

12.Sınıf Biyoloji Konu Özetleri

2.Ünite : Canlılarda Enerji Dönüşümleri

4.Bölüm : Hücresel Solunum

2.4.1. HÜCRESEL SOLUNUMUN ÖNEMİ

Hücreler, canlılığını devam ettirmek ve çoğalmak için enerjiye ihtiyaç duyar. Fotosentezle üretilen organik besinler ve oksijen, solunum olayında kullanılarak enerji elde edilir. Hücrelerde; glikoz, yağ asidi, gliserol, amino asit gibi moleküllerin yapısındaki kimyasal bağ enerjisi ile ATP sentezlenmesine **hücresel solunum** denir.

Tek hücreli ve çok hücreli canlıların her bir hücresinde birçok yapım ve yıkım tepkimeleri gerçekleşir. Canlıların beslenme yoluyla aldıkları bileşiklerin kimyasal bağlarındaki enerjiyi açığa çıkarmaları ve çıkardıkları enerjiyle yeni bileşikler sentezledikleri tepkimelerin tümü metabolizmadır.

Metabolik faaliyetlerin büyük bir bölümünde enerji harcanır. Bu enerji hücresel solunumla üretilen ATP molekülünden karşılanır. ATP, dış ortamdan veya diğer hücrelerden alınamaz. Hücrelerin dolayısıyla canlıların varlığını sürdürmesi, hücresel solunumun kesintisiz bir şekilde devam etmesine bağlıdır.

Hücresel solunum; oksijenli solunum, oksijensiz solunum ve fermantasyon olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Oksijen ve enzimler yardımıyla enerji verici organik moleküllerin H₂O ve CO₂'ye kadar parçalanması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenmesine oksijenli solunum denir. Glikozun hücre sitoplazmasında oksijensiz olarak yıkılıp enerji elde edilmesine oksijensiz solunum denir. Fermantasyon ise besinlerin yapı taşlarının oksijen kullanmadan kısmi olarak yıkılıp ATP elde edilmesi olayıdır.

Oksijenli Solunum

Oksijenli solunumda besinlerin yapı taşları, enzimler ve oksijen sayesinde CO₂ ve H₂O gibi inorganik maddelere parçalanır. Bu sırada fermantasyona göre daha fazla ATP üretilir. Bu nedenle oksijenli solunum yapan canlılarda metabolizma oldukça hızlıdır.

Oksijenli solunum, bazı prokaryot canlılar ve ökaryotlarda gerçekleşir. Oksijenli solunum, prokaryot canlılarda sitoplazmada başlayıp solunuma yardımcı ETS elemanlarını taşıyan hücre zarı kıvrımlarında tamamlanır. Ökaryot canlılarda ise oksijenli solunum, sitoplazmada başlayıp mitokondride devam eden enzimsel tepkimelerle gerçekleşir.

Mitokondrinin Yapısı

Mitokondri, çift birim zarla çevrilidir ve mitokondrinin dıştaki zarı düzdür. İçteki zarı ise dar alanda geniş bir yüzey oluşturacak şekilde girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahiptir. Bu kıvrımlı zar yapısı, solunum yüzeyini artırarak daha fazla enerji üretilmesini sağlar.

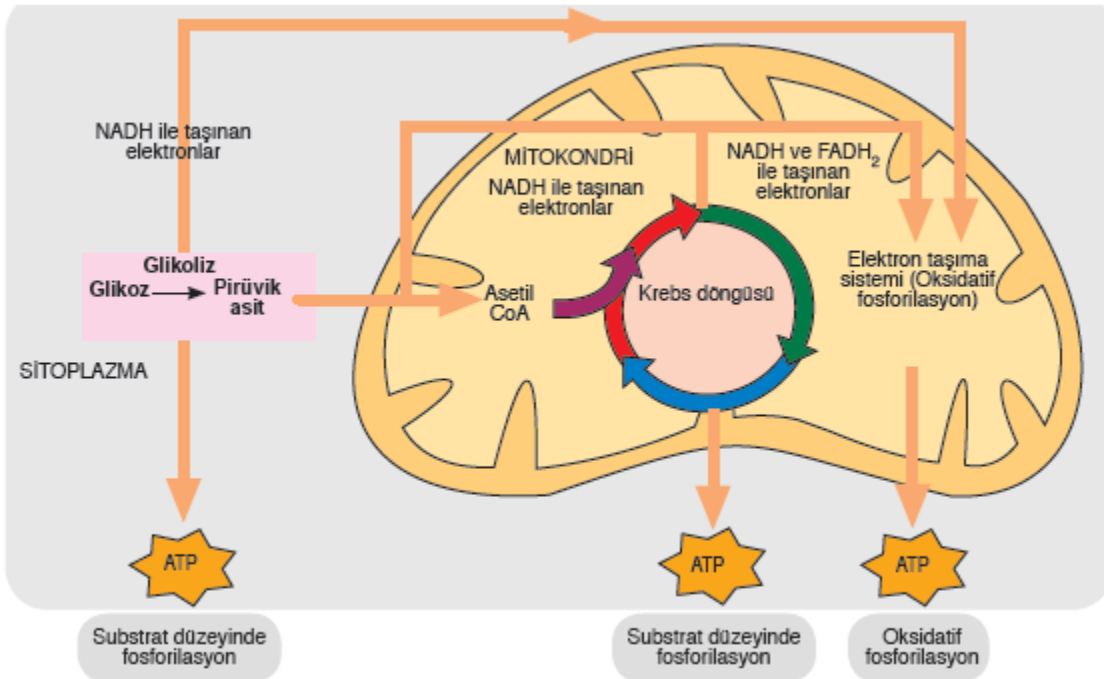
İç zarın kıvrımlarına krista, iç zar içinde yer alan sıvıya ise matriks denir. Krista ve matrikste oksijenli solunumda görev alan enzimler bulunur. Ayrıca matrikste; mitokondriye özgü olan DNA, RNA ve ribozomlar yer alır (Görsel 2.17). Bu sebeple mitokondriler, hücrenin kontrolü altında çoğalabilir ve yapılarına uygun proteinleri sentezleyebilir. Mitokondrilerin sayısı, hücrelerin yapısına ve enerji ihtiyacına göre hücreden hücreye farklılık gösterebilir. Örneğin çizgili kas, sinir, kalp ve karaciğer hücrelerinde mitokondri bol miktarda bulunurken yağ doku hücrelerinde ise çok az bulunur. Düzenli egzersiz yapmak, mitokondri sayısını artıran önemli bir aktivitedir. Bu yüzden hangi yaş döneminde olursak olalım mutlaka fiziksel aktiviteye dayalı egzersizler yapmalı ve bunları davranış hâline getirmeliyiz.



Görsel 2.17: Mitokondrinin yapısı

Fermantasyona göre daha fazla enerji kazancı sağlayan oksijenli solunum; glikoliz, pirüvik asitten asetil - CoA oluşumu, krebs döngüsü ve elektron taşıma sistemi (ETS) evrelerinden oluşur. Ökaryot canlılarda oksijenli solunumun glikoliz evresi, sitoplazmada; pirüvik asitten asetil - CoA oluşumu, krebs döngüsü ve ETS evreleri ise mitokondride gerçekleşir (Görsel 2.18).

Oksijenli solunum sırasında monomer yapıları organik besinler, enzimlerin kontrolünde kademeli olarak yıkılır ve ATP sentezlenir. Bazı reaksiyon basamaklarında monomer yapıları besinlerin yıkılması sırasında substratlardan ayrılan fosfat molekülleri, ADP molekülüne bağlanarak substrat düzeyinde fosforilasyon ile ATP sentezlenir. Bazı reaksiyon basamaklarında ise monomer yapıları besinlerin yıkılması sırasında hidrojen atomları açığa çıkar. NAD ve FAD molekülleri ile taşınan bu hidrojen atomlarındaki enerjiden ETS aracılığı ile ATP sentezlenir. Bu şekilde gerçekleşen ATP sentezine oksidatif fosforilasyon denir.



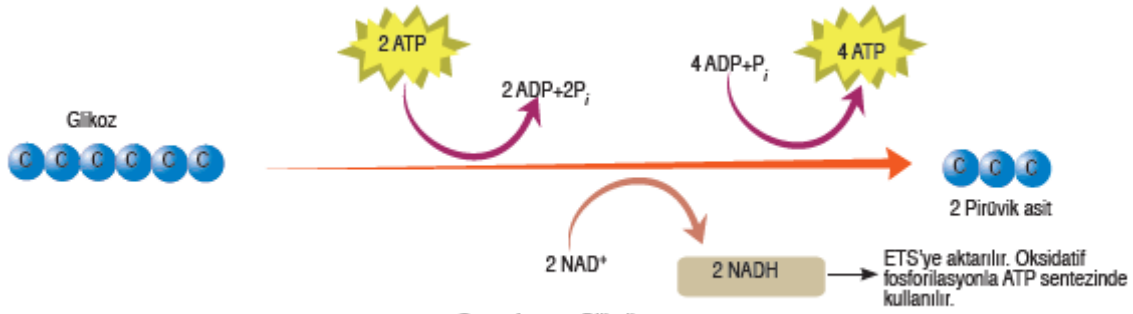
Görsel 2.18: Oksijenli solunuma genel bakış

Oksijenli Solunum Evreleri

1. Glikoliz

Hücresel solunumda enerji verici organik molekül olarak glikoz kullanıldığında gerçekleşmesi zorunlu ilk tepkime glikoliz olayıdır. Glikoliz ile solunumda tüketilecek 6 karbonlu glikoz, çeşitli enzimlerin kontrolünde 3 karbonlu pirüvik aside (pirüvata) dönüştürülür. Bu dönüşüm sırasında ATP hem tüketilir hem de üretilir. Kısaca glikoliz, glikozun pirüvik aside kadar parçalanması sırasında bir miktar ATP'nin üretildiği enzimsel tepkime dizisidir (Görsel 2.19).

Glikoliz sırasında kararlı glikoz molekülünü solunum reaksiyonlarına katılacak kadar kararsız hâle getirmek için ATP harcanır. Daha sonraki aşamalarda ise substrat düzeyde fosforilasyon ile ATP sentezlenir ve glikoz, 2 pirüvik aside dönüşür. Glikoz molekülünün solunum tepkimelerine katılabilmesi için 2 ATP harcanır ve 2 tane 3C'lu pirüvik asit meydana gelir. Tepkimeler sonucu 4 ATP üretilir ve bu sırada bir çeşit koenzim olan NAD (nikotinamid adenin dinükleotit) molekülleri, oluşan organik moleküllerden hidrojen alarak NADH oluşturur. Ökaryot hücrelerdeki glikoliz sırasında ara ürünlerden ayrılan hidrojenler, NADH formunda mitokondrinin kristasına aktarılır. Bu hidrojenler, oksidatif fosforilasyonla ATP sentezinde kullanılır.



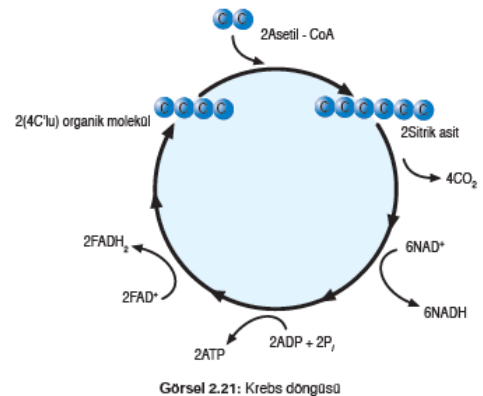
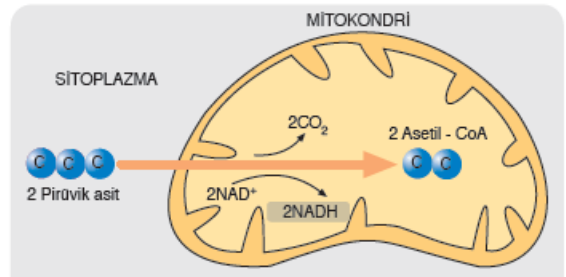
2. Pirüvik Asitten Asetil - CoA Oluşumu

Krebs döngüsü başlamadan önce mitokondri matriksine geçen 3C'lu pirüvik asitler, CO₂ çıkışı ve NADH oluşumu ile asetil - CoA (asetil koenzimA) adı verilen 2C'lu bileşiğe dönüşür (Görsel 2.20).

Ortamda yeterince oksijen bulunmazsa pirüvik asit; asetil - CoA'ya dönüşemeyeceği için mitokondriye geçemez. Etil alkol ya da laktik asit fermantasyonu tepkimelerine katılır. Bu anlamda asetil - CoA oluşumu, hücre içerisinde yeterli miktarda oksijen bulunduğunu gösteren en önemli ölçüttür.

3. Krebs Döngüsü

Krebs döngüsü, 2C'lu asetil - CoA molekülünün mitokondri matriksinde hazır bulunan 4C'lu organik molekülün enzim kontrolünde bir araya gelerek 6C'lu sitrik asidi oluşturması ile başlar (Görsel 2.21).



Daha sonra peş peşe gerçekleşen reaksiyonlarla sitrik asitten 4 karbonlu organik madde yeniden sentezlenir ve krebs döngüsü tamamlanmış olur.

Oksijenli solunumla bir glikoz molekülünün parçalanması sırasında gerçekleşen iki krebs döngüsü ile substrat düzeyinde fosforilasyonla 2 ATP sentezlenir.

Organik yapı, farklı karbon sayısına sahip moleküllerden ayrılan proton ve elektronlar ise 6 NAD⁺ ve 2 FAD⁺ tarafından tutulur. Bu sırada 4 CO₂ oluşur. Krebs döngüsünde üretilen 6 NADH ve 2 FADH₂ molekülleri ise elektron taşıma sistemine aktarılır.

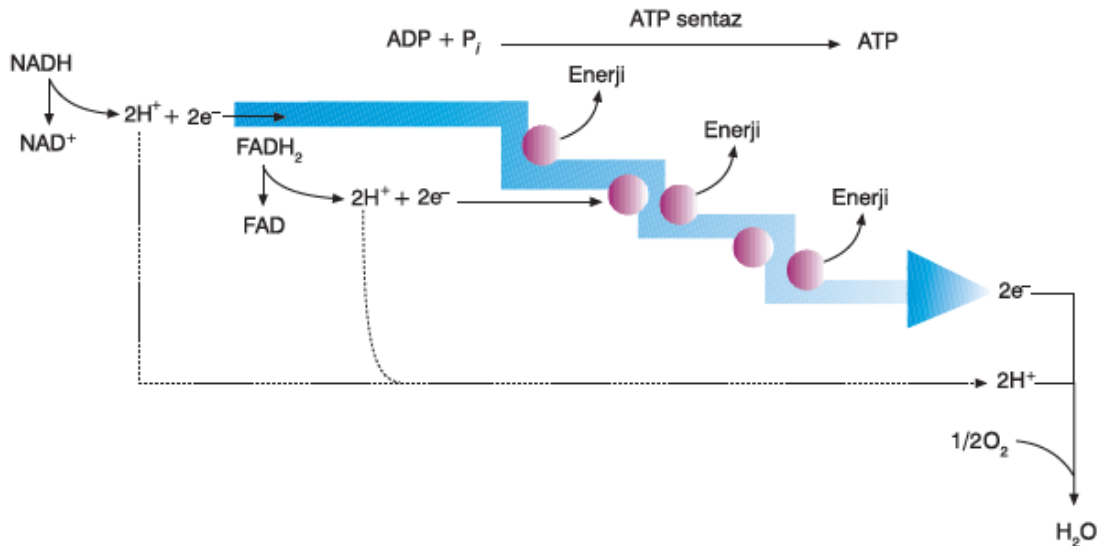
4. Elektron Taşıma Sistemi (ETS) – Oksidatif Fosforilasyon

Bir glikozun oksijenli solunumla parçalanması sırasında kazanılan ATP'lerin büyük bir kısmı, ETS evresinde üretilir.

Elektron taşıma sisteminde yer alan ve elektron taşımakla görevli moleküller; ökaryot hücrelerde mitokondrielerin krista adı verilen kıvrımlı iç zarında, prokaryotlarda ise hücre zarı kıvrımlarında bulunur.

Elektron taşıma sistemi, kristada dizilmiş elektron taşıyıcı moleküllerden oluşur. ETS molekülleri, oksijenli solunumun önceki evrelerinde oluşan NADH ve FADH₂ ile gelen yüksek enerjili elektronları tutar.

Elektronlar bir dizi indirgenme ve yükseltgenme tepkimesi ile oksijene kadar sistem boyunca taşınır. Oksijen, enerji seviyesi düşmüş elektronları ETS'nin son molekülünden alarak elektron akışının ve ATP sentezinin devam etmesine katkıda bulunur. Elektron kazanmış oksijen, elektron kaybetmiş bir çift proton ile birleşerek suyu oluşturur (Görsel 2.22).



Görsel 2.22: Elektron Taşıma Sistemi

Sonuç olarak oksijenli solunum reaksiyonları sırasında ve sonunda CO₂ ve H₂O oluşurken metabolik faaliyetler için gerekli olan ATP de üretilmiş olur. Oksijenli solunumda tüketilen bir glikoz molekülünden substrat düzeyinde fosforilasyonla 4 ATP, oksidatif fosforilasyon ile NADH'tan gelen elektronları ETS'de hangi molekülün aldığına bağlı olarak da 26 ya da 28 ATP

sentezlenir. Böylece glikoz başına 30 ya da 32 ATP üretilir. Oksijenli solunum enzim kontrolünde gerçekleştiği için sıcaklık değişimlerinden etkilenir.

Oksijenli solunumda glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit, CO₂ ve H₂O gibi inorganik maddelere kadar parçalandığı için diğer hücresel solunum çeşitlerine göre daha fazla ATP üretilir. Oksijenli solunumun genel denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Oksijenli solunumun genel denklemindeki H₂O sayıları sadeleştirilirse aşağıdaki denklem elde edilir.



Oksijensiz Solunum

Glikozun oksijen kullanılmadan yıkılması sırasında ETS yardımıyla ATP üretilmesine oksijensiz solunum denir. Oksijensiz solunumda son elektron alıcısı, O₂ dışında bir inorganik moleküldür. Oksijensiz solunumda ETS'deki son elektron alıcısı olan inorganik maddelerin elektron çekim güçleri zayıftır. Bu nedenle oksijensiz solunumda üretilen ATP miktarı azdır.

Bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları SO₄²⁻ (sülfat) , S (kükürt), NO₃⁻ (nitrat) , CO₂ (karbondioksit) ve (Fe³⁺ (demir) gibi inorganik yapıları son elektron alıcılarına aktarır ve enerji elde eder. Bataklık gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları ETS üzerinden SO₄²⁻ iyonuna aktarır. Elektronların ETS'de taşınması sırasında açığa çıkan enerji ile de ATP sentezlenir.

Toprak ve suda bulunan NO₃⁻ oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından N₂'ye (moleküler azot) dönüştürülür. Bu bakteriler oksijensiz ortamda ETS'lerinde son elektron alıcısı olarak NO₃⁻'ü kullanır. NO₃⁻ elektron alarak birkaç basamakta moleküler azota dönüşür. Denitrifikasyon adı verilen bu olay, biyosferdeki azot döngüsünün korunmasına katkı sağlar.

Fermantasyon

Fermantasyon, oksijen kullanılmadan sadece glikoliz yolu ile ATP üretilebilen metabolik bir süreçtir. Oksijensiz ortamda glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit, etil alkol veya laktik asit gibi organik yapıları son ürünlere dönüşebilir.

Solunumun ilk evresi olan glikolizde kullanılan enzim çeşitleri, tüm canlılarda ortaktır ve bu nedenle her canlı, glikoliz sonunda pirüvik asit üretir. Ancak glikolizden sonraki basamaklarda kullanılan enzimler, canlı türüne göre farklılık gösterebildiğinden pirüvik asit, oksijensiz ortamda etil alkol veya laktik asit gibi farklı organik yapıları maddelere dönüşür.

Sitoplazmada glikoliz tamamlandıktan sonra mayalanma olarak da bilinen fermantasyon reaksiyonları meydana gelir. Fermantasyon, glikoliz ve son ürünler evresinden oluşur. Glikoliz

evresinde oluşan 2 NADH molekülündeki hidrojenlerin organik yapıllı maddelere aktarılarak yeniden NAD⁺ oluşması, glikolizin ve ATP üretiminin devamlılığı açısından oldukça önemlidir.

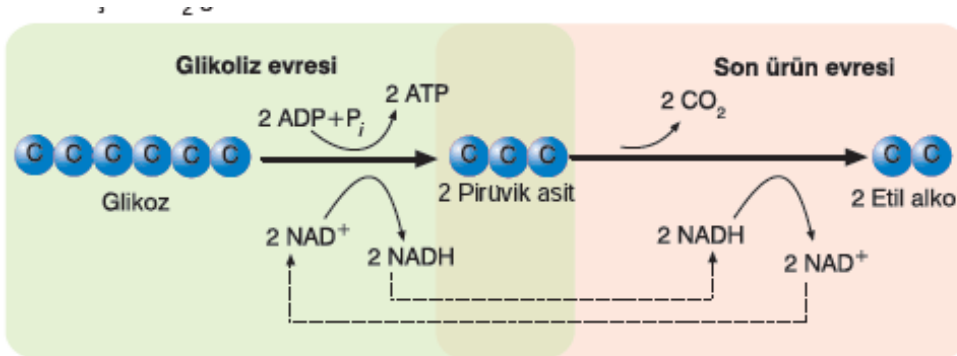
Fermantasyon, oluşan son ürün çeşidine göre isimlendirilir. Bunlardan en önemlileri etil alkol ve laktik asit fermantasyonudur.

Günlük hayatımızda tükettiğimiz ekmek, yoğurt, sirke, boza, şalgam suyu ve kefir gibi besin maddelerinin üretiminde fermantasyondan yararlanır. Fermantasyon, çok eski yıllardan beri besinlerin bozulmadan saklanması için uygulanan bir yöntemdir. Fermantasyon ürünleri, probiyotik açıdan oldukça zengin olduğu için insan sağlığı için faydalıdır.

A) Etil Alkol Fermantasyonu

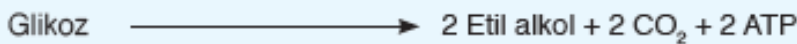
Etil alkol fermantasyonu, glikoliz sonucu oluşan pirüvik asidin enzim denetiminde gerçekleşen özel tepkimeler sonucu etil alkole dönüşmesidir. Glikoliz evresinde bir glikozdan 2 pirüvik asit oluştuktan sonra son ürünler evresinde 2 CO₂ çıkışı gerçekleşir. Glikolizde elde edilen 2 NADH molekülündeki hidrojenler, son ürünler evresinde tepkimelere katılarak 2 etil alkol üretilmesini sağlar (Görsel 2.23).

Mayalar, birçok bakteri ve bazı bitki tohumları etil alkol fermantasyonu gerçekleştirir. Ekmek yapımında etil alkol fermantasyonu yapan maya mantarları kullanılmaktadır. Mayalanan hamurun bir süre sonra kabarmasının nedeni, gerçekleşen etil alkol fermantasyonu sırasında oluşan CO₂ gazıdır.



Görsel 2.23: Etil alkol fermantasyonu

Etil alkol fermantasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Etil alkol fermantasyonu yapan mayalar ve bakteriler için son ürün evresinde açığa çıkan etil alkol, belirli bir değerin üzerinde zehir etkisi gösterir. Bu sebeple etil alkol fermantasyonu sonucu oluşan ürünlerin alkol değeri çok yüksek değildir (Grafik 2.3). Maya ve bakteriler için zehir etkisi yapan etil alkol, insanlar için de benzer etkiye sahiptir.

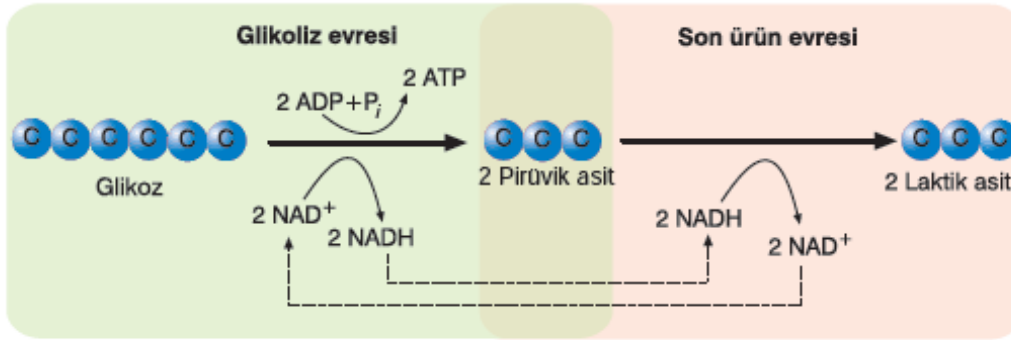


Grafik 2.3: Etil alkol miktarı değişim grafiği

Alkollü içecekler bağımlılık da yapmaktadır. Bu sebeple alkollü içeceklerden uzak durmak, genel vücut sağlığını koruma açısından çok önemli bir davranıştır.

B) Laktik Asit Fermantasyonu

Laktik asit fermantasyonu, glikoliz sonucu oluşan pirüvik asidin enzimler denetiminde özel tepkimeler sonucu laktik aside dönüşmesiyle gerçekleşir. Glikolizde elde edilen 2 NADH molekülünün hidrojenleri tepkimeye katılınca laktik asit üretilmiş olur. Etil alkol fermantasyonundan farklı olarak bu fermantasyon çeşidinde CO₂ çıkışı görülmez (Görsel 2.24).



Görsel 2.24: Laktik asit fermantasyonu

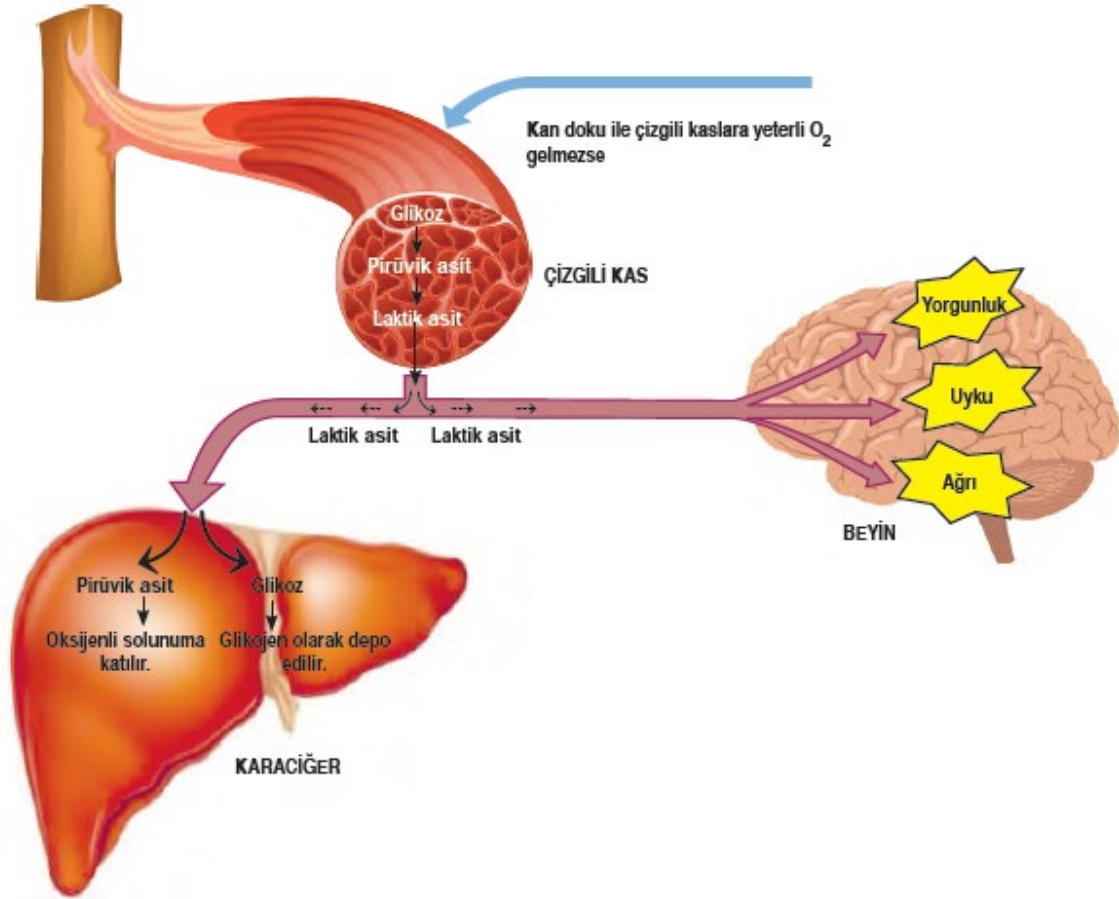
Laktik asit fermantasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



İnsanlarda çizgili kas hücreleri, yeterli oksijenin olmadığı durumlarda laktik asit fermantasyonu ile ATP üretir. Yoğun kas egzersizleri veya kas gücü gerektiren işlerin başlangıcında ATP üretmek için gerekli olan oksijen, yeterli miktarda sağlanamayabilir. Bu durumda ani kas krampları yaşanır. Çizgili kaslarda oksijen yetersizliğinde oksijenli solunuma devam edilirken aynı anda enerji açığını kapatabilmek için laktik asit fermantasyonu da gerçekleşir.

Üretilen az miktardaki laktik asit, yeterli oksijen sağlandığında kasların daha iyi çalışmasını sağlar. Bunun için yoğun kas egzersizlerinden önce yapılan ısınma hareketleri oldukça faydalıdır.

Ancak kas aktivitesinin aşırı artması durumunda laktik asit miktarı artar ve laktik asit kaslarda birikir. Hücrelerde biriken laktik asit, kan damarları ile beyne taşınır. Laktik asit; beyindeki ağrı, uyku ve yorgunluk merkezini uyarır. Bu durum çok yorulduğumuzda uykumuzun neden geldiğini ya da vücudumuzda neden ağrılar oluştuğunu da açıklar. Vücut dinlenirken yeterli oksijen sağlanırsa laktik asit, karaciğere taşınır. Karaciğer hücreleri, laktik asidi özel biyokimyasal tepkimelerle pirüvik asit ve glikoza dönüştürür. Pirüvik asit, oksijenli solunumda tüketilirken; glikozların fazlası, karaciğerde glikojen olarak depolanır (Görsel 2.26).



Görsel 2.26: Laktik asidin bazı organlar üzerindeki etkisi

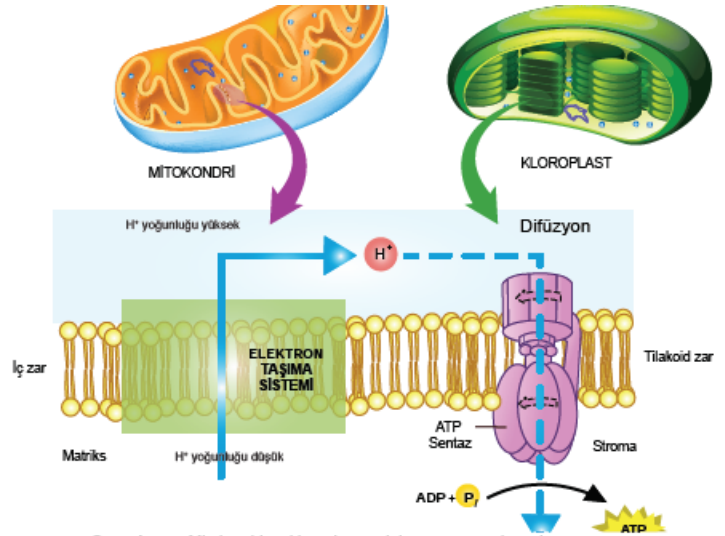
Sütten yoğurt ve peynir yapımında bazı mantar ve bakterilerin gerçekleştirdiği laktik asit fermantasyonundan yararlanır. Fermantasyon, uzun yıllardan beri uygulanmakta olan gıda üretim ve koruma yöntemlerinden biridir. Sütten elde edilen yoğurt ve kefir, tahıllardan elde edilen tarhana ve boza, et ürünlerinden elde edilen sucuk ve pastırma, çeşitli meyve ve sebzelerden elde edilen sirke ve turşular, fermente ürünlere örnek olarak verilebilir. Fermantasyon; besinleri koruma, zararlı mikroorganizmaları öldürme ve bağışıklığı güçlendirme gibi birçok biyolojik işleve sahiptir. Bu biyolojik işlevlerinden dolayı son yıllarda dünyada ve ülkemizde fermente yiyeceklere olan ilgi hızla artmaktadır.

2.4.2. FOTOSENTEZ VE SOLUNUM İLİŞKİSİ

Tüketici canlılar, üreticileri veya üreticileri besin olarak tüketen canlıları besin olarak kullanarak Güneş enerjisinden dolayı yararlanır. Tüm canlılar, enerji üretmek için

beslenmek zorundadır. Besinlerde depolanan enerjinin kaynağı ise Güneş'tir. Ekosistemlerde enerji akışı sırasında bitki ve hayvan hücrelerindeki mitokondriler, hücrede üretilen organik ürünleri kullanır. Bitki hücrelerinde, kloroplast ve mitokondri; hayvansal hücrelerde ise mitokondriler enerji dönüştürücü organellerdir.

Mitokondri ve kloroplastlarda ETS yardımıyla ATP sentezi kemiosmotik görüş ile açıklanır. Bu görüşe göre mitokondri ve kloroplastlarda elektron taşıma sistemi, protonları (H^+) mitokondri matrisi ve kloroplast stromasından elektron enerjisi yardımıyla zarlar arası bölge ve tilakoit boşluklara pompalar. Mitokondrideki zarlar arası bölge ve kloroplastın tilakoit boşluklarında biriken protonlar, ATP sentaz kanallarından difüzyonla matris ve stromaya geri döner. Bu sırada ATP sentezlenir (Görsel 2.27).



Görsel 2.27: Mitokondri ve kloroplastta elektron taşıma sistemi

Enerji, ekolojik sistemler arasında yer değiştirir. Oksijenli solunumun son ürünleri olan CO_2 ve H_2O , fotosentez tepkimelerinde; aynı şekilde fotosentezin son ürünleri olan besin ve oksijen de oksijenli solunumda tüketilen temel maddeleri oluşturur. Fotosentez yeryüzünde yaşayan tüm canlılar için oldukça önemlidir. Oksijenli solunum yapan canlılar tarafından atmosfere verilen tonlarca CO_2 , fotosentetik canlılar tarafından tüketilir ve CO_2 dengesi korunur. Kâğıt, pamuk, doğal bitkisel lifler ve selüloz insanlar tarafından kullanılan fotosentetik ürünlerdir.