

BÖLÜM 2

HÜCREDE MADDE DÖNÜŞÜMLERİ (METABOLİZMA)

1. Metabolizmanın ve Enerji Dönüşümünün Ana Mekanizması

Şekil 1'de görüldüğü gibi güneşin ışın enerjisi kimyasal enerjiye dönüşmektedir. Kimyasal enerjinin de kullanılması halinde organik maddelerin minerilizasyonu görülmektedir.

Fotosentez ve minerilizasyon olayı içiçe verilmiştir. Bu iki proses de karşılıklıdır, kütle ve madde değişimi söz konusudur, gaz, yarı katı, sıvı veya katı şekillerinde. Bu iki süreç de enerji dönüşümü de gerçekleşmektedir. Bitkiler bir kuvvet ışık enerjisi olmakta ve bir kuvvet oluşturmaktadırlar (kimyasal enerji).

Fotosentez sayesinde güneş enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülmektedir. Güneş enerjisi sayesinde su hidrojene ve oksijene parçalanmaktadır. Korbondiyoksitten de karbonu alarak hidrojenle birlikte metastabil bir yapı meydana getirmektedir. Stabilize edilen hidrojenlerin çoğu geçici olarak karbonhidratlarda tespit edilmektedir. Bitkiler tarafından yaratılan hidrojen ile oksijen arasındaki potansiyel diferans aerob solunum yapan tüm organotrof organizmalar için bir enerji kaynağıdır.

Bunlar hidrojeni karbonhidrat bileşiklerinden koparırlar ve oksijenle birleştirerek bir patlama gazı efekti yaptırarak enerji açığa çıkmasını sağlarlar. Hidrojenin oksidasyonu adım adım olmakta açığa çıkan enerji de porsiyon şeklinde biyokimyasal enerjiye dönüşmektedir.

Global olarak olaya baktığımızda, sistem bütününde ototrof canlılarla (fototrof), heterotrof canlılar (organotrof canlılar) güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olmaktadır ve entropi oluşumu gerçekleşmektedir.

1.1. Madde Dönüşümü ve Madde Dönüşüm Yolları

Canlılar hem gelişmeleri hem de istirahatları sırasında canlılıklarını sürdürebilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. Hem mevcut durumunu

koruması hem de yeni hücreler üretmesi için canlının enerji ihtiyacının **karşılanması metabolizma (madde dönüşümü) yolu ile olur**. Enerji kaynağı ise besin maddeleridir. Metabolizma (madde dönüşümü) “Anabolizma” ve “Katabolizma” dan oluşur. Besin maddeleri arka arkaya devreye giren çeşitli enzimler ve bunların neden olduğu prosesler sayesinde madde dönüşümüne uğramaktadırlar.

Madde Dönüşüm Yolları çok önemli iki işlevi yerine getirmektedirler: hücre yapısı için gerekli olan malzemenin ön kademelerini hazır bulundurmaktadırlar; sentezler ve diğer enerji gereksinimi olan prosesler için enerji hazır bulundurmaktadırlar (Anabolizma ve Katabolizma için gerekli enerji).

Maddelerin hücrede dönüşümü (metabolizmalar) en basitinden glükozlardan, uzun halkalı yağlardan veya aromatik bileşiklerden yeni hücre maddelerinin sentezine kadar üç ana aşamada ele alınabilir. Önce besin maddeleri küçük parçalara bölünmektedir. (**Ayrışma=Katabolizma**). Sonra da İntermediyer Metabolizma'ya veya Amphibolizma'ya bir seri organik asitlere ve fosfat esterlerine dönüşmek için geçmektedir. Bu her iki metabolizma yolu dikişsiz bir şekilde iç içedir. İşte şimdi hücre inşaatı için çok sayıda yapı taşı ve malzeme oluşmuştur. Bu düşük molekülle , bileşikler hücre yapıtaşı sentezi için substrat oluşturmaktadırlar (Anabolizma).

Nedir bu yapı taşları, adları nedir?

Aminoasitleri, Purin bazları, Pyrimidin bazları, şeker fosfatları, organik asitler ve diğer metabolitler. Bu yapı taşlarından (kısmen monomerlerden), polimer makromoleküller sentezlenmektedir.

Bunlar nedir? Nükleik asitler, proteinler, hücre yedek maddeleri, hücre duvarı maddeleri vb. Peki bunlar ne işe yaramaktadır? hücreyi meydana getirmektedir.

Hücre maddesinin biyosentezinin bu iki adımına (Yapıtışı sentezi ve Polimer sentezi), **Anabolizma (Sentez madde dönüşümü)** diyoruz. (Şekil 2) Makromoleküller, kural olarak, hücre dışında, salgılanmış enzimler sayesinde **monomer ve primer yapı taşlarına** parçalanmaktadırlar. Bu şekilde de içeriye alınmaktadır.

Heksozlar (Hexosan) başlangıç dönüşüm ürünlerinden sonra, ayrışma ürünleri Pyruvat'a dönüştürülmekte, bu da İntermediyer metabolizma da

anahtar pozisyonunu almaktadır. Aynı zamanda çok sayıda sentez yollarının ve ayrışma yollarının başlangıç noktasıdır.

Pyruvat'ın dekarboksilleştirilmesine C2 kütlesi oluşmaktadır. Bu önce uygun bir akseptör moleküle (Oxalacetat) bağlanmakta ve daha sonra üç karbon siklüsüne (Limonasiti siklüsü) bağlanmaktadır. Adımı adım bir dizi reaksiyonlardan sonra da korbandioksite oksitlenmektedir.

Bu siklüs sürecinde oxalacetat rejenere olmaktadır. Bu da dehidrojenleştirme adımı koparılan hidrojen atomlarını solunum zincirinin ATP-üreten sistemine taşınmaktadır (**oksidatif fosforlaştırma**).

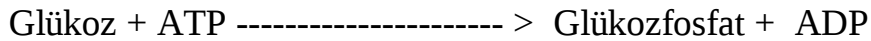
Üç karbon siklüsünün her yeni döngüsünde, **C2 kütlesinden (Acetyl-Coenzym A) iki molekül C02 ve dört adet 2(H) oluşmaktadır**. Bu reaksiyonlarla da üç karbon asiti siklüsünün bilançosu dengelenmektedir.

Üç Karbon Asiti Siklüsünün İntermedier Bileşikleri

Çok sayıdaki çeşitli organik asitler ki bunlar biyosentezler sırasında çeşitli başlangıç materyali oluşturmaktadırlar,(örneğin 2-Oxoglutarat, Succinat, Oxalacetat).

Üç karbon asiti siklüsünün görevi sadece besin maddelerinin oksidasyonu için ATP'nin coenzim olarak metabolitleri aktifleştirmesi, çok sayıdaki intermedier bileşik reaksiyonlara hazır hale getirilmesi için grupların iletimi ile aktifleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için de ATP'nin üç tip parçalanmasından yararlanılmaktadır:

1. Şeker şekerfosfata dönüştürülerek aktifleştirilmektedir:



Riboz -5- fosfat, difosfat kalıntısının taşınması ile aktifleştirilmektedir:



Bazı organik asitler, tüm aminoasitleri ve anorganik sülfat AMP-grubunun taşınması ile difosfatları ayrıştırarak, kopararak aktifleştirmektedir:

Yağ asitleri + ATP -----> Acyl-AMP + Difosfat
Aminoasitleri + ATP -----> Aminoacyl-AMP + Difosfat
Sülfat + ATP -----> Sülfat-AMP + Difosfat

Reaksiyonu tamamlamak için oluşan difosfatın da parçalanması gerekmektedir. Bunun için de difosfatlar **Pyrophosphatase enzimleri** tarafından parçalanmakta ve dengeden alınmaktadır. Böylece metabolitlerin aktifleştirilmesi hücreye enerji bakımından zengin iki bileşiğe mal olmaktadır.

Hücrenin görevi o halde mevcut ekolojik koşullarda ve mevcut besin maddelerinden olabildiğince maksimum düzeyde ATP kazanmaktır.

ATP'yi rejenere eden üç süreç vardır:

1. **Fotosentetik fosforlaşma yolu ile,**
2. **Oksidasyon veya solunum zinciri fosforlaşması ile**
3. **Substrat fosforlaşma ile...**

1. ve 2.'nin ortak yanları var, her ikisinde de ATP ATP-Synthase ile oluşmaktadır.

Substrat zincir fosforlaşması intermedier metabolizma sırasında, çok sayıdaki ayrışmalar ve dönüşümler anında meydana gelebilir. Karbonhidrat metabolizmasında gerçekleşen çok önemli reaksiyonlarda ATP-Rejenerasyonu Phosphoglycerat-Kinase, Piruvak=Kinase ve Acetat=Kinase tarafından katalize edilmektedir.

Şekeri fermentasyona uğratan bakteriler ve mayalar bu enzimler tarafından rejenere edilmiş ATP'lere ihtiyaç duyarlar. Bütün fosforlaştırma proseslerinde ADP fosfat akseptörü olarak kullanılmaktadır. AMP ise ATP yardımı ile Adenylat-Kinase sayesinde ADP'ye dönüştürülmektedir. AMP=ATP 2 ADP sonrada ATP'ye fosforlaştırılmaktadır.

1.1.1 Heksozen Ayrışma Yolları

Glükozu C3-kütlesine dönüştüren çok sayıda yol vardır: 1.Pirüvat-Yolu, ki en önemli metabolik faaliyetlerden biridir. Metabolizmanın en önemli intermedier bileşikleridir. 2.En yaygın ayrışma yolunun biri de Fruktöz- 1,6 bifosfat terminallik yapmak değildir. aynı zamanda büyük bir dağıtıcı fonksiyonu da vardır. Eğer asitler siklsten sürekli alınmış olsaydı, bu

durumda akseptor molekülü rejenere olamazdı. Siklüs bir müddet sonra dururdu, dönmezdi.

Hücredeki madde dönüşümleri enzimler sayesinde gerçekleşmektedir. Her bir metabolitin diğer bir başka metabolite dönüştürülmesi her seferinde araya giren her bir özgün enzim sayesinde olmaktadır.

Enzimler proteinlerden ibarettir ve katalizatör fonksiyonları vardır. Enzim proteinleri biyokatalizatörler olarak çalışmakta ve aktifleştirme enerjisini azaltmaktadır.

Enzimkatalitik reaksiyonların hızı, enzimsiz olanlarıninkine kıyasla on kat daha fazladır. Reaksiyon hızını 10^{10} 'a kadar çıkarmak bir reaksiyonunun yarılanma değerini 300 yıldan bir saniyeye kısaltmak demektir. Enzimli katalitik reaksiyonla, enzimsiz reaksiyonun şematik karşılaştırılması mümkündür.

Substratların kopuk parçalarını iletilmesi ve alınması için (örneğin hidrojenin, metil grubunun, amino grubunu vb.) enzim proteinleri küçük molekül bileşikler olarak, Coenzyme ve prostetik gruplar olarak bir kenarda durmaktadır. Bunlar enzimlerle az veya çok sıkı bağlanmış durumdadırlar. Coenzym'ler, Cosubstratlar ve Transpormetabolitler eşanlamlı olarak kullanılmaktadır.

Eğer düşük moleküllü bileşikler enzim proteinleri ile sıkı bağlı iseler, proteini çözmeden kopuk bir parçayı alabiliyorlar veya verebiliyorlarsa, o zaman bu enzim proteinlerinin prostetik gruplarından söz ediliyor demektir. Bir çok canlı coenzimleri kendileri üretemezler, dolayısıyla besin maddesi olarak dışardan verilmek zorundadır.

Cok sayıdaki süt asiti bakterileri, toprak bakterileri, su bakterileri ve diğer tek hücreliler vitaminleri veya onların ön kademelerini gelişmeleri için aramaktadırlar.

Hidrojen donatörü ile elektron donatörü; hidrojen akseptörü ile elektron akseptörü, oksidasyon ile dehidrojenleştirme ve redüksiyon ile hidrojenleştirme sinonüm (eşanlamlı) olarak kullanılmıştır.

Hücrede yoğun enerji gerektiren prosesler Adenozintrifosfat (ATP) tarafından mümkün olmaktadır.

ATP fotosentez, solunum veya fermentasyon sırasında kazanılan ve hücreye verilen enerjinin kimyasal şeklidir, O halde ATP enerji tüketenlerle enerji üretenler arasında kimyasal enerjiyi üniversal taşıyıcıdır. "Hücrenin enerji pazarında uluslararası bir birimdir" Adenin, Ribose, fosfat grubları ve Adenosin, Adenosinmonofosfat, (AMP), Adenosindifosfat (ADP), Adenosintrifosfat (ATP) grubları vardır. (FBP) tır. FBF yolu gilikolitik ayrışma, glokoliz veya araştırmacılarına göre EMEbDEN-MEyERHOF-PARNAS- Yolu diye adlandırılmaktadır. ENTNER-DOUDOROFF-Ayrışma yolu vyea karakteristik ara ürününe göre, 2-Keto 3-dezoksi- 6-fosfo-gloconat (KDPG-Yolu) yolu bakterilere özgü olarak bilinmektedir.

1.1.2 Fruktoz-1,6-BizPhosfat-Yolu (Gilikoliz)

FBP-Yolunda Glükoz-6 fosfatın parçalanmasının hazırlığı için, Glucose-phospat- Isomerase ile fruktoz-6-fosfata (F-6-P) izomerize edilmektedir. Daha sonra da 6-Phosphofructokinase ATP ile 1-konusunda fosforlaştırılmaktadır. Meydana gelen fruktoz-1,6-bizfosfat, fruktozbizfosfat-aldolaz yardımı ile Dihydroxyacetonphospat ve Glycerinaldehyd-3-phospat"a parçalanmaktadır. Her iki triozfosfatlar birbiri ile dengededir.

Dengenin ayarı ise Triosephospat-İsomerase tarafından katalize edilmektedir. Dihidroksiasetonfosfat Glycerinphospat-Dehydrogenase yardımı ile gliserin fosfata indirgenmektedir ve Glycerin-1-phoshatase ile de giliserin ve ortofosfata hidrolize edilmektedir.

Dehidrojenleştirme bu ayrışmanın enerji kazanılması bakımından en önemli adımını oluşturmaktadır.

Gliserinaldahit-3-fosfatın 3-fosfogiliserata oksitlenmesi sırasında oluşan serbest enerjinin bir kısmı ($\Delta G = -67 \text{ KJ}$) enerji bakımından zengin fosfat bağı şeklinde depolanmaktadır.

Önce aldehit grubu gliserinaldehidofosfat-dehidrogenaz'ın SH-Grubuna bağlanmakta, sonra hidrojen koparılmakta ve NAD'ye taşınmaktadır. Meydana gelen Acyl-S-Enzim bileşiği Thioester olarak enerji bakımından çok zengindir. Fosforoliz sayesinde, S-Enzim-Grubunun Ortofosfata karşı değişimi, bu enerji Glycerat-1,3 bifosfat'da saklı kalmaktadır.

Phosphoglycerat-Kinase yolu ile enerji bakımından zengin fosfat grubu ADP

ye taşınmaktadır. Bu ara 3-Phosphoglycerat ve ATP oluşmaktadır. Buradaki fosforlaştırma olayı substratda gerçekleştiği için biz buna "Substrat fosforlaştırılması" olarak adlandırmaktayız. (Şekil 3).

Phosphoglyceromutase yolu ile 3-Phosphoglycerat 2-Phosphoglycerat'a dönüştürülmektedir. Bunda da Enolase hidrojeni koparmakta ve Phosphoenolpyruvat oluşmaktadır. Bu da Enolesteridir. Bunun enerji bakımından zengin olan fosfat grubu da Pyruvat-kinase kanalı ile ADP'ye taşınmaktadır. Oluşan Pyruvat ise ayrışma, dönüşme ve sentez proseslerini ön kademesidir.

1.1.3 Pentosephospat Yolu

Pentosefosfat yolunda, glükoz 6 fosfat glükoz 6 fosfat dehidrogenaz tarafından dehidrojenleştirilmektedir. Bu sırada hidrojen NADP'ye aktarılmaktadır. Ayrıca 6 Phosphogluconolacton oluşmaktadır. Bu da ya spontan ya da katalitik yolla (Gluconactonase) yolu ile 6 Phosphogluconat'a hidrolize edilmektedir. Sonuncusu da Dehydrogenase yardımı ile dehidrojenleştirilmektedir. (3 Keto 6 fosfo-gluconat) ve Ribulose 5 phospat'a dekarboksilleşmektedir. Böylece de hakiki oksidasyon prosesi sona ermektedir.

Bundan sonraki prosesler dönüşüm ve geri çevirim prosesleridir. Bu reaksiyonlar bir çembere (siklusa) bağlanmaktadır. Hem yapı taşları üretilmekte, hem de hücrenin ihtiyacı olan diğer madde sentezleri yapılmaktadır (Şekil 4).

1.1.4 2 Keto 3 Desoxy 6 Phosphogluconat Yolu

Glükoz 6 fosfat önce yukarıda anlatıldığı gibi 6 fosfoluconata dehidrojenize edilmektedir. Fobfogyucoht dehidraz yardımı ile 2 keto 3 dezoksi 6 fosfogluconat oluşturarak su koparılmaktadır. Bu da özgün bir Aldolase yardımı ile Pyruvat'a ve gliserinaldehid 3 fosfata parçalanmaktadır. Sonuncusu da Fruktobifosfat yolunda olduğu gibi Pyruvat'a oksitlenmektedir (Şekil 5).

ATP, NADH₂ ve NADPH₂ lerin üretilmesi bakımından anlatılan parçalama yolları arasında belirgin farklılıklar vardır.

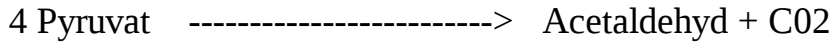
Mikroorganizmaların birbirinden farklılaşmaları da bu yollardan birini veya

diğerini kullanmalarından ve seçmelerinden gelmektedir. Örneğin Escherichia coli ve Clostridium türleri glükozu Fruktozbifosfat Yolu üzerinden parçalanmaktadırlar.

Pyruvat Oksitlenmesi

Pyruvat intermedier metobolizmanın merkezini oluşturmaktadır. Çok sayıda sentezlerin yapılmasını sağlamaktadır. Çok sayıdaki organizmalar katabolizma sırasında oluşan Pyruvat'ı Acetyl Coenzym A'ya oksitlemektedirler. Bakterilerin metabolizmalarında şu üç reaksiyonun çok önemli rolü vardır:

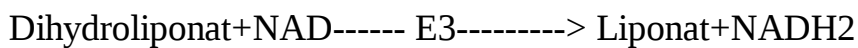
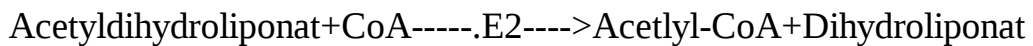
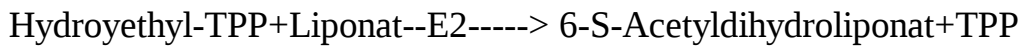
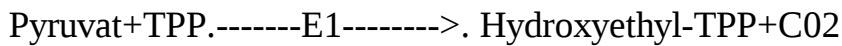
Etanol salgılayan mayalarda ve bazı bakterilerde Pyruvat'ı oksitleyen 4 bir enzim, dolayısıyla de bir reaksiyo daha vardır:



Bu enzim, Pyruvat-Decarboxylase, Pyruvat'ı Acetaldehyd'e ve CO₂'a parçalamaktadır. Daha sonra da asetaldhid etanola indirgenmektedir.

1. Reaksiyonda Pyruvat-Dehydrogenase Multienzim kompleksi biyokatalizötür görevini görmektedir.
2. Reaksiyonda Ferredoxin-Oxidoreductase enzimi katalize etmektedir.
3. Reaksiyonda ise, Formiat Lyase enzimi rol almaktadır.

Pyruvat dehidrojenleştirilmesinin reaksiyon adımları:



Trikarbonasiti-Çemberi

Trikarbonasiti-Çemberinin görevi C2-kütle Acetatının hidrojen açığa çıkararak karbondioksite oksitlenmesini sağlamaktır. İştirak eden üç dehidrogenaz sayesinde hidrojen NAD (P)'ye ve Succinat-Dehydrogenase yolu ile de Chino'a taşınmaktadır. Coenzyme"ler de hidrojeni normal olarak solunum zincirine taşımaktadır. Şekil 6' de biyokimyasal reaksiyonlar ayrıntılı olarak görülmektedir.

Citrat-Synthase, Aconitat-Hydratase, İsocitrat-Dehydrogenase, 2-Oxoglutarat-Dehydrogenase, Pyruvat-Dehydrogenase, CoA-Acylase, Succinat-Dehydrogenase, Pumarat-Hydratase, Malat-Dehydrogenase gibi enzimler reaksiyonlarda görev almaktadır.

Trikarbonasiti çemberi besin maddelerinin sadece merkezi oksitlenmesini sağlamamakta, aynı zamanda da bir çok biyosentezin ön hazırlıkları yapılmaktadır. (2 Oxoglutarat, Oxalacetat, Succinat).

1.2 Solunum Zinciri ve Elektrontransprotu-Fosforlaşma

Anaerob yaşayan canlıların çoğu ATP'yi substrat fosforlaştırılması üzerinden sağlarlarken, farklı şekilde ATP rejenerasyonunu ise ancak solunum yapan organizmalar gerçekleştirebilirler. Bunların bu iş için bir aygıtları vardır:

Solunum zinciri veya Elektron taşıma zinciri. Enzim ATP-Synthase. Bu iki sistem Prokaryotik organizmalarda Cytoplasmamembranının içinde lokalize olmuştur.

Ökaryotik organizmalarda ise Mitochondrienmembranlarında bulunmaktadır. Substratlardan gelen reduksiyon eşdeğerleri (H veya elektronlar), membranda solunum zincirine iletilmektedir. Elektronlar da oksijene verilmektedir. Solunum zincirinde "Biyokimyasal patlama gazı reaksiyonu" gerçekleşmektedir.

Kimyasal hidrojen yanmasından farkı, enerjinin büyük bir kısmı biyolojik değerlendirilebilir. ATP-Enerjisi şekline dönüşmesidir. Az bir miktarı ise ısı enerjisi olarak kayıp olmaktadır.

Membranda özel enzim ATP-Synthase vardır, bu da ADP ve P ATP'ye

sentezler.

Membrandan elektron transportu sırasında ATP'nin sentezlenmesi olayına solunum zinciri fosforlaştırılması veya Elektron taşıma fosforlaştırılması denilmektedir.

Solunumu anlamak için:

- 1. Solunum zincirinin komponentlerini bilmek gerekir.**
- 2. Onun redoks potansiyelini**
- 3. Onun mebrandaki dizilişini bilmek gerekir.**

Genelde membranlar solunum merkezleridir, yeridir.

Solunum zincirinin komponentleri:

Lipid çift tabakası arasına yerleşmiştir. Bunlar çok sayıda elektronlar ve hidrojen taşıyan enzimlerdir. Coenzyme, prostetik gruplar, çeşitli dehidrojenazlar ve transport sistemleridir.

Proteinler membrandan izole edilebilir. Hidrojenin oksidasyonuna katılan en önemli komponentler Flavoprotein, Demir-Kükürt Proteini, Chinone ve Cytochrome'lerdir.

Flavoproteinler: FMN yi veya FAD yi prostetik grup olarak içeren enzimlerdir. Hidrojeni taşırlar.

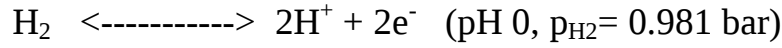
Demir-Kükürt-Proteinleri: Elektron taşıyan redoks sistemleridir. Bir yandan Cystein aminoasitinin kükürtüne bağlı diğer yandan da anorganik sülfür kükürtüne bağlı demir atomları bulundurulur.

Solunum zincirinde diğer bir redoks sistemi üyesi ise Chinone'lerdir. Chinone'lar lipofildir, bu nedenle de membranın lipid fazında lokalize olmuşlardır. Hidrojen veya elektron taşırlar.

Cytochrone: Elektron trnasportuna yararlar, redokssistemidir. Chinone'ların biriktirme havuzlarından elektronları alırlar. Sitokromlar renklidir. ve Sitokrom a,b,c,o gibi ayrılırlar. Sitokromlar oksijene de elektron taşınmasında yardımcı olurlar.

Redokspotansiyeli:

Hidrojen ve elektyon taşınması eşdeğer proseslerdir. Solunum zinciri de elektron taşıma zinciri olarak görülebilir. Solunum zincirinin komponentleri oksitleyene ve indirgeyen kademe arasında salınıp dururlar (Redoks katalizatörü).



pH= 7.0 da olan reaksiyonların Redokspotansiyeli E_0 olarak gösterilir. Hidrojen elektrodu E_0 -0.42 Vohlt değerini gösterir. İekil de hidrojen yarı elementi ile ilişki kurulmuş potansiyelinin pH'ya bağımlılığı açıkça görülmektedir: (Nernst Denklemi)

$$E = E_0 + R.T/n.F (\ln c_1/c_2)$$

Redokssisteminin gerçek potansiyeli E' oksitleme ve indirgeme kademesinin konsantrasyonlarına bağlıdır:

$$E' = E_0 + 0.06/n (\lg C_{\text{ox}}/C_{\text{red}}) , \quad (30^\circ \text{C için})$$

Oksitlenecek madde ile indirgenecek maddenin birbirine oranı ne kadar küçükse, redokspotansiyeli de o kadar negatiftir. (Şekil 7). Redokspotansiyeli maksimum yararlı iş için bir ölçüttür. Bir reaksiyonun serbest enerjinin ölçütüdür.

Solunum zinciri komponentlerinin redokspotansiyeli, potansiyel farklılıkları ve enerji eşdeğerlikleri Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge 1 : Solunum zinciri redoks potansiyelinin komponentleri, potansiyel farkı ve enerji eşdeğeri

Solunum zinciri komponenti	E_0' (V)	Farkı (V)	$- dG_0'$ (kJ/mol)	(kcal/mol)
Hidrojen	-0,42			
NAD	-0,32	0,10	19,3	4,61
Flavoprotein	-0,08	0,24	46,4	11,1
Cytochrom b	-0,04	0,04	7,7	1,84
Cytochrom c	+0,27	0,31	59,8	14,30

Cytochrom a	+0,29	0,02	3,8	0,92
Oksijen	+0,81	0,52	100,4	24,0

Solunum zincirinin zehirleri:

Solunum zinciri çeşitli hücre zehirleri ile ya engellenmekte, ya da bloke edilmektedir. Amytal, Retenon ve Piericidin A NADH-Dehydrogenase'ı Engellemektedir. Antimycin A sitokrom b ve c arasında blokaj oluşturmaktadır.

Siyanür ve karbonmonoksit sitokromoksidazı engellemektedir. Cytochrom c'demir iyonu proteininin içinde o derece iyi korunmuştur ki, CN' ve Co ile reaksiyona girmemektedir.

Ökaryotiklerin mitokondiriyinlerinde ve bir çok bakterinin membranlarında solunum zinciri ana şeması zehirlerin engelleme şekilleri görülebilir.

mol ATP/mol oksijen atomu: P/O Oranı ve Enerji Bilançosu:

Solunum zincirinde üç oksidasyon adımı vardır. Bu sırada en azından enerji bakımından zengin bir bileşik kadar enerji açığa verilmektedir.

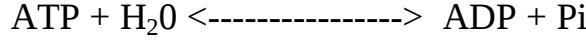
Solunum zinciri yolu ile iki hidrojen ekivalentinin taşınması sırasında üç ATP oluştuğunun bilinmesi, glükoz solunumunun enerji bilançosunu yaptırabilmekte.

ATP rejenerasyonu solunum zinciri fosforlaştırılması ve membranlardaki fotosentetik fosforlaşma ile olmaktadır. ATP sentez enzimi membranın bir parçası olduğu kadar solunum zincirinin de bileşenidir. Hidrojen ve elektron transport prosesleri ATP rejenerasyonu ile yakından ilgilidir, fakat günümüze kadar tam olaak açıklanamamıştır.

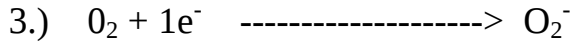
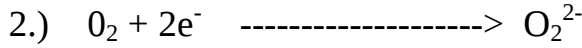
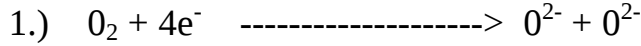
Protonların aktarılması ve yer değiştirmesi, ATP'nin rejenerasyonu için ilk koşuldur.

Substrat solunumu sırasında proton taşınımı İekil de görüldüğü gibi olmaktadır. Bakteri hücresinden (A) veya Mitokondriyinlerden (B)

protonlar suspansiyona geçmektedir. Submitokondriyal partikillerde membran ters yönlü davranmaktadır. Bu da proton transportunun iç tarafa doğru olmasını sağlamaktadır (c). Oksidasyon sırasında -NADH₂ NAD-proton ve elektron taşıma yolu (D). O halde ATP ADP'den ve Pi den ATP-sentez enzimi yardımı ile rejenere edilmektedir. Bu enzim bakteri, kloroplast ve mitokondriyin membranlarında bulunmuştur. ATP'nin hidrolizi ile enzimin varlığı kanıtlanabilmektedir:



Oksijenin aerob ve anaerob organizmalara toksik etkileri: Aerob solunum ve aerob organizmalar için oksijen önemli bir terminal elektron akseptörüdür. Oksijen zorunlu anaerob bakterilere toksik etki etmektedir. Oksijenin aerob organizmalara da toksik etkisi vardır. Bir çok canlı kendini bu toksik etkiye karşı korumak için savunma enzimi içermektedir. Biyolojik olarak oksijenin üç tür aktifleştirilmesi bilinmektedir:



1. reaksiyon stiyokromoksidaz tarafından katalize edilmektedir. Aynı zamanda 4 elektron taşınmaktadır.
- 2., reaksiyon glokozoksidaz, amonoasitoksidaz, Xanthin oksidaz enzimleri tarafından katalize edilmektedir. Aynı zamanda 2 elektron taşınmaktadır.
3. reaksiyon daha ziyade çok sayıda Xanthin oksidaz, aldehioksidaz, NADPH-oksidaz vb. gibi oksidazlar yolu ile katalize edilmektedir.

1.3 Düşük Moleküllü Yapı Taşlarının Biyosentezi

1.3.1 Aminoasitlerin Biyosentezi

Mikroorganizmaların çoğu ve yeşil bitkiler protein sentezi için gerekli olan 20 aminoasitini yeniden, tamamen sentezleyebilmektedirler. Aminoasitlerinin karbonlu iskeletleri ise intermediyer metabolizmanın ara ürünlerinden sağlanmaktadır. Amino grupları ya doğrudan ya da transaminasyon yolu ile verilmektedir. Anorganik azotun organik azota dönüşümü ise sürekli olarak hep amonyum üzerinden olmaktadır. Nitrat,

nitrit ve moleküler azot önce asimilasyon yolu ile amonyuma indirgenir ve sonra da organik bileşiklere dönüştürülür. Şekil 8 ' de bu durum görülmektedir. Sadece bazı aminoasitleri direk aminleşme yolu ile serbest amonyum iyonuna ulaşabilirler. Birincil amonyum asimilasyonunda L-Glutamat-Dehydrogenase (6) ve L-Alanin-Dehydrogenase (7) iştirak etmektedirler. Bunlar 2-oksoasitlerini reduktif olarak indirgemektedirler, bu olayda ATP'in bir işlevi yoktur. Glutamat'dan Glutamin oluşumu Glutamin-Synthetase (4) tarafından katalize edilmektedir.

Bir çok aminoasiti amino gruplarına aminoasitlerinden primer olanlarından birinin transaminleşmesi ile sahip olurlar. Mikroorganizmalar tarafından oluşturulan 20 aminoasitin oluşum yolları çok iyi araştırılmış ve ortaya konmuştur. Sentezler intermediyer metabolizmanın ara ürünlerinden yapılmaktadır. (Pyruvat, Fumarat, Oxalacetat,). Şekil 9 de aminoasitlerinin sentezinin çeşitli enzimatik adımları görülmektedir. Nükleotidlerin biyosentezi: Purin ve pürimidin Nükleotidleri nükleik asitlerinin yapıtaşlarıdır. Bir çok koenzimlerin de bir parçasıdır.

1.3.2 Yağların Biyosentezi

Yağlar veya lipidler biryandan sitoplazma membranının ve hücre duvarının çok önemli bir parçası iken, diğer taraftan da yedek madde görevini sahiptirler. Uzun halkalı yağ asitlerinin biyosentezi asetat gruplarının addisyonu veya ve reduksiyonudur.

Oksfor (Oxphos) birimi canlıların yaşamına enerji bağışlayıcıdır. Üniversal enerji jeneratörü olarak da tanımlanmaktadır. Oksfor birimi indirgenmiş donatordan (D), bir çift elektron almakta ve oksitlenmiş akseptora (A) verilmektedir. Oksitlenmiş akseptronun en düşük potansiyel düzeyi en azından 300 milivoltur. Buara ADP ve P_i (İnorganik fosfor) ATP'ye birleşmekte ve su açığa çıkmaktadır. Tam tersi ATP'nin hidrolizi ile de bir elektron çifti 300 milivolta kadar yükselmektedir. (Şekil 10). Glikoliz kuyruğu asıl görevi olan ATP sentezini yaptıktan sonra, işini bitirmeli ve eserini tamamlamalıdır. Bilançoyu dengelemelidir. Bunun için önce su molekülü parçalanmaktadır. Daha sonra da fosfat grupları tekrar ADP'ye taşınmaktadır. Böylece başlangıçta yatırılan ATP geri alınmaktadır. Tüm canlılar bakteriler, mantarlar, bitkiler, hayvanlar ve insanlar ATP'lerini aynı şekilde elektrokimyasal proses sonucunda ADP'nin fosforlaştırılması yoluyla temin etmektedirler. Bu türden çok sayıda reaksiyonlar vardır ve çok karmaşıktır.

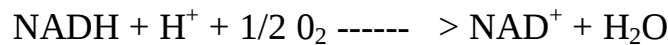
Bir oksfoz birimi esasında elektrokimyasal enerji dönüştürücüden oluşmaktadır. Elektronlar bir donator vasıtasıyla oksfoz birimine verilmektedir. Bu sırada indirgenmiş durumdan oksitlenmiş duruma geçmektedir.

Anaerobik fermentasyonda, oksfoz birimlerinde ATP oluşturmak ve elektron akışını sağlamak için tek bir madde akışı yeterlidir. (Şekil 11).

Aerob heterotrof organizmalar elektron akışını ve iki madde akışı ile birlikte ATP oluşumunu desteklemektedir. Biri elektronları besin maddelerinden temin ederek birimi beslemektedir, burada besin maddeleri suyun yardımı ile metabolizma ürünlerine oksitlenmektedir. Bir diğer akım ise oksijen sayesinde dengede tutulmakta ve oksfozun son biriminden elektronların alınmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum İekil' de görülmektedir. Aslında çok sayıda ve çok çeşitli tarzda, prensibde çalışan oksfoz birimleri vardır.

- Glikolizde
- Kloroplastlarda
- Mitakondirinde
- . Elektron taşıma zinciri - fosforlaştırılmasının katalize edilmesi,
- . Substrat zinciri fosforlaştırılmasının katalize edilmesi, tamamen farklı mekanizmalarla çalışılmaktadır.

Oksijen aerob organizmalarda, nihai elektron akseptoru olarak görev görmektedir. Redoks çifti olarak NADH/NAD^+ 'yı ele ele alıp reaksiyonu izliyebiliriz.



Bu reaksiyonun serbest enerjisi, AG_{ox} (NADH/NAD^+) maksimum yapılabilecek bir işin ölçümü için bir ölçüttür.

Glikolizdeki fizyolojik elektron potansiyeli yaklaşık 63 kilokalori/çift elektronlar'dır. Fizyolojik koşullar altında, kesikli çizgilerin arasında, İekil 'de görüldüğü gibi, sistem dengededir. İeklin sağ tarafında gliserinaldehit fosfatın ve fosfogliserin asitinin (çiftinin) yüksek elektron potansiyelinde olduğunu görürüz. Buna karşılık olarak da potansiyeli azalmış sütasiti/pürüvatasiti (yanık kokulu üzüm asiti), çifti vardır. Bu nedenle de elektronlar aşağıya doğru akmaktadır. Bu arada da ATP oluşmaktadır.

Redoks çiftler arasında oksitlenmiş kısmı ile indirgenmiş kısmı arasındaki konsantrasyon oranları değişirse, o zaman potansiyel kaymaları da meydana gelebilir.

Şeklin sol tarafında ise, tamamen tersdurum görülmektedir. ATP hidrolizi sayesinde elektron akışı yukarı doğru olmaktadır.

Biyosentez prosesleri yapı taşı X'i ATP yardımı ile yüksek bir enerji seviyesine (grup potansiyeli) kaldırmaya yaramaktadır. Beraber istifleme adımında gruplar nihai akseptor Y'e taşınmaktadır. Bu ara potansiyel şiddetli bir şekilde düşmektedir. (Şekil 12). Genelde bir çok kere aktiveleştirme ve beraber istifleme aynı enzim tarafından yapılmaktadır. Bu tür bifunksiyonel enzimlere sentez veya ligazlar denilmektedir. Bunlarsız birçok biyokimyasal prosesler olamaz ve gerçekleşemez.

Şekil 13 'de tek adım biyosentez reaksiyonlarının özeti görülmektedir. Burada yapı taşı olarak anorganik fosfatlar veya mononükleotidler görev görmektedir. Bunlar merkezi tamirat mekanizması sayesinde NTP'ye aktiveleştirilmektedir. Daha sonra da fosforil, pirofosforil veya nükleotidil grupları nihai akseptora taşınır.

- Çift adım prosesleri
- Üç adım prosesleri

1.4 Oksfoz Biriminin Sırrı- Proton Motorlu Kuvvet

İç mitokondriyin membranı proton sızdırmaz, hidrojen iyonları için geçirimsizdir. Buna göre hidroksil iyonları için de geçirimsiz olmalı, H^+ iyonlarını yoksa taşırlar, halbuki H_2O şeklinde iletilir ve tekrar OH^- şeklinde geri döner. Membran gerçekten ister negatif ister pozitif yüklü olsun iyonları sızdırmaz durumda ise mitakondriyin ile çevresindeki sitosol arasındaki iyon alış veriş kesinkes özel kapılar veya pompalar yardımı ile ayarlanabilecektir.

Şekil 14 'de kimyasal ozmotik model teorisi görülmektedir. İki pompa birisi elektronlarla, diğeri ATP ile çalışmaktadır. Bunlar protonları aynı rezervuara basmaktadırlar ve burada bir proton potansiyeli oluşmaktadır. Bunlardan biri diğlerinden daha fazla şiddetli ise, bu proton potansiyelini diğeri pompanın olası maksimum potansiyeline yükseltmektedir. Bu geri çalışmaktadır. Elektronlu çalışan pompa diğlerinden çok daha şiddetlidir, bu nedenle ATP

ile çalışanı karşı yönde hareket eder ve ATP üretir.

Şekil 15 'de elektronun geri döndüğü taşıma olayına bir örnek görülmektedir. Bu elektron çifti kehlbar asiti enerji seviyesinden oksijenin üzerine düşmektedir. II. ve III. yerlerde iki proton motorlu kaldırma gücünü oluşturmaktadır. Eğer NAD^+ akseptor olarak varsa, kehlbar asitinin diğer iki elektron çifti verilir ve I. yer sayesinde enerji bakımından en yüksek düzeye getirilir. Bu da düşen elektron çiftlerinin neden olduğu proton motorlu kuvvetle karşı yönde çalışabilir. buna benzer şekilde, askorbik asitten III. yer üzerinden oksijene geçen iki elektron çifti iki yıldan çizgisinin oluşmasına neden olmaktadır. Üçüncü bir elektron çifti ile yer II ve I'in üzerinden askorbik asitten NAD^+ 'ye tırmanmaktadır.

Protonların maksimum kaldırıldığı seviye yaklaşık olarak her proton ekivalenti için 14/n kilokaloridir. Elektron çiftleri arasındaki potansiyel diferans 300 milivolt ise, bu her elektron çifti için 14 kilokalori enerji mevcut demektir. Bu tür reversibil sistemde birinin ürettiği diğerinin tükettiği kadardır.

Burada elektrik enerjisi hidrolik dönüştürücüsü tarafından iletilmektedir. Şekil 16' de mitokondiriyinlerde üretilen proton motorlu kuvvetlerin çok çeşitli işleri nasıl başlattığı görülmektedir.

1.5 Kloroplastlar

İçinde yeşil boya maddesi içeren küre şeklindeki bitki hücreleri, canlının ototrof yaşamasını sağlar. Ototrof yaşamın ve fotosentez faaliyetin yapıtaşını kloroplastlar oluşturur. Fotoelektrik birimin sihirli aracı klorofildir. Chloros = yeşil ve phyllon = yaprak sözcüklerinden meydana gelmiştir. Enerji elektron şeklinde alınır. Karbondioksit, su, nitrat, sulfat gibi anorganik maddelerden yararlanıp karbonhidrat, protein, yağ gibi bir seri organik maddeye çevirmek için çok sayıda elektronlara ihtiyaç vardır. Ancak elektronların enerji değerleri çok iyi ve kaliteli olmak zorundadır. Şekil 17 'de görüldüğü gibi NAD ve NADP'in işbirliği ile anabolik indirgemeler ve katabolik yükseltmeler yolu ile enerji seviyesinin yüksek tutulmaya çalışılması görülmektedir.

Kemoototrof mu, fotoototrof mu biri diğerinin öncüsü, hangisinden hangisinin evrimleştiği kesin olarak bilinmemektedir. Kemolitotrof bir olayda eksojen bir elektron donatörüne ihtiyaç vardır. Bu hem anabolik hem de

katabolik reaksiyonlarda kullanılır. Ayrıca da eksojen elektron akseptörüne, ku onun potansiyeli de ATP oluşması için 300 milivolt düşük olması gerekir. İhtiyaç vardır. Donatör ile akseptör arasında görev yapabilir bir oksfoz birimine ihtiyaç vardır. Şekil 18 'd e bu durum görülmektedir. Fotoğraf yaşamda ise fotoğraf bakteriler organik (fotoorganotrof) veya anorganik (fotolitotrof) molekülleri yüksek elektron potansiyelleri ile birlikte kullanırlar. Şekil 19 de görüldüğü gibi yeşil fotosentez bakterileri önce elektronları oksfoz birimi üzerinden sonra da ışık birimi üzerinden sağlarlar.

Yaşamın büyük elektron döner dolabı Şekil 20'de verilmiştir. Her iki fotosistemleri fosforlaştırma elektron trasport zinciri ile birbirine bağlıdır. Bu hep periyodik, hem de periyodik olmayan fotofosforlaştırmayı gerçekleştirebilir.

Çağ olarak gelişmeyi aslında mavi algler gerçekleştirmiştir, bunlar prokaryont organizmalardır. Kanada da Gunflint-Schiefern de yapılan bulgulara göre, fosil mavi algler, bu olayın iki milyar hatta 3.2 milyar sene önce gerçekleştiği Güney Afrika'da prekambrik Fig Tree kayaçlarındaki izlerinden kabul edilmektedir. Tüm dünyayı fetih etmişler ve yayılmışlardır. İki milyar sene dünyadaki evulusyonda çok aktif rol oynamışlardır. Güneş enerjisinden yararlanarak kimyasal enerji ürettikleri için de, sürekli fazla biyomas oluşturmuşlar ve heterotrof canlıların oluşmasna, evrimleşmesine katkıda bulunmuşlardır. Yeşil bitkilerin fotosentetik makinaları Şekil 21' da gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi elektronlar tek tek ışık birimi üzerinden hareket etmektedirler. Fotosistemler asıl protein bağlı klorofillerden ve çok farklı miktarlarda aksesuar şeklindeki pigmentlerden oluşur. Kırmızı, mavi, sarı, oranj, kırmızı karotin ve xanthophylle (sarı) gibi pigmentler. Yapraklar renk değiştirirken yeşil kaybolur ve aksesuar pigmentler meydana çıkar. Renk cümbüşü oluşur.

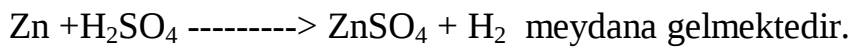
Şekil 22 de kommunikasyon kanalları görülmektedir. Bunlar hücrenin dış ve iç duvarları arasında yüzeysel reseptörler tarafından meydana getirilmiştir. Örneğin kemotaksi, kimyasal çekiciliğin etkisi ile ya bir yere doğru hareket olmakta veya da iticilikle uzaklaşmaktadır. Uyarıya karşı duyarlılıktan ve yanıtta kemoreseptorlar sorumludur. Bunlar hücrenin hareket organına dinamik bir etki gösterirler. Hücrenin yanıtı ise işgal eden reseptor sayısına değil, onun hücre içindeki yayılışına bağlıdır.

Şekil 23 de metabolizma regülasyonunun ana deseni, motifi verilmiştir. A'da heterotrof organizmalardaki işleyiş mekanizması görülmektedir. Dışardan

alınan besin maddeleri katabolizmanın ihtiyacına kullanılmaktadır. Bunun asıl görevi enerji bakımından zengin olan elektronları besin maddelerinden koparmaktır. Sonra oksfoz birimine vermektir. Açığa çıkan ve düşük potansiyele sahip olan elektronlar akseptorlar tarafından yakalanmakta ve bu akseptor ya dışardan ayrıca ortama verilmekte (oksijen verilmesi gibi) veya da besin akışından (fermentasyonda olduğu gibi) oluşmaktadır. Oksfoz biriminde oluşan ATP'ler çok çeşitli biyolojik işlerde görevler üstlenmektedir. Az da olsa, bu ara besin maddeleri, elektronlar ve ATP anabolizmaya doğru akmaktadırlar. Burada da biyosentez (rezerve ürünleri) ürünleri oluşmaktadır. Sistemin kendi kendini ayarlaması ve kontrolü (ATP) (ADP)(Pi)-oranı üzerinden oluşmaktadır. Böylece katabolizma ve iş birbiri ile uyum içinde bulunmaktadır. İş yükü artınca bu oran düşmektedir. Kütle etki efekti ile oksfoz biriminden geçen elektron akış hızı artmaktadır. İş yükünün çok az olması halinde işi bunun tamamen tersi gerçekleşmektedir. Sistemdeki yakıt temini katabolizma ile anabolizma arasındaki bağ sayesinde garantiye alınmıştır. Besin maddesi girdisi ihtiyaçtan fazla veya çok fazla ise, fazla olan substratlar, elektronlar ve ATP'ler biyosentez deposine taşınmaktadır. Ters bir durum söz konusu olunca da katabolizma ihtiyacını buradan karşılamaktadır. Bu rezervleri kullanmaktadır. B'de ototrof organizmalar (yeşil bitkiler) ve oradaki metabolizma işleyiş mekanizması görülmektedir. Karanlıkta, ışığın ivmelendirdiği fotoreduksiyon ve foto fosforlaştırma yoksa, bu durumda organizmalar açlık çeken heterotrof gibi çalışırlar. Böylece biyosentez rezervlerinden yaşarlar, geçinirler. (ATP)/(ADP)(Pi)-oranı üzerinden katabolizma ve işi birbiriyle uyumludur. Işıktaki ise üretilen enerji sakımından zengin elektronlarla tüm enerji ihtiyacı yeniden karşılanmaktadır. Yararlı elektron bulundurmeyen mineral besin maddeleri artık anabolik amaçlar için kullanılabilir.

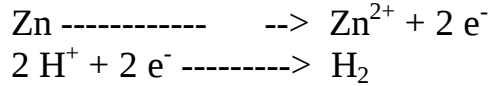
1.6 Elektron Taşıma İş

Dünyadaki tüm canlıların enerjilerinin temininde çok önemli rol oynayan elektron taşıması olayının açıklanması ve aydınlığa kavuşması çok önemli bir başlangıcı veya adımı oluşturmaktadır. Cansız dünyada da buna benzer reaksiyonlar gözlenmektedir. Biyoenerjinin tüm sınırları ortaya konulmuştur. Örneğin Çinko Sülfürikasit ile temas edilince:



Bu olay aslında çinko atomalarından hidrojen iyonlarına elektron taşıması nedeni ile gerçekleşmektedir.

$\text{Zn} + 2\text{H}^+ \text{-----} > \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$ bu reaksiyonu şeklen iki yarı reaksiyon olarak ele alacak olursak:



Burada görüldüğü gibi çinko elektron verme sonucunda oksitlenmiş olmaktadır. Bunu karşısı elektron alma olayı ise hidrojeninde görülmektedir ki, bu durum da hidrojen indirgenmiş olmaktadır. **(Oksidasyon/Redüksiyon)**. Protonlarla (Hidrojen iyonları) çinko arasındaki reaksiyon ekzotermidir. Standart koşullarda her mol oksitlenen çinko başına (65 gram), 35 kilokalori üretilmektedir. Bu enerji genelde serbest enerji olarak açığa çıkar ve $dH=dG$ olarak ifade edilmektedir. Isı olarak kayıp olmasına gerek yok, enerji olarak kullanılabilir. Bu iki kısmi reaksiyonu iki farklı hücrede fiziksel olarak ayıralım. Çinkodan bırakılan elektronlardan dıştan giden bir hat kanalı ile hidrojen iyonlarına taşınısın. Elektron yoluna her hangi bir elektrik enerjisi dönüştürücüsü konabilir. Böylece elektron taşınımı işe üretimi ile kombine edilmiş olabilir. İşte bütün elektriksel hücreler bu prensibe göre çalışmaktadır. Şekil 24 de görüldüğü gibi maksimum olarak ne kadar iş yapılabileceği veya çıkarılabileceği (A), hidrojen ile çinko arasındaki elektrik potansiyel farkından (E, volt olarak), hesaplamak mümkündür:

$$A = \frac{2F}{4186} \quad E = -46 \text{ E}$$

Tanıma göre, ayrıca:

$$A = -A \text{ G'dir.}$$

Şekil 25 de bir elektrokimyasal hücrede elektron taşınması görülmektedir. Elektronlar A'dan B'ye bir elektrod ve iletim hattı yardımı ile taşınmaktadır. Bu taşıma olayının serbest enerjisinden de yararlanmak, iş yapmak mümkündür.

1.6.1 İyon Taşıma İşİ

İki kompartıman arasında bir elektrik potansiyel (membran potansiyeli) farkı varsa, z taşınan iyonun elektriksel yükünü ifade eder. Böylece bir iyonun molekülünün ilettiği yük **96500 Coulomb**'dur. Membran potansiyali V

(Volt olarak ifade edilirse), her mol taşınan iyonlar için yapılan elektriksel iş kilokalori olarak:

$$\text{Elektriksel İş} = \frac{95500}{4186} \cdot z \cdot V = 23 \cdot z \cdot V$$

ve 37 °C'de:

$$\Delta G = i \cdot 4 \log \frac{C_2}{C_1} + 23 \cdot z \cdot V$$

Bir kimyasal reaksiyon veya iş Şekil 26 'da görüldüğü gibi, dış depodan içe doğru veya içten dışa doğru bir kimyasal taşınma olarak görülebilir. Bu durumda B sisteme girmekte ve aynı miktarda da A sistemi terk etmektedir. Bu sistemin orta kompartmanı için aşağıdaki eşitliği yazabiliriz:

$$\Delta G = u_B - u_A$$

Reaksiyonun çözeltide olması halinde :

$$\Delta G = u_B^\circ - u_A^\circ + RT (\ln(A))$$

(B) ve (A) konsantrasyonları ifade etmektedir. Bu ilişki,

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{(B)}{(A)} \quad \text{şeklinde yazılabilir. Burada}$$

$\Delta G^\circ = u_B^\circ - u_A^\circ$ ise standart koşullardaki reaksiyonun serbest enerjisidir. A ile B karşılıklı olarak birbirlerini dengelerse;

$\Delta G = 0$ 'dır ve böylece sistem reaksiyon dengesindedir.

A ve B standart koşullarda bulunuyorsa, o zaman

$$\Delta G^\circ = RT \ln \frac{(B)}{(A)} \quad \text{eq}$$

serbest enerji bu şekilde ifade edilebilir.

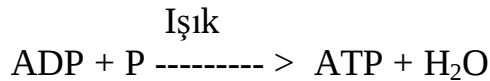
2. Temel Mikrobiyel Metabolizma

Biyoloji (canlı bilimi. virus) olarak ele alınacak olursa önce botanik, zooloji ve mikrobiyoloji olarak üçe ayrılabilir. Mikrobiyoloji ise pikoloji, mikoloji, bakteriyoloji, viroloji ve protozooloji diye alt dallara ayrılabilir.

Mikrop kavramı mikroorganizma ile eş anlamlıdır. Metabolizmalıdır. Metabolizma ise dönüştürme, değiştirme ve madde değiştirme anlamına gelir. Metabolitler madde değiştirmeye, dönüştürmeye etkisi olan vitamin enzimler v.b gibi maddelerdir. Diğer ürünler bir deyişle besin maddeleri ara intermediatlar, nihai ürünler hücre yapı taşlarının ön kademesi olarak hepsi yanyana bir arada çözülmüş halde hücre stoplazmasında bulurlar ve hatta hepsine hücrenin metabolik Pool (havuzu) adı verilmektedir. Biyokimyasal olayların temel prensipleri tüm canlılar için aynıdır.

Metabolizma olayı mikroorganizma içinde gerçekleşen tüm kimyasal reaksiyonları kapsar. Anabolizma ve katabolizma diye iki kısımda ele alınabilir. Anabolizma da polimer, DNA, RNA ve lipid gibi hücre materyali oluşturan biyosentetik reaksiyonlar gerçekleşen kimyasal reaksiyonların tümü görülür. Ayrıca fotometabolizma kavramıda kullanılmaktadır ki, bundan sırasıyla asetat fotometabolizması, prüvat fotometabolizması, format, succinat butürat, asetan ve alkol, glüsin, ve metan metabolizması anlaşılır. Bu kapsamda canlılar için önemli bir unsurda toksik metabolizmalar hücre faaliyetlerinin değişmesinden fonksiyonsuzlaştırmaya kadar değişen etkenlere sahiptir. Metabolik faaliyet gösteren organizmaları enerji kaynağı hammaddelerini (besin) temin edişine göre ototrof ve heterotrof olarak ayırabiliriz. Ototroflar fotolitotrof, fotoorgaotrof, kemolitotro ve kemoorganotrof olarak ayrılabilir. Çizelge 2 de fototrofik metabolizmanın iki tipi bir arada görülmektedir.

Çizelge 2'de de kemotrofik metabolizmanın iki tipi bir arada görülmektedir.



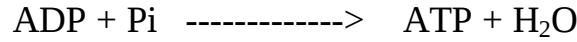
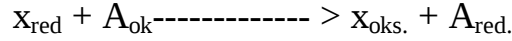
Çizelge 2 : Fototropik metabolizmanın iki tipi

Tip	Elektron verici	Karbon kaynağı	Örnek
Fotoli totrof	H ₂ O H ₂ S, S ⁰ , H ₂	C ₂ O C ₂ O	Bitki mavi-yeşil bakteriler Chromatiaceae Chlorobiaceae
Fotoor-ganotrof	Organik substrat	Organik substrat	

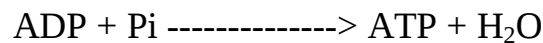
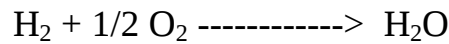
C-ototrof veya C-heterotrof sözcükleri kullanılıyorsa burada karbonun kaynağı gösterilmiş olunur. Halbuki litotrof ve organotrof ise elektron veriminin türünü ortaya koyar.

Canlı ve cansızların oluşturduğu sistem bütünü içerisindeki tüm olaylar, maddenin sahip olduğu unsurlardaki elektriksel değişimlerden kaynaklanır.

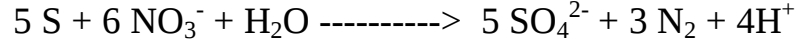
Halbuki bakterilerin büyük bir çoğunluğu ATP'lerini kimyasal reaksiyonlar dan temin ederler.



Yüksek organizmalar elektron verici olarak ($x_{red.}$), sadece organik maddeleri, elektron akışı (A_{oks}) olarak da oksijen kullanılırlar. Halbuki bakteri metabolizmasında durum farklıdır ve bu olayın bir çok alternatifi vardır. Yani elektron verici ve akışı olarak başka başka maddeler kullanılabilir. Eğer bu bakteri organik bileşeni elektron verici ($x_{red.}$) olarak kullanılıyorsa o zaman kemoorganotrof diye adlandırılır (aerob ve anaerob). Anaeroblar nitrat, sülfat veya organik maddeleri elektron absorbtörü olarak kullanılırlar. Kemolitotroflar H₂, H₂S, Fe²⁺, nitrit ve NH₃ gibi inorganik elektron vericileri ($x_{red.}$) kullanılırlar.



Thiobacillus denitrificans'ın neden olduğu reaksiyon:



Kemolitotrofik olarak nitratı indirgemektedir.

2.1 Karbonhidrat Metabolizması

Mikrobiyel metabolizmanın en ağırlık ve önemli kısmını karbonhidrat metabolizması oluşturmaktadır:

- glikoz metabolizması
- fruktoz metabolizması
- laktoz metabolizması
- mannoz metabolizması
- alloz metabolizması
- glükonat metabolizması
- mannitol metabolizması
- sarbotol metabolizması
- inositol metabolizması
- hexuronik asit metabolizması
- pentoz ve pentitol metabolizması
- glüserol metabolizması
- asetil asit bakterilerinin Polyol metabolizması
- etanol metabolizması
- aminoasit metabolizması
- hidrokarbon metabolizması
- vitamin B.6 metabolizması
- riboglorin metabolizması
- steroid metabolizması
- PAH metabolizması
- conmarin metabolizması

2.2 Mikrobiyel Metabolizma Özellikleri

- Yaşayan hücre en büyük ölçüde düzenli bir madde durumundadır.
- Bu düzenli durumunu oluşturma için enerji kullanmaya ihtiyacı vardır.(Enerji girdisi)
- Hücre bu enerjiyi hücredeki metabolikleri kullanarak dönüştürerek sağlar.

- Enerji ise hücreye kimyasal enerji olarak girer.
- Substrat (besin maddesi) enerji bakımından fakir olana kadar parçalanır.
- Açığa çıkan enerji ya enerji gerektiren proseslerde kullanılır, ya da kimyasal enerji olarak hücreye özgü madde depolanır (ATP)

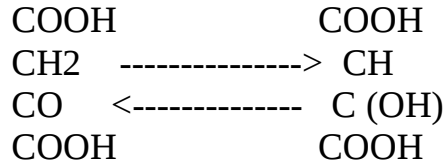
Çizelge 3 : Kemotrofik metabolizmanın iki tipi

Tip	Elektron verici	Elektron Alıcı	Karbon Kaynağı	Örnek
Kemoor-ganotrof	organik sub.	O ₂	organik sub.	Pseudomonas bacili
	organic Sub.	NO ₃ ⁻	organic sub.	Bacillus lichenitornis
	organic sub.	SO ₄ ⁻	organic sub.	Sülfat reducors
	Organic sub.	organic sub.	organik sub.	Clostridia, lacticacid bakteria
Kemolito-trof	H ₂	O ₂	CO ₂	Hidrojen oksitleyici bakteriler.
	H ₂ S	O ₂	CO ₂	Thiobacilli
	H ₂ S	NO ₃ ⁻	CO ₂	Th.denitrificans
	Fe ⁺²	O ₂	CO ₂	Th.ferrooksidans
	NH ₃	O ₂	CO ₂	Nitrosomonas
	NO ₂ ⁻	O ₂	CO ₂	Nitrobacter
	H ₂	CO ₂	CO ₂	Metanogenik bakteriler
	H ₂	CO ₂	CO ₂	Asetobakterium

2.3 Enerji Santralı Olarak Hücre

Hücresinin enerji gereksiniminin çok az miktarı karbonhidratların, yağların ve fazla aminoasitlerinin Asetil-S.CoA'ya kadar parçalanmasından temin edilir. Dörtte üçü veya daha fazlası ise Asetil-S.CoA' nın parçalanmasından sağlanır. Asetil-S.CoA' nın parçalanmasından nihai ürün olarak CO₂ ve H₂O açığa çıkar.

Çok önemli bu olay çok küçük nitrat sellüler taneciklerinde gerçekleşir (Mitokondriyin).



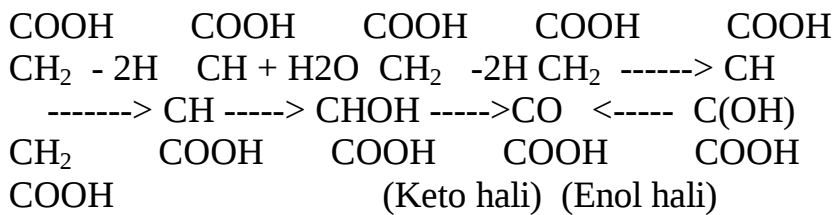
keto hali enol hali
 oksalik sirke asidi



Oksalsirke asidi+ Asetül S.CoA Limon asiti + CoA.SH
 Limonasidi - keto glutarasidi succinat + CO₂

Çok basite indirgenmiş olarak reaksiyonlar bu şekilde özetlenebilir. Limonasitinden ketoglutar asite dönüşürken çok çeşitli ve hepsi bilinen indermediyer adımlar gerçekleşir.

Keto glutar asitinin oksidatif de karboksilleşmesi ve aynı şekilde çok komplike bir olay şeklinde meydana gelir. Olay tamamlanamamıştır. Oksal sirkeasitine ihtiyacımız vardır; Çünkü tüm proseslerin oluşumu ve yürüyüşü buna bağlıdır. Biyokimyasal sistemlerde oksal sirke asidi rejenerasyonunu ken kendini yenilemez, olması idi sürekli sisteme onu vermemiz gerekecektir.



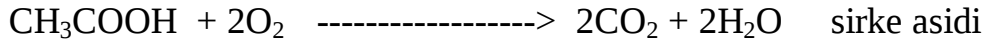
Succinat Fumarasiti Elma asidi Oksalsirke asiti

Bu reaksiyonları katalize eden enzimler mikroorganizma, bitkisel ve hayvansal hücrelerde bulunur. Succinathidragenez iki H-atomunu uygun hidrojen alıcısına taşır ve fümar asidi oluşur. Bu da fümanazın etkisi ile

hidrolize olur ve elma asiti meydana gelir. Elma asiti de malatdehidrogenoz ile de hidrojenize edilir. Sonucu olarak da keton ve enol hali ile oksal sirke asiti meydana gelir.

Sistemdeki bu son adım ise enzim gerektirmeyen tek olaydır ve intramolekular aktarımdan ibarettir.

Sirke asidi en yüksek reaktif Co.A.SH-türevi şeklinde sıklüsa (çevrime) her girişinde oksitlenir. 2 molekül CO₂ oluşur; oksal sirke asidi de rejenere olur. O halde bir oksal sirke asiti molekülü yeterlidir. Tekrar tekrar kullanılabilir.



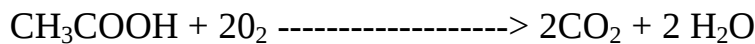
Eğer hidrojen atamları sürekli olarak hücrenin akseptorlarına bağlanırsa, öyle bir an gelirken, çok artar. H₂'lerin depolanacağı yer kalmaz; ve hücre için oksidasyon erken sona erer. Halbuki gerçekte olay böyle değildir; çünkü bir çok hidrojen akseptorları zincir şeklinde yanyana dizilmiştir. Bu dizi düzeninde H- atomu iletilir. Sonuçta intrasellüler pigmente Cytochrom'a verilir. İndirgenmiş hali Cytochromoksidaz'ın varlığı nedeni ile molekül oksijen tarafından tekrar oksitlenir.

Solunum zinciri ile limon asidi sıklüsü enzimleri nasıl beraber çalışırlar?

Limon asidi sıklüsü dört adımdan oluşur:

1. adım = Limon asidi ile ketoglutarasiti arasında
2. adım = Ketoglutarasitin oksidatif de karboksilleşmesi
3. adım = Succinat'ın Fumarasite oksitlenmesi
4. adım = Elma asitinden oksal asite oksitlenme.

O halde 4 çift hidrojen atomu taşıyıcı zincire iletilmektedir. Solunum zinciri boyunca cytochrom'a taşınır; burada 4 molekül indirgenir. Tekrar oksitlenebilmesi için ise 4 oksijen atomuna ihtiyaç vardır. Bu son reaksiyondan sonra 4 molekül su açığa çıkar. Suyun ikisi sıklüsün reaksiyonunda kullanılır. Biri fumarasitini elma asidine dönüştürürler; diğeri de ketoglutar asitin oksidatif dekarboksitleştirilmesinde kullanılır. Özet olarak toplam bir molekül asetat oksitlenir, dört oksijen atomu kullanılır; 2 CO₂ ve 2 H₂O molekülleri açığa çıkar.



Bu denklem sirke asitinin tamamen oksitlenmesini ifade etmektedir. Ancak olay çok komplike ve karmaşıktır. Biyolojik enerji bir bütündür, tumdür. Besin maddeleri, substatlar bir tür metabolik fırına atılıp orada yakılmakta ve enerjiye dönüştürülmektedir. Ancak ateşte olduğu gibi bir anda yanmamakta bir çok adımdan sonra ve küçük enerji paketleri halinde bu paketçikler ileride kullanılmak üzere saklanabilmektedir. Enerji alan ajan ADP dir. (ATP nin parçalanmasından oluşur). Bünyenin (hücrenin) enerjiyi kullanması, ATP nin parçalanması ile sıkı sıkıya ilişkilidir. ATP tüm biyo sentetik reaksiyonlar için gerekli enerji hazır bulundurur. (sentetaz enzimler). İster mekanik ister elektrik ister de kemosentetik aktivite olsun hepsinde ATP kullanılır. Fosfatın enerjisi 8000 cal/g moleküldür.

Glikozun prüvata kadar parçalanması sırasında her oluşan prüvat malekülü için bir molekül ATP meydana gelir. Başka bir ATP molekülüne prüvatın Asetil S.CoA ya dönüşmesi sırasında meydana gelir. Her hidrojen aktarımı sırasında yeni molekül ATP oluşur.

Prüvatın Asetil S.CoA ya oksidatif dekarboksilleşmesi sırasında 4ATP daha oluşur. Toplam 8 ATP her oksitlenen glikoz için 40 molekül ATP üretilir.

Biyosentez için ATP'den enerji dağılımı ise Şekil 27 de görüldüğü gibi olmaktadır.

Çizelge 4: Mikroorganizmalar, makro besin maddeleri, kaynakları ve görevleri

Element	Kaynakları	Metabolizmadaki fonksiyon
C	Org.Bileşikler, CO ₂	Hücre materyalinin anayapı
O	O ₂ ,H ₂ O, org.bil., CO ₂	taşları
H	H ₂ , H ₂ O, org.bil.	
N	NH ₄ , NO ₃ ⁻ , N ₂ ,org.bil.	
S	SO ₄ ²⁻ , HS ⁻ , S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻ org.sülfür bil.	Sistein, metiyonin, tiaminpiro- fosfat CoenzimA., Biyotin ve Lipoik asit nucleikasit, fosfolipid, ve nukleikasit
P	HPD ₄ ²⁻	Nükleik asit, fosfolipid, ve nukleikasit

K	K^+	Hücre inorganik katyon olarak ve bazı enzimlerin kofaktörü
Mg	Mg^{2+}	Bir çok enzimin kofaktörü; membranda hücre duvarında, ve fosfat esteri
Ca	Ca^{2+}	Enzim kofaktörü, ekzo-enzimlerde Ca.dipikolinatda
Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}	Sitokrom'da, ferrookside ve diğer demirsülfürproteinlerde, enzim kofaktörü

Çizelge 5 : Mikrobiyoelementler, kaynakları ve görevleri

Element	Kaynak	Görevleri
Zn	Zn^{2+}	Alkoldehidrogenozda, alkalın fosfatazda, aldolazda, RNA ve DNA Polimerazda
Mn	Mn^{2+}	Bakteri superoksit dismutozda, bazı enzimlerin kofaktörü
Na Cl	Na^{-1} Cl^{-1}	Halofilik bakterilerde bulunur.
Mo	MoO_4^{2-}	Nitrat reduktazda, nitrogenaz da, formatdehidrogenazda bulunur.
Se	SeO_3^{2-}	Glüsin redüktazda, formatdehidrogenazda
Co	Co^{2+}	Co enzim B_{12} 'de, glutamat mutozda,
Cu	Cu^{2+}	Sitokrom oksidazda, oksijenazda

W	WO_4^{2-}	Format dehidrogenazda
Ni	Ni^{2+}	Ureazda, hidrojen oksitleyen bakterilerin yaşaması için gerekli

Çizelge 6 : Vitamin ve benzeri bileşikler metabolizmadaki görevleri

Bileşikler	Metabolizmadaki görevleri
P-aminobezoik asit	Tetra hidrofolik asit prekürsör, koenzime bir karbon biriminin transferini sağlar
Biotin	Katalitik enzim karboksilasyonu reaksiyonunu hazırlar
Koenzim M	Metan oluşumu
Folikasit	Bir karbon birimini tetrahidrolik aside transferini sağlayan koenzim
Hemin	Stokrom prekürsör
Lipoik asit	Pruvat dehidrogenaz kompleksinin prostetik grubu
Nikotonik asit koenzimi	NAD ve NADP prekürsör , birçok dehidrogenaz
Pantotenik asit	Koenzim A'nın prekürsör ve acyl (açıl) taşıyan proteinlerin prostetik grubu
Pridaksin (Vit-B ₆)	Amino asit de karboksilaz ve geçişi sağlayan koenzim, pridoksolfosfat
Riboflavin (Vit B ₂)	FMN (flavin monokleotid) ve FAD (flavin ademin dinükleotid, prekürsör, flavoproteinlerin prostetik grubu
Thiamin (Vit B ₁)	Dekarboksilaz, Transaldolaz ve transketolazların prostetik grubu thiamin pirofosfat

Vitamin B12 (eyanocobalimin)	Koenzim B ₁₂ reaksiyonların yeniden düzenleyicisi örneğin glutamitmutaz
---------------------------------	---

Vitamin K	Elektron taşıma fonksiyonuna sahip, ginon preküsü
-----------	---

Çizelge 7: Organizmaların Beslenme Şekli

Beslenme tarzı	Enerji kaynağı	C-Kaynağı	H-Kaynağı	Organizma
Kemoorgano-troflar	Organik madde (Karbonhidratlar, yağlar, proteinler)	Organik madd.	Organik madd.	Hayvanlar, Mantarlar, Bakteriler
Fotolito-troflar	Işık	CO ₂	H ₂ O(H ₂ S)	Yeşil bitkiler, Bakteriler, Mavi algler.
Fotoorgano-troflar		CO ₂	Organik madde	Bazı bakteriler
Kemolito-troflar	Organik maddeler	CO ₂	H ₂ O	Bazı bakteriler

Açıklamalar:

Chemo : kemo

Organotrophie: organotrof

litotrophie : litotrop

photo : foto : ışık, ışıklı

Çizelge 8 : Fotosentez ile Kemosentezin Karşılaştırılması

Enerji Kaynağı	Enerji Veren	H ₂ Donatörleri	Organizmalar	----
Işık	Chl*---- Chl	H ₂ O ----1/2 O ₂	Yeşil bitkiler	
Işık	Chl*--- Chl-	H ₂ S --- S	Renkli bakteriler	
Hidrojen Sülfür	H ₂ S---- SO ₄ ²⁻	H ₂ O ----1/2 O ₂	Kükürt bakterileri	
Amonyum	NH ₄ ⁺ --- NO ₂ ⁻	H ₂ O----1/2 O ₂	Nitrit oluşturmalar	
Nitrit	NO ₂ ⁻ ---- NO ₃ ⁻	H ₂ O ---1/2 O ₂	Nitrat oluşturmalar	
Demir II	Fe ⁺² ---- Fe ⁺³	H ₂ O ----1/2 O ₂	Demir bakterileri	

Çizelge 9 : Ağır Metaller Yolu ile Mikrobiyel Biyosinüzün Engellenmesine ait Bazı Örnekler

Saprobi Kademeleri	Zn Engelleyici		Cu Engelleyici		Pb Engelleyici	
	Ki	V max	Ki	V max	Ki	V max
	mg Zn/lt	mg O ₂	mg Cu/lt	mg O ₂	mg Pb/lt	mg O ₂
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	g N dak.		g N dak.		g N dak.	
1 polysaprop	-	-	1.75	8.3	-	-
2 polysaprob	1.62	10.33	1.25	11.05	10.50	8.57
3 polysaprob	0.35	14.28	1.25	9.86	7.20	15.87
4 poly-xgmeso saprob	0.48	14.51	1.00	9.86	3.3	15.87
5 x-mesoaprob	1.5	5,32	-	-	-	-

3. Hücreye Maddenin Alınışı ve Taşınması

Besin maddeleri hücrenin içinde parçalanmadan, metabolik yolla dönüşmeden önce, önce hücrenin içine girebilir hale getirilmeli ve hücrenin içine alınmalı ve taşınmalıdır.

Besin maddesinin su ortamında gaz ve veya sıvı şeklindeki taşınmasında etkin iki önemli fiziksel büyüklük vardır: **a.) Difüzyon , b.) Osmoz .**

Eğer iki farklı sıvı veya gaz şeklindeki madde birbiri ile temas ederse, ve ikisi de karıştırılabilirse , molekül hareketleri ile ikisinin konsantrasyonu aynı olana kadar , her hangi bir mekanik etkilenme olmadan , yavaş yavaş birbirlerine nüfuz ederler. Bu olayı difüzyon olarak tanımlamak mümkündür. Sürekli olarak da konsantrasyon eğimi yönünde hareket eder, bu olay **1. Fick Yasasına** göre ifade edilir :

$$dS/dt = k_d.A.dc/dl$$

S = Substrat miktarı (g)

k_d = Difüzyon sabiti (cm^2/s)

A = Kesit alanı (cm^2)

dc/dl = Konsantrasyon eğimi ($\text{g}/\text{cm}^3.\text{cm}$)

Difüzyon sabiti nüfuz eden maddenin molekül ağırlığına ve sıcaklığa bağlıdır. Bir çözeltideki molekülün difüzyonu membrandan geçerek gerçekleşiyorsa , o zaman **osmoz'** dan söz edilir. O sırada oluşan hidrostatik basınca "ozmotik basınç" adı verilir. Osmoz olayı tüm biyokimyasal reaksiyonlarda çok önemli yer tutmaktadır. Su plazma membranına nüfuz ederek içeri girmekte ve hücrenin iç kısımları tarafından alınmaktadır. Örneğin su moleküllerini geçirirler, ancak daha büyük molekülleri içeriye almayabilirler. Bu tür membranlara yarı geçirgen membran "**semipermeabel**" denilmektedir. Olayın kendisi ise "Osmoz" dur. Metabolik faaliyetlerin büyük çoğunluğunda da " Osmoz " olayı gerçekleşmektedir. Membranın her iki tarafında farklı konsantrasyonlarda madde vardır. Membranın gözenek büyüklüğüne bağlı olarak , konsantrasyon dengesi sağlanamaz. Konsantrasyonu küçük olan çözeltinin molekülleri konsantrasyonu yüksek olaninkine doğru hareket eder. Burada hareket eden suyun molekülüdür, suyun içinde bulunan çözölmüş maddenin molekülü veya iyonu değildir. İçeri doğru nüfuz ederken hücrede bir hidrostatik basınç oluşur. Bu değer konsantrasyonlar dengelendiği zaman maksimuma ulaşır. Hücrenin plazması semipermeabel bir membrana sahip olmasaydı, o zaman

bütün hücre içi sıvısı dışarı akardı. Tamamen geçirimsiz olsaydı , dışardan hiç su giremeyecekti.

Diğer taraftan besin maddelerinin taşınması için çözücünün olması, çözmesi ve maddenin de çözünebilir olması çok önemlidir. Çözünürlükde de **Henry Yasası** ele alınmaktadır :

$$C_s = k_s \cdot P_p / p$$

C_s = Doygunluk sabiti (mg/l)
 k_s = Absorbsiyon sabiti (mg/l)
 $P_p = \% \text{ Hac. } (p - p_D)$ P_p = Gazın kısmi basıncı (bar)
 p = Atmosferin basıncı (bar)
 $p_D = C' \text{ de buhar basıncı (bar)}$
 $\% \text{ Hac.}$ = Havanın içindeki ilgili gazın %'si

Molekül kütlesi 600'ün üzerinde olan makromoleküller hücre duvarlarından içeri giremezken, küçükleri girebilmektedir. Besin maddesinin hücre içine taşınmasından sorumlu olan hücre sınır tabakası sitoplazma membranıdır. Besin maddesinin taşınması o maddeye özgü permeazlarının bulunup bulunmayışına bağlıdır. Permeazlar membran proteinleridir. Şekil 28 ' de hücreye maddelerin çeşitli yol ve şekilde taşınışları görülmektedir. Basit difüzyon yolu ile madde taşınması : Besin maddelerinin zorlanmadan hücreye girmesi basit veya pasif difüzyon olarak tanımlanmaktadır. Difüzyon olayı için önemli olan molekülün büyüklüğü ve lipofil özelliğidir. Taşınma hızları çok düşüktür.

Basit difüzyon yolu ile engelleyici maddelerin, zehirlerin ve bazı hücre yabancı maddelerin girdiği bilinmektedir. Kolaylaştırılmış difüzyon olayı: Burada taşıma olayı substrata özgü permeazlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Besin eriyiğinde bulunan madde, madde konsantrasyon gradyanına göre hücre içine alınmaktadır. Aktif taşıma ve grup traslokasyonu hafifletilmiş difüzyon ve substrat özgün transport proteinin etkisi ile olan taşıma arasında bir benzerlik vardır. Hafifletilmiş difüzyondan farkı ise, bunun enerjiye bağımlı olmasıdır.

Grup translokasyonu: Grup Translokasyonunda taşınım sırasında molekül kimyasal olarak modifiye olmaktadır. Örneğin şeker olarak giren bir madde hücre içine şekerfosfat olarak bırakılmaktadır.

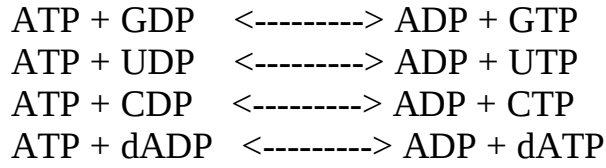
Madde çıkışı : Aslında metabolitlerin hücre dışına atılışı, maddelerin hücre

içine alınışı kadar iyi bilinmemektedir. Madde çıkışı için de transport sistemleri mekanizması, hem de kontrolsüz difüzyon olayı geçerlidir. Demirin hücreye taşınması mekanizması Şekil 29 ' de gösterilmiştir.

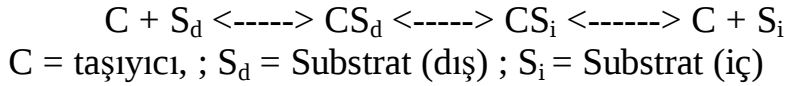
Transport reaksiyon tiplerinden en önemli ikisi :

- a.) Elektron transportu,
- b.) Fosfat transportudur.

ADP ve ATP transfer mekanizmasına katılırlar. Bu olayı katalizleyen enzimlere de "**Kinaz** " adı verilir :



Mobil taşıyıcının etki mekanizması :



Taşıma hızı :

$$V_T = V_{T_{\max}} [S_d] / "K_m" + [S_d]$$

$$V_{T_{\max}} = \text{maksimum taşıma hızı}$$

$$K_m = \text{transport substratının C' ye olan afinitesi}$$

Hücrede de madde bulunduğunu düşünerek net transport denklemini aşağıdaki gibi yazmak mümkündür:

$$V_T = V_{T_{\max}} ([S_d] / "K_m" + [S_d] - [S_i / "K_m" + [S_d])$$

Transport olayı ve hızı :

- pasif veya aktifleştirilmiş difüzyona,
- rotasyona,
- salınımlara,
- ritmik reverzibil konformasyon değişimlerine
- v.d. faktörlere bağlıdır.

Ayrıca, maddenin membranın iki tarafındaki konsantrasyonuna ve maddenin hidrofil, hidrofob özelliğine bağlıdır.

Flux : Membrandan madde taşınmasına verilen addır. Birim zamanda membranın bir alanından geçen madde miktarıdır.

Şekil ' de permeaz ile kombine olmuş aktif taşıma sisteminin şeması görülmektedir. **Permeaz :** Sakkarid ve aminoasiti taşımada rol oynayan transport proteindir.

4. Fermantasyon

Hücre metabolizması için gerekli olan enerjinin metabolizma yolu ile önce kazanılması gerekmektedir. ATP rejenarasyonu, solunum, fermantasyon ve fotosentez arasından en basiti ise fermantasyondur. Aslında fermantasyon ATP rejenere eden metabolizma prosesidir. Burada parçalanmış organik madde ürünleri hem hidrojen donatörü (vericisi) hem de hidrojen akseptörü (alıcısı) olarak işlev görmektedirler. ADP'nin fosforlaştırılmasına neden olan prosesler oksidasyon reaksiyonlarıdır. Oksitlenmiş karbon hücreyi karbondioksit olarak terk etmektedir.

Oksidasyon adımları ise : dehidrojenleştirme, hidrojenin NAD'ye taşınması NADH₂ şeklinde akseptörlerin oluşması, bunların substrat parçalamanın ara ürünlerinin ayrışmasına yardımcı olmasıdır. NAD'in rejenerasyonun da bunlar indirgenir ve indirgenme ürünleri de hücre dışına atılır. Karbonhidratların veya bazı maddelerin fermantasyonu sırasında şu ürünler oluşmaktadır : Etanol, n-Butanol, 2,3-butandiol, Aceton, Propanol, karbondioksit ve molekül halinde hidrojen. Fermantasyon proseslerinde oksijen bir işlev yüklenmektedir. L.Pasteur "Fermantasyon havasız bir yaşamdır" diye tarif eder. Fermantasyon yapan bir çok mikroorganizma obligat anaeorob" yaşayan organizmalardır. Fermantasyon yolu ile ATP rejenerasyonu : Glikozun mikroorganizmalar tarafından fermantasyonu sırasında 1 ile 4 mol arasında ATP rejenere edilmektedir.

Glikoz -----> Produkt

1 - 4 ADP + P_i 1 - 4 ATP

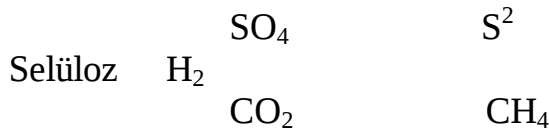
Substrat zincir fosforlaştırılmasında üç reaksiyon meydana gelmektedir :

- 1) 1,3-Bizfosfoglisarat $\xrightarrow[\text{ADP} + \text{P}_i]{\text{ATP}}$ 3-Fosfoglisarat
- 2) Fosfoenolpiruvat $\xrightarrow[\text{ADP} + \text{P}_i]{\text{ATP}}$ Piruvat (Pyruvat)
- 3) Asetilfosfat $\xrightarrow[\text{veya Butirilfosfat}]{\text{ADP} + \text{P}_i}$ Asetat
ATP veya Butirat

4.1 Fermantasyonu Gerçekleştiren Mikroorganizmaların Doğadaki Rolü

Doğadaki madde dolanımında çok büyük görevler üstlenirler. Örneğin otobur hayvanların bitki ile birlikte selüloz aldıklarını düşünelim, hayvanının sindirim sisteminden tamamen parçalanmadan çıktığını düşünecek olursak, bunların anaerobik bir ortama gelmeleri halinde, selüloz parçalayan Clostridien'ler tarafından ve diğer bazı gramnegatif zorunlu anaerob bakteriler tarafından nihai ürün sadece hidrojen olan bir ayrışmanın gerçekleştiğini görürüz.

Hidrojen ise anaerobik beslenme zincirinin başlangıcını oluşturur. Bunun da ana ürünleri metan ve hidrojen sülfürdür :



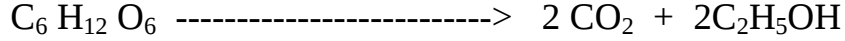
Tatlısu göllerinin sedimentlerinde H_2 metan bakterileri tarafından metana, anaerob körfez ekosistemlerinde de H_2 ve SO_4 sulfat indirgeyen bakteriler tarafından hidrojen sülfüre dönüştürülmektedir.

4.2 Maya ve Bakteriler Tarafından Alkol Fermantasyonu

İlekerin fermantasyonundan etanol oluştuğu bilinmektedir. Bir çok bitkilerde ve mantarlarda anaerobik koşullarda etanol birikimi oluştuğu da bilinen bir gerçektir.

Saccharomyces cerevisiae'ler ana alkol üretici maya kültürüdürler. Gay-

Lussac 1815 yılında olayı aşağıdaki gibi formüle etmiştir:



Maya oksijen ilişkisi :

Glikoz fermantasyonu anaerobik bir olaydır, ancak mayalar da aerobik canlılardır. Anaerobik koşullarda da çok hızlı bir şekilde fermente yapma yeteneğine sahiptirler. Bu sırada kendileri büyümeyebilir veya üremeyebilirler. Havalandırma halinde fermantasyon durur, solunum olayı başlar. Bazı mayalarda çok fazla havalandırma durumunda fermantasyon olayı tamamen durur.

Mayaların yaşamımızda çok yönlü ve yerde kullanıldığı bilinmektedir. Bira mayası, ekmek mayası, yoğurt mayası v.s.

Lactobacteriaceae'lar ve Sütasiti Fermantasyonu:

Sütasiti bakterilerinin hepsi gram-pozitifdir, spor oluşturmazlar, genelde hareketsizdirler. Enerji kazanmaları mutlak surette karbonhidratlara bağlıdır. Metabolit olarak da sütasiti oluştururlar. Lakto bakterilerinin hiç biri sadece glikoz ve amonyum tuzlarından oluşan besin ortamında yaşamaz ve gelişmezler, bir çok tamamlayıcı maddelere ihtiyaç duyarlar, bunlar vitaminler, aminoasitleri, pürin ve pürimidinlerdir. Bundan dolayı da kültürleri kompleks besi yerlerinde hazırlanır, yetiştirilirler. (Bira ekstraktı, domates suyu, katı v.b.)

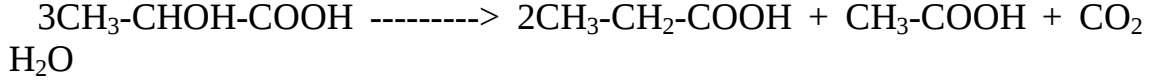
Sütasiti bakterileri su ve toprakta nerede ise hiç bulunmazlar. İekillerine ve fermantasyon tiplerine göre sütasiti bakterileri çizelge 'de gösterilmiştir. Homofermantatif ve heterofermantatif şeklinde olayı gerçekleşmektedir.

Propiyonikasit Fermantasyonu ve Propiyoni Bakterileri :

Propiyoni bakterileri yağasitlerinin, propiyonikasitlerin, sirkeasitlerinin oluşmasında büyük rolleri vardır.

Propiyoni bakterileri geniş getiren hayvanların içkembelerinde bulunur, orada yağasitlerinin ve sirke asitinin oluşmasını sağlar.

Anaerobik koşullarda Propionibacterium , glikozu, sakkarozu, laktozu ve pentozu ; laktat, malat, gliserin, ve diğer substratları Propionat'a parçalar.



Karıncaasiti Fermantasyonu ve Enterobacteriaceae :

Bağırsakta bulunan grupları çok yaygındır, bu nedenle de enteron (bağırsak konluğu) olarak da tanımlanabilirler. Familyanın özelliği olarak Gram-negatif, çepeçevre kamçılı, iyi hareketli çubuksular ve sporsuz canlılar şeklinde özetlenebilir. Fakültatif aerob yaşam tarzları vardır. Bunu sahip oldukları heminlere borçludurlar. Böylece fermantasyon dışında, solunum yoluyla da enerji kazanırlar. Önemli türlerinden biri Escherichia coli'dir. E.Coli bağırsak dışında da belirli bir süre yaşamını sürdürür ve tayini çok kolaydır. Bu nedenle de sulardaki fekal kökenli kirlenmelerin olup olmadığı bu parametre ile kolay tayin edilir. Salmonella typhimurium ise besin maddesi zehirlenmesine neden olan bakterilerden birisidir. Shigelladysenteriae ve akraba soyları dizanteriye neden olan mikroplardır. Vibrio cholerae koleraya neden olan mikroptur. E.coli ve Enterobacter aerogenes'i ayırtetmek için İMVİÇ reaksiyon testleri yapılmaktadır.

Bunun için de ;

- 1.) İndol oluşum (İ),
- 2.) Metil kırmızısı örneği (M),
- 3.) Aseton oluşumu (Voges Proskauer Reaksiyonu) (Vi),
- 4.) Citrat değerlendirilmesi analizleri yapılmaktadır. (İMVİÇ).

Formiat E.Coli'nin bir çok soyu tarafından hidrojen ve karbondioksit ayrışmaktadır. Enterobacter aerogenes'de anaerobik koşullarda çok sayıda asit üretmektedir.

Işıtan bakteriler : bunlar genelde marin bölge mikroorganizmalarıdır. Kemoorganotrof bakterilerdir. Bugüne kadar izole edilen ışıtan bakterilerin çoğu gram-negatif, fakültatif anaerob ve kamçıları ile hareketlidirler. Işık saçma olayı oksijenin varlığında gerçekleşmektedir. Bu nedenle ışın saçma olmayı aerobik oksitlenme prosesi olarak görülmelidir.



Buterikasit - Butanol Fermentasyonu ve Clostridien :

Clostridium 'lar Bacillaceae ailesindendir. Gram pozitifdir. Peritrich kamçıları ile iyi hareket eder. Vejetatif hücreleri çubuksudur. Endosporları da oval veya yuvarlaktır. Sporları da termoresisitenttir. Anaerob koşullarda yaşarlar. Mezofiller için 30 - 40⁰ C , termofiller için de 60 – 75⁰ C en optimum sıcaklıklardır.

Clostridien 'ler glüköz , nişasta, dextrin , pektin, mannit, laktat ve asetat gibi maddelerden buterikasit, glikoz, gliserin, ve pirüvat 'tan butanol; alaminden propiyonikasiti v.s. oluştururlar.

Glikoz -----> Butyrat + 2 CO₂ + 2 H₂
olarak ayrıştığında ; her mol glikoz için 3 mol ATP rejenere olmaktadır.
Butanol, Butyrat, Aceton , 2-Propanal glikoz fermentasyonunun ürünleridir.
Bu fermentasyon sırasında da önce buterikasit oluşmaktadır. Daha sonra da aceton ve butanol .

Etanol da acetyl-CoA' nın indirgenmesi ile oluşmaktadır.Etanol daha ziyade çözügen, ekstraksiyon maddesi ve gıda dondurulmasında yardımcı madde olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Ayrıca da birçok yeni sentezlenen maddelerin hammaddesini oluşturmaktadırlar.

Clostridien'ler toksin oluşturucular ve hastalık yapıcılar olarak da ele alınmaktadır.En yaygın olarak bilineni de tatanusa sebep olan Clostridium tetani 'dir. Bakteri gelişme anında çok yüksek düzeyde zehirli olan metabolit salgılamaktadır. Bu zehir de kas krampına neden olmaktadır.

Diğer bir bilinen de gıdalardaki Botulismus olayıdır. Buna da Clostridium botulinum neden olmaktadır. Yeterli birşekilde sterilizasyonu sağlanamamış et ve fasulya konservelerinde çok iyi gelişme ortamını bulur.Bu ortamlarda oluşturduğu toksin sinirleri ve solunumu felce uğratar; daha sonra da olay ölümle sonuçlanır.Ancak toksin sıcaklığa karşı labil olduğu için 15 dakika pişirince inaktif hale gelir.

5. Fermente Olabilen ve Fermente Olamayan Doğal Maddeler

Karbon , hidrojen , oksijen ve azot atomlarından oluşan bir çok doğal madde normal olarak anaerobik koşullarda ayrışabilirler. Örneğin polisakkaridler , heksozlar, pentozlar, tetrozlar, organik asitler, aminoasitler, purinler , primidinler ...

Bunlara karşılık anaerobik koşullarda fermente edilemez, parçalanamaz olarak ise : alifatik , aromatik hidrokarbonlar, Steroidler, Carotinoidler, Terpenler, v.b. . Bunlar anaerobik koşullarda stabildirler. Fakat aerob koşullarda ayrıştırılabilirler.

6. Anaerobik Koşullarda Elektron Taşınması

Anaerob solunumu " Nitrat Solunumu" , "Sulfat Solunumu" ve "Karbonat Solunumu" olarak ayırmak mümkündür. Şekil 'de aerob ve anaerob solunumlarda elektron transport fosforlaştırması ile enerji üretimi prosesi görülmektedir.

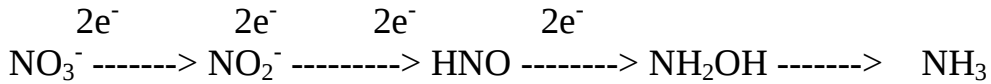
6.1. Denitrifikasyon ve Nitrat Redüksiyonu

Nitrat mikroorganizmalar tarafından iki amaç için kullanılır:

1. Tüm bitkilerde olduğu gibi bakteriler de nitratı azotlu hücre bileşenlerini sentezlemek için azot kaynağı olarak kullanırlar. Asimilasyon amaçlı nitrat redüksiyonu aerob ve anaerob koşullarda da olabilir.

2. Dissimilasyon yolu ile nitrat indirgenmesi veya nitrat solunumu gerçekleşir. Her iki durumda da molübden içeren bir enzim tarafından (Nitrat redüktaz) nitrat nitrite indirgenir.

Nitrat nitrit üzerinden nitrit redüktaz yardımı ile amonyuma kadar indirgenir ve aminoasiti ve diğer hücreye özgün azot içeren maddelerin sentezinde kullanılır :

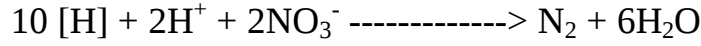


[Nitrat redüktaz B] [Nitrit redüktaz]

Redüksiyon sırasında ara ürün oluşmamakta ve 6 elektron taşınmaktadır.

6.1.1. Nitrat Solunumu : Denitrifikasyon.

Denitrifikasyon bakterileri nitratı nitrit üzerinden gaz şeklindeki azotikioksite ve azota kadar indirgerler :



O halde oksijen olmadığı zaman nitrat, hidrojen alıcı terminali gibi işlev görmektedir.

Topraklar denitrifikasyon yolu ile azot kaybına uğramaktadır. Özellikle su birikintisi olan iyi drenajı olmayan topraklarda nitratlar indirgenmekte ve azot kaybı gerçekleşmektedir. Buna karşı en iyi çözüm toprakların havalandırılmasıdır. Böylece toprağa giren hava nitrat ve nitrit redüktaz enzimlerinin oluşmasını bastırmakta ve durdurmaktadır.

Doğada denitrifikasyonun önemi :

Denitrifikasyon bağlı azotun , serbest ve molekül azota dönüştürüldüğü tek ve önemli bir biyokimyasal procestir. Sürekli olarak nitrat kullanılması ve yıkanması , bitkiler tarafından alınması sonucunda bir gün azot tükenir , atmosferin azot miktarı azalırdı. Normal havalanan topraklarda nihai minerilizasyon ürünü nitrattır.

6.1.2. Nitrat solunumu : Nitratın nitrite indirgenmesi.

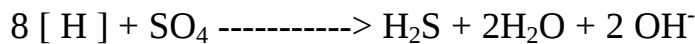
Enterobacter , Escherichia coli gibi bazı fakültatif anaerobik bakteriler de nitratı merkezi hidrojen alıcısı , enerji veren elektron taşıyıcı proses olarak kullanılmaktadır. Nitrat nitrat redüktaz tarafından nitrite kadar indirgenmekte ve ortamda konsantrasyonu artmaktadır. Buna karşılık asimilasyon yolu ile nitrit amonyuma kadar indirgenebilir. (Nitratamonifikasyonu) .

Nitritin su yolu ile insan bünyesine geçmesi "Methaemoglobin" oluşmasına neden olabilir. Oksijen ireverzibil olarak bağlanır, eritrosütler oksijen taşıyamaz hale gelir. Özellikle altı aydan küçük çocuklar için tehlikelidir.

6.2. Sulfat Reduksiyonu :

Sulfat indirgeyen bakterilere aynı zamanda desülfürikantlar da denilmektedir. Substranın hidrojenini sulfata taşıyıp , sulfatı da sulfüre indirgerler. Bu proses sayesinde bir elektron taşınması gerçekleşir.

Sulfat reduksiyonunun nihai ürünü ise : Hidrojensülfürdür.



Sülfat indirgeyen bakteriler obligat anaerob bakterilerdir. Buna karşın nitrat indirgeyen bakteriler ise obligat anaerob değildir.

Desulfovibriolar *D. vulgaris*, *D. desulfuricans*, *D. gigas*, *D. thermophilus*, v.d. . Diğerleri Desulfotomaculum acetoxidans, Desulfobacter, Desulfococcus, Desulfosarcina, Desulfonema ..

Çok sayıda mantar, bakteri ve yeşil bitkiler sülfatı sülfür kaynağı olarak kullanıp aminoasit sentezi yapmaktadırlar. Asimilasyon yolu ile sülfat reduksiyonu gerçekleşmektedir.

Sülfitin sülfüre indirgenmesi :Çeşitli bakteriler tarafından gerçekleştirilmekte ve de sülfid redüktaz enzimi devreye girmektedir. Hiç ara ürün oluşmadan nihai ürüne parçalanmakta ve bir asimilasyon sülfid indirgenmesi gerçekleşmektedir.

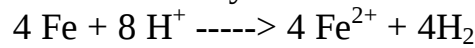
6.2.1. Desülfürükantların Doğada Yayılması ve Önemi

Sülfat indirgeyen bakteriler daha ziyade çürük çamur içinde görülmektedir. Anaerob ayrışma sırasında oluşan yağasitleri, oksiasitleri, alkoller, fermentasyon hidrojeni **Desülfürükantlar** için ideal ortam oluşturmaktadır. Doğada açığa çıkan hidrojen sülfürler sülfat solunumunun son ürünleridir. Kirli sularda 10^4 ile 10^6 arasında ve çürük çamurda da 10^7 civarında **Desülfürükant/ml** bulunur.

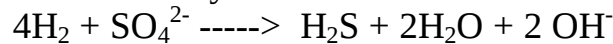
Texas 'daki, Meksiko'daki ve Louisiana'daki kükürt yatakları biyolojik kökenlidir. Vulkanik değildir.

Desulfovibrioların ekonomik önemi çok büyüktür, çünkü içme suyu ve pis su boru hatlarında korozyona sebep olurlar (Şekil).

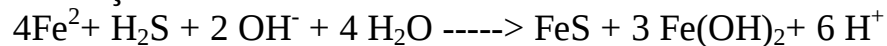
1.) Demir oksidasyonu :



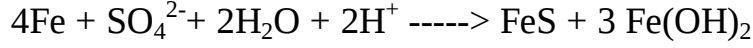
2.) Sülfat reduksiyonu :



3.) Demir çökmesi :



1 + 2 + 3 'ün toplamı :



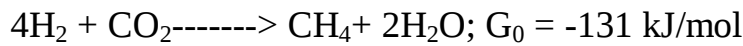
Bu yolla oluşan iletim hattı zararları çok büyüktür. Hannover 'de merkezi atıksu arıtma tesislerine çok uzak mesafelerden taşınan atık sular taşıma anında anaerobik koşullarda ayrışmaya başlamış ve bu sırada da yukarıda anılan reaksiyonlar yoğun bir şekilde gerçekleştiği için de beton boru taç korozyonu gerçekleşmiştir. Bu nedenle de eski kanalizasyo borularının ıslahı ve yenilenmesi çalışmalarına ve araştırmasına Hannover Teknik Üniversitesince 1980'li yılların başında başlanmıştır. Kanal bakım ve onarım masrafları grup arıtmada çok pahalı olması nedeniyle de ; grup arıtma sisiteminden vazgeçme görüşü ağır basmaya başlamıştır.

Desulfovibrio Karadeniz' e adını verdiren bakterilerdir. Çünkü 200 m 'den derin olan yerlerde çok yüksek hidrojen sülfür oluşmasına neden olurlar. Bu da demirle birleşerek siyah çökelekler oluşturur. "Karadeniz" bu şekilde oluşmakta ve adını da almaktadır.

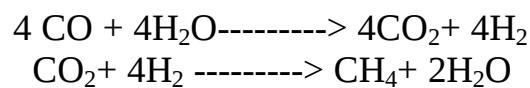
Kükürt solunumu : Kükürt de indirgenerek hidrojen sülfürü oluşturmaktadır. En bilinen bakteri ise Desulfuromonas acetoxidans'dır.

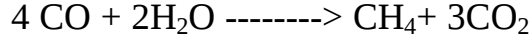
6.3. Karbonat Reduksiyonu ile Metan Oluşumu :

Metan organik maddelerin anaerobik ayrışması sırasında oluşmaktadır. Yaklaşık olarak tüm dünyadaki ayrışmalar sırasında atmosfere ayrılan maddelerin %1 ile 1,5 kadarı metan olarak geçmektedir. Daha sonra hidroksil radikalleri (OH^*);CO üzerinden CO_2 'ye dönüştürülmektedir. Çubuksu şeklindeki Methanobacterium, koklar (Methanococcus) , sipirilyum şeklinde olan Methanospirillumlar metan bakterilerinin belli başlılarıdır. Metan oluşturan bakteriler zorunlu anaerob bakterilerdir. Oksijenekarşı çok duyarlı oldukları için ancak oksijensiz koşullarda aşılabilir veya izole edilebilirler. Anaerobik beslenme zincirinin de son halkasını oluştururlar. Metan bakterileri hidrojeni aktifleştirebilmektedirler . CO_2 hidrojen alıcısı olarak kullanılmakta ve metan üretilmektedir.



Bazı metan bakterileri CO'yu da metan dönüştürmektedir.

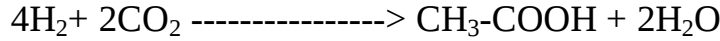




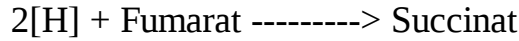
Metanlaştırma yöntemi Çevre Teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

6.3.1. Karbonat Reduksiyonu ile Asetat Oluşması

Metan olusan çok yerde sirke asiti (asetik asit) oluşmaktadır. Asit oluşturunca bakteriler çüütme reaktörlerinde karbondioksiti moleküler hidrojenle aşağıdaki gibi dönüştürmektedirler :



Fumarat Reduksiyonu ile Succinat Oluşumu



6.4. Demir (III) İyonlarının Demir (II) İyonlarına İndirgenmesi:

Toprak bakterilerinin karışık populasyonu sayesinde demir (III) iyonları demir (II) iyonlarına indirgenmektedir.

7. Kısmi Oksidasyonlar

Tam oksitlenme reaksiyonlarında karbonlu bileşikler nihai ürün olarak CO₂'ye dönüşmektedirler. Halbuki buna karşılık "Kısmi Oksidasyon" larda ise organik bileşikler oksijenli ortamlarda belirli ara ürüne kadar parçalanmış ve ayrılmış olmakta fakat oksidasyon tamamlanmamaktadır. Bu nedenle de bu olayı "Kısmi Oksidasyon" olarak tanımlamak yerinde olmaktadır.

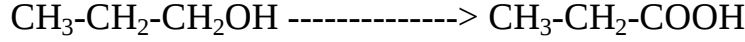
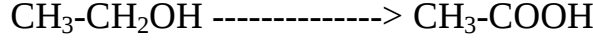
Kısmi oksidasyonun nihai ürünleri ise :

Sirkeasiti , Glokonasiti , Ketoasiti , Oxoasiti, Fumarasiti, Limonasiti, Sütasiti, v.d.

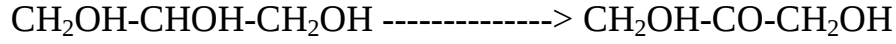
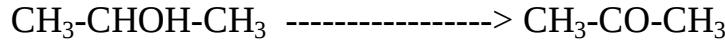
Sirkeasiti Oluşumu ve Sirkeasiti Bakterileri :

Sirkeasiti bakterileri şekerden ve alkolden kısmi oksidasyon yolu ile asit oluşturma yeteneğine sahiptirler. Gram negatif çubuksu bakteriler

(Acetobacter) veya kamçılı (Acetomonas) bakteriler başlıca asit oluşturunu bakterilerdendir. Sirkeasiti bakterilerinin doğal mekanları bitkilerdir. İeker bakımından zengin olan ortamda maya ile birlikte bir biyosönöz oluşturunlar. Sirkeasiti bakterilerinin çoğu kompleks bir besi yerine ihtiyaç duyarlar. Sirkeasiti bakterileri primer alkollerini yağasitlerine oksitlerler :



Sekunder alkollerini de ketona oksitlerler :



Diğer Organik Asitlerin Oluşumu

Ticari olarak bir çok organik asiti ve hatta aminoasitleri mikroorganizmalar yardımı ile üretilmektedir. Limonasiti, elmaasiti, sütasiti, fumarasiti, glukonasiti v.d. üretiminde mantarlardan yararlanmanın yararı yaklaşık elli yıldır bilinmektedir.

Mantarların metabolizmaları zorunlu oksidatifdir. Bu ama hiç bir zaman mantarların organik maddeleri anaerobik koşullarda parçalayamazlar anlamına gelmez. Ancak anaerobik koşullarda etanol veya sütasiti üretirler ; diğer organik asitler aerob koşullarda meydana gelir.

-----> nihai oksitlenme

Şeker -----> İntermediyer ürünler -----> doğrudan bırakma

-----> değişme ve bırakma

Çinko, demir, mangan, bakır , magnezyum, potasyum ve kalsiyum gibi hayati önemi olan izelementlerden birini ortamdan eksiltsek ayrışmanın aksadığı görülür.

Bakteriler Tarafından Aminoasiti Üretimi

Corynebacterium glutamicum zorunlu aerob koşullarda L-Glutaminasitini üretmektedirler. Bu bakterilerin ayrışmayı gerçekleştirilebilmeleri için biyotine ihtiyaçları vardır. Besi ortamındaki biyotin konsantrasyonu asit birikimi

açısından büyük önem arz etmektedir. 2,5 ug biyotin / l besi yeri optimaldir. Çeşitli aminoasileini bu yolla üretmek için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya da devam edilmektedir.

8. Mikroorganizmalar Yolu ile Madde Dönüşümleri

Mikroorganizmalar bir çok sayıdaki maddeleri oldukça spesifik yol ve yöntemlerle oksitlemekte, indirgemekte, hidrolize etmekte, hidritleştirmekte, esterleştirmekte, kondanse etmekte, metilleştirmekte, dekarboksilleştirmekte, desaminleştirmekte, aminleştirmekte, ve daha diğer bir çok reaksiyonları gerçekleştirmektedirler.

Cortison'un ve Hydrocortison'un kimyasal sentezinde otuzun üzerinde adıma ihtiyaç varken, ve iyi verim elde edilemezken; mikrobiyolojik yöntemle 13 adımda iyi ürün elde edilmektedir.

9. Sekunder Metabolitlerin Üretimi

Ço sayıda mantar ve bakteri bir sürü metabolizma atıkları üretmektedirler ki, buna "sekunder metabolit" demek mümkün olmaktadır. Bu metabolitlerin çoğu da Therapeutika, Stimulantien, Yem ilavesi v.d. amaçlar için kullanılmaktadır.

Antibiyotika ve diğer sekunder metabolitler mikroorganizmaların ticari önemini artırdılar.

Antibiyotikler , biyolojik kökenli ve düşük konsantrasyonlarda bile mikroorganizmaların gelişmesini engelleyen maddelerdir (Metabolitlerdir) .

Genelde engelleyici ve öldürücü etki olmak üzere ikiye ayrılır.

Antibiyotik oluşturma yeteneğine genelde ; Aspergillales , Actinomycetes grubuna giren mantarlarda ve bazı bakteriler de vardır. Bugüne kadar 2000 'nin üzerinde bakteri karakterize edilmiştir.

9.1. Mycotoxin ' in Salgıları

Mikotoksinler belirli mantarların sekunder metabolitleridir. Mantarlar tarafında üretilen antibiyotik olarak da kabul edilebilir. Bunlar yüksek bitkilere ve hayvanlara öldürücü toksik etki yapabilirler. Aflatoksin yüzünden bit zamanlar binlerce hindinin ölümü olayı yaşanmıştı. Yem içinde bulunan Aspergillus flavus , A. parasiticus, A. oryzae ve diğer mantarlar Aflatoksinin oluşmasına neden olmaktadır. Aflatoksinler de kanserojen bir özelliğe sahiptir.

9.2. Diğer Sekunder Metabolitler

Vitaminler de mikroorganizmaların metabolitleridir; burada mikrobiyel üretilene Riboflavin'i ve Vitamin B₁₂ 'yi örnek olarak verebiliriz.

Riboflavin'i Ascomycet'ler tarafından salgılanmaktadır. Bazı mayalar ve bakteriler de Riboflavin üretebilirler.

Vitamin B₁₂ üretimi için Propionibacterium , Clostridium ve Streptomyces'ler uygundur.

9.3. Mikrobiyel Üretilen Diğer Ürünler

Mikroorganizmalar yardımı ile çok sayıda polisakkaridler, enzimler, antigenler, ve zehirler üretilmektedir. Ticari önemi olan ürünlere bir kaç örnek :

Dextran : kan plazması yedek parçası ;

Alginat : çözülen puding, tekstil için apretur ;

Xanthan : İçeceklere ilave ve katkı maddesi, krema , ;

Pullulan :Besinleri kaplamak için jele , ;

Curdan : Puding için jele ,

Enzim preparatları : Mikrobiyel üretilen enzimlere örnek aşağıda verilmiştir.

Invertaz ; tatlılar için invert şeker üretiminde,

Proteaz ; temizleyici katkı maddesi , deri işletmelerinde

Pektinaz ve pektinolitik enzimler : Meyva suyu arıtılmasında,

Lipazlar : tabaklama ve deterjan katkı maddesi ,

Glikoz oksidazlar : glukonasiti üretilmesinde,

Heksoz izomerazlar : glikozdan fruktoz üretilmesinde ,

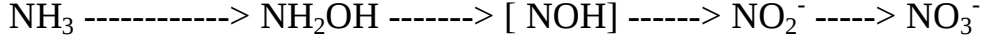
Amülaazlar : glikoz şurubu üretilmesinde ve apretur nişastanın uzaklaştırılmasında,

Sellülozlar : Selülozdan glikoz üretilmesinde ...

10. Mikroorganizmalar "Biyokimyasal Fabrikalar "

Günümüzde gelişen biyoteknoloji sayesinde ; mikroorganizmalar "Biyokimyasal Fabrikalar " olarak kullanılmaktadır. Bakteriler, mayalar, mantarlar ve mikroalgler yaklaşık 8000 yıldır insanlığa besin maddesi ve

Amonyum oksitlenmesinin reaksiyon adımı :



Topraktaki Nitrifikasyonun Önemi :

İyi havalanmış topraklarda ayrışan azotlu organik maddelerden açığa çıkan amonyum hemen oksitlenmektedir. Katyonların anyonlara dönüştürülmesi ise toprağın asitleşmesine neden olmaktadır. Bu da potasyum , magnezyum, kalsiyum, ve fosfat gibi minerallerin çözülmesine neden olmaktadır. Amonyum toprakta iyi tutulurken , nitrat kolay yıkanmaktadır.

Heterotrof Nitrifikasyon :

Ototrof nitrifikanların dışında, heterotrof bakteri ve mantarların da amonyumu nitrata dönüştürmektedir. Bazı mantarlar da amino azotunu veya amonyumu nitrata oksitlemektedirler. Ototrof nitrifikantların şansı olmayan asitik toprak ortamında heterotrof nitrifikantlar nitrat oluşmasını sağlamaktadırlar.

Geri dönüşlü elektron transportu ve hücre verimi : Amonyum, nitrit, kükürtlü bileşikler, veya demir oksitleyen ototrof bakteriler enerji bakımından olumsuz taraftadırlar. Substratlarının pozitif redoks potansiyeli çok yüksektir.

$\text{NH}_4^+/\text{NH}_2\text{OH}$ 'ın normal potansiyeli +899 mV ; $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ise +420 mV ; $\text{NO}_2^-/\text{NH}_2\text{OH}$ ---> + 66 mV ; $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ +770 mV iken ; NAD/NADH_2 için - 320 mV .

Hücre verimi :

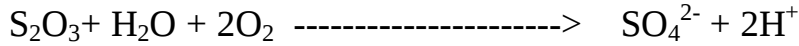
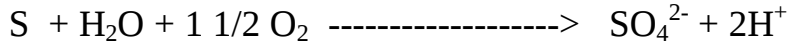
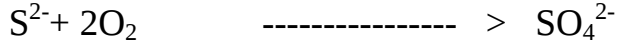
1 g hücre kuru maddesi üretilebilmesi için Nitrosomonas bakterileri 30 g NH_3 kullanmaktadırlar.

1 g hücre kuru maddesi üretilebilmesi için Escherichia coli bakterileri 2 g glikoz kullanmaktadırlar.

1 g hücre kuru maddesi üretilebilmesi için Thiobacillus ferrooxidans 156 g Fe^{2+} kullanmaktadırlar.

İndirgeyen Kükürtlü Bileşiklerin Oksitlenmesi :

Thiobacillus grubunda olan bakteriler çeşitli kükürtlü bileşiklerini oksitleyebilmektedirler. Nihai ürün olarak da sulfat oluşmaktadır :



İpliksi ve Diğer Kükürt Bakterileri :

Beggiatoa , Thiothrix ve Thioploca renksiz ipliksi bakteriler sedimentlerde , lagunlerde , yavaş akan sularda , siyah renkli çamurların yüzeylerinde oluşmaktadır.

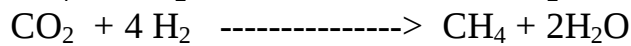
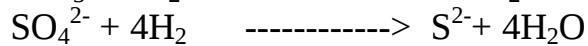
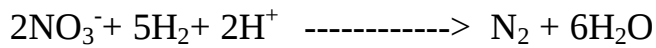
Demir (II) 'nin Oksitlenmesi :

Thiobacillus ferrooxidans 'lar Demir (II) 'i Demir (III) 'e oksitlemektedir-ler :

$$4 Fe^{2+} + 4H^+ + O_2 \text{ -----} > 4Fe^{3+} + 2H_2O$$

Moleküler Hidrojenin Oksitlenmesi :

Anaerobik koşulların hakim olduğu çevresel ortamlarda (su, toprak, çamur, çöp, v.d.) organik maddelerin ayrışması sonucu hidrojen açığa çıkmaktadır. Bu hidrojen ise çok sayıdaki bakteri türleri tarafından değerlendirilebilmektedir. Bakteriler H₂'yi sulfatı indirgeyerek hidrojen sülfüre ; veya karbondioksiti de metana oksitlemektedirler.



Aerob Hidrojen Oksitleyen Bakteriler :

Oksijeni merkezi elektron alıcısı olarak kullanıp hidrojeni aerobik koşullarda oksitleyen bakterilerdir. (Patlama gazı bakterileri) . Bunlar karbondioksiti tespit etme yeteneklerine sahiptir. Ototroftur.

Bazı aerob hidrojen bakterileri karbonmonoksiti de oksitleyebilmektedirler.

Taksonomik olarak bakıldığında bir dizi heterojen grublardan oluştuğu görülür:

Pseudomonas, Alcaligenes, Aquaspirillum, Paracoccus, Nocardia, Bacillus v.d.

Hidrojen Değerlendirmesi ve Enerji Metabolizması :

Hidrojen hidrogenaz enzimlerinin yardımı ile madde metabolizmasının içine alınmaktadır. Aerob hidrojen bakterilerinde iki tür hidrogenaz enzimi vardır:

a) Cytoplasma 'da lokalize olan çözünebilen , NAD'yi indirgeyen hidrogenaz enzimi; b) Membranda bağlı olan hidrogenaz enzimi. Çok az sayıda bakteri bu iki enzimi de içermektedir. Hidrojen bakterilerinin büyük çoğunluğu memrana bağlı hidrogenaz enzimini içerirler.

Heterotrof ve Miksotrof Yaşam Tarzı :

Anorganik besin maddesi ile organik besin maddesi yanyana bulunursa ; bazı hidrojen bakterileri miksotrof olarak yaşayabilirler. Organik maddeleri hücre yapı taşlarını oluşturarak asimile ederler. Sentezler için gerekli olan enerjiyi de indirgenmiş anorganik bileşiklerin oksitlenmesi ile sağlarlar. Miksotrof yaşam tarzı bir çok fakültatif ototrof organizmalarda görülür.

Substrat Değerlendirilmesinin Düzenlenmesi :

Bazı hidrojen bakterileri substrat değerlendirilmesinde sıkı kontrol altında yaşamaktadırlar. Örneğin % 80 H₂ ile %20 O₂ gaz karışımı ile inkubasyon uygulandığında , ne enzim oluşmakta ne de hücre gelişebilmektedir. Fruktöz parçalanması için gerekli olan enzimlerin oluşması engellenmiş olmaktadır.

Karbonmonoksit Değerlendiren Bakteriler (Carboxidobakteriler) :

Karbonmonoksit doğada aerobik ve anaerobik koşullarda üretilmektedir. Bu da çok sayıdaki bakteriler tarafından karbondioksite oksitlenmektedir. Pseudomonas carboxidovorans .

Ribulobifosfat Siklusu Yoluyla Karbondioksit Bağlanması, Tespiti

Karbondioksiti tek karbon kaynağı olarak kullanan tüm organizmalar , **Ribulobifosfat Siklusu Yoluyla** (Calvin-Bassham-Cyclus) onu bağlamaktadırlar. Aerob kemolitoototrof bakteriler, tüm fototrof bakteriler, Cyanobakteriler, ve yeşil bitkiler bu organizmalara dahildirler. Siklus üç aşamada tamamlanmaktadır: 1.) Karboksilleşme reaksiyonu, 2.) Redüksiyon, 3.)CO₂-alıcı molekülünün rejenerasyonu .

Heterotrof canlıların da karbondioksite ihtiyaçları vardır ve bunu metabolizmalarına almaktadırlar. İntermediyer metabolizma .

Fototrof Bakteriler ve Fotosentez :

Bunları iki gruba ayırmak mümkündür : a) Purpur bakterileri, b) Yeşil bakteri-ler. Fotosentezleri sırasında da oksijen üretmezler (anoksijen fotosentez). Bunlar tipik su bakterileridir , tatlı ve tuzlu sularda bulunurlar. Organik bileşiklerin indirgenmiş hidrojenini hidrojen vericisi olarak kullanırlar.

Kırmızı, turunc , yeşil renkte tek hücrelilerdir.

Cyanobakteriler ise suyu hidrojen vericisi olarak kullanırlar, oksijen fotosentez (oxygene Photosynthese) yaparlar.

Yeşil ve Purpur Bakterileri :

Anoksijen fotosentez yapan fototrof bakteriler iki büyük gruba ayrılırlar;

a) Yeşil ve b) Purpur Bakterileri .

Kükürtlü ve Kükürtsüz Purpur Bakterileri :

Chromatiaceae (Kükürtlü Purpur Bakterileri) ; Kükürtlü purpur bakterileri intraselüler depolanmış, kuvvetli ışık kıran kükürt bilyaları tarafından kolayca tanınmaktadır. Chromatium okenii 5µm kalın, 20 µm uzun ; Thio-spirillum jenense 3,5 µm kalın; 50 µm uzun . Büyük Chromatie 'ler böbrek şeklindedir.

Kükürtsüz Purpur Bakterileri :

Rhodospirillaceae (kükürtsüz purpur bakterileri); Tüm bilinen kükürtsüz

purpur bakterileri iki takım olarak ele alınmaktadır. Çubuksu olan türleri Rhodopseudomonas takımındandır; Spirilyum şeklinde olanlar da Rhodospirillum takımındandır.

Kükürtsüz purpur bakterilerin gelişmesi hidrojen sülfür tarafından engellenmektedir. Bazıları hoşgörü ile davranabilmekte ve hatta karbondioksit tespitinde hidrojen vericisi olarak kullanabilmektedir.

Fototrof Yeşil Kükürt Bakterileri (Chlorobiaceae) :

Chlorobium vibrioforme ve C. limicola gibi yeşil renkli olanlar ve Chlorobium phaeobacteroides gibi kahverengi olanlar ; yıldız şeklinde agregasyon oluşturanlar ve ağ oluşturan şekilleri "Yeşil Bakterilere " dahildirler.

Fotosentez Aygıtlarının Pigmentleri ; fotosentez pigmentleri sayesinde , fototrof bakteriler yoğun suspensiyonda göze yeşil, mavi yeşil, purpur viyole (mor), kırmızı, kahverengi veya diğer renklerde görünürler.

Pigmentlerin Yeri ; Purpur bakterilerinin fotosentetik pigmentleri intrasitoplazma membranının içinde bulunmaktadır

Pigment Sentezinin Regulasyonu ; fotopigment sentezinin regulasyonu çeşitli gelişme koşullarına bağlıdır. İlk başta ışık şiddetine, oksijene

Fototrof Bakterilerin Metabolizması ; bunların metabolizmaları sayısız problemlerle doludur. Bunlardan bir kısmı çok yönlüdür. Çok sayıdaki kükürtsüz bakteri hem ışıktaki anaerob hem de karanlıkta aerob yaşayabilmektedirler. Bazı grupları da zorunlu anaerobtur, ve zorunlu fototrofturlar. Çoğu hidrojeni, bazıları hidrojen sülfürü, veya kükürtü hidrojen vericisi olarak kullanırlar. Karbondioksit tespit, organik madde asimile edilir. Fototrof bakteriler fizyolojik açıdan bakıldığında, çok yönlü organizmalar olduğu görülür.

Fototrof bakterilerinin büyük bir çoğunluğu azotu tespit etme yeteneğine sahiptirler.

Fototrof bakterilerde polisakkarid, polifosfat v.b. gibi yedek besin maddelerinin depolandığı görülür.

Fototrof Bakterilerinin Yayılma Sahası

Fototrof bakteriler sucul ekosistemlerin anaerobik bölgelerinde bulunurlar. Kükürtlü purpur bakterileri çamurların üstünü koyu şarap kırmızısı bir renkle örterler. Fazla üreyince de mercimek görüntüsü ile su yüzeyini kaplarlar. Mevsimsel koşullara bağlı olarak da durgun sularda , metalimniyon (atlama) tabakasının altındaki anaerobik bölgelerde kütleler halinde kükürtlü purpur bakterilerinin geliştiği gözlenmektedir. Burada hidrojen sülfür, karbondioksit ve organik maddeler ihtiyacı karşılamak üzere hazır bulunmaktadır.

Oksijen Fotosentez

Oksijen fotosentezde iki pigment sistemi arka arkaya devreye girmiştir. Uzun dalga boylu uyarılabilir, pigment sistemi Sistem I ; kısal dalga boylu uyarılabilir pigment sistemi Sistem II; fotokimyasal aktif Sistem I'in reaksiyon merkezi Chl a_1 'i içermektedir. ($P=700$). 1. foto reaksiyonun elektron vericisi olarak görev görür. Sistem I'in anten pigmentleri kanalı ile soğurulan ışınlar , reaksiyon merkezine enerji olarak iletilir. Chl a_1 de uyarılır. Bu uyarma ile Chl a_1 oksitlenir ve Chl a_1^+ oluşur. Elektron emisyonu , ve boşluğu meydana gelir. Bu boşluk ise başka elektronlar tarafından doldurulur. (Şekil 30) . Reaksiyon sonunda **oksijen oluşur**.

Sistem II'in reaksiyon merkezi Chl a_{11} ($=P680$) 2i foto reaksiyonun primer elektron vericisidir. Bu Sistem II'in anten pigmentleri kanalı ile soğurulan ışınlar tarafında uyarılır , reaksiyon merkezine enerji olarak iletilir. Elektron emisyonuna neden olur. Sistem II 'in elektron vericisi "su" dur.

Bu iki pigment sistemi bir elektron taşıma zinciri yolu ile birbirine bağlıdır. Seri halinde işbirliği yaparlar. En önemli bağlayıcı halka ise "Photochinon" dur. Elektron depolayıcısı olarak görev görür ve on elektron depolar. En azından on elektron zinciri bir bir ortak elektron deposu sayesinde birbirlerine bağlanır.

Anoksijen Fotosentez

Anoksijen fotosentezde sadece bir fotoreaksiyon vardır. Bu dairesel bir ışık reaksiyonuna neden olur. Fotosentez ortamdaki indirgenmiş organik maddelerin varlığına bağlıdır. **Oksijen oluşmaz**. Hakiki ışıklı reaksiyon bitkilerdeki 1. ışıklı reaksiyonla analogdur. Karmaşık reaksiyon ve elektron taşınması Şekil 'de görülmektedir.

Fotosentez sayesinde ışık kimyasal enerjiye dönüşür. Dünyada çok sık

gerçekleşen bir kimyasal reaksiyondur. Organik maddelerin yeni sentezi, fosil enerji kaynakları, v.d. buna bağlı olarak insanlığın hizmetindedir.

Halobakteriler Tarafından Işık Enerjisinin Kullanılması

Halobacterium türleri , fizyolojik açıdan ileri düzeyde uzmanlaşmış bakterilerdir. Bunların yaşam yerleri çok yüksek tuz konsantrasyonunun bulunduğu ortamlar veya tuz çözeltileridir. Ölü Deniz , Utah 'daki Büyük Tuz Gölü, tuz kanalları örneklerinde olduğu gibi. Bu bakterilerin bu yaşam ortamlarına uyum sağlamalarının birinci nedeni, hücre içindeki tuz konsantrasyonu ile hücre dışındaki tuz konsantrasyonunun aynı olmasıdır. Halobakterilerinin de normal murein hücre duvarları yoktur.

Moleküler Azotun Tesbiti

Sadece prokaryotik mikroorganizmalar atmosferdeki azot rezervuarını kullanıp moleküler azot olarak tespit etme yeteneğine sahiptirler. Ya tamamen özgür ve serbest yaşayarak ya da yüksek bitkilerle ortak yaşayarak N_2 'i onlara iletirler ve organik maddenin bünyesine geçmesini sağlarlar. Bitki yolu ile de toprağa protein iletilmiş olunur. Legüminozlar (Rhizobium leguminosarum, R. meliloti, R. lupini , R. japonicum v.d.) sembiyoz yaşam yolu ile yılda 100 - 300 kg N /ha .yıl geçmesini sağlarlar. Bu serbest yaşayan bakteriler (Azotobacter, Clostridium) tarafından ise yaklaşık ; 1 -3 kg N/ ha.yıl . Ayrıca havadaki kirlilik düzeyine bağlı olarak da yağışla toprağa ; 3 - 30 kg N/ha.yıl ulaşır.

Nitrogenaz enziminin en önemli yapı taşı molübden'dir. Gerekli bir ağırmetaldir. Legumunozların azot tespit edebilmeleri için ayrıca kobalta ihtiyaç vardır.