

CEP ÜNİVERSİTESİ

Canlıların Kimyası

JEAN LAVOLLAY

C E P Ü N İ V E R S İ T E S İ

Canlıların Kimyası

La chimie des êtres vivants

JEAN LAVOLLAY
Bilimler Akademisi Üyesi

Çeviren
MAİDE SELEN

İletişim Yayınları • PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

İletişim Yayınları

CEP ÜNİVERSİTESİ

İletişim Yayıncılık A.Ş. adına sahibi: Murat Belge
Genel Yayın Yönetmeni: Fahri Aral
Yayın Yönetmeni: Erkan Kayılı
Yayın Danışmanı: Ahmet İnsel
Yayın Kurulu:
Fahri Aral, Murat Belge, Tanıl Bora, Murat Gültekingil,
Ahmet İnsel, Erkan Kayılı, Ümit Kıvanç
Tuğrul Paşaoğlu, Mete Tunçay
Görsel Tasarım: Ümit Kıvanç
Kapak İllüstrasyonu: Gürcan Özkan
Dizgi: Maralon Dizgievi
Sayfa Düzeni: Hüsnü Abbas
Baskı: Şefik Matbaası (İç) / Ayhan Matbaası (kapak)
İletişim Yayıncılık A.Ş. • Cep Üniversitesi 130 • ISBN 975-470-265-9
1. Basım: İletişim Yayınları, Eylül 1993
Sonbahar 1980 tarihli 7. baskısından çevrilmiştir.

© Que sais-je? Presses Universitaires de France, 1944
108, Boulevard Saint-Germain, 75006, Paris France
© İletişim Yayıncılık A.Ş., 1993
Klodlarer Cad. İletişim Han No.7 34400
Cağaloğlu İstanbul, Tel. 516 22 60- 61 - 62

Önsöz

Günümüzde bilgi bir yandan en önemli değer haline gelirken diğer yandan da artan bir hızla gelişiyor, çeşitleniyor. Ama katlanarak büyüyen bilgi üretiminden yararlanmak, özellikle gündelik yaşam kaygılarının baskısı altında, zorlaşıyor. Her şeye rağmen bilgiye ulaşma çabasını sürdürenler için de imkânlar pek fazla değil.

Ayrıca, özellikle Türkiye gibi ülkelerde bir konuda kendini geliştirmek ya da sırf merakını gidermek için herhangi bir konuyu öğrenmek isteyenlerin şansı çok az. Üniversitelerimiz, toplumumuzun yetişkin bölümüne katkıda bulunmak için gerekli imkânlardan yoksun.

Cep Üniversitesi kitapları işte bu olumsuz ortamda, evlerinde kendilerini yetiştirmek, otobüste, vapurda, trende harcanan zamandan kendileri için yararlanmak isteyenlere sunulmak üzere hazırlandı.

20. yüzyıl Fransız kültür hayatının en önemli ürünlerinden olan, bugün yaklaşık 3000 kitaplık dev bir dizi oluşturan "Que sais-je" (Ne Biliyorum) dizisini İletişim Yayınları Türkçe'ye kazandırıyor.

İletişim'in Cep Üniversitesi, bu büyük diziden seçilmiş , Türkiyeli okurlar için özellikle ilgi çekici olabilecek eserlerin yanısıra, Avrupa'nın başka yayınevlerinin benzer bir çerçevede yayımladığı kitapları da içeriyor.

Ayrıca Türkiye'nin siyaset, kültür, ekonomi hayatıyla ilgili konularda özel olarak bu dizi için yazılmış telif eserler "üniversite"nin "öğrenim programı"nı tamamlayacak.

Cep Üniversitesi'nin her kitabı alanının öndegelen bir uzmanı tarafından yazıldı. Kitaplar, hem konuya ilk kez eğilen kişilere hem de bilgisini derinleştirmek isteyenlere seslenebilecek bir kapsam ve derinlikte. Bilginin yeterli ve anlaşılır olması, temel kıstas. Cep Üniversitesi kitaplarını lise ve üniversite öğrencileri yardımcı ders kitabı olarak kullanabilecek; öğretmenler, öğretim üyeleri ve araştırmacılar bu kitaplardan kaynak olarak yararlanabilecek; gazeteciler yoğun iş temposu içinde çabuk bilgilenme ihtiyaçlarını Cep Üniversitesi'nden karşılayabilecek; çalıştığı meslek dalında bilgisini geliştirmek isteyen, evinde, kendi programlayabileceği bir mesleki eğitim imkânına kavuşacak; ayrıca, herhangi bir nedenle bir konuyu merak eden herkes, kolay okunur, kolay taşınır, ucuz bir kaynağı Cep Üniversitesi'nden temin edebilecek.

Cep Üniversitesi kitapları sık aralıklarla yayımlandıkça, benzersiz bir genel kültür kitaplığı oluşturacak. İnsan Hakları'ndan Genetik'e, Kanser'den Ortak Pazar'a, Alkolizm'den Kapitalizm'e, İstatistik'den Cinsellik'e kadar uzanan geniş bir bilgi alanında hem zahmetsiz hem verimli bir gezinti için ideal "mekân", Cep Üniversitesi.

İLETİŞİM YAYINLARI

İçindekiler

I. KISIM
Organizmaların Kimyasal Bileşkenleri 9
I. BÖLÜM
Organik Bileşkenler 9
Protitler 9
Glüsitler 25
Lipitler 35
II. BÖLÜM
Organizmaların Temel Bileşkenleri ve Temel Bileşikleri 41
II. KISIM
Canlı Hücrenin Etkinlik Araçları 46
I. BÖLÜM
Biyojen Elementler, Plastik ve Katalitik Elementler 46
II. BÖLÜM
Organik Biyokatalizörler 49
Vitaminler 49
Enzimler 57
Yüksek Aktarım Potansiyeline Sahip Bileşikler 66
Hormonlar ve Kimyasal Aracılar 70
III. KISIM
Organik Molekülleri Yıkan ve Yaratan Yaşam 80

I. BÖLÜM
Organik Maddeden Minerale 80
Glüsitlerin Biyokimyasal Yıkımı 80
Lipitlerin Biyokimyasal Yıkımı 91
Prititlerin Biyokimyasal Yıkımı 94
II. BÖLÜM
Mineralden Organik Maddeye 106
Glüsitlerin Doğal Sentezi 106
Gliseritlerin Doğal Sentezi 116
Aminoasitlerin ve Protitlerin Biyojenezi 119
KÜÇÜK SÖZLÜK 129
BİBLİYOGRAFYA 136

Biyokimyayı böylesine az sayfada özetlemek için insanı hesaba katmamak; ilerlemenin tüm çekirdeğini oluşturan bilginin "aşamaları"nı, "yöntemler"i bir yana bırakmak ve konuyu en genel çizgileriyle ele almak gerekti.

M.JAVILLIER
(Birinci baskının önsözünden)

BİRİNCİ KISIM

ORGANİZMALARIN KİMYASAL BİLEŞKENLERİ

BİRİNCİ BÖLÜM
ORGANİK BİLEŞKENLER

Canlıların organik yapısı çok sayıda saf cisim tarafından oluşturulur. Sözkonusu yapılardan uygun yöntemlerle ayrılabilen bu cisimler, temel *öge*lerine göre üç büyük grupta toplanabilirler: *glüsitler, protitler, lipitler.**

Hayvansal organizmalarda miktar olarak protitlerin en önemli yeri tutmasına karşın, bitkisel organizmalarda genellikle glüsitler ilk sırayı alırlar. Lipitlerin oranı ise çok değişiktir. Sözgelimi insan vücudunda yaklaşık % 16 protein, % 5,5 glüsit (kuru maddede % 43 ve % 15); bir çayır otunda ise % 3,5 protein ve % 14 glüsit (kuru maddede % 17,5 ve % 68,5) vardır.

I. Protitler

Protitler, tüm canlı organizmaların en temel bileşkenleridir. Her zaman *karbon, hidrojen, oksijen* ve *azot*tan[1] oluşan dört element içermeleri nedeniyle dörtlü bileşikler diye adlandırılırlar. Genellikle, ortalama % 16 oranında *azot* bulunması, protitleri öteki iki büyük gruptan, *glüsitler* ile *lipitler*den ayırır.

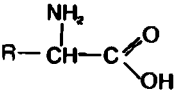
(*) Kitapta geçen bazı terimlerin ve kısaltmaların, okuyucu tarafından daha anlaşılabilmesi için kitabın sonuna küçük bir sözlük eklenmiştir. (ç.n.).

[1] Proteitler *kükürt* de içerirler.

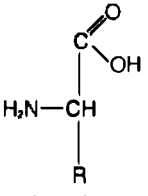
Protitler grubunda yeralan maddeler, bir yandan *aminli organik asitler*dir; bir yandan da temelde aminoasitlerce oluşturulan bileşiklerdir. Sınıflandırılmaları, aşağıdaki şemada belirtildiği gibi, giderek artan molekül sayılarına göre yapılır:

Protitler
- *Aminli asitler*
- *Peptitler* ve *polipeptitler*
- Proteitler
  - Yalnızca aminoasitlerin oluşturduğu *holoproteitler (Proteinler)*
  - Bir protein ve protidik olmayan bir prostetik grubun oluşturduğu *heteroproteitler*

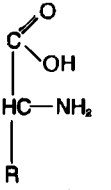
Tüm grubun temel bileşkenleri α-aminli karboksilik asitlerdir,



bunlar serbest durumda bulunabilirler. Özellikle bileşmeler durumunda, *polipeptitlerin* ve *proteitlerin yapıtaşlarını* oluştururlar. Böylece, tam bir *protein* hidrolizi, yirmi kadar *farklı* aminoasit ortaya koyar. *Tüm canlı hücrelerin ortak olarak kullandıkları* bu aminoasitlerin formülleri, adları ve proteinleri tablo I'de verilmiştir. Tablo bu maddelerin çeşitli moleküllerini de göstermektedir. *Asimetrik* karbon atomuna sahip olmayan glisin* dışındaki tüm aminoasitler ya D dizisinde ya da L dizisinde yeralırlar.



L aminoasit



D aminoasit

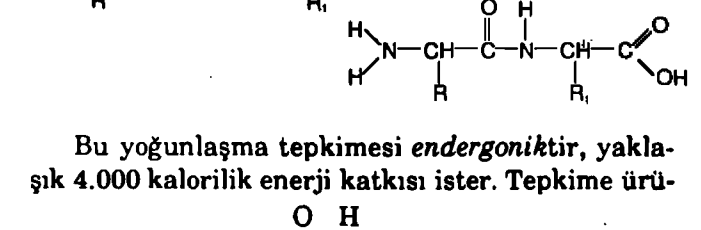
(*) Glikokol de denir (ç.n.).

Proteinlerin yapılışına katılanlar L dizisine giren aminoasitlerdir. Bununla birlikte, *mikroorganizmalar* D dizisinden aminoasitler üretirler ve antibiyotik özelliklere sahip bazı polipeptitler (*gramisidin, tirosidin*) içerirler.

İki aminoasit molekülü, *yoğunlaşma* sonucu bir

O H
‖ |

amid -C -N - oluşumuyla, bir *karboksil* kümelenmesi ve bir *amin* kümelenmesi arasında H_2O yoketme yoluyla kendi aralarında bileşebilirler:



Bu yoğunlaşma tepkimesi *endergonik*tir, yaklaşık 4.000 kalorilik enerji katkısı ister. Tepkime ürü-

O H
‖ |

nü bir *dipeptit*tir ve -C -N - bağlanması, *peptit* bağı olarak adlandırılır. Bağ, *hidroliz* yoluyla koptuğu zaman iki aminoasit birbirinden ayrılır. Dipeptit, ayrıca amid işlevine, en azından bir *asit* işlevine ve bir serbest *amin* işlevine sahiptir. Aynı yoğunlaşma tepkimesi, bir dipeptit ve bir aminoasit ya da iki dipeptit arasında gerçekleşebilir. O zaman *polipeptit* denilen bir zincir oluşur.

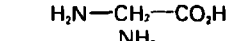
Peptit bağı, iki aminoasit molekülünün temel birleşme biçimidir; ancak başka bağ tipleri de kurulabilir. Sözgelimi iki sistein molekülüne ait tiol kümelenmesinin *hidrojensizleşme*si (yükseltgenme) yoluyla oluşan disülfür bağı gibi:

TABLO 1

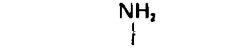
Proteinlerin hidrolizi ile ortaya çıkan "başlıca" aminoasitler

Monoaminli monoasitler

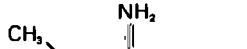
Glisin ya da glikokol



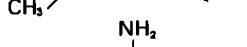
Alanin



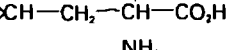
Valin



Lösin



İzolösin

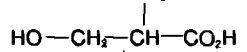


Bir alkol işlevine,tiole yada tioetere sahip monoaminli monoasitler

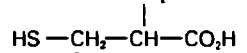
Serin



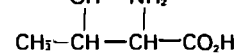
Sistein



Treonin



Metionin



Diaminli monoasitler

Lizin

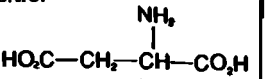


Arjinin

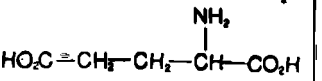


Monoaminli diasitler

Aspartik asit

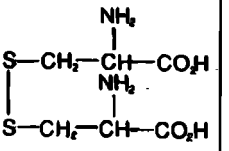


Glütamik asit



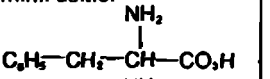
Disülfür bağı olan diaminli diasitler

Sistin (sisteinin yükseltgenme ürünü)

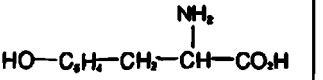


Aromatik çekirdeği olan aminli asitler

Fenilalanin

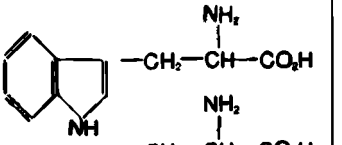


Tirozin



İndolik ya da imidazolik çekirdeği olan aminli asitler

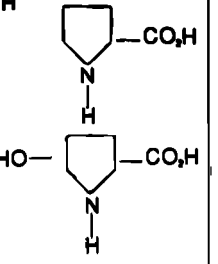
Triptofan



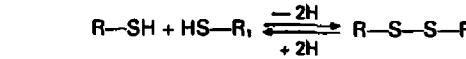
Histidin

Prolin

Pirolidin türevleri

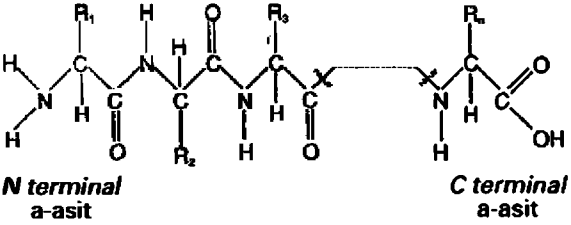


Hidroksiprolin



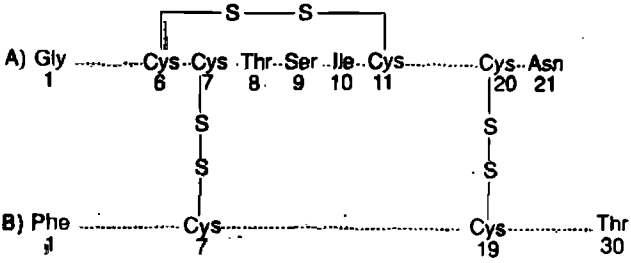
Aminoasitler, sayılarına göre bir ya da birçok *peptit bağı* ile birleşirler; bileşik *di, tri, tetrapeptit* vb. adlarını taşır. Sözgelimi *glütation, glütamik asit, sistein* ve *glisin* (*glütamil-sisteinil-glisin*) tarafından oluşturulan çok yaygın bir tripeptittir. Aminoasit birimlerinde, genellikle çok sayıda *polipeptit* bulunur: *oksitosinde sekiz*, sinir sistemindeki P maddesinde *on bir*, β-*endorfin*de *otuz*, vb. (Bak. *hormonlar*dan sözeden paragraf).

Polipeptit zinciri aşağıdaki şemada olduğu gibi gösterilebilir:



Burada R, R, R ... zinciri kuran farklı aminoasit köklerini belirtir. Mikroorganizmaların *halkalı polipeptit* ürünleri durumunda, zincir kendi üstüne kapanır (*basitrasin, gramisidin...*).

***İnsülin* molekülü elli bir aminoasidin bileşimidir. *Proteinler* grubundaki bilinen en "iri" *polipeptit* molekülü olduğu söylenebilir. Bu molekül, iki polipeptit zincirinin iki *disülfür köprüsü* ile birleşmesi sonucunda ortaya çıkar.**



İnsan İnsülini

Proteinler ve *heteroproteitler*, molekül ağırlığı yaklaşık 6.000 ile birkaç milyon arasında sıralanan yüksek ağırlıkta moleküllerdir (*makromoleküller*). Bu maddelerin bazıları, özellikle bitkisel *globülinler* ve *hemoglobinler* kolayca, bazıları da çok güç (kan plazmasındaki *albüminler* ve yumurta akı, bazı enzim-proteinler vb.) kristalleşir. Ancak, bir çoğunun kristal durumu henüz elde edilememiştir.

Proteitler çözelti içinde, sürekli bir *ozmotik basınç* ortamında yarı-geçirgen zarları aşamadıkları için *asıltı* durumunu alırlar. Molekülleri *amfoter* özellik gösterir; çünkü bunlar, pH değerine göre kesin olarak artı ya da eksi yük taşırlar. Bu sonuncu özellikten, *elektroforez* yöntemiyle (bir elektrik alanına göçme) ayrılmalarında yararlanılır.

Bu moleküllerin bileşimi *hidroliz* ile çözülür. Farklılıklarına karşın, hidroliz ajanları (*asitler, alkaliler, enzimler*), *proteinler*den (holoproteitler) başlayarak bir dizi aminoasit açığa çıkarırlar. Bunlar reçine, kâğıt ya da plak üstünde, tam tepkimelerle ve kromatografi yöntemleriyle oldukça kolay ayrılırlar.

Hayvansal, bitkisel ya da mikrop kökenli proteinlerin bütünü, çok çeşitli özellikler taşıyan az homojen organik bileşikler grubunu oluşturur. Bazıları suda kolayca çözünebilir, bazıları da yaygın biçimde kullanılan hiçbir çözeltide çözünmez. Bir kıs-

mı biyolojik bakımdan, yüksek derecede özelleşmiş diğerlerine yardımcı ya da destek olan basit ajanlardır. Bununla birlikte tümü, yaklaşık *yirmi farklı aminoasid*in çeşitli biçimlerde bir araya gelmeleriyle ortaya çıkar. Nitelikleri, özellikle *yapı, sayı*, kendilerini oluşturan aminositlerin *göreceli oranları*; kendi aralarında kurdukları *bağ biçimleri; düzenlenme sırası* [2] gibi durumlara bağlıdır.

Başlıca bağ biçimi, *polipeptitler*in kurduğu bağ biçimidir. Bir proteinin hidrolizi, molekülünün *polipeptit* parçalarına ayrılmasıyla sonuçlanır. Öte yandan, yeteri kadar çok sayıda aminoasit içeren polipeptitlerin kimyasal sentezi, proteinlerin temel özelliklerine sahip cisimlerin ortaya çıkmasma neden olur.

Tablo 2, birkaç proteinden hidroliz ile açığa çıkarılmış başlıca aminoasitlerin yaklaşık yüzdelerini ve kimi özel aminoasitlerin (sözgelimi *sistin, lizin, triptofan*) içeriklerindeki, bazen önemli boyutlara varan farklılıkları göstermektedir.

Analiz edilen protein molekülünü oluşturan aminli asit kalıntılarının yapısı ve sayısı kadar, birçok durumda bunlardaki tam düzenlenme *sırası*nın (*dizin*) da belirlenmesi, modern kimyanın en büyük başarılarından birisidir.

Bu sıra rasgele gerçekleşmez, sabit ve *kendine özgü* bir nitelik taşır; proteinin *birincil yapısını* oluşturur. Başlıcası x ışınları kırınımı olmak üzere,

fiziksel yöntemler, karşılaştığı $\rangle C{=}O$ ve $-\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{N}}-$ küme-

[2] Aminoasitlerden her biri, aynı molekül içinde pek çok kez yeralabilir.

TABLO 2
Proteinlerin hidrolizi ile açığa çıkarılan aminoasitlerin yaklaşık oranları

	Kazein (Süt)	*Laktalbümin (Süt)*	*Gliadin (Buğday)(1)*	*Zein (Mısır)(1)*
Alanin	3,3	6,6	1,9	11,4
Arjinin	4,2	4	2,7	1,8
Aspartik as.	7	11	3	5,5
Sistin	0,4	4	2,3	1
Glisin	2	3,5	1	0
Glütamik as.	23	18	43	26,5
Histidin	3,2	2,3	2,1	1,7
Lösin	10	12	6	24
İzolösin	7,5	7,5	4,7	7,3
Lizin	8,5	10,5	1,1	0,0
Metionin	3,5	2,5	1,5	2,3
Fenilalanin	6,3	5	5,8	6,4
Prolin	13	4	12	10,4
Serin	6,8	4,9	4,4	7,7
Treonin	4,5	6	2	3
Triptofan	1,3	2,5	0,8	0,1
Tirozin	6,4	5,3	3	5,2
Valin	7,7	6,6	2,4	3
Hidroksiprolin	-	-	-	-

(1) *Gliadin* ve *zein*, buğday ile mısırın protein kısımlarından *(prolaminler)* yalnızca birisidir.

lenmesi ile arasında *hidrojen bağları* kurulması nedeniyle, proteinlerdeki polipeptit zincirinin sarmalsı bir biçim (α–*helis*) aldığını ortaya koymuştur. Bu, proteinin *ikincil yapı*sı olarak adlandırılır.



Bazı atom kümelenmelerinde, *yaklaşma* nedeniyle zincirin kendi üstüne kapanması, *üçüncül yapı* adı altında belirtilen çok sıkı bir yapı gerçekleştirir. Sonuç olarak çok sayıda protein, aynı birincil yapılarda ya da farklı durumlarda *birçok* kapalı polipeptit *zinciri* oluşturur. Eklenmeler, *dördüncül yapı* denilen duruma uygun biçimde gerçekleşir.

Birincil yapı ya da aminoasitlerin *dizini* temel unsurdur; *öteki yapı tiplerini hazırlar.*

İpekteki *fibroin, fibröz* proteinlerin uzamış yapısını gösterir. *Hemoglobin*, dördüncül yapısı nedeniyle *küresel* proteine bir örnek oluşturur.

Proteinlerin gelecekte yapılacak sınıflandırması, kuruluşlarına göre düzenlenecektir. Tümüyle tanınan protein moleküllerinin sayısı henüz sınırlıdır

TABLO 3
Holoproteitlerin ya da proteinlerin sınıflandırması

1. ALBÜMİNLER.- Arı suda çözünürler, doymuş amonyum sülfatla çökeltilebilirler.
2. GLOBÜLİNLER.- Arı suda çözünmezler, sulandırılmış nötr tuz çözeltilerinde çözünürler. Yarı-doymuş amonyum sülfatla çökeltilebilirler. Albüminlerle birlikte, tohumlardaki depo proteinleri oluştururlar.
3. PROLAMİNLER.- Arı suda ve sulandırılmış nötr tuz çözeltilerinde çözünmezler; 70-80 G.L.'lik alkolde, asitlerde ve seyreltik alkalilerde çözünürler. *Prolin* ve *glütamik asitçe* zengin, *lizince* fakir proteinlerdir. Tahıl tanelerindeki depo maddelerdir (*gliadin*).
4. GLÜTELİNLER.- Seyreltik alkali çözeltilerinde, tahıl tanelerinden elde edilen albüminler, globülinler ve prolaminler gibi proteinlerdir.
5. PROTAMİNLER.- Düşük molekül ağırlığında, baz nitelikli, *arjinin, lizin* ve *histidin* bakımından zengin proteinlerdir. Sıcaklıkla pıhtılaşmazlar.
6. HİSTONLAR.- *Lizin* ve *arjinin* yönünden zengin proteinlerdir. Suda çözünebilirler. Seyreltik amonyakla çökeltilebilirler; sıcaklıkla pıhtılaşabilirler. (*Globinler* bu gruba girerler.)
7. SKLEROPROTEİNLER.- Suda çözünmeyen fibröz proteinlerdir. Yardım ya da destek işlevlerini üstlenirler.
   a) *Kolajenler.*- Pepsine ve tripsine dirençli deri, kiriş ve kemik proteinleridir.
   b) *Elastinler.*- Esnek doku proteinleridir; elastaz denilen pankreas özsuyu taralından özümlenirler.
   c) *Keratinler.*- Kıl, tırnak ve boynuz proteinleridir. Özümleyici ajaniara karşı büyük direnç gösterirler. *Arjinin, lizin, histidin* bakımından zengin; çoğunlukla *sistin* bakımından da çok zengindirler.

ve bu yüzden de eski sınıflandırma kullanılmaktadır. Bu, temelde, bir dereceye kadar *çözünürlük*; *asit* ya da *baz* niteliği taşıma; *tuzlar*la *çökeltilebilme* vb. gibi özelliklere dayanır. Sözkonusu maddelerin kuruluşu ile ilişkisi yoktur. Bu durum sınıflandırmanın yetersizliğini ortaya koyar. 18. sayfada yeralan tablo 3, kalabalık protein ailesi ve genel nitelikleri hakkında bir fikir vermektedir.

Heteroproteitler, protein kökenli olmayan bir *prostetik kümelenmesi* içerirler.

*Fosfoproteitler*de bağlaç fosforik asittir; % 2,5 oranında fosforik asit, *serin* ve *treonin* aminoasitlerinin alkol işlevleriyle birlikte ester durumuna bağlı olursa, süt *kazein*i % 0,8 P içerir. Bazıları enzim özelliğine sahip *metaloproteinler*de, bir metal atomu (Fe, Cu, Zn...) *doğrudan* polipeptit zincirine *bağlı*dır.[3]

*Nükleoproteitler*de bağlaçlar *nükleik asitler*dir (% 10 ve daha fazla oranda); yapılarına şunlar katılır: *fosforik asit, riboz* ya da *dezoksiriboz* gibi bir şeker, *pürin* ve *pirimidin bazları*.

Nükleik asitler, farklı atom ağırlıklarına sahip makromoleküllerdir. *Ribonükleik* asitlerin (RNA) atom ağırlığı milyonu geçebilir; *dezoksiribonükleik** asitlerinki (DNA) ise 100 milyonluk yüksek değerlere ulaşır. Bu moleküller, *nükleotitler* denilen *basit birimler*in zincirleme bağlantılar oluşturmasıyla ortaya çıkarlar. Her bir birim ya da *nükleotit*, bir *fosforik asit* molekülünün, bir *ozit bağı* tarafından *pürin* ya da *pirimidin* kökenli bir *baz* molekülüne (*adenilik asit* gibi) bağlanmış bir *şeker* molekü-

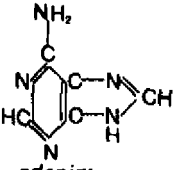
[3] *Ferrodoksinler*, demirin *enzim* metaloproteinleridir. Yine demirin metaloproteini olan *hemeritrin* oksijen *taşıyıcı*sıdır.

(*) Deoksiribonükleik diye de anılır (ç.n.).

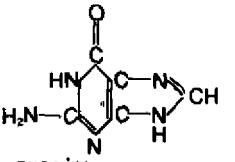
TABLO 4

Nükleik asitlerin azotlu bazları (örnekler)

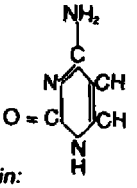
Pürin bazları (pürinin çekirdeği) ve pi imidin bazları (pirimidinin çekirdeği)



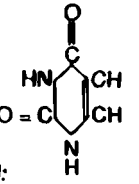
adenin:
amino-6 pürin



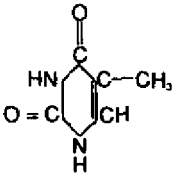
guanin:
amino-2, oksi-6 pürin



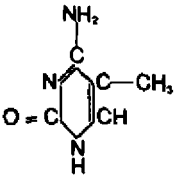
sitozin:
oksi-2, amino-6 pirimidin



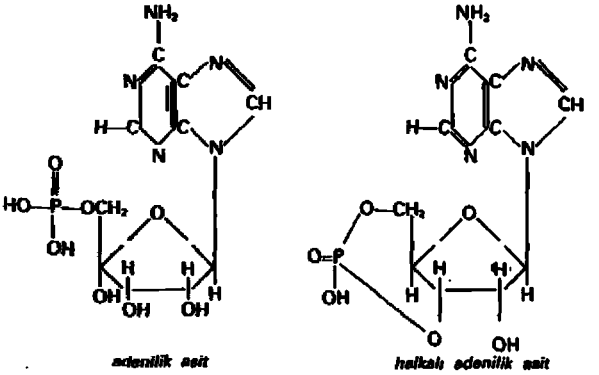
ürasil:
dioksi-, 2-6 pirimidin



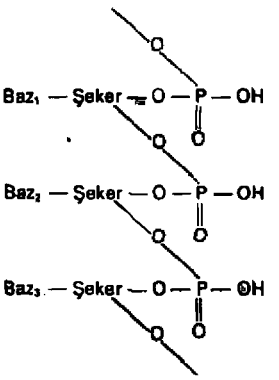
timin:
metil-5 ürasil



metil-5 sitozin



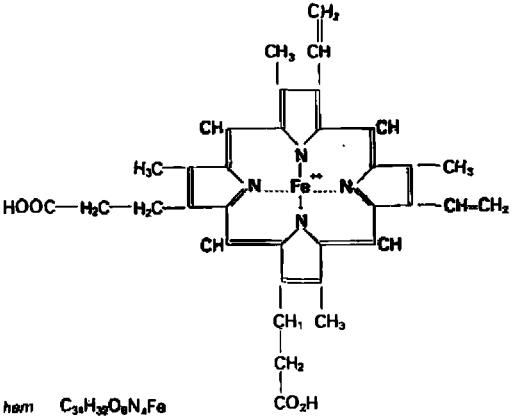
lü (*riboz* ya da *dezoksiriboz*) ile esterleşmesinden oluşmuştur. Şu halde nükleik asitler *polinükleotitler*dir; bunlarda komşu nükleotitteki fosfor kümelenmesinin asit işlevi ile bir şeker alkolü işlevinin esterleşmesi sonucunda nükleotitten nükleotide bağ kurulur. Oluşan molekülün bir kısmını aşağıdaki şema gibi gösterilebilir:



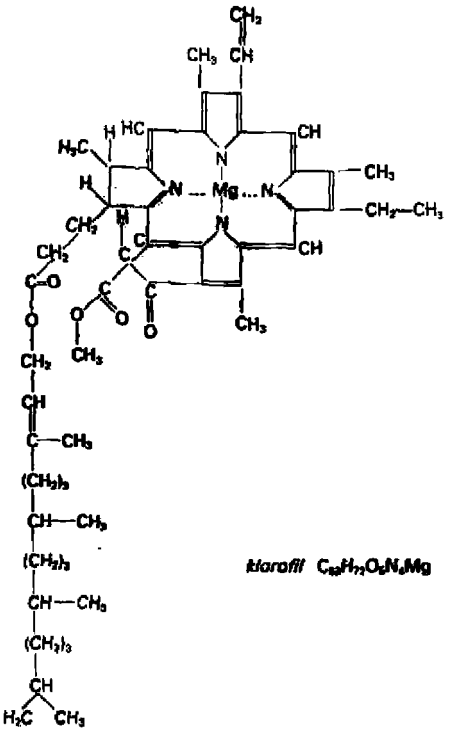
RNA'da, zincirin halkalarını oluşturan dört *ribonükleotit* vardır: *adenin, guanin, sitozin* ve *ürasil* bazlarını içeren *adenilik, guanilik, sitidilik* ve *üridilik* asitler. DNA zincirlerini kuran dört *dezoksiri-*

bonükleotit ise şunlardır: tümü *adenin, guanin, timidin* ve *sitozin*den türemiş *dezoksiadenilik, dezoksiguanilik dezoksitimidilik* ve *dezoksisitidilik* asitler.

Fiziksel analize göre DNA molekülü, *çift sarmal* biçiminde, *biri diğerine sarılmış iki polinükleotit zinciri* olarak gösterilir. Bu zincirler, *biri diğerine karşıt yönde* olmak üzere *yönelmişler* ve *tümleyici* denilen bazlar arasında kurulan hidrojen bağlarıyla bağlanmışlardır. Bazların tümleyiciliği hidrojen bağları oluşmasından kaynaklanır (Adenin=Timin ve Guanin=Sitozin).



*Kromoproteitler*de prostetik kümelenmesi, pigment niteliği yüklenen renkli bir maddedir. Bağlacı *hem* ve *globin* proteini olan, alyuvarlardaki *hemoglobin* ile bağlacı *klorofil* olan yaprak kloroplastinleri, bu türden pigment tipleridir. Hemler ve klorofiller, bir metal atomu içeren (Fe, Mg) *tetrapirolik* bileşiklerdir.



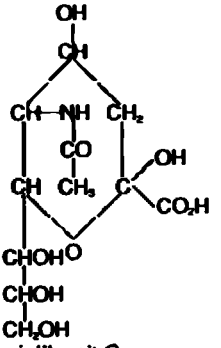
klorofil $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

*Glikoproteitler*de[4] prostetik kümelenmesi glüsit yapısındadır. Temel birimi bir *şeker*e ya da *üronik* aside bağlı polyozidik bir maddenin, bir *asetilozamin* tarafından ortaya konmasına oldukça sık raslanır. Kıkırdak proteini *kondromükoitte*, protein kökenli olmayan bağlaç birimi (kondroitin sülfürik asit) bir *glikü*ronik *asit* ile *asetilli* ve *sülfürlü galaktozamin* bileşmesidir (bak. Tablo 6). *Hyalüronik* asidin "temel maddesi", *glikü*ronik *asit* ile *asetilglikо-*

[4] Glüsidoproteitler olarak da anılırlar.

*zamin*in oluşturduğu polimer bir bileşimdir. *Haptoglobin* de bir glikoproteindir.

Sümükteki *zialoproteitler*, *zialik* asidin prostetik kümelenmesidir.



zialik asit O
(N-asetilnöraminik)

Prostetik kümelenmelerinin doğasına göre sınıflandırılan heteroproteitler, proteini bağlayan bağın ve protein kökenli olmayan bağlacın sağlamlığı bakımından da kendi aralarında farklılaşırlar. Bu, daha çok moleküller birleşmesi olarak davranan bazı glikoproteitlerdeki gibi çok gevşek ya da tersine, tüm molekülü bozmadan parçalamanın gerçekleşemeyeceği kadar sağlam olabilir.

Bu proteitlerin rollerinin ya da biyolojik işlevlerinin çeşitliliği, hiç de azımsanamayacak boyutlardadır.

Fosfoproteitler, genç canlıların protein ve fosfor (süt *kazein*i) gereksinimlerini giderirler; *glikoproteitler* mukozaların koruyucu ajanları, dokuların temel bileşkenleri, *kan gruplarının* belirleyici etmenleridir. *Kromoproteitler*, akciğerlerden hücrelere oksijen taşıyan (oksijenlenmiş hemoglobin ya da hemoglobin ve oksijene ayrışan oksihemoglobin) solu-

num ya da solunum zinciri boyunca aerob hücrelere (*sitokromlar*) elektronlar taşıyan pigmentlerdir. Bunlar aynı zamanda özümleyici pigmentlerdir. Sözgelimi *kloroplastin*in biyokimyasal etkinliği, canlıların çoğunluğunun varlığına bağlıdır.

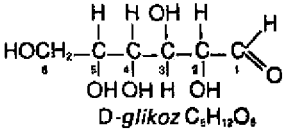
Hücre çekirdekleri ile sitoplazmanın bileşkenleri olan *nükleoproteitler* çok önemli işlevler üstlenirler. Çok büyük moleküller olan DNA'lar, *genetik bilgi* taşırlar; nükleotitler dizisinde kalıtsal niteliklere göre kayıtlı şifreyi korurlar ve kuşaktan kuşağa aktarırlar. Soyun kendine özgü niteliklerini sürdürmesi DNA'larca gerçekleştirilir. *Mutasyonlar*, yapılarındaki değişmelerden kaynaklanır.

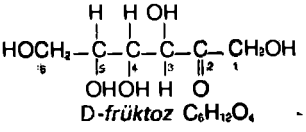
Birçok *enzim*, nükleoproteitlerinkine *benzer* bir yapı gösterir; bunlar da bir protein kısmından ve *nükleotit yapısında* bir *koenzim*den (bak. İkinci Bölüm) oluşurlar. Göreceli olarak, nükleotitlere çok benzeyen hücrelerde enerji açısından temel bir rol oynayan, *adenozin trifosforik* asit gibi, basit bileşikler kurarlar.

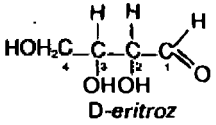
II. Glüsitler

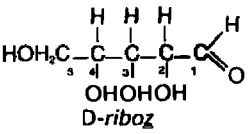
Glüsitler* grubunun ilk temsilcileri, polialkol-aldehit (*aldozlar*) (ör.: $HOCH_2$ - $(CHOH)_4$ - CHO) ya da polialkol-keton (*ketozlar*) (ör.: $HOCH_2$ - $(CHOH)_3$ - CO - CH_2 OH) özelliklerine sahip *basit şekerler* ya da *ozlar*dır. Tümü indirgendir. En yaygın olan türleri heksakarbonlardır (meyvelerde, kanda, çoğu fizyolojik ortamda yeralan *glikoz* ve genellikle, bununla birlikte bulunan *fruktoz*). Bazı önemli şekerlerin dört, beş (*arabinoz, ksiloz, riboz, ribüloz*) ve yedi (*volemüloz, sedüheptüloz*) karbon atomu vardır.

(*) Grubun öteki yaygın adı karbonhidratlardır (ç.n.).

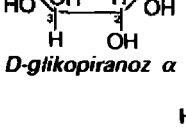

D-*glikoz* $C_6H_{12}O_6$

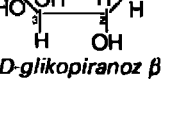

D-*früktoz* $C_6H_{12}O_6$

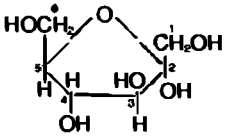

D-*eritroz*


D-*riboz*

Ancak, aldehik ya da ketonik bir işlevin varlığı, ozların kimi özelliklerini tek başına göstermekten uzaktır. Formüllerinin, *oksidik* denilen oksijenlenmiş bir heterosikl içererek *semi-asetalik* bir *işlev* üstlenmesi de gerekir. -OH kümelenmelerinin durumlarına ve *aldoz*un ya da *ketoz*un karbon zinciri formülüne göre çeşitli izomerler ortaya konabilir. Bu izomerlerin sayısı basit bir organik kimya kuralına göre belirlenebilir; ama canlı varlıklar, sözkonusu olasılıkların tümünü gerçekleştiremezler.


D-*glikopiranoz* α

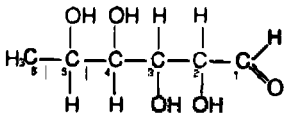

D-*glikopiranoz* β

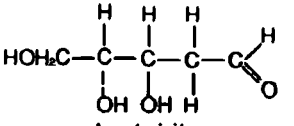

D-*früktofüranoz* α

1. durumda (*pirannik aldoz durumu*) -H ve -OH bulunması nedeniyle, burada, aynı şekerin α ve β

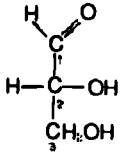
biçimlerinin varlığından kaynaklanan bir *asimetrik karbon atomu* türer. Heterosikl farklı biçimlerde de oluşturulabilir; 1-4 ve 1-5 (aldozlar), 2-5 ve 2-6 (ketozlar) sayıdaki oksijen köprüleri, farklı düzeylerde kararlıdır. Sonuçta optik izomerlerini (D ve L bileşikleri) elde etmek öngörüye bağlıdır. *Genel kurala göre, canlı varlıklar* optik bakımdan etkin, *dissimetrik maddeler oluştururlar* ve bize *izomerlerden birini* verirler, *tersini değil*; sözgelimi D-*glikoz*, L-*glikoz değil*.

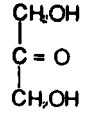
Bunlarda, indirgenmiş karbon zinciri halkası halinde basit şekerlerin bulunduğunu da belirtmek gerekir (Ör.: ramnoz CH_3 - $(CHOH)_4$ - CHO; dezoksiriboz $HOCH_2$ - $(CHOH)_2$ - CH_2 - CHO).


ramnoz


dezoksiriboz

İki *trioz*, D-*gliseraldehit* ve *dihidroksiaseton* fosforik esterler durumunda, *sentez* ve *yıkılma* tepkimelerinde çok önemli bir *aracı* rolü oynarlar.

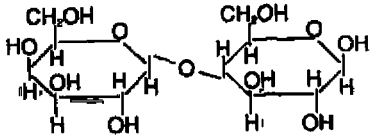

D-gliseraldehit


dihidroksiaseton

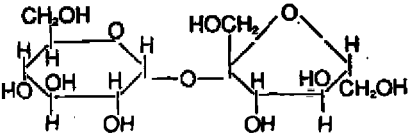
Heksozların fosforik esterleri ise, metabolizma tepkimelerinde temel bir yer tutarlar (Üçüncü Kısım).

Öte yandan canlı, basit şekerlerin yoğunlaşması

olarak beliren *karmaşık şekerler* de üretir; bunlar 2, 3, 4 oz molekülüne sahip *ozitler*dir. Yoğunlaşma, suyu yoketme, bir ozun "psödo-aldehik" kümelenmesinin bir başka molekülün alkol işlevleri üstüne ya da birinin bir başkası üstündeki indirgeyici işlevlere tepkimesi yoluyla ortaya çıkar. İlk tepkimenin sonucunda *indirgen ozitler* (süt şekeri olan *laktoz*); ikincinin sonunda ise *indirgen olmayan ozitler* (şekerkamışı ya da şekerpancarında bulunan *sakkaroz*) oluşurlar.



laktoz: galaktopiranoz ß + glikopiranoz ß



sakkaroz: glikopiranoz α + früktofüranoz β

Glikozitleştirilen oz molekülü, pirannik ya da fürannik biçimde, α ya da β biçiminde olabilir. Ozitlerin indirgen olduğu durumda glikozitleşme tepkimesi, serbest durumdaki ikinci molekülün herhangi bir alkolik kümelenmesi üstünde oluşabilir; birleşen şekerler özdeş ya da farklı olabilir, hatta aynı sayıda karbon atomu içermeyebilir. Glikozitleşmiş oz, fürannik ya da pirannik ve α ya da β biçimler alabilir. *Ozitler*in ya da *hidroliz edilebilir şekerler*in türünü, bu koşullar ve birleşmiş oz moleküllerinin sayısı belirler. Ancak özel bir öneme sahip olan *laktoz* ve *sakkaroz, maltoz* ve *sellobioz, trehaloz, rafinoz, stakioz*, bunların dışında kalır. *Laktoz* genç

Memelilerin karbonhidratlı besin kaynağıdır; *maltoz* nişastadan hidrolizle çıkarılan bir amilaz ürünüdür; sellobioz selülozun temel zincir halkalarını oluşturur. Öteki ozitler ise bitkilerdeki depo maddelerdir. Bitkilerce, gerektiği zaman bileşkenlerine parçalanarak kullanılırlar.

Doğa, az sayıda oz molekülünü yoğunlaştırmakla yetinmez; *polyozitler* gibi çok büyük sıralanmalar gösteren birimler de gerçekleştirilir. *Bileşikgillerin* (ör.: yerelması) yumrularında bulunan *inülin* kolayca hidroliz edilebilir. Sonuçta otuz kadar *früktoz* molekülü ve zincirin başında bir molekül glikoz elde edilir. Nişasta ya da öteki adıyla *amidon*, bitkilerde büyük sayılarda depolanan bir polyozittir;[5] tanelerde (tahıl, sebze...), köklerde, yeraltındaki kökgövde yumrularında (patates) toplanır. *Düz* ya da *dallanmış* glikoz molekülleri tarafından oluşturulur. Doğal tahıl nişastasından başlayarak ayrılabilen iki kısımdan biri *amiloz*, öteki ise *amilopektin*dir. İlki iyot mavisiyle, ikincisi kırmızı ile renklendirilir.

Organik kimyadaki *metilleme* ya da *asetilleme* yöntemleriyle elde edilen ürünün, yönteme göre gerçekleştirilen hidrolizi ve metillenmiş ya da asetillenmiş glikoz birimlerinin özdeşliği, amiloz molekülünün, heksakarbon grubundan üç serbest -OH içerdiğini (zincirin sonunda dört) (formül: Tablo 5) gösterir. Yüzlerce olabilen glikoz birimlerinin sayısı kısaltılmış formülde *n* ile belirtilir $(C_6\ H_{10}\ O_5)_n$.

*Amilopektin*de glikoz moleküllerinin % 5'i yalnızca iki tane eterleşebilir -OH içerir; bu özellik molekülün α-1,6 tipinde zincirler-arası bağlarından

[5] Tahıllardaki *levanlar* da benzer yapıdadır. Ancak bunlardaki früktoz bir başka şekilde birleşmiştir.

kaynaklanan bir dallanmanın sonucudur.

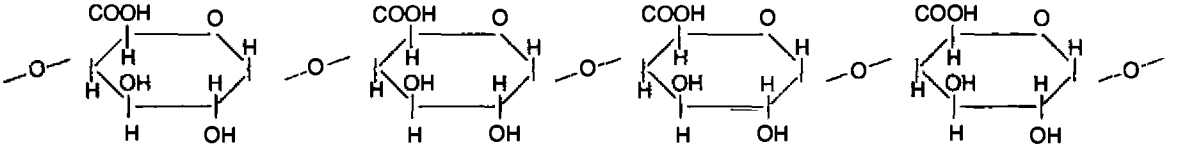
Bitkisel hücrelerin temel maddesi olan *selüloz*, daha önce sözedilen ozitlerden çok farklıdır. Çok güç çözünür ve ayıraçlara karşı dirençlidir. Selüloz da brüt formülle $(C_6 H_{10} O_5)_n$ gösterilir. Amidona oranla çok daha güç şekilde, total hidroliz yöntemiyle D-*glikoz* üretir; ancak zincirin her halkası özel bir biozit olur: *sellobioz* ya da β-D-*glikopiranoz* <1-4> D-*glikopiranoz*. Şu halde selüloz, fibril *sellobioz* moleküllerinin (600-3.000) oluşturduğu uzun bir zincirdir. Hafif bir indirgen olma gücüne sahiptir; zincirin sonunda, serbest psödo-aldehik bir kümelenme gösterir.

Ancak, çeşitli selüloz liflerinin oluşturduğu makromoleküller kendi aralarında özdeş değillerdir. Burada, yalnızca selülozik zincir paketlerini gerçekleştiren *moleküller-arası* bağlar ve *psödokristal* özelliği taşıyan *bloklar* ortaya koyduklarını da belirtmek gerekir.

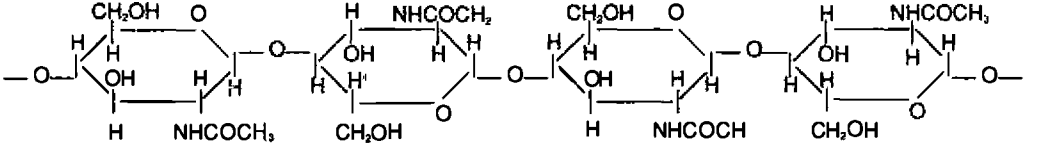
İnülin, levanlar, amidon ve *selüloz*, depo ya da destek tipi polyozitlerdir. Ancak, doğal maddelerin bütünlüğünü kuranlar da yine polyozitlerdir. Bir çoğu bitkisel kökenlidir ve çeşitli şekerlerin (*glikoz, früktoz, mannoz, galaktoz, ksiloz*) yoğunlaşmasıyla oluşurlar. Bu ürünler *glikozan* ya da *dekstran, früktozan* vb. gibi adlarla anılırlar; her türe özel bir kimyasal ad verilir (ör.: *laminarin*). Bazıları, *glikojen* gibi, hayvansal kökenlidir. *Glikojen*, karaciğerle kaslardaki karbonhidratın ana kaynağı ve gerçek "hayvansal nişasta" dır $(C_6 H_{10} O_5)_n$. Yapısındaki *dallanmış zincirler* amilopektini hatırlatır.

TABLO 6

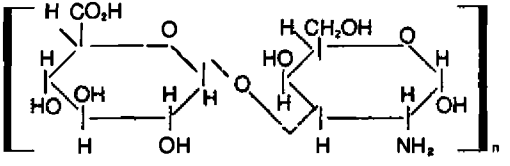
Polyozit yapısındaki bileşikler



poligalaktüronik asit zincirinden bir bölüm *(pektik asit)*



asetil-glikozamin zincirinden bir bölüm (*kitin*)



*kondroitin-sülfürik asid*in yapısal birimi(burada,galaktozamin asetilli ve sülfürlüdür)

Tüm polyozitlerin belirgin nitelikleri, moleküllerinin bir dizi özdeş halkalar oluşturarak uzun zincirler kurmaları ve genellikle saptanması güç sayıda, birkaç yüzbinlik molekül kitlelerine sahip olmalarıdır.

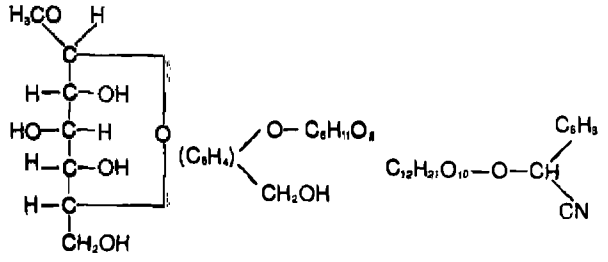
*Polyozitler*e yakın ve genellikle bunlarla birleşmiş maddelerin molekülleri, doğrudan doğruya şekerlerden türemezler. *Pektinler metilik alkol* tarafından kısmen esterleştirilmiş *poligalaktüronik asitler*den (Tablo 6) türerler. *Kalsiyum* ve *magnezyum* bileşmeleri altında ve öteki *zamklar* ile birleşmeler yoluyla, genç bitki dokularının *orta katmanlarını* oluştururlar. Bu, yalnızca *poligalaktüronatlar* gibi maddelerin ortaya çıktığı özel bir durumdur (ayçiçeği). *Böcekler*le *kabuklular*da dış iskeletlerin ve *mantarlar*da hücre çeperlerinin bileşkeni olan *kitin, asetilglikozamin*in yoğunlaşma ürünüdür. Kıkırdaktaki *kondroitin-sülfürik asit, sülfürlü gliküronik asit* ile asetilli galaktozaminin, büyük sayıdaki bileşik «birimleri» tarafından oluşturulur.

Heterozitler, şekerlerin, yapısı şekerli bir maddeninkinden çok farklı olan cisimlerle ortaya koydukları yoğunlaşma ürünleridir. Molekülleri, biri glüsidik öteki «aglikon» olmak üzere iki bölüm içerirler. Aglikon büyük çoğunlukla bir ya da birden fazla alkol ya da fenol, bazen bir ya da birden fazla azotlu işleve sahiptir.

Yoğunlaşma, şekerin psödo-aldehik kümelenmesi ile alkolik ya da fenolik bir -OH veya bir -NH grubu arasında H_2O yoketme ile gerçekleşir. Bu heterozitler (ör.: *serazin*) arasında güzel renkli maddeler (çiçeklerdeki antosiyanlar), Gal karası gibi kimi tanenler, yüksek fizyolojik etkinlik gösteren cisimler (yüksükotu glikozitleri), siyanojen maddeler (acıbademdeki *amigdalin*), kükürtlü uçucu yağlar

veren maddeler (siyah havyardaki *sinigrin*), sinirsel madde bileşkenleri (*serebrozitler*) sayılabilir. Sözkonusu moleküllerin bu denli kısa açıklaması bile, kökenlerinin ve rollerinin çeşitliliği hakkında bir fikir vermektedir.

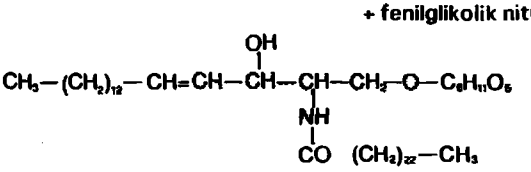
TABLO 7
Heterozitler ve ozitlere yakın maddeler



ß metilglikozit

salikozit (salijenol+glikoz)

amigdalozit [*jentiobioz* (= glikoz+glikoz) + fenilglikolik nitril]



serazin (sfingozin+linyoserik asit+galaktoz)

III. Lipitler

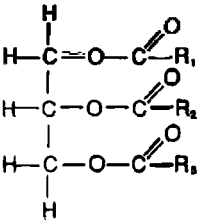
Lipit yağ ile eşanlama gelen bir terim değildir. Doğal *yağlar*da çeşitli kimyasal lipit grubu türleri (öncelikle *gliseritler*) ve tam anlamıyla lipit olmayan cisimler, sözgelimi hidro karbonlar bulunur.

Ancak terimin yine de yağları çağrıştırması, homojenliğin bulunmadığı bu gruptan maddelerin yapısını daha kolay anlatan bir kavram olmasından kaynaklanır. Burada bir *ester* işlevinin varlığı te-

mel ölçüt olarak alınıyorsa, yağ asitleri hesaba katılmamalı ve tam tersine biyolojik anlamıyla, abartılı ölçüde geniş tutulmuş bir grup düşünülmelidir.

Lipitler, yapısı kısaca belirtilecek olan birkaç organik bileşik ailesi içerirler.

Gliseritler ya da *yağlar* gliserol esterleri, özellikle triesterlerdir. *Gliserol*ün alkol işlevlerinin esterleşmiş asitleri, çift sayıda karbon atomlu aracılardan geçen, *bütirik* asitten *lakserik* aside (C_{32}) kadar, *doymuş yağ asitleri*dir. En yaygınları arasında *palmitik* ve *stearik* asitler sayılabilir. *Çift sayıda karbon atomlu* yağ asitleri baskın bir olgudur, raslantıya bağlı gerçekleşmez; bu, moleküllerin doğal sentez mekanizmasının aynı olmasından ileri gelir.



trigliserit

Yine de tek sayıda ancak, dallanmış zincire sahip (*izovalerik* asit) birkaç asit vardır. Bunların ardından 1, 2, 3 sayıda ya da aynı, ama çok büyük sayılarda çift bağ (*oleik, linoleik, linolenik* asitler) içeren *etilenik asitler* gelir. Sözkonusu çift bağın varlığı, özel bir nitelik bütünlüğünü gösterir (*cis-trans* izomeri, oksijeni ya da halojenleri tutma yeteneği, yükseltgenebilme vb.). *Asetilenik* yağ asitleri son derece az bulunur (ör.: *taririk* asit, karbon sayısı: C_{18}).

Yine bunlar, genellikle doymamış *asit-alkoller* (*risinoleik* asit, verem basilindeki *mikolik* asit vb.)

ve bir karboksil zincirinin bir halkaya bağlandığı çok farklı asitlerdir (*şolmoogrik* asit vb.).

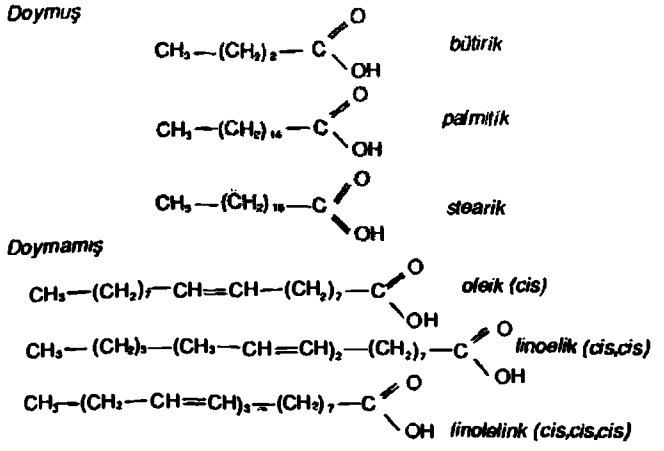
Sıvıyağların ve doğal yağların bileşimi, genellikle oldukça büyük değişimlere uğrayabilir. Sözkonusu olan üç -ya da iki- farklı yağ asidi tarafından esterleştirilen *karma* gliseritlerin az ya da çok kompleks *karışımları*dır.

Bu maddeler organizmada, ister *kolayca çıkarılabilir* bileşkenler durumunda, sözgelimi oleajinli tanelerde, balık karaciğerinde, adipöz dokuda toplanmış olarak; ister öteki maddelerle, çok güçlükle ayrılabilir olduğu sıkı *birleşmeler* durumunda bulunabilir.

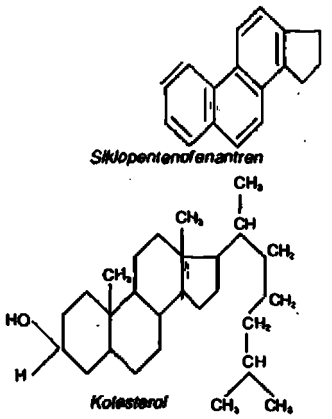
Seritler, artık gliserol olmayan *alkol yapısıyla* gliseritlerden ayrılırlar; ama *yüksek molekül ağırlığında* birkaç *monoalkol* (*mirisiklik, serilik* alkoller gibi), yine *yüksek molekül ağırlığında* bir *yağ asidi* tarafından esterleştirilir. Bu esterler bitkisel (yapraklar, çiçekler, meyveler, taneler) ve hayvansal (balarısı vb.) kaynaklı *mumların* temel bileşkenleridir. Yağ asitleri için geçerli olan çift karbon atomu içerme kuralı bu maddelerde sözkonusu değildir; anılan esterlerde tek sayıda karbon atomuna da raslanır (özellikle C_{25}-C_{31}).

*Kozalaklılar*daki *mumların* bileşkenleri, *etolitler*, bir molekülün asit işlevinin bir molekülün asit işlevini esterleştirmesi sonucunda, özdeş asit-alkol molekülleri (*oksilorik, oksipalmitik*) birleşmesiyle ortaya çıkarlar.

Yağ asitleri (örnekler)



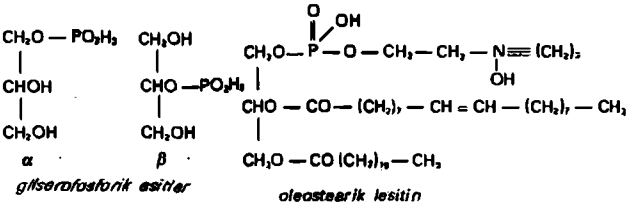
Steritler, yağ asitlerinin (oleik vb.) ve *çokhalkalı alkollerin, sterollerin esterleri*dir. Steritler ile steroller, hem bitkisel hem de hayvansal ortamlarda çok yaygın olarak bulunan ve önemli işlevler üstlenen iki organik maddedir. *Steroller siklopentenofenantren*in ya da daha çok kuramsal olarak *steran* denilen karbonun türevleridir. *Kolesterol* (safra kesesinde, kanda, sinir dokusunda, yumurta sarısında vb.) ve *ergosterol* (çavdar kılçığında, mayada ve öteki bitkilerde) bulunan iki önemli sterol tipidir. Steroller çok sayıda asimetri merkezlerine sahiptir.



Lesitinler kompleks lipitlerdir; fosfor ve azot içerirler. α ve β-*gliserofosforik* asitlerden türerler. Gliserol alkolünün işlevlerinden biri fosforik asit tarafından; diğer ikisi de, *biri hemen hemen doymamış* olmak üzere, yağ asitleri tarafından esterleştirilmiştir. Fosforik asit ayrıca, esterleştirdiği *alkol işlevindeki azotlu bir cisme* (özellikle *kolin*) bağlanmıştır.

Yumurta sarısında (% 10), sinirsel maddede (% 6), karaciğer dokusunda (% 3), tanelerde (% 2'ye kadar) bulunan lesitinler[6] tüm canlı hücrelerde yeralırlar. Doğal ortamlarda lesitin karışımları olarak varlık gösterirler. Ayrıca, *kolin* yerine *amino-etanol* içeren *sefalin, fosfatidil-serin* (kolinin yerini serinin doldurduğu); *sfingomiyelinler* (artık gliserol olmayan sfingozin amino alkol türevleri) gibi başka *fosfoamino-lipitler* de vardır.

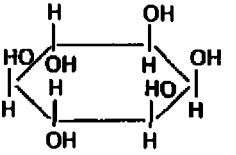
[6] *Lesititler* olarak da adlandırılırlar.



gliserofosforik esitler — *oleostearik lesitin*

Yukarıda anlatılanlardan türeyen organik bileşiklerden birinin bileşkenleri yine lipitlerdir. *Lesitin, doymamış yağ asidi*nin bir molekülünü (sözgelimi, bir yılan zehirinin etkinliği aracılığıyla)[7] kaybetmesi sonucunda *hemolize* yolaçma yeteneği taşıyan *lizositin* ortaya koyar. Azotlu kümelenmenin yitirilmesi bir *fosfatidik asit* oluşumuyla sonuçlanır. Fosfatidik asitler, *yeşil yaprak*larda kalsiyum ve magnezyum tuzları durumunda bulunurlar.

Lipozitoller bir *halkalı polialkol, inozitol* barındıran *fosfolipitler*dir. İnozitol molekülü oldukça komplekstir; soyadaki *lipozitol* molekülü birer tane *fosforik asit, galaktoz, yağ asidi* ve *etanolamin* molekülü içerir.



m inozitol

Gerektiğinde gliserofosforik asitlerle bazı fosforik esterler lipit gibi düşünülebilir: inozito-fosforik asitler (tanelerdeki depo maddeler), heksoz-fosforik asitler (şeker metabolizmasının aşamaları). Ama bu bileşikler gerçekten ester yapısında iseler, yukarıda

[7] Tepkime *fosfolipaz* A tarafından katalizlenir.

sözedilen lipit gruplarına katılmaları pek akılcı olmaz. Çünkü moleküllerinde yağ asidi yoktur.

Tipik lipitler, belirli ve *su buharından* çabuk *etkilenmeyen* çözücülerde (*kloroform, benzen*) çözünürler. Yapıya bağlı bu özelliklerden, anılan organik bileşik grubunun kolay tanınında yararlanılır.

Öteki organik maddelerin pek çoğu glüsitler, lipitler ve protitlerin oluşturduğu üç temel gruba girmez. Bunlardan bir kısmı aşağıda belirtilecek, bir kısmı da kesinlikle gerekli olmadığından anlatılmayacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

ORGANİZMALARIN TEMEL BİLEŞKENLERİ VE TEMEL BİLEŞİKLERİ

Canlıların yapısında mineral bileşikleri de çok önemli bir yer tutar. *Su* ise ilk sırada gelir. Bunun bir kısmı sıvı durumunda dolaşır, öteki kısmı tüm dokulara işler ve genellikle kendisinin de katıldığı (bitkilerde özsu, hayvanlarda kan); çok sayıda biyokimyasal tepkime ortamı oluşturur. Hücresel asıltılara bağlanan su, özelliklerini kısmen yitirir; bu yüzden «bağlı» su ve «serbest» su olarak ayrılabilir. Su aynı zamanda, bazı organik bileşiklerin de bileşkenidir.

Organik maddelerin yanmasından arta kalan *kül*, bu maddelerin içerdikleri gerçek mineral bileşimini göstermez. Organik moleküllerin bileşkenleri olan bazı kimyasal elementlerin tümü ya da bir kısmı, yanmada artık olarak kalır. Kül ancak, kökeni aynı elementler olan mineral bileşiklerini ayırt etmeyi sağlar. Bu elementler kükürt, fosfor, demir ve magnezyumdur. Öte yandan yakma olayı her zaman kayıpsız gerçekleşmez.

Analizlerde kaydedilen *kül oranları*nın yine de belirli bir yararı vardır; çünkü bu oranlar türlere, organlara, yaşa, bileşik ortamına ve çeşitli fizyolojik koşullara göre değişir.

Dokularda bulunan başlıca mineraller *klorürler, sülfatlar, karbonatlar, fosfatlar* vb; *potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum, demir* vb'dir.

Bunların arasında şunlar da sayılabilir: nitrat-

lar (doğal olarak yanma ürünleri arasında bulunmaz), silikatlar, florür izleri ve öteki bileşikler. Herhangi bir tuzun miktar ve işlev bakımlarından önemi genellikle şuralarda ortaya konur: sodyum klorürünki kan plazmasında, trikalsik fosfatınki kemik dokusunda, kalsiyum karbonatınki yumuşakçaların kabuğunda vb. Mineral bileşiklerinin kısaca belirtilen *fiziksel* (hücresel şişme, asıltı dizgeleri durumunda) ve *kimyasal* (enzim etkinliklerini düzenleme, asit-baz dengesi) rolleri, organik bileşiklerinkinden kesinlikle farklıdır. Bu yüzden mineral bileşikleri biyolojik açıdan büyük önem taşırlar.

Temel kuru madde analizi canlıların genellikle, en bol miktarda C, H, O, N, P, S, Cl, K, Na, Ca, Mg ve Fe elementlerini içerdiklerini göstermiştir. Ancak çok az ölçüde olsa bile öteki elementler de bulunur.[8]

Dokulardaki su gözönüne alındığında, oksijenin miktar olarak büyüklüğü olağanüstü boyutlardadır; ancak "kuru madde" ayrı olarak düşünülebilir ve analiz verilerine yüzde yüz olarak katılabilir. *Karbon,* kolayca anlaşılan nedenlerden ötürü ilk sırayı alır (% 50 gibi); bunun için yaklaşık % 40 (glüsitler), % 77 (lipitler), % 54 (protitler) oranlarını hatırlamak yeterlidir.

Yerkabuğunun ve atmosferin çok az bir kısmını oluşturmakla birlikte (CO_2 biçiminde) canlı varlıklardaki karbon oranı belirgin ölçüde yüksektir. Miktar bakımından *oksijen, hidrojen* ve *azot, karbon*dan sonra gelirler. Bu dört elementin tutarı «kuru madde» kitlesinin % 90'ını aşar.

[8] Bitkilerde Si en bol bulunan elementlerdendir.

Örnekler:

	İnsan vücudu		*Basit bitki*	
	Kuru madde %	*nemlimadde* %	*kuru madde* %	*nemli madde* %
C...	53	21,1	48	12
N..	9	9,9	6	9,5
O..	21,5	62,4	42,5	74,5
N..	7	3,1	1,5	0,35
	90,5	96,5	98	96,35

Özel bölgeleşmelerle (kemik, kuru ve yağsız: % 10-12) *fosfor*, kuru maddede 1/100-1/1.000 oranında bulunur.

Bitkilerdeki *kükürt* içeriği, büyüklük sıralamasında fosfor kadardır (1/100-1/1.000). Hayvansal organlarda ortalama daha düşüktür. İnsan vücudunda kükürt fosfordan daha az, yaklaşık 1-4 oranında bulunur.

Klor oranı ortalamada, fosfor ve kükürt oranından daha düşüktür. Deniz bitkileri göreceli olarak bol miktarda klor içerirler. Hayvanlarda ise kan, yaklaşık % 0,3 oranı ile (kuru maddenin % 1,4'üne yakın) klor bakımından zengin bir dokudur.

Silisyum oranına gelince ayrım, yapı silisi ile *ara* silisi arasında yapılmalıdır. Hayvanlarda yapı silisi çok düşük oranda bulunur.

Canlı organizmalarda *potasyum* ve *sodyum* her zaman bulunur. Bitkilerde bol miktarda potasyum vardır; sodyum içeriklerinin genellikle çok düşük olması durumunda potasyum içerikleri, 100 gramlık kuru maddede önemli boyutlara ulaşır. Hayvanlardaki alkali metallerin dağılımı dikkat çekici özellikler gösterir; K/Na ilişkisinin değerine göre organların bir sınıflandırması yapılabilir. *Hücrelerde potasyumun yoğunlaşması* ve *sodyumun atılması* me-

tabolizma etkinliğine bağlıdır (sodyum *pompası*).

Kalsiyum ve *magnezyum* da birlikte düşünülmelidir. Genelde kalsiyum miktar olarak magnezyumdan daha yüksek oranlarda bulunur. Bitkilerde kalsiyum, kuru maddenin çoğunlukla % 1'den azını, bazen de fazlasını oluşturur. Magnezyum ise, *taneler* ya da *tohumların dışında* [9] genellikle çok daha azdır.

Birçok hayvanda kalsiyum birikimi, yapılanmaya büyük bir dayanak hazırlar. İnsan vücudunda ortalama % 1,65 oranında kalsiyum vardır; bu, kuru maddenin yaklaşık % 4'ünü karşılar. Organizmanın bütünü içinde iskelet % 99 kalsiyum içerir.

Memelilerde uyluk kemiği % 19'u aşkın oranda Ca içeriğine sahip olabilir; bu, *kuru* ve *yağsız kemik*teki % 27'yi geçen bir oranı gösterir. Kandaki kalsiyumun miktarı % 0,01'dir. *Kalsemi*, iki hormon tarafından dengede tutulur: *paratiroit* ve *tirokalsitonin* hormonları.

Bitkilerin *demir* içerikleri büyük ölçüde değişebilir; otlarda, 100 gr kuru maddenin genellikle 10-25 mgr kadarını oluştururlar.

Yetişkin insan vücudunda, % 65'i kanda, alyuvarlardaki hemoglobin olmak üzere yaklaşık toplam 3,5 gr demir bulunur.

Canlıların özü, yalnızca bir düzine kadar kimyasal elementten oluşmamıştır. Son yıllarda, büyük bir duyarlılıkla organların ya da dokuların element içeriklerini saptamak için geliştirilmiş yöntemler, canlılarda *düzenli olarak bulunan elementler*e ilişkin listenin çok daha uzun olduğunu göstermiştir. Bitkisel ve hayvansal organizmalarda (100 gr kuru madde için) sistemli olarak, metallerden *çinko, ba-*

[9] Bitkilerdeki hücre zarlarının bütünlüğü kalsiyuma bağlıdır.

kır, manganez, alüminyum, rübidyum, hatta *titan* birkaç miligramdan on miligrama; *nikel* ve *molibden* birkaç on miligramdan yüz miligrama; *kobalt, vanadyum* ve *lityum* ise birkaç yüz miligramdan bin miligrama kadar bulunur. Metalsilerden de *flüor, brom, iyot, bor* (birkaç miligram-birkaç bin miligram arasında), *arsenik* (birkaç bin miligramdan on bin miligrama) bulunur. Öteki iz elementler ise şunlardır: *kadmiyum, krom, kurşun*, hatta *kalay* ve *gümüş* vb.

Belirtilen içerikler canlı madde analizi sonuçlarına eklendiğinde, yani maddenin ağırlığı normal hidratlı durumda iken, kuşkusuz çok düşük oranlarda olduğu görülür. Bu *oligoelementler*, canlı organizmaların yalnızca küçük bir kısmını oluştururlar. Sorun, bu elementlerin, başka bir anlamı yoksa, ortamları nedeniyle bir bulaşma sonucu olan raslantısal katışıklık yaratıp yaratmadıklarının bilinmesidir.

Ayırt etmenin önemli bir aşaması, bu elementlerden birini, *biyokimyasal işlevleri* bilinen bir organik bileşiğin bileşkenleri olan birini (*bakır, iyot* gibi) tanımakla gerçekleşir.

Bununla birlikte, canlılardaki pek çok *oligoelementin durumu* henüz bilinmemektedir. Organizmaların *ilk bileşeni*, temel bileşkenlerine ilişkin kısa bir gözden geçirmenin yetmediği kadar karmaşıktır. Son olarak, canlı varlıkların özünün, özellikle atom ağırlığı düşük kimyasal elementlerden oluştuğunu belirtelim. En önemlilerinin başında hidrojen (atom ağırlığı 1), kalsiyum (40) ya da demir (56) gelir. Bunların ötesinde ancak birkaç oligoelement bulunur.

İKİNCİ KISIM
CANLI HÜCRENİN ETKİNLİK ARAÇLARI

BİRİNCİ BÖLÜM
BİYOJEN ELEMENTLER PLASTİK VE KATALİTİK ELEMENTLER

Organizmalarda bulunan tüm kimyasal elementlerin gerçekten *biyolojik* yararı var mıdır; varlıkları yaşamın kimyasal olguları için *gerekli* midir? Soruların karşılığı kuşkusuz olumlu olacaktır. Bunlar, bilinmesi özellikle büyük önem taşıyan «biyojen» elementlerdir.

Organik bileşiklerin yapısında yeralmaları nedeniyle *karbon, hidrojen, oksijen* ve *azot* için yanıt çok açıktır. Aynı şey *fosfor* ve *kükürt* için de geçerlidir; sözgelimi bunların biyolojik moleküllerde bulunmaları ve oranları, *zorunluluk* düşüncesini uyandırır. Ancak bazı elementlerin tek başına deneyle saptanamayan *zorunluluk niteliği*, bizi *gereksinim* kavramına götürür.

Zorunluluk niteliğinin deneysel olarak kanıtlanması, özellikle *oligoelementler* için gereklidir ve bu konularda *bilginin sınırlarını kimyasal yöntemlerle fizyolojik tekniklerin yetkinlik derecesi belirler.*

Kesin veriler, önce *Aspergillus niger** gibi basit küflerle yapay kültür ortamları hazırlayarak elde edilmiştir. Yeşil bitkilerin gereksinimleri temelden çok uygulama açısından ilkel düzeyde incelenmiştir. Ama günümüzde bu gereksinimler büyük bir yaklaşıklıkla bilinmektedir. Hayvanların başlıca element gereksinimleri de aynıdır. Ancak bu du-

(*) Bir tür küf mantarı (ç.n.).

rum, tam ve *yabancı maddelerden arıtılmış* beslenme rejimleri düzenlemedeki güçlükler nedeniyle, araştırma aşamasında nazik sorunlara yolaçar.

Bugünkü veriler ışığında sorun şöyle özetlenebilir:

1. *Karbon, hidrojen, oksijen, azot, fosfor, kükürt* ve aynı şekilde *potasyum* ve *magnezyum*, her zaman kesinlikle gerekli elementlerdir.

2. *Kalsiyum* hayvanlar ve yüksek bitkiler için gereklidir. Ama alçak organizmalar için gerekli olmayabilir: *Aspergillum niger* normalde kalsiyumsuz gelişebilir.[10] Hayvanlara, oldukça büyük oranlarda *klor* ve *sodyum* gereklidir, *Aspergillus niger*'e bunlar gerekmez. Yeşil bitkiler için *klor* gerekli bir elementtir.

3. *Oligoelementler*den birkaçı genel zorunluluk niteliği taşır: *demir, manganez, çinko, bakır, molibden*. Yüksek bitkilere sözkonusu beş oligoelement ve aynı şekilde çok küçük miktarlarda *bor* ile *klor* gerekir.

İyot ve *kobalt* (en azından B_{12} vitamini şeklinde), ayrıca beş «evrensel» oligoelement (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo) hayvanlar için gereklidir. Gelecekte, öteki kimyasal elementlerin de gerekli olduğu ortaya konabilir; ama bu gereklilik miktarı çok düşük olacaktır.[11]

4. Oligoelement gereksinimi, gelişmede bir duraklama ve kültür ortamının (hayvanlar sözkonusu ise yiyecek) bunları, *organizmanın gereksinimine uygun miktarda sağlamakta yetersiz kaldığı zaman, eksiklik belirtileri* ile kendini gösterir. Ancak bu ge-

[10] Bu, ortamın bazı toksik metal iyonları içerdiği durumlarda geçerli değildir.

[11] Bazı beslenme koşullarında kalay, hayvanların gelişmesinde gerekli gibi görünmektedir. Kobalt ise serbest azot tutan organizmalara gerekir.

reksinimler genellikle çok düşük oranlardadır. *Aspergillus niger*'in saf kültür ortamına katılan olağan miktarlar büyüklük sırasına göre şöyledir (litrede miligram olarak): Fe, 0,4; Zn, 0,4; Cu, 0,1; Mn, 0,1; Mo, 0,02. Bu miktarlar bazen (Fe) *gereksinimlere* göre önemli ölçüde *artabilir*.

Zorunlu oligoelementler *özgül* bir durum gösterirler; kendi aralarında biri ötekinin yerini tam olarak dolduramaz.

Canlıların beslenmesinde *kimyasal elementler*den kimilerine, organik ya da mineral bileşikleri kurmak için önemli miktarlarda gereksinim duyulur; diğerleri ise kitle bakımından önemsiz sayılmakla birlikte yaşam için *zorunlu*dur. Birinci gruba girenler *plastik elementler*, ikinci grupta yeralanlar da *katalitik elementler* diye adlandırılırlar. Ama bu durum katalitik etkinliğin kesinlikle elemente ait olduğu anlamına gelmez. İleride anlatılacağı gibi, bu elementler özgüllük içermekten başka, gerçek katalizörler olan moleküllerin ya da organik komplekslerin (*enzimler*) yapısına katılırlar.

Plastik elementlerle "katalitik" elementler arasındaki fark kesin değildir. Çünkü bunlardan kimileri, gerçekten her iki rolü birden üstlenirler (*kalsiyum* ve *magnezyum* gibi).

İKİNCİ BÖLÜM

ORGANİK BİYOKATALİZÖRLER

Canlı organizmaları merkez alan kimyasal olaylar, inorganik doğanın incelenmesi sonucunda ortaya konan ana ilkelere uygun biçimde gerçekleşir.[12] Bununla birlikte biyokimya belirli özellikler gösterir.

Canlı hücreler hem çok karmaşık, hem de çok *özgül* moleküller kurarlar. Genellikle klasik kimyadakinden farklı, özel yollara göre gelişen *sentez* ve *yıkılma* tepkimelerinin merkezini oluştururlar; bazıları üstün nitelikte bir *enerji çevrimi* gücüne sahiptir.

Işık enerjisi kimyasal enerjiye çevrilerek korunur; *kimyasal* enerji sentez tepkimeleri yapmada kullanılır ya da mekanik enerjiye bazen de elektrik veya ışık enerjisine dönüştürülür. Tüm bu özellikler, canlı hücrelerin kendi kendilerine türettikleri, kendilerine özgü katalizörleri *düzenli* ve *özgül* biçimde ortaya koydukları bir kimyaya, canlıların kimyasına bağlıdır.

I. Vitaminler

Vitamin terimi hayvansal beslenme konusundaki çalışmalardan doğdu*; derin bir biyolojik anlamı

[12] Özellikle *termodinamik* ilkesi.

(*) Latince'deki *vita* sözcüğü ile kimyadaki *amin* teriminin birleştirilmesinden türemiştir (ç.n.).

yoktur. Terim, beslenmelerinde genel olarak (özel durumlar da vardır) bu maddelerden küçük miktarlarda almak zorunda olan insan ve hayvanlarla, bitki dünyasının birçok bireyini, yani tüm organik bileşik türlerini kapsar. Eksiklikleri ağır hastalıklara ve ölüme yolaçar. Vitaminler kadar nişastalı ve şekerli, proteinli ve yağlı besinlerin de alınması gerekir. Fark miktardadır.[13]

Vitaminler kendi aralarında molekül yapısı bakımından hiçbir benzerlik göstermezler. Bu yapı genelde çok iyi tanınmaktadır; ancak kimi "vitaminler" henüz kuramsaldır. Suda ya da yağda çözünürlüklerine göre yapılan sınıflandırmaları, ancak bunları içeren besin türleri nedeniyle önem kazanır.

Vitaminler organizmada katalizör rolü ya da tepkimede aracı rolü oynarlar. Bazıları, başlıca bölümünü oluşturdukları *koenzim* moleküllerinin yapısına katılırlar. Bu zorunlu olmayan, genel bir olaydır.

Antiskorbütik vitamin ya da *C vitamini* basit şeker moleküllerine benzer. Bu, *keto-2 gülonik asidin ene-diol* şeklinin laktonudur. *L-askorbik* asit diye adlandırılır. Molekülü, ene-diol kümelenmesinden iki hidrojen atomunu kolayca yitirerek dehidroaskorbik asit verir. Biyolojik etkinliğinin büyük bir kısmı, tersinir askorbik asit dehidroaskorbik asit tepkimesine dayanıyor gibi görünmektedir.

A vitamini ya da *antikseroftalmik vitamin (retinol)* on bir karbonlu yanal bir zincirle yer değiştirmiş bir tetrahidrobenzen türevidir. Birincil alkol de birleşik beş etilen bağına sahiptir. Bitkilerden hayvanlara taşınan bu madde tek başına vitamin değil,

[13] Yetişkin bir insanın vitaminlere gereksinimi günde 75 mg'dan (C vitamini) birkaç gammaya (γ=mg'nin binde biri) (D vitamini) değişir.

karoten diye anılan renkli bir karbürdür (C_{40} H_{56}); incebağırsağın bu işleme elverişli bölümünde parçalanıp hidratlandıktan sonra vitamin haline dönüştürülür.

D vitamini ya da *antiraşitik vitamin* (*kolekalsiferol*), dehidro-7 kolesterolden türer; kopuk bir halka, bir CH_3 yerine CH_2 kümelenmesi oluşmuş, birleşik üç çift bağa sahip yapısı ile dönüşmüş, yani biçim değişikliğine uğramış bir steroldür. Bu, doğal D vitaminlerinin başlıcasıdır. Bir diğeri (*ergokalsiferol*) ergosterolden türer.

D vitamini ilk *hidroksillenme*ye 25 durumunda *karaciğer*de, ikincisine ise 1 durumunda *böbrek*te uğrar.

Bir hormon olarak değerlendirilen *hidroksillenmiş* bileşik, vitaminin kendisinden 1.000-5.000 kez daha etkindir.

K vitamini ya da *antihemorajik vitamin, metil-2 fitil-3 naftokinon*dan türer. Çift halka naftalene, kalan ise fitole aittir.

E vitamini, üreme vitamini ya da *tokoferol*, P[14] ve K vitaminlerine yaklaşan yapı özelliklerine sahiptir. K vitamini gibi kromandan türer. Fitilitik bir zincir içerir ya da en azından molekülündeki, bir benzenik çekirdek tarafından taşınan fenollü - OH ile tepkimeye girmiş bir fitol zinciri kopabilir. Bu zincir ikinci bir halka türetir ve kromanın çekirdeğini oluşturur.

Azotlu vitaminlerin en basiti *PP vitamini* ya da *antipellagröz vitamin, nikotinamid* ve *adermin* (B_6 vitamini, derinin dokusunu korur) ile özdeştir ve bu

[14] Polifenollü flavonoitler, adrenalin metabolizması üstünde düzenleyici bir etki yaparlar ve bazı enzim tepkimelerini baskılarlar. Vitamin özellikleri tartışmalıdır.

da bir piridin türevidir.

B_1 vitamini ya da *antinevritik vitamin* (*anörin* ya da *tiamin*), *pirimidik* bir *çekirdek*le azotlu ve kükürtlü bir *tiazol* çekirdeğinden oluşur. Kesinlikle bazik niteliğinin dışında bir alkol işlevine de sahiptir.

*Pantotenik asit** bir *amid* işlevi, bir *asit* işlevi ve iki *alkol* işlevi içeren bir zincire sahiptir.

Biotin (H vitamini) bir üre kümelenmesi ve karboksilli bir zincir taşıyan bir *hidrotiofen* halkası içerir.

B_2 vitamini (riboflavin), polihidroksilli *ribitol* zincirine bağlanan bir üç-halkalı *izoalloksazin* çekirdeğine sahiptir.

*Folik asit*** bir *p-aminobenzoik asit* molekülü ve bir pterin molekülünün bir *glütamik asit* molekülüne bağlanmasından oluşur.

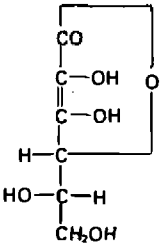
B_{12} vitamini, *anti-pernisyöz anemi* faktörü ya da *siyanokobalamin*, çok karmaşık bir yapı gösterir. Molekülü, bir metal atomu içeren (burada *kobalt*) hem ve klorofil moleküllerini anımsatan bir *tetrapirol çekirdeği* ile özellik kazanır.

Kimileri pigmentlere (*flavonoitler*), kimileri *doymamış yağ asitleri*ne, kimileri aromatik asitlere vb. benzeyen vitaminlerin üstünde ise aşağıda çok kısa olarak durulacaktır.

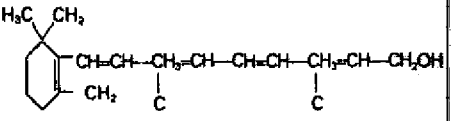
Bitkilerin sentezleyerek hayvanlara aktardıkları vitaminler, gerçekten heterojen bir molekül grubu oluştururlar. *Kimi hayvan türleri şu ya da bu vitamini sentezleyebilir*. Farenin dışardan *askorbik asit* almaksızın gereksinimlerini gidermesine karşılık, kobay ve insan *bunu yapamaz*.

(*) B_5 vitamini (ç.n.).
(**) Öteki adları: M, L_1, pteroilglütamik asit (ç.n.).

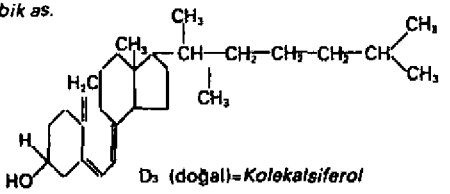
TABLO 8—Vitaminler



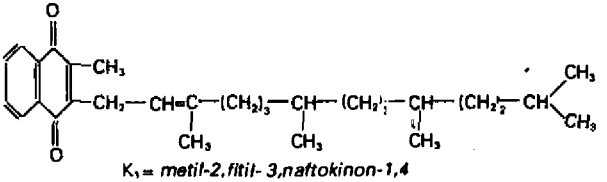
C= *L- askorbik as.*



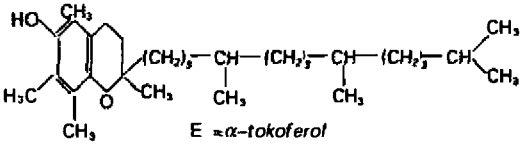
A= *retinol*



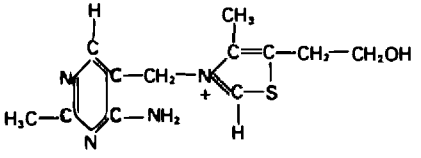
D_3 (doğal)=*Kolekalsiferol*



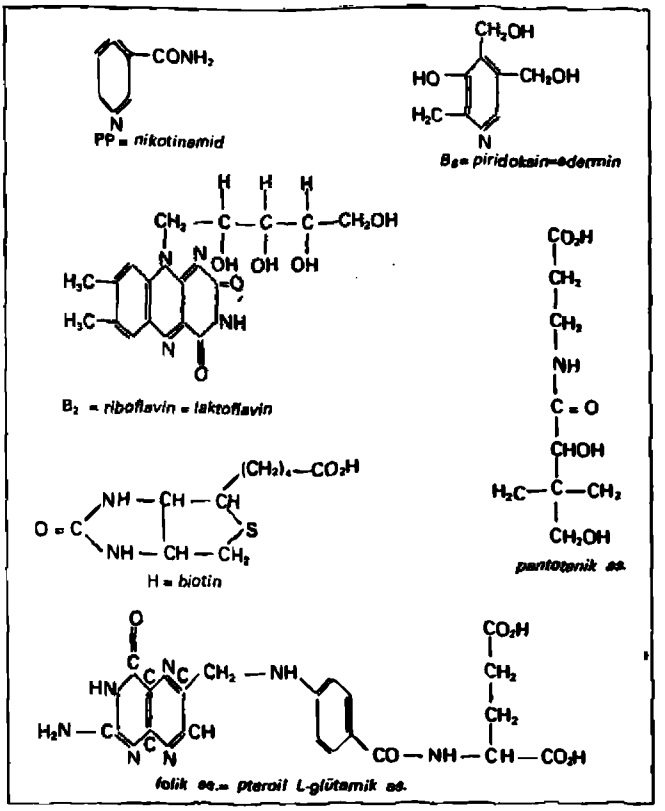
K_1= *metil-2,fitil- 3,naftokinon-1,4*



E =*α–tokoferol*



B_1= *tiamin =anörin*



Bazı durumlarda bitki dünyası, hayvanlara, doğrudan vitamin etkinliği olmayan, ama az ya da çok kolaylıkla vitamine dönüştürülebilen maddeler sağlar. *Karoten* bir *A provitamini*dir; çeşitli steroller ise *D provitaminleri*dir. Gerekli dönüşümleri hayvansal organizmada gerçekleşir. Bu, ışık tarafından yapılır; zarlar düzeyinde bu işleme uygun steroller D vitaminine dönüştürülür.

Bazı canlılar da kısmi sentezler yapabilirler (ör.: tiazol ve uygun pirimidin türevlerinden başlayarak bazı mantarlarla bir hücrelilerin B₁ vitamini

sentezi).

Ayrıca bitkiler de hayvanlar gibi, biyokimyasal işlevleri için vitaminlerden yararlanırlar. Her iki canlı dünyası arasındaki fark, aynı derecede gerekli maddelerin sentezi konusundaki *yeteneklilik* (bitkiler) ve *yeteneksizlik*ten (hayvanlar) kaynaklanır.

Birçok bakteri vitamin almaya (özellikle *tiamin, riboflavin, nikotinamid, biotin, pantotenik asit, m inozitol*) gereksinim duyar. Mantar dokusunun miselyumu ancak *tiamin*in varolduğu bir ortamda gelişir.

Olağan durumlarda bitkilerle hayvanların vitamin içerikleri düşüktür; ama yine de yaşam, birkaç yüz binde, milyonda bir (ya da daha az) oranındaki şu ya da bu vitaminin varlığına ve etkinliğine bağlıdır.

Bununla birlikte dikkate değer, en azından göreceli, vitamin birikmeleri de vardır: bazı yapraklarda (süsen, glayöl) ve böbreküstü kabuğunda *askorbik asit*; tütünbalığı ile ton balığının karaciğer yağlarında *A* ve *D vitaminleri*.

Her vitaminin biyolojik etkinliği, belirli işlev kümelerinin varlığına bağlıdır: C vitamininde *ene-diol* işlevi, B_1 vitamininde *amin*; D vitamininde etilen bağlarının belirli birleşme durumu. Ancak vitamin etkinliği *molekülün yapı bütünlüğü*ne bağlıdır.

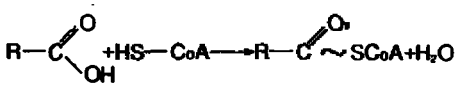
Bir vitaminin molekül çiftleşmesi ya da bazı yapısal değişiklikler, *antivitamin* oluşumuna yolaçabilir (örnek: K vitamini ve K antivitamini). Bununla birlikte doğal ürünlerin etkinliğinin arttığı durumlar da vardır. Metil-naftokinon doğal üründen (metil-fitil-naftokinon) daha etkindir; aynı şekilde kinon çekirdeğinin bulunması zorunlu değildir. Bunun yerini heterosiklik *oksikroman* alabilir.

Vitaminlerin işlevleri, kimyasal yapıları kadar

çeşitlidir. B grubunun (B_1, B_2, B_6, PP vb) ortak özelliği *koenzimler* (yani *enzimler*in etkin kısmı ya da *diastazlar*) oluşturmaktır. Tiamin (B_1), canlı hücreler için ve *fosfor esteri* biçiminde, α-ketonik asitlerin *karboksilsizleştirme* katalizörüdür. *Riboflavin* (B_2), türevler biçiminde (FAD ve FMN), solunum zinciri tepkimelerinde hidrojen aktarımı için zorunlu bir aracıdır. *Nikotinamid* (PP), *dezhidrazlar* tarafından *harekete geçirilen* hidrojen aktarım ajanları (NAD ve NADP) oluşturur.

Biotin, *karboksilleme* tepkimelerinin koenzimidir.

Pantotenik asit, organik asitlerin etkinlik ajanı olan ve bu asitlerin sentezleriyle yıkımlarını kapsayan *koenzim A*'nın yapısına katılırlar. *Adermin* (B_6), *fosfor esteri* biçiminde $-NH_2$ kümelenmesinin aktarım ajanıdır.



Askorbik asit, bir yükseltgeme-indirgeme tamponu ve bir *hidroksilleme ajanı*dır; *elektron aktarımları*na katılabilir.

Organizmada, retinene yükseltgenen A vitamini, retinen kökenli erguvan renginde bir protein (*rodopsin*) oluşturur. A vitamini eksikliği *keratinler*de aşırı senteze yolaçar. D vitamininin hidroksillenmiş türevleri, incebağırsakta kalsiyum *emilim*ini ve kemiklerdeki kalsiyum *hareket*ini hızlandırırlar. K vitamini eksikliği *protrombin* oranında düşmeye neden olur.

II. Enzimler

Genellikle canlı hücrelerce gerçekleştirilen çok çeşitli tiplerdeki tepkimeler, hücresel yapının bütün olmadığı durumlarda *hücre* ya da *doku özleri* yardımıyla yapılabilir. Tüm bu tepkimeler, bu özlerdeki sıcağa duyarlı, az yüksek sıcaklıklarda tepkimelerin hızla gelişmesini sağlayan ve genellikle kesin pH[15] sınırları içinde, *özgül katalizörler*in varlığı sayesinde ortaya çıkar.

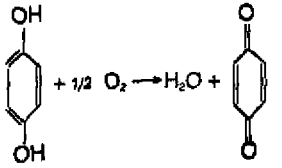
Bu biyokimyasal katalizörlerin ya da *enzimler*in büyük bir kısmı, proteinlerin ayrılmasında da kullanılan yöntemlerle kristal durumuna saflaştırılmış ve ayrılmıştır.

Diğer koşullarda, ister üretildikleri hücrelerde oluşan (*endoenzimler*), ister yayınımdan sonra hücre dışına salgılanan (*eksoenzimler*) *enzimler*,[16] tepkimeleri kataliz ederler. Sindirim enzimleri ikinci tipe girer.

Hidrolazlar, molekülleri suyla tepkiyerek yıkarlar. Etkinliklerini, özgül olarak *glikozit, ester, amid bağları* üstünde gösterirler. Ozidazlar, esterazlar, *lipazlar, amidazlar* ve proteazlar da hidrolaz ailesine girerler.

Fenoloksidazlar ve *oksijenazlar*, oksijen molekülü karşısında işlev yaparlar. Açık havada laklı ağacın *lakkaz*ı, lakkol ile kinonlardan hidrokinonu yükseltger. Difenolden alınmış 2H'yı atmosfer oksijenine aktarıp su, H_2O verir. Hidrokinon durumunda *birincil ürün, parakinon*dur.

[15] pH, H^+ iyonları yoğunluğunun belirti değiştirmiş logaritmasıdır.
[16] Eskiden *çözünebilir mayalar* ya da *diastazlar* diye anılırdı.



Tirozinaz hem bir *monofenol oksidaz*, hem de bir *orto-difenol oksidaz*dır (*katekolaz*). *Sitokrom oksidaz* ("kırmızı" solunum mayası) indirgediği *sitokrom* oksijeni aracılığıyla yükseltgemeyi katalizler.

Peroksidazlar, bir peroksit karşısında (oksijenli su ve alkollü türevleri), oksijenazların oksijen karşısında kataliz ettiklerine benzer tepkimeleri katalizlerler.

Yukarıdakiler gibi *yükseltgen-indirgen* grubunda sınıflandırılan enzimler, indirgenmiş ve olasılıkla bir başka cisimden aldığı hidrojeni serbest bırakabilen, bir *taşıyıcı* üstündeki belirli bir *substratı* harekete geçirirler ve hidrojen aktarırlar (genellikle 2H). Bunlar *dezhidrojenazlar* ve *dehidrazlar*dır.

$$\text{Taşıyıcı} + \text{Substrat } H_2 \xrightarrow[\text{dezhidrojenaz}]{} \text{Substrat} + \text{Taşıyıcı } H_2$$

Bu tip enzimler oksijen molekülüne 2H aktardıkları zaman, oksijenli su, H_2O_2 oluşur.

Lizazlar su, oksijen ve bir indirgenme tepkimesinin yardımı olmaksızın molekülleri yıkarlar. Böylece *karboksilaz* (ya da *dekarboksilaz*), α-ketonik asitler hesabına CO_2 salar;



katalaz, oksijenli suyu ya da organik peroksitleri parçalar ve oksijen molekülü açığa çıkarır;

Enzimsel hidroliz örnekleri

$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{sükraz} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$

sakkaroz — glikoz — früktoz

$(C_6H_{10}O_5)_n + \frac{n}{2} H_2O \xrightarrow{amilaz} \frac{n}{2} C_{12}H_{22}O_{11}$

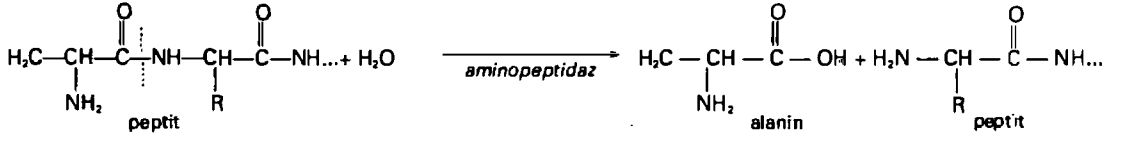
nişasta — maltoz

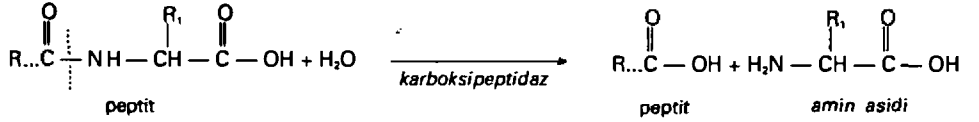
$HOCH_2.CHOH.CH_2O.CO.CH_2.CH_2.CH_3 + H_2O \xrightarrow{monobütirinaz} HOCH_2.CHOH.CH_2OH. + CH_3.CH_2.CH_2.CO_2H$

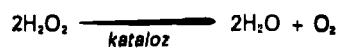
monobütirit — gliserol — bütirik as.

$HOH_2C.CHOH.CH_2OPO_2H_2 + H_2O \xrightarrow{fosfataz} HOCH_2.CHOH.CH_2OH + PO_4H_3$

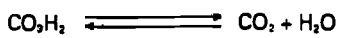
gliserofosforik as. — gliserol — fosforik as.







karbon dioksit tersinir tepkimeyi katalizler:



Fosfor kümelenmelerinin *aktarımları* ($-PO_3H_2$), asetik asit kalıntıları (CH_3-CO-) (asetil) ya da karboksilik asitlerin öteki "kalıntılar"ı; *şeker* molekülü aktarımları, *aminli kümelenmeler* ($-NH_2$) ya da *metil grupları*, özgül *transferazlar* aracılığıyla katalizlenirler.

İzomerazlar izomerizasyon tepkimelerini yaparlar. *Ligazlar* ise C-C, C-N, C-O, C-S gibi atomlararası bağlar oluşturan enzimlerdir.

*Lakkaz*ın incelenmesi, *etkin* bir *tümleyici* oluşturan, düşünülen kimyasal işi yapabilen ve *etkinleştirici* bir *tümleyici*, asıltı desteği, çoğalan, fiziksel durumu ve kimyasal yapısı nedeniyle öteki kısma tepkiyebilir "distazik sistem"in anlaşılmasına yolaçmıştır.

Gerçekten birçok enzim iki tümleyiciye bölünebilir: *apoenzim* ve *koenzim*. Ancak böyle bir bölünme her zaman sözkonusu değildir; yine de birçok enzim *saf protein*dir.

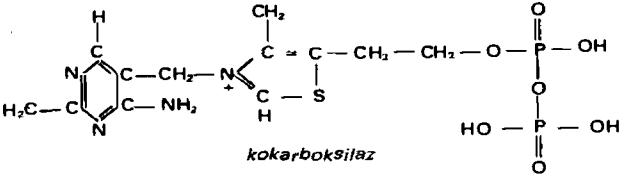
Enzimler, içerdikleri *proteitler*e göre şematik olarak şöyle gösterilebilir:

I.- Holoproteit enzimleri (proteinler);

II.- Heteroproteit enzimleri: *a)* nükleoproteit tipi; *b)* kromoproteit tipi; *c)* metaloproteit tipi.

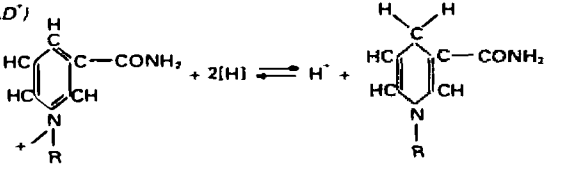
I. grupta proteinlerin enzim etkinliği bir *bağ noktası* ile bir *etkin noktanın* bulunmasına bağlıdır; her ikisi de birkaç aminoasit kalıntısı (*peptaz, triptaz* vb) tarafından oluşturulur. Bu protein enzimle-

TABLO 9- Koenzimler



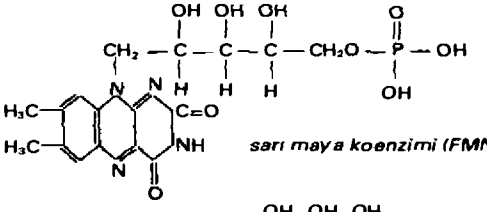
kokarboksilaz

nikotinamid adenin dinükleotit (NAD^+)

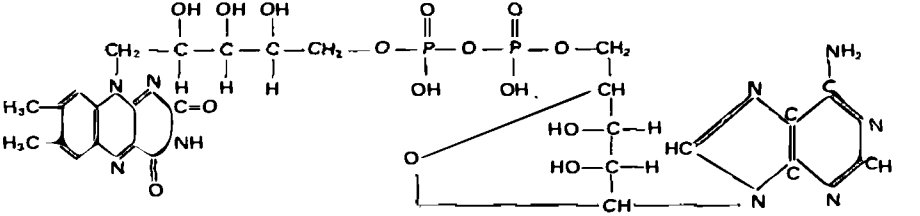


$NAD^+ + 2[H] \rightleftharpoons NADH + H^+$

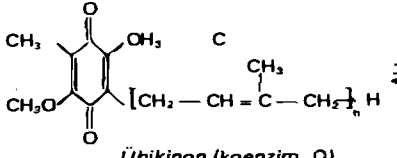
(yükseltgenmiş) (indirgenmiş)



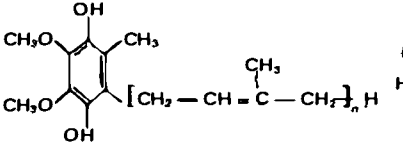
sarı maya koenzimi (FMN)

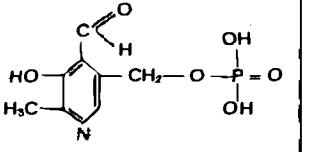


flavin-adenin-dinükleotit (FAD)



Übikinon (koenzim Q)



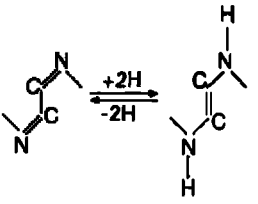


pirdoksal fosfatı

ri, genellikle metal iyonlarınca (K^+,Mg^{++},Ca^{++},Mn^{++} vb.) etkin duruma getirilir.

Dezhidrojenazlar, nükleoproteit tipine girerler. Etkin tümleyici (koenzim I ve II ya da NAD ve NADP), *adenin*li bir *dinükleotit* ve özgül protein, apoenzime az ya da çok bağlı *nikotinamid*dir. Bu moleküllerin *nikotinamid* kısmı (PP vitamini) geçici olarak hidrojen bağlar (Tablo IX).[17]

*Sarı maya*nın koenzimi B_2 vitamini ya da *riboflavin*in bir fosfor esteridir. Tersinir indirgenmesi nedeniyle 2H alabilir ve verebilir, -N=C-C=N-:



Dekarboksilaz da aynı gruba girer. Koenzimi, *tiamin*in *pirofosforik esteri*dir. *Transaminazlar*ın koenzimi ise, özellikle *piridoksal fosfattır* (piridoksini karşılayan aldehit).

Katalaz, peroksidazlar ve bazı oksidazlar kromoproteit tipinden enzimlerdir. Hemin koenzimi üç değerlikli bir Fe atomudur; özgül bir proteine, apoenzime bağlanmıştır. *Sitokrom oksidaz*, hem ve bir protein (+Cu) tarafından oluşturulmuştur.

II. grubun *c* bölümüne giren *fenol oksidazlar (tirozinaz, katekolaz)*, bakırlı melaproteitler; *karbonik anhidrazlar* ve *dezhidrojenaz alkolü*, çinkolu proteinler; *redüktaz nitrat*, molibdenli proteinler ara-

[17] Bu koenzimler, kataliz tepkimesinde gerçekten ko-substratlar gibi davranırlar.

sında sayılabilir.

Koenzim kısımları arasındaki büyük farklılık, tümleme özgüllüğüne sahip apoenzim kısmın yapısındaki tekbiçimliliğin karşıtı olmaktan doğar. Özgül protein molekülü, etkinliği düzenleyen farklı konfigürasyonlarla kaplanırsa, bu durumda *allosteri* terimi kullanılır.

Bazı enzimlerin yapısına katılan elementler (Fe, Mn, Zn, Cu) *zorunlu oligoelementler* grubunda yeralırlar. Canlı hücrelerin sözkonusu elementlere duyduğu gereksinim bu olgudan kaynaklanır. Hatta, hayvanların vitamin gereksinimi, bazılarının enzim sistemlerinin yapısı için zorunlu olmasından ileri gelir.

Enzimlerin etkinliği ve doğası hakkında anlatılanlara, *etkinlik biçimi*ne ilişkin birkaç söz eklemek yerinde olur. Katalizörlerinin etkinliği, kendilerinin yeraldığı tepkimelerde hesaba katılmaz. Bir tepkimenin enzim *substratı* (dönüşüme uğrayan madde), *enzim-substrat kompleksi* oluşturmak üzere önce enzimle bileşir. *Tepkiyen* ve tepkime *ürün*ünü açığa çıkaran bu aracı kompleksin içinde substratın hızlandırıcı olduğu düşünülebilir. Enzim salındığında, yeniden, yeni bir substrat molekülüyle bileşmeye girebilir. Bu durumda şematik hidroliz tepkimesi şöyledir:

$$S + H_2O \xrightarrow{E} A + B$$

şunlara bozunur:

1) $$E + S \rightleftharpoons ES$$

2) $$ES + H_2O \longrightarrow E + A + B$$

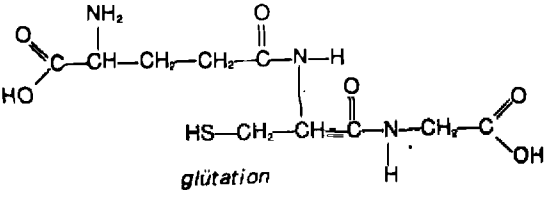
E = enzim S = substrat

A,B = tepkime ürünleri

2. durumdaki tepkimeden salınan enzim, çok sayıda substrat molekülü ile birbiri ardına bileşebilir ve *kataliz etkisi çok hızlı tepkimelerce sağlanır.*

Koenzim, substrat dönüşümünün kimyasal tepkimesini gerçekleştirmek üzere araya girdiği zaman, *apoenzim*, ES kompleksini oluşturmak için S ve E bağının kurulmasında temel rolü üstlenir.

Enzimler çeşitli türdeki maddeler tarafından *etkinleştirilir* ya da *baskılanır*. Sözgelimi *glütation, papainaz* ve *üreaz* üretimini hızlandırır.



glütation

Malonik asit *süksinodezhidrojenazı baskılar.* Malonik asit, HOOC-CH_2-COOH, tarafından baskılanma, molekülünün süksinik asit, HOOC-CH_2-CH_2-COOH, molekülüne benzemesinden kaynaklanır. Bu, molekülün enzimle bileşebilmesi için yeterlidir. Ancak malonik asit hidrojenini atamaz, kısmen ya da tümüyle hareketsizleşir. Artık enzimin ve asidin molekülleri, gerçek substrat ile bileşemez. Öteki baskılayıcılar *yalancı substratlar* ile etki gösterirler (*rakip* baskılama). Bazı *baskılayıcılar* (ya da *etkinleştiriciler*) substratın yapısıyla hiçbir benzerlik göstermezler. Bunlar enzimsel proteinin *yapısı* üstündeki etkiden doğan *allosterik* etkileyicilerdir.

Yaşamın normal ritmi, *allosterik* değişmelerden kaynaklanabilen, enzim hareketlerini *etkinleştirme* ve *baskılama* işlemlerine bağlıdır. Bu işlemler sırasında etkin *protein* sentezinin düzenlenmesi ile

*koenzim*in yararlılığı da sözkonusudur.

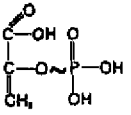
III. Yüksek Aktarım Potansiyeline Sahip Bileşikler

Yaşam, her şeyden önce biyokimyasal tepkimeleri uyum içinde gerçekleştirilen organik maddelerin yapısı ile özellik kazanır. Çünkü biyosentez tepkimeleri enerji tüketici tepkimelerdir (*endergonik*). Sözgelimi nişastanın ya da glikojenin *ozit bağları*, bir proteinin *peptit bağları* gibi. Ancak biyosentez tepkimeleri, en azından bu bağların hidrolizle bozulduğu zaman açığa çıkarabildiği kadar bir enerji katkısı (yaklaşık 4.000 kalori) olmazsa yapılamaz. Bu katkı, *enerji bakımından zengin ya da yüksek aktarım potansiyeline sahip* bazı bileşikler tarafından sağlanır. Bu durumda sözkonusu olan, *hidrolizle kolayca bozulabilen*, hem büyük miktarda *enerji*, hem de başlangıç molekülünden belirli bir *kısım* açığa çıkaran bir bağdır. Ayrılmış *kısım* (sözgelimi bir fosforik asit kalıntısı, bir glikoz kalıntısı vb) *etkinleştirilmiş* sayılabilir; çünkü bir başka molekülle *bileşimine enerji sağlayan, enerji tüketen* bir *tepkime*de yeralır. İşte bu yüzden *aktarım*, ancak *yüksek potansiyelli* bir bileşikten çok daha düşük potansiyelli, öteki öğelerde *enerji yönünden az zengin* bir bağ içeren bileşime doğru gerçekleşebilir.[18]

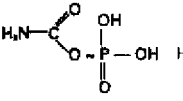
Hücre bileşkenlerinde bulunan yüksek potansiyelli ya da *zengin* bağlar, üç kategoride toplanır: *enollerin fosfor esterleri* (ör.: *fosfofenol pirüvik asit*); mineraller ya da asil-koenzim A'larla karışık *anhidrit asitleri, fosfamitler* (ör.: *kreatin fosforik asit*). Uyuşum içindeki enerji bakımından zengin

[18] En doğru şekilde, *serbest hidroliz enerjisi daha az* olan bileşime doğru.

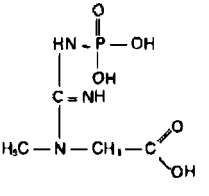
TABLO 10



pirüvik fosfofenol as.



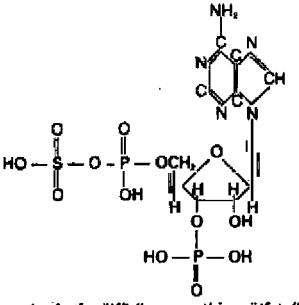
Karbamil fosfat



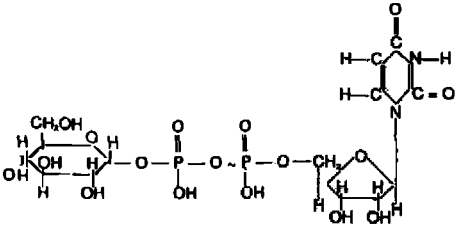
kreatin fosforik as.



asil-koenzim A (etkin organik asit)



fosfoadenozin fosfosülfürik as.= etkin sülfat (PAPS)



Üridin difosfatglikoz (UDPG)=etkin glikoz

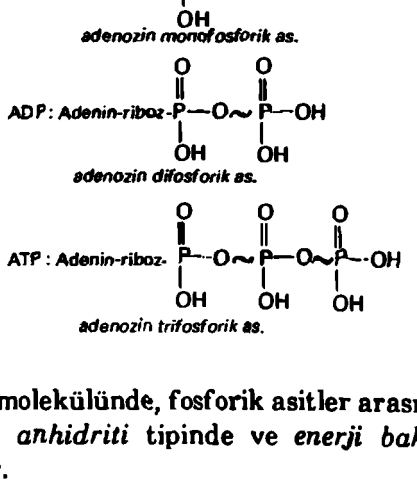
Glikoz birimi ve UDP arasındaki bağ enerji bakımından az zengindir.

bir bağ ~ işareti ile gösterilir (Tablo X).

Yüksek potansiyelli bileşiklerin *oluşumu* ya da *yenilenmesi*, yalnızca enerji açığa çıkaran tepkimelerle (*eksergonik*) gerçekleşebilir. *Glikoliz*de örnekleri gösterilecektir.

Bu bileşikler arasında, molekülü, *adenilik asit* ya da AMP'den türeyen *adenozin trifosforik asit* ya da ATP olan ve *fosforik asidin aktarım* potansiyeline göre, eklenme yoluyla ortalama iki fosforik asit molekülü bulunur.

AMP molekülünde *fosforik asit adenozin* ile ester tipinde bir bileşme oluşturur; bu bağ enerji bakımından *az zengin*dir.

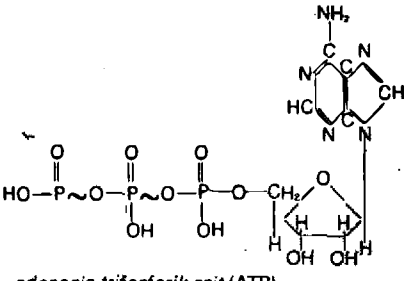


ATP molekülünde, fosforik asitler arasındaki iki bağ, *asit anhidriti* tipinde ve *enerji bakımından zengin*dir.

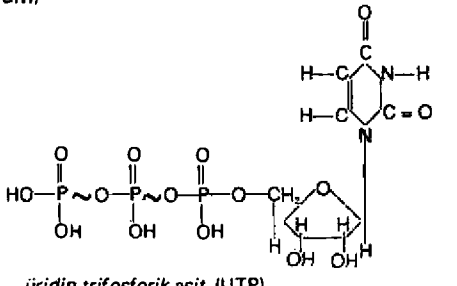
Bu bağlar *kolayca kopar*; normal koşullarda her enerjice zengin bağ ve molekül/gram başına 7.000-11.500 kalori açığa çıkar.

ATP canlı hücrelerde *bol miktarda yayılmıştır*.

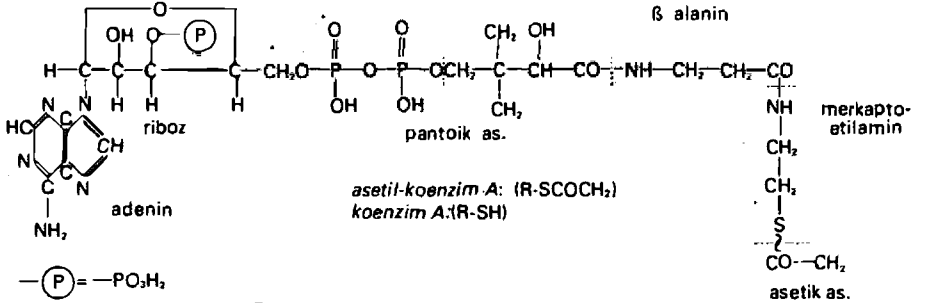
TABLO 10 (Devam)



adenozin trifosforik asit (ATP)



üridin trifosforik asit (UTP)



—(P)= —PO_3H_2

Bunlar *üridilik* asit (UTP), *guanilik* asit (GTP) ve *sitidilik* asidin (CTP) türevleri olan, benzer özelliklere sahip bileşiklerdir.

Üridin difosfat glikoz tipindeki *şeker nükleotitleri, şeker* molekülündeki yüksek *aktarım* potansiyeline sahip ajanlardır; ozit bağlarının kurulmasına katılırlar.

IV. Hormonlar ve Kimyasal Aracılar

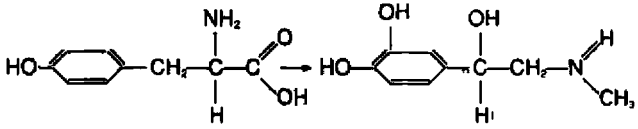
Hayvanlarda bazı özelleşmiş hücreler, görevleri aynı organizmanın başka hücreleri üstünde çeşitli biçimlerde etkinlik göstermek olan, küçük miktarlarda organik maddeler hazırlarlar.[19]

İçsalgı bezleri, vücut sıvılarına ilişkin bağıntı ajanları olan *hormonlar* salgılar. Vitaminlerde olduğu gibi hormon grupları da kimyasal yönden homojen değildir. Biyokimyacılar tarafından üç grupta toplanırlar: 1) animoasitlerden türeyen hormonlar; 2) proteit yapısındaki hormonlar; 3) sterollere bağlı hormonlar. Aşağıda bu gruplandırmaya giren *birkaç örnek* verilmektedir.

1. *Adrenalin* ve *noradrenalin*, böbreküstü bezlerinin medulla bölgesinden salgılanırlar. Kanda her zaman iz durumunda bulunurlar. Bir zinciri ya *metil-amino-etanol* ya da *amino-etanol* olan pirokatekolden türerler. En etkini doğal biçimi olan *levoj*ir. İnsanda 100 gr böbreküstü bezi 27-100 mg adrenalin içerir.

Bu maddelerin, tirozinden başlayan biyokimyasal zinciri sağlam bir biçimde kurulmuştur.

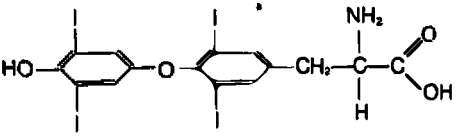
[19] *Hedef* hücrelerde *halkalı adenilik asit* içeriği hormonun etkinliği altında artar (ya da azalır). Bu bileşik *ikinci habercî* rolü de oynayabilir. Benzer bir rol genellikle kalsiyum taralından ve *troponin, kalmodülin* gibi kimi proteinlerce oynanır.



L- tirozin *L- adrenalin*

Adrenalin, derideki ve iç organlardaki arteriollerin büzülmesini sağlar; iskelet kası arteriollerini genişletir; kalbin ritmi ve debisi üstünde uyarıcı etki yapar. Öte yandan karaciğer glikojeninden glikoz salınmasını hızlandırarak kandaki şeker oranını yükseltir. *Glikojen kullanımını sağlayan enzimlerin (fosforilazlar) üretimini hızlandırır.*

Tiroit hormonları, tirozinden türeyen iyotlu organik maddelerdir. L-*tiroksin* hormonu tetra-iyodo-3,5,3',5'- tironinden oluşur; % 63 oranında iyot içerir. Tri-iyodo-3,5,3'-tironin, L-tiroksinden çok daha yüksek bir etkinliğe sahiptir. Tiroit bezinde bunlardan başka iki *iyodo-tironin* hormonu vardır. Bu iyotlu bileşikler, hormon salgılanmasında tam anlamıyla bir *globüline* bağlanmışlardır. Doğal *tiroksin* levojir izomeridir. İyodo-tironinler ikiyaşayışlılarda (*Amphibia*) *başkalaşım* sürecini hızlandırırlar. *Büyüme* ve *metabolizma* üstünde etkinlik gösterirler, *ruhsal gelişme* üstünde etki yaparlar. Biyokimyacı, bunların hücre solunumunu uyardıklarını; solunum ve yükseltgeyici fosforlaşmanın genel birleşmesini engellediklerini gözlemler.



tiroksin

2. Pankreastan salgılanan *insülin, glisemin*in düzenlenmesinde ve *hücreler tarafından glikozun kullanımı*nda önemli bir rol üstlenir. Yapısı ve molekül içindeki dağılımı saptanmış olan elli bir aminoasit zinciri içerir. Hayvanın türüne göre ortaya çıkan çok küçük farklılıklar, yalnızca üç aminoasidin değişikliğinden ileri gelir (bunlar zincirlerden birinin dizininde 8, 9 ve 10. durumlarda bulunurlar).

Glükagon da pankreastan kaynaklanan ve *polipeptit* yapısında (yirmi dokuz aminoasit) bir hormondur. İnsülin gibi *kandaki glikoz* içeriğini denetler.

Hipofiz, çeşitli fizyolojik etkinlikleri, özellikle iç-salgı bezlerinin etkinliğini denetleyen bir dizi hormon üretir:[20] *tiroit* işlevi, *böbreküstü bezleri, cinsellik bezleri*; süt salgılanması; büyüme vb.

*Kortikotropin** (ACHT) hipofizin ön lobundan salgılanır. Böbreküstü bezlerinin *steroit hormonlar* salgılamasını denetler. Düz bir zincir oluşturan otuz dokuz aminoasitten kurulmuştur. İlk yirmi üç aminoasidin yapısı ve dizini** incelenen farklı türlerde aynıdır ve bunlar, özel bir etkinliğe koşullandırılmış gibi görünmektedirler.

Ser-Tyr-Ser-Met-Gly-His-Phe-Arg-Try-Gly-Lys-Pro-
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Val-Gly-Lys-Lys-Arg-Arg-Pro-Val-Lys-Val-Tyr
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

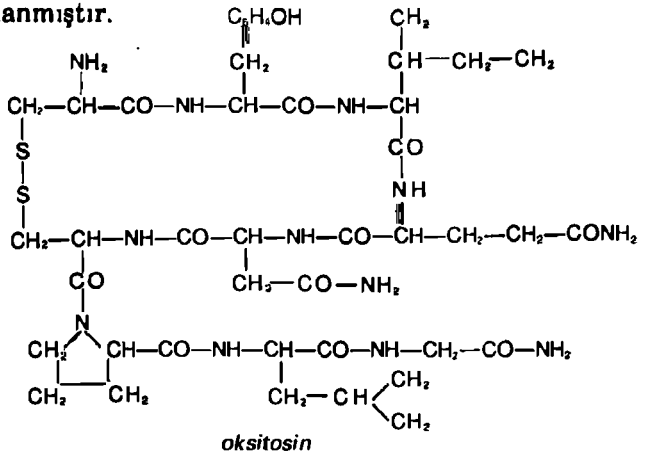
Hipofizin arka lobu su metabolizmasını düzenleyen (*vazopressin*), kan basıncını yükselten; dölyatağının kasılmasını (*oksitosin*) ve süt salgılanması-

[20] "Hipofizer" denilen bazı hormonlar, merkezi sinir sistemi tarafından üretilir.

(*) *Adrenokortikotropik* hormon da denir (ç.n.).

(**) Dizindeki kısaltmalar uluslararası sisteme göre verilmiştir. Karşılıkları sözlük bölümünde yeralmaktadır (ç.n.).

nı uyaran hormonlar salgılar. Birer polipeptit olan *vazopressin* ve *oksitosin*in[21] bir dereceye kadar basit olan yapısı, analiz ve sentez yöntemleriyle açıklanmıştır.



oksitosin

Melanoforik hormonlar (α ve β-MSH) yüksek molekül ağırlığında polipeptitlerdir. Zinciri, kısmen *kortikotropin*in zinciri ile aynıdır (ortak heptapeptidik dizin). Merkezi sinir sisteminden salgılanan β-*endorfin* 30 aminoasit dizininden oluşur.

Bağırsağın ürettiği *sekretin*, böbreğin yaptığı *hipertansin* de *polipeptit yapısı*nda hormonlardır. Bu gruba giren *paratiroit hormonu* ise kemik kalsiyumunu harekete geçirme yoluyla kan kalsiyumunun normal düzeyinde tutulmasına yardım eder.

3. *Steroit hormonlar cinsellik bezleri ve böbreküstü kabuğu tarafından hazırlanırlar.* Temel *dişilik* hormonu olan *östradiol* (dehidrofolikülin) *yumurtalık*larca salgılanır. Tetrasiklik yapısı, kolesterolün yapısına benzer; ama buradaki A halkası benziktir ve artık CH_3 içermez. C_{17} tarafından taşınan yan

[21] 8 aminoasit ve 3 amid oluşturan 3 NH_3 molekülünden kurulmuştur.

zincir, burada bir alkol işlevince doldurulmuştur.

Östron bir ketondur. Folikül hormonları dişi üreme yollarının gelişimini hazırlar;* ikinci derecedeki cinsellik nitelikleri âdet çevrimi ile östrus çevrimidir. Dişinin idrarından çıkartılan östron hidrat ya da *östriol*, östradiol ve östrondan daha az etkindir. Kısrak idrarından ise *ekilin, ekilenin* ve *dihidroekilenin* elde edilir.

En yüksek biyolojik etkinlik *α-östradiole* aittir; onu, sırasıyla *östron* ve *β-östradiol* izler. Bu hormonların yalnızca dişi cinse özgü olmadığını da belirtelim.

Yumurtalık *sarı cisimciği*** birçok hormon üretir. *Projesteron*, döllenmiş yumurtanın yuvalanması için gerekli olan *dölyatağı zarının* gelişimini uyarır. Süt salgılanması üstünde etki yapar. Dişi cinse özgüdür. Projesteron, fizyolojik etkinlikten yoksun bir dialkolü, *pregnandiolü* karşılayan bir diketondur.

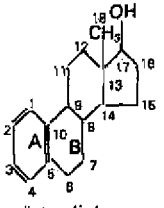
Erkeklik hormonu *testosteron* erbezlerinin salgısıdır. Erkeğe özgü oranların gelişmesinde, ek bezlerin etkinliğinde ve ikinci derecedeki cinsellik nitelikleri üstünde etki gösterir.

Testosteronu dişi cinsellik hormonlarından (östradiol) ayıran en önemli noktalar, bir fenol işlevinin yerine 3. halkada bir keton işlevi bulunması, A halkasının hidrobenzen yapısında olması ve 10. halkada $-CH_3$ kümelenmesinin varlığıdır. Şu halde erkek ve dişi cinsellik hormonları arasındaki farklar ilk bakışta çok belirgin değildir. Buna, androjen hormonlarının (erkeklerde) östrojen özelliklerine sahip

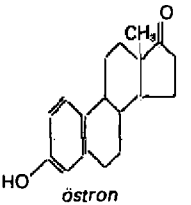
(*) Bak. s. 9; R. Frydman / S. Taylor, *Hamilelik*, Cep Üniversitesi, no 52 (ç.n.).

(**) *Corpus luteum* (ç.n.).

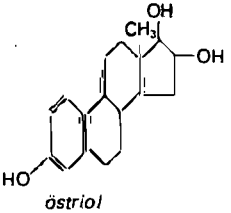
TABLO 11—Steroit hormonlar



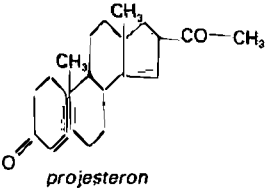
östradiol



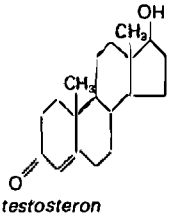
östron



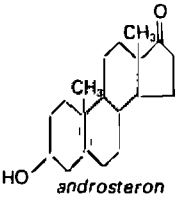
östriol



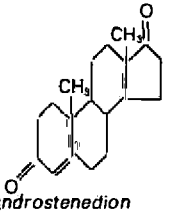
projesteron



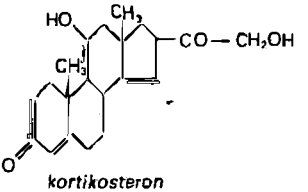
testosteron



androsteron

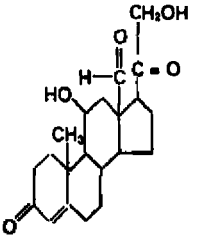


androstenedion

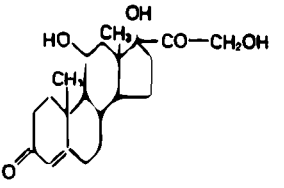


kortikosteron

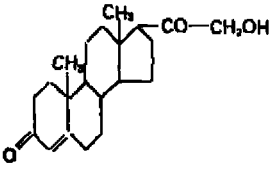
TABLO 11 – Steroit hormonlar *(devam)*



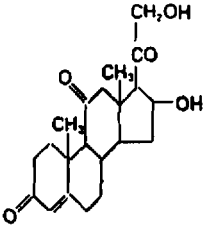
aldosteron



hidroksi-17 kortikosteron (kortizol)



dezoksikortikosteron



kortizon

olduklarını da eklemek gerek.

Testosteron tek erkeklik hormonu değildir. Erkek ve dişi idrarlarında, alkol ve keton işlevlerinin yerlerinin ters olduğu *androsteron* bulunur.

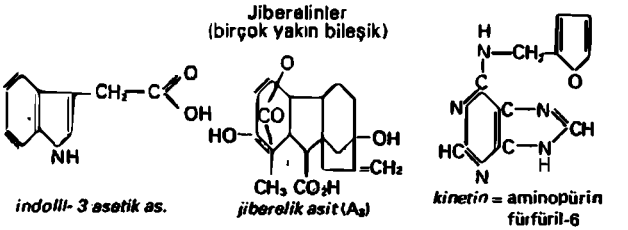
*Böbreküstü kabuğu*ndan birçok hormon salgılanır. Aralarından bazıları *androjenler*in özelliklerine sahiptirler. Bir başka grup, kabuğun çok sayıdaki başlıca özel işlevlerini denetler: *su ve mineral düzenlemesi (aldosteron)*, glüsit, lipit ve protit metabolizmaları; termojenez, kan basıncını düzenleme vb. *30 kadarı* ayrılan bu hormonlardan bazıları şunlardır: *kortikosteron, dehidrokortikosteron, dezoksi-11 kortikosteron, hidroksi-17 kortikosteron, hidroksi-17 dehidro-11 kortikosteron ya da kortizon; dezoksi-17 kortikosteron.*

Tablo XI'de bu cisimlerden bazılarının bağ yapıları gösterilmektedir.

Böceklerde *kabuk* değiştirmeyi sağlayan *ekdizon* steroit bir hormondur.

Bitki hormonları da vardır. *Fitohormonlar* laboratuvarda, belirli bir fizyolojik belirti üstüne az miktarda etki yapılarak, bitkinin kendisi tarafından sentezlenmesi yoluyla tanımlanmış kimyasal maddelerdir.

Triptofan türevi *indolil-3 asetik asit* olan *oksin* ve *jiberelinler* de fitohormonlardan sayılmalıdır. Bu maddeler ve yakın türevleri, bitkilerde *boy uzamasını* uyarırlar. *İndolil-3 asetik* asit, bunu *sentezleyemeyen* ve yokluğunda, in vitro* geliştirilemeyen *bazı bitkisel dokuların büyümesi* için kesinlikle gereklidir.



DNA araştırmaları sırasında bulunan kinetin ya da *fürfüril-6 aminopürin*, yüksek bitkilerde, güçlü biçimde hücre bölünmesini uyarır. *Tromatik* asit, $HO_2C\text{-}CH{=}CH\text{-}(CH_2)_8\text{-}CO_2H$, hücre bölünmesini indükleyerek yaraların kapanmasını sağlayan bir hormondur. 1,3-*difenilüre* ise hindistancevizi sütünde bulunan etkin bir maddedir.

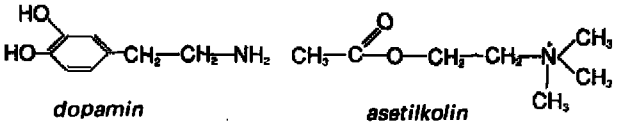
Fitohormonlar ile yapay ortamlarda mayaları çoğaltmak için gereken *biolar* arasında yakın bir

(*) Laboratuvarda (ç.n.).

bağ vardır. Bio I ve H'nin temel bileşkenleri *tiamin, mezo-inozitol, biotin* ile *pantotenik asit*tir.* İnsanla hayvanlar için gerekli *vitaminler* olan bu maddeler, bitkilerin büyümesinde rol oynarlar ve sözkonusu özleri sentezleyemeyen *mikroorganizmalar için zorunlu büyüme etkenleri*dir.

Canlı hücrelerin "etkinlik araçları" olan sinir sıvılarının kimyasal aracıları da biyokatalizör grupları arasında yeralır; *sempatik lif* uçlarından salınan sempatin (*noradrenalin* ve *adrenalin*), *parasempatik sinirler*in uyarılmasıyla salınan *asetilkolin* gibi. Organların sinir sıvılarına yanıtı yalnızca kutupsuzlaşma dalgası iletiminden kaynaklanmaz; iletimin, bu aracıların sinir-kas bağlantısında, hatta aynı zamanda sinir gangliyonlarında salınmasından kaynaklanır (asetilkolin).

Dopamin ve *asetilkolin*, beyindeki nöronlararası bağ ajanlarının örnekleridir.



dopamin *asetilkolin*

Canlı hücrelerde genellikle bulunan maddelerden *glütation*, tersinir 2H aktarma yeteneği ile askorbik aside, $FMNH_2$ ve $FADH_2$ koenzimlerine yaklaşır; ama etkinliği farklı bir yükseltgenme-indirgenme düzeyine (*daha çok indirgeyici ortamlar*) dayanır.

Prostaglandinler, halkalı ve hidroksilli karboksilik asitlerdir; PGE_1 ise, C_{20}'de dört çifte bağ içeren yağ asidi olan *araşidonik* asitten türer. İnsanda en-

(*) Sırasıyla B_1, I, H, ve B_5 vitaminleri (ç.n.).

feksiyon hastalıklarına karşı ilaç olarak kullanılan *antibiyotikler* de, sözgelimi *penisilin* ve *streptomisin*, bunları üreten canlı hücrelerin (burada bakterilere karşı iç mantarlar) savunma ve korunma ajanları gibi kabul edilmelilerdir.

ÜÇÜNCÜ KISIM

ORGANİK MOLEKÜLLERİ YIKAN VE YARATAN YAŞAM

BİRİNCİ BÖLÜM

ORGANİK MADDEDEN MİNERALE

Burada önce mikrop, bitki, hayvan hücresi farkı yapmaksızın, sözkonusu canlılardaki glüsitlerin, lipitlerin ve protitlerin biyokimyasal oluşumu incelenecektir. Ancak bazı özel durumlar da gözönünde bulundurulacaktır.

I. Glüsitlerin Biyokimyasal Yıkımı

Yıkılma ya da *yıkım*, organik bileşiklerin hücresel kullanımı anlamını taşır ve işlem, genellikle suyla tepkimelerden (*hidroliz*) kaynaklanan molekül bozulmalarından önce gelir. Tepkimeler özgül enzimler, *hidrolazlar* tarafından katalizlenir. Bileşik hangi tipte olursa olsun (glüsit, lipit ya da protit), hidroliz bunları bileşken *birimler*ine ayırır. *Ozitler* ve *polyozitler* sözkonusu olduğunda, birimler *oz* moleküllerine ayrılırlar. *Sakkaroz, glikoz* ve *früktoz;* nişasta, *glikoz; inülin, früktoz* açığa çıkarır.

Tüm *aerobioz* canlı hücrelerde, başlıca yararı potansiyel enerji açığa çıkarma olan yıkılma, karbon dioksit ve su veren yükseltgenmelerle sonuçlanır.

Glikoz için durum şöyle gerçekleşir:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

Ancak bu "yükseltgenme" belirli aşamalardan geçer. Anılan aracı aşamaları, bitkilerde, çok yay-

gın olarak içerdikleri organik asitler üstlenirler.

Canlı makinenin başlıca *yakıtı hidrojen*dir. Karbon doğrudan yükseltgenmez; CO_2 üretimi *karboksilsizleşme*den (CO_2 kaybı) ileri gelir. Canlı makinenin kömür yakan bir ocağa benzediği düşüncesi uzun süreden beri geçerliğini yitirmiştir. Hücresel "yükseltgenmeler" geniş ölçüde, *solunum*da, oksijenle birlikte su durumunda bulunan *hidrojeni alma* yoluyla gerçekleştirilir. Dikkatimizi önce, hidrojen kaynağı olan *substratın* (burada *glikoz*) *kimyasal dönüşümleri* üstüne çevirelim. Her şey 6. sırada bir ATP molekülü çekerek *tersinmez (heksokinaz)* bir tepkimede *glikoz-6 fosfat* molekülü üreten glikozun esterleşmesiyle başlar.

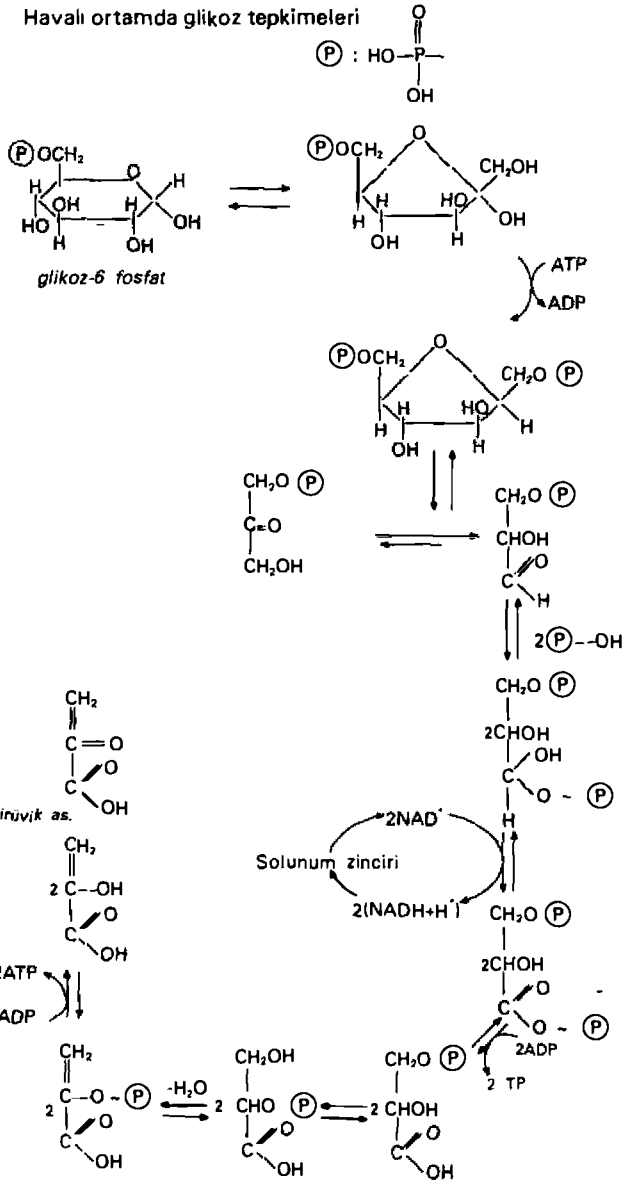
$$G + ATP \longrightarrow G\text{-}6P + ADP$$

Glikoliz - Yıkılmayı *glikoliz* [22] aşaması izler. *Glikoz-6 fosfat* önce *früktoz-6 fosforik ester*'ine izomerlenir. Bu bileşik sonra 1. sırada bir ATP molekülü çekerek esterleşir ve *früktoz-1,6 difosforik ester* oluşur.

Aldolaz etkinliği altında bu, molekülünün bozulması sonucu dengeli bir karışım durumunda fosforlu *dihidroksiaseton* ve fosforlu D-*gliseraldehit (fosfotrioz izomeraz)* olmak üzere ikiye bölünür. Daha sonra *gliseraldehit fosforik esteri* değişimlere uğrar; sonuçta iki molekül fosforlu D-gliseraldehit üretilmişse, her şey aşağı yukarı böyle geçer. *Trioz fosfat dezhidrojenaz*, fosfat karşısında enzimle birleşik aldehite dayanan bir hidrojensizleştirme tepkimesi katalizler. Tepkime ürünü *1,3-difosfo glise-*

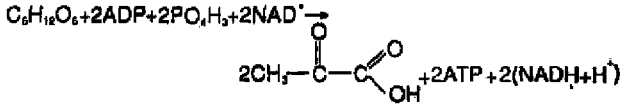
[22] Keşfine en büyük katkıyı yapan bilim adamlarının adlarının ilk harflerinin birleştirilmesiyle EMP olarak da anılır: Embden, Meyerhof ve Parnas.

Havalı ortamda glikoz tepkimeleri



rik asit'tir ve çekilen 2H, indirgenmeden geçen NAD ($NADH+H^+$) tarafından sağlanmıştır. Bir *fosforsuzlaştırma (fosfogliserik fosfokinaz) 3-fosfo gliserik asit* açığa çıkarır; tepkime ürünü *2-fosfo gliserik aside* çevrilir (*fosfogliseromütaz*). Sözkonusu bileşik bir molekül su yitirir (*enolaz*) ve *fosfofenol pirüvik aside* dönüşür. Bu son ürün *fosforsuz*laştırılarak (*pirüvik fosfokinaz*) *pirüvik* asit verir.

Glikozdan başlayan tepkimelerin bu aşamadaki toplam sonucu şöyle gösterilir:



(İki molekül ATP kullanılmış, dört tane oluşturulmuştur.)

Tepkimeleri sürdürebilmek üzere, indirgenen biçimine yükseltgen durumun sağlanması için NAD^+ koenziminin *katalik miktar*da bulunması gerekir. *Aerob* hücrelerdeki bu ($NADH+H^+$) yükseltgenmesini, *oksijen* yoluyla solunum zinciri gerçekleştirir. Bir oksijen molekülü, *pirüvik asit durumuna taşınmış* glikoz molekülü tarafından tüketilecektir.

Glikoliz *anaerobik* ortamda da, *NADH indirgenmesinin bir başka durumda* (mayalanma) *gerçekleşmesi koşuluyla gelişebilir.*

Solunum - *Aerobik* hücrelerde pirüvik asit, yıkımının yapıldığı *mitokondrile*rin içine nüfuz eder. Glikoz molekülü, bir molekül CO_2 ve iki hidrojen atomu yitirir ve *koenzim A, ko-karboksilaz, tioktik asit, FAD* gibi ko-faktörlerin katılımını zorunlu kılan *pirüvat oksidaz* sistemince katalizlenen bir tepkimede koenzim A ile birleşir.

Ortaya çıkan ürünler *asetil koenzim A* ile

$(NADH+H^+)$'dır. Asetik birim mitokondrilerde, *trikarboksil çevrimi* tarafından tam bir yükseltgenmeden geçirilir.

Asetil koenzim A (CH_3-$\overset{\overset{O}{\|}}{C}$ ~ SCoA) bir molekül *oksaloasetik* asit ve bir molekül su ile tepkir; tepkime yeniden koenzim A oluşturur ve kendi kendine, önce *akonitik* aside sonra da *izositrik* aside (*akonitaz*) dönüşen *sitrik asit* üretir. İzositrik asit hidrojenini yitirmiştir ve *oksalo-süksinik* asit (süksinodezhidrojenaz) oluşumuna yolaçar.

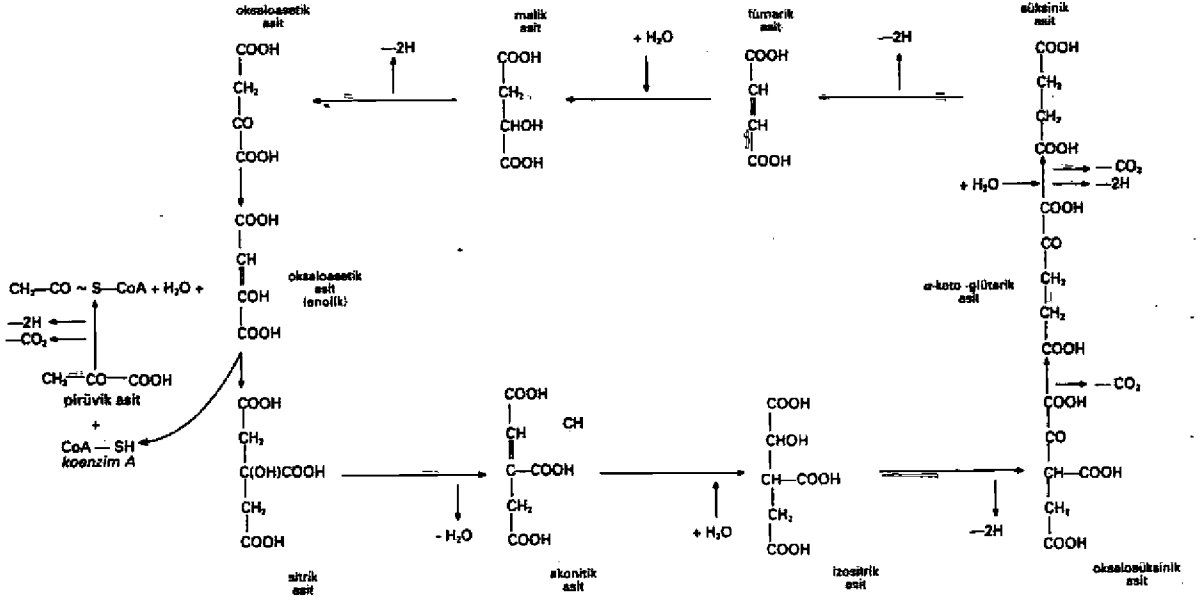
Oksalosüksinik asit bir molekül CO_2 yitirir (*dekarboksilaz*) ve α-*keto-glütarik* asit verir. *Karboksilsiz* ve *hidrojensiz* α-keto-glütarik asit, kendi kendine hidrojensizleşen ve fümarik aside dönüşen *süksinik asit (süksinil-koenzim A)* oluşumuyla sonuçlanır. *Fümarik* asit, *malik* asitle hidratlanarak (*fümaraz*) hidrojensizleşir ve sonuçta *oksaloasetik* asit üretir.

Oksaloasetik asit molekülünün başlangıçta *asetil koenzim A* ile bileşmesinin sona ermesi ve yeniden aynı çevrime girebilmesi (katalitik mekanizma) ile kapalı bir çevrim (*trikarboksilik çevrim*) katedilmiş olur. C_3 içeren ilk *pirüvik asit* molekülü kaybolmuş ve *üç* CO_2 molekülü eklenmiştir. Bu, "solunum" sırasında salınan karbon gazıdır. Pirüvik asitten başlayan tepkimelerin devamı, özgül enzimlerce katalizlenen *beş* hidrojensizleştirme (beş defa iki H) içerir.

Solunum zinciri hidrojenin yükseltgenmesini sağlar. Bu olay *mitokondrilerde* gerçekleşir. Hidrojen glikoz yıkımının çeşitli aşamalarından ya NAD^+ tarafından ya da süksinik asidin hidrojensizleştirilmesi durumunda FAD tarafından çekilir. Her iki durumda da elektronlarıyla[23] übikinona aktarıla-

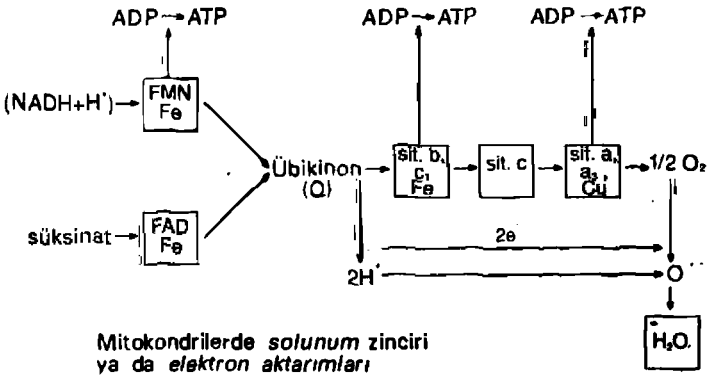
[23] $2H=2H^++2e^-$

Trikarboksilik çevrim



caktır (bak.şema). Böylece her hidrojen çifti sitokrom zincirine iki elektron taşır: *b* ve c_1 ; *c* ; *a* ve a_3. [24]

Bu pigmentler zincirinin sonunda, ardışık olarak ferro (Fe^{++}) ve ferri (Fe^{+++}), indirgenmiş iki sitokrom *a* molekülü ($2Fe^{++}$), bir yarı-molekül oksijenle tepkiyerek, bunu su durumuna getirirler.



Mitokondrilerde *solunum* zinciri ya da *elektron aktarımları*

Bu işlemde hidrojenin yükseltgenmesi oldukça karmaşıktır. Salınan *enerji*, dağıtılanın yalnızca bir kısmıdır. Gerçekte bu, özellikle hücre için solunum bakımından önemlidir. Büyük miktarlardaki enerji ise, sentezlerde kullanılmak üzere kimyasal enerji biçiminde depolanır. Solunum zincirinin *özel noktalarında* ADP+ Ⓟ ⇒ATP *fosforlaşma tepkimesiyle* elektron (ya da H) aktarımı *çiftlenir*; bu bir Ⓟ – Ⓟ bağı oluşumu ve 7.000 kal. depolanması anlamına gelir. Bir yarı-molekül-gram oksijen tüketimi ile ~Ⓟ biçiminde; hidrojen NAD'den geçerse 21.000 kal., süksinik asitten geçerse 14.000 kal. depolanır.

Solunum, glüsitlerin yıkılmasında *en üst düzey-*

[24] Etkin kısmı *hem* olan heteroproteitler.

de enerji verimi sağlar. Her molekül-gram glikozun yokolması "zengin" (ATP) fosfor bağları durumu, yaklaşık 266 kilokalori, yani *% 40'a yakın* [25] bir *enerji verimi* demektir. Aerobik yıkım şu bütünleyici olayla özellik kazanır: *karbon* ve *hidrojenin en üst düzey yükseltgenme durumu*nda bulunması.

Mayalanma Glüsitlerin enerji doğuran yıkımı, *anaerobik* hücrelerde farklı bir biçimde ve *çok daha az enerji verimi*yle gerçekleşir. Kuram ve uygulama bakımından çok önemli olan *alkolik mayalanma*, mayaların sınırlı hava giren bir ortamda yaşamasından kaynaklanır. *Oksijen varlığını gerektirmeyen* işlem, yaklaşık nicelik olarak, toplam bir tepkimeyle şöyle özetlenebilir: $C_6H_{12}O_6$ $2CH_3CH_2OH+2CO_2$.

Glikoliz tepkimeleri (bak. yukarıda anlatılanlar) *pirüvik* asit aşamasına kadar sürer. Ama indirgenmiş *NAD* areobik glikolizdeki gibi oksijen molekülü tarafından yükseltgenebilir ve indirgenmiş NAD bir başka araçla hidrojensizleştirilmemiş ise *gliserik 1,3-difosfo* asidin hidrojensizleşmesi engellenir. Bu, tepkimelerin, aerobik yıkım tepkimeleri ile ortak olduğu *pirüvik* asit aşamasıdır; bundan sonra tepkimeler çok farklı bir hale gelir.

Pirüvik asit oksitli değil, yalnızca *karboksilsiz*dir (*dekarboksilaz*).[26] CO_2 açığa çıkarılır ve *asetaldehit*, CH_3-CHO, oluşturulur. Asetaldehit indirgenmiş NAD ile tepkir ve 2H alarak *etilik alkole* (*dezhidrojenaz alkol*), CH_3 CH_2 OH, dönüşür. Oksitli NAD (NAD^+), birer yeni *fosfogliseraldehit* ve *asetaldehit* molekülü arasında, hidrojen taşıma rolünü yeniden oynayabilir.

Alkolik mayalanmada, sonuç ürünü CH_3-

[25] Olasılıkla gerçek değerinin altında (38 ATP molekülü oluşturulmuştur).
[26] Yalnızca bitkisel hücrelerde bulunur.

CH_2OH olan glikoliz yıkımı *tam değil*dir. *Mayalanma*nın enerji verimi *solunum*unkinden çok daha azdır. *Zengin* fosfor bağları halinde depolanan enerji, yalnızca *iki molekül ATP oluşumunu* karşılar (dördü üretilir, ikisi tüketilir).

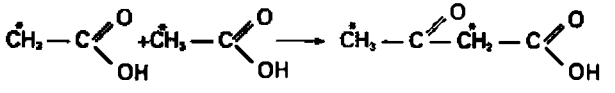
Maya, havadan uzak bir sirkeleşmeye bağlı yaşadığında bol alkol, pek az canlı hücre üretir; havalı bir ortamda bulunuyorsa az alkol, pek çok canlı hücre üretir.

Laktik mayalanma, bazı mikroplar (laktik bakteriler) ve bazı hayvansal dokular (kaslar) üreten glikoliz ve alkolik mayalanma ile aynı yolu izleyen bir *glikoz*- ya da *glikojen*- yıkımıdır. Tepkimelerin akışı *pirüvik asit* aşamasından itibaren farklılaşır. Bunun karboksili çekilmemiştir; *ama NADH tarafından indirgenmiş*tir (asetaldehit yerine): $CH_3COCO_2H+2H \Rightarrow CH_3CHOHCO_2H$ (*laktiko dezhidrojenaz*).

Bütirik mayalanmalar da bir önceki gibi, temelde *anaerobik*tir ve şekerler, nişasta, selüloz ya da laktazlar için önem taşırlar. Özellikler *bütirik asit*, $CH_3CH_2CH_2CO_2H$, üretimi ile CO_2 ve H çıkarmadır. *Alkali ya da nötr ortam*da *asetik asit* de oluşur; asit ortamın ürünleri, *aseton* ve *bütilik alkol*dür. C_6 içeren bir bileşiğin yıkımının C_4'lü cisimler ortaya koyması şaşırtıcıydı. Çünkü C_2'li (asetaldehit, *asetik asit*) aşamaya karar gereğince süren yıkım ve *bütirik asit* gibi C_4'lü moleküllerin oluşumu, yeni bir kısmi sentezin sonucu olarak görünüyordu. İzotopları tarafından ortaya konan moleküllerin kullanımı, asetik birimlerin yoğunluğunu "baştan sona" doğrulamayı sağladı:

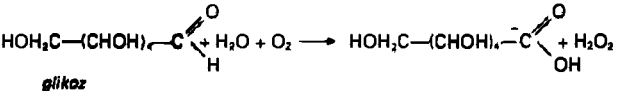
Böylece oluşan *asetilasetik asit, indirgenme* yoluyla *bütirik* asit, $CH_3CH_2CH_2CO_2H$, *karboksilsizleşme* ile de *aseton* (CH_3COCH_2) verir.

Yükseltgeyici denilen bazı "mayalanmalar"; sözgelimi *glükonik* mayalanma gibi, endüstriyel glükonik asit üretimini sağlayan bazı *Aspergillus niger* suşları tarafından yapılır. *Glikoz-aerodezhidrojenaz* enzimince üretilen glikozun çok hafif yükseltgenmesi sözkonusudur.



Daha basit bir örnek, sözgelimi azotça fakir ortamlarda geliştirilen *Penicillium* tarafından üretilen *sitrik mayalanma*dır. Ortamın bileşimindeki bazı "dengesizlikler", normal *yıkım* işlemlerinin *sapma*sını gerektirir.

Bir başka *mayalanma* (ya da tamamlanmamış yıkım) örneğin, hayvan biyokimyasından verilecektir. Kas hareketi *glikojen* kullanımına bağlıdır. Bununla birlikte enerji, *doğrudan* bu polyozidin yıkımıyla üretilmez. Adenozin-difosforik ve fosforik asitleri içeren *adenozin-disfosforik* asidin (ATP) doğrudan dönüşümünden doğar. ATP, *kreatinfosforik* asidin (*fosfajen*) hidrolizi ile açığa çıkarılan enerji sayesinde yeniden oluşturulur:



*Fosfajen*in *yeniden sentez*ine gereken enerji, kaynağını *glikojen yıkımı*ndan alır.

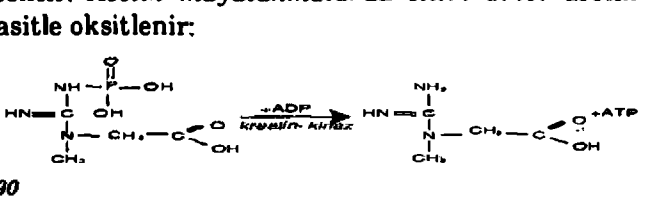
Fosfajen bu yıkımdan kaynaklanan enerjiyi depo eden maddedir.

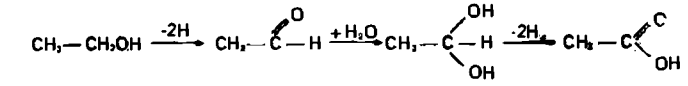
Glikojen yıkımı bir *fosforoliz*le başlar; polyozit molekülü yıkıntısının, hemen, *glikoz-1 fosforik* ester oluşturmasının ardından, *glikojen früktofüranoz-1,6 difosforik ester* haline dönüşür. Bu aşamada alkolik mayalanmadaki ile aynı şeker diesteri bulunur ve olay, bu mayalanmanın *pirüvik asid*e kadar olan aşaması gibi gelişir. Pirüvik asit, *laktik* bakterilerin gerçekleştirdiği mayalanmadaki gibi (bak. yukarıda anlatılanlar) laktik aside indirgenmiştir. Ortaya çıkan laktik asidin her molekül-gramı, *kolayca harekete geçirilebilir enerji* depolanmasının karşılığında 1,5 molekül ATP oluşumuna (yaklaşık 10.500 kalori) denk düşer.

Kastaki oluşumu *yorgunluk* yaratan *laktik* asit, kan yoluyla karaciğere taşınır ve burada, glikojen sentezi için kullanılır.

Yukarıdaki örnekler, bize, hidrokarbonların temel yıkım yollarını izleme olanağı verdi. Aynı şekilde, bazen insanın yüksek düzeyde yararlandığı (burada, konumuz dışındadır) ve öteki organizmalarca yeniden harekete geçirilebilir ya da yıkılabilir organik artıklar veren mayalanma yollarını da izlememizi sağladı.

Kural olarak tüm organik maddeler, biyolojik yollarla, toplam mineralleşmesine kadar götürülebilir. Olaya ilişkin birkaç örnek daha iyi fikir verecektir. *Asetik mayalanmalar*da *etilik alkol* asetik asitle oksitlenir:





Şarap mayası onu, tümüyle CO_2 ve H_2O'ya yükseltger. *Asetik asit*, yükseltgenmeyle (*Acetobacter* ve başka birçok bakteri) böylece tümden yıkılabilir ya da CH_4 ve CO_2 gibi ikiye bölünebilir (*metanik mayalanma*). *Metan, Bacillus methanicus* ve CO_2+ H_2O'ya yükseltgenen elementlerince kullanılır.

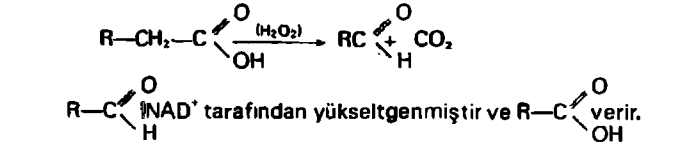
II. Lipitlerin Biyokimyasal Yıkımı

Lipitlerin yıkımı, önce yağ asitleri açığa çıkaran bir *hidroliz* ile başlangıçta esterli alkol işlevi (ya da işlevleri) taşıyan molekül kısmını kapsar.

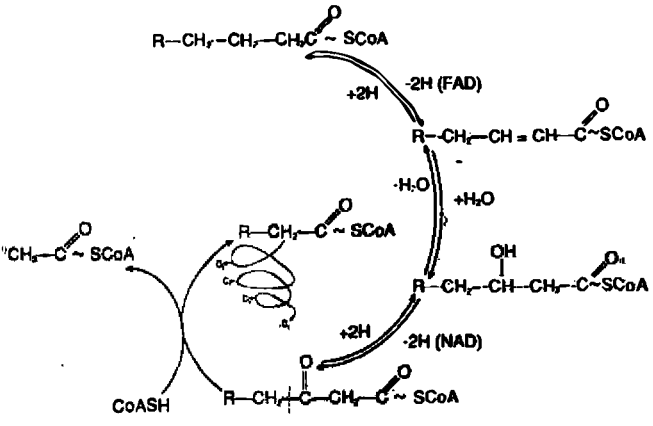
Gliseritler durumunda yağ asitleri çok önemli kısmı oluştururlar. Çok ya da az uzun karbonlu zincirleri, her molekül için yalnızca iki oksijen atomu taşır. Yükseltgenmeyle yıkımları, karbona oranla, glüsitlerinkinden çok daha fazla oksijen gerektirir. Yağ asitlerinin aerobik hücrelerdeki yıkım mekanizması β-*oksidasyon* türüne girer; bu, "yükseltgenecek" karbon zinciri halkasının karboksilik işlevine göre *B*'da bulunduğunu gösterir.[27]

Yağ Asitlerinin β-Oksidasyonu- Asit molekü-

[27] Bitkilerde bazı yağ asitleri α oksidasyon ile yıkılırlar. Peroksidazik bir tepkime yoluyla molekül karboksilsizleştirilmiştir.



Bu molekül, kendi akışı içinde α - oksidasyona uğrar.



Yağ asitlerinin yıkılması -β-oksidasyon tepkimeleri: Başlangıç yağ asidinin iki karbon atomu çıkarılmıştır. (Ayrılmış asetil-CoA, trikarboksilik çevrim ile yıkılır.) Aynı tepkimeler yeni bir yağ asidi üstünde, zincir tümüyle asetil-CoA'ya dönüşene dek tekrarlanır (Lynen sarmalı).

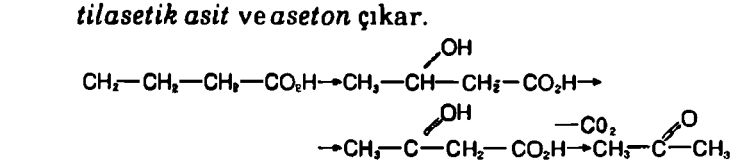
lü, önce *asil-koenzim A*'ya değişimi yoluyla *etkinleştirilmiştir*. Bu tepkime, AMP ve *pirofosfat*a çevrilmek üzere *bir molekül ATP* gerektirir.

Bu yolla oluşan *asil-CoA, mitokondrilerde gelişen* ve özgül enzimlerce katalizlenen *β-oksidasyon* tepkimelerinden geçer. Sözkonusu durumda yağ asidi molekülü önce α-β *konumundan önce hidrojensizleştirilmiş; sonra β'da doymuş bileşiğin alkol işlevine hidratlanmıştır. Yeni bir hidrojensizleştirme (NAD⁺ karşısında), alkol işlevini keton işlevine değiştirir; sonra β-ketonik zincir, bir molekül koenzim A ile tepkiyerek kopar (α ve β arasındaki karbonlar). Buna ketotioliz* denir. Sözkonusu tepkimenin sonuç ürünleri şunlardır: başlangıç zincirinin kopmasıyla oluşan *asetil-koenzim A* molekülü ve henüz tepkiyen koenzim A ile bileşen bir yağ asidi

molekülü. Koenzim A ile yoğunlaştırılan yeni karbonlu *yağ asidi* zinciri, başlangıç zincirinden daha az, iki C atomu içerir. Molekülü aynı tepkimelerden geçerek yeni bir *asetil-koenzim A* molekülü ile başlangıçtakine göre, zincirinde *dört* C atomu daha eksilmiş bir *asil-koenzim A* molekülü verir. Tepkimeler, yağ asidinin (genellikle çift sayıda C atomlu) asetik birimlere (*asetil-koenzim A*) tümüyle yıkılmasına dek tekrarlanır.

β-oksidasyon aracılığıyla üretilen *asetil-CoA* molekülleri oksaloasetik asitle birleşerek trikarboksilik çevrime katılırlar. Bu aşamada *asetik birim* CO_2 ve H_2O'ya *yıkılır*.

İnsanda bazı koşullarda (karbonhidrat perhizi, şeker hastalığı) yıkım, C_4 aşamasından itibaren anormal bir durum alır ve tümüyle gerçekleşemez. Sonuçta ortaya, sırasıyla β-*hidroksibütirik* asit, *asetilasetik asit* ve *aseton* çıkar.



Bu anormallik, asetik artıkların son yıkımını sağlamak için asetilkoenzim A ile bileşmesi gereken *oksaloasetik* asidin eksikliği ile açıklanmıştır; ama sorun büyük bir karmaşıklık gösterir.

Ketonik denilen bu *bileşikler* organizmada biriktikleri zaman zehirlenmelere yolaçarlar. Ancak bu durum konumuzun dışında kalır.

Hücreler için yağ asitleri yıkımının temel yararı, β-oksidasyondan doğan *indirgenmiş koenzimler*in, $FADH_2$, $NADH+H^+$, *trikarboksilik* çevrimde *son asetil-CoA yıkımı*ndan çok daha büyük miktarda *yükseltgenmesi* (solunum zinciri) ile salınacak enerjiden kaynaklanır. Yıkılma enerjisi *verimi* hemen

hemen glikoza oranla aynıdır (% 40).

Yağlı maddelerden kaynaklanan *gliserol* metabolizması çok daha basittir. ATP zararına *fosforik asit* ile enzimsel esterleşmesi, yükseltgenme yoluyla *gliserofosforik asit* oluşumuna yolaçar ve bir *triozfosforik* asit üretir. Bu sonuncu bileşik, şekerlerin mayalanmasındaki normal yolu izler (*fosfogliseraldehit* aşaması). Gliserolün mikroplar tarafından değiştirilmesi, çeşitli cisimlerin ortaya çıkışına neden olur: *Bacillus subtilis, pirüvik asit; Bacterium xylinum, dihidroksiaseton; Bacillus amaracrylus* ise *akrolein* verir. Çok sayıda mikroorganizma, kendine özgü tam bir yıkım gerçekleştirir.

III. Protitlerin Biyokimyasal Yıkımı

Proteitlerin yıkılması da, başlangıçta öteki organik bileşiklerdekine benzer: özellikle amin asitlerinin oluşumuyla sonuçlanan bir *enzimsel hidroliz.*

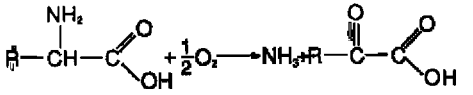
Ancak protitlerin enzimsel *özümleme* süreçleri de aynı glüsitlerinki gibi konumuzun dışındadır. Burada göz önünde bulundurmamız gereken, hidroliz yoluyla ayrılan *birimler, amin asitleri*dir.

Doğal aminoasitlerin büyük ölçüdeki çeşitliliği ve karmaşıklığı nedeniyle, bu cisimlerin yıkılına tepkimelerinin gelişimi, bazı durumlarda ortak bir şema veremeyecek kadar önemli boyutlara ulaşır. İzlenen yıkılma yollarında mikroorganizmalara, bitkilere ve hayvanlara göre farklılıklar vardır. Bu yüzden sözkonusu organizmaların tümü için geçerli olan *azot*un durumu dikkate alınacak ve yalnızca genel olayların anlatılmasıyla yetinilecektir.

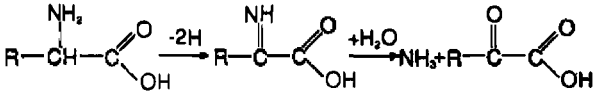
Yıkılma, genel olarak *aminsizleşme* ile başlar.

Hayvansal hücrelerde, genel anlamda amin işlevinin kaybı *yükseltgenme, indirgenme, hidratlanma*

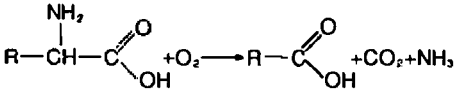
gibi tepkimelerin sonucu olabilir. Ancak bu kaybın nedeni saf ve basit molekül *kopma*sından ileri geliyorsa, burada sözkonusu olan bir yükseltgenme tepkimesidir. Aminoasit *oksidazları* az ya da çok özgüldür; koenzim olarak FAD kullanırlar. Toplam tepkime şöyle gösterilebilir:



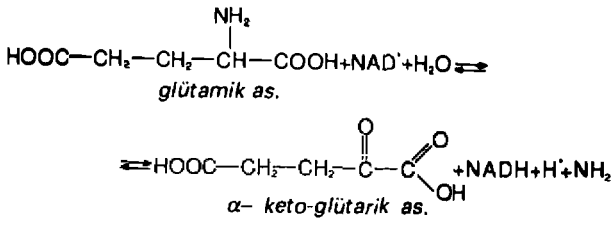
Tepkime, sonuç ürünler olarak *α-ketonik asit* ile *amonyak* verir. Gelişme, önce amin asidinin hidrojensizleşmesi yönünde sürer; sonra NH_3 salınmasıyla kendiliğinden hidrolize uğramış *α-imin asit* oluşur.



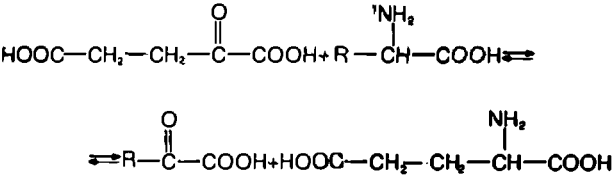
FAD, hidrojensizleştirmeden kaynaklanan 2H taşır ve oksijenle tepkiyerek H_2O_2 üretir. Katalazın bulunmadığı durumda, oksijenli su, oluşturulan ketonik asit üstüne tepkir. Yıkılma daha da ilerlemiştir ve *toplam* tepkime şöyle yazılır:



*Diamin diasitler*in, özellikle L-glütamik asidin aminsizleştirilmesi, özel enzim sistemlerince gerçekleştirilir. NAD ya da NADP (ve FAD da) koenzimine sahip *L-glütamik dezhidrojenaz*, şu aminsizleşme tepkimesini katalizler:



-α-*keto-glütarik asit* oluşması çok özel bir önem gösterir. Çünkü α-ketonik asit, koenzimi piridoksal fosfatı olan bir enzimin, *glütamik transaminaz*ın, sayesinde birçok aminoasitle tepkimeye girebilir:



Sözkonusu olan *amin* ve *keton* işlevlerinin değişimi tepkimesidir (amin göçü ya da *transaminasyon*). Tepkime ile öteki aminoasitler, glütamik dezhidrojenaz yoluyla aminlerini yitirebilirler (aminsizleşebilirler). (Bu tersinir bir tepkimedir ve hücreler bu yolla çeşitli aminoasitler sentezleyebilirler).

Yalnızca glütamik asidin değil, *aspartik asid*in de glüsit metabolitleri olan *α-ketonik asitler*in aminsizleşmesi yoluyla *alanin, serin, sistein* verdiği gözönünde tutulmalıdır. Ayrıca deneyler, hayvan organizmasında belirli sayıda şeker üreticisi aminoasidin iki metabolizmada da ortak öğe olarak bulunduğunu göstermiştir.

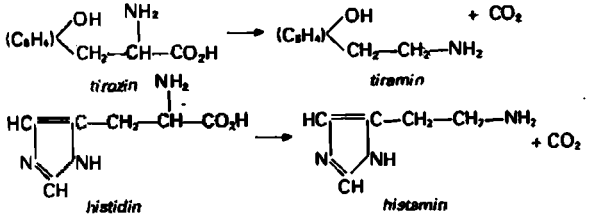
Mikroorganizmalar, aminoasitleri moleküllerindeki kopma yoluyla aminsizleştirirler. *Escherichia coli*'nin *aspartaz*ı vb, *aspartik* asitten başlayarak bir NH_3 molekülü açığa çıkarır ve bunu *fümarik* aside çevirir; *histidiaz, histidin*in amonyağını açığa

çıkararak *ürokanik* asit vb verir.

Bitkilerde *fenilalanin amonyak-lizaz, fenilalanin* molekülünün NH_3'ünü açığa çıkarır. Bu tepkime, aromatik bir çekirdekten, özellikle *ligninler*den türeyen birçok bileşiğin kaynağı olan *sinnamik asit* üretir.

Aminoasitlerin yıkımı bir *karboksilsizleşme* (bakteri ya da hayvan *dekarboksilazları*) ile de başlayabilir. *Biyojen aminler* denilen aminlerin oluşmasıyla sonuçlanır. Bunların bazıları fizyolojik bir rol oynayabilirler ve genellikle zehir türünde maddelerdir.

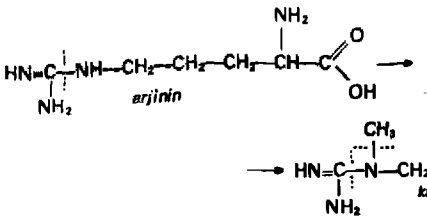
Örnekler:



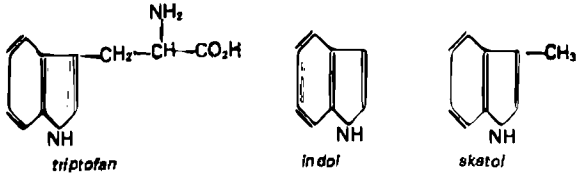
Her bir aminoasidin yıkılma olaylarının bütünlüğü (katabolizmaları) çok farklı ve genellikle, bu küçük kitabın kapsamını aşacak ölçüde karmaşıktır. Bunlar arasında, yalnızca gerçek biyolojik yarara sahip cisimler ortaya koyan bazılarının dönüşümü anlatılacaktır. Sözgelimi sisteinden başlamak üzere, safra asidi bileşeni *torin:*



guanidik arjinin kümelenmesinden, *glisin*den ve *bir metil kümelenmesin*den başlayarak, kas *fosfajeni* bileşkeni *kreatin*:



tirozinden itibaren adrenalin; triptofandan başlayarak, indolik bileşikler (mikroorganizmalar)

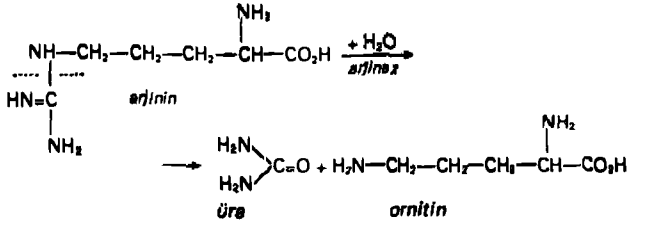


ve aynı triptofandan itibaren, indolil-3 asetik asit (bitkiler); hücrelerde sentezlenebilen *nikotinik* asitten başlayarak *nikotinamid.*

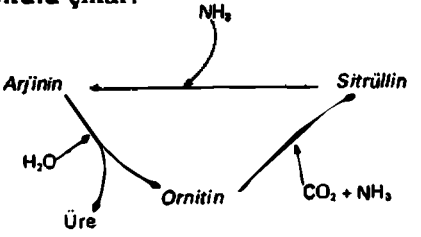
Şimdi, *aminsizleşmeden doğan NH_3 molekülünün değeri*ni incelemek yerinde olur. İnsanda ve pek çok hayvan türünde, *zehirli* bir cisim olan amonyak *üre*ye çevrilir. Üre, bu türler için protein azotunun ana elenme biçimidir.

Tepkimeler *karaciğer*de geçer ve *ornitin* çevrimi oluşur.

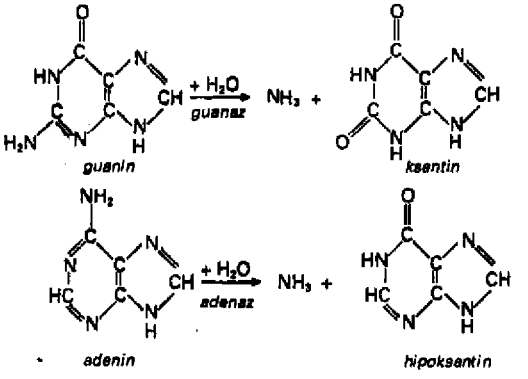
Arjinin, hidroliz ile *üre* açığa çıkaran bir bileşiktir. Üre daha sonra *ornitine* çevrilir:



Çünkü *ornitin*, karaciğerde bulunan eşsiz bir amonyak *alacısı*dır. CO_2 karşısında, yeniden arjinin[28] oluşturmak için kendi kendine NH_3 ile tepkiyen *sitrüllin* adlı bir cisim verir. Önceki tepkimeler halkasının her kapanışında, üre durumunda iki NH_3 molekülü çıkar.



Genel olarak *heteroproteitlerin yıkılması*, protein kısmı protein kökenli olmayan bir bağlaçta birleştiği için çok karmaşıktır. *Nükleoproteitler*, proteazlar tarafından hidrolize uğratılırlar; polinükleotitler *nükleazlar* ile *nükleotitlere* çözünürler; öteki enzimler nükleotitleri hidrolize uğratarak bileşkenlerini açığa çıkarırlar: *fosforik asit, şeker, azotlu*

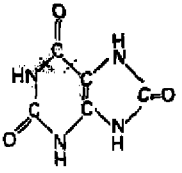


[28] Tepkimelerde, *karbamil-fosfat* aracı olarak yeralır.

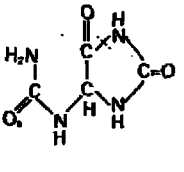
bazlar. Azotlu bazlar arasında yeralan *pürin bazları*, enzimlerin (*adenaz, guanaz*) etkisi altında *aminli* kümelenmelerini yitirirler (hidroliz ile aminsizleşme).

Flavinik enzim olan *ksantin oksidaz*, hipoksantini ksantine ve sonuçta da *ürik asid*e dönüştürür (trioksipürin).

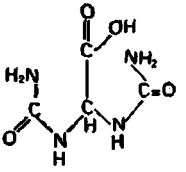
İnsanda, insansılarda, kuşlarda, çeşitli böceklerde, yumuşakçalarda tepkimeler yaklaşık bu aşamalarda durur. *Ürik asit* (formülü triketonik totomer durumunda gösterilir), pürinlerin baskın elenme durumudur.



Ürik as.



allantoin



allantoik as.

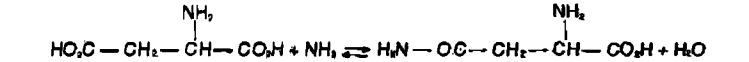
Öteki türlerde (aşağı maymunlarda, memelilerin çoğunda) molekül parçalanması (*ürikaz*), *allantoin*, hatta balıklarda *allantoik asit* vererek biraz daha sürer. Aminoasitlerdeki gibi pürinlerin yıkılmasında bir unsur oluşturan *allantoikaz*, allantoik asitten *üre* açığa çıkarabilir.

*Hemoglobinler*in heminik kümelenmesi, *tetrapirolik halka*daki yükseltgeyici *kopma* ve *demir yoketme* yoluyla ortaya konan, bir ölçüde karmaşık bir durum gösterir. Bunun sonucu *safra pigmentleri*nin oluşumuna varır: *biliverdin*, sonra bağırsak bakterilerinin, dışarı atılan madde olan *sterkobiline* indirgedikleri *bilirübin*.

Proteik maddelerin yıkılma yollarına ilişkin yukarıda verilen özet, başlıca hayvanlar dünyasını,

ikinci derecede de mikroorganizmaları kapsar.

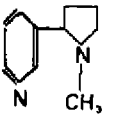
*Bitkiler*deki bazı özellikler de belirtilmelidir. Az ya da çok ileri düzeyde basitleşmiş ürünler ortaya koyan *hidrolizler*, sentezlenmiş proteinlerin etkin büyüme noktasına, depo organlarına ya da tohumlara doğru göçmesini sağlarlar. Çimlenen bir tohumdaki depo proteinler, geçirdikleri hidrolizin sonucunda genç dokularca kullanılır duruma dönüşürler. Geçici bir süre ve belirli bir bölüm için proteinlerin harekete geçirilmesi ve yıkılma, bitkilerde protein metabolizmasına özgü bir olguyla gösterilir: göreceli olarak önemli miktarda, doğal biçimi levojir olan *aspartik asit amid*inin (*asparajin*) oluşumu. *Asparajinaz* denilen bu enzim tersinir bir tepkime katalizler:



Asparajin de aynı *glütamin* gibi, yeşil bitkilerin azot metabolizmasında geniş bir yer tutar.

Aspartik ve *glütamik* asitler, glüsit metabolizmasının ürünleri olan *oksaloasetik* asit ve α-*ketoglütarik* asitlerin enzimsel çevrimi sonucunda ortaya çıkarlar.

Bitkilerdeki azot metabolizması bir başka özel nitelik daha gösterir. Birçok bitki ailesinde, azotlu bileşikler az ya da çok güçlü bazik yapılarda bulunurlar: *alkaloitler*. Bu cisimlerin molekül yapısı, genellikle aminoasitlerle kararlı ilişkiler hazırlar ve aralarında bazıları için zincirlenme kurulmuştur. Nikotinde piridin halkası ve pirolin halkası birleşmiş halde bulunuyorlarsa, ortaya nikotinik asit ile *ornitin* çıkar; nikotinik asit, *triptofan*dan başlayarak kendi kendine oluşabilir:



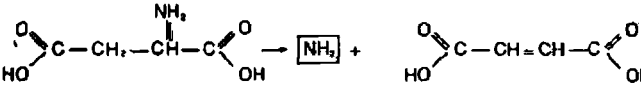
nikotin

Organik maddelerin en önemli yıkıcıları olan *mikroplar*, özellikle toprakta, azotlu maddelerin mineralleşmesi üstünde çok önemli bir rol oynarlar.

Çürüme olayının son aşamaları, anaerob ortamdan CO_2, CH_4, N_2, SH_2 ve gerekirse PH_3 gibi gazların salınmasıyla; merkaptanların, sözgelimi CH_3-CH_2-SH, uçucu asitler ve hidroksiasitlerin oluşumuyla; aminler, amonyak, fenoller, indol ve skatol, zehirli poliaminler (ptomainler) gibi maddelerin ortaya çıkışıyla özellik gösterir. Ancak proteinlerin yıkımı, yalnızca çürüme bakterilerinin işi değildir.

Çürüme ürünleri arasında *amonyak* özel bir önem taşır. Organik azotun mineral dünyasına dönüşü amonyak tarafından sağlanır. Protein azotunun *amonyaklaşması*, toprakta geçen ve mikropların etken oldukları başlıca olgulardan biridir. Ancak *sıradan* bir olgudur. Bu yönüyle birçok mikroorganizma türü tarafından gerçekleştirilebilir.

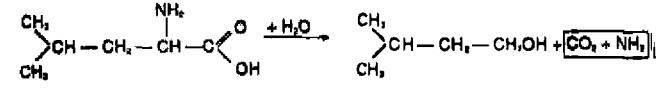
NH_3, aminoasitlerin *aminsizleşmesi* yoluyla açığa çıkarılır. Bir *lizaz* tarafından katalizlenen aminsizleşme basit bir molekül kopmasıyla sonuçlandığında doymamış bir asit verir (*fenilalanin* ⇒ *sinnamik* asit; *aspartik* asit ⇒ fümarik asit):



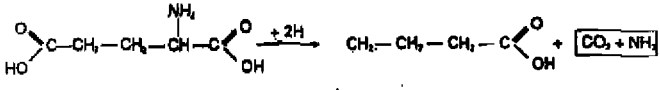
aspartik as. *fümarik as.*

Ama aminsizleşme bir *hidratlanma*dan da kaynaklanabilir; bu durumda karboksilsizleşme ile, *al-*

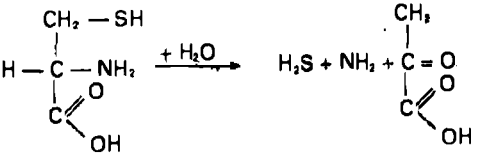
kol üreten bir *alkol asidi* ortaya koyar. Bu, mayalarca *füzellerin* bileşkenleri olan supérieur mutlak alkoller, sözgelimi *izo-amilik* alkol, oluşturulmasıdır:



Bu aynı zamanda, aminsizleşmenin çok sık olarak ortaya konduğu bir *indirgenme* olayıdır. *Glütamik* asid NH_3 yitirerek ve bir karboksilsizleşmeye uğrayarak bütirik aside çevrilir:



p-hidroksibenzoik asit, *p-krezol* ve *fenol*, *fenilalanin* ve *tirozin*in aminsizleşmelerini de içeren dönüşümler yoluyla oluşturulurlar. *Öncüler* olarak *skatol* ve *indol triptofan*a sahiplerdir; yapıları, bazı mikrop türlerini tanımayı sağlamıştır. *Sülfhidrik* asit ve *merkaptanlar*, *sülfhidrilli* aminoasitlerin indirgenmelerinden doğarlar. Bir *desülfhidraz* bulunması sayesinde, *sistein*, bir molekül H_2S, bir molekül NH_3 ve bir molekül *pirüvik asit* verir.



Olasılıkla asetik asitten, hatta gazlı fosforlu hidrojenden (PH_3) ve azottan (gaz) başlayarak metan (CH_4) üreten bazı anaerob bakterilerce gerçek-

leştirilen indirgemelerin gücünü vurgulamak yerinde olur.

Bakteriler azotlu maddeleri tümüyle yıkabilirler. Daha dayanıklı olan birkaç karbonlu yapı ise, bu kez tam yıkma yapan aerob mikroorganizmalarca yeniden işlenir.

Buraya kadar *azot*un durumu, öteki temel organizmalarınkinden farklı gelişir. Karbon, karbon diokside, CO_2; oksijen de suya, H_2O, dönüşür: yıkılma yollarının bütünü, ilgili elementlerde *yükseltgenme* durumlarına yolaçar. Azot da bu kuralı bozmaz; amonyaktan itibaren büyük bir doğal olguya katılır ve sonuçta *nitrik asit* üretir.

Nitrifikasyon mikrop etkenli bir kimyasal olaydır. Organik azot, önce amonyağa dönüştürülür (bu dönüşümde mikropların baskın rolünü yukarıda görmüştük). Sonra amonyak, organizmalarca yükseltgenerek *azotlu asitler* verir. Ancak bu, amonyak bakterilerinde olduğu gibi sıradan değil, *özgül* bir olaydır. Olayı başlatan *Nitrosomonas, Nitrosocystis, Nitrosospira* gibi mikroorganizmalar, az ya da çok miktarlarda toprakta yaşarlar. Ayrıca *bakteri yatakları* saflaştırma merkezlerinde kültürleri yapılır. Bu ilginç mikroplar, *enerji veren besinlerden uzak mineral ortamlarında* büyüyebilirler. Özel, özümleyici pigment hücreleridirler ve karanlıkta çalışırlar. Yükseltgenme tepkimesiyle, $NH_3 \Rightarrow NO_2H$ (*nitrozasyon*), açığa çıkarılan enerji sayesinde, gereksinim duyduklarını karbonu, *karbon gazından çekip kullanabilirler.*

Nitrozasyonu izleyen *nitratasyon,* $NO_2H \Rightarrow NO_3H$, yine bir başka *özgül* mikrop tipi olan *Nitrobacter*'ler tarafından gerçekleştirilir. *Organik maddelerdeki azot, mineral dünyasına nitratlar durumunda geri döner.*

İyi işlenmiş, az kireçli tarım topraklarında tüm bu olaylar etkin biçimde ve aynı zamanda geçer. Bitkilere nitratlar durumunda sızan azot, yaşam çevrimine katılmaya hazırdır.

Ancak bu tam olarak gerçekleşmez, işe başka olgular karışır. En azından güçlü indirgen[29] etkinliğe elverişli ortamlar da vardır. «Nitrit çözücü» mikroplar, nitratları nitritlere indirgerler ve atmosfere *oksit*, N_2O ya da *azot gazları* salarlar.

Daha önce proteitlerdeki kükürdün, *sülfhidritli* ve *hidrojen sülfürlü* bileşikler durumundan geçtiğini görmüştük. Ancak kükürt genel kuralın dışına çıkmaz: mikrop etkinlikleri çeşitli aşamalarda (*tionik asitler, hiposülfitler*) işe karışabilir ve kükürdü, en üst düzey yükseltgenme durumuna (*sülfatlar*) götürür.

[29] Serbest oksijen bakımından fakir ortamlar.

İKİNCİ BÖLÜM
MİNERALDEN ORGANİK MADDEYE

Bir önceki bölümde görüldüğü gibi, organizmanın, az ya da çok kompleks, hiçbir bileşkeni kalıcı değildir. Yaşamın başka durumlarında yıkılmayan bileşkenler, elementlerin parçalanarak mineral dünyasına dönüşünü tamamlayan mikroorganizmaların etkinlik alanlarına girerler. Ancak öteki organizmalar da dış ortamdan, beslenmede yararlandıkları, özümlenebilmeleri için dönüştürdükleri ve yeni organik özlerin yapımında kullandıkları maddeler alırlar.

Yıkılma, *yükseltgenmeler* ile *enerji salınımını* içeren bir olaylar dizisidir. Organik bileşiklerin yapımı ise *indirgenmeler* ile gerçekleşir ve bir *enerji kaynağı* ister.

Aşağıda, organik senteze doğru atılan bu adımın ana çizgilerini belirteceğiz.

I. Glüsitlerin Doğal Sentezi

Sözkonusu bağlamda organizmalar iki bölümde incelenir. Bazı organizmalar tüm besinlerini, *karbon dioksit* durumunda özümledikleri karbonu da içeren minerallerden alırlar. Bunlar özellikle, bazı hücreleri öteki pigmentlerle birleşmiş halde bulunan ve *kloroplastin* (bir proteine bağlı *klorofil*) denilen bir maddeye sahip bitkilerdir. Klorofil eksikliği bulunan bazılarının ise, özellikle *mikropların*, bir-

kaç başka *özümleyici pigmenti* vardır. Öte yandan böyle bir pigmente sahip olmayan ve karbona dayalı beslenmelerinde *karbon gazını doğrudan kullanamayan* organizmalar da vardır. Bunlar *yeşil olmayan bitkiler* ve *mikroplarla hayvanların* büyük çoğunluğudur.

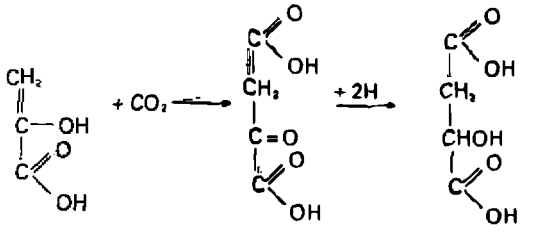
Dünya üstündeki yaşam, bazı canlıların, su ve karbon dioksit ile ilk molekülleri kurma yeteneğine sahip olmalarına bağlıdır. Bu yeteneğe sahip olmayanların tümü, beslenmelerini sağlayan organik maddeleri yaşadıkları ortamdan karşılamak zorundalardır.

Özümleyici pigmentler, ışık enerjisini soğurma ve bunu, CO_2'den başlayan organik sentezlerde kullanılabilir enerjiye dönüştürme işlevini üstlenirler. Ancak bu her zaman zorunlu değildir. Çünkü gereğince donanımlı bazı hücreler, olayın akış merkezi oldukları bir *kimyasal tepkime*den salınan enerjiyi, CO_2 özümleyici bir sentez için kullanabilirler. Bu, bir önceki bölümde anlatılan, *mikropların nitrozasyon* durumudur. Renksiz olmalarına karşın karbonlu beslenmeleri için, ortamlarındaki bikarbonatların *karbon dioksid*ini kullanabilirler. Sözkonusu durum, kimyasal bakımdan *sentezleyen* ya da *ototrof* denilen birkaç başka tür için de geçerlidir. Ayrıca ototrof bitkilerde, *karbona karşı ototrof hücrelerin* (pigmentli), *karbon için heterotrof hücrelerin* (pigmentsiz) bulunduğunu da belirtmek gerekir.

Klorofil özümlemesi, atmosferdeki *karbon gazından* başlayan tüm biyokimyasal sentezlerin kaynağıdır. Karbon, atmosferde düşük miktarda bulunur. Ancak, yeryüzünün çeşitli kimyasal ve biyolojik olguları arasındaki denge nedeniyle gerçekte boldur. Yoğunluğu az olmakla birlikte (3/10.000), atmosferdeki CO_2 $2{,}6.10^{15}$ kg değerinde bir kitle or-

taya koyar. Bunun yılda 4.10^{13} kadarlık bir kısmı, *fotosentez* ile, yalnızca *yeşil kara bitkileri* tarafından toplanır.[30]

Sonuçta, canlılar iki bölüme ayrılırlar: *ototroflar* ve *heterotroflar* (karbona göre). Ama bu, yalnızca bir sınıflandırma kolaylığıdır. Sözkonusu ayrım kesin nitelik taşımaz. Çünkü pigmentsiz *mikroorganizmalar* (propionik bakteriler), *küfler*, organik moleküllerden doğrudan CO_2 alma yeteneğine sahip *hayvansal dokular*, *karbon mineralini özümler*ler. Örnek:



pirüvik as. *oksaloasetik as.* *malik as.*

Pirüvik asidin fosforlaşmasını, *biotin*li bir enzim tarafından karboksillenmesini ve NADH ile indirgenmesini içeren bu olay, kuramsal açıdan çok büyük bir öneme sahiptir.

Fotosentez Fotosentez, bitkilerin yeşil hücrelerinde olduğu kadar *özümleyici pigment*leri bulunan bazı mikrop türlerinde de gerçekleştirilir. Genelde, öteki pigmentlerle bir arada, özellikle klorofil *b* ve *karotenoitler* ile, özümleyici pigment oluşturan klorofil *a*'dır. Klorofil ile ışık enerjisindeki *fotonlar* ya da *quanta* soğurulur ve kimyasal enerjiye çevrilir. Bazı alglerin de ya kırmızı bir pigment (*fikoeritrin*) ya da mavi bir pigment (*fikosiyanin*) şeklinde

[30] Okyanuslardaki fotosentez etkinliği de önemlidir.

klorofilleri vardır.

Yeşil bitkilerce karbon gazı soğurulması, eşit hacimde oksijenin çıkarılmasıyla birlikte gelişir ve sonuçta glüsitler (yapraklarda nişasta) oluşur. Geçmişte, CO_2'nin "bozunmuş" olduğu ve $(HCHO)_n$ (glüsit) vermek için suyun C ile tepkidiği, nO_2 açığa çıkarıldığı düşünülüyordu.

$$nCO_2 + nH_2O \Rightarrow (CH_2O)n + nO_2$$

Kükürtlü bakterilerin bakteriyoklorofil bakımdan incelenmesi, ışığın CO_2'sinden yararlanan hücrelerin, *oksijen çıkarmaksızın*, kükürt veren H_2S yükseltgenmesi yaptıklarını gösterdi.

$$nCO_2 + 2nH_2S \Rightarrow (CH_2O)n + nH_2O + 2nS$$

Bu fotosentez tepkimesi, ışık bulunduğunda, CO_2'nin indirgenmesini gerçekleştiren hidrojen verici H_2S tarafından sağlanır.

Tepkime genel olarak şu formülle gösterilebilir:

$$nCO_2 + 2nH_2A \Rightarrow (CH_2O)n + nH_2O + 2nA$$

Yüksek bitkilerin klorofil özümlemesi durumunda ise şöyle yazılabilir:

$$nCO_2 + 2nH_2O \Rightarrow (CH_2O)n + nH_2O + nO_2$$

Bitkiler, ister ağır oksijen tarafından ortaya konan su, ister aynı durumda ortaya konan CO_2 bakımından nitelendirilsin, salınan oksijenin CO_2'den değil *su*dan kaynaklandığı doğrulandı. CO_2'nin içerdiği karbon ile oksijen iki «sabit» elementtir. Fotosentez tepkimesinde su molekülü hidrojen *verici* olarak davranır, *oksijeni* ise *atılır*.

Öteki bilgiler, klorofilin içerdiği *kloroplast* denilen hücresel organetlerin *ayrılması* ile elde edildi.

Bir demir tuzu gibi indirgenebilir tepkin içeren

ortamda, ayrılmış *kloroplastların* ışık altında tutulmaları, *tepkin indirgendiğinde* sudan *oksijen çıkarılmasına* neden olur. Tepkime, sözgelimi demir ile şöyle yazılır:

$$4Fe^{+++} + 2H_2O \xrightarrow[\text{ışık}]{\text{kloroplastlar}} 4Fe^{++} + 4H^+ + O_2$$

Kloroplastlar tarafından katalizlenen fotokimyasal tepkime, su molekülündeki *hidrojen*den ve molekülden kaynaklanan oksijenin atılması yoluyla, *indirgen bir cisim oluşmasına* dayanır. Önceleri, tepkime yalnızca yapay bir "model" olarak değerlendiriliyordu. Ancak günümüzde ışık altında kalmış kloroplastların, *adenozin difosforik asitten* itibaren ATP sentezine yolaçabilecekleri ortaya kondu.

Sonuçta bu *fosforlaşma* tepkimesinin $NADP^+$ bulunduğunda (*çevrimsel olmayan fotofosforlaşma*) *oksijen salınması* ile birlikte gerçekleştiği gösterildi:

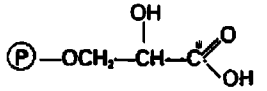
$$2NADP+2H_2O+2ADP+2\textcircled{P} \xrightarrow[\text{kloroplastlar}]{\text{ışık}} 2NADPH+2H^++2ATP+O_2$$

Bu durumda kloroplast tarafından kullanılan *ışık enerjisi*, doğrudan yararlanılabilir *kimyasal enerji*ye çevrilmiştir. Tepkime sudan gelen oksijeni açığa çıkarır ve bir *indirgen* üretir: biyokimyasal sentez tepkimeleri için gerekli olan NADPH.

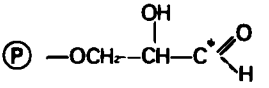
Glüsitlerin sentezi için *CO_2 kullanan mekanizma*ya ilişkin bilgiler çeşitli deneyler sonucunda elde edildi. Bu deneylerde, klorofil hücrelerine işaretlenmiş bir karbonu (C^{14} izotopu) içeren karbon gazı özümlettiriliyor, sonra bu işaretlenmiş karbonun hangi organik moleküllerde bulunduğu araştırılıyordu.

Çok kısa bir özümleme süresi için belirli kar-

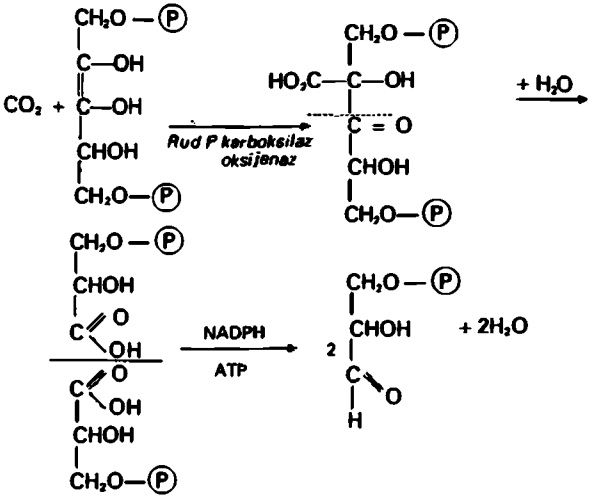
bon, yaklaşık % 10 oranında C_3'lü bir organik bileşiğin asit işlevinde bulunur: *3-fosfo gliserik* asit,



Ardından fosforlu bir trioz



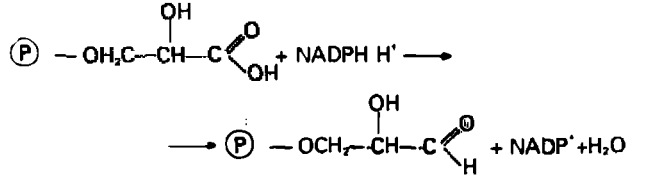
ve öteki şekerler ortaya çıkar. Belirli karbonun taşıyıcısı üç C atomlu bir asit olan ilk bileşiğin, C_2'li bir molekülü CO_2 «tutturma» dan oluştuğu düşünülmüştü. Gerçekte olaylar çok daha karmaşıktır. CO_2 tutturma, fosforlu bir C_5'li şeker molekülü, C_6'lı bir aside (*ribüloz difosfat karboksilaz oksijenaz*) dönüşen *ribüloz-difosfat* üstüne yerleşir.



Ribüloz difosforik estere CO_2'nin katılması ile molekül kopar ve 2 molekül fosfo-gliseraldehit oluşur.

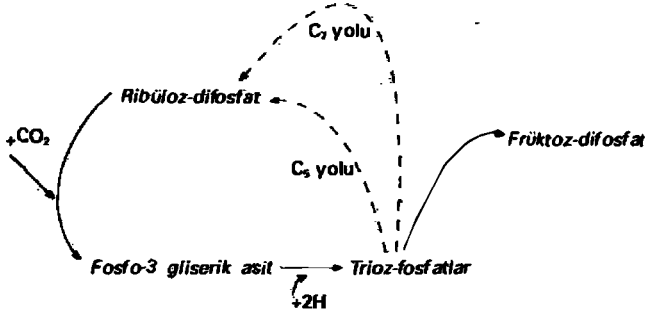
Sonra bunun molekülü dismutasyonla kopar ve iki molekül *3-fosfo gliserik asit* (C_3'lü) üretir.

3-Fosfo gliserik asit, yukarıda yeniden fotokimyasal oluşum biçimi görülen NADPH tarafından şu tepkimeye göre indirgenir:



Tepkime sonucunda ortaya çıkan *fosfogliseraldehit, fosfodioksiaseton* ile dengededir ve *glikoliz*de, bundakinin tersine bir yol izlenir, *trioz-fosfat*ların iki molekülü, *früktoz-1,6 difosforik ester*'inden bir molekül oluşturmak üzere yoğunlaşabilir. Glikoz fosforik esteri ile denge durumundaki bu C_6'lı şeker, yoğunlaşma yoluyla nişasta ya da sakkaroz (1 mol. glikoz 1 mol. früktoz) oluşumuna yolaçar.

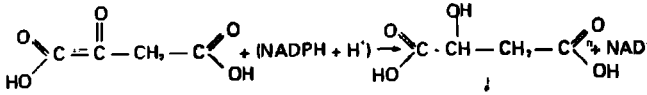
Sürmekte olan aynı tepkimelerin sonuçlanması için *ribüloz-difosfatın* yeniden harekete geçirilmesi gerekir. Bu eylemin aşamalarını belirleyen cisimler ve tepkimeleri kataljzleyici enzimler, bitkilerde bu-



lunmaktadır. Sözkonusu eylemin en basit yolu, iki karbon atomu bulunan kısmın (früktoz fosforik esterindeki kopmadan doğan) *fosfogliseraldehit* ile tepkimeye girerek bir *ksilüloz-5-fosfat* (C_5) üretmesi, sonra bunun *ribüloz-5-fosfata* (C_5) dönüşmesi, ardından da ATP tarafından *ribüloz-1,5 difosforik ester*'ine fosforlanmasıdır. CO_2 alıcısının bir başka hareketlenme yolu ise C_7'li bir şeker olan *sedoheptüloz* ile tepkimeden geçmesidir.

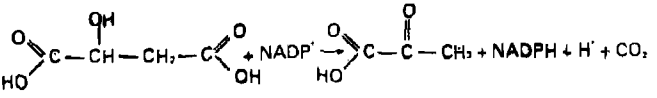
Bu fotosentez mekanizmasında CO_2 kullanımı, CO_2'nin ribüloz difosfata eklenmesi ve birçok kültür bitkisinin içerdiği C_3'lü ya da C_3 tipi denilen üç atomlu karbon bileşiğinden iki *3-fosfo gliserik asit* molekülü oluşturması ile sonuçlanır.

Şekerkamışı, mısır, hintdarısı* gibi çok üretken bazı bitki türlerinde, ilk CO_2 katılımı, *fosfo-enol pirüvik* asidin *karboksillenme*si yoluyla dört karbon atomlu bir bileşiğin üretilmesine yolaçar. Bunlara C_4'lü ya da C_4 tipi bitkiler denir. CO_2 ile en yakın ilişkiye sahip olan karboksilleme enzimi *fosfo enolpirüvat karboksilaz*, tepkime ürünü ise *oksaloasetik asit*tir. Bu ürün sonuçta ışık verilmiş kloroplastlarca oluşturulma biçimi yukarıda görülen NAPH tarafından *malik asid*e indirgenir (enzimi *malikodezhidrojenaz*dır):



Burada malik asit, *mezofil* hücrelerinde gerçekleştirilen *ilk fotosentez ürünü*dür. Öteki *daha derin* yeşil hücrelerde, malik asit *karboksilsizleşme* ile *pirüvik asit* + CO_2 (*malat dezhidrojenaz*) oluşturur:

(*) Sorgum ya da süpürgedarısı da denir (ç.n.).



Açığa çıkan CO_2, *ribüloz difosfat* ile tepkir ve böylece C_3 tipi tepkimeler zincirine girer. *Pirüvik asit fosforlandıktan sonra* yeni bir CO_2 molekülü alıcısı olarak görev yapacaktır.

C_4'lü bitkiler C_3'lü bitkilerden çok daha üst düzeyde bir fotosentez verimine sahiptir.

Gerçekten de *ribüloz difosfat karboksilaz oksijenaz* ikili bir etkinlik gösterir ve ribüloz difosfata *oksijen katılması* için gereken tepkimeyi katalizler. *Oksijenaz* etkinliği, tutulan karbonun yitirilmesine yolaçarak CO_2 ile H_2O'ya yıkılmasına (*foto-solunum*) ve sonuçta birer molekül *3-fosfo gliserik asit* ile *3-fosfo glikolik asit* oluşumuna neden olur. Bu, C_3'lü bitkilerde aynı zamanda gerçekleştirilen *karboksillenme* ve *yükseltgenme*dir.

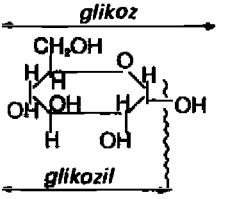
C_4'lü bitkilerde tutulmuş CO_2, *fosfo enol-pirüvat karboksilaz* tarafından *ribüloz difosfat karboksilaz oksijenazın*, oksijenaz etkinliğinin azaldığı hücrelere aktarılır ve serbest bırakılır; genelde *foto-soluma ile karbon kaybı yok*tur.

Ozitlerin ve *polyozitlerin biyosentezi*, basit şeker birimleri arasında ozit bağları kurulmasını gerektirir. Çünkü bu bağlar, ancak her bir bağ için en azından 4.000 kaloriye eşit bir *enerji* katkısıyla kurulabilir. Sözkonusu gerekliliği *transozilasyon* mekanizması sağlar (*transoglikolizazlar* tarafından katalizlenen).

Sözgelimi *sakkaroz*un biyosentezinde, *üridin trifosforik* asit (UTP) ile *glikoz-1 fosforik ester*'i tepkir (enerji, *6-fosforik ester*in izomerleşmesinden doğar) ve sonuçta *üridin difosfat glikoz* (UDPG) oluşur:

$$UTP + G\text{-}1\,P \xrightleftharpoons[\text{(Pirofosforilaz)}]{} UDPG + \text{Pirofosfat}$$

Glikoz molekülü, UDPG'ye *yüksek aktarım potansiyeli* veren enerji bakımından zengin bir bağ bulunması nedeniyle, bu biçimde etkin hale geçirilir. Sonra *sakkaroz sintetaz, glikozil* biriminin aktarım tepkimesini



bir früktoz molekülü (ya da früktoz 6-fosfat) üstüne katalizler:

$$UDPG + \text{Früktoz} \xrightleftharpoons[\text{(Sakkaroz sintetaz)}]{} UDP + \text{Sakkaroz}$$

(İlk UTP molekülü, ATP ve UDP arasındaki aktarım tepkimesi ile yeniden oluşturulacaktır.)

Polyozitler (*nişasta, glikojen, selüloz*), benzer mekanizmalarca glikozil birimlerinin (nişasta ve glikojen için α, selüloz için β biçimi), basit bir şeker molekülüne ya da uzama sırasında bir zincire teker teker eklenmesiyle oluşturulur. Bu zincirlerin kurulması, görüldüğü gibi çok miktarda enerji ister.

Heterotrof organizmalar, yeşil bitkilerden doğrudan ya da dolaylı yolla besleyici değere sahip glüsitler alırlar. Glüsitlerden, kısmi ya da tümden yıkımda bir *enerji* kaynağı olarak yararlanırlar ve bunları, özgül bileşkenlerinin sentezi için kullanır-

lar. Glikozu ya da sindirimi glikoz açığa çıkaran nişastayı yutan hayvan, bunu doğrudan kullanır ve glikojen biçiminde depolar. Karaciğerin gerçekleştirdiği bu yoğunlaşma tepkimesi, *fosforlaştırma* tepkimesinden önce yapılır; glikozil birimlerinin aktarımı için UDPG devreye sokulur.

Karaciğer glikojeni, glikoz dışındaki şekerlerle (*früktoz, galaktoz*) de sentezleyebilir.

Son olarak yeşil bitkilerin üstün derecede ototrof canlılar olduklarını ve gerektiğinde şekerleri kullanabildiklerini vurgulayalım. Bir bakıma heterotrof sayılırlar ve klorofilli ya da klorofilsiz asalaklar gibi davranabilirler.

II. Gliseritlerin Doğal Sentezi

Bitkilerdeki yağlı maddeler, *her zaman glüsidik bir köken*den gelirler. Bu nedenle dönüşümleri, karbona göre büyük miktarda oksijen kaybına yolaçar.

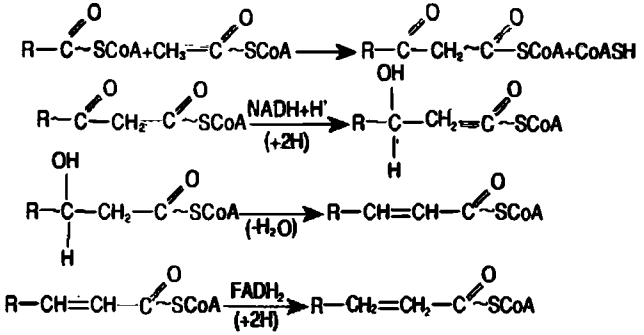
Bu, *gliserol* kısmını gördüğümüz bir *gliserit*te küçük miktardadır; *yağ asitleri* kısmında ise önemli miktarlara yükselir.

Gliserol molekülü, glikolizin aracı ürünü *fosfogliserol* durumunun, NADH yoluyla *fosfogliseraldehide* indirgenmesi sonucunda ortaya çıkar. Gliserol, alkolik mayalanma sırasında da az miktarda oluşur ve tepkime, *mayalanma gliserolü* elde etmek için yapay olarak yolundan saptırılabilir.

Glüsitlerden itibaren *yağ asitlerinin biyosentezi*, ancak, bunların yıkımının, iki atomlu karbon molekülü evresine kadar gittiği zaman (*asetil-koenzim A*) başlar. Bu C_2'li birimlerden iki ya da daha fazlasının yoğunlaşması, C_4, C_6, Cs vb moleküllü yağ asitlerinin oluşumuyla sonuçlanır.

Pirüvik asitten doğan asetil-koenzim A'dan baş-

layan biyosentezin gidişi, *ilk şekle göre*, tepkimeleri *tersinir* olan *B*-oksidasyonun tersine gelişir. Zincir uzatması şöyle gerçekleşir:

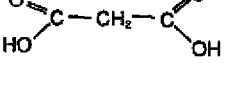


Yeni yağ asidinden itibaren (koenzim A ile yoğunlaştırılmış) aynı tepkimelerin tekrarı giderek daha uzun moleküllerin oluşumuna yolaçar.

Ayrıca bu mekanizma alkol-asitleri ile doymamış asitlerin varlığını kolayca açıklar. Çift sayıda karbon atomlu asitlerin baskınlığı, sözkonusu mekanizmaya uygunluk gösterir.

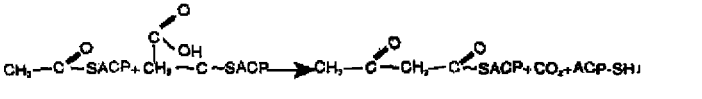
Glüsitlerden doğan *pirüvik asit*, ilk maddeyi oluşturur. Çünkü anılan asit, yükseltgen karboksilsizleşme ile kolayca *asetil-koenzim A*'ya dönüşür (bak. Glüsitlerin yıkımı).

Yağ asitlerinin *çok önemli* bir başka biyosentez şekli daha vardır. Bu ikinci yola göre, yağ asitleri *zincirlerinin uzaması*, oldukça karmaşık bir *sitoplazmik sistem* ve *asetik asidin karboksillenmesi* ile biçimlenen bir *haberci, malonik* asit (C_3'lü), görevi yapar.



Asetik birime eklenen CO_2 ise, bir sonraki tepkime sırasında açığa çıkarılacak ve yalnızca, malonik asidin CH_2 *kümelenmesini etkinleştirmeye* yarayacaktır.

Yağ asidinin, sözgelimi asetik asidin başlangıç molekülü, burada özel bir proteince (ACP=*asil taşıyıcı protein*) taşınan -SH'lı kümelenmeyle zenginleşmiş bir bağ tarafından etkin hale getirilmiştir. Bu durumda *karboksillenme malonil-ACP* üretir. İlk asetik birime iki C atomu eklenmesi şu tepkimeyle sonuçlanır:



Böylece ACP'ye bağlı *dört C atomlu* bir ketonik asit ortaya çıkar. Bu asit, β-oksidasyondaki yolun *tersine* olarak, *önce indirgenmeye, sonra hidratsızlaştırılmaya*, ardından da *ikinci* bir *indirgenmeye* uğrar.

Dört karbon atomlu yağ asidi bu işlemler sonucunda türer. Aynı mekanizmanın tekrarı, C_4'lü bileşiğin malonil-ACP ile yoğunlaşmasını sağlayarak, karbonlu iki birim içeren bu zinciri uzatacaktır. Sözkonusu sentez yolu *yalnızca malonik asidin katılımı* ile değil, *indirgen koenzimin yapısı* ile de birinciden farklıdır. *Buradaki indirgen* NADH ve FADH yerine NADPH'dır.[31]

Gliseritler oluşturmak üzere yağ asitleri tarafından *gliserolün esterleştirilmesi, asil-CoA (asil transferazlar)* ile fosfo dihidroksiasetondan doğan

[31] $NADP^+$'nın yeniden oluşturulması gerekir. Bu, başlıca *pentozlar* denilen ve NADPH (*glikoz-6 fosfat dezhidrojenaz, fosfoglükonik dezhidrojenaz*) üreten bir glikoz yıkma yolu ile gerçekleşir.

*fosfogliserol*ün tepkimesi ile gerçekleşir.

Bir *fosfatidik asit* oluşur; sonra *fosforik* küme hidrolizle *ayrılır* ve *asil aktarımı (asil transferaz)* yoluyla bir *yağ asidi* tarafından doldurulur.

*Hayvanlar*da gliseritler, bir yandan sindirim yolunda hidrolizlenerek değiştirilen besinsel gliseritlerin; öte yandan da koenzim A'yı (ve ATP) da kapsayan mekanizmaya göre, yağ asidi zincirlerine çevrilen glüsidik metabolizma ürünlerinin kaynağı olma özelliğini taşırlar.

III. Aminoasitlerin ve Protitlerin Biyojenezi

Azot, doğada farklı mineral biçimlerinde kendini gösterir: atmosferdeki *serbest azot*, başlıca toprakta çok az miktarda amonyak azotu, nitratlı, özellikle nitrik azot.

Karbona göre olduğu gibi, azota göre de canlılar iki grupta toplanabilirler: *mineral* azotu doğrudan kullanabilenler (genellikle bitkiler); yaklaşık, yalnızca azotlu *organik* bileşiklere ve özellikle de aminoasitlere gereksinim duyanlar (hayvanlar).

Serbest azot, ancak çok az sayıda canlı türü tarafından doğrudan kullanılır. "Azot tutucu" toprak bakterileri bunlar arasında yer alırlar: anaeroblar (*Clostridium...*) ve aeroblar (*Azotobacter*), mavi algler (*Anabaena*) ve *Nostoc*'lar.

Rhizobium hem bağımsız yaşayan hem de baklagiller (yonca, bezelye, soya) ile *ortakyaşam* sürdüren bir bakteri cinsidir. Bu bitkilerin köklerinde asalak olarak bulunur ve azotlu organik bileşiklerin birikme yeri niteliğindeki *yumru* oluşumlarına yolaçar. Atmosfer azotu tutarak, bitki dokularını azotlu organik bileşiklerle besler ve bitkiden glüsidik besinlerini karşılar. Bu, „*baklagiller*in serbest

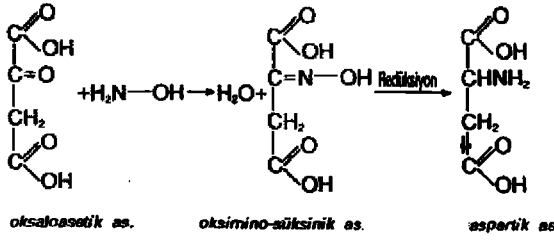
azotu[32] dolaylı kullanma yoludur.

Azotobacter ve *Rhizobium* gibi serbest azot tutan bakterilerin, sentezlerde kullanılabilen özel bir enzim sistemleri vardır: *nitrojenaz*. Bunun sayesinde azot, hidrojen ve pirüvik asitten kaynaklanan elektronlarla, aşama aşama NH_3 durumuna kadar indirgenir. Enzim, biri *demirli*, öteki *demirli* ve *molibdenli* olmak üzere iki *metaloproteinden* oluşur. *Ferrodoksin*, indirgeme tepkimelerine elektron taşıyıcı olarak girer. Aşamalar şöyledir:

$$N{\equiv}N \xrightarrow[\text{Enerji}]{\text{Enzim}} \underset{\text{diimit}}{HN{=}NH} \xrightarrow[\text{Enerji}]{\text{Enzim}} \underset{\text{hidrazin}}{H_2N{-}NH_2} \xrightarrow[\text{Enerji}]{\text{Enzim}} 2NH_3$$

Amonyağın, havadaki azottan başlayarak süren biyolojik sentezi için, büyük miktarda *enerji harcaması* yapılır; bu, *NH_3 molekülünce* oluşturulan *ATP bakımından zengin, altı bağa* karşılık gelen bir miktardır.

Rhizobium leguminosarum'un kök hücreleriyle sürdürdüğü ortakyaşam, özellikle *oksimino-süksinik* asit üretimine yolaçar. Bu, *hidroksilamin* ve *oksaloasetik* asitten (köklerin glüsidik metabolizma ürünü) başlayarak oluşturulabilir. Oksimino-süksi-



oksaloasetik as. *oksimino-süksinik as.* *aspartik as.*

[32] Simbiyotik azot tutma yeteneğine sahip başka bitki türleri de vardır. *Kızılağaç* gibi.

nik asit, indirgenmeyle aspartik asit verir.

Molekül azotun tümüyle hidroksilamine, NH_2OH, çevrilmesi mümkündür; ancak ara aşamaları henüz kuramsal nitelik taşımaktadır.

$$N_2 \Rightarrow ? \Rightarrow ? \Rightarrow NH_2OH$$

Bitkilere en yararlı azotlu besin *amonyak*tır; özümlenme yolları aşağıda belirtilmiştir. Ayrıca *doğal koşullarda*, toprakta üstün *seyrelme* ve hızlı *nitrifikasyon* gücü nedeniyle, *nitrik iyon* şekli bitkiler için başlıca, hayvanlar için ise dolaylı azot kaynağıdır.

Biyolojik bileşiklerde azot, özellikle aminli ya da amidli kümelenmeler durumunda bulunduğu için, azotlu maddelerin biyosentezi zorunlu olarak *indirgeme* tepkimeleri içerir.

İlk aşama, topraktan çekilen *nitratların indirgenmesi*dir, sonra bunlar nitritlere çevrilirler. Burada, FAD'lı bir flavoprotein ve molibden içeren bir sistem tarafından katalizlenen enzimsel bir tepkime (*nitrat redüktaz*) sözkonusudur. Tepkimedeki indirgen bileşik NADPH'dır.[33] Nitrat indirgendiğinde bu yükseltgenir:

$$NADPH + H^+ + NO_3H \xrightarrow[Mo]{FAD} NADP^+ + H_2O + NO_2H$$

İndirgenme sürer veya NH_2OH ya da NH_3 ile sonuçlanır.

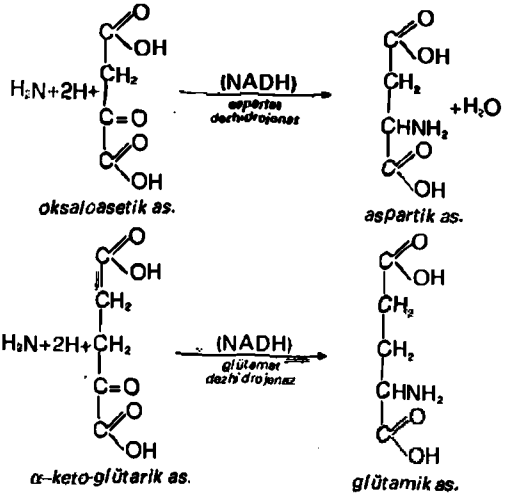
Doğal koşullarda, toprakta *özümlenebilir molibden* bulunması, köklerce soğurulan nitratların indirgenme sisteminin kurulabilmesi için büyük önem taşır.

NH_3'ten itibaren amin asitlerinin biyosentez me-

[33] Ya da NADH.

kanizmalarının incelenmesi, izotoplarla işaretlenen moleküllerin kullanımı ile yapılabildi. Alçak bitkilerde (mantarlar, mayalar) elde edilen sonuçlar klorofilli bitkiler için de geçerlik kazandı.

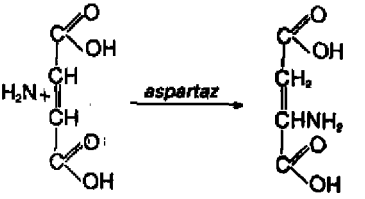
Amin asitlerinin doğal sentezi, temelde amonyağın, glüsit metabolizması ve piridoksal fosfatça katalizlenen enzimsel transaminasyon tepkimeleri tarafından üretilen organik asitlerle giriştiği yoğunlaşma tepkimelerini kapsar. Bu, gerektiğinde nitratlarca oluşturulan indirgeme yoluyla da yapılır. Amonyak azotu kaynaklarının yeterince sağlandığı ölçüde, ketonik asit kaynaklarının bu etkinliğe bağlı bulunması nedeniyle, fotosentez etkinliğinin sınırlandırıcı bir etmen olduğu düşünülür.



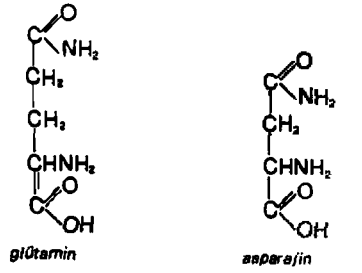
Glüsidik metabolizma ürünleri olan iki *ketonik* diasit, *oksaloasetik* ve α-*keto-glütarik* asitler, amonyak azotu *alıcısı* olarak temel bir rol üstlenirler. Özgül dezhidrojenazlarca ve organik asitlere mineral azot katma yoluyla katalizlenen tepkimeler, top-

lam olarak yükseltgenmeyle *aminsizleşmenin tersi* şeklinde görülür.

Aspartik asit, *fümarik* asitten -trikarboksilik çevrim asitlerinden biri- itibaren kolayca oluşturulabilir. Bu, *aspartaz*ın katalitik etkisi altında NH_3 ile yoğunlaşır:



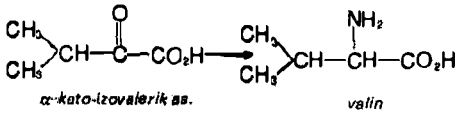
Böylece, monoaminli iki diasit, *aspartik* asit ve *glütamik* asit, gereğince düzenlenmiş yollara göre kolayca sentezlenmiş olurlar. Geçici bir süre için ek miktarda amonyağın yedeğe alındığı aşama, bir NH_3 molekülünün, sözkonusu amin asitlerinden herhangi biriyle yoğunlaşmasına (*asparajinaz ve glütaminaz*) dayanır. Sonuç ürün *amidler*dir.



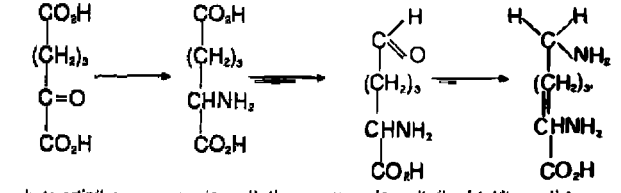
Aspartik ve *glütamik* asitler iki ana madde gibi görünmektedirler. Öteki aminoasitler, *transaminasyon* ile bunlardan itibaren, yani amin işlevinin α-ketonik asidin keton işlevi ile yer değiştirmesi sonucunda oluşurlar. (Değiş tokuş özgül enzimlerce, *aminoferazlar* ya da *transaminazlar* tarafından ka-

talizlenir.)

Alanin, pirüvik asitten; valin α-keto-izovalerik asitten;



lösin ise α-ketokaproik asitten başlayarak biyosentezlenebilir. Lizin isė α-ketoadipik[34] asitten itibaren oluşturulabilir. Transaminasyona uğradıktan sonra, yeni bir transaminasyonla bir indirgenme tepkimesine girer:



Hayvanlar, amin asitlerinden türemiş aromatik çekirdekten (*fenilalanin, triptofan*) sentez yapamazlar. Oysa bu sentez, beslenmeleri için zorunludur. Bitkiler ve mikroorganizmalar, bu molekülleri *pirüvik asit* ve *eritroz*dan hareketle *şikimik* asitten geçerek yaparlar. *Fenilalanin*in ara öncüsü, transaminasyona uğrayan *fenilpirüvik* asittir; *triptofan, indol* ve *serin* tarafından oluşturulur (şematik olarak).

Besinlerinin tipi ne olursa olsun hayvanlar, proteitleri tümüyle hazır yutarlar. Sindirim enzimleri, bunları aşama aşama önce *polipeptitler*e, sonra

[34] *Neurospora* ve *maya* gibi organizmalarda görülen bir durumdur.

*aminoasitler*e parçalarlar. Düzenli bir günlük beslenmede, her zaman yeterli miktarda ve nitelikte aminoasit bulunur. *Çok az miktarda azot* da gereklidir. Ancak *bazı aminoasitler* kesinlikle *gerekli*dir (insanlar için yedi tane). Kuşkusuz hayvansal organizma belirli sayıda aminoasidi ketonik asitten başlayarak transaminasyon yolu ile sentezleyebilir. Ama sentez olanakları sınırlıdır.

Her organizma, her hücre kullanımına sunulan maddelerden *kendine özgü* proteitleri yapar ya da bunları kendi kendine sentezler. Genel'de *proteinlerin* ve proteitlerin *biyosentezi*; canlıların ayırtedici bileşkenleri kadar, bu doğanın özgül *enzimleri* bakımından da biyokimyanın en karmaşık, belki de en temel sorunlarından biridir.

Biyokimyanın başlıca amacı, çeşitli doğal aminoasitlerin *özgül proteinlerini niteleyen uzun zincirlerin belirli bir sırada* yoğunlaşmasını ve *türeyiş*ini açıklamaktır. Bu, hücrelerin *genler*inden aktarılan kalıtsal bir özelliktir. *Genetik bilgi*, DNA'yı oluşturan *nükleotitler dizini*ne ya da her *triple*'si ya da üçüz dizilişi özel bir aminoasit şifresi veren azotlu bazlarının dizinine yazılmıştır.

DNA tarafından taşınan *bilgi*, her bir proteini sentezlenmiş olan bazı özgül *ribonükleik asit* bazlarının dizinine *kaydedilmiş*tir (*haberci* RNA*). Bir *haberci* RNA'nın bazlarının dizinine, bir DNA bölütününkinin *tümleyici*si denir.[35] *Haberci* RNA'lar *kayıtlı* bilgiyi, sitoplazmadan, kendilerine dayanıklık yapan ve polipeptit zincirlerinin hücresel oluşum

(*) Bilimsel literatürde mRNA kısaltması ile geçen *messager* ya da *messenger* RNA (ç.n.).

[35] Tümleyicilik, bazıpürin ve pirimidin bazlarının, hidrojen bağlar tarafından ikişer ikişer yerleştirilebilmesinden kaynaklanır.

yerleri olan *ribozomlara* kadar taşırlar.

Gerçek anlamda bir protein sentezi için, önce her bir aminoasidin *etkinleştirilmesi* gerekir. Bu işlem, ATP içeren özgül bir enzimce gerçekleştirilir ve bir *aminoasil-AMP* oluşumuyla sonuçlanır.

Son olarak aminoasit, seçmeli olarak çözünür bir RNA'nın, *taşıyıcı* RNA'nın sorumluluğuna alınır. Taşıyıcı RNA'ların* tümü, görece düşük bir molekül ağırlığına sahiptir (# 28.000) ve zincirleri, *aminoasil-AMP* tarafından bırakılan aminoasit ile ester tipinde bir bileşme oluşturan bir *adenilik nükleotit* ile sonuçlanır.

Bu, çeşitli taşıyıcı RNA'ların, bazlarından üçünün bir *triple*'si ile bir haberci RNA *triple*'sine uyma yoluyla, *ribozomlar* üstündeki yerlerini bulduklarını gösterir (*kodon* ve *antikodon*). Aminoasitler, birbirine eklenen polipeptit zincirlerinin özgül sıralanışına göre, kendi kendilerine düzenlenirler; enzimsel bakımdan *polipeptit bağları ribozom* tarafından oluşturulur.

Sözkonusu mekanizmalar, doğal yoldan gerçekleşen çok sayıda enzimsel tepkimeyi ve *enerji aktarımlarını* içerirler.

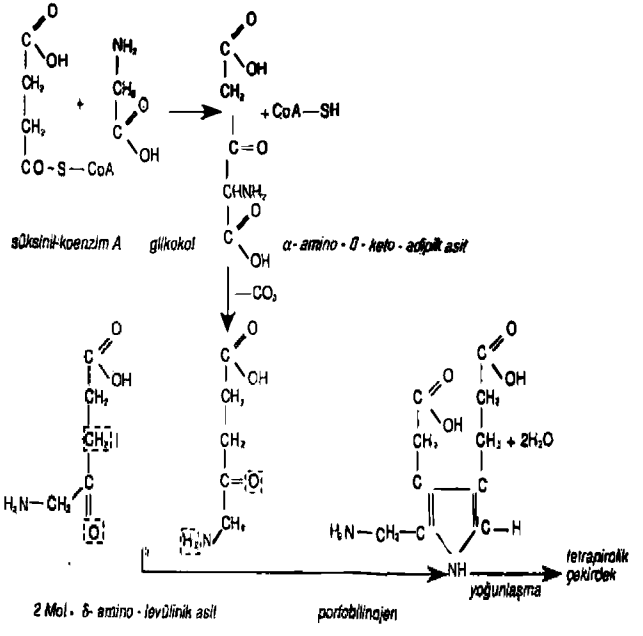
Heteroproteitlerin üretimine gelince, bu, ayrıca *prostetik kümelenmesinin* sentezini de kapsar. *Katalazlar* ile *peroksidazların*, *sitokromların* ve *hemoglobinin* etkin çekirdeğinin biyosentezi sırasında; önce *protoporfirin* oluşumuna, sonra da merkez demir atomuna girmeye kadar bozunma tepkimeleri yapılabilir. *Protoporfirinin* sentezi, oldukça basit bir dizi enzimsel tepkime tarafından gerçekleştirilebilir. Başlangıçta, bir *sintetaz* ve *piridoksal fosfatı* karşısında *süksinil-koenzim A* ve *glisin* yoğunlaşa-

(*) Bilimsel literatürde tRNA kısaltması ile geçen *transfer* RNA (ç.n.).

rak *α-amino-β-ketoadipik* asit verirler. Sonra bu, karboksilsizleşmeye uğrar ve *α-amino-levülinik* asit oluşturur. Anılan asidin iki molekülü, iki molekül su yoketme ile yoğunlaşarak *pirolden türeyen* çokhalkalı bir bileşik ortaya koyar: *porfobilinojen*. Dört molekül porfobilinojenin dört amonyak molekülü elemesinden *tetrapirolik çekirdek* doğar. Hidrojensizleştirme ve karboksilsizleştirme tepkimeleri, *porfirin* çekirdeğinin oluşumuyla sonuçlanır (*hem* çekirdeği).

Klorofil çekirdeğinin biyosentezi de büyük ölçüde benzer bir yol izler. Bu sentezin ilk aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

Öteki "biyojen" kimyasal elementler de, özellik-



süksinil-koenzim A *glikokol* *α-amino-β-keto-adipik asit*

2 Mol. δ-amino-levülinik asit *porfobilinojen*

le *fosfor* ve *kükürt*, inorganik bileşimlerinden organik moleküllere girmelerine kadar izlenmelidir.

Ayrıca biyosentezin, en az proteitler, glüsitler ve lipitlerden oluşan temel üçlüsü kadar önem taşıyan çok sayıda doğal organik öğesinin nasıl gerçekleştiğini de incelemek gerekir. Sözgelimi *pürin* ve *pirimidin bazları* ile bunlardan türeyen *nükleotitler*, *steroller* ve *steroitler*, *hidrokarbürler* ve *terpenler*, *fenoller* ve *taninler* vb gibi. Ancak bu gelişmelerin incelenmesi, dizimizin çerçevesini aşmaktadır.

KÜÇÜKSÖZLÜK

adipoz doku- Bir tür bağdokusu. Dokuyu oluşturan her hücrede büyük bir yağ kofulu bulunur; geri kalan kısmı ise lifli, protoplazmik ince bir iskelet içerir.

ADP- Adenozin-difosforik asit

aerob- Yalnızca oksijen ya da hava bulunan ortamda yaşayan mikroorganizma.

aerobioz- Aerob organizmaların yaşam biçimi.

aglikon- Bir glikozitin hidroliz sonucunda verdiği karbonhidrat dışı madde.

ajan- Bir maddeyi etkileyerek, onda değişikliğe neden olan madde ya da güç; araç.

aktarım- Enerji ya da maddenin bir yerden başka yere taşınması; transfer.

amfoter- Duruma göre baz ya da asit anhidriti rolünü oynayan bir oksit.

amin- Amonyaktaki (NH_3) hidrojenlerin yerine bir ya da birçok alkol kökü geçmesi sonucunda ortaya çıkan organik bileşik.

aminoasit- NH_2-R-COOH genel formülü ile gösterilen ($-NH_2$ amin grubunu, R alifatik kökü, -COOH karboksil grubunu belirtir) organik bileşik grubu.

aminsizleşme- Aminini yitirme; dezaminasyon.

AMP- Adenozin-monofosforik asit ya da adenilik asit.

anaerob- Oksijensiz ya da hava bulunmayan ortamda yaşayan mikroorganizma ya da doku.

antibiyotik- Bakteri üremesini engelleyici cisimler (ya da ilaçlar).

antihemorajik vitamin- Kanama önleyici K vitamini; filokinon; protrombin faktörü.

antikodon- Taşıyıcı RNA'larda, haberci RNA'larda yer alan kodonlardaki baz eşlemesine uyan üçlü baz dizileri.

antikseroftalmik vitamin- Gözün konjonktiva tabakasındaki kuruma ile beliren kseroftalmi hasatlığını önleyici A vitamini.

antinevritik vitamin- Sinir iltihabını önleyici B_1 vitamini.

antipellagröz vitamin- Eksikliği, bir deri hastalığı olan pellegraya yolaçan PP vitamini; B_3 vitamini; niasin; nikotinamid; nikotinik asit.

anti-pernisyöz anemi faktörü- Pernisyöz anemi denilen ağır bir kansızlık türünü önleyici B_{12} vitamini; L_2 vitamini; kobalamin.

antiraşitik vitamin- Raşitizm denilen ve çocuklarda görülen bir tür kemik hastalığını önleyici D vitamini.

antiskorbütik vitamin- Skorbüt denilen ve güçsüzlük, kansızlık, dişeti şişmesiyle kanama, deride lekelerle beliren bir hastalığı önleyici C vitamini.

antivitamin- Bir vitaminin etkisini gideren madde.

apoenzim- Bazı enzimlerin ayrılabilir protein kısmı.

Arg- arjinin.

aromatik- Kokulu ya da halkalı.

arteriol- Küçük atardamar.

asetilleme- Organik bir bileşime asetil kökünün katılması; asetilasyon

asıltı- İrilikleri genellikle 1-100 µm, en çok 500 µm olan tanecikler ve bunların içinde bulundukları heterojen ortam.

asil- Bir organik asitten hidroksil grubunun ayrılması ile ortaya çıkan kök; açil.

Asn- Asparajin.

ATP- Adenozin-trifosforik asit.

ayıraç- Maddelerin kimyasal çözümlemeleri ve belirlenmeleri için kullanılan çöktürücü, çözeltici vb gibi madde; reaktif.

bağ- Atomların ya da iyonların, bağımsız moleküller oluşturmasını sağlayan kuvvetlerden doğan etkileşim türü.

baskılama- Herhangi bir olayın etkisini azaltma; inhibisyon.

başkalaşım- Kurbağa, çekirge, kelebek vb gibi bazı hayvanların gerçek boyut ve özelliklerini kazanıncaya dek geçirdikleri değişim süreci; metamorfoz.

bileşik- Kimyasal tepkimeler sonucu iki ya da daha çok öğeden oluşan ve bunlardan bağımsız fiziksel, kimyasal nitelikler gösteren madde.

bileşim- Bir kimyasal bileşiği oluşturan öğelerin ya da daha yalın bileşiklerin sayısal değeri; kompozisyon.

bileşken- Bir sistemi oluşturan maddelerin her biri.

bileşme- iki ya da daha çok sayıda atom, molekül ya da maddenin kimyasal tepkimeyle bir araya gelerek yeni bir madde oluşturması.

birleşme- Atom, molekül ya da bazı maddelerin, görece güçsüz kimyasal bağlar ile geçici olarak daha karmaşık atom, molekül ya da maddeler oluşturması.

bozunma- Bir maddenin, daha basit yapıdaki bileşenlere tek yönlü ayrılması; dekompozisyon.

böbreküstü bezi- Kana, öteki organların çalışmalarını düzenleyici önemli hormonlar salgılayan bir içsalgı bezi; adrenal.

cis-trans izomeri- Yapısında çift bağ bulunduran bileşiklerde sübstitüentlerin her ikisinin de çift bağın aynı tarafında olmasına *cis*-izomeri; birinin altta, diğerinin üstte bulunmasına *trans*-izomeri denir. Polimerlerde tekrarlayan birimlerde cis ve trans izomeri bir arada bulunduğunda ise *cis-trans* izomeri diye adlandırılır.

CoA ya da Coa-SH- Koenzim A

Cys- Sistein.

çökeltme, çöktürme- Kimyasal tepkimeler ya da fiziksel işlemelerle belirli bileşikleri, maddeleri çöktürme olayı.

çözelti- Çözünen ve çözücüden oluşan homojen karışım; solüsyon.

çözücü- Genellikle katı bir maddeyi, kendi kimyasal yapısında değişme olmaksızın çözen sıvı; solvent.

çürüme- Organik maddelerin, çoğunlukla aerob bakterilerce sürekli olarak daha basit parçalara bölünmesi.

D dizisi ve L dizisi- Dekstrojir ve levojir olarak da anılır. Stereokimyada, simetri ekseninin sağında ve solunda (ayna simetrisi) yer alan izomerleri aynı, yapıları farklı iki madde; dekstrojir (dekstro, +) polarlanmış ışığı saat yönünde (sağa), levojir (levo, -) ise saat yönü-

nün tersine kırar.

dismutasyon- Ters yönde mutasyon.

dissimetrik- Bileşiğin kusurlu simetri oluşturması (burada).

distazik sistem- Enzim sistemi.

dizin- Sıra; sekans.

DNA- Dezoksiribonükleik asit.

elektroforez-Bir çözelti ya da asılı içindeki yüklü parçacıkların elektrik alanı uygulanarak ayrılması işlemi.

enzim- Bir kimyasal tepkimeyi hızlandıran, çözünür organik madde; diastaz.

esterleşme- Bir asidin ester haline dönüşmesi; esterifikasyon.

eterleşme-Alkolün eter haline dönüşmesi; eterifikasyon.

FAD- Flavin-adenin-dinükleotit.

fibril- Lifli.

fibröz protein- Lifli protein.

FMN- Flavin-mononükleotit.

fosforlaş(tır)ma- Kimyasal bir bileşime fosfor katılması; fosforilasyon.

fosforoliz- Glikojenin fosforik asitle girdiği enzimsel parçalanma tepkimesi.

foton- Belirli bir dalga boyundaki olası en küçük ışık paketi; ışık kuantumu

G- Glikoz.

gangliyon- Sinir düğümü.

gen- Kromozomlarda bulunan ve kalıtsal özelliği aktaran faktör.

G.L.- Gradyan/litre.

glisemi- Kandaki şeker miktarı.

Gly- Glisin.

G_1P- Glikoz-1 fosforik esteri ya da glikoz-1 fosfat.

G_6P- Glikoz-6 fosforik esteri ya da glikoz-6 fosfat.

hemoliz- Alyuvarlardaki hemoglobinin intoksikasyon ya da bakteri toksinleri ile dışarı çıkması.

heterosikl- Yapısında, C ve H dışında N, O, S gibi heteroatom bulunduran siklik bileşik. Ör.: Piridin.

hidratla(n)ma- Su tutma; hidratasyon

hidrojensizleş(tir)me- Dezhidrojenasyon; bak. yükseltgenme.

hidroksille(n)me- Bir bileşime hidroksil, -OH, kökünün katılması; hidroksilasyon.

hidroliz- Bazı organik bileşiklerin suyun etkisiyle bozunmaları.

His- Histidin.

Ile- İzolösin.

indirge(n)me- Bir öğe ya da iyonun elektron alma yoluyla daha düşük bir değerliğe inmesi; redüksiyon.

indirgen- Kendisi kolayca yükseltgenebilirken karşısındaki kimyasal maddeyi indirgeyebilen madde.

işlev kümesi- Organik bileşiklerin kimyasal tepkimelerinde etkilenen ya da etkileyen kümeler. İşlev kümesi, kimyasal tepkimenin üstünde oluştuğu kümedir. Alkollerin işlev kümesinin -OH kümesi olması gibi.

izomer- Molekül formülleri ile molekül ağırlıkları aynı, yapısal formülleri farklı bileşikler.

izomerizasyon- Bileşimleri aynı olan moleküllerden, uzayda ayrı dizilenleri oluşturma.

izotop- Atom sayıları eş, çekirdek kütleleri değişik çekirdeklerden her biri.

kalori- bak. kilokalori.

kalsemi- Kandaki kalsiyum düzeyi.

karboksille(n)me- Bir bileşime karboksil, -COOH, kökünün katılması; karboksilasyon.

katalizör- Kendisi değişmeden ya da çok az değişerek, bir tepkimenin hızını değiştiren ve olası tepkimelerden birisinin seçmeli olarak daha hızlı oluşmasını sağlayan madde.

kilokalori- 1 kg saf suyun sıcaklığını 1°C yükseltmek için gereken enerji miktarı; ısı enerjisi birimi. Kısaca kalori denir, kal. ya da cal. kısaltmasıyla gösterilir.

kodon- Molekül düzeyinde tek bir aminoasidin şifrelenmesindeki bilgiyi içeren ve 3 nükleotitten oluşmuş kalıtsal birim.

koenzim- Bir apoenzim ile birleştiği zaman gerçek enzim kimliğini kazanan organik molekül.

konfigürasyon- Bir kimyasal bileşiğin atom, iyon ya da moleküllerinin uzayda birbirlerine göre düzenlenmiş biçimi.

ko-faktör- Yardımcı etmen.

ko-substrat- Yardımcı substrat.

kroman- Benzopiran. Fizyolojik yönden en yakın türevi E vitaminidir.

kromatografi- Başlangıçta bir karışım olarak bulunan kimyasal bileşikleri iki heterojen fazda seçici dağılım işlemiyle birbirinden ayırma yöntemi.

kromproteit-Renkli bir prostetik küme içeren proteit.

küresel protein-Globül protein.

L dizisi- Bak. dekstrojir ve levojir.

lakton- Laktik asitten türeyen bir sıvı.

levojir- Bak. dekstrojir ve levojir.

lignin- Odun özü.

Lys-Lisin.

Met- Metionin.

metabolizma- Canlı organizmanın yaşamını sürdürmesi için gerekli enerjiyi sağlayan, bunu kullanan ve depolayan biyokimyasal süreçlerin tümü.

metilleme- Organik bir bileşime metil kökünün katılması; metilasyon.

mezofil- Bitkide alt ve üst epidermis arasındaki parenkima dokusu.

miselyum- Mantarların lifsi kısmı.

mitokondri- Hücresel etkinlikler için enerji sağlamada rol oynayan sitoplazma organeli.

mutasyon- Genlerdeki ya da kromozomlardaki farklılaşmaların yol açtığı kalıtsal değişim.

mutlak alkol- % 99,9 saflığındaki alkol.

NAD ve NADH- Kodehidraz I ya da nikotinamidli ve adeninli dinükleotit.

NADP ve NADPH- Kodehidraz II ya da ek bir fosforik asit molekülü içeren NAD.

nitratasyon- Toprakta, azotlu asitlerin azot bakterisi tarafından nitrik aside ya da nitritlerin nitratlara dönüştürülmesi.

nitrifikasyon- Amonyak ve nitratlı tuzlarının, nitrozasyon ve nitratasyon evrelerinden geçerek değişime uğraması.

nitrozasyon- Toprakta, amonyağın ya da amonyak tuzlarının azotlu asitlere dönüştürülmesi.

nöron- Sinir hücresi.

nükleoproteit-Prostetik grubu nükleik asitlerce oluşturulan protein sınıfı.

oligoelement- Canlı organizmaların işlevleri için küçük miktarlarda olsa da alınması gereken vitaminler, metaller gibi maddeler.

optik izomer- Ayrı ayrı optik etkinlik gösteren kimi izomer maddeler.

organel- Hücreyi oluşturan öğelerden her biri.

ortakyaşam- Farklı türdeki organizmaların çeşitli biçimlerdeki yakın ve sürekli ortaklığı; simbiyoz.

ozmotik basınç- Sıvı bir maddenin yarı geçirgen bir zardan kendiliğinden geçişi sırasında karşılaştığı basınç.

östrus çevrimi- Erişkin memelilerin dişi üreme sisteminde, dişilik hormonlarının düzeyindeki değişimlere yanıt olarak ortaya çıkan dönemsel değişiklikler dizisi.

pH- Sulu bir çözeltinin pH'sı, çözeltinin asitliğini ya da bazlığını, varolan hidrojen (H^+) ve hidroksit (OH^-) iyonlarının görece miktarları cinsinden belirten bir değerdir. pH değeri, bir ölçekte 0 (güçlü asidik) ile 14 (güçlü bazik) arasında olabilir; 7 değeri nötrlüğü belirtir.

pigment- Hayvan ya da bitki dokularına renk veren madde; boyarmadde.

plazma- Kanın sıvı kısmı.

Pro- Prolin.

prostetik kümelenme- Bir heteroproteit molekülünün etkin kök içeren kısmı.

proteit- Prostetik kümelenme içeren karmaşık proteinler.

protit- Azotlu organik bileşiklerin genel adı.

protrombin- Kanda bulunan ve pıhtılaşmaya yardımcı bir madde.

provitamin- Kendisinden vitamin türeyen madde.

psödo- Latince'de yalancı anlamına gelen önek.
retinen- Işık etkisiyle rodopsin şeklini alan bir pigment.
ribozom- Tüm hücrelerde protein sentezi yapılan bölgedir; ribozomlar boncuklu biçimli öğelerdir ve sitoplazmanın her yanına dağılmışlardır.
RNA- Ribonükleik asit.
Rud P- Ribüloz difosforik esteri.
saf cisim- Basit fiziksel ve kimyasal yöntemlerle başka bileşiklere (ya da elementlere) parçalanmayan cisim.
semi- Latince'de yakın, ancak farklı bir türe ait anlamına gelen önek.
şitokrom Demir ya da hem kümesi içeren protein grubu
Sitoplazma- Hücrede, hücre zarı ile çevrelenen ve çekirdeğin dışında kalan madde kütlesi.
substrat- Enzimlerle tepkime veren madde.
suş- Tüm özellikleri dikkate alınarak belirlenmiş mikroorganizma.
termodinamik ilke- Herhangi bir süreçte, enerji bir biçimden diğerine dönüşebilir; ancak yaratılamaz ve yokedilemez.
termojen- Isı çıkaran.
Thr- Treonin.
trikarboksilik çevrim- Karbonhidrat, yağ ve proteinlerin yükseltgenmesi için hücrede oluşan bir dizi kimyasal tepkime; sitrik asit çevrimi; Krebs çevrimi.
Tyr- Tirozin.
UDPG- Üridin difosfat glikoz.
Val- Valin.
yükseltge(n)me- Bir öğe ya da iyonun elektron vererek daha yüksek değerliğe çıkması; oksitlenme, oksidasyon.

BİBLİYOGRAFYA

M. Javillier; *Les élements chimiques et le monde vivant*, Paris, Flammarion, 1952.

M. Javillier, M. Polonovski; *Traité de Biochimie générale*, Paris, Masson & C.

A. L. Lehninger; *Bioénergétique*, Paris, Ediscience, 1969.

J.-A. Bègue ve M.-F. Jayle; *La réaction métabolique*, PUF.

F. Chapeville; *Biochimie de l'hérédité*, PUF.

A. Goudot-Perrot; *Cybernétique et biologie*, PUF.

A. Goudot ve D. Bertrand; *Les oligoéléments*, PUF.

M. Privat de Garilhe; *Les acides nucléiques*, PUF.

E. H. Relyveld ve J.-Cl. Chermann; *Les protéines*, PUF.

J. Stolkoski; *Les enzymes*, PUF.