

## *Döngüsel Olmayan Fotofosforilasyon*

- Döngüsel olmayan fotofosforilasyonda fotosistem II'den fotosistem I'e doğru elektron aktarımı (Z) benzeri bir yol katedilerek gerçekleştirilir .
- **Burada Fotosistem I ve II'dekine benzer işlemler sonucu CO<sub>2</sub> fiksasyonunda kullanılacak ATP ve NADPH oluşur.**
- CO<sub>2</sub> özümlemesinde NADPH elektron verici olarak görev yapar
- Sistemde oluşan elektron boşluğu suyun FOTOLİZinden sağlanır
- PQ'dan CYTf'ye geçiş ile FAD'dan NAD'a geçişte açığa çıkan enerji ATP sentesinde kullanılır

## Döngüsel Olmayan Fotofosforilasyon

Şekil 8-11 Tilakoit içerisinde fotosistem II'den fotosistem I'e elektron ve protonların aktarımı ile  $NADP^+$  'nin indirgenerek  $NADPH$  oluşumu ve ATP sentezi ( $PQ$  = Plastokinon,  $PQH_2$  = İndirgenmiş plastokinon;  $PC$  = Plastosiyanin,  $Fd$  = Ferrodoksin;  $Fp$  = Flavoprotein)

- Bu arada suyun fotolize edilmesi sonucu açığa çıkan hidrojen iyonları ile birlikte fotosistem II'nin elektron akımı zincirinde  $PQ$ 'da oluşan hidrojen iyonları ATPaz enzimi aracılığıyla ATP'nin sentezinde önemli görev yaparlar
- Bu yüzden ışık tepkimelerinde elektron ve proton kaynağı olarak suyun önemi büyüktür

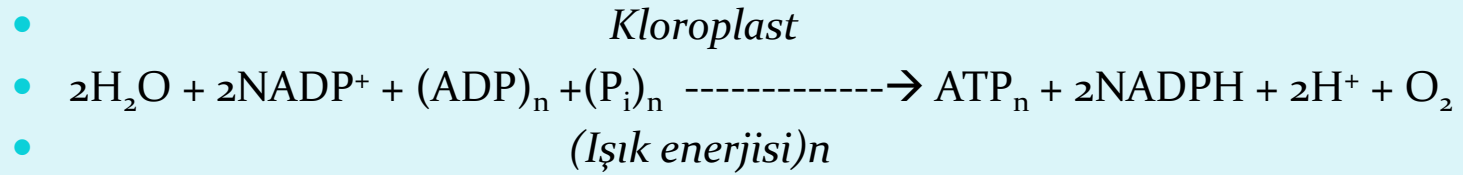
## *Döngüsel Olmayan Fotofosforilasyon*

- Kimi elektronların (Z) benzeri yol katederek NADPH'yi oluşturması ve sistemden çıkması, kimi elektronların da tamamlayıcı olarak sisteme girip aktarılması *Döngüsel Olmayan Fotofosforilasyon* olarak adlandırılmaktadır.
- Tümüyle bu olgu sonunda, ATP ve NADPH oluşmakta ve açığa çıkan oksijen molekülü atmosfere karışmaktadır.
- Fotofosforilasyon tepkimeleri, adından da anlaşılacağı gibi fotosentezin ışık tepkimeleridir.

## Döngüsel Fotofosforilasyon

- Yüksek bitkilerde temelde **döngüsel olmayan fotofosforilasyon** olgusu **geçerlidir**.
- Döngüsel fotofosforilasyon sadece kimi bakterilerde görülür.
- Döngüsel fotofosforilasyonda NADPH oluşmaz

- Işık Tepkimesi (Özet)



# Karanlık Tepkimeleri

- Fotosentezin karanlık tepkimeleri düşük enerjili bir madde olan  $\text{CO}_2$ 'in yüksek enerjili ATP ve NADPH'den yararlanılarak glikoz gibi bileşiklere dönüştürülmesidir.  
CH<sub>2</sub>O  
3700hidrat  
ADP +Pi  
NADP+
- Karanlık tepkimeleri doğrudan ışığa bağlı değildir ve çoğunlukla gündüz gerçekleşir.

# Karanlık Tepkimeleri

- Fotosentezin karanlık tepkimelerinde karbondioksit özümlemesi **3** başlık altında incelenir:
  - A)  $C_3$  bitkilerinde karbondioksit özümlemesi (*Calvin-Benson Mekanizması*),
  - B)  $C_4$  bitkilerinde karbondioksit özümlemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*) ve
  - C) KAM bitkilerinde karbondioksit özümlemesi (*Krassulasean Asit Mekanizması*)

A)  $C_3$  bitkilerinde  $CO_2$  özümlemesi (*Calvin-Benson Mekanizması*)

- $C_3$  Bitkileri :  $CO_2$  özümlemesinde ilk şeker ürünü olarak  $3C$ 'lu (trioz) şekerleri oluşturan bitkilerdir.

## A) C<sub>3</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümlemesi (*Calvin-Benson Mekanizması*)

- **ÖZET TEPKİME:**
- $\text{CO}_2 + \text{RiDP} + 3\text{ATP} + 2\text{NADPH} \rightarrow 2(3\text{-PGAL}) + 2\text{NADP}^+ + 3\text{ADP} + 2\text{HPO}_4^{2-}$
- Calvin-Benson döngüsünde **3-fosfogliseraldehit (3-PGAL)** **anahtar görevini** yapan bir bileşiktir.
- Bir seri karmaşık tepkimeler 5 karbonlu bir bileşik olan ve bir fosfat içeren **Ribuloz-5-Fosfat** oluşmasını sağlar.
- Ribuloz-5-fosfattan ise **ribuloz-5-fosfat kinaz** enzimi aracılığıyla ışık tepkimelerinde oluşan ATP'den 1 fosfor alınarak **döngünün başlangıç maddesi olan Ribuloz-1,5-difosfat (RiDP)** yeniden oluşur.



## A) C<sub>3</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümlemesi (*Calvin-Benson Mekanizması*)

- Döngünün 3 kez tamamlanması durumunda 6 molekül 3-PGAL (toplam 18 C) oluşur.
- Bu moleküllerden toplam 15 C içeren 5 tanesi üç döngü sonunda 3 molekül RiDP'in oluşmasını sağlar.
- Geride fazladan kalan bir molekül 3-PGAL ise heksozların oluşumu, nişasta sentezi ve çeşitli metabolik işlevlerde kullanılır.
- Calvin-Benson döngüsünün tamamlanması ve 1 mol CO<sub>2</sub>'in özümle-nebilmesi için gerekli maddeler ile oluşan tepkime ürünleri şu şekilde formüle edilebilir.
- $\text{CO}_2 + 3\text{ATP} + 2\text{NADPH} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + 2\text{NADP}^+ + 3\text{ADP} + 3\text{HPO}_4^{2-}$

## A) C<sub>3</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümlemesi (*Calvin-Benson Mekanizması*)

- Calvin-Benson döngüsü aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi özetlenebilir:



- Bu reaksiyonda kullanılan 18 mol ATP 140 kcal ve 12 mol NADPH yaklaşık 615 kcal eder. Böylece toplam enerji girdisi 750 kcal'dir.
- Sentezlenen 1 mol glikozdaki enerji ise 673 kcal'dir.
- Bu durumda %90 verimlilik söz konusu olup, kalan %10 enerji Calvin-Benson döngüsünün devamlılığında kullanılır.
- Bu reaksiyon serileriyle bitkiler, ışık enerjisinden kazanılan kimyasal enerjiyi satabil hale getirir ve onu hücrede depolarlar.
- Yukarıda gerekli enerjinin;
- %83'ü NADPH'dan, %17'si ATP den sağlanır
- Karbonhidrat sentezinde NADPH'ın önemini göstermektedir

## B) $C_4$ bitkilerinde $CO_2$ özümlemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

- $C_4$  Bitkileri :  $CO_2$  özümlemesinde ilk şeker ürünü olarak  $4C$ 'lu şekerleri oluşturan bitkilerdir.

Hatch ve Slack döngüsünde,  $CO_2$ 'in ilk bağlandığı organik bileşik **Fosfoenol Piruvik Asit** veya bunun tuzu olan **Fosfoenolpürivat (PEP)**'tir.

Bu reaksiyonda rol oynayan enzim de, kısaca **PEP-karboksilaz** enzimidir.

## B) C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

Mısır, sorgum, şeker kamışı, tropik çayır bitkileri gibi **sıcak iklim bitkilerinde** (C<sub>4</sub>) karbondioksit *Fosfoenolpirüvat (PEP)* tarafından tutılmaktadır.

Bu bitkilerde;

CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Karboksilasyon*) *yaprağın mezofil hücrelerinde* CO<sub>2</sub>'in açığa çıkarılması (*Dekarboksilasyon*) *yaprağın demet kını hücrelerinde* gerçekleşir

Mezofil hücreleri yüzeye yakındır.  
Dolayısıyla O<sub>2</sub> yönünden zengindir.

Mezofil hücrelerinde **RUBİSKO** olmadığından C<sub>3</sub> yoluyla CO<sub>2</sub> fiksasyonu yapılamaz

Demet kınında **RUBİSKO** bulunur. Dolayısıyla CO<sub>2</sub> C<sub>3</sub> yoluyla özümelenir.  
Burada CO<sub>2</sub> yükseltgenen malik asit, oksaloasetik asit, aspartik asit vb den sağlanır

## B) C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

### C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi 4 aşamada oluşmaktadır

- 1) Mezofil hücrelerinde fosfoenolpirüvatın karboksilasyonu ile CO<sub>2</sub>'in fiksasyonu ve C<sub>4</sub> asitlerinin (*Malat ve/veya Aspartat*) oluşumu
- 2) Oluşan C<sub>4</sub> asitlerinin demet kını hücrelerine aktarılması
- 3) Demet kını hücrelerinde C<sub>4</sub> asitlerinin dekarboksilasyona uğraması ve açığa çıkan CO<sub>2</sub>'in Calvin-Benson döngüsünde indirgenerek karbohidrat oluşması
- 4) Dekarboksilasyon aşamasında oluşan C<sub>3</sub> asitlerin (*Pirüvatın ya da Alaninin*) geri mezofil hücrelerine aktarılması ve fosfoenolpirüvatın CO<sub>2</sub>'i fikse ederek döngünün yeniden başlamasıdır

Burada önemli olan husus döngünün yeniden başlatılmasında görev yapan *Fosfoenolpirüvik Asit Karboksilaz (Pirüvat-Ortofosfat Dikinaz)* enziminin işlevini gerçekleştirdiği sırada ATP'den AMP oluşurken yüksek enerjili iki fosfat bağıny kullanmış olmasıdır.

Bu olgu döngünün başlatılmasında **yüksek enerjiye gereksinim bulunduğunu** ortaya koymaktadır.

## B) C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümlemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

- GÖRÜLDÜĞÜ GİBİ;
- C<sub>4</sub> metabolik yolunun tipik özelliklerinden birisi bu yolun birbirini izleyen iki döngü halinde devam etmesidir.
- Birinci döngü mezofil hücresi kloroplastlarında, ikinci döngü ise demet kını hücreleri kloroplastlarında geçmektedir.
- Bu yolun diğer bir tipik özelliği de iki farklı hücrede (mesofil ve demet kını) olmak üzere iki kez CO<sub>2</sub> fiksasyonu olayının meydana gelmesidir.

## B) C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

### C4 bitkilerinin farklılıkları:

- Diğer bitkilere göre 2 kat daha fazla fotosentez yaparlar.
- C<sub>4</sub> bitkilerinde çok yüksek bir aktiviteye sahip olan PEP-karboksilaz enzimi CO<sub>2</sub>'ye çok duyarlıdır. Bu nedenle bu enzim düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında bile yüksek reaksiyon yeteneklerini koruyabilirler.
- C<sub>4</sub> bitkileri yüksek ışık şiddeti alan yörelerde yetiştirildiklerinden etkin fotofosforilasyon sonucundan daha fazla ATP sentezleyebilmektedirler.
- Bu koşullarda ışık intensitesinden çok CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, karbondioksit özümülemesini sınırlayıcı bir etmen olmakta ve bunda da C<sub>4</sub> bitkileri daha avantajlı durumda bulunmaktadır
- C<sub>4</sub> bitkileri su noksanlığına karşı daha dayanıklıdır. Bu bitkiler düşük Co<sub>2</sub> konsantrasyonlarını daha iyi değerlendirebildikleri için stomalarını çoğu zaman kapalıya yakın durumda tutarlar. Bu nedenle de C<sub>4</sub> bitkilerinde su yitmesi en az düzeyde kalır. Ekonomik su kullanımını yönünden C<sub>4</sub> bitkileri diğer bitkilere göre yaklaşık 2 kat daha avantajlı durumdadır.

## B) C<sub>4</sub> bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Hatch-Slack Mekanizması*)

### C4 bitkilerinin farklılıkları:

- C<sub>4</sub> bitkilerinde *PEP-Karboksilaz enzimi düşük sıcaklığa karşı duyarlıdır*.
  - Bu nedenle C<sub>4</sub> döngüsü sıcak iklim yöresi bitkilerinde oluşur. Nitekim düşük sıcaklığa sahip yörelerde mısır bitkisinde görülen gelişme bozuklukları ve yaprak sararmaları PEP-karboksilaz enziminin işlevlerini tam olarak yerine getirememesiyle yakından ilgilidir.
  - C<sub>4</sub> bitkilerinde PEP-karboksilaz aktivitesi, C<sub>3</sub> bitkilerine göre çok daha yüksektir.
  - Buna karşın RiDP-karboksilaz (*Rubisko*) enzim aktivitesi yönünden her iki bitki grubu arasında önemli bir fark bulunmadığı saptanmıştır
  - C<sub>4</sub> bitkileri daha çok tropik veya yarı tropik bölgelerde yetişirler. Ancak ülkemizde olduğu gibi ılıman iklim bölgelerinde yetişen türler de bulunmaktadır.
- Başlıca C<sub>4</sub> bitkileri:** Şekerkamışı, mısır, sorgum, semiz otu, çeşitli çayır bitkileri,
- C<sub>3</sub> bitkileri ise daha çok ılıman ve serin iklimlerde yetişirler.
- Başlıca C<sub>3</sub> bitkileri:** buğday, patates, ıspanak, marul vb sebzeler, ayçiçeği



## C) KAM bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Krassulasean Asit Mekanizması*)

- Arid-(kurak) yöre bitkileridir.
- Kimileri çölde, su içeriği düşük sığ topraklarda ve tuz stresi gösteren koşullarda yetişirler.
- Bunları *Crassulaceae*, *Cactaceae* ve *Euphorbiaceae* familyalarına bağlı bitkiler oluşturur.
- **Başlıca KAM Bitkileri:** *Crassulaceae* Familyasına bağlı *Crassula*, *Sedum*, *Kalanchoe* ve *Bryophyllum* bitkileri

Bu şekilde CO<sub>2</sub> özümülemesi ilk olarak **Crassulaceae** familyasına ait bitkilerde tespit edildiği için **bu isim verilmiş** olup, daha sonraları bazı diğer familyalardaki bitkilerde de aynı metabolik yolun izlendiği saptanmıştır.

## C) KAM bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Krassulasean Asit Mekanizması*)

- Stomaları gece açıldığı için KAM bitkilerinde buhar şeklinde su yitmesi, absorbe edilen CO<sub>2</sub>'e oranla çok azdır.
- Stomaları gündüz tamamen kapandığı için gündüz su yitmesi en az düzeye inen KAM bitkilerinde malik asidin dekarboksilasyonu sonucu oluşan CO<sub>2</sub> özümленerek fotosentez sürdürülür.

Özümlenen her 1 mol CO<sub>2</sub> için yitirilen su miktarı

C<sub>3</sub> bitkilerinde 400-500 mol

C<sub>4</sub> bitkilerinde 250-300 mol

KAM bitkilerinde 50-100

## C) KAM bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümülemesi (*Krassulasean Asit Mekanizması*)

### KAM Bitkilerinin Özellikleri:

- a) KAM bitkilerinde gece stomalar açılır
- b) Transpirasyon gece oluşur
- c) CO<sub>2</sub> alımı gece olur
- d) Gece asit içeriği yükselir
- e) Gece nişasta miktarı azalır
- f) Gündüz asit miktarı azalır
- g) Gündüz nişasta miktarı artar
- h) Gündüz stomalar kapandığı için gaz şeklinde su yitmesi yok denecek düzeye iner

## C) KAM bitkilerinde CO<sub>2</sub> özümlemesi (*Krassulasean Asit Mekanizması*)

KAM Bitkilerinin C<sub>4</sub> Bitkilerinden Farkı:

KAM Bitkileri ile C <sub>4</sub> Bitkilerinin Farkı	
KAM	C <sub>4</sub>
Malik asit, CO <sub>2</sub> 'in biriktirildiği madde	Malik asit, CO <sub>2</sub> vericisi olan aktif ara madde
Karboksilasyon Gece ve gündüz farklı PEP-Karboksilaz GECE RUBİSKO GÜNDÜZ aktif	

DOĞADAKİ BİTKİLERİN	
% 85'i	C <sub>3</sub>
% 5'i	C <sub>4</sub>
%10'u	KAM

# NIŞASTA ve SAKKAROZ SENTEZİ

- Nişasta ve sakkaroz, Calvin-Benson mekanizmasına göre  $CO_2$  özümlemesi evresinde oluşan 3 karbonlu fosfat (triozfosfat) bileşiklerinden yararlanılarak sentezlenir.
- Sakkaroz floem aracılığıyla bitkide taşınan temel karbohidrattır.
- Nişasta ise çözünemez durağan karbohidrat olup tüm bitkilerde depo maddesi olarak bulunur.
- Hücrenin ayrı yerlerinde sentezlenen nişasta ve sakkaroz arasında sürekli bir yarış (rekabet) söz konusudur.
- Nişasta kloroplastta sentezlenir
- Sakkaroz sitozolde sentezlenir.

## NİŞASTA ve SAKKAROZSENTEZİ

- Reaksiyonlar BENZER
- Enzimler FARKLI
- Yani bunlar özdeş tepkimelere katılan ancak yapı ve özellikleri farklı İZOENZİM (İZOZİM)lerdir

Kloroplast ile Sitozol arası iletişimi ortadaki beyaz kutuda bulunan  $P_i$  AKTARICISI sağlar

Nişasta mı Sakkaroz mu sentezleneceğini  $P_i$  ve TRİOZ FOSFAT konsantrasyonu belirler

$P_i$  AKTARICISI kloroplasttan sitozole trioz fosfat, sitozolden de kloroplasta  $P_i$  taşır

## NİŞASTA ve SAKKAROZSENTEZİ

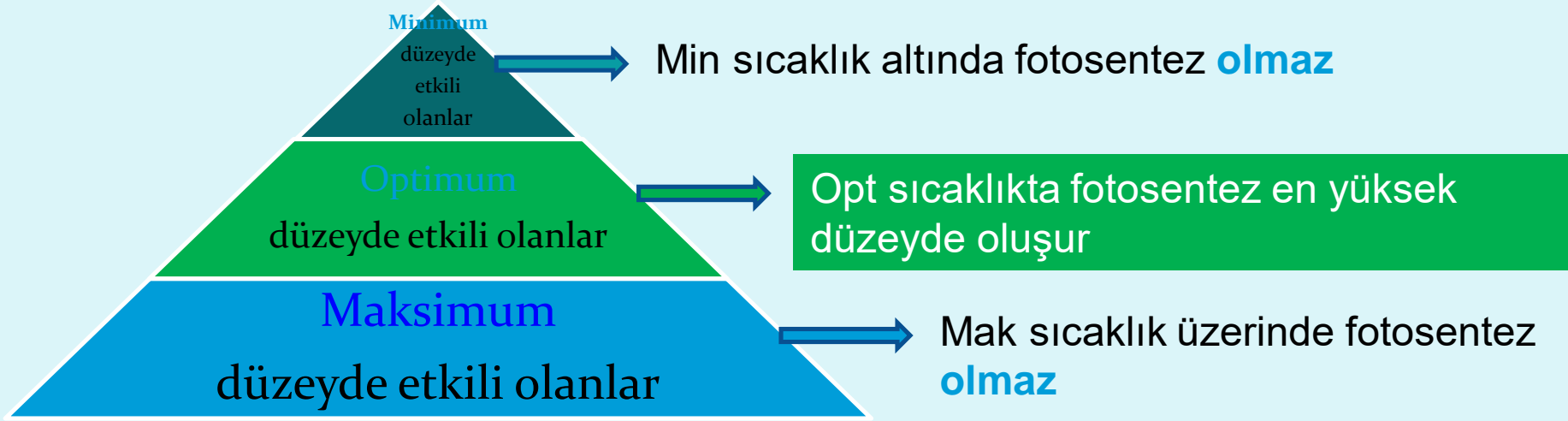
- Sitozolden yeteri kadar inorganik fosforun ( $P_i$ ) kloroplasta aktarılmaması durumunda Calvin-Benson döngüsünde kloroplastta oluşan trioz fosfatın sitozole aktarımı azalır.
- Bu olgu kloroplastta nişasta sentezinin hızlanmasına ve sitozolde sakkaroz sentezinin azalmasına neden olur.

Bunun aksi de doğrudur.

Kloroplasta yeteri kadar inorganik fosfor ( $P_i$ ) aktarılması sonucu sitozole fazla miktarda trioz fosfat aktarımı gerçekleşir.

Bu olgu sitozolde sakkaroz sentezinin hızlanmasına ve kloroplastta nişasta sentezinin yavaşlamasına yol açar.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler



## Karşılıklı etkileşimler de söz konusudur

**ÖRNEK 1:** CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi ışık şiddetine bağlı olarak değişir

**ÖRNEK 2:** Sıcaklık etkisi ışık intensitesine bağlı olarak değişir

**ÖRNEK 3:** Işık intensitesinin etkisi su miktarına bağlı olarak değişir

**YANI: Fotosentezi aynı anda çeşitli etmenler etkiler**

**YANI: Yoğurt bulunsa pekmez bulunmaz, pekmez bulunsa yoğurt bulunmaz**



# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

Blackman yasası:

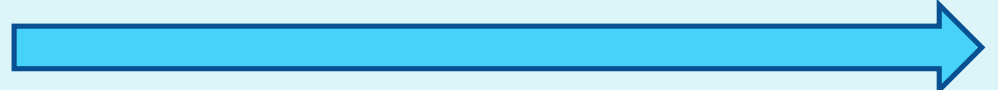
“Bir olayı değişik bir çok etmen etkiliyorsa olayın hızı, miktarı en az olan etmenle sınırlıdır.”

MİN YASASI (Fıçı Yasası, Liebig Yasası)

**BU NE DEMEK ?**

Fotosentez üzerine bir etmenin etkisi belirlenirken öteki etmenlerin etkilerinin de aynı anda dikkate alınması **zorunludur**

**ÖRNEK:** Işık yeterli **değilse** CO<sub>2</sub>'in yeterli olması ya da fazla olması ürünü **ARTIRMAZ**



# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

- a) Işık,
  - 1. Işık yoğunluğu,
  - 2. Işık kalitesi,
  - 3. Işıklanma süresi
- b) CO<sub>2</sub> konsantrasyonu,
- c) Sıcaklık,
- d) Su,
- e) O<sub>2</sub> konsantrasyonu,
- f) Kimyasal maddeler
- g) Bitkinin beslenme durumu

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## IŞIK

- Bitkiler, güneşten yeryüzüne gelen  $1.3 \text{ kW m}^{-2}$  ışık enerjisinin yaklaşık **%5**'ini fotosentezde kullanarak karbohidratları üretir.
- Yeryüzüne gelen ışığın
  - %60'ı dalga boyunun uygun olmaması nedeniyle kullanılamaz,
  - %8'i yansıtılır yada geçirilir,
  - %8'i ısı şeklinde yitirilir,
  - %19'u metabolizma faaliyetleri sırasında yiter.

**%5'inin kullanılabilmesi fotosentetik pigment maddelerinin ancak belli dalga boyundaki ışığı absorbe edebilmesindedir**

- Fotosentezde kullanılan 400-700 nm arasındaki ışığa **Fotosentetik Aktif Işık (PAR)** adı verilir ve miktarı  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ile ifade edilir.

## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

### IŞIK

Fotosentezde aktif ışığın % 85-90 kadarı bitki yaprakları tarafından absorbe edilir.

Kalan ışık yapraklar tarafından yansıtılır ya da geçirilir.

- Bitki yapraklarında bulunan klorofil mavi ve kırmızı bölgedeki dalga boyuna sahip ışığı absorbe eder.
- Buna karşın yeşil renkli bölgedeki dalga boyuna sahip ışık geçirilir ya da yansıtılır.
- Bu nedenle de bitki organları yeşil renkli görünür.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## IŞIK

Bitkiler güneş ışığından yararlanma durumlarına göre

Güneş bitkileri ve

Gölge bitkileri olarak gruplandırılırlar.

Kimi gölge bitkileri fotosentetik aktif ışığın (PAR) % 1'inden daha azından yararlanabilirler.

- Güneş bitkileri bol güneşli, gölge bitkileri az güneşli yerde yetiştirilmelidir

- Işık azlığında güneş bitkilerinde fotosentez azalır

- Gölge bitkilerinde yapraklar daha ince, klorofil ve klorofil b/ klorofil a oranı yüksektir.

- Güneş bitkilerinin yapraklarında çözünebilir protein, rubisko ve ksantofil içeriği daha yüksektir.

- Kalın ve gölgede kalan yapraklar ışıktan daha az yararlanır

## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

### IŞIK

- Gölge bitkilerinde solunum düşük olduğu için denge noktası ( $I_d$ ) düşüktür bu yüzden gölgede yetişmektedirler.
- $CO_2$  özümlemesinde artışın durduğu ve absorbe edilen ışık artışı karşısında aynı düzeyde kaldığı nokta *Işık Doyum Noktası* ( $I_s$ ) olarak ifade edilmektedir.
- Güneş bitkilerine göre gölge bitkilerinde ışık doyum noktası ( $I_s$ ) daha düşük düzeydedir

## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

### IŞIK

- Güneş ışığı hiç yansıtılmasa ve tamamı absorbe edilse bir dakika gibi kısa sürede yaprakta sıcaklık 100°C'a ulaşır.
- Bu nedenle başta buharlaşma şeklinde su yitmesi (transpirasyon) olmak üzere çeşitli yollardan bitki yüksek ışık enerjisinin zararlı etkilerinden korunur
- *Fotoinhibisyon* : Gereksinimin üzerinde fazla ışığın fotosentetik sisteme zarar vererek fotosentezi olumsuz şekilde etkilemesidir
  - **Dinamik Fotoinhibisyon**: Orta derecede yüksek ışık zararı
  - **Kronik Fotoinhibisyon**: Aşırı derecede yüksek ışık zararı

## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

### CO<sub>2</sub>

- Yeterli ışığın bulunması durumunda CO<sub>2</sub> düzeyine bağlı olarak fotosentez miktarı artar.
- C<sub>4</sub> bitkilerine göre C<sub>3</sub> bitkileri atmosferdeki düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna karşı daha duyarlıdırlar.
- Bir başka deyişle C<sub>4</sub> bitkilerinde fotosentez düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda C<sub>3</sub> bitkilerine göre çok daha fazla gerçekleşir.
- Atmosferin CO<sub>2</sub> konsantrasyonu % 0.036 (360 ppm)
- Her yıl %1 artmakta, 2020'de 600 ppm (TAHMİN)
- SERA ETKİSİ, KÜRESEL ISINMA



## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

### CO<sub>2</sub>

- C<sub>3</sub> bitkilerinde, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 2 katına (600-700 ppm) çıkarıldığı zaman büyümenin % 30 - % 60 daha fazla olduğunu göstermiştir
- SERALARDA CO<sub>2</sub> GÜBRELEMESİ

Bitkiler tarafından çıkarılan CO<sub>2</sub> miktarı ile özümleme için alınan CO<sub>2</sub> miktarının eşit olduğu nokta *CO<sub>2</sub> Denge Noktası* olarak adlandırılmaktadır.

Şekilden görüldüğü gibi C<sub>4</sub> bitkilerine göre C<sub>3</sub> bitkilerinde denge noktası önemli derecede farklıdır.

Bu durum düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda C<sub>3</sub> bitkilerinin C<sub>4</sub> bitkilerine göre daha fazla etkilendiklerini göstermektedir.

C<sub>4</sub> bitkilerine göre daha fazla CO<sub>2</sub> kullanan C<sub>3</sub> bitkilerinde *CO<sub>2</sub> Doyum Noktası* belirgin değildir.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## Sıcaklık

### Sıcaklığın fotosentez üzerine etkisi,

- Bitkinin türüne,
  - Çeşidine,
  - Yetiştığı çevre koşullarına ve
  - Belirlemenin yapıldığı koşullara
- bağlı olarak farklılık gösterir.
  - $C_4$  bitkileri gelişmelerini yaz aylarında,  $C_3$  bitkileri kış ve ilkbahar aylarında tamamlar.
  - $C_4$  bitkilerinin optimum fotosentez için gereksinim duydukları sıcaklık,  $C_3$  bitkilerinden daha yüksektir.
  - Yüksek sıcaklıkta enzimler bozular ve çalışmaz, bunun sonucunda fotosentez gerçekleşemez.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## Sıcaklık

- Sıcak iklim koşullarında iyi gelişen mısır, sorgum, pamuk ve soya fasulyesi gibi bitkilerin optimum fotosentez sıcaklığı patates, bezelye, buğday, yulaf ve arpa gibi serin iklim bitkilerinkinden daha yüksektir.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## Sıcaklık

Sıcaklığa bağlı olarak fotosentez **artmakta** ve belli bir sıcaklık derecesinden sonra hızla **azalmaktadır**.

Bu durum; fotosentezin **fotokimyasal** bölümünün sıcaklığa **bağımlı olmadığı** enzim aktivitesi ile enzim kontrolü altında olan **biyokimyasal** bölümün sıcaklığa **bağımlı olduğunu** gösterir.

Sıcaklığın belli bir derecenin üzerine çıkması pek çok enzimin aktivitesini yitirmesine neden olmaktadır.

Fotosentezin optimum düzeye ulaştığı noktadaki sıcaklık derecesinde ise tüm fotosentetik işlevler uyum içerisinde ve en üst düzeyde gerçekleşmektedir

### Yüksek Sıcaklıkta;

- A) **CO<sub>2</sub> fazlalığı nedeniyle e<sup>-</sup> aktarımı bozulur, fotosentez geriler**
- B) **Rubisko aktivitesi düşer, fotosentez geriler**

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## Sıcaklık

Sıcaklık artışına bağlı olarak solunum da artar.

Bu olgu fotorespirasyon ile fotosentez arasındaki interaksiyonun daha belirgin şekilde ortaya çıkmasını sağlar.

Kısaca **Kuantum Ürünü** şeklinde ifade edilen, absorbe edilen her bir ışık kuantumuna karşın fıkse edilen CO<sub>2</sub> miktarı ele alınmak suretiyle anılan interaksiyon daha iyi açıklanabilir.

**Yüksek Sıcaklıkta KUANTUM ÜRÜNÜ;**

**A) C<sub>3</sub> bitkilerinde AZALIR**

**B) C<sub>4</sub> bitkilerinde değişmez**

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

## Oksijenin Fotosentezi Geriletici Etkisi ve Fotorespirasyon

- $C_3$  bitkilerinde ortamda bulunan fazla oksijen fotosentezi olumsuz etkilemektedir (**Warburg Etkisi**).
- $C_4$  bitkilerinde oksijen yoğunluğunun fotosentezi geriletici etkisi saptanmamıştır.
- Oksijenin fazla olması durumunda solunum hızlanacağı için net fotosentez azalır.

# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

**FOTORESPİRASYON (IŞIKTA SOLUNUM):** Işık altında karanlık ortama göre solunum kimi bitkilerde yüksek olmaktadır.

Fotorespirasyonda ATP oluşmadığı için enerji açığa çıkmaz

Fotosentez ve Fotorespirasyon **ZIT** olaylardır

Fotosentezde CO<sub>2</sub> **absorbe edilmekte** Fotorespirasyonda **açığa çıkmaktadır**

Açığa çıkan CO<sub>2</sub> Calvin-Benson döngüsünde fikse edilmektedir

**Normal solunum:** SİTOZOL ve MİTOKONDRİDE

**Fotorespirasyon:** KLOROPLASTLARDA, PEROKSİZOMLARDA ve MİTOKONDRİLERDE

**GERÇEKLEŞİR**

## Fotosenteze Etki Eden Faktörler

- Işık, C<sub>3</sub> bitkilerinde hem CO<sub>2</sub> alımını ve özümlemesini hem de CO<sub>2</sub>'in dışarı verilmesini hızlandırır.
- Bu tepkime O<sub>2</sub>'nin bulunması halinde fazlalaşır.
- Yüksek sıcaklıkta verilen CO<sub>2</sub> > Alınan CO<sub>2</sub>
- 

RiDP'in CO<sub>2</sub> ya da O<sub>2</sub> ile tepkimesi bu maddelerin ortamdaki miktarları ile ilgili olarak değişmektedir.

CO<sub>2</sub> azaldıkça RiDP, bir yükseltgenme enzimi gibi (*RiDP Oksijenaz* şeklinde) davranmakta ve O<sub>2</sub> ile birleşerek glikolik asit, glisin ve serin amino asitleri sentezlenmektedir



# Fotosenteze Etki Eden Faktörler

**Fotorespirasyonun,**  
Kloroplastlarda,  
Peroksizomlarda  
ve  
Mitokondrilerdeki  
tepkimleri

**TEPKİME 1:** RiDP veya RiDP  
Oksijenaz

**TEPKİME 2:** Fosfataz

**TEPKİME 3:** Glikolik Asit Oksidaz

**TEPKİME 4:** Katalaz

**TEPKİME 5:** Aminotransferaz

**TEPKİME 6:** Glisin Dehidrogenaz

Fotorespirasyonda  $O_2$  alınırken  
 $CO_2$ ,  $H_2O$  ve  $NH_3$  açığa çıkar

Absorbe edilen C'un %50'si **YİTER**

## Fotosentezi Etkileyen Faktörler

Fotorespirasyonu yüksek sıcaklık ve yüksek ışık artırır

Fotorespirasyonun **Doğal Önleyicisi** ise CO<sub>2</sub>'dir

C<sub>4</sub> bitkilerinde fotorespirasyon **gerçekleşmez**

Fotorespirasyonun işlevi tam olarak bilinmemekle birlikte

-Moleküller arası madde aktarımı veya

- karbohidratların ve azotlu bileşiklerin aktarılmasında

(Glikolat → Glisin → Serin → PGA)

Etkili olabileceği düşünülmektedir