

ZM 106 Biyokimya 7. Hafta

BITKİLERDE SOLUNUM (RESPIRASYON)

Doç.Dr.Yıldız AKA KAÇAR
Ç.Ü.Z.F.Bahçe Bitkileri Bölümü

The Power of Green


Fotosentez

- Organik madde oluşur
- Enerji depolar
- Su kullanır
- Karbondioksit kullanır
- Oksijen açığa çıkar
- Işık gerekir

Solunum

- Organik madde kullanır
- Enerji açığa çıkar
- Su üretir
- Karbondioksit oluşur
- Oksijen kullanır
- Karanlık ve ışıklı ortamda oluşur

- Fotosentez aracılığı ile karbonhidratlarda toplanan **kimyasal enerjinin** evrensel enerji taşıma molekülü olan **ATP** ye aktarılması bu bölümde incelenecektir.
- **Solunum** ile karbonhidratlardaki enerji hücrenin enerji gereksinimini karşılamada kullanılacak **ATP'**ye dönüştürülür.

- 
- Bitkilerde karbonhidratlar genellikle **sukroz** veya **nişasta** olarak depolanır.
 - Solunumun genellikle **glikoz** ile başladığı kabul edilir.
 - O nedenle sukroz yada nişastanın öncelikle hidrolize olarak glikoza ayrışması gerekir.

- Glukoz **aerobik** (oksijenli) hemde **anerobik** (oksijensiz) koşullarda enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Bununla beraber, daha ileride göreceđimiz gibi organik bileřiklerin oksidasyonu sonucu en yüksek enerji aerobik koşullarda elde edilir.

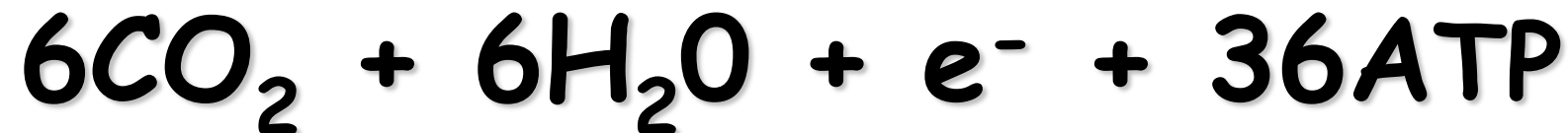
Solunum

- Üç aşamada gerçekleşir;
- **Glikoliz evresi** (sitoplazmada)
- **Sitrik asit** (Krebs= Tricarbonsilik asit [TCA]) evresi (mitokondri matriksinde)
- **Elektron taşıma zinciri** (Son oksidasyon evresi : mitokondri kristasında)

SOLUNUM DENKLEMİ



ÜRÜN

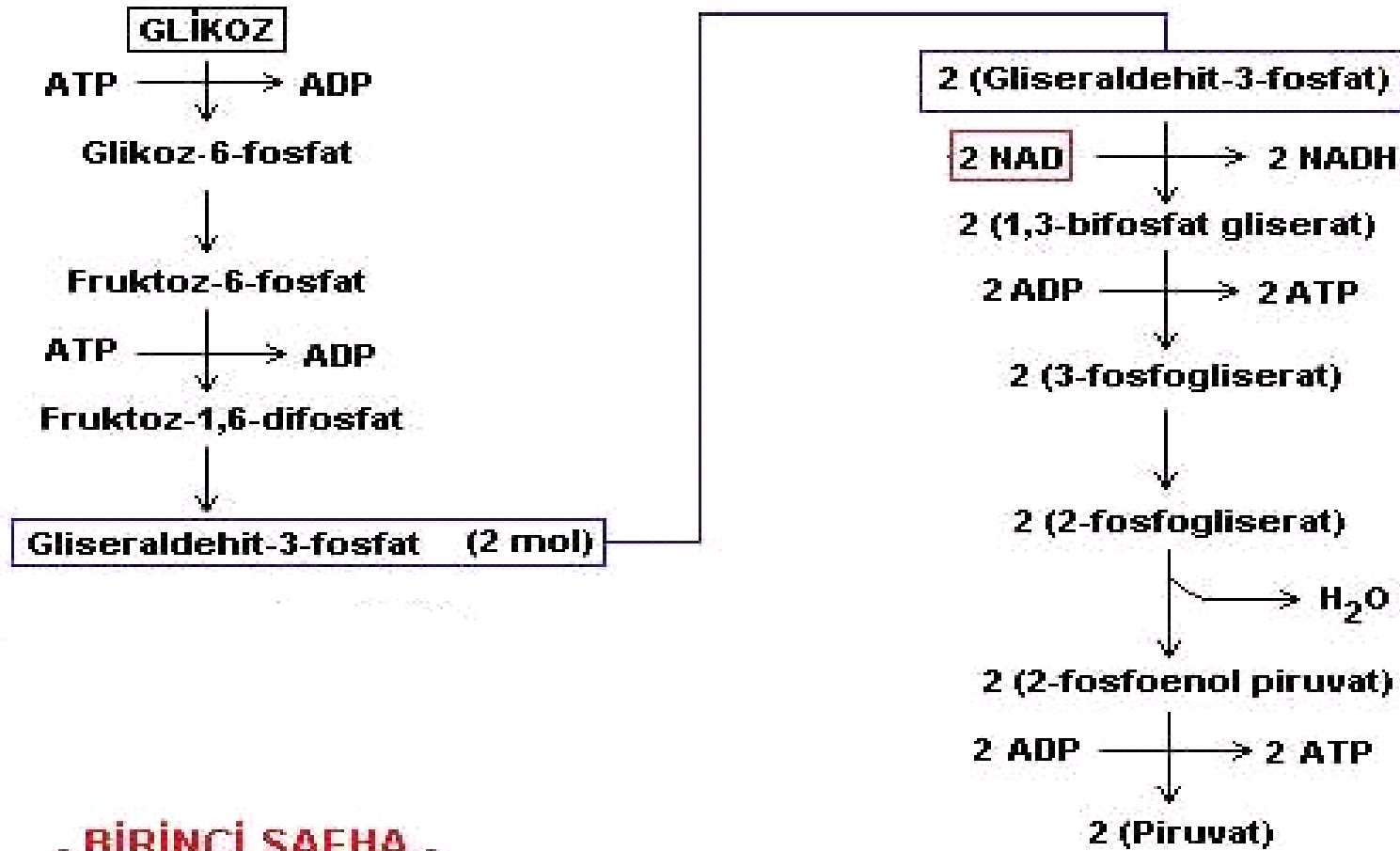


- **Glikolizis**'te 6 C'lu glikoz molekülü 1 çift 3C'lu pürivik asit molükülüne ayrışır.
- **Krebs çevrimi ve elektron taşıma zincirinde** pürivik asit molekülleri **karbondioksit** ve **suya** kadar parçalanır.
- Glukoz molekülü okside oldukça enerjinin bir kısmı küçük reaksiyonlar sonucu alınarak **ATP'nin yüksek enerji bağlarında** depolanır.

Glikolizis

- Glikolozis
(gliko=şeker,lizis=parçalanma) her biri özel bir enzim tarafından katalizlenen **9 reaksiyondan** oluşur.
- Bu reaksiyonlar dizisi tüm canlı organizmalarda aynı şekilde olmakta ve hücrenin sitoplazmasında meydana gelmektedir.

Glikoliz aşamaları



- BİRİNCİ SAFHA -

-İKİNCİ SAFHA-

Glikolizis

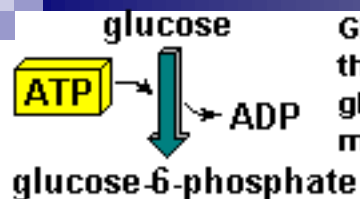
- Glikolizisin ilk 4 reaksiyonunda 2 molekül ATP tüketilirken bunlardaki yüksek enerjili fosfat bağları şeker moleküllerine aktarılmaktadır.
- Daha sonra fruktoz 1,6 bifosfat'tan 2 adet 3 karbonlu molekül oluşmaktadır.
- Bunlar birbirleriyle dönüşümlü olup, glikolizisin devamında sadece gliseraldehit 3-fosfat kullanılmaktadır.

Glikolizis

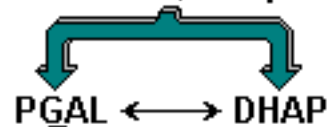
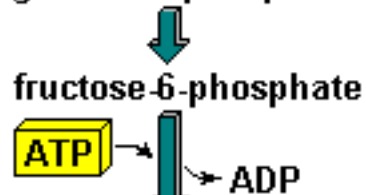
- 2 molekül gliseraldehit 3-fosfat'tan , glikolizisin son aşamasında 2 molekül pirüvik asit (pirüvat) oluşana kadar meydana gelen reaksiyonlar sonucu **4 ATP ve 2 NADH₂** açığa çıkar.
- Ancak, ilk 4 reaksiyon sırasında 2 ATP tüketildiğinden glikolizisi şöyle özetleyebiliriz:
-
- $$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{NAD} + 2\text{ADP} + 2 \text{P}_i \longrightarrow 2\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 + 2 \text{NADH} + 2\text{ATP}$$

(glukoz) (pirüvat)

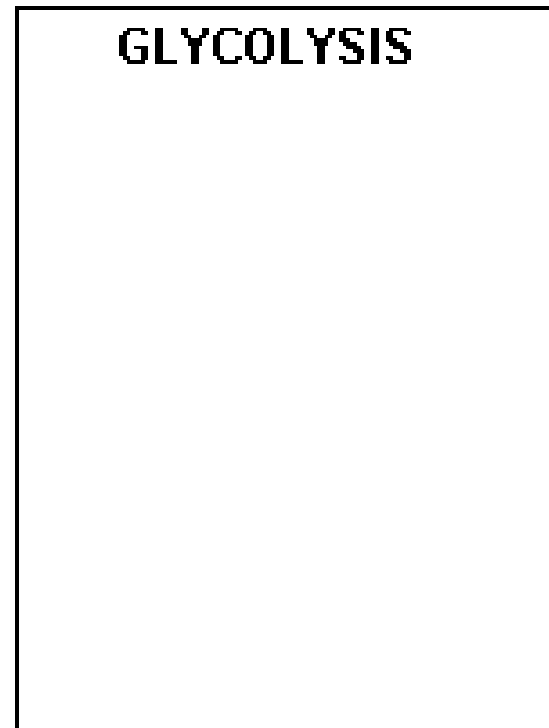
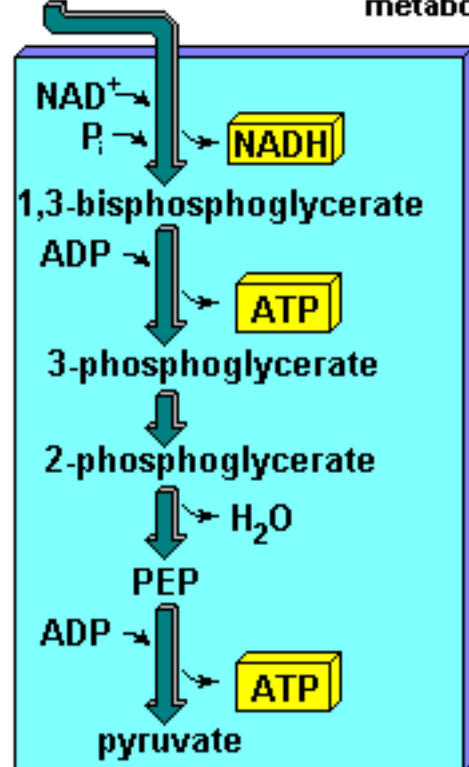
Böylece, 1 molekül glukozdan 2 molekül pirüvat, 2 molekül ATP ve 2 molekül NADH₂ elde edilmiş olur.



Glycolysis starts with the phosphorylation of glucose (a 6 carbon molecule).



Each of the steps below occurs twice for each molecule of glucose being metabolized.



AEROBİK (OKSİJENLİ SOLUNUM)

- Hücrenin enerji metabolizmasında pürivik asit anahtar moleküllerden biridir ve çok çeşitli reaksiyonlar dizinine girebilir.
- Pürivik asitin hangi reaksiyona gireceği büyük ölçüde **organizmanın tipine** ve **hücrelerin içerisinde bulunduğu koşullara** bağlıdır.
- En önemli çevresel etmende oksijenin bulunup bulunmamasıdır.

Oksijensiz ortamda:

Glikolizden sonra ortak ürün olan, pürivik asit (pirüvat) NADH_2 lerle birleşerek son ürünleri oluşturur.

Son ürünler farklı canlılarda farklı enzimler kullanıldığı için farklı olur.

- İnsan ve hayvanlarda **laktik asit**
- Mayalarda **etil alkol** ve **CO_2**
- Bazı bakterilerde **asetik asittir.**

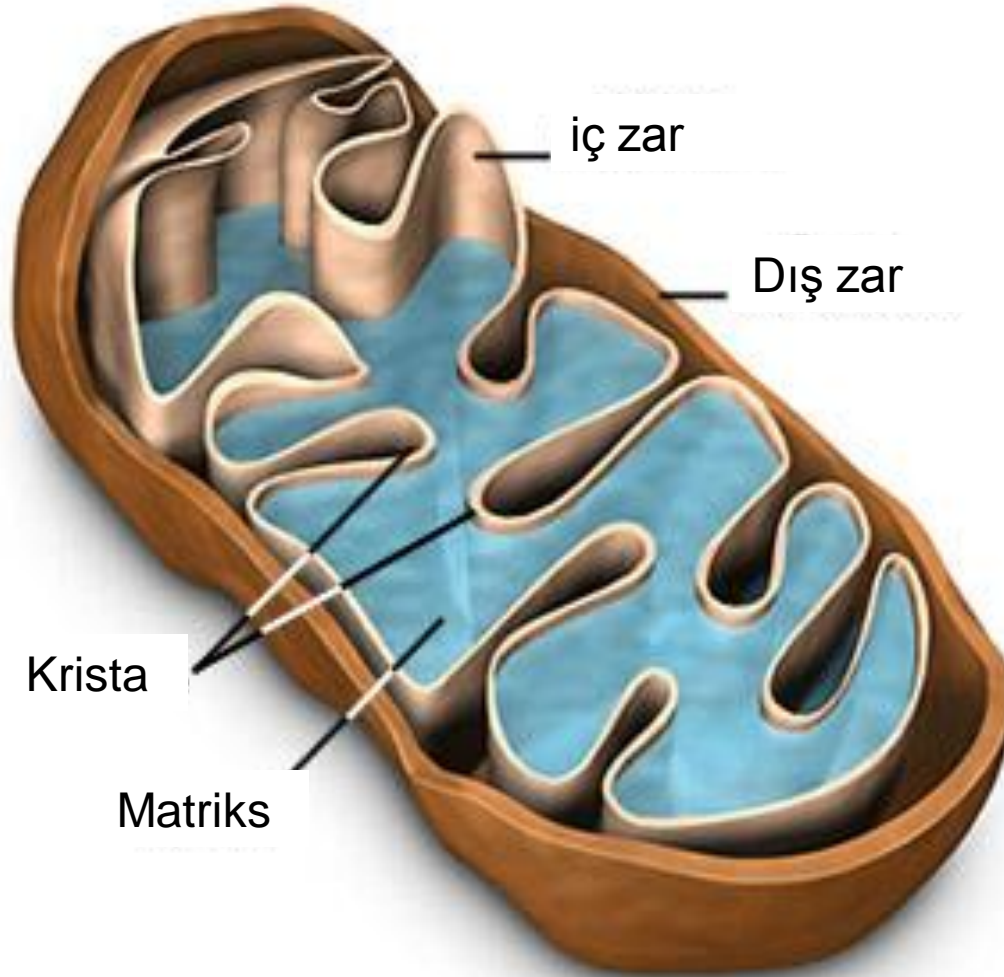
AEROBİK (OKSİJENLİ SOLUNUM)

- Oksijenin bulunduğu koşullarda piruvik asit karbondioksite kadar yükseltgenir.
- Bu aerobik reaksiyonlar dizisi glukozun tamamen yükseltgenmesiyle sonuçlanır ve glukoz sonucu elde olunan 2 molekül ATP yerine toplam 36 ATP elde edilir.
- Bu reaksiyonlar, glikolizis, krebs döngüsü ve elektron taşıma zincirinden oluşurlar ve ökaryotik hücrelerin mitokondrilerinde meydana gelirler.

Mitokondri

- Hatırlanacağı gibi mitokondri bir **çift zar** sisteminden oluşmuştur.
- İç zar **krista** adı verilen kıvrımlar şeklindedir.
- En iç kısmında yani **matriks**'de, solunum reaksiyonları için gerekli enzimler, koenzimler, su, fosfatlar ve diğer moleküller bulunur.
- İç zar sadece ATP ve pürivik asit gibi moleküllerin geçişine izin verir.
- Elektron taşıma zincirinde yer alan moleküller krista zarı üzerine yerleşmişlerdir.

MİTOKONDRI

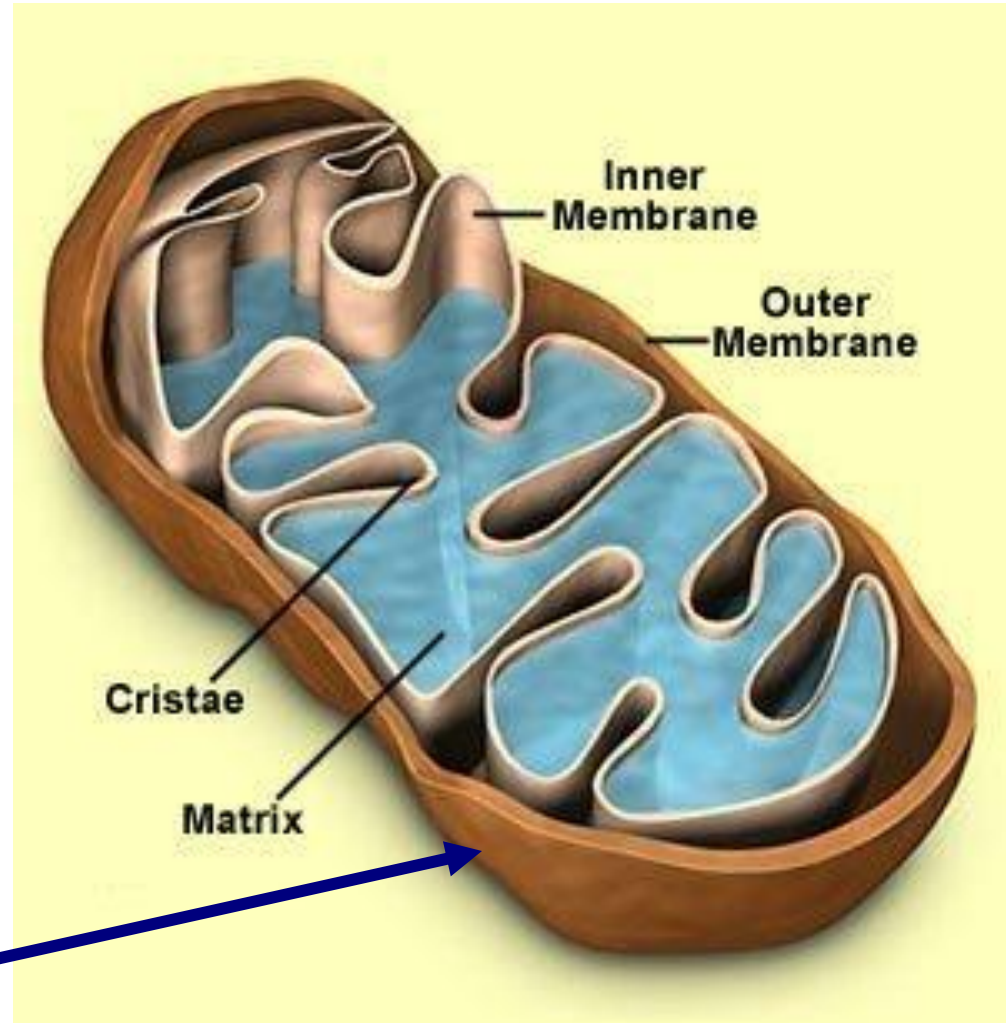


SOLUNUM NEREDE OLUR?

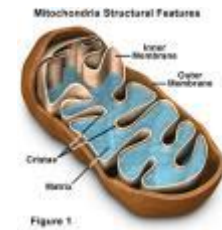
- Hücrenin iki farklı bölgesinde meydana gelir

Glikolizis
Sitoplazma da
meydana gelir.

Krebs Cycle &
ETS Mitokondride



Mitokondri



Sitrik asit (Krebs = TCA) evresi

- Glikoliz evresinde meydana gelen 3 C'lu piruvik asit mitokondrinin sıvı fazına geçerek tek C'lu hale geçer
- NADH⁺ ve FAD Co enzimleri sayesinde bileşiklerden elektronlar koparılır
- Krebs evresinde toplam olarak NADH+H⁺ halinde 8H açığa çıkarılırken 2FADH₂ meydana gelir

Sitrik asit (Krebs = TCA) döngüsü



- Hans Krebs tarafından 1937 de bulundu.
- Bu keşfinden dolayı 1957 de NOBEL ödülü aldı.

Sitrik asit (Krebs = TCA) evresi

- Krebs çevrimi, meydana gelen ilk ürün olan sitrik asitteki 3 karboksil grubu nedeniyle, trikarboksilikasit (TCA) çevrimi olarakta adlandırılır.
- Krebs döngüsüne girmeden önce purivik asit okside olur ve 1 CO_2 açığa çıkar. Bu ekzergonik reaksiyon sırasında 1 molekülde $NADH_2$ oluşur.
- Böylece, başlangıçtaki glukoz molekülü 1 çift asetil (CH_3CO) grubuna yükseltgenmiştir, 1 çift CO_2 açığa çıkmış ve 1 çift de $NADH_2$ elde edilmiş olur.

Sitrik asit (Krebs = TCA) çevrimi

- Her bir asetil grubu daha sonra geçici olarak koenzim A (CoA) ile birleşerek **Asetil CoA** oluşturur.
- Koenzim A yapısında bir nükleotid ve B-vitaminlerinden biri olan pantothenik asit bulunan bir moleküldür.

Sitrik asit (Krebs = TCA) çevrimi

- Yağlar ve aminoasitlerde asetil CoA'ya çevrilerek, bu noktada solunum reaksiyonlarına girebilirler.
- Önce yağ molekülü 1 gliserol ve 3 yağ asidine parçalanır.
- Daha sonra karboksil ucundan başlayarak, ikili karbon grupları sırasıyla yağ asiti zincirinden ayrılırlar.

Sitrik asit (Krebs = TCA) çevrimi

- Krebs döngüsüne girişte 2 karbonlu asetil grubu, 4 karbonlu oksaloasetik asit ile birleşerek 6 karbonlu sitrik asiti oluştururlar.
- Bu döngü sırasında, 6 karbondan ikisi CO_2 olarak açığa çıkar ve sonuçta 4 karbonlu oksaloasetik asit tekrar oluşur.
- Döngünün her çevrimi bir asetil grubuyla 1 oksaloasetik asit kullanılır. Bu reaksiyonlar sırasında karbon atomlarının yükseltgenmesi ile açığa çıkan enerji ADP'den ATP (her çevrimde 1 molekül) ve NAD'dan $NADH_2$ (her çevrimde 3 molekül) oluşumunda kullanılır.
- Bunların yanında enerjinin bir kısmında ikinci bir elektron taşıyıcı molekül olan flavin adenin dinükleotidin (FAD) $FADH_2$ 'ye dönüşmesinde kullanılır.

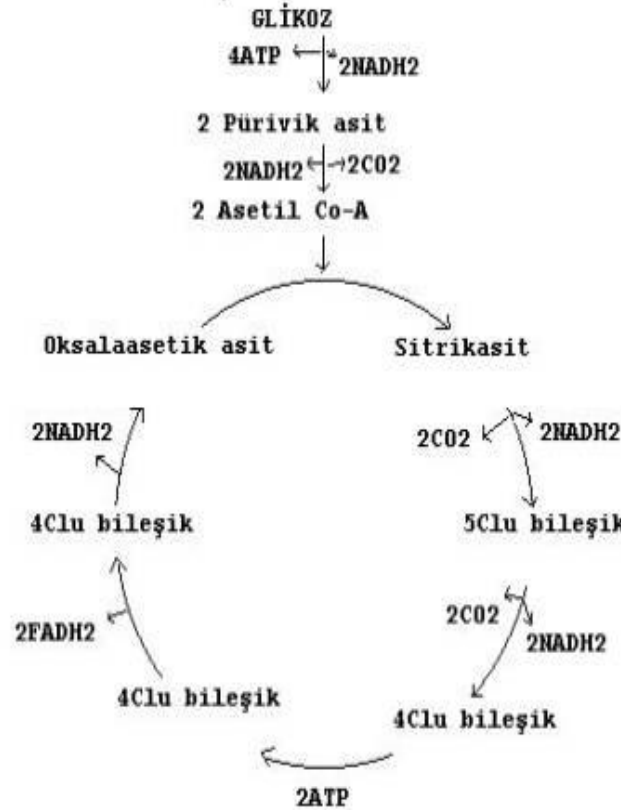
Sitrik asit (Krebs = TCA) çevrimi

- Krebs döngüsünde oksijenden direkt olarak yararlanılmaz. Karbonun oksidasyonu ile elde olunan elektronlar ve protonların hepsi NAD ve FAD'ye geçerler.Özetle krebs döngüsü:

Oksaloasetik asit+asetil CoA+ADP+3NAD+FAD



Oksaloasetik asit+CoA+2CO₂+ATP+3NADH₂+FADH₂

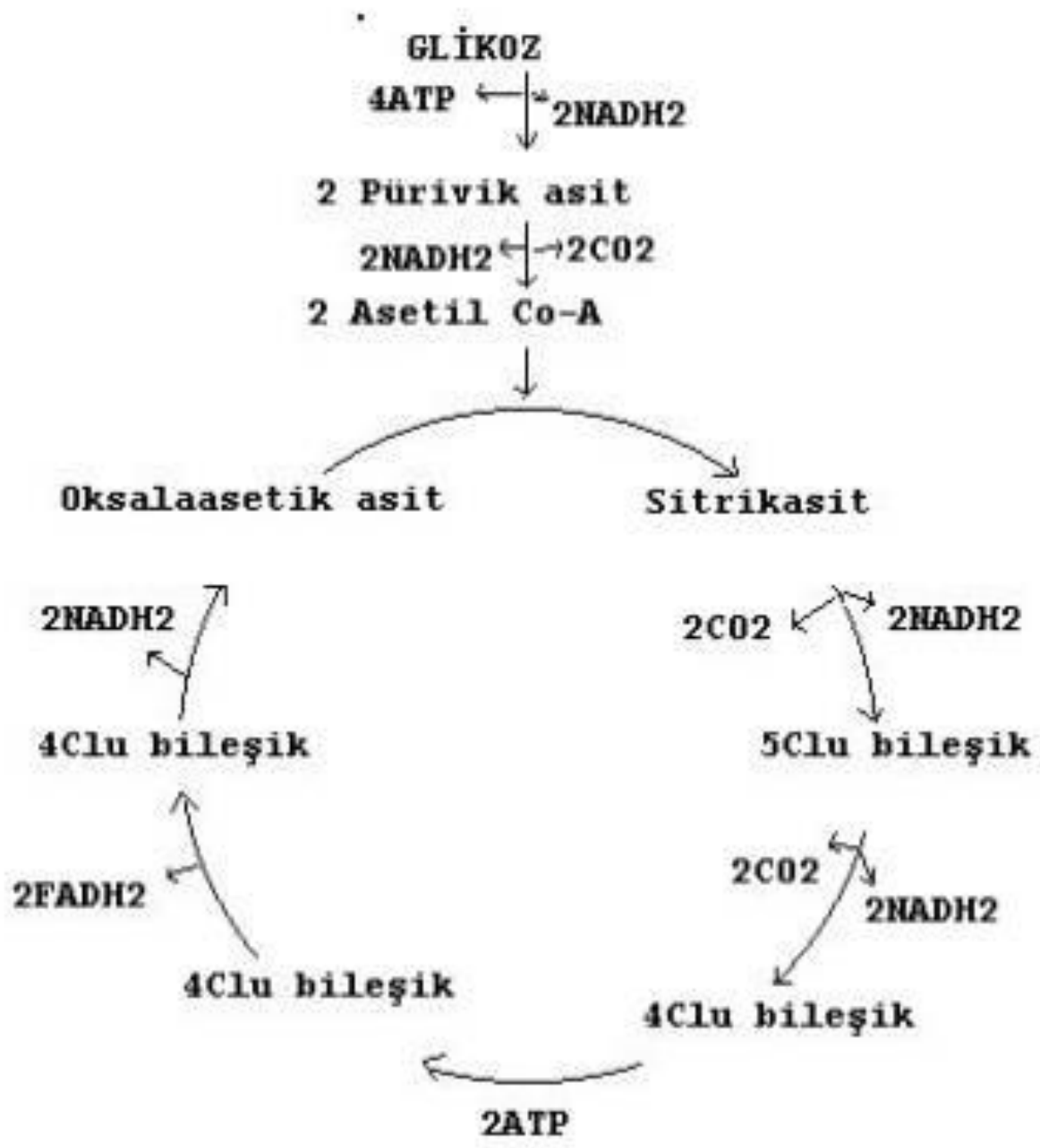


Pirüvat Asetil Co-A(asetil koenzim a) ya dönüşünce krebs devri başlar. Devir 2 asetil Co- A için iki kez olur.

Sonuçta;

4 CO₂ 2 ATP (substrat düzeyinde) 6 NADH₂ 2 FADH₂ oluşur.

- Pürivik asit O₂ li ortamda asetil Co-A ya dönüşür.
- Asetil Co-A mitokondride krebs devrini başlatan ara üründür.



ETS (Elektron Taşıma Zinciri)

- Bu aşamada glikoz tamamen okside olmuştur.
- Enerjinin bir kısmı ADPden ATP oluşumunda kullanılmıştır.
- Ancak enerjinin büyük bir kısmında hala NADH_2 ve FADH_2 ye geçmiş olan elektronlarda bulunmaktadır.
- Elektron Taşıma Zinciri içerisinde, bu elektronlar daha aşağıdaki enerji düzeyinde bulunan oksijene doğru akarlar.
- Bu sırada açığa çıkan enerjide ATP oluşumunda kullanılır.
- Bu işleme **oksidatif fosforilasyon** denir.

ETS

- Elektron taşıma zincirinde bulunan elektron taşıyıcı moleküller, yapısal olarak NAD ve FAD den farklıdır.
- Bunlardan bazıları demir içeren proteinlerdir ve bunlara sitokrom adı verilir.
- Elektron taşıma zincirinin farklı yerlerinde bulunan her sitokrom, protein yapıları ve enerji düzeyleri bakımından birbirinden farklıdır.

ETS

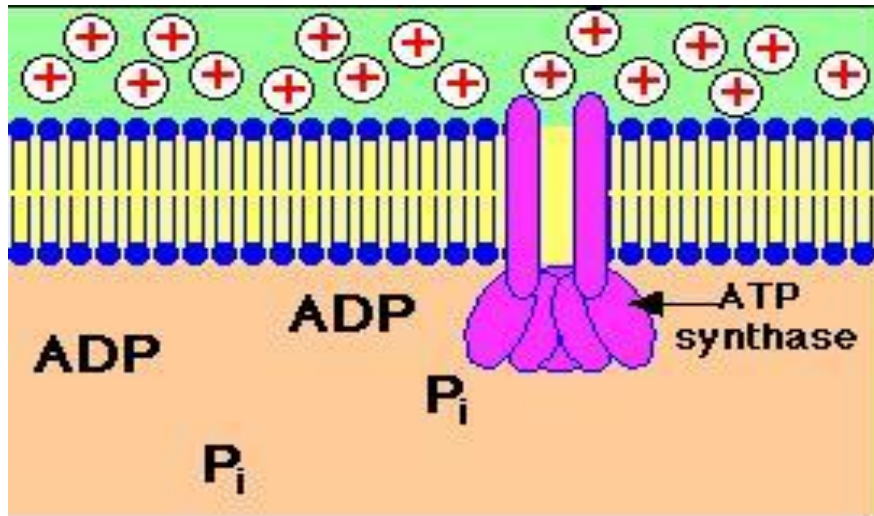
- Sitokromlardan başka birde demir sülfür içeren proteinler vardır.
- Bunlarda sitokromlar gibi sadece elektronları taşırlar.
- Elektron taşıma zincirindeki 3. önemli yapı ise; kuinon molekülleridir.
- Sitokrom ve demir sülfür proteinlerinin tersine kuinonlar hem elektron hemde proton (H iyonu) taşırlar.
- Böylece bunlar üzerinden her bir elektron geçişinde 1 protonda mitokondrinin matriksinden zarlar arası bölgeye taşınır.

ETS

- Elektron taşıma zincirinin en başında NADH_2 ve FADH_2 tarafından tutulan elektronlar bulunur.
- Krebs döngüsünde 2FADH_2 ve 6NADH_2 üretilmiştir.
- Pirüvik asitin CoA 'ya oksitlenmesinde 2NADH_2 açığa çıkmıştır.
- Glikolizden elde edilen 2NADH_2 de oksijenli koşullarda mitokondriye taşınır.
- Elektronlar ilk olarak, zincirin başında bulunan flavin mono nükleotid (FMN) tarafından ve taşıma zinciri üzerinde bulunan diğer moleküllerden geçerek zincirin sonundaki oksijene ulaşırlar.
- Bu oksijende hidrojenle birleşerek suyu oluşturur.

Oksidatif Fosforilasyon Mekanizması

- Elektronların elektron taşıma zinciri üzerinde taşınması sırasında mitokondrinin matriksinde bulunan hidrojen iyonları (protonlar) zarlar arası bölme pompalanırlar.
- Böylece, buradaki H^+ iyonu konsantrasyonu artar.
- Bu protonların matrikse geçişi ancak krista membranı üzerinde yer alan ATP sentaz adlı kompleks bir protein içerisinde olabilir.
- Bu geçiş sırasında da ADP ve fosfattan ATP oluşur.



Oksidatif Fosforilasyon Mekanizması

- Elektronların elektron taşıma zinciri üzerinden geçişleri ancak yeterli ADP olduğu zaman gerçekleşir.
- Diğer anlatımla, oksidatif fosforilasyon "**arz-talep kanunu**" tarafından kontrol edilir.
- Hücrenin enerji gereksinimi az olduğunda daha az ATP kullanılır ve böylece daha az ADP oluşur ve elektron taşınması yavaşlar.

Son oksidasyon evresi

- Mitokondrinin iç zarında meydana gelir ve sıvı fazında sona erer.
- Glikoliz ve Krebs evresinde meydana gelen H⁺ iyonları iç ve dış mitokondri zarları arasında birikir
- Buradaki H⁺ iyonları matrikse ATP sentetaz enzimi tarafından mitokondri matriksine taşınarak ATP sentezlenir
- Sonuçta, NADH₂ için 3ATP, FADH₂ için 2ATP sentezlenir.
- ETS nin elemanları NAD, FAD ve sitokromlardır.
- ETS de elektronların son alıcısı O₂ olup hidrojenleri tutarak H₂O oluşturur.

Toplam Enerji Verimi

- Şimdi 1 molekül glikozdan ne kadar ATP elde edildiğini hesaplayabiliriz.
- Oksijenli koşullarda glikozdan 2 ATP ve 2NADH₂ elde ediliyor.
- Sitoplazmadan mitokondriye taşınan bu 2NADH₂den ancak 4 ATP üretilir.
- Pirüvik asitin asetil CoAya çevrilmesi sırasında oluşan bir çift NADH₂ den 6ATP oluşur.
- Krebs döngüsünde ise 2 ATP, 6NADH₂ ve 2FADH₂ oluşmuştur. Böylece buradan da toplam 24 ATP oluşur.
- Burada dikkat edilmesi gereken nokta, daha düşük enerji düzeyinde elektron taşıma zincirine giden 1 FADH₂ 'den ancak 2 ATP oluşabilmesidir.
- Sonuç olarak bir molekül glikozun oksijenli ortamda tam yükseltgenmesi sonucunda 36 molekül ATP oluşur.
- Reaksiyona giren moleküller (glukoz ve oksijen) ile meydana gelen moleküller (karbondioksit ve su) arasındaki serbest enerji farkı toplamı 686 kilokaloridir. Bu enerjinin ise ancak % 39 'u yani 263 kcal (7.3 x 36) 36 ATP molekülünün yüksek enerjili fosfat bağları tarafından tutulmuştur.

AŞAMALAR	ATP	FADH ₂	NADH ₂	NET
GLIKOLİZ	2	-	2x2	6
Pürivik asit- Asetil CoA	-	-	2x3	6
KREBS döngüsü	2	2x2	6x3	24
TOPLAM	4	4	28	36



SOLUNUM

SİTOPLAZMA

GLİKOLİZİS

BURADA OLUYOR!

PROTEİNLER



ŞEKERLER



AMINO ASİTLER

GLİKOZ
 $C_6H_{12}O_6$

YAĞLAR
(LIPIDS)



GLİKOLİZİS

6 ATP

TOPLAM ATP
36

PÜRİVİK ASİT

ACETYL-CoA

CO₂ AÇIĞA
ÇIKIYOR

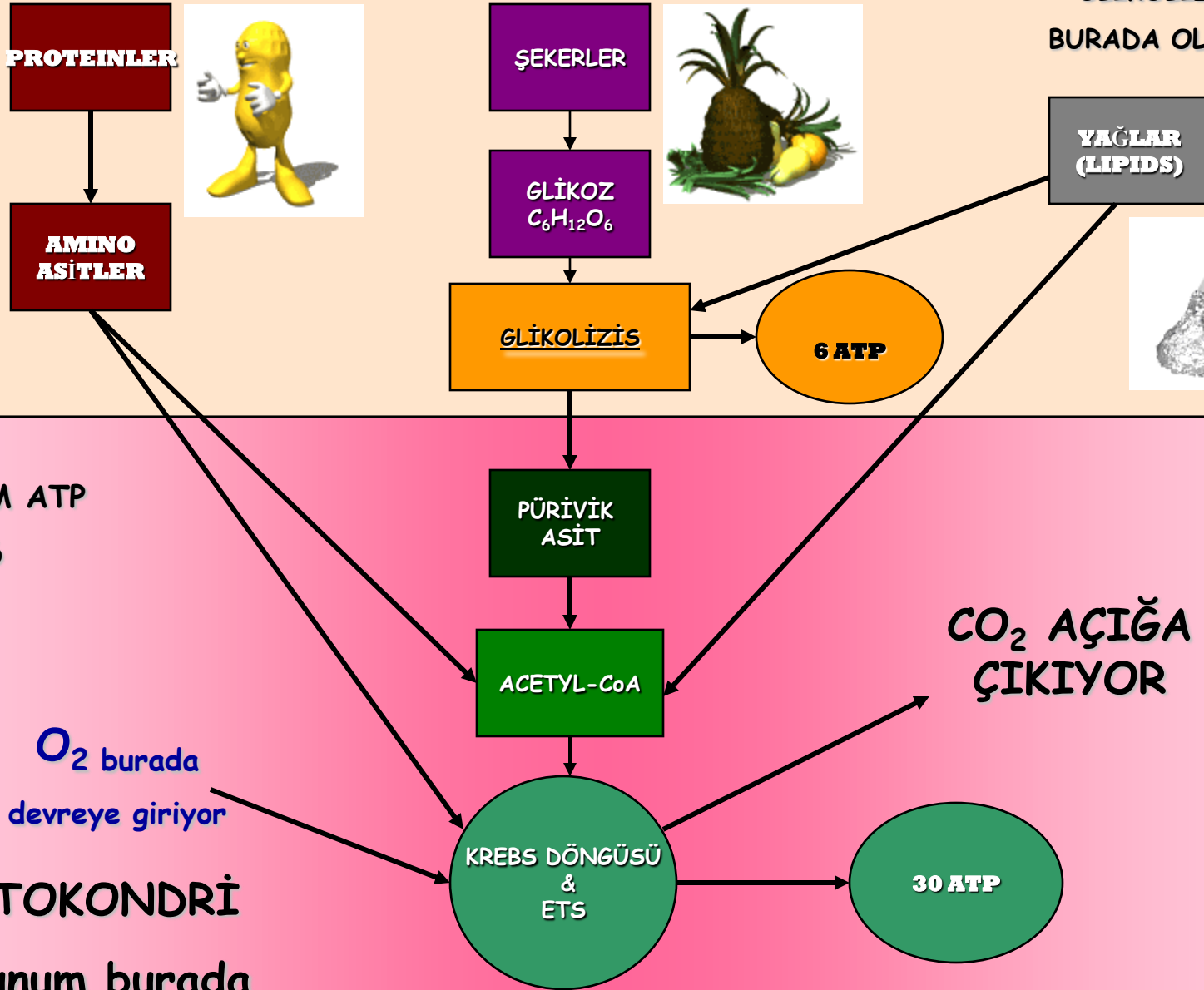
O₂ burada
devreye giriyor

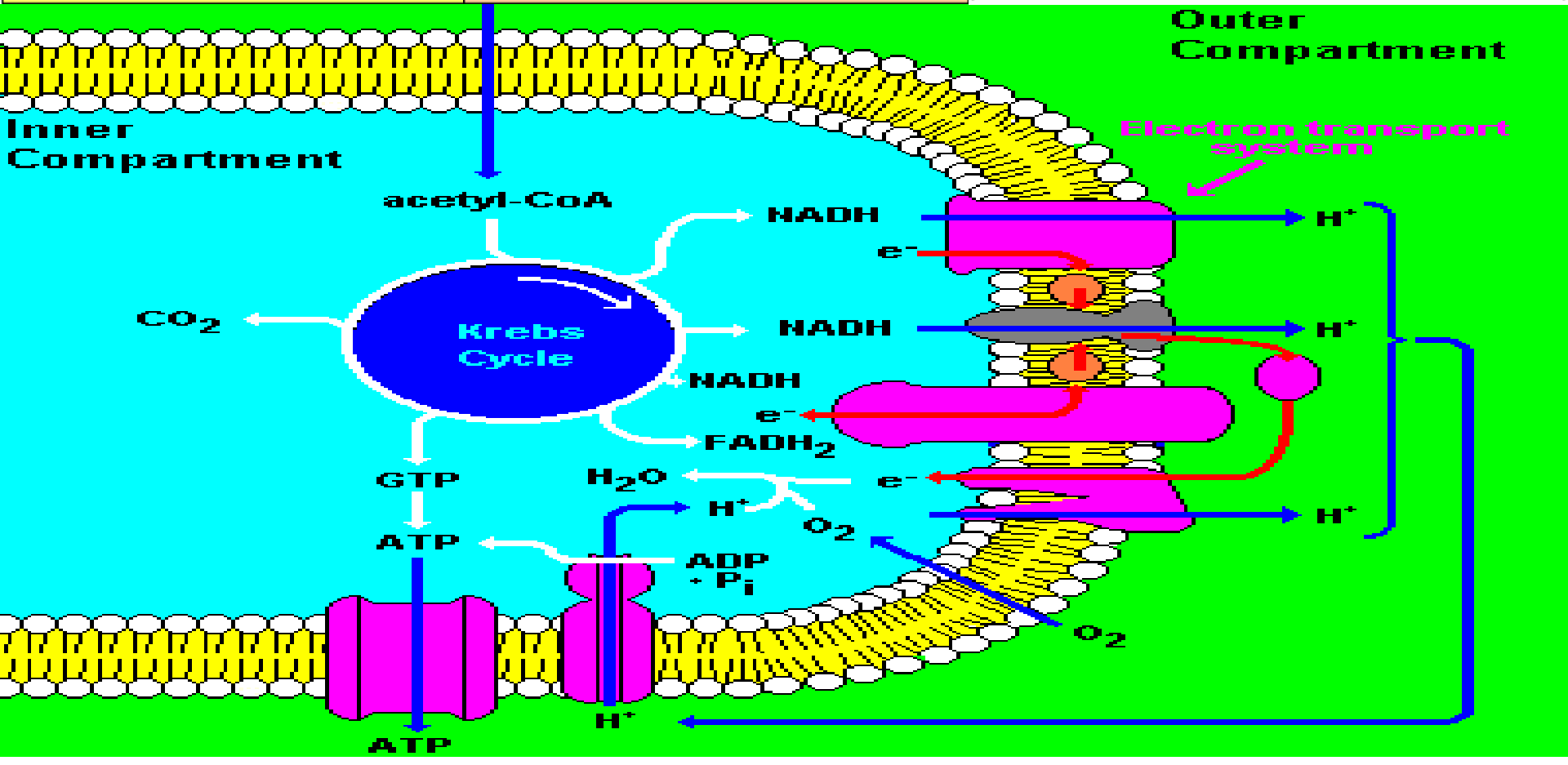
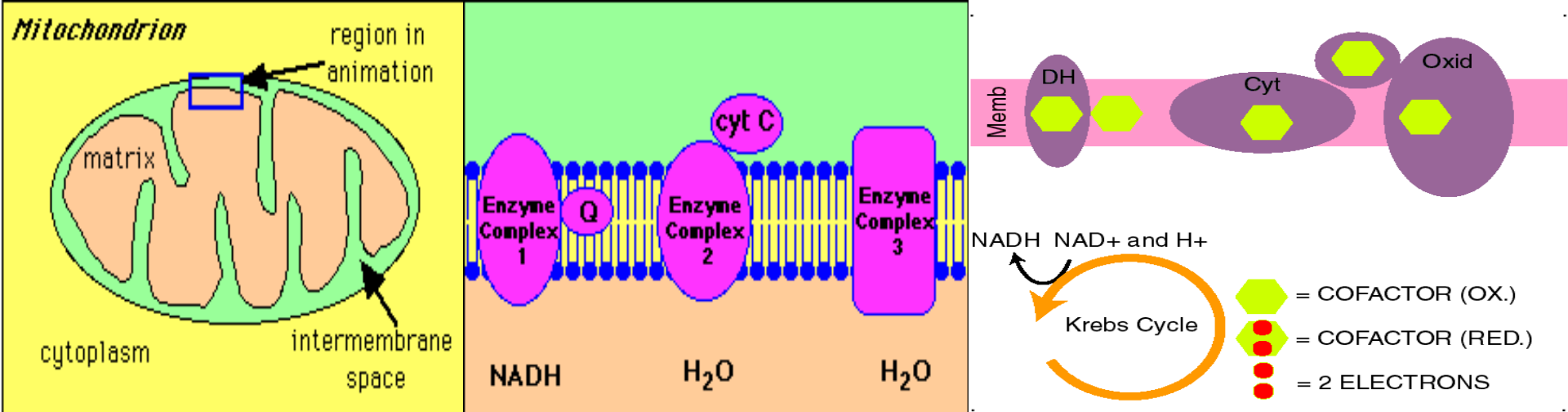
MİTOKONDİRİ

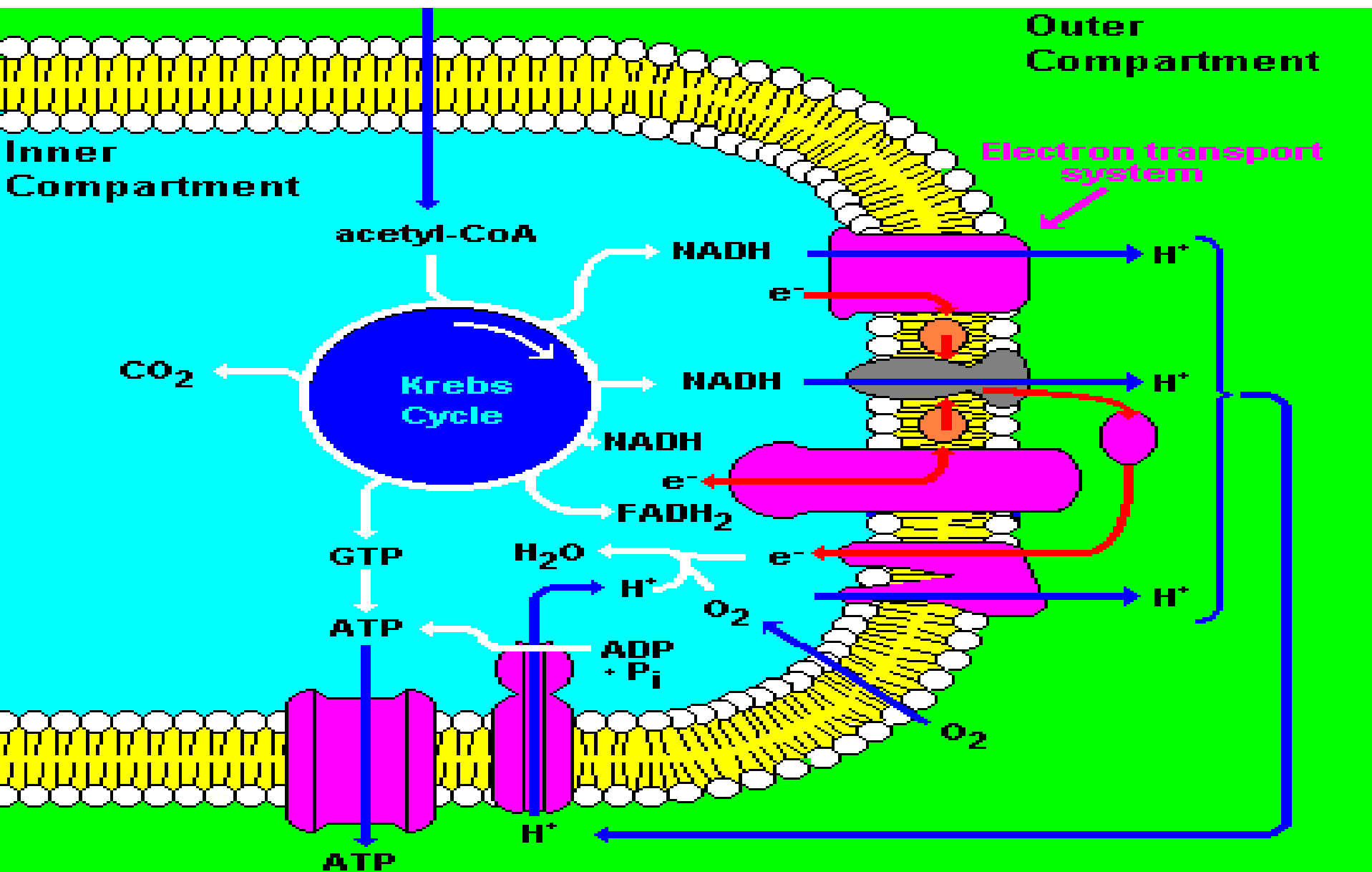
Solunum burada
oluyor

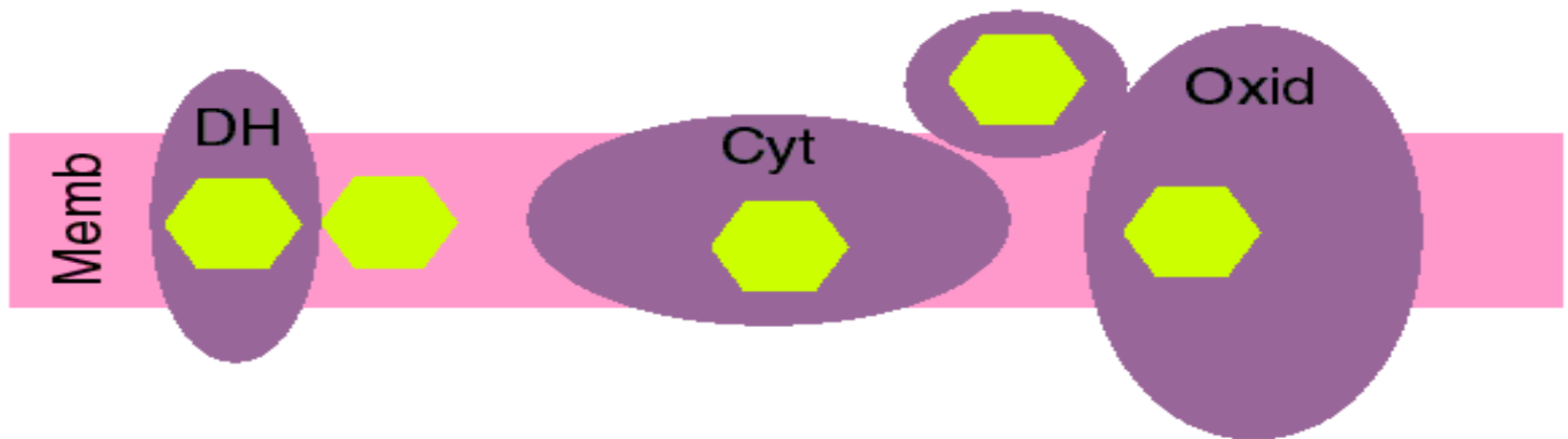
KREBS DÖNGÜSÜ
&
ETS

30 ATP

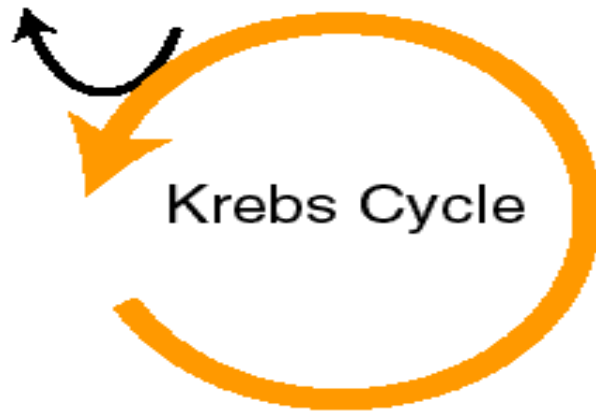







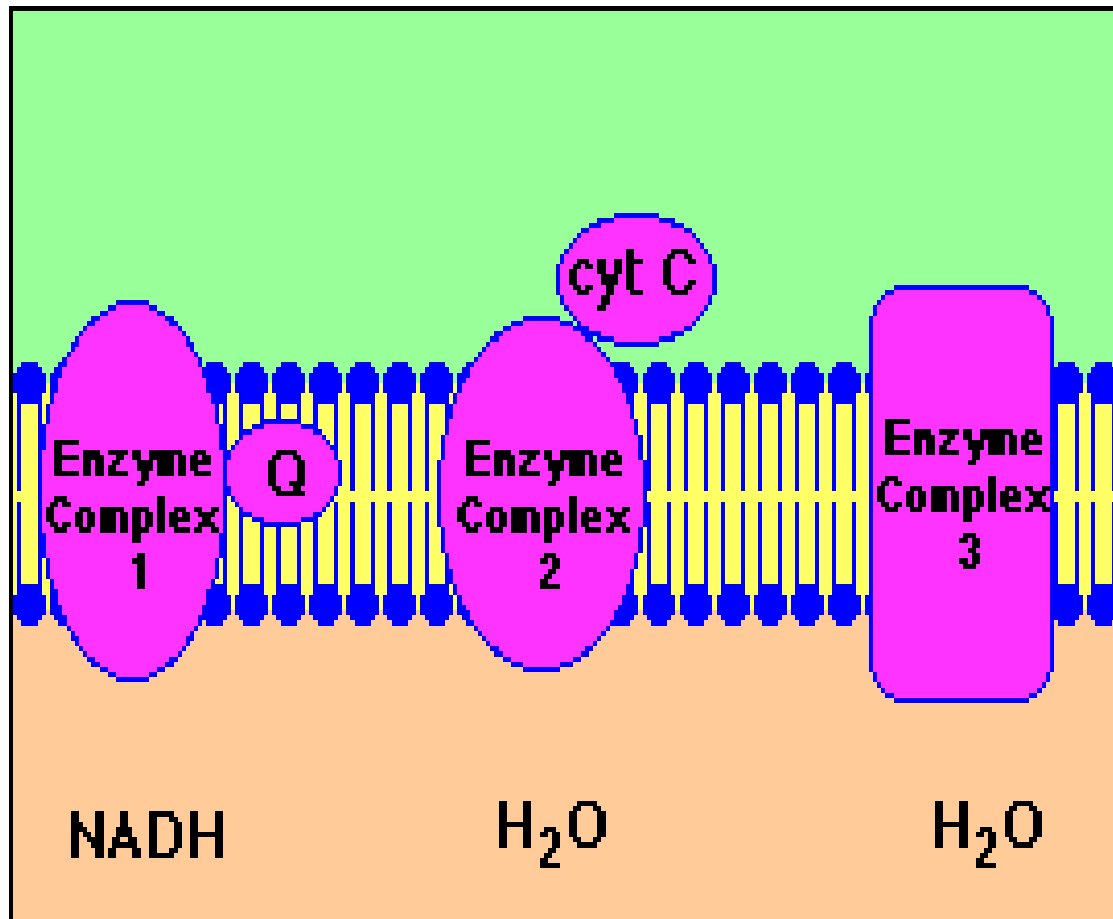




NADH NAD⁺ and H⁺



-  = COFACTOR (OX.)
-  = COFACTOR (RED.)
-  = 2 ELECTRONS



Cellular Respiration

mitochondria | aerobic

(2) pyruvate

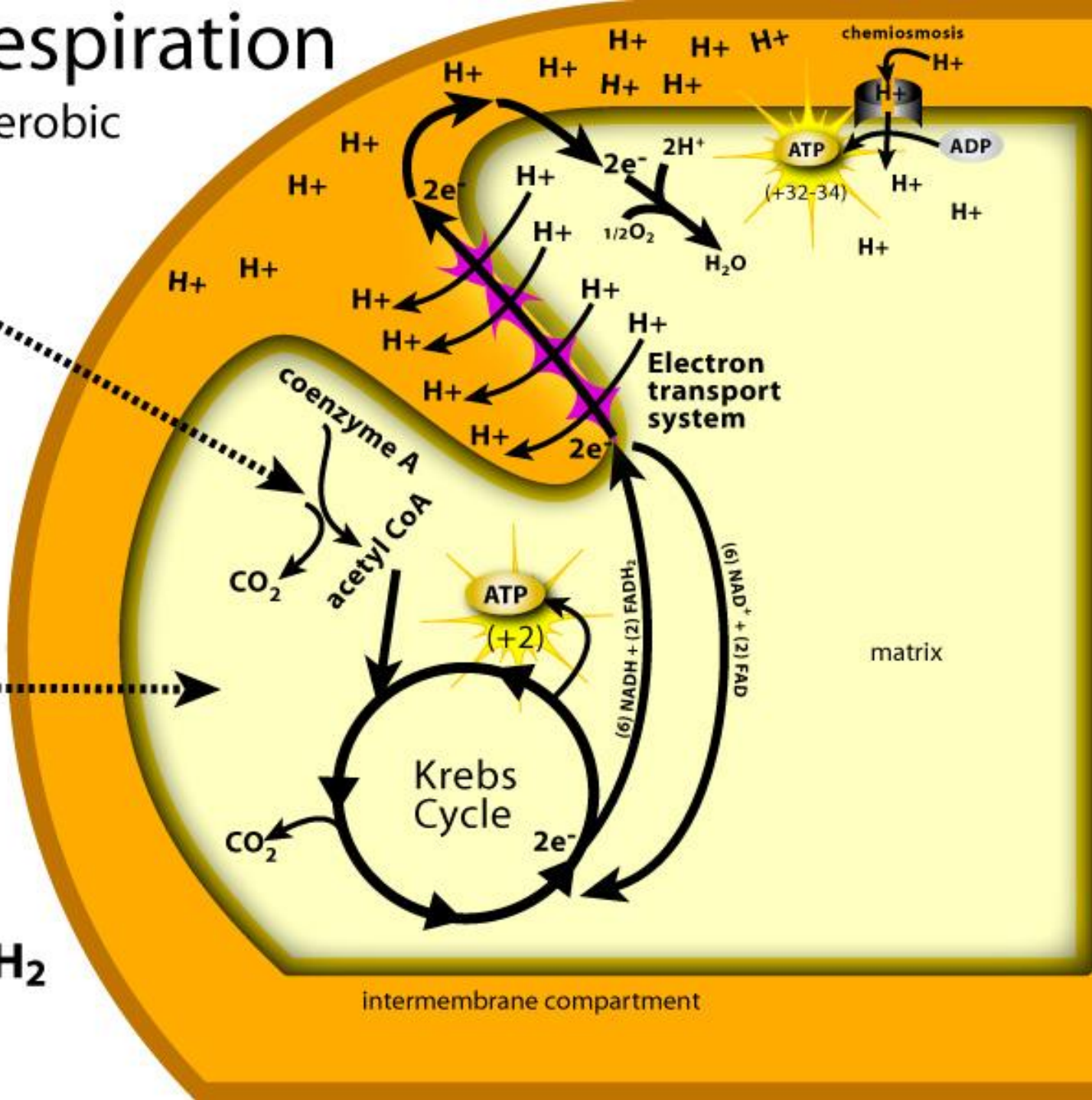


cytoplasm

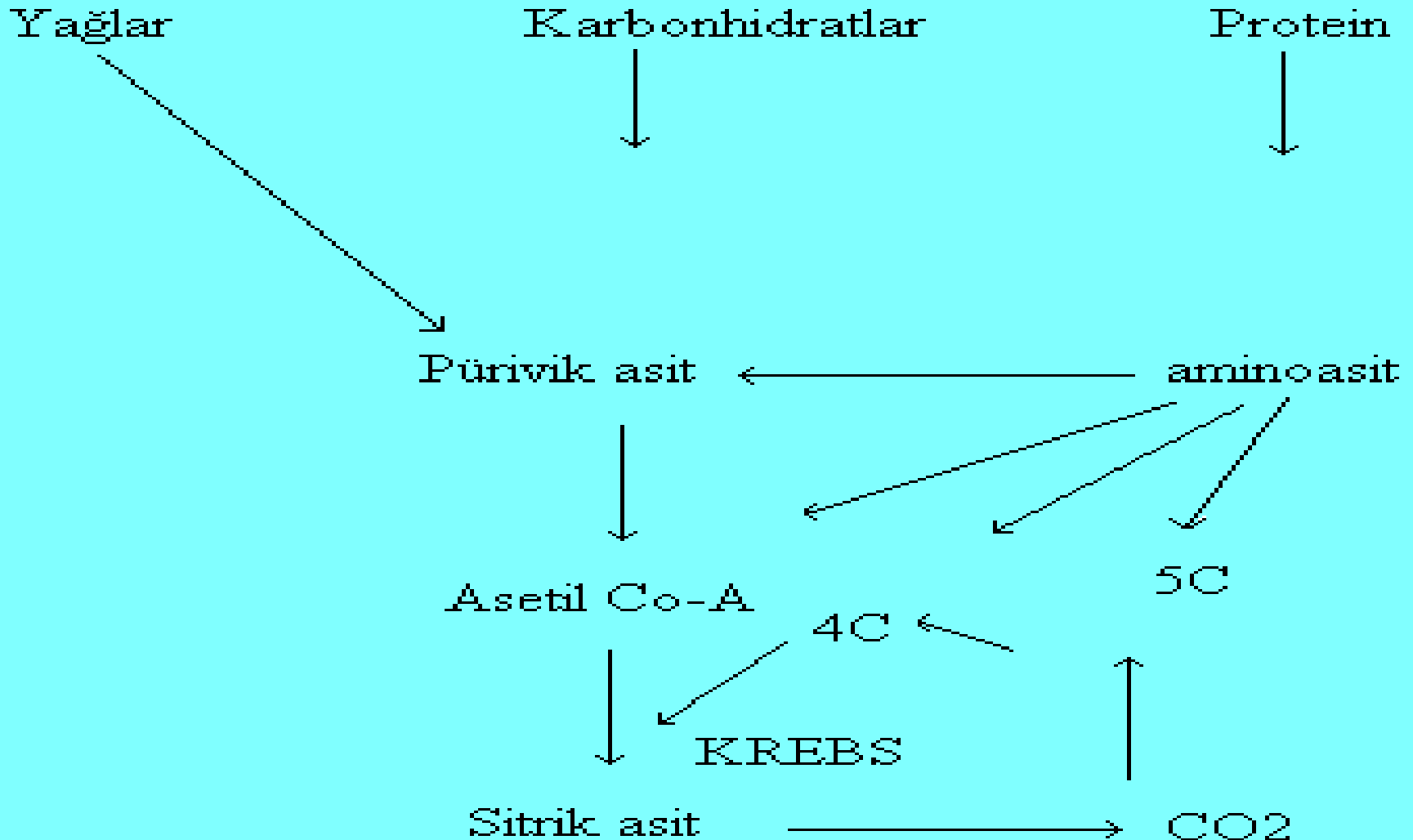
(2)

NADH

Net: 34-36 ATP
6 NADH, 2 FADH₂



Proteinler, karbonhidratlar ve yağlar farklı noktalardan solunum reaksiyonlarına katılırlar



Yağların oksidasyonu

- Yağlar sindirilerek yağ asitleri ve gliserole parçalanır
- Yağ asitleri krebs siklusuna girerek okside olurlar ve enerji sağlarlar
- Bir palmitik asit molekülünün parçalanması sonucunda 131 ATP meydana gelir
- 9,1 kcal/gr enerji elde edilir

Proteinlerin oksidasyonu

- Hücrede en son proteinler yakıt malzemesi olarak kullanılır
- Proteinler hücrede yapı malzemesi, enzim olarak görev yaparlar
- 4,8 kcal/gr enerji elde edilir

Anaerobik (oksijensiz=fermentatif) solunum

- Besin maddelerinin O_2 'siz olarak oksidasyonudur
- Son alıcısı O_2 olmayıp başka maddelerdir
 - Fermentasyon tipine göre hayvan hücrelerinde son ürün 3 C'lu laktik asit bitki hücrelerinde ise fermantasyon tipine bağlı olarak alkol veya sirke asitidir
- Yalnızca 2ATP elde edilir

Bitki ve hayvan hücrelerindeki fermantasyon çeşitleri

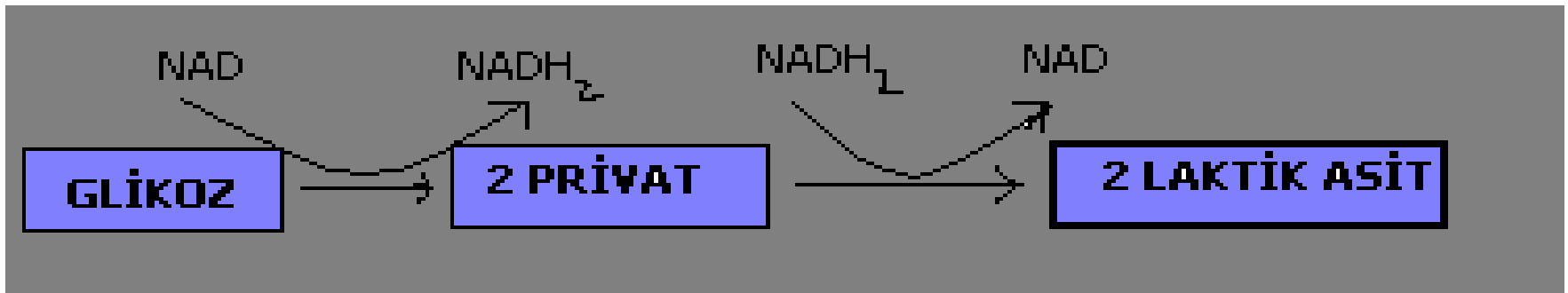
- Laktik asit fermantasyonu

- Hayvansal hücrelerde oluşur

- Özellikle kas dokusunda yeterince O_2 olmadığı durumlarda $NADH+H^+$ 'e $2H$ vererek laktik asit meydana gelir

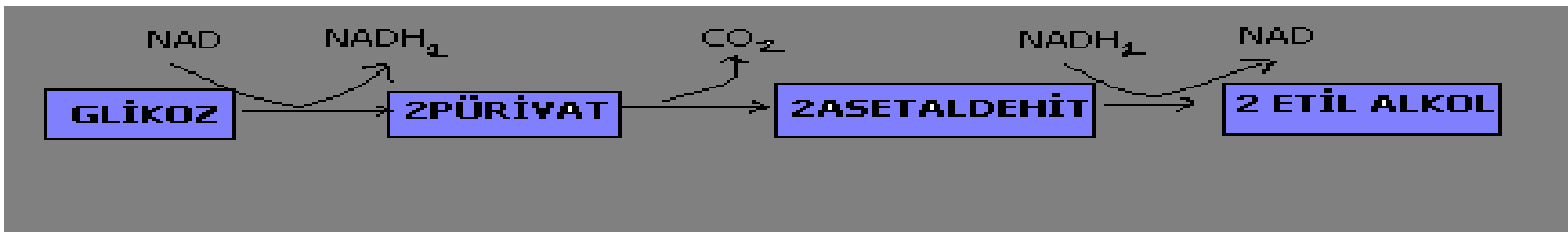
- Kas yorgunluğu oluşur

- Yeterli O_2 sağlanırsa laktik asit aldığı H 'lerini geri vererek piruvik asite geri döner ve TCA siklusuna girerek CO_2 ve H_2O kadar parçalanılır



Bitki ve hayvan hücrelerindeki fermentasyon çeşitleri

- Alkol fermentasyonu
 - Piruvik asitten CO_2 koparılarak asetaldehit buda $\text{NADH}+\text{H}^+$ 'den 4H alarak redüklenir alkol meydana gelir
 - Alkol ve CO_2 son ürünlerdir



- Sirke asidi fermentasyonu
 - Piruvik asitten 2 C'lu sirke asidinin oluşmasıdır

www.BahceBitkileri.org

- Bu sunum www.bahcebitkileri.org adresinde yayınlanmaktadır. Diğer sunumlara da web sitemizden ulaşabilirsiniz.