermentinin təsiri nəticəsində kallidin molekulundan 1 amin turşu qalığı (lizin) ayrılır və bradikinin əmələ gəlir. Kininogenez prosesinin ikinci yolu fibrinolizinin toxuma kininogenlərinə təsiri ilə əlaqədardır.



Kallidin



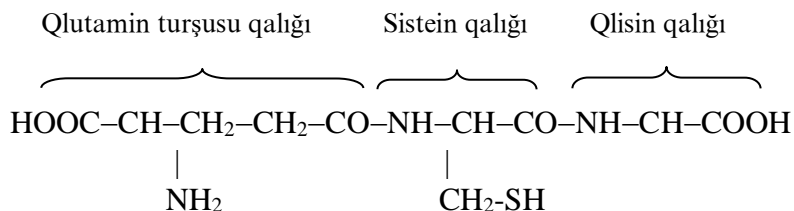
Bradikinin

Bradikinin qan damarlarını genişləndirir, arterial təzyiqi azaldır, damar divarının keçiriciliyini artırır. Bundan əlavə, bradikinin müxtəlif orqanlarda prostaqlandinlərin sintezini stimulyasiya edir. Kininlər orqanizmdə normal şəraitdə də əmələ gəlir və həm arterial təzyiqin, həm də damar divarı keçiriciliyinin tənzimində iştirak edirlər. Lakin iltihabi və allergik proseslər zamanı kininogenez sürətlənir. I angiotenzini II angiotenzinə çevirən karboksikatepsin (peptidil-dipeptidaza) fermenti bradikinin molekulunun tərkibinə daxil olan amin turşu qalıqlarını karboksil qrupu sərbəst olan tərəfdən dipeptidlər şəklində ayırır və bu yolla kinin sisteminin fəallığını azaldır.

Müxtəlif canlıların toxumalarında tərkibində nisbətən az miqdarda (3-8) amin turşu qalığı olan oliqopeptidlərə də təsadüf edilir. Bunlardan qlutation, enkefalinlər, hipotalamusun bəzi hormonal amilləri (tiroliberin, melanoliberin, melanostatin), karnozin və anserin, pantoten turşusu nisbətən geniş yayılmışdır.

Qlutation bütün heyvan toxumalarında və bəzi bitkilərdə geniş yayılmış tripeptiddir. Bu birləşmənin tərkibində olan peptid rabitələrindən biri zülallarda təsadüf edilən rabitələrdən fərqlənir: qlutationun tərkibinə qlutamin turşusu, sistein və qlisin qalıqları daxildir və burada zülal molekulundakından fərqli olaraq, peptid rabitəsinin əmələ gəlməsində qlutamin turşusunun γ -karboksil

qrupu iştirak edir.

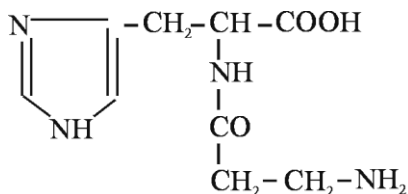


Qlutation (SH-qlutation, reduksiyaya uğramış forma)

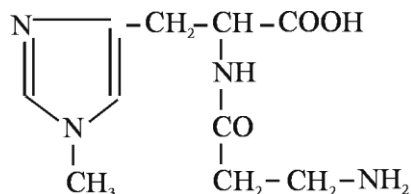
Eritrositlərdə, qaraciyərdə, böyrəküstü vəzilərdə başqa toxumalara nisbətən çox qlutation olur. Toxumalarda qlutationun həm reduksiyaya uğramış (SH-qlutation), həm də oksidləşmiş (S-S-qlutation) formalarına təsadüf edilir. Oksidləşmiş qlutationa 2 ədəd reduksiyaya uğramış qlutation molekulunun disulfid körpücüyü vasitəsilə birləşmiş törəməsi kimi baxmaq olar.

Qlutation bəzi fermentlərin tərkibində hidrogen atomlarının ötürücüsü funksiyasını daşıyır. Bundan əlavə, qlutation zülalların sulfhidril və disulfid qruplarına təsir göstərən ağır metal ionları ilə kompleks birləşmə əmələ gətirərək, onları zərərsizləşdirir. Qlutation heyvan və insan eritrositlərində autooksidləşmə prosesləri nəticəsində əmələ gələn hidrogen-peroksidin (H_2O_2) və lipid peroksidləşməsi məhsullarının zərərsizləşdirilməsində iştirak edir. Tərkibinə qlutation daxil olan fermentlərin (qlutation-peroksidaza, qlutation-S-transferaza) fəallığı sayəsində hüceyrə daxilində toplanan hidrofob xassəli maddələr suda yaxşı həll ola bilən birləşmələrə çevrilir və böyrəklər vasitəsilə orqanizmdən xaric edilir. Beləliklə, qlutation orqanizmin fermentativ detoksikasiya proseslərində iştirak edir.

Əzələ toxumasında karnozin və anserin adlanan dipeptidlər geniş yayılmışdır. Onların hər ikisinin tərkibində zülallarda təsadüf edilməyən β -alanin amin turşusu qalığı olur. *Karnozin* β -alaninin histidinlə β -karboksil qrupu vasitəsilə birləşməsinin məhsuludur, *anserini* isə karnozinin metilləşmiş törəməsi hesab etmək olar.



karnozin (β -alanilhistidin)



anserini (N-metil-karnozin, (β -alanil-N-metilhistidin)

Karnozin məməlilərin, anserin isə balıq və quşların əzələlərində olur. İnsanın skelet əzələlərində yaş toxuma kütləsinin 100 mq%-i qədər karnozin aşkar edilir. Miokardda və saya əzələ liflərində isə onun yalnız izləri olur. Karnozin və anserinin bioloji rolu tam aydınlaşdırılmayıb. Bəzi tədqiqatların nəticələrinə görə, onlar kreatinlə birlikdə fosforlu birləşmələrin orqanizmin enerji balansının təmin olunmasında iştirakına şərait yaradırlar. Əzələ toxu-

masının mitoxondrilərini karnozin və anserin olan məhlulda saxladıqda onlarda oksidləşmə və fosforlaşma prosesləri arasındakı mütənasiblik sabit qalır. Karnozin və anserin əzələlərin fiziki yorğunluqla əlaqədar olan vəziyyətinin aradan qalxmasını sürətləndirir. Görünür bu, adı çəkilən dipeptidlərin bioloji oksidləşmə prosesinə təsiri ilə əlaqədardır.

Haqqında məlumat verdiyimiz peptidlərdən başqa, orqanizmdə tsiklik strukturlu peptidlərə də rast gəlmək mümkündür. Hipofizin arxa payının hormonları – *vazopressin* və *oksitosin* bunlara misal ola bilər.

Təbii peptidlərin böyük bir qrupunu təbabətdə müalicə vasitəsi kimi tətbiq edilən antibiotiklər təşkil edir. Hazırda məlum olan antibiotiklərin 100-ə qədəri (o cümlədən, penisillin, sefamezin, qramisidin C və b.) peptid strukturuna malikdir. Zəhərli göbələklərin toksinləri arasında da peptid strukturlu birləşmələr geniş yayılmışdır (amanitinlər, filloidin, muskarin).

4.10. SADƏ ZÜLALLAR (PROTEİNLƏR)

Sadə zülalların təsnifatı onların həllolma qabiliyyətinə əsaslanır. Məhz həllolma qabiliyyətindəki fərqlərə görə, bu zülalların albuminlər, qlobulinlər, prolaminlər, qlütelinlər, histonlar, protaminlər, proteinoidlər (skleroproteinlər) adlanan qrupları ayrd edilir (cədvəl 4.12).

Cədvəl 4.12

Sadə zülalların həllolma qabiliyyətinə əsaslanan təsnifatı

Zülalın növü	Əsas əlamətləri
Albuminlər	Suda və duz məhlullarında həll olurlar. Aminturşu qalıqlarının növlərinə görə fərqləndirici əlamətləri yoxdur.
Qlobulinlər	Suda zəif, duzların duru məhlullarında yaxşı həll olurlar. Aminturşu qalıqlarının növlərinə görə fərqləndirici əlamətləri yoxdur.
Prolaminlər	70-80%-li etil spirtində həll olurlar, suda və mütləq spirtə isə həll olmurlar. Prolin və qlutamin qalıqları ilə zəngindirler.
Qlütelinlər	Qələvilərin duru məhlullarında (0,2-2%-li NaOH) yaxşı həll olurlar. Hidroliz məhlulları arasında qlutamin turşusunun miqdarı xüsusilə çox olur.
Histonlar	Zəif turşuların məhlullarında və duzların duru məhlullarında yaxşı həll olurlar, ammoniyakın və spirtin təsirindən çökürlər. Hidroliz məhsulları arasında 20-30% diaminmonokarbon turşuları olur, triptofan isə olmur.
Protaminlər	Turşu məhlullarında asanlıqla həll olurlar. Hidroliz məhsulları arasında 80%-ə qədər diaminmonokarbon turşuları (xüsusən arginin) olur, triptofan, sistein və asparagin turşuları isə olmur.
Proteinoidlər (skleroproteinlər)	Suda və duz məhlullarında həll olmurlar. Polipeptid zəncirlərində qlisin, alanin və prolin qalıqlarının miqdarı xüsusilə çox olur.

Adı çəkilən zülal qrupları arasında ciddi sərhəd yoxdur. Məsələn, albumin və qlobulinləri bir-birindən fərqləndirmək olduqca çətinidir. Bu baxımdan on-

ların həllolma qabiliyyətinə görə albuminlərə bənzəyən növlərini *pseudoqlobulinlər*, bu baxımdan albuminlərdən kəskin surətdə fərqlənən növlərini isə – *euqlobulinlər* adlandırırlar.

Albuminlər – qan serumunun, yumurta ağının, bitkilərin yaşıl hissəsinin, südün, paxlalı bitkilərin toxumlarının tərkibində geniş yayılmışdır. İnsanın qan serumu zülallarının 50%-ə qədərini albuminlər təşkil edir; yumurta ağının quru kütləsinin 50%-ə qədəri albuminlərdən ibarətdir. Südün tərkibində olan albumin xassəli zülallara *l a k t a l b u m i n*, yumurta ağının tərkibində olanlara isə – *o v a l b u m i n* deyilir.

Albuminlər suda yaxşı həll olur: onları çökdürmək üçün məhlulu doymuş vəziyyətə çatana qədər duzlaşdırmaq lazım gəlir. Lakin duzlardan yalnız $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -ün doymuş məhlulu albuminləri çökdürə bilir, digər duzlar isə ayrılıqda bu zülallara çökdürücü təsir göstərə bilmir; bundan ötrü bir və ikivalentli kationların qarışığından (ya NaCl və MgSO_4 , ya da Na_2SO_4 və MgCl_2) istifadə etmək tələb olunur. Məhlulda ammonium-sulfatın qatılığı doyma səviyyəsinin 65%-nə çatdıqda albuminlərin bir hissəsi, 100%-nə çatdıqda isə – hamısı çökür.

Qan serumu albuminlərinin tərkibində qlikokol olmur; süd albuminində (laktalbumin) 0,44%-ə qədər, yumurta albuminində (ovalbumin) isə 1,9%-ə qədər qlikokol olur.

Albuminlərin molekulyar kütləsi 40 mindən 70 minə qədər olur. Qan serumu albumininin izoelektrik nöqtəsi $\text{pH}=4,7$ -yə bərabərdir. Bu zülallar elektroforez zamanı anoda doğru digər zülallara nisbətən yüksək sürətlə hərəkət edirlər. Qan plazmasının onkotik təzyiqinin 70-80%-ə qədərini albuminlər yaradır. Bu zülallar qan serumunda sərbəst üzvi turşularla, lipidlərlə və bəzi hormonlarla kompleks birləşmə əmələ gətirərək, onların nəql olunmasında iştirak edir.

Qlobulinlər – hidrolizatının tərkibinə görə albuminlərə yaxın olan və adətən onlarla eyni toxumalarda rast gəlinən zülallardır. Lakin bu zülalların molekulyar kütləsi albuminlərə nisbətən çox olur (100-150 min və daha artıq); əsas fərqlərdən biri də qlobulinlərin tərkibində qlikokolun miqdarının bir qədər artıq olmasından ibarətdir (3,5%-ə qədər). Toxumaların əksəriyyətində albuminlərlə qlobulinlər müəyyən kütlə nisbətində olur. Məsələn, insanın qan serumunun zülal əmsalı (yəni albimin/qlobulin nisbəti) 1,5-lə 2,3 arasında olur (burada albumin və qlobulinlərin ümumi miqdarı isə qan serumunun ümumi kütləsinin orta hesabla 7%-ə qədərini təşkil edir). Bəzi xəstəliklər zamanı zülal əmsalı dəyişdiyinə görə, bu göstəricinin təyin edilməsinin diaqnostik əhəmiyyəti vardır. Qan serumundan başqa, əzələlər, süd, yumurta ağı və heyvan toxumalarının əksəriyyəti qlobulinlərlə zəngindir. Bitkilərin toxumalarında (xüsusən paxlalılarda) çoxlu miqdarda qlobulin olur. Məsələn, noxudun tərkibində olan *lequmin* və lobyanın tərkibində olan *fazeolin* adlı zülallar qlobulinlər qrupuna aiddir.

Qlobulinlər neytral duzların duru məhlullarında yaxşı həll olur, qatı məhlullarda isə asanlıqla çöküntü verirlər. Qlobulinlərin təmiz suda həll olma bilməməsi onları digər zülallardan ayırmaq məqsədilə dializ üsulundan istifadə etməyə imkan verir. XIX əsrin sonlarında qlobulinləri həllolma qabiliyyətinə görə bir-birindən fərqlənən 2 fraksiyaya bölmüşlər. Ammonium-sulfatın 33%-li

məhlulunda çökən fraksiyaya *euqlobulinlər*, 50%-li məhlulda çöküntüyə keçən fraksiyaya isə *psevdoqlobulinlər* adı verilmişdir.

Qan serumu zülallarının elektroforezi zamanı qlobulinlər albuminlərdən sonra ayrılır; onların 3 fraksiyası (α , β , γ) və bir neçə yarımfaksiyası (α_1 , α_2 ; β_1 , β_2) ayırd edilir. Bu fraksiyaların miqdar nisbətinin dəyişmələrindən bir sıra xəstəliklərin diaqnostikasında istifadə edilir.

Prolaminlər – taxıl bitkilərinin dənələrində geniş yayılmış zülallardır. Buğda və çovdarın tərkibində olan qlobulinlər – *qliadin* adlanır; qarğıdalıda olan *zein* və arpada olan *qordein* zülalları da prolaminlər qrupuna aiddir. Bunların hamısı bir-birindən tərkibindəki aminturşu qalıqlarına və molekul kütlələrinə görə fərqlənən zülalların qarışıqlarıdır.

Prolaminlər 60-80%-li spirtdə həll olurlar. Onların tərkibində prolin və qlutamin turşusu qalıqları çox, lizin, arginin və qlikokol isə əhəmiyyətsiz miqdarda olur.

Qlütelinlər – duru qələvi məhlullarında yaxşı həll olan bitki zülallarıdır; taxıl bitkilərinin dənələrində və bütün bitkilərin yaşıl hissələrində toplanan zülalların bir hissəsi qlütelinlər qrupuna aiddir. Qlütelinlərə, alınma mənbəyindən asılı olaraq, müxtəlif adlar verilmişdir. Məsələn, buğda qlütelinləri – *qlütenin*, düyü qlütelinləri isə – *orizenin* adlanır. Buğda ununun tərkibində olan *qliadin* (prolaminlərin nümayəndəsi) qlüteninlə birlikdə isladıldıqda yapışqana-bənzər kütlə əmələ gətirir. Bu, buğda ununun və ondan hazırlanan xəmirin texnoloji keyfiyyətlərini müəyyənləşdirir. Qlütelinlər prolaminlərdən hidroliz məhsulları arasında lizin və qlisinin bir qədər çox, prolin və qlutamin turşularının isə nisbətən az olmasına görə fərqlənir. Bundan əlavə, qlütelinlərin tərkibində alanin, tirozin və argininin miqdarı artıqdır.

Qlütelinlərin qidalanmada əhəmiyyəti böyükdür. Eksperimental tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, qida rasionuna qlütelinlərdən başqa heç bir zülal daxil edilməyən siçovul balaları normal inkişaf edir, yalnız prolamin zülalı ilə qidalanan siçovul balalarının isə inkişafı dayanır, lakin qidaya qlütelin əlavə edildikdən sonra onların da inkişaf sürəti bərpa olunur.

Histonlar – nüvəli hüceyrələrin xromosomlarının tərkibinə daxil olan qələvi xassəli zülallardır; adətən dezoksiribonuklein turşuları ilə kompleks birləşmə (dezoksiribonukleoprotein) şəklində olur. Bu zülalların tərkibində triptofan qalığı olmur; sistein və sistinə isə histonların bəzi növlərinin tərkibində rast gəlinir. Eyni zamanda histonların molekul zəncirinə daxil olan aminturşu qalıqlarının 20-30%-ə qədərini arginin və lizin (qələvi xassəli aminturşular) təşkil edir. Histonların qələvi xassəsinə malik olması da bununla əlaqədardır (izoelektrik nöqtəsi pH-ın 9,5-12% qiymətlərinə müvafiq gəlir).

Histonların molekul kütləsi çox böyük olmur (11-12 minə qədər); onlar turşularda asanlıqla həll olur, ammoniyak və spirtin təsiri nəticəsində çöküntüyə keçirlər.

Protaminlər – fiziki-kimyəvi xassələrinə görə histonlara bənzəyən, lakin onlardan molekul kütlələrinin daha aşağı olmasına görə fərqlənən qələvi xassəli zülallardır. Tərkibindəki qələvi xassəli aminturşuların növlərinə görə protaminlərin 3 qrupu ayırd edilir: mono-, di- və triprotaminlər. Mono-protaminlərin tərkibində qələvi xassəli aminturşulardan yalnız arginin,

diprotaminlərdə ya argininlə lizin, ya da argininlə histidin olur; triprotaminlərin tərkibinə isə qələvi aminturşuların hər üçü (arginin, histidin, lizin) daxildir.

Müasir təsəvvürlərə görə, protaminlər zülallar qrupuna deyil, peptidlər qrupuna daxil edilməlidir. Çünki, onların molekulyar kütləsi 5000-dən artıq olmur. Müxtəlif balıqlardan alınan protaminlərə həmin balıqların latınca adlarına müvafiq gələn adlar verilmişdir. Məsələn, lasos balığının protaminləri – *salmin*, skumbriya balığının protaminləri – *skumbrin*, siyənək balığının protaminləri – *klupein* adlanır. Salminin molekulyar zəncirində olan aminturşu qalıqlarının 85%-i arginindən ibarətdir. Klupeinin birincili strukturu tam öyrənilmişdir. Bu polipeptidin tərkibində 30 aminturşu qalığı (o cümlədən 21 arginin qalığı) olur. Ümumiyyətlə, müxtəlif mənbələrdən alınan protaminlərin tərkibində 60%-dən 85%-ə qədər arginin ola bilər.

Protaminlərin tərkibində sistein, triptofan və asparagin aminturşuları olmur, aromatik aminturşular (fenilalanin, tirozin) isə onların müxtəlif növlərindən yalnız bir hissəsində olur. Buna görə, protaminlər zülallara aid olan bəzi rəngdəyişmə reaksiyaları vermirlər.

Protaminlər suda yaxşı həll olur, qələvilərin təsirindən isə çökməzlər. Onların izoelektrik nöqtələri pH-ın 10,0-12,5 qiymətlərinə müvafiq gəlir. Bu polipeptidlər nukleotid turşuları və zülallarla asanlıqla birləşib, hidrolitik fermentlərin təsirinə qarşı davamlı olan komplekslər əmələ gətirir. Bundan uzun müddət təsir göstərən dərman preparatları hazırlamaq məqsədilə istifadə edilir (məsələn, protamin-sink-insulin).

Proteinoidlər (skleroproteinlər) – istinad toxumalarının (sümük, qığırdaq, vətər, bağ, dırnaq, tük və s.) zülallarıdır. Digər zülallardan suda həll olmadıqlarına görə fərqlənirlər. Bunların bütün növləri (kollagen, elastin, keratin, fibroin) fibrillyar zülallar qrupuna aiddir.

4.11. MÜRƏKKƏB ZÜLALLAR

Molekulyar zülali hissədən başqa, qeyri-zülal komponenti də daxil olan birləşmələrə *mürəkkəb zülallar* deyilir. Onların qeyri-zülali hissələrinə *prostetik qrup* deyilir (yunanca: *prostheto* – birləşdirmək, əlavə etmək). Mürəkkəb zülalın tərkibində prostetik qrup funksiyasını müxtəlif üzvi və mineral maddələr daşıya bilər. Bu zülalların təsnifatı prostetik qruplarının kimyəvi təbiətinə əsaslanır. Aşağıda mürəkkəb zülalların müxtəlif qruplarının kimyası və bioloji funksiyaları haqqında məlumat veririk.

4.11.1. METALLI PROTEİNLƏR

Metallı proteinlər molekulyar strukturuna müxtəlif metallar daxil olan mürəkkəb zülallardır. Bunların tərkibində metal ionları bilavasitə zülal molekulları ilə birləşmiş vəziyyətdə olur. Bu baxımdan metallı proteinlər tərkibində metal atomu ilə birləşmə şəklində prostetik qruplar olan mürəkkəb zülallardan (xromoproteinlər) fərqlənir. Metallı proteinlərin molekullarında metal atomları zülalın strukturunun tərkib hissəsini təşkil edir və onların ayrılması molekulyar strukturunun pozulması ilə nəticələnir.

Metallı proteinlərin müxtəlif növlərinin tərkibində dəmir, mis, kalsium, maqnezium, kobalt, sink, molibden, qurğuşun və b. ionlar ola bilər.

Tərkibinə dəmir ionları daxil olan ferritin, transferrin və hemosiderin metallı proteinlərin ən tipik və nisbətən geniş yayılmış növləridir.

F e r r i t i n – ümumi kütləsinin 17-23%-i üçvalentli dəmir ionlarından ibarət olan irimolekullu zülaldır; molekul kütləsi 400 minə yaxındır. Bu zülalın tərkibində dəmir empirik kimyəvi düsturu $(\text{FeO} \cdot \text{OH})_8 \cdot (\text{FeO} \cdot \text{O} \cdot \text{PO}_3\text{H}_2)$ olan kompleks birləşmə şəklindədir, burada $\text{O}=\text{Fe}-\text{OH} \dots \text{O}=\text{Fe}-\text{OH} \dots$ strukturuna və tək-tək fosfat turşusu qalıqlarına malik olan qeyri-üzvi komponent *apoferritin* adlanan zülali hissənin peptid qruplarındakı azot atomları ilə koordinasiya rəbitəsində olur. Ferritin orqanizm üçün dəmir deposu funksiyası daşıyır və buna görə qaraciyərdə, dalaqda və sümük iliyyində toplanır. Bağırsaqlardan dəmirin sorulması selikli qişa hüceyrələrində ferritinin sintezi ilə müşayiət edilir.

T r a n s f e r r i n – suda yaxşı həll olan xırdamolekullu zülaldır (molekul kütləsi 90 minə yaxın, tərkibindəki dəmirin miqdarı 0,13%-dir). Hər transferrin molekulunda 2 ədəd üçvalentli dəmir atomu olur. Dəmir atomları transferrinin zülal hissəsinə (apotransferrinə) tirozin qalıqlarının hidroksil qrupları vasitəsilə birləşir. Transferrinə əsasən qan serumu zülallarının β -qlobulinlər fraksiyasında rast gəlinir. Bu zülal dəmirin orqanizm daxilində bir orqandan digərinə daşınmasında iştirak edir.

H e m o s i d e r i n i n molekuluna dəmir atomlarından əlavə, nukleotidlər və karbohidratlar da daxildir. Bunların miqdarı hemosiderinin ümumi kütləsinin 25%-ə qədərini təşkil edir. Hemosiderin adətən qaraciyərin və dalağın mononuklear faqositlərində (retikulo-endotelial hüceyrələrdə) toplanır. Bu zülalın bioloji rolu kifayət qədər öyrənilməyib. Güman edilir ki, hemosiderin ferritin kimi, orqanizmin dəmir ehtiyatının saxlanması xidmət edir.

Metallı proteinlərin böyük bir qrupunu tərkibinə metal atomları daxil olan fermentlər təşkil edir. Məsələn, karboanhidraza və alkoholdehidrogenaza fermentlərinin tərkibinə sink, seruloplazminin (dəmirin ikivalentli ionlarını üçvalentliyə və əksinə çevirən ferment) tərkibinə mis, amilazanın tərkibinə kalsium, ksantinoksidazanın tərkibinə molibden ionları daxildir.

Bəzi fermentlərin tərkibində müxtəlif metal ionları ola bilər. Məsələn, superoksiddismutaza fermentinin tərkibində eyni zamanda mis, kobalt və sink atomları olur, sitoxromoksidaza və fenilalaninhidroksilaza molekullarına isə dəmir və mis atomları daxildir. Aşağıtəkamüllü heyvanların orqanizmində oksigenin nəql edilməsində iştirak edən (hemoqlobin funksiyasını yerinə yetirən) metallı proteinlər aşkar edilmişdir. Bunlara hemosianin, hemeritrin və hemovanadin aiddir. **H e m o s i a n i n** (yunanca: *haima* – qan + *kyanos* – mavi) – mollyuksların qanında olan mavi rəngli piqment zülaldır. Bu zülalın submolekulyar vahidləri ilə birləşmiş vəziyyətdə olan mis ionları oksigen akseptoru funksiyası daşıyır. **H e m e r i t r i n** – qurdlarda təsadüf edilən dəmirli proteindir. Bu zülalın molekulunda hər biri 1 ədəd dəmir ionu ilə birləşən 8 submolekulyar struktur vahidindən ibarətdir. Oksigenin 1 molekulunda bu zülalın tərkibində olan 2 dəmir ionu ilə birləşir. Bəzi dəniz heyvanlarının orqanizmində oksigendaşıyıcı funksiyasını yerinə yetirən **h e m o v a n a d i n**

indiyə qədər məlum olan yeganə vanadiumlu zülaldır. Hemovanadinin molekulu 1 ədəd vanadiumla birləşmiş yeganə polipeptid zəncirindən ibarətdir. Hər vanadium atomu özünə 1 molekul oksigen birləşdirə bilər.

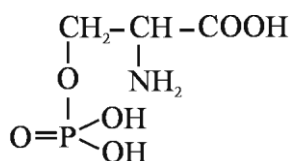
Prostetik qrupuna qeyri-metallar (flüor, brom, selen və s.) daxil olan mürəkkəb zülallar da aşkar edilmişdir. Bunlara sinir toxumasının bromlu zülallarını və əzələlərdə müşahidə edilən selenli zülalları (selenproteinlər) misal göstərmək olar. Görünür, bunları *metalloidli proteinlər* adlandırmaq daha məqsədəuyğundur.

4.11.2. FOSFOPROTEİNLƏR

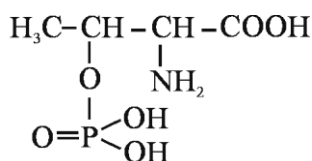
F o s f o p r o t e i n l ə r – fosforla zəngin olan mürəkkəb zülallardır. Bu zülalların hidroliz məhsulları arasında aminturşulardan əlavə, fosfat turşusu da olur. Fosfoqlükomutaza, pepsin, fosforilaza, qlikogen-sintaza kimi fermentlər fosfoproteinlərin nümayəndələridir. Südün tərkibində olan əsas zülali maddə – kazeinogen, yumurta sarısının zülalları (vitellin, vitellenin və vitin), yumurta ağında olan ovalbumin, balıq kürüsündə olan ixtulin zülalı fosfoproteinlər qrupuna aiddir; beyin toxumasının zülalları arasında çoxlu miqdarda fosfoprotein vardır.

Qida maddələrinin tərkibində olan fosfoproteinlər orqanizmi həm aminturşularla, həm də fosfor birləşmələri ilə təmin edir. Fosforlu zülalların qida vasitəsilə qəbul edilməsi hamilə qadınlar və böyüməkdə olan orqanizmlər üçün xüsusilə vacibdir. Çünki, embrionun, dölün və uşaq orqanizminin böyüməsi üçün fosfor birləşmələrinin böyük əhəmiyyəti vardır. Bu birləşmələr sümüklərin inkişafı üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bundan əlavə, fosfoproteinlər qrupuna aid olan ferment xassəli zülallar maddələr mübadiləsində fəal iştirak edir.

Fosfoprotein molekulunda fosfat turşusu qalıqları əsasən serinin, nisbətən az hallarda isə treoninin hidroksil qrupu ilə birləşir; digər hidroksiturşular (prolin, hidroksiprolin) isə fosfat turşusu ilə rabitəyə girmir. Fosfoproteinlərin proteolitik fermentlər vasitəsilə hidroliz edilməsi nəticəsində alınan məhsullar arasında sərbəst aminturşulardan başqa, serin və treoninin fosforlu efiirlərinin tapılması bu fikri sübut edir:

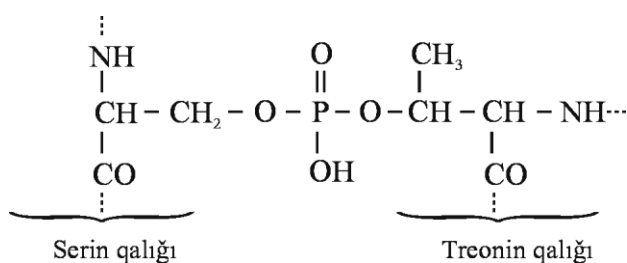


Serin-fosfat



Treonin-fosfat

Fosfoprotein molekullarında pirofosfat və fosfodiefir rabitələri də olur. Bəzi fosfoproteinlərin peptid zəncirləri arasında fosfodiefir rabitələri aşkar edilmişdir. Məsələn, kazeinin peptid zəncirlərində olan serin və treonin qalıqları bir-birilə aşağıdakı şəkildə birləşə bilər.



Fosfoproteinlər hüceyrələrdə fosforsuz şəkildə sintez edilir və yalnız translyasiya prosesindən sonrakı dövrdə fosforlaşır. Bu proses spesifik proteinkinaza fermentlərinin təsiri nəticəsində baş verir. Spesifik proteinkinazaların və proteinfosfatazaların təsiri altında keçən fosforlaşma və defosforlaşma reaksiyalarının orqanizmdə fosfoproteinlərin miqdarının tənzim edilməsində mühüm rolu vardır. Çünki zülalların tərkibində olan fosfat turşusu qalıqları hüceyrələrin bir sıra mühüm bioloji funksiyalarının həyata keçirilməsində iştirak edir. Maddələr mübadiləsində bir sıra mühüm mərhələləri kataliz edən bəzi fermentlər də fosforlu və fosforsuz formada olur (fosforilaza, qlikogen-sintaza və s.). Bu fermentlərin fəallığı fosforlaşma və defosforlaşma yolu ilə tənzim edilir. Bu fermentlər sabit strukturlu fosfoproteinlərdən fosforlaşma prosesinin müvəqqəti (tənzimlənən) xarakterinə görə fərqlənir.

4.11.3. QLİKOPROTEİNLƏR

Q l i k o p r o t e i n l ə r – molekul strukturuna karbohidrat komponenti daxil olan mürəkkəb zülallardır. Bu birləşmələrin tərkibində olan zülal molekulun özəyini təşkil edir; karbohidrat komponentləri heterooliqosaxarid və ya heteropolisaxarid strukturuna malik olur (yəni müxtəlif monosaxaridlərin biopolimerlərindən ibarət olur).

Qlikoproteinlərin elmdə özünə möhkəm yer tutmuş təsnifatı yoxdur. Kimyəvi strukturunun xüsusiyyətlərinə görə, bu zülalları *həqiqi qlikoproteinlər və proteoqlikanlar* (qlükozaminproteoqlikanlar) adlanan 2 qrupa bölmək olar. Adı çəkilən 2 qrup arasındakı əsas fərq bundan ibarətdir ki, həqiqi qlikoproteinlərin karbohidrat qruplarında monosaxarid qalıqlarının ciddi ardıcılıqla təkrarlanması müşahidə edilmir və hər molekulda 15-20 karbohidrat komponenti olur; proteoqlikan molekulunun karbohidrat komponenti isə disaxarid fraqmentlərinin dəfələrlə təkrarlanan birləşməsindən ibarət olur.

H ə q i q i q l i k o p r o t e i n l ə r i n molekul kütləsi geniş həddə dəyişir və çox vaxt 1 milyona qədər olur. Məlum olan qlikoproteinlərin ən kiçiyinin molekul kütləsi 15000-ə bərabərdir. Ağız suyunda olan qlikoproteinlərin (mutsinlər) isə molekul kütləsi 1 mln-dan artıqdır. Qlikoprotein molekulunda karbohidrat komponentinin kütlə payı 1-3%-dən (ovalbumin) 80-90%-ə qədər ola bilər; karbohidratların ən yüksək faizi (80-90%) qan qrupu zülallarında müşahidə edilir. Bir qlikoprotein molekuluna düşən karbohidrat zəncirlərinin sayı da müxtəlif ola bilər. Məsələn, transferrin və ribonukleaza molekullarında onların sayı 1-4, qan qrupu zülallarında və ağız suyu mutsinində isə 300-dən 800-ə qədər olur.

Qlikoprotein molekulunda karbohidrat zəncirləri peptid hissə ilə, bir qayda olaraq, kovalent rabitə vasitəsilə birləşir. Onların tərkibində monosaxaridlərin 10-a qədər növü – D-qlükoza, D-qalaktoza, D-mannoza, D-ksiloza, L-arabinoza, dezoksişəkərlər (L-fukoza və L-ramnoza), N-asetilqlükozamin və N-asetilqalaktozamin – aşkar edilir. Bundan əlavə, qlikoproteinlərin əksəriyyətinə neyramin turşusuna da rast gəlinir. Neyramin turşusu molekulunda olan sərbəst karboksil qrupları qlikoprotein molekuluna mənfi yük verir. Neyramin turşuları çox vaxt O- və N- asil törəmələri şəklində olur. Bunlara sial turşuları deyilir. Bu turşular və fukoza qalıqları adətən qlikoproteinin karbohidrat zəncirində terminal vəziyyətdə (molekulun uc hissələrində) yerləşir.

Qlikoprotein molekulaları üçün kovalent karbohidrat-peptid rabitələri xarakterikdir. Bu rabitələrin aşağıdakı növləri vardır: 1) *qlikozil-amid rabitələri* – monosaxaridləri peptid zəncirində olan asparaginamid qrupu ilə birləşdirir (bəzə rabitələr immunqlobulinlərin, ferment və hormon xassəli qlikoproteinlərin molekullarında olur); 2) *O-qlikozid rabitələri* – monosaxaridləri peptid zəncirində olan serin və ya treoninin –OH qrupları ilə birləşdirir (ağız suyunda olan mutsinin, qan qrupu zülallarının molekullarında). Bəzən karbohidrat komponenti hidrosilizin və ya hidrosiprolinin –OH qrupu ilə də birləşə bilər (kollagen molekullarında). Ali bitkilərin qlikoproteinlərində arabinozilhidrosiprolin tipli O-qlikozid rabitələri də olur. Ümumiyyətlə, bir qlikoprotein molekulunda karbohidrat-peptid rabitələrinin müxtəlif növləri ola bilər.

P r o t e o q l i k a n l a r ı n molekul kütləsi həqiqi qlikoproteinlərə nisbətən böyük olur və bəzən polisaxarid hissəsində ardıcıl yerləşən çoxlu miqdarda disaxarid qalıqlarının olması sayəsində molekul kütləsi bir neçə milyona çatır. Bu zülalları 1953-cü ildən, K.Meyerin təklifi ilə *mukoproteidlər* adlandırıldılar; sonralar mukoproteid termini qlikozaminproteoqlikan və proteoqlikan terminləri ilə əvəz edildi. Lakin tibb ədəbiyyatında proteoqlikan və mukoproteid terminləri indiyə qədər sinonim kimi işlədilir.

Proteoqlikanların məhlulları yüksək dərəcədə özlü (suvaşqan) olur. Mürəkkəb zülalların bu növünün molekullarında peptid hissəsi kiçik olur və çoxlu miqdarda heteropolisaxarid tipli irimolekullu karbohidrat zəncirləri ilə birləşir. Bu heteropolisaxaridlərin tərkibində aminşəkərlər və uron turşuları olur. Qlikozaminqlikan adlanan heteropolisaxarid tipli karbohidrat komponentinin bir neçə növünə təsadüf edilir. Bunlara hialuron turşusu, xondroitin-sulfatlar, heparin, heparansulfat və keratansulfat aiddir.

Proteoqlikanların molekullarında karbohidrat hissəsinin D-ksiloza qalıqları O-qlükozid rabitəsi vasitəsilə peptid zəncirinin serin qalığı ilə (hondroitinsulfat və heparin molekullarında) və ya karbohidrat komponentinin N-asetil-qlükozamin qalıqları asparaginlə (keratansulfatlarda) birləşə bilər. Ksiloza qlikozaminqlikanların tərkibinə daxil olmur, lakin polisaxaridlə zülal arasında rabitə yaradan əlavə vasitəçi funksiyası daşıyır. Proteoqlikanların molekullarında uron turşularının karboksil qrupları və aminşəkərlərin sulfatlaşmış qrupları ionlara dissosiasiya etdiyinə görə, onlar polianion xassəsinə malik olurlar. Tərkibinə hialuron turşusu daxil olan proteoqlikanların molekulunun ümumi kütləsinin 0,4-2%-i zülali hissənin payına düşür, xondroitinsulfatlarda isə bu göstərici 17-22%-dir.

Qlikoproteinlərin bioloji rolu. Qlikoproteinlər zülalların ən geniş yayılmış növləridir. Onlar heyvan, bitki və mikroorqanizmlərdə olduqca müxtəlif funksiyaları yerinə yetirirlər. Zülalla birləşmiş vəziyyətdə olan karbohidrat komponenti (hətta çox kiçik olsa da) zülal molekuluna yeni xassələr verir. Qlikoproteinlər ətraf mühit temperaturunun dəyişməsi zamanı öz fiziki-kimyəvi xassələrini adi zülallara nisbətən yaxşı mühafizə edirlər. Digər zülallardan fərqli olaraq, qlikoproteinlərin proteolitik fermentlərin (pepsin, tripsin və s.) təsirinə qarşı sabitliyi də yüksəkdir. Karbohidrat komponenti zülalların spesifikliyini artırır. Bunun müəyyən maddələrin “tanınmasında” böyük əhəmiyyəti vardır. İmmun sistemin əsas humoral amillərinin – immunqlobulinlərin orqanizm üçün yad olan infeksiyon və qeyri-infeksiyon mənşəli amilləri (antigenləri) tanınması bu zülalların spesifikliyi ilə əlaqədardır (immunqlobulinlər – qlikoprotein xassəli zülallardır).

Qlikoproteinlər sintez edildikləri hüceyrələrdən asanlıqla hüceyrəarası mühitə keçə bilir. Buna görə, hüceyrəarası sahədə, bioloji mayelərdə və hüceyrələrin səthində olan zülalların əksəriyyəti qlikoprotein strukturuna malikdir. 1965-ci ildə E.H.Eylar o vaxta qədər məlum olan bütün qlikoproteinlərin hüceyrədən kənar mühitdə (qanın, ağız suyunun, südün, həzm şirələrinin tərkibində və toxumaların ara maddəsində) olduğunu nəzərə alaraq, belə bir fərziyyə irəli sürmüşdü ki, karbohidrat komponenti zülal üçün hüceyrədaxili sahədən xaricə keçid vasitəsidir; zülal karbohidratla birləşdikdən sonra mütləq hüceyrələrdən kənara çıxmalıdır. Lakin sonralar hüceyrədaxili mühitdə – hüceyrə orqanoidlərinin membranlarında və sitoplazmatik membranlarda qlikoproteinlərin aşkar edilməsi sayəsində bu fərziyyənin yanlış olduğu sübut edilmişdir. Qeyd edək ki, orqanizmin müxtəlif şirələrinin və qan serumunun tərkibində qlikoprotein qrupuna daxil olmayan zülallar da (albumin, α -laktalbumin, ximotripsinogen və s.) vardır. Beləliklə, yuxarıda haqqında məlumat verilən fərziyyə özünü tam şəkildə doğrultmur, lakin qlikoprotein molekulunda olan karbohidrat komponentinin zülallara hüceyrə membranından keçmək imkanı yaratdığı şübhəsizdir. Bundan əlavə, karbohidrat komponenti qlikoprotein molekulunun sabitliyini də yüksəldir. Təcrübələr göstərmişdir ki, karbohidrat komponentində olan sial turşusu qalıqları qlikoprotein molekullarından ayrıldıqdan sonra zülal molekulaları qanın tərkibində asanlıqla dəyişikliyə uğrayır və daha tez müddətdə parçalanır. Qlikoproteinlərin əsas bioloji funksiyaları aşağıdakılardır:

1. **Katalitik və hormonal funksiya.** Bir sıra fermentlər (enterokinaza, xolinesteraza, RNT-aza və b.) və hormonlar (follikulstimulyasiyaedici hormon, qonadotrop hormonlar, tiroqlobulin və s.) qlikoprotein strukturlu zülallardır.

2. **Nəql edici funksiya.** Qan serumunda olan qlikoproteinlərin bir qrupu müxtəlif maddələri orqanizmin bir nahiyəsindən digərinə daşıyır. Məsələn, transferrin dəmirin, seruloplazmin misin, transkortin steroid hormonların nəql edicisidir; mədə şirəsinin tərkibində olan qastromukoprotein (transkorin) B₁₂ vitamininin həzm sistemindən sorulmasına (yəni orqanizmin daxili mühitinə nəql edilməsinə) şərait yaradır.

3. **Struktur-mexaniki funksiya.** Bu funksiyaları əsasən

proteoqlikanlar yerinə yetirir. Onurğalı heyvanların və insanın birləşdirici toxumasının ara maddəsini təşkil edən proteoqlikanlar bu toxumaların strukturunun formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, dəridə, sümüklərdə, oynaq kisələrinin sinovial mayesində, gözün buynuz qişasında və şüşəyəbənzer cismində, vətərlərdə, bağlarda, ürək qapaqlarında və digər toxumalarda olan proteoqlikanların da bu toxumaların strukturunun təşkilində və mexaniki möhkəmliyinin təmin edilməsində böyük əhəmiyyəti vardır. Onlar həmin toxumalara elastiklik və möhkəmlik verirlər.

Karbohidrat komponentləri hialuron turşusundan ibarət olan proteoqlikanların məhlulları özlü (suvaşqan) olmalarına görə fərqlənir. Bu zülallar bakteriyaların toxumalara daxil olmasının qarşısını alır. Tərkibinə hialuron turşusu və xondroitinsulfat A daxil olan proteoqlikanların məhlulları oynaq səthlərini sürtünmənin və mexaniki yükün zədələyici təsirindən mühafizə edir.

4. M ü ə y y ə n m a d d ə l ə r i “ t a n ı m a q ” v ə o n l a r a s p e s i f i k t ə s i r g ö s t ə r m ə k f u n k s i y a s ı (reseptor funksiyası). Hüceyrələrin səthi membranlarında olan reseptor sistemlərin əsasını qlikoprotein strukturlu zülallar təşkil edir. Onların hər bir növü özünə müvafiq gələn kimyəvi birləşməni (neyromediator, hormon və s.) spesifik surətdə tanımaq və həmin maddələrlə birləşmək xassəsinə malikdir. Hormonların hədəf-hüceyrələrlə spesifik surətdə birləşməsi bu hüceyrələrin səthində olan qlikoprotein tərkibli hormonal reseptorların xassələri ilə əlaqədardır. Məsələn, hepatositlərdə, limfositlərdə və piy toxumasının hüceyrələrində insulinlə birləşə bilən reseptorlar olur. Qabaqcadan molekul zəncirinin uc hissələri dəyişikliyə uğradılmış hormonlar bu reseptorlarla birləşə bilmir və nəticədə belə hormonlar orqanizmə yeridildikdə hormonal dəyişiklik baş vermir. Antigen (yad) xassəli irimolekullu maddələri və hüceyrələri də orqanizmdə olan faqositlər (yad maddələri udmaq və zərərsizləşdirmək qabiliyyətinə malik olan hüceyrələr) immun sistemin hazırladığı spesifik mühafizə vasitələrinin – immunqlobulinlərin (anticisimciklər) köməyi sayəsində “tanıyır”. İmmunqlobulinlərin antigenləri spesifik surətdə tanınmasında bu zülalların karbohidrat komponentlərinin böyük əhəmiyyəti vardır. İmmunqlobulinlərdən qeyri-spesifik təsir xassəsinə malik olmaları ilə fərqlənən mühafizəedici amillər arasında da qlikoproteinlərə təsadüf edilir. Lizosim və interferon bunlara misal ola bilər. Müxtəlif bioloji mayələrin (ağız suyu, göz yaşı, qan serumu və s.) tərkibində olan l i z o s i m polisaxaridlərin qlikozid və N-asetilmuramin rabitələrini hidroliz edən fermentdir. Bəzi mikroorqanizmlərin qılaflarında olan polisaxaridlər lizosimin təsiri nəticəsində parçalanır; bu isə mikroorqanizmin həyat fəaliyyətinin pozulmasına səbəb olur. İ n t e r f e r o n isə müxtəlif virusların nukleoproteinlərinin sintezini pozmaqla, onlara məhvedici təsir göstərir.

Yuxarıda göstərilənlərdən başqa, qlikoproteinlərin bir sıra əlavə funksiyaları da vardır. Məsələn, fibrinogen, protrombin və qanın laxtalanmasında iştirak edən bəzi başqa zülallar qlikoproteinlərin nümayəndələridir.

Karbohidrat komponenti qlikoproteinləri yüksək və aşağı temperaturun təsirinə qarşı dözümlü edir. Antarktida sahillərinin yaxınlıqlarında həyat sürən balıqların qan serumunda antifriz xassəli qlikoproteinlər aşkar edilmişdir. Bu zülallar balıq orqanizmini donmadan mühafizə edir. İsti su bulaqlarında məs-

kən salan mikroorqanizmlərin qılaflarında isə yüksək temperaturun təsirinə davamlı olan qlikoproteinlər vardır. Birləşdirici toxumada olan bəzi proteoqlikanlar özlərində böyük miqdarda su saxlamaq xassəsinə malikdir. Karbohidrat komponenti xondriotinsulfatdan ibarət olan bu zülallar orqanizm üçün su deposu funksiyası daşıyır. Yumurta ağında olan *avidin* zülalı da qlikoproteinlər qrupuna aiddir. Avidin biotinlə (H vitamini) kompleks birləşmə əmələ gətirərək, onun bağırsaqlardan sorulmasının qarşısını alır. *In vitro* təcrübələrdə avindən tərkibinə biotin daxil olan fermentlərin inhibitoru kimi istifadə edilir.

4.11.4. LIPOPROTEİNLƏR VƏ PROTEOLİPIDLƏR

Zülallarla yağabənzər maddələrin kompleks birləşmələri lipoproteinlər adlanır. Bunlar şərti olaraq 2 qrupa bölünür: 1) sərbəst lipoproteinlər və 2) struktur proteolipidləri.

Sərbəst lipoproteinlər (qan plazması lipoproteinləri, süd lipoproteinləri və s.) həlledicilərə münasibətlərinə görə, adi lipidlərdən fərqlənir. Bunlar suda həll olur, üzvi həlledicilərdə (benzol, efir, xloroform və s.) həll olmur. Lipoprotein molekulunda kompleks birləşmənin daxilində lipid, xarici təbəqəsində isə zülal yerləşir. Bunlardan fərqli olan proteolipid molekuları zülal tərkibli nüvəni əhatə edib, onunla kompleks birləşmə əmələ gətirən lipidlərdən ibarətdir. Buna görə proteolipidlər üzvi həlledicilərdə yaxşı həll olur, suda isə həll olmur. Proteolipidlər hüceyrə membranlarında beyin toxumasında, yumurta sarısında, bitkilərdə geniş yayılmışdır.

Lipoproteinlər zəif, davamsız birləşmələrdir. Asanlıqla parçalandıqlarına görə, onların molekullarında lipidlərlə zülallar arasındakı birləşmələrin xarakterini aydınlaşdırmaq olduqca çətindir. Belə mülahizələr vardır ki, lipid-zülal komplekslərinin əmələ gəlməsində əsasən qeyri-kovalent rabitə növləri iştirak edir; bu birləşmələrin möhkəmliyi lipid komponentinin tərkibində olan ion qruplarından da asılıdır. Neytral lipidlərdən (triasilqliserinlər) fərqli olaraq, fosfolipidlər zülal molekulu ilə ion rabitəsi sayəsində də birləşə bilər. Bundan əlavə, lipid komponentinin qeyri-polyar qrupları ilə zülal molekuları arasında hidrofob xassəli rabitələr də olur. Beləliklə, zülallarla lipidlər arasındakı rabitələr müxtəlif xarakterli olduğuna görə, lipid-protein komplekslərinin möhkəmliyi bir-birindən fərqlənir.

Qanda olan lipoproteinlərin əksəriyyəti ya bağırsaqların selikli qişasının epitel hüceyrələrində, ya da qaraciyərdə sintez edilir. Onların molekuları hidrofob lipid nüvəciyini əhatə edən polyar xassəli lipidlərdən və xarici örtüyü təşkil edən zülallardan ibarətdir. Lipoproteinlərin zülal hissəsinə apolipoprotein deyilir. Apolipoproteinlərin 8 tipi aşkar edilmişdir: A-I, A-II, B, C-I, C-II, C-III, D və E tipli apolipoproteinlər. Bunların bir qrupunun tərkibində karbohidrat komponentləri də olur. Buna görə bəzi lipoproteinlər eyni zamanda qlikoprotein xarakterli zülallardır.

İnsanın qan plazmasında lipoproteinlərin ümumi qatılığı 7-11 q/l-dir. Lipoproteinlərin müxtəlif fraksiyalarının sıxlığı (xüsusi çəkisi) 0,92 q/sm³ ilə 1,21 q/sm³ arasında olur. Onların müxtəlif fraksiyalarının sıxlıqları arasındakı fərqlər əsasən lipid komponentinin xarakteri ilə əlaqədardır. Ultracentrifuga-

laşdırma zamanı lipoproteinlərin müxtəlif fraksiyaları bir-birindən ayrılır; bu zaman hər bir fraksiyada bir-birinə oxşar olan lipoprotein molekulları toplanır (qarıışıqda olan bir maddə növünün bir yerə toplaşması flotasiya – zənginləşmə adlanır). Lipoproteinlərin flotasiyasının sürəti onların molekullarında olan lipidlərin ölçülərindən asılıdır. Flotasiyanın sürəti ilə lipoproteinlərin elektrofores zamanı ayrılma sürəti (mütəhərrikliliyi) arasında uyğunluq vardır. Bu göstəricilərdən asılı olaraq, qan lipoproteinlərinin aşağıdakı fraksiyaları ayırd edilir:

1. *Xilomikronlar* – ən aşağı sıxlıqlı zülal-lipid kompleksləridir (xüsusi sıxlığı $0,96 \text{ q/sm}^3$ və daha az). Bunların ümumi kütləsinin 98%-ə qədəri lipidlərdən ibarətdir. Beləliklə, xilomikronlar zərif zülal təbəqəsinin köməyi ilə nisbi sabitlik əldə etmiş lipid damlacıqlarıdır. Burada lipidlərin əksəriyyəti (80%-ə qədər) triasilqliserinlərdən ibarət olur;

2. *Pre-β-lipoproteinlər* – sıxlığı xilomikronlara nisbətən yüksək, lipoproteinlərin əksəriyyətinə nisbətən aşağı olur (0,096-1,006). Bunlara *çox aşağı sıxlıqlı lipoproteinlər* – (ÇAS-LP) deyilir; ümumi kütləsinin 80-90%-i lipidlərdən (əsasən triqliserinlər, az miqdarda fosfolipidlər, xolesterin və onun efirləri) ibarət olur;

3. *β-Lipoproteinlər* – bunlara *aşağı sıxlıqlı lipoproteinlər* (AS-LP) də deyilir; sıxlığı 1,006-dan 1,063-ə qədər olur; ümumi kütləsinin 70%-ə qədərini lipidlər (əsasən xolesterin və xolesteridlər, bundan bir qədər az – fosfolipidlər, ən aşağı səviyyədə isə triasilqliserinlər) təşkil edir.

4. *α-Lipoproteinlər* – *yüksək sıxlıqlı* (1,063-1,210) *lipoproteinlərdir* (YS-LP); tərkibindəki lipid komponenti ümumi kütlənin 50-60%-ni təşkil edir və bunlar arasında fosfolipidlərin payı daha artıqdır. Son vaxtlar α-lipoproteinlərin 2 yarımfraksiyası (α_1 və α_2) ayırd edilir. Bunlardan birincisi *yüksək sıxlıqlı lipoproteinlər* (YS-LP), ikincisi isə *çox yüksək sıxlıqlı lipoproteinlər* (ÇYS-LP) adlanır.

Lipoproteinlərin təsnifatı şərtidir. Çünki onların tərkibi və sıxlığı lipidlərin toxumalara nəql olunması zamanı dəyişikliyə uğrayır.

Qan plazmasının lipoproteinləri kürəşəkilli hissəciklərdir. Onların sıxlığı artdıqca, diametri kiçilir: hissəciklərin nüvəsini qeyri-polyar lipidlər (triasilqliserinlər, xolesterin efirləri) təşkil edir; nüvəcik tərkibinə fosfolipidlər, zülal və sərbəst xolesterin daxil olan qışa ilə əhatələnmiş olur.

4.13-cü cədvəldə qan plazması lipidlərinin xassələrini əks etdirən bəzi əlamətlər haqqında məlumat verilmişdir. Qanda lipoproteinlərin müxtəlif növləri arasındakı normal nisbətə dəyişməsi ateroskleroz xəstəliyinin inkişafına səbəb olan əsas amillərdən biridir.

Qanda aşağı və çox aşağı sıxlıqlı lipoproteinlərin (β- və pre-β-lipoproteinlər) artması nəticəsində ateroskleroz törənə bilər. Buna görə lipoproteinlərin adı çəkilən fraksiyalarına *aterogen lipoproteinlər* deyilir.

Qan plazması lipidlərinin xarakteristikası

Lipoproteinin tipi	Hissəciklərinin ölçüsü (nm)	Sıxlığı (q/ sm ³)	Qan plazmasındakı miqdarı (mq/100 ml)	Quru kütlənin tərkibi (%-lə)					
				molekul kütləsi	zülallar	trigliserinlər	fosfolipidlər	xolesterin və onun efrirləri	Xolesterin-fosfolipid nisbəti
Xilomikronlar	7-15	<0,96	10-50	5·10 ⁸	2	88	4	6	1,5
Pre-β-lipoproteinlər (çox aşağı sıxlıqlı lipoproteinlər)	30-100	0,96-1,006	200-350	2·10 ⁷	2-13	64-80	6-15	8-13	1,4
β-Lipoproteinlər (aşağı sıxlıqlı lipoproteinlər)	21-25	1,006-1,063	315-385	2,5·10 ⁶	32	7	25	35	1,4
α-Lipoproteinlər	7-15	1,063-1,21	270-380	0,25·10 ⁶	49	7	27	17	0,6

Xilomikronlar iridiametrlı olduqlarına görə, damar divarına daxil ola bilmir. Yüksək sıxlıqlı lipoproteinlər (α-lipoproteinlər) damar divarından asanlıqla keçir və limfa sisteminə daxil olur. Tərkibində çoxlu zülal olduğuna görə α-lipoproteinlər damar divarında asanlıqla metabolizmə uğrayır və çöküntü əmələ gətirmir. AS-LP və ÇAS-LP isə xolesterinlə və triasilqliserinlərlə zəngin olduğuna görə, asanlıqla damar divarının endotel qişasına çökür və aterosklerozun inkişafına səbəb olur. Lipoproteinlərin aterogenliyi onların tərkibində olan xolesterinin miqdarının fosfolipidlərə nisbətən nə dərəcədə artıq olmasından da asılıdır. 4.13-cü cədvəldən görüldüyü kimi, xilomikronların, β- və pre-β-lipoproteinlərin xolesterin/fosfolipid əmsalı (1,4-1,5) α-lipoproteinlərin eyni göstəricisinə (0,6) nisbətən artıqdır.

Lipoproteinlərin həllolma qabiliyyətinə zülal komponentinin kütlə payı və fiziki-kimyəvi xassələri də mühüm təsir göstərir. Zülal hissəsinin kütlə payı 30%-dən az olan lipoproteinlərin (yəni xilomikronlar, pre-β- və β-lipoproteinlər) molekulları nüvəciyi lipiddən ibarət olan mitsel şəklindədir və bu nüvəcik əsasən hidrofil xassəli polyar qrupları olmayan triasilqliserinlərdən və xolesterin efrirlərindən ibarətdir; belə quruluş lipoproteinlərə su mühitində həll olmaq imkanı verir, lakin bunların hidrofiliyi nisbətən aşağı səviyyədə olur. Tərkibində 50%-ə yaxın zülal olan α-lipoproteinlərin nüvəciklərində hidrofil xassəli fosfolipidlərin miqdarı üstünlük təşkil edir. Həm zülalların, həm də

fosfolipidlərin polyar xassəli radikallara malik olması α -lipoproteinlərin həllolma qabiliyyətinin daha yüksək olmasının əsas səbəbidir. Belə güman edilir ki, α -lipoproteinlər α -spiral, β -lipoproteinlər isə β -təbəqəli struktur konfigurasiyasına malikdir.

Lipoproteinlər qanın tərkibində nəqlədiçi funksiya daşıyırlar. Buna görə onlara lipidlərin “nəqlədiçmə formaları” deyilir. Suda həllolma qabiliyyətləri sayəsində lipoproteinlər lipidləri həzm sistemindən və sintez edildikləri hüceyrələrdən istifadə edilməli olduqları toxumalara daşıyırlar. Bunu nəzərə alaraq, albuminlərlə sərbəst piy turşularının kompleks birləşmələrini də lipidlərin nəqlədiçmə formaları hesab edirlər. Lakin həm albuminlərin, həm də lipidləri adsorbsiya etmək xassəsinə malik olan digər qan serumu zülallarının bu prosesdə iştirakını spesifik reaksiya hesab etmək olmaz. Buna görə “lipidlərin nəqlədiçmə formaları” adı altında yalnız lipoproteinlər nəzərdə tutulmalıdır. Lipoproteinlərin tərkibində orqanizmin müxtəlif nahiyələrinə triasilqliserinlər, fosfolipidlər, steridlər, yağda həll olan vitaminlər, β -karotin və atsiklik spirtlər daşınır. Lipoproteinlərin hər bir növü bu və ya digər maddə növünü daşımağa daha artıq dərəcədə “ixtisaslaşmışdır”. Buna görə, onların qandakı qatılığı da bir-birindən fərqlənir. Məsələn, xilomikronların və pre- β -lipoproteinlərin lipid komponentinin əsas kütləsini bu komplekslər vasitəsilə daşıyan triasilqliserinlər təşkil edir. β -Lipoproteinlər əsasən xolesterini və az miqdarda fosfolipidləri, α -lipoproteinlər isə əsasən fosfolipidləri və az miqdarda xolesterini və onun efirlərini daşıyır.

S t r u k t u r lipoproteinlərinə fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə görə, p r o t e o l i p i d l ə r də deyilir. Bu komplekslərin mərkəzi hissəsində zülallar, səthində isə lipid komponenti yerləşir. Buna görə proteolipidlər suda həll olmur, qeyri-polyar həlledicilərdə (məsələn, 1:1 nisbətli xloroform-metanol qarışığında) yaxşı həll olur.

Proteolipidlər bioloji membranların əsasını təşkil edir. Onlar miokarda, skelet əzələlərində, böyrəklərdə, ağciyərlərdə, bitki toxumalarında geniş yayılmışdır; sinir liflərinin mielin qışasında xüsusilə çox proteolipid olur. Müxtəlif orqanların proteolipidlərinin tərkibi bir-birindən fərqlidir. Onların tərkibində 65-85%-ə qədər zülal olur. Membran proteolipidlərinin fiziki-kimyəvi xassələri hüceyrələrin fizioloji funksiyalarının təmin edilməsi üçün lazım gələn maddələrin hüceyrədaxili mühitə keçməsinə şərait yaradır.

4.11.5. XROMOPROTEİNLƏR

Xromoproteinlər qrupuna kofaktorunu, yəni zülal strukturuna malik olmayan funksional hissəsini rəngli birləşmələr təşkil edən mürəkkəb zülallar daxildir (yunanca: *chroma*–rəng, boyaq). Beləliklə, xromoproteinlər – kofaktorlu proteinlərin bir qrupunu təşkil edir. Kofaktorlu proteinlər rəngli və rəngsiz ola bilər.

Rəngli kofaktor-protein komplekslərinin – xromoproteinlərin aşağıdakı qrupları ayırd edilir:

1. H e m p r o t e i n l ə r – kofaktorları hem strukturlu birləşmələrdir;

2. X l o r o f i l p r o t e i n l ə r – qeyri-zülali komponentləri xlorofillərdən

ibarət olan bitki zülallarıdır;

3. *Kobamidproteinlər* – kofaktorları B₁₂ vitamininin törəmələridir;

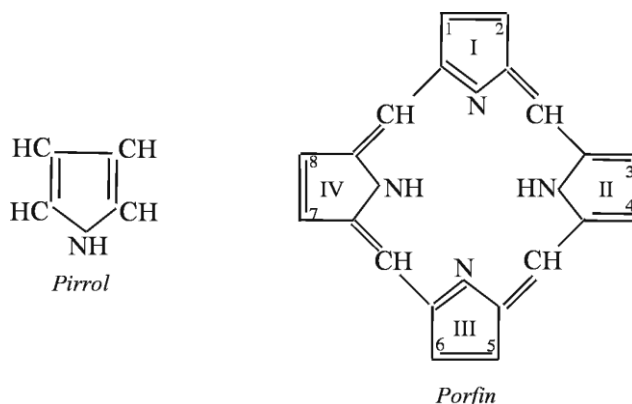
4. *Retinalproteinlər* – kofaktorları A vitamininin aldehid formasıdır;

5. *Flavoproteinlər* – qeyri-zülali hissələri flavinlərdir (B₂ vitamininin törəmələri).

Hemproteinlər və xlorofilproteinlər kofaktorlarının kimyəvi strukturuna görə bir-birinə oxşardır. Bu birləşmələrin kofaktorları porfirin törəmələrindən ibarətdir. Porfirinlərin strukturunun əsasını porfin adlanan tsiklik birləşmə təşkil edir. B₁₂ vitamini (kobamid) də strukturuna görə porfinə bənzədiyinə görə, bu vitaminin törəmələrinin zülallarla komplekslərini (kobamid fermentləri) porfirinli proteinlər qrupuna daxil etmək olar.

4.11.5.1. Hemproteinlər

Hemproteinlər qrupuna hemoqlobin, mioqlobin və bəzi fermentlər (sitoxrom sistemi fermentləri, katalaza, peroksidaza) aiddir. Bunların qeyri-zülal komponenti protoporfirin törəməsi ilə birləşmiş dəmir ionlarından ibarətdir. Hemporfirinlərdən fərqli olaraq, xlorofilporfirin molekulunda dəmir ionlarının əvəzində maqnezium ionları olur. Yuxarıda göstəriləyi kimi, hemporfirinlərin qeyri-zülal komponenti olan hemin strukturunun əsasını pirrol törəmələri (protoporfirinlər) təşkil edir. Hem molekulunun skeleti olan porfin bir-birilə metin (–CH =) körpüçükləri vasitəsilə birləşmiş 4 pirrol qalıqından ibarətdir (tetrapirrol törəməsi):

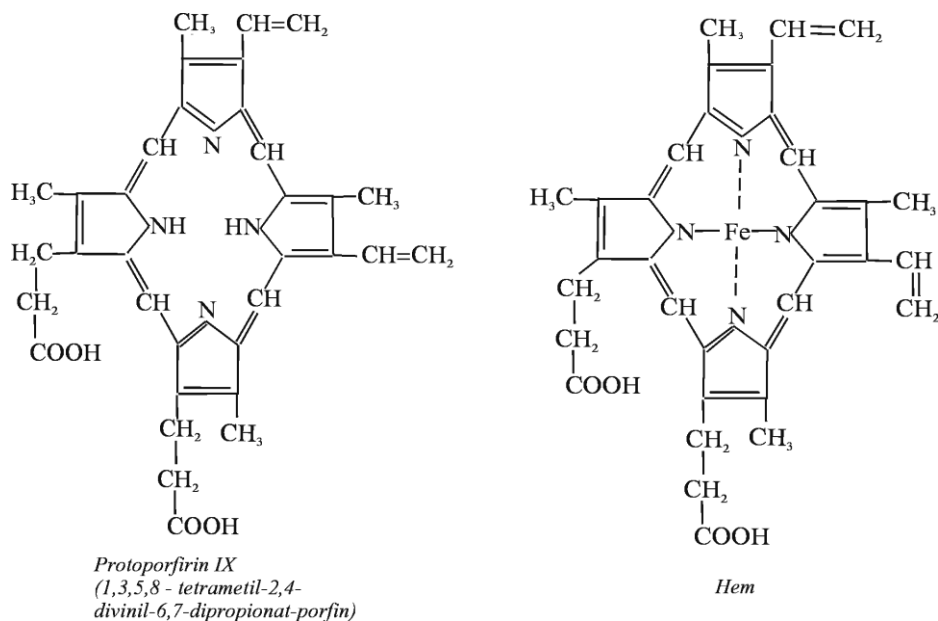


Hem – porfin törəməsi olan protoporfirinik ikivalentli dəmir ionu ilə birləşməsidir. Protoporfirin porfindən molekul strukturuna daxil olan yan zəncirlərə (metil, vinil qrupları və propion turşusu qalığı) görə fərqlənir. Kimyəvi strukturuna əsasən, protoporfirini 1,3,5,8-tetrametil-2,4-divinil-6,7-dipropionat-porfin adlandırmaq olar. Hem isə protoporfirinlə ikivalentli dəmir ionunun birləşməsidir. Hemoqlobinin tərkibində olan protoporfirin bu birləşmənin mümkün olan 15 izomerindən doqquzuncusudur (IX protoporfirin).

Hemin tərkibində olan dəmir atomu protoporfirinik azot atomlarından 2-si ilə kovalent və 2-si ilə koordinasiya rabitə vasitəsilə birləşir.

IX protoporfirin nüvəsi ilə ikivalentli dəmir ionunun birləşməsindən ibarət

olan hem heyvan və insan orqanizmlərində əsas oksigendaşıyıcı zülalların – hemoqləbin və mioqləbinin tərkibinə daxildir.



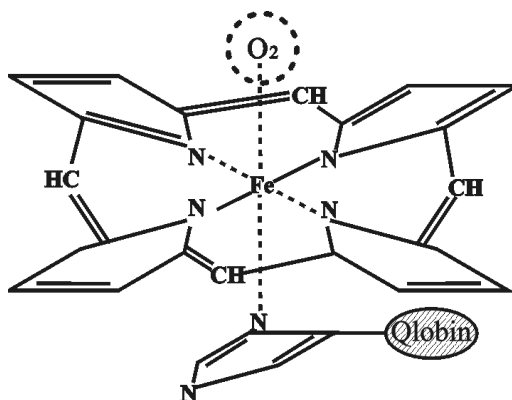
Hemoqləbin – eritrositlərin daxilində olan zülaldır. Bu zülalın əsas funksiyası ağciyərlərdən toxumalara oksigen daşımaqdan ibarətdir. Hər bir eritrositdə 300 mindən artıq hemoqləbin molekulu olur. Onun molekul kütləsi 64450-yə bərabərdir. Adından məlum olduğu kimi, hemoqləbin – hemlə qləbin adlanan zülalın birləşməsidir. Hər bir hemoqləbin molekulunda 4 hem və qləbin zülalını təşkil edən 4 polipeptid zənciri vardır. Qırmızı rəngli piqment olan hem qana spesifik rəng verir və oksigenlə birləşərək, onu toxumalara daşıyır. 1 litr qanın plazmasında normal atmosfer təzyiqi şəraitində cəmi 3 ml oksigen həll olur. Eyni miqdarda normal qanın eritrositlərində olan hemoqləbin isə bundan 70 dəfə artıq oksigenlə birləşə bilər. Bundan əlavə, hemoqləbin toxumalarda əmələ gələn karbon qazının 90%-dən artığının ağciyər vasitəsilə orqanizmdən kənar edilməsinə şərait yaradır.

Hemoqləbin molekulunun zülal hissəsini (qləbin zəncirini) təşkil edən 4 polipeptiddən bir cütü α -, digər bir cütü isə β -zəncir adlanır; α - və β -polipeptidlər tərkiblərindəki aminturşu qalıqlarının sayına və sırasına görə bir-birindən fərqlənir; lakin eyni adlı cütlər bir-birini təkrarlayır. Hər bir α -polipeptidin tərkibində 141, β -polipeptiddə isə 146 aminturşu qalığı vardır; hemoqləbin molekulunda olan aminturşu qalıqlarının ümumi sayı isə 574-dür. Bu molekulun ikincili strukturunda bir-birilə spiral şəklində olmayan hissəciklər vasitəsilə birləşmiş spiral seqmentləri (domenlər) ayırd edilir: α -polipeptid zəncirində 7, β -zəncirində isə 8 seqment vardır. Bu seqmentlər latın əlifbasının hərfləri ilə (A, B, C, D, E, F, G, H) işarə edilir.

Hemoqləbinin α - və β -polipeptid zəncirlərinin üçüncülü strukturunu bir-birinə oxşardır. Hər bir polipeptid zəncirinin spirallarının əmələ gətirdiyi “yumağın” daxilində hem yerişməsinə müvafiq gələn boşluq vardır. Bu

boşluqda özünə mövqe tutan hem qeyri-polyar rabitələrinin yaratdığı Van-der-Vaals cazibəsi və qlobin zəncirindəki aminturşuların hidrofob rabitələri sayəsində zülalla birləşir. Bundan əlavə, hemdə olan propion turşusu qalıqları qlobinin sərbəst amin qrupları ilə ion rabitəsinə girir; eyni zamanda hemdə olan dəmir atomu qlobinin histidin qalığı ilə koordinasiya rabitə əmələ gətirir. Beləliklə, buradakı dəmir atomunun 6 koordinasiya rabitəsindən dördü protoporfirin pirrol halqaları ilə, beşincisi qlobin molekulundakı histidin yan zənciri ilə birləşir (şəkil 4.11), altıncı koordinasiya rabitə isə sərbəst qalır və bu rabitə oksigenlə və ya digər liqandlarla birləşmək üçündür.

Hemoqlobin molekulunun dördüncülü strukturu hər birinin tərkibində 1 ədəd hem olan 4 submolekulyar vahidin (bir cüt α - və bir cüt β -polipeptid zəncirinin) birləşməsi sayəsində formalaşır (şəkil 4.9). Müxtəlif zəncirlər (yəni α_1 - zəncirlə β_1 və β_2 - zəncirləri və α_2 ilə β_2 -zəncirləri) bir-birilə çoxsaylı Van-der-Vaals rabitələri vasitəsilə birləşir. Eyni tipli zəncirlər arasında isə ion rabitələri olur. Lakin buradakı ion rabitələrinin sayı qeyri-sabitdir və hem oksigenlə birləşməsindən asılıdır. Sərbəst hemoqlobin molekulunda (yəni dezoksihemoqlobində) 2 cüt ion rabitəsi olur; bunlardan bir cütü α_1 - və α_2 -polipeptidlərini, bir cütü isə β_1 - və β_2 -polipeptidlərini birləşdirir. Hemoqlobinin tetramer strukturunun daxilində molekulun bütün cismini dəlib keçən boşluq vardır (şəkil 4.9.). Əsasən polipeptid zəncirlərinin qeyri-polyar qrupları və tək-tək polyar radikallar bu boşluğa tərəf çevrilmiş vəziyyətdə olur. Qeyri-polyar qruplar arasında olan hidrofob xarakterli rabitələr su mühitində molekulun daxili hissəsini suyun təsirindən mühafizə edir və tetramer strukturu sabitləşdirir.



Şəkil 4.11. Hemoqlobin molekulunda hemlə qlobinin birləşməsinin sxemi

Hemoqlobinin heterogenliyi. Yetkinlik yaşına çatmış insan orqanizmində hemoqlobinin iki və daha artıq fraksiyası olur; bu fraksiyalar bir-birindən qlobin zülallarının protomerlərində olan aminturşu qalıqlarının düzülüşünə (birincili struktur) görə fərqlənir. Lakin hemoqlobinin dördüncülü strukturunda da müəyyən fərqlər ola bilər. Qanda hemoqlobinin bir neçə fraksiyasının aşkar edilməsi hemoqlobinin *heterogenliyi* adlanır. Heterogenliyin həm normal (fizioloji), həm də patoloji formaları vardır. Bunlar qanda hemoqlobinin fizioloji və anormal tiplərinin olması ilə əlaqədardır. Hemo-

qlobinin fizioloji tipləri normal orqanizmdə ontogenezin müxtəlif mərhələlərində sintez edilir, anormal hemoqlobinlər isə orqanizmdə sintez edilən qlobin zəncirinin strukturunun genetik pozulması nəticəsində törənir və belə hemoqlobin molekullarında aminturşu qalıqlarının tərkibi və düzülüşü fizioloji hemoqlobinlərdəkindən fərqlənir.

Hemoqlobinin fizioloji tipləri bir-birindən qlobinin struktur monomerlərinin növlərinə görə fərqlənir; bu monomerlərin müxtəlif tipləri insan orqanizmində ontogenezin müxtəlif mərhələlərində (embrional inkişaf dövründən yetkinlik yaşına qədər) sintez edilir.

Embrional inkişaf dövründə və dölün inkişafının ilk həftələrində (bətndaxili *inkişafın* 18-ci həftəsinə qədər) qanyaradıcı sistemdə ilkin və ya primitiv hemoqlobin sintez edilir (ingiliscə: *primitive* – sadə). Bu hemoqlobinin Hb Gover₁ və Hb Gover₂ adlanan növləri vardır. Bunlar embrionun yumurta sarısı kisəsində yerləşən qanyaranma mərkəzlərində sintez edilir. Embrional inkişafın ilk mərhələlərində sintez edilən hemoqlobinin zülal hissəsi 4 ədəd ε-polipeptid zəncirindən ibarət olur; buna Gover₁ hemoqlobini (Hb Gover₁) deyilir. Bundan bir qədər sonra (embrionun uzunluğu 2,5 sm-ə yaxın olan dövrdə) embrionun qanyaradıcı sistemində α-polipeptidi sintez edilməyə başlayır. Bu dövrdə primitiv hemoqlobinin nisbətən yetkin forması olan Gover₂ hemoqlobini əmələ gəlir; bu hemoqlobinin tərkibində iki ε- və iki α- polipeptidi olur.

Bətdaxili inkişaf dövrünün 3-cü ayının sonunda primitiv hemoqlobinin sintezi dayanır. Buna görə, yeni doğulmuş uşağın qanında primitiv hemoqlobinin olması inkişaf anomaliyası hesab edilir.

Bətdaxili inkişafın 3-cü ayının axırında qanyaranmanın yumurta sarısı kisəsi mərhələsi qaraciyər mərhələsi ilə əvəz olunur. Bu dövrdə orqanizmdə ε-polipeptidinin sintezi dayanır və onun əvəzində qaraciyərdə γ-polipeptidi sintez edilir; primitiv hemoqlobin isə döl hemoqlobini və ya fetal hemoqlobinlə (HbF) əvəz olunur (latınca: *foetus* – döl). Bu hemoqlobinin zülal hissəsi iki α- və iki γ-polipeptid zəncirindən ibarət olur. Fetal hemoqlobin oksigenlə adi hemoqlobinə nisbətən asan birləşir və onun oksigenlə birləşməsi (HbF · O₂) çətinliklə dissosiasiyaya uğrayır.

Bətdaxili inkişaf dövrünün sonu yaxınlaşdıqca, döl orqanizmində qanyaranmanın qaraciyər mərhələsi tədricən sümük iliği mərhələsi ilə əvəz edilməyə başlayır. Bu dövrdə “yetkin” hemoqlobinin sintezi sürətlənir; buna A hemoqlobini (HbA) deyilir (ingiliscə: *adultus* – yetkin, böyük yaşlı). Yenidoğulma dövründə qanda fetal hemoqlobin 70-90%, 1 yaşdan sonrakı dövrdə isə 1-2% olur; buna müvafiq olaraq, A hemoqlobininin miqdarı artır. Yetkin yaşlı şəxslərin qanında 95-96% HbA₁, 2-3% HbA₂ və 2%-ə qədər HbF olur. A₁ və A₂ hemoqlobinləri bir-birindən polipeptid zəncirlərinin növünə görə fərqlənir. A₁ hemoqlobininin strukturu haqqında yuxarıda məlumat verilmişdir. Bu, hemoqlobinin ən tipik forması hesab edilir. Molekuluna iki α- və iki β-polipeptid zənciri daxil olan A₁ hemoqlobini Hbα₂β₂ kimi işarə edilir. A₂ hemoqlobininin molekulunda β-polipeptid zəncirlərinin əvəzində δ-zəncirlər olur – Hbα₂δ₂. δ-Polipeptid birincili strukturuna görə β-polipeptidə oxşardır, lakin onun tərkibində 10 aminturşu qalığı β-polipeptiddəkindən fərqlənir.

İnsan qanında hemoqlobinin heterogenliyinin 3 tipi ayırd edilir:

1. *Heterogenliyin embrional tipi* – qanda embrional inkişaf dövrü üçün səciyyəvi olan 2 hemoqlobin növündən hər hansı birinin (çox vaxt fetal hemoqlobinin) artıq miqdarda olması;

2. *Fizioloji hemoqlobin molekullarına aid olan minor polipeptid zəncirinin* (δ - polipeptidi) daxil olduğu hemoqlobinin artıqlığı;

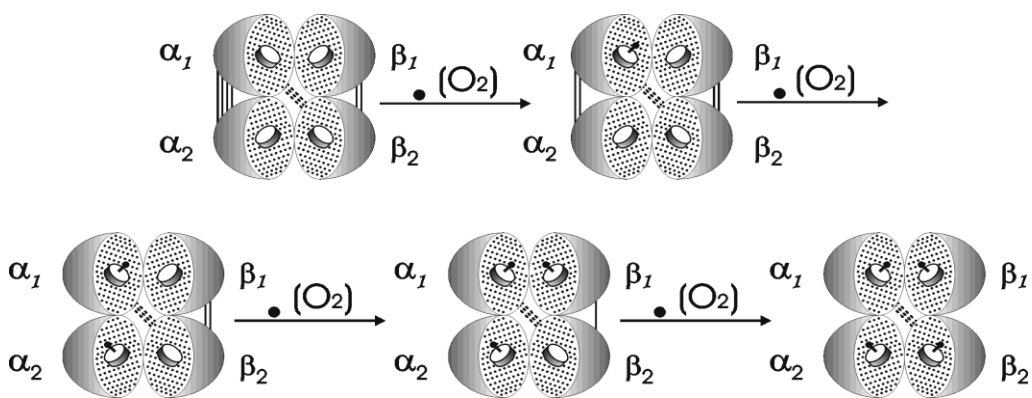
3. *Genetik heterogenlik* – qanda fizioloji hemoqlobin polipeptidlərindən fərqlənən polipeptid zəncirlərinin daxil olduğu hemoqlobin tiplərinin aşkar edilməsi. Bu polipeptidlərdə aminturşu sırası dəyişilmiş olur. İndiyə qədər anomal hemoqlobinlərin 300-ə qədər növü aşkar edilmişdir. Bunların əksəriyyəti normal hemoqlobinə xas olan funksiyaları yerinə yetirə bilir və yalnız elektroforez vasitəsilə aparılan tədqiqat zamanı aşkar edilir. Hemoqlobinin heterogenliyinin 10-a qədər növü isə xəstəlik şəklində təzahür edir. Bu xəstəliklərin əlamətləri anomal hemoqlobinlərin oksigen mübadiləsində tam keyfiyyətlə iştirak edə bilməməsi nəticəsində törənir (bunlar haqqında dərsləyin II cildində məlumat verilmişdir).

H e m o q l o b i n i n k i m y ə v i x a s s ə l ə r i. Hemoqlobinin kofaktoru olan hem xlorid turşusunun və qələvilərin təsiri altında, molekulyar oksigenin iştirakı ilə oksidləşir. Bu zaman onun tərkibində olan ikivalentli dəmir ionu üçvalentliyə çevrilir; əgər dəmir üçüncü valentlik vahidi hesabına xlor ionu ilə birləşsə, belə birləşməyə *hem*, hidrosil ionu ilə birləşsə, *hematin* deyilir.

Hemoqlobinin hava oksigeni ilə (molekulyar oksigenlə) birləşmə qabiliyyətinin bioloji əhəmiyyəti xüsusilə böyükdür. Dezoksihemoqlobin (sərbəst hemoqlobin) molekulunda dəmir atomunun koordinasiya rabitələrindən biri sərbəst olur. Dəmir atomu həmin sahədən oksigenlə birləşir; lakin bu zaman dəmirin valentliyi dəyişir. Oksihemoqlobinin (hemoqlobinin oksigenlə birləşməsi) dəmir atomu porfirin halqasının səthində yerləşir, dezoksihemoqlobində isə dəmir atomunun diametri nisbətən böyük olur və onun sərhədləri porfirin halqasının səthindən kənara çıxır. Hemoqlobin molekulunda olan 4 hemin oksigenlə rabitəyə girmək qabiliyyəti bir-birindən asılıdır. Dördüncü lü struktura malik olan zülalların protomerlərinin belə əlbir fəaliyyət göstərməsinə *kooperativlik* deyilir.

Dezoksihemoqlobinlə birləşən ilk oksigen molekulunu α -polipeptid zəncirlərindən biri (α_1 -polipeptidi) qəbul edir (şəkil 4.12): bu zaman α_1 və α_2 -polipeptidləri arasında olan 4 ion rabitəsindən ikisi qırılır və həmin protomerlərin mütəhərriqliyi artır, bunun nəticəsində ikinci α -polipeptidin oksigenlə birləşməsinə daha əlverişli şərait yaranır və ikinci oksigen molekulu α_2 -polipeptidinə birləşdikdə polipeptidlər (α_1 və α_2) arasında qalan 2 ion rabitəsi də qırılır. Bunun nəticəsində digər hemlərin oksigenlə birləşməsi üçün əlverişli imkan yaranır. Bundan sonra β_1 -polipeptidi ilə üçüncü oksigen molekulu arasında rabitə yaranır və β -polipeptidlərin arasında olan iki ion birləşməsindən biri qırılır; bu isə növbəti oksigen molekulunun β_2 -zəncirinə yaxınlaşmasını asanlaşdırır. Sonuncu polipeptidlə rabitədə olan hem oksigenlə birləşdikdə, β_1 və β_2 -polipeptidlərini birləşdirən axırıncı rabitə də qırılır. Beləliklə, dezoksi-

hemoqlobin molekuluna ilk oksigen molekulunun birləşməsi sonrakılara nisbətən çətinidir. Bəzi mülahizələrə görə, dördüncü oksigen molekulunu hemlə birinciyə nisbətən 500 dəfə asanlıqla birləşir. Oksigenlə doymuş hemoqlobin (oksihemoqlobin) də öz ilk oksigenini toxumalara çətinliklə verir, ikinci, üçüncü və dördüncü oksigen molekulunun hemoqlobindən ayrılması isə get-gedə asanlaşır. Hemlərin belə əlbir (kooperativ) fəaliyyətinin böyük fizioloji əhəmiyyəti vardır. Bunun sayəsində alveolyar havada oksigenin parsial təzyiqi 100 mm.c.st. təzyiqinə (12,6 kPa) bərabər olduqda ağciyər alveollarından keçən qandakı hemoqlobinin 95-97%-i, alveolyar havada pO_2 80 mm c.st. (10,6 kPa) olduqda hemoqlobinin 90%-ə qədər oksigenlə birləşir; periferik toxumalarda isə oksigenin parsial təzyiqi aşağı olduğundan, oksihemoqlobin dissosiasiyaya uğrayır və toxumalar molekulyar oksigendən istifadə etmək imkanı əldə edir. Oksi-hemoqlobin molekulunda olan monomerlərin fəaliyyətindəki kooperativlik periferik toxumaların kapilyarlarında oksigenin hemoqlobindən ayrılması üçün əlavə enerji sərf edilməsi tələbatını aradan qaldırır.



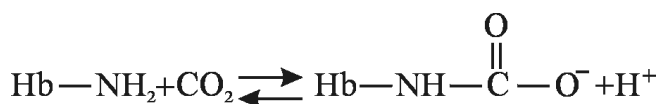
Şəkil 2.12. Hemoqlobinin oksigenlə birləşməsinin sxematik təsviri (Ye.A.Stroyev, 1986): Müxtəlif protomerlərdə olan hemlər oksigenlə ciddi ardıcılıq üzrə birləşir və bu zaman eyniadlı polipeptid zəncirlərində olan ion rabitələri qırılır (bütöv xətlərlə ion rabitələri, punktilə Van-der-Vaals rabitələri göstərilmişdir).

Hidrogen ionlarının qatılığı hemoqlobinin oksigenlə birləşmə qabiliyyətinə ciddi təsir göstərir. Mühitin pH-nın bu prosesə təsiri *Bor effekti* adlanır. Oksigendən istifadə edən toxumaların kapilyarlarında pO_2 azaldıqca, karbon qazının və süd turşusunun miqdarı artır. Nəticədə mühitin pH-ı azalır. Bu şəraitdə oksihemoqlobin daha asanlıqla dissosiasiyaya uğrayır və onun tərkibində olan oksigen toxumalara verilir. Bor effektinin reallaşması zamanı protonlar (hidrogen ionları) qlobinin amin və imidazol qrupları ilə birləşərək, allosterik tənzimedicisi funksiyasını yerinə yetirir. Hemoqlobinin oksigendəşiyici funksiyasının təbii allosterik tənzimləyicilərindən biri də 2,3-difosfoqliserin efiridir. Eritrositlərdə hemoqlobinlə ekvimolyar miqdarda 2,3-difosfoqliserin efiri olur. Bu maddə dezoksihemoqlobinin bir cüt β -polipeptid zənciri ilə birləşib, kapilyarlarda olan oksigenin eritrositlərdə sərbəst vəziyyətə keçən hemoqlobinlə yenidən birləşmək imkanını aradan qaldırır, nəticədə eritrositlər kapilyarlara gətirilən oksigenin daha çox hissəsini toxumalara vermək imkanı əldə edir.

Oksigenlə zəngin olan mühitdə 2,3-difosfoqliserin efiri hemoqlobin molekulundan ayrılır (bu efinin tərkibində olan fosfat turşusu qalıqları ion rəbitəsi vasitəsilə β-polipeptidlərdəki lizin qalığının α-amin qrupu ilə və histidinlə birləşir; adı çəkilən radikallar hemoqlobin molekulunun daxili boşluğunda yerləşir; oksigenləşmə zamanı həmin boşluğun ölçüləri kiçildiyinə görə, 2,3-difosfoqliserin efiri buraya yerləşmir və hemoqlobin molekulundan uzaqlaşır).

Hemoqlobin müxtəlif kimyəvi amillərin təsiri nəticəsində dəyişikliyə uğraya bilər. Onun dəyişikliyə uğramış formalarından karbamin-hemoqlobin (karbhemoqlobin), karboksihemoqlobin və methemoqlobin orqanizm daxilində də əmələ gəldiyinə görə, tibbi biokimya baxımından daha böyük maraq doğurur.

Karbhemoqlobin – hemoqlobinin karbon qazı (CO₂) ilə birləşməsi nəticəsində əmələ gəlir. CO₂ hemoqlobinin N-terminal amin qrupları ilə birləşir:



Karbon qazının hemoqlobinlə birləşməsində hem iştirak etmir. Lakin dezoksihemoqlobin bu reaksiyaya oksihemoqlobinə nisbətən asanlıqla girir; reaksiya asanlıqla geriye dönə bilər və bu reaksiyanın istiqaməti karbon qazının parsial təzyiqindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Orqanizmdə karbhemoqlobinin əmələ gəlməsi və asanlıqla dissosiasiyaya uğraması karbon qazının toxumalardan ağciyərlərə daşınmasına, buradan isə xarici mühitə ötürülməsinə şərait yaradır.

Karboksihemoqlobin – hemoqlobinin dəm qazı (CO) ilə birləşməsidir. Dəm qazı həmin tərkibində olan dəmirlə birləşir. Buna görə hər bir hemoqlobin molekulu yalnız 4 molekul CO ilə birləşə bilər. Oksihemoqlobində olduğu kimi, karboksihemoqlobində də dəmirin valentliyi dəyişir. Lakin hemoqlobinin dəm qazı ilə birləşmə qabiliyyəti oksigenlə birləşmə qabiliyyətinə nisbətən 200-300 dəfə yüksəkdir. Buna görə, nəfəs alınan havada dəm qazının parsial təzyiqi oksigenə nisbətən 200-300 dəfə az olduqda orqanizmdə olan hemoqlobinin əksər hissəsi karboksihemoqlobinə çevrilə bilər. Bu şəraitdə dəm qazı hemoqlobinin tərkibində oksigenin yerini tutduğuna görə, qanın tənəffüs funksiyası pozulur. Beləliklə, dəm qazı orqanizmə zəhərləyici təsir göstərir. Orqanizmdə olan hemoqlobinin 70%-nin karboksihemoqlobinə çevrilməsi ölümlə nəticələnən ağır zəhərlənmə halı törədir. Dəm qazı ilə zəhərlənmə zamanı xəstəyə ilk yardım məqsədilə tənəffüs havasında oksigenin parsial təzyiqini dərhal artırmaq lazımdır. Bu məqsədlə xəstəyə təmiz oksigenlə nəfəs verilməli, bu mümkün olmadıqda isə xəstə dərhal təmiz havaya çıxarılmalıdır. Oksigenin parsial təzyiqinin artırılması karboksihemoqlobinin dissosiasiyasına və qanda oksihemoqlobinin qatılığının artırılmasına imkan verir.

Methemoqlobin – hemoqlobinin qüvvətli oksidləşdiricilər vasitəsilə oksidləşməsi nəticəsində əmələ gələn törəməsidir; tərkibindəki dəmir üçvalentli (Fe³⁺) olur. Methemoqlobinin əmələ gəlməsinə peroksidazalar, azot oksidləri, nitritlər, xionlar, Bertole duzu (KClO₄) və b. oksidləşdiricilər səbəb ola bilər.

Methemoqlobin oksigenlə birləşmədiyinə görə, normal hemoqlobinin funksiyasını yerinə yetirə bilmir. Methemoqlobin orqanizmdə adi şəraitdə də əmələ gəlir və tezliklə fermentativ üsulla (methemoqlobin-reduktaza fermentinin təsiri nəticəsində) reduksiya uğrayaraq, hemoqlobinə çevrilir. Lakin onun əmələ gəlməsi sürətləndikdə orqanizm ağır oksigen çatışmazlığına məruz qala bilər. Belə vəziyyət azot oksidləri, nitrobenzol, anilin və b. maddələrlə zəhərlənmələr zamanı müşahidə edilir. Nadir hallarda methemoqlobin-reduktaza fermentinin sintezinin genetik pozulması ilə əlaqədar olan irsi *methemoqlobinemiya* xəstəliyinə də rast gəlinir. Bunlara baxmayaraq, orqanizmdə az miqdarda methemoqlobinin əmələ gəlməsi karboksihemoqlobinin əmələ gəlməsinə nisbətən az təhlükəlidir. Methemoqlobin sianid (CN⁻) anionları ilə asanlıqla birləşərək, sianmethemoqlobinə çevrilir. Methemoqlobinin bu xassəsindən sianidlərlə zəhərlənmə zamanı tibbi yardım məqsədilə istifadə edilir. Belə hallarda xəstənin qan damarlarına methemoqlobin əmələ gətirən maddələrin (məsələn, natrium-nitrit) məhlulları yeridilir.

Hemoqlobinin bioloji funksiyaları. Hemoqlobin orqanizmdə 1) oksigenin nəqledicisi, 2) karbon qazının nəqledicisi və 3) qanın bufer tutumunun tənzimləyicisi funksiyalarını yerinə yetirir.

Oksigen ağciyər alveollarının membranlarından və kapillyarların divarlarından diffuziya yolu ilə keçərək, qan plazmasının tərkibinə daxil olur. Alveolyar havada oksigenin parsial təzyiqinin qan plazmasındakına nisbətən yüksək olması bu prosesə (diffuziyaya) şərait yaradır. Bundan sonra oksigen plazmadan eritrositlərə daxil olaraq, hemoqlobinlə birləşir. Normal atmosfer təzyiqi şəraitində ağciyərlərdən keçən hemoqlobinin 97%-ə qədər oksigenə birləşir. Oksigenli mübadilə prosesi gedən toxumaların kapillyarlarında oksihemoqlobin oksigenə və dezoksihemoqlobinə dissosiasiya edir; sərbəst oksigen isə eritrositlərdən plazma vasitəsilə hüceyrəarası mayeyə, buradan isə hüceyrələrə daxil olur. Eyni zamanda hüceyrələrdə metabolizm prosesində əmələ gələn karbon qazı da diffuziya yolu ilə qana keçir və onun bir hissəsi dezoksihemoqlobinlə birləşir. Beləliklə, toxumalardan karbon qazının bir hissəsi ağciyərlərə karbhemoglobin şəklində gətirilir. CO₂-nin 10-15%-i hemoqlobinlə birləşmə şəklində, 60%-ə qədər plazmanın, qalan hissəsi isə eritrositlərin daxilində HCO₃⁻ anionları şəklində daşınır. Lakin karbon qazının karbonat anionunun tərkibində nəql edilməsi də dolayı yolla hemoqlobinin funksiyası ilə əlaqədardır. Çünki hemoqlobin karbonat turşusunun dissosiasiyası nəticəsində ayrılan H⁺ ionlarını özünə birləşdirməklə, karbon qazının məhlulda qalmağına şərait yaradır.

Hemoqlobin və oksihemoqlobin turş xassəli maddələrdir, lakin bunlardan birincisinin turşuluğu ikinciyyə nisbətən xeyli aşağıdır. Buna görə, hemoqlobin və oksihemoqlobin bufer xassəsinə malik olmaqla, qanın pH-nın sabit səviyyədə saxlanmasına yardım göstərir.

Mioqlobin. Heyvanların əzələlərində oksigenlə birləşmək və onu ehtiyat üçün saxlamaq xassəsinə malik olan zülal vardır. Kimyəvi tərkibinə görə hemoqlobinə yaxın olduğundan, əvvəllər bu zülalı əzələ hemoqlobini – miohemoqlobin adlandırırdılar. Hazırda ona mioqlobin deyilir (*myoglobinum*: yunanca: *myos* – əzələ, + latınca: *globus* – kürə). Beləliklə, “mioqlobin” adı bu

zülalın əzələlərdə yayıldığını və qlobulinlər sinfinə daxil olduğunu ifadə edir.

Mioqlobin kimyəvi tərkibinə görə, xromoproteinlərin nümayəndəsidir. Hemoqlobindən fərqli olaraq, mioqlobinin molekulunda yalnız 1 ədəd dəmir atomu olur. Lakin mioqlobinin molekuluna da dəmir atomu hemoqlobindəki kimi, IX protoporfirin birləşməsi (hem) şəklində daxil olur. Mioqlobin molekulunun zülal hissəsi həm kütlə ədədinə, həm də tərkibindəki aminturşu qalıqlarının ardıcılığına görə, hemoqlobindən fərqlənir. Müxtəlif heyvanların əzələlərində olan mioqlobinlərin orta molekul kütləsi 17500, molekul strukturuna daxil olan aminturşu qalıqlarının sayı isə 153-dür. Mioqlobinin birincili strukturu növ spesifikliyinə malik olur, yəni müxtəlif heyvan növlərinin mioqlobinləri aminturşu qalıqlarının ardıcılığına görə həm bir-birindən, həm də insan mioqlobinindən fərqlənir. Hemoqlobindən fərqli olaraq, mioqlobinin tərkibində sistein və sistin qalıqlarına təsadüf edilmir. Mioqlobinin ikincili strukturunun 70%-ə qədəri spirallaşmış vəziyyətdədir. Onun molekuluna 8 ədəd sağ istiqamətli α -spiraldan ibarət olan seqment daxildir. Mioqlobin hemoqlobinin eyni birləşmələrinə uyğun gələn oksimioqlobin, karboksimioqlobin və metmioqlobin kimi birləşmələr əmələ gətirə bilir.

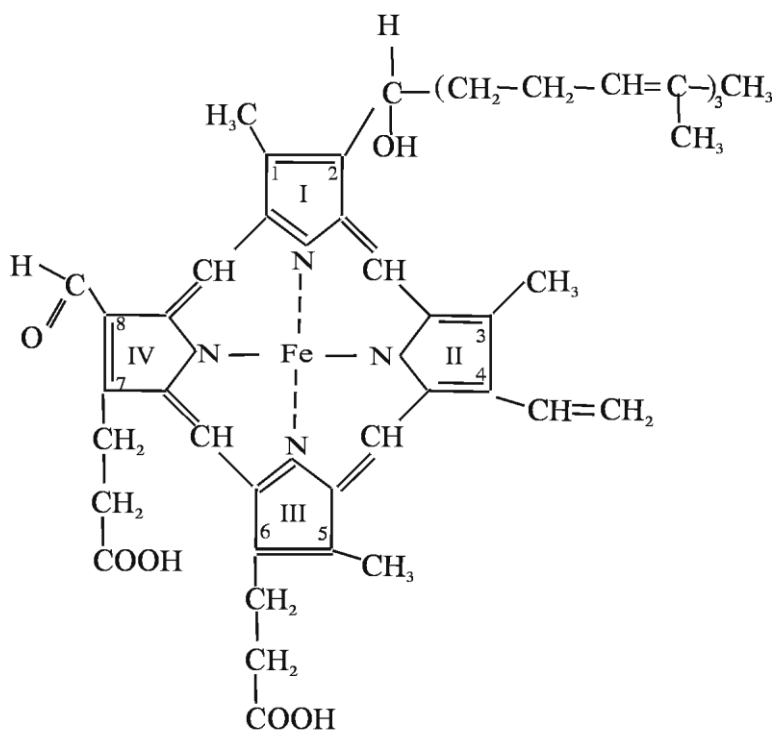
Mioqlobinin oksigenə həssaslığı hemoqlobindən artıqdır. Hemoqlobinin 50%-nin oksihemoqlobinə çevrilməsi üçün oksigenin parsial təzyiqi 20 mm.c.st. təzyiqinə bərabər (2,6 kPa) olmalıdır, mioqlobinin eyni miqdarı isə $pO_2=3,3$ mm/c.st. (0,43 kPa) olduqda oksimioqlobinə çevrilir.

Mioqlobinin qanla əzələlərə gətirilən oksigeni özünə birləşdirmək və ehtiyat üçün saxlamaq xassəsi qısamüddətli oksigen çatışmazlığı şəraitində maddələr mübadiləsinin gedişinin təmin edilməsinə şərait yaradır. Suda yaşayan məməlilərin (sui, balina və s.) orqanizmində mioqlobinin miqdarının çox olmasının böyük bioloji əhəmiyyəti vardır. İtin ürək əzələsində 0,5% (quru kütləyə görə) mioqlobin olduğu halda, suitinin ürək əzələsində bu zülalın miqdarı 7,7%-ə qədərdir. Sui orqanizmində toplanan oksigenin təxminən yarısı hemoqlobinlə, yarısı isə mioqlobinlə birləşmiş vəziyyətdə olur. Oksimioqlobinin miqdarının çox olması suda yaşayan məməlilərə uzun müddət suyun altında qalmaq imkanı verir.

Hemproteinlərin başqa nümayəndələri. Prostetik qrupu hemdən ibarət olan mürəkkəb zülalların bir hissəsi ferment xassəsinə malikdir. Oksidləşdirici fermentlərdən sitoxromlar, katalaza və peroksidaza bunlara misal ola bilər.

Sitoxromların bir-birindən molekul strukturuna daxil olan hemlərin tərkibinə görə fərqlənən 4 qrupu vardır. Bunlar **a**, **b**, **c** və **d** hərfləri ilə işarə edilir; **a**, **b** və **c** tipli sitoxromların tərkibinə müvafiq olaraq, **a**, **b** və **c** tipli hemlər daxildir; bundan əlavə, onların apoferment (zülal) hissəsi də bir-birindən aminturşu qalıqlarının düzülüşünə və sayına görə fərqlənir; **d** tipli sitoxromların tərkibində bəzən d tipli hemdən əlavə, **c** tipli hem də olur.

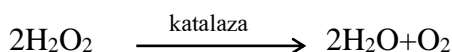
Sitoxromoksidaza sisteminə daxil olan **a** və **a₃** sitoxromlarının kofaktoru hemoqlobinin prostetik qrupundan fərqlənir. Məsələn, hem **a** və ya formilporfirin adlanan kofaktorun tərkibində IX protoporfirindən fərqli olaraq, 8-ci karbon atomu metil radikalı əvəzinə formil radikalı ilə, ikinci karbon atomu isə vinil qrupu əvəzinə izoprenoid qalığı ilə birləşmiş vəziyyətdədir. Hem **a** ilə birləşən dəmir atomu da ikivalentli olur.



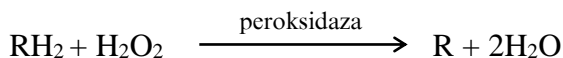
hem a (formil-porfirin)

Sitoxromoksidaza heyvan və bitki toxumalarında geniş yayılmış hem-proteindir. Bu ferment mitoxondrilərdə bioloji oksidləşmə (toxuma tənəffüsü) prosesində sonuncu mərhələni kataliz edir. Bu proses sayəsində dehidrogenazalar vasitəsilə oksidləşmə substratlarından alınan elektronlar elektron-daşıyıcı zəncirdə (EDZ) sonuncu akseptor olan oksigenə ötürülür. Əvvəllər belə hesab edilirdi ki, sitoxrom **a** və sitoxrom **a₃** bir-birindən asılı olmayan müstəqil fermentlərdir. Lakin müvafiq elmi tədqiqatlar göstərmişdir ki, bu sitoxromlar eyni ferment kompleksinə daxil olur. Buna görə həmin kompleksə sitoxrom **a**, **a₃** və ya sitoxromoksidaza adı verilmişdir. Sitoxromoksidazanın tərkibində 2 ədəd hem və 2 ədəd mis ionu vardır; mis ionlarının hemlə qarşılıqlı təsiri nəticəsində burada olan dəmir ionları ikivalentli vəziyyətdən üçvalentli vəziyyətə və əksinə keçə bilər. Sianidlər, karbon-2-oksidi (dəm qazı) və hidrogen-sulfid sitoxromoksidazaya inaktivləşdirici təsir göstərir.

Katalaza və peroksidaza fermentlərinin kofaktoru protoporfirin IX-la dəmirin birləşməsindən (protohem) ibarətdir. Lakin katalazanın kofaktorunda olan dəmir üçvalentlidir və apofermentlə möhkəm birləşmişdir; peroksidazanın kofaktorunun apofermentlə əlaqəsi nisbətən zəif olur. Bu fermentlərdən birincisi (katalaza) toxumalarda aerob dehidrogenazaların və flavoprotein tərkibli oksidazaların (monoaminoksidaza, ksantinoksidaza, qlükozaoksidaza və s.) fəaliyyəti nəticəsində əmələ gələn hidrogen-peroksidi parçalayaraq, suya və molekulyar oksigenə çevirir:



Peroksidazanın katalizatorluğu ilə baş verən reaksiya zamanı hidrogen-peroksiddən elektron akseptoru kimi istifadə edilir. Bu fermentin iştirakı şəraitində gedən reaksiyaları aşağıdakı ümumi tənliklə ifadə etmək olar.



Katalaza hidrogen-peroksidi parçalamaqla, hüceyrələri bu birləşmənin oksidləşdirici təsirindən mühafizə edir; peroksidazanın bioloji əhəmiyyəti mitoxondrilərin membranlarında və mikrosomlarda toplanan müxtəlif substratların oksidləşməsi ilə əlaqədardır.

Protoporfirin bioloji cəhətdən mühüm törəmələrindən biri də bitkilərin yaşıl rəngli pigment maddəsi olan xlorofildir. *Xlorofil* bitkilərin yaşıl hissəsinin hüceyrə orqanoidlərindən biri olan xloroplastlarda toplanır və günəş enerjisinin təsiri altında qeyri-üzvi maddədən (karbon qazı və sudan) üzvi maddələrin sintezində iştirak edir. Bu proses işığın təsiri altında həyata keçdiyinə görə, fotosintez adlanır (yunanca: photos– işıq+*sintez*). Üzvi maddələri fotosintez prosesindən əldə edən bütün canlılarda xlorofil aşkar edilmişdir. Hazırda bu birləşmələrin 10-dan artıq növü məlumdur. Məsələn, yaşıl bitkilərin hamısında **a** və **b** tipli xlorofillər, yosunların bir qrupunda **c** xlorofili, bir qrupunda **d** xlorofili, bakteriyaların müxtəlif növlərində isə ya **a** və **b**, ya da **c** və **d** tipli bakterioxlorofillər olur. Xlorofillərin kofaktorları həm də yan zəncirlərinin strukturuna və tərkibindəki metal ionuna görə fərqlənir. Bütün xlorofillərin tərkibində həm də olan dəmir ionunun funksiyasını maqnezium ionu yerinə yetirir.

4.11.5.2. Flavoproteinlər

Üzvi aləmdə prostetik qrupuna metal atomu daxil olmayan xromoproteinlərə də təsadüf edilir. Bunların ən tipik növləri flavoproteinlərdir.

Flavoproteinlər – prostetik qrupu izoalloksazın törəmələrindən – flavinmononukleotiddən (FMN) və flavinadenin nukleotiddən (FAD) ibarət olan mü-rəkkəb zülallardır. Oksidləşmə-reduksiya proseslərini kataliz edən fermentlərin (oksid-reduktazalar) böyük bir qrupu flavoprotein strukturuna malikdir. Bəzi flavoproteinlərin zülal hissəsi (apoprotein) flavin nukleotidlərindən əlavə, metal ionları ilə də kompleks birləşmə şəklində olur. Məsələn, ksantinoksidaza, aldehidoksidaza, suksinatdehidrogenaza, dihidroorotatdehidrogenaza, asilkoenzim-A-dehidrogenaza fermentlərinin tərkibində həm yuxarıda adları qeyd edilən izoalloksazın törəmələri, həm də dəmir ionları vardır. Dəmir atomları bu fermentlərin apoferment hissəsində olan sistein qalıqlarının kükürd atomları ilə kovalent rabitə vasitəsilə birləşir.

Gözün torlu qişasının müxtəlif hüceyrələrində rast gəlinən rodopsin və yodopsin zülalları prostetik qrupuna metal atomu daxil olmayan xromoproteinlər qrupuna aiddir. Bu zülalların prostetik qrupu A vitaminindən (retinal-

dan) ibarətdir. Buna görə rodopsin və yodopsini retinalproteinlər qrupuna aid edirlər. Beləliklə, adı çəkilən zülallar prostetik qrupuna metal atomu daxil olmayan xromoproteinlərdir. Bunlardan əlavə, bioloji mənbələrdə prostetik qrupuna hem xarakteri daşımayan dəmir birləşmələri daxil olan xromoproteinlərə də rast gəlinir. Bunların tipik nümayəndələrinə ksantinoksirlaza, aldehidoksidaza, dihidrooratat-dehidrogenaza və asil-KoA-dehidrogenaza fermentləri aiddir.

4.11.6. NUKLEOPROTEİNLƏR

N u k l e o p r o t e i n l ə r – protamin və histonlar qrupuna aid olan xırdamolekullu zülallarla nuklein turşularının kompleks birləşmələridir. Bu zülallar ilk dəfə hüceyrə nüvəsində kəşf edilmişdir (F.Mişer, 1869). Onların adları da kəşf edildiyi hüceyrə orqanoidlərinin adı ilə əlaqədardır (*nucleus* – nüvə). Lakin bu zülallara sitoplazmada da təsadüf edilir. Buna görə, hazırda “nukleoprotein” sözü öz əvvəlki əhəmiyyətini itirərək, şərti termin kimi istifadə edilir.

Nukleoproteinlərin bioloji əhəmiyyəti prostetik qruplarının (nuklein turşularının) funksiyaları ilə əlaqədardır (bu haqda 5-ci fəsildə məlumat verilir).

Nukleoproteinlərin zülal hissəsini təşkil edən protamin və histonlar qələvi xassəsinə malik olur və buna görə də nuklein turşuları ilə duzabənzər birləşmələr əmələ gətirir. Bu zülalların hidrolizatında diaminmonokarbon turşularının miqdarı üstünlük təşkil edir. Bəzi nukleoproteinlərin tərkibində protamin və histonların əvəzində daha kiçik molekullu peptidlər ola bilər. Lakin onların tərkibində də arginin və lizin qalıqlarının sayı digər aminturşulara nisbətən çox olur.

Nukleoproteinlər kimyəvi strukturuna və bioloji funksiyalarına görə 2 əsas qrupa bölünür: 1) dezoksiribonukleoproteinlər; 2) ribonukleoproteinlər.

Adlarından məlum olduğu kimi, dezoksiribonukleoproteinlərin prostetik qrupu dezoksiribonuklein turşularından, ribonukleoproteinlərin prostetik qrupu isə ribonuklein turşularından ibarətdir. Müxtəlif mənbələrdən alınan nukleoproteinlərin tərkibində onların ümumi kütləsinin 30-65%-i qədər zülal olur. Lakin bəzi virus nukleoproteinlərində apoprotein miqdarı 95-97%-ə qədər ola bilər.

Nukleoproteinlərin tərkibində olan zülallarla nuklein turşularını birləşdirən ion rabitələri olduqca davamsızdır. Tərkib hissələrini bir-birindən ayırmaq məqsədilə onları xloroformla qarışdırıb çalxalayır. Bundan əlavə, zülalları dializ, duzlaşdırma və istilik təsiri ilə də nuklein turşularından ayırmaq mümkündür.