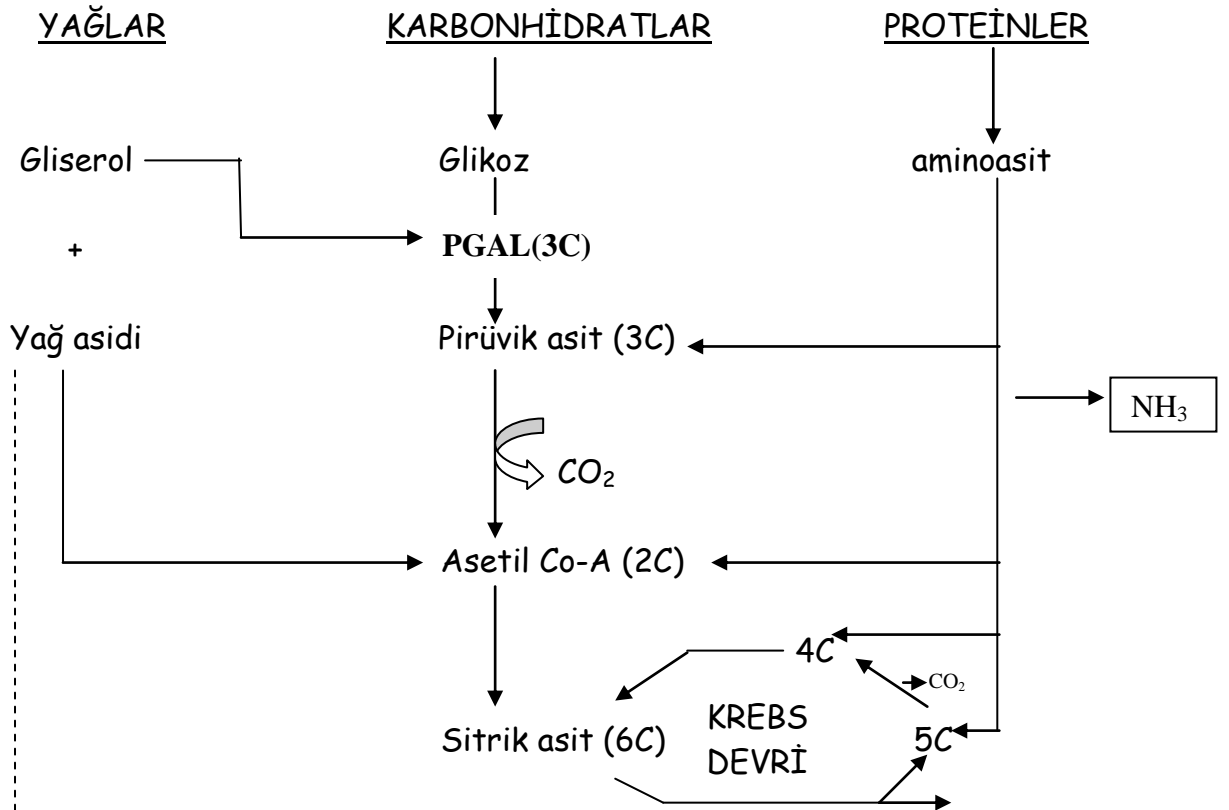


HÜCRESEL SOLUNUM

- Solunum bütün canlı hücrelerde görülen katabolik(yıkım) bir olaydır.
- Solunum olayının amacı enerji üretmektir.
- Tüm canlı hücreler, enerji gerektiren hayatsal olaylarında kullanacakları ATP enerjisini besinlerin yapısındaki kimyasal bağ enerjisinden hücresel solunumla elde ederler.
- Karbonhidratlar, yağlar ve proteinler hücresel solunumda substrat olarak kullanılırlar. Ancak bunların solunuma katılabilmeleri için önce yapıtaşlarına parçalanmaları gerekir.



Not:

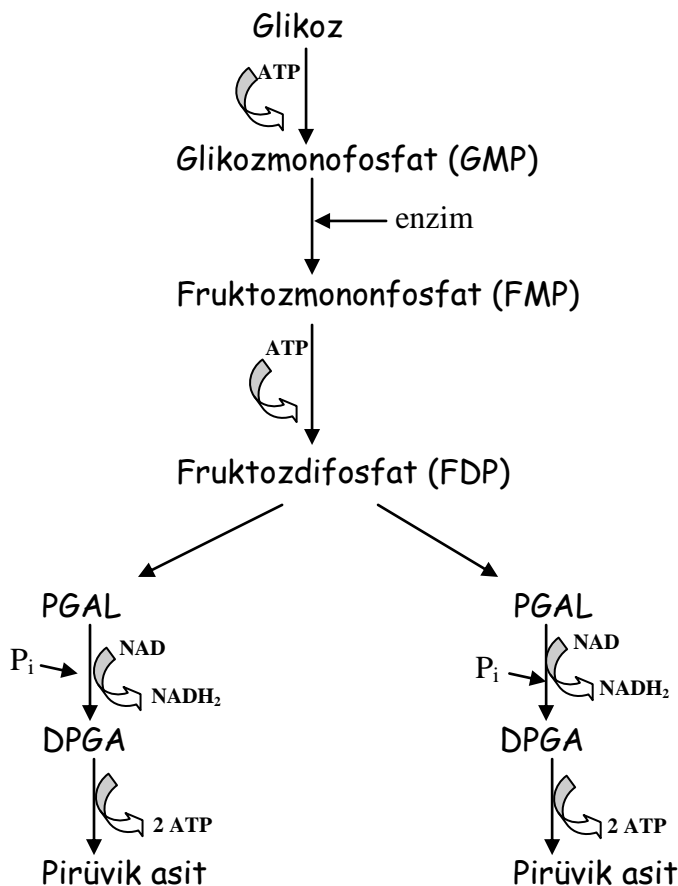
- * H⁺ çok.
- * e⁻ çıkışı çok.
- * NADH₂, FADH₂ oluşumu çok
- * O₂ kullanımı çok
- * Metabolik su çıkışı çok.

- Solunum sistemli bir yanma olayıdır. Buna biyolojik yanma veya biyolojik oksidasyon denir.
- Hücresel solunum glikozun oksidasyonu ile gerçekleşir. (Bir atom ya da molekülün elektron kaybetmesi oksidasyon (yükseltgenme), elektron alması ise redüksiyon (indirgenme))
- Tüm canlılarda tüm solunum şekillerinde glikoz molekülünü solunum reaksiyonlarına sokabilmek için (aktifleştirmek için) 2 ATP harcanır.
- Tüm solunum şekillerinde glikoz molekülünden başlamak üzere 2 pürivik aside kadar olan reaksiyonlar serisine GLİKOLİZ denir.
- Glikolizde görev yapan enzimler ve bu enzimlerin sentezinden sorumlu genler, tüm canlılarda ortaktır.

NOT: Solunum olayı canlıda ağırlık azalmasına neden olur.

GLİKOLİZ EVRESİ

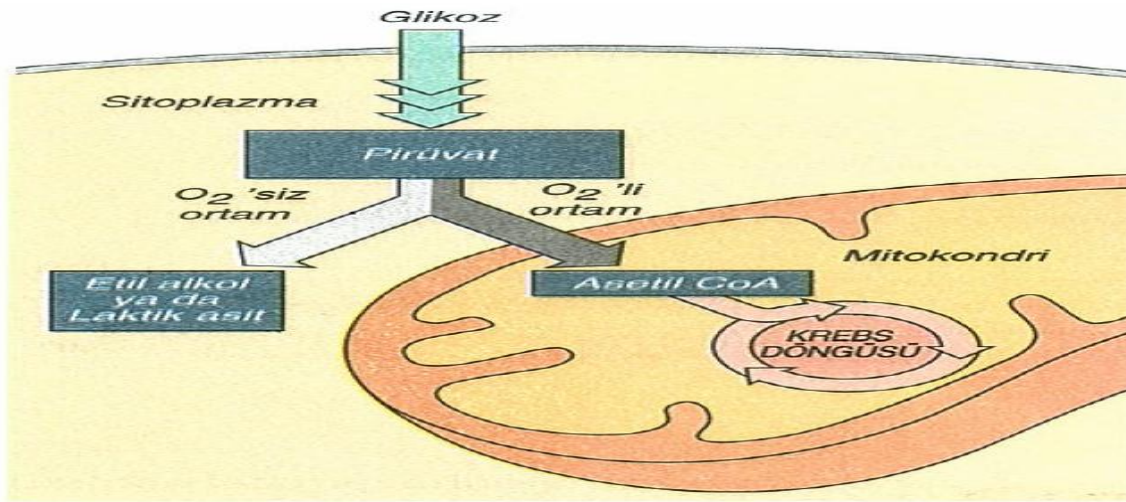
- Glikoliz tüm canlı hücrelerde gerçekleşir.
- Enzimatiktir.
- Sitoplazmada gerçekleşir. Özel bir organel gerekmez.
- Glikozdan 2 pürivik aside kadar olan reaksiyonları içerir.
- Tüm canlılarda glikolizin genleri, enzimleri, reaksiyonları ortaktır.



- Sitoplazmada gerçekleşti.
- Oksijenli ve oksijensiz solunumun ortak evresidir.
- Substrat düzeyinde fosforilasyon gerçekleşir.
- Toplam 4 ATP sentezlenir.
- 2 ATP glikozu aktifleştirmek için harcanır.
- Net kazanç 2 ATP dir.
- 2 NADH₂ oluştu.
- 2 pürivat oluştu.

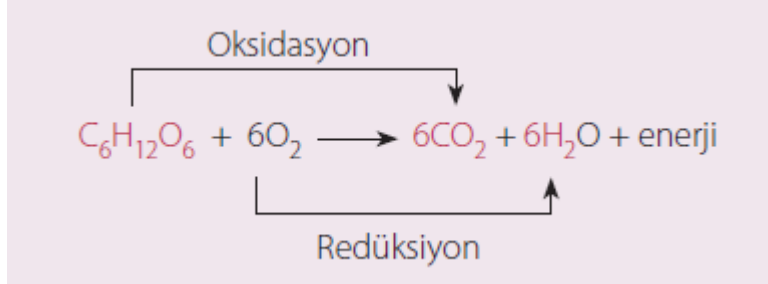
NOT: Glikoliz olayında basamakları, enerji harcaması yapılan **1. Evre** ve enerjinin geri ödendiği **2. Evre** olarak ayırabiliriz. 1. Evrede , hücre glikozun aktivasyonu için 2 ATP harcar. Harcanan bu enerji , enerjinin geri ödendiği 2. Evrede substrat düzeyi fosforilasyon ve NAD^+ 'nın NADH_2 'ye indirgenmesiyle üretilen ATP aracılığı ile yeniden kazanılır.

NOT: Solunum olayları glikoliz evresinden sonra oksijenli veya oksijensiz olarak devam eder. Eğer pirüvat oluşumundan sonra ortama oksijen gelirse oksijenli solunum, oksijen olmaz ise oksijensiz solunum meydana gelir.



OKSİJENLİ SOLUNUM

Glikoz, oksijenli solunumda CO₂ ve H₂O'ya kadar parçalanır. Bu sırada glikoz elektron kaybederek okside olurken oksijen de elektron alarak indirgenir.



Oksijenli solunum;

Hücre prokaryot ise: sitoplazmada

Bakteri ise : mezozomlarda

Ökaryot ise :

Glikoliz evresi

Krebs devri
(sitrik asit döngüsü)

Oksidatif fosforilasyon evresi

Sitoplazmada gerçekleşir.

Mitokondride gerçekleşir.

1 NAD (ile 3 ATP sentezlenir.

1 FAD ile 2ATP sentezlenir.

1 NAD 2 H⁺ taşıyorsa

1FAD

2 H⁺ taşıyorsa

10 NAD 20H⁺ taşır.

2FAD

4H⁺ taşır.

Toplam 24 H⁺ taşınır.

- Solunum sonucunda oluşan 6 CO₂ Krebs devrinde açığa çıkar.
- Krebste 6 H₂O harcanır.

40 ATP HESABI:

GLİKOLİZ	→	4 ATP sentezlendi.
KREBS DEVRİ	→	2 ATP sentezlendi.
OKSİDATİF FOSFORİLASYON	→	34 ATP sentezlendi.
	+	-----
TOPLAM		40 ATP sentezlendi.
GLİKOLİZDE	→	2 ATP harcandı. (Glikozu aktifleştirmek için)

		38 ATP net kazanç.

Oksidatif fosforilasyonda 34 ATP hesabı:

1 NAD ile 3 ATP sentezlenirse	1 FAD ile 2 ATP sentezlenir.
10 NAD ile 30 ATP sentezlenir.	2 FAD ile 4 ATP sentezlenir.
-----	-----
34 ATP (oksidatif fosforilasyonda üretilir.)	

- Böylece Oksidatif fosforilasyon evresi oksijenli solunumda en fazla ATP üretilen evre olmaktadır.
- Üretilen ATP lerin 34 tanesi oksidatif, 6 tanesi substrat düzeyindedir.

REAKSİYON	HARCANAN ENERJİ (ATP)	SENTEZLENEN ENERJİ(ATP)	MEYDANA GELEN HİDROJEN ATOMU SAYISI VE BUNLARIN ATP OLARAK DEĞERİ	NET KAZANÇ
Glikoliz	2 ATP	4 ATP (SDF)	2 NADH ₂ → 4H → 6 ATP(OF)	8 ATP
Pirüvat AsetilCoA	-	-	2 NADH ₂ → 4H → 6 ATP(OF)	6 ATP
Krebs Çemberi ve E.T.S	-	2ATP (SDF)	6NADH ₂ → 12H → 18ATP 2FADH ₂ → 4H → 4ATP } ^(OF)	24 ATP
TOPLAM	2ATP	6 ATP (SDF)	10 NADH ₂ } 2 FADH ₂ } 24H → 34 ATP(OF)	38 ATP

O₂ li solunumda =Aerobik

Yıkılan substrat	Harcanan ATP	Sentezlenen ATP	Net ATP kazancı
Glikoz	2	40	38
Glikoz- P	1	40	39
Fruktoz-P	1	40	39
Hegzoz-P	1	40	39
Fruktozdi-P	0	40	40
PGAL	0	20	20
diPGA	0	17	17
PGA	0	16	16
Pruvat	0	15	15
Asetil Coa	0	12	12

ÖZET:

- Oksijen aracılığı ile organik besin monomerleri parçalanır.
- Hücrenin sitoplazmasında başlar.(glikoliz evresi),Mitokondrilerinde sonlanır.(krebs ve oksidatif fosforilasyon evresi).
- Hammadde kendisini oluşturan en küçük birimlere kadar parçalandığı için 40ATP gibi büyük bir enerji açığa çıkar.
- Başlangıçta glikozun aktivasyonu için 2 ATP harcanır.
- Glikoliz evresi oksijensiz solunum ile ortaktır.
- Hem substrat düzeyinde hem de oksidatif düzeyde ATP üretimi olur.
- Bakteriler prokaryot canlılar olduğu için mitokondri organelleri yoktur.Bu nedenle oksijenli solunum yapan bakterilerde zar üzerinde bulunan mezozomlar kullanılır.

ÖNEMLİ NOTLAR

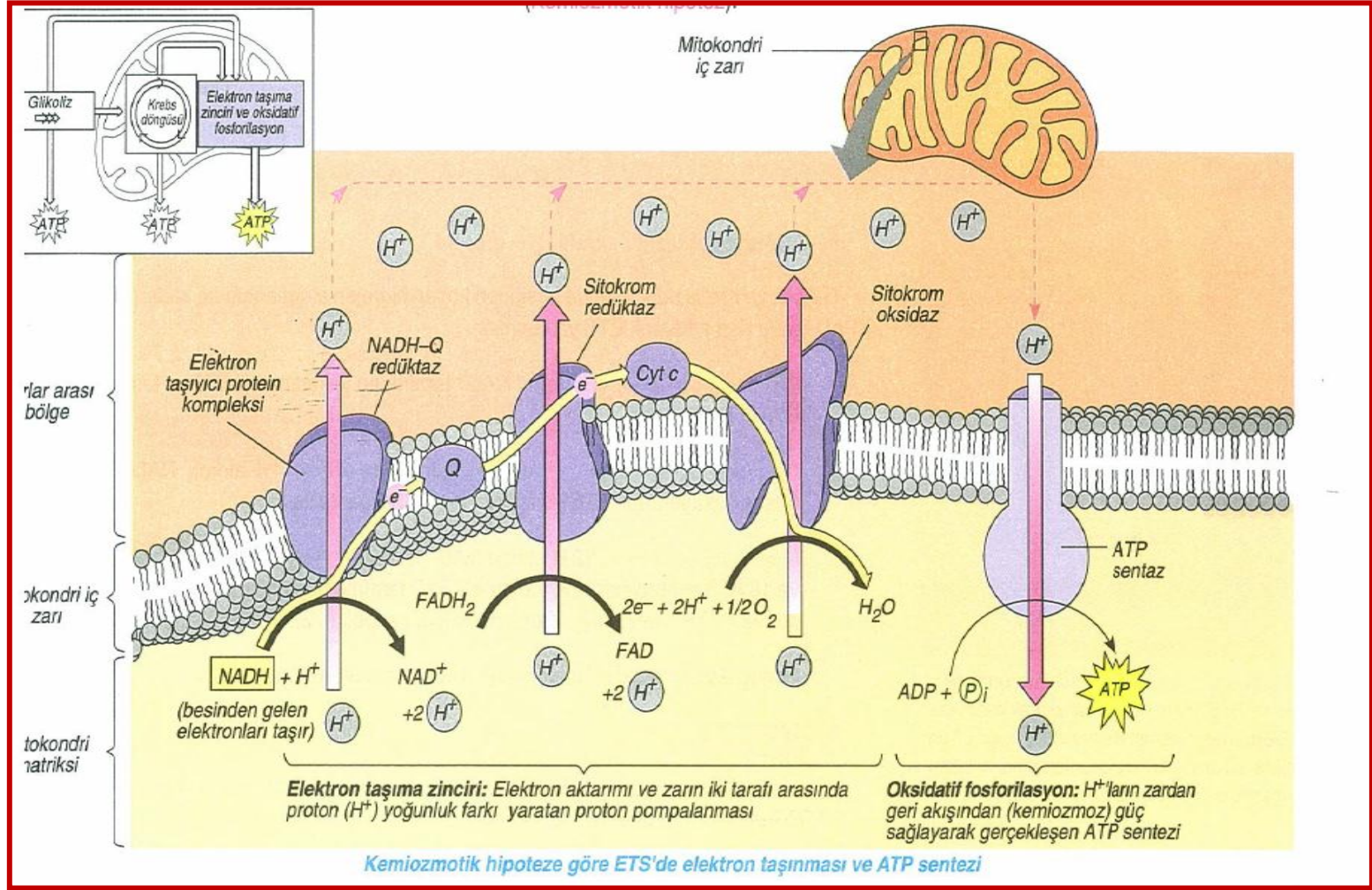
ELEKTRON TAŞIMA SİSTEMİ VE KEMİOZMOTİK HİPOTEZ

- ETS elemanları ökaryot hücrelerde mitokondrinin iç zar kıvrımlarında (kristalarda), prokaryotlarda ise hücre zarında (mezozom kıvrımlarında) bulunur.
- Elektron taşıma sistemi bir dizi elektron taşıyıcı molekülden oluşur. Ets moleküllerinden NADH-Q redüktaz, sitokrom redüktaz, sitokrom oksidaz ve sitokrom c(cytc) protein yapılıdır. Ubikinon (Q) ise protein yapısında olmayan ve koenzim olarak görev yapan bir moleküldür.

Bu moleküller $\text{NADH}+\text{H}^+$ ve FADH_2 'den yüksek enerjili elektronları alır ve bir dizi yükseltgenme indirgenme tepkimesinden geçirerek sistem boyunca taşır. Elektronlardan ayrılmış protonlar ise matrikse bırakılır. Elektronlar ETS molekülleri tarafından son elektron yakalayıcısı olan oksijene doğru taşınırlar ve bu sırada enerjilerinin bir kısmını kaybederler.

Elektronlardan kazanılan bu enerji hidrojen atomuna ait protonları (H^+) matriksden mitokondrinin iç ve dış zar arasındaki boşluğa pompalamak için kullanılır. Bu sayede zarlar arası boşlukta yüksek H^+ protonu derişimi olur. Bu durum iç zarın iki yüzü arasında elektriksel yük farkına da yol açar.

Mitokondri iç zarında ADP'yi ATP'ye dönüştüren çok sayıda ATP sentaz enzimi bulunur. Mitokondri iç zarı protonlara geçirgen olmadığından ATP sentaz , zarlar arası boşluktaki protonların tekrar matrikse geri akışını sağlayan bir yol oluşturur. H^+ protonları yoğun buldukları zarlar arası bölgeden matrikse geri dönerken protein kompleksi olan ATP sentazın içindeki özgül H^+ kanalcıklarından geçerler. H^+ protonlarının zardan geri akışından güç sağlayan ATP sentaz enzimi aktifleşerek ADP' den ATP üretilmesini sağlar. **(KEMİOZMOTİK HİPOTEZ)**



• **ELEKTRONLAR NEDEN DOĞRUDAN SON ELEKTRON ALICISI OKSİJEN İLE BİRLEŞMEZLER?**

Elektronların başlangıçta yüksek enerjili olmaları nedeniyle doğrudan oksijenle birleşmesi yüksek düzeyde enerjinin aniden açığa çıkmasına neden olurdu ki bu da canlıya önemli derecede zarar verirdi .

- **ETS' de bir $NADH_2$ kullanımı sonucu:**
3 ATP ve H_2O üretilir.
- **ETS' de bir $FADH_2$ kullanımı sonucu:**
2 ATP ve H_2O üretilir. 1 atom oksijen tüketilir.

• **Solunum katsayısı** = $\frac{\text{Verilen } CO_2}{\text{Alınan } O_2}$

Örnek: karbonhidratların oksidasyonunda solunum katsayısı = $\frac{6}{6}$

- Yağların oksidasyonunda yağların yapısındaki oksijen oranı karbonhidratlara göre daha az olduğu için yanmaları için daha çok oksijen kullanılır. Bu nedenle de solunum katsayısı 1'den küçük olur.
- Proteinlerin solunum katsayısı 1' den büyüktür.
- Canlılarda solunum katsayısının belirlenmesi ile vücudunda hangi maddeyi kullandığı tespit edilebilir.

OKSİJENSİZ SOLUNUM(Fermentasyon = Anaerobik Solunum = Mayalanma)

- Hücrenin sitoplazmasında görülür.
- Özel bir organel gerekmez.
- Evrimleşmede oksijenli solunumdan önce ortaya çıkmıştır.
- Oksijen kullanılmaz. yani besin moleküllerinden koparılan elektronlar oksijen dışında bir moleküle aktarılır.
- Bazılarında ETS görev yapmaz. Bunlar etil alkol ve laktik asit fermentasyonlarıdır.
- Ancak ETS kullanılan oksijensiz solunum tipleri de vardır.
- Sadece substrat düzeyinde ATP üretimi yapılır.(Glikoliz evresinde)
- Kullanılan hammadde tam olarak parçalanamadığı için az enerji üretimi olur.
- Ortamdaki glikoz miktarı, sıcaklık ve son ürünler fermantasyon hızını etkileyebilir.

ETS KULLANILAN OKSİJENSİZ SOLUNUM TIPLERİ

Bakterilerde, mantarlarda, bitki tohumlarında ve bağırsak solucanları gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı hayvanlarda görülür. Hayvanların iskelet kası hücreleri de oksijen yetersizliğinde fermantasyonla enerji elde eder.



- Yıkılan substrat (glikoz) tam olarak CO_2 ve H_2O 'ya kadar parçalanmaz. Bu nedenle substrattaki enerjinin çoğu yine organik olabilen son ürünlerde saklı kalır. Bu nedenle oksijenli solunuma göre daha az ATP açığa çıkar.

SORU:

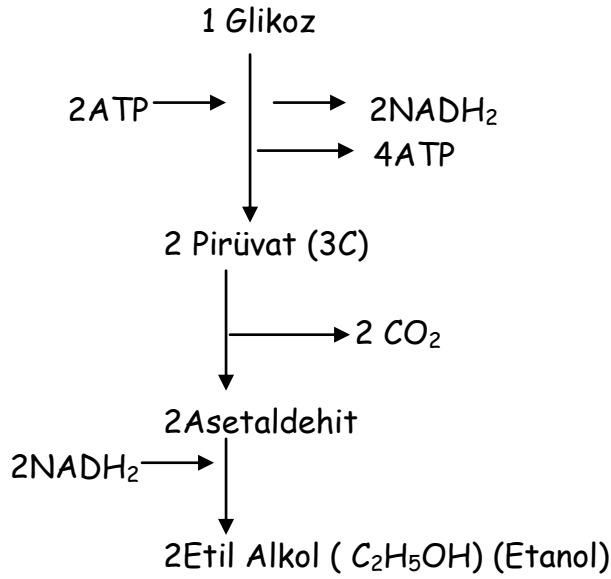
- I. O_2 'siz solunum
- II. O_2 'li solunum
- III. Fotosentez

Yanda verilen olayların son ürünlerinde kalan enerji miktarı çoktan aza doğru nasıl sıralanabilir?

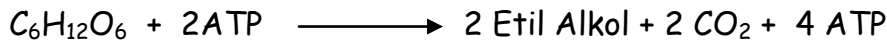
Cevap: 3 > 1 > 2

1.ETİL ALKOL FERMENTASYONU:

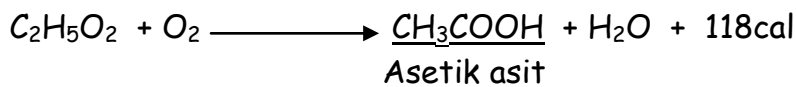
- Bira mayası, maya mantarı , şarap bakterilerinde, alg ve protistalarda görülür.
- Alkolik fermantasyonda en çok kullanılan mikroorganizma grubu mayalardır. Oksijen varlığında oksijenli solunum yapan mayalar, oksijen yokluğunda fermantasyonla enerji elde ederler.



- 2CO₂ oluşur.
- 4 ATP sentezlendi.(Glikoliz evresinde)
- 2ATP Glikolizde harcandı.
- Net kazanç 2 ATP.
- 2 Etil alkol oluştu.
- Etil alkol fermentasyonunda pirüvata geri dönüş olmaz.
- Metabolik su çıkışı yok
- Bir miktar ısı şeklinde enerji kaybı var.



- Etil alkol fermentasyonu yapan bakterilerin bulunduğu ortamda alkol konsantrasyonu % 12 i geçerse bakteriler için zehir etkisi yapar.
- Etil alkol oksitlenirse Asetik asit oluşur. Buna Asetik asit fermentasyonu denir.

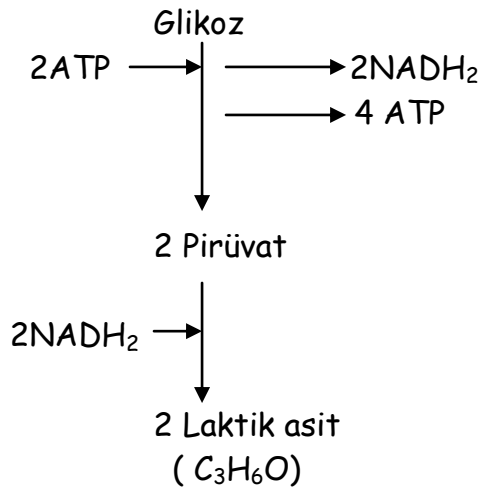


2.LAKTİK ASİT FERMENTASYONU:

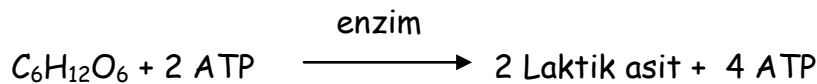
- Sütün yoğurda dönüşümünde görev yapan bakterilerde görülür.
- Memeli hayvanların çizgili kas hücrelerinde oksijen yetmezliği durumunda gerçekleşir.Kaslarda biriken Laktik asit kana karışarak beyindeki uyku merkezini uyarır ve insanda yorgunluk hissi oluşturur.Aşırı birikmesi kaslarda kramp olayına neden olur.
- Atlarda laktik asit üretimi olmadığı için yorgunluk hissi oluşmaz.
- Biriken laktik asit;

-Bir kısmı kasa yeterli oksijen geldiğinde tekrar pirüvik asite çevrilir ve oksijenli solunuma sokulur.

-Bir kısmı kan yolu ile karaciğere taşınır. Glikoza çevrilir. Glikojen olarak depolanır.



- Dinlenme halinde kasa gelen yeterli miktarda oksijen varlığında laktik asitler tekrar pirüvata dönüştürülür ve oksijenli solunum başlatılır.
- **CO₂ çıkışı olmaz.**
- 4 ATP sentezlendi(Glikoliz evresinde).
- 2 ATP glikolizde harcandı.
- Net kazanç 2 ATP.
- 2 laktik asit oluşur.
- Metabolik su oluşmaz.



NOT:Kandaki Laktik asit seviyesi eşik değerinin üzerine çıkar ise idrarda laktik asite rastlanır.

NOT: Memeli alyuvarları olgunlaşırken çekirdeklerini ve diğer organellerini kaybederler. Olgun alyuvarlar, mitokondrileri olmadığı için enerji ihtiyaçlarını glikolizden sağlarlar ve bunu laktik asit fermentasyonu izler. Ribozomları olmadığı için glikoliz için gerekli enzimleri sentezleyemezler. Bu nedenle kan dolaşımında ömürleri sınırlıdır. Böylece makrofajlar tarafından yok edilirler.

NOT: Karaciğer ve kalp hücreleri laktatı kolaylıkla içlerine alıp onu pirüvata çevirirler. Sonrada krebs ile metabolize ederler.

NOT: Kanser hücrelerinin çoğunluğu enerjilerini laktik asit fermentasyonu yoluyla karşılar.

NOT: Derin deniz bölgelerinde, bataklık, toprak ya da hayvanların sindirim sistemi gibi oksijensiz ortamlarda yaşayabilen canlılar oksijensiz solunum yaparlar.

NOT: insanların bağırsaklarına yerleşen zararlı bir bakteri türü olan *Escherichia coli* (Eşerişya koli) burada oksijensiz solunum yapar. Bu bakteri oksijen varlığında ise oksijenli solunumu tercih eder.

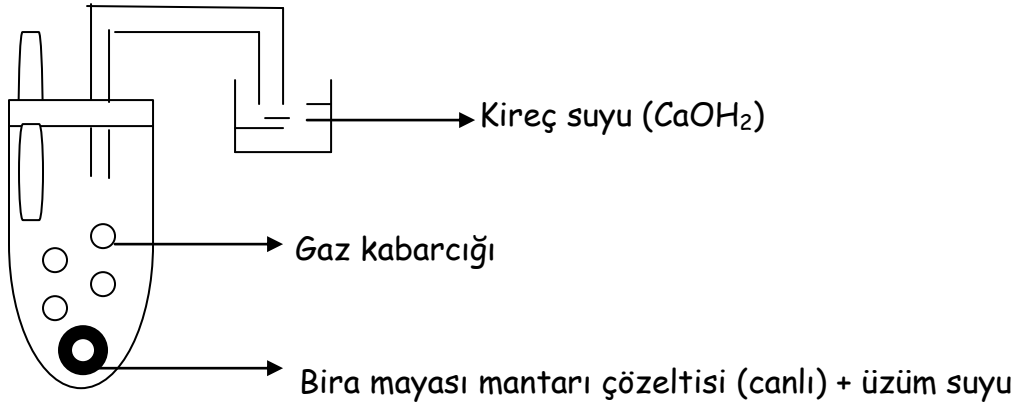
NOT: Etil alkol ve Laktik Asit fermentasyonlarında ETS kullanılmaz.

Deaminasyon: Bir organik besin monomerinin, glikoliz kademelerine veya krebs devrine katılabilmek için, NH₃ kaybetmesine deaminasyon denir.

Dekarboksilasyon: Krebse hazırlık aşamasında ve krebs devrinde CO₂ atılmasına dekarboksilasyon denir.

Beta Oksidasyon: Altıdan daha fazla karbon taşıyan monomerlerin ,oksijen kullanılarak ikişer karbonlu parçalara yıkılmasına beta oksidasyon denir.

Tartışma:



Yukarıdaki düzenekte neler olur yorumlayınız.

- Bira mayası hücreleri alkol fermentasyonu yapar.
- CO_2 kireç suyuna ulaştınca bulanma olur.
- Termometrede sıcaklık derecesi artar.
- Kap koklandığında alkol kokusu alınır.
- Bira mayası kaynatılsaydı tepkime olmazdı.
- Üzüm suyunun konulmasının nedeni içindeki glikozdur.
- Bira mayası özütü de olsaydı yine gaz çıkışı olurdu.Çünkü enzimler hücre dışında da çalışır.

NOT: NAD molekülü solunum olayının devamlılığını sağlar.Çünkü;
-Pirüvik asitten önceki reaksiyonlarda (PGAL'in PGA'ya dönüşümünde) H^+ tutar.
-Pirüvik asitin uzaklaştırılmasında = son ürüne dönüşümünde NADH_2 , H^+ verir.
-Pirüvik asit \Rightarrow çok zehirlidir.Asit özelliği ile pH'ı düşürür.

NOT: O_2 'siz solunum şekillerinde glikozdan pirüvik aside kadar olan reaksiyonlar serisinin ortak olması canlılardaki ortak genler ve ortak enzimler ile açıklanırken pürivik asitten sonraki tepkimelerin ve son ürünlerin farklı olması farklı genler ve farklı enzimlerle açıklanır.

ELEKTRON TAŞIMA SİSTEMİ (ETS) KULLANILAN OKSİJENSİZ SOLUNUM

*Bazı bakteriler oksijen olmaksızın ETS'yi kullanarak enerji elde ederler.

*Bunlar besin moleküllerinden kopardıkları elektronları oksijen dışında bir inorganik moleküle aktarırlar. Sülfat (SO_4), kükürt (S), Nitrat (NO_3), CO_2 ve Fe^{+3} oksijensiz solunumda son elektron alıcısı olarak kullanılan inorganik moleküllerdir.

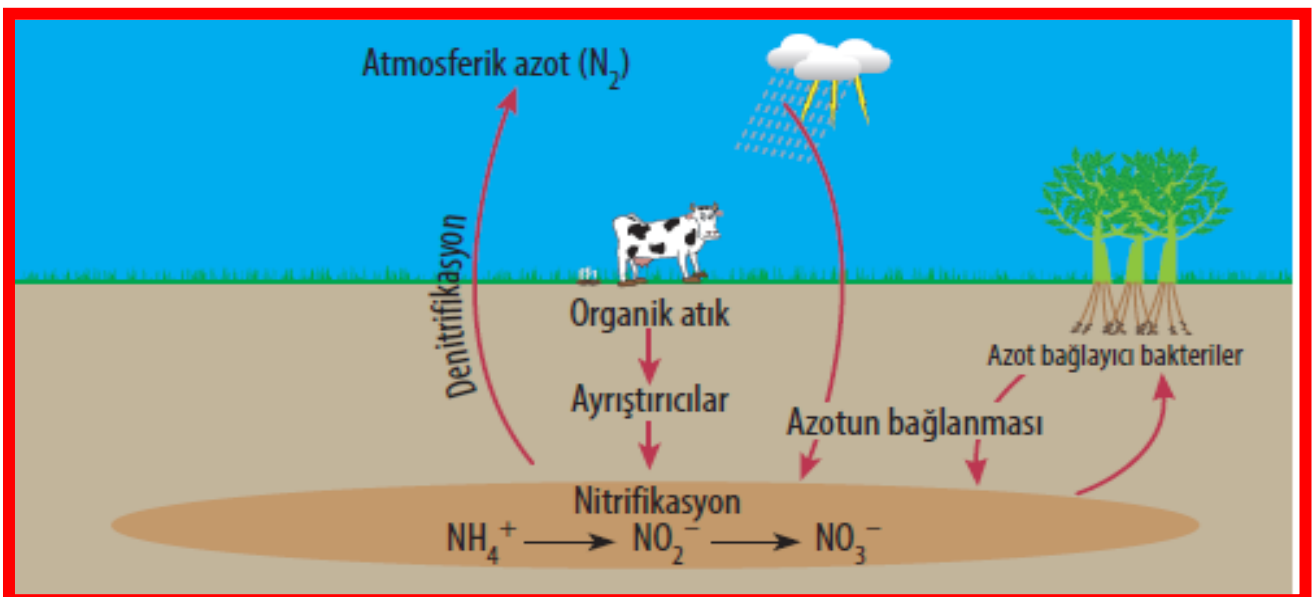
*Oksijensiz solunum yapan canlıların bazıları sadece oksijensiz ortamlarda yaşayabilirler. Bunların bir kısmı için oksijen, toksik etki yapar.

*Bataklık gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı bakteriler besin moleküllerinden kopardıkları elektronları ETS üzerinden sülfat iyonuna aktarırlar.

*Elektronların ETS'de taşınması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenir. Sülfat iyonunun elektron alarak indirgenmesi sonucunda hidrojen sülfür (H_2S) oluşur. Bataklıklardan gelen çürük yumurta kokusunun sebebi buradaki oksijensiz solunum yapan bakterilerin oluşturduğu H_2S 'dir.

* Ayrıca H_2S ile demirin reaksiyonu sonucu suyun rengi siyahlaşır.

*Toprakta ve suda bulunan nitrat (NO_3^-), oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından moleküler azota (N_2) dönüştürülür. Bu bakteriler oksijensiz ortamda ETS'lerinde son elektron alıcısı olarak nitratı kullanır. Nitrat elektron alarak birkaç basamakta moleküler azota dönüşür. **DENİTRİFİKASYON** adı verilen bu olay biyosferdeki azot dengesinin korunmasına katkı sağlar .



SORU: Karanlık devri reaksiyonlarında 48 NADPH₂ yükseltgenmesi ile oluşturulabilen hegzozların O₂'li yıkımında oksidatif fosforilasyonla sentezlenen ATP sayısı nedir?

12 NADPH₂ 'ye 1 glikoz
48 NADPH₂' ye x=4 glikoz

Oksijenli solunumda
1 Glikoz yıkımıyla 34 ATP
4 Glikoz yıkımıyla x= 136 ATP

ÖSS SORU:

1. 2H
2. pürüvik asit
3. PGAL
4. Sitrik asit

Hangileri O₂ 'li solunumda glikolizden gelip mitokondriye geçer?

1 ve 2

SORU:

1. Son üründe kalan enerji
2. harcanan ATPenerjisi
3. sentez ATPenerjisi
4. net kazanç ATPenerjisi

Bir glikozun fermentasyonu için verilen enerjileri çoktan aza sıralayınız.

1 > 3 > 2=4

SORU:

1. fruktoz di-p
2. maltoz
3. glikoz
4. glikojen

verilenlerin O₂ siz solunumda kazandıracığı netATP yi sıralayınız.

4 > 1 = 2 > 3

SORU:

Verilenlerden hangileri tüm ototrof canlılar için ortaktır?

1.inorganik madde kullanma

2.H⁺ kaynağı tüketme

3.CO₂ özümlemesi

1, 2, 3

4.Klorofil

5.O₂ üretimi

6.Besin üretiminin kloroplastta olması