

## Fotosentez Mekanizması

### Tüm bitkilerin fotosentezde gerçekleşen ortak süreç C 3 yolu

- 5 karbonlu **ribulose difosfat** bir karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ekleyerek altı karbonlu (6C) kararsız bileşik oluşur.
- Bu tepkime **ribulose bisphosphate carboxylase/oxygenase (RUBISCO)** enzimi tarafından katalizlenir.
- Oluşan 6 karbonlu bileşikten, iki molekül 3 karbonlu **fosfogliserik asit (PGA)** oluşur .
- Bu 3 karbonlu moleküller glikoz ve diğer organik moleküllerin sentezi için başlangıç molekülü olarak rol alır.
- Bu sürece, **Calvin döngüsü** ve bu yola da **C 3 yolu** denir.

### C3 Fotosentez: C 3 bitki.

- C 3 Olarak adlandırılır çünkü CO 2 önce 3-karbon yapıda yer alır.
- Stomalar gün boyunca açıktır.
- RUBISCO, bu enzim fotosentezde CO 2 tutulmasını sağlar.
- Fotosentez yaprak (Mezofil) boyunca yer alır.
- Çoğu bitki C 3 bulunmaktadır
- C 4 ve CAM bitkileri göre; serin ve nemli koşullarda verimli ve normal ışık altında daha verimlidir. Çünkü anatomisi daha az enzimler ve daha basit mekanizma gerektirir.

C4 bitkilerinde de C3 yolu vardır. C4 bitkilerinde C4 yolu C3 yoluna (yani karbondioksit sentezine) katkıda bulunan ve destekleyen bir ek ünite gibi çalışır. bütün bitkilerde C3 yolu mevcuttur. çünkü karbondioksit sentezi C3 yolu ile yapılır.

### Fotospirasyon (Işık solunumu)

**RUBISCO** iki farklı tepkimeyi katalizler:

- ribulose difosfat CO 2- (**Karboksilaz etkinliği**) ekleme
- ribulose difosfat O 2 – (**oksijenaz etkinliği**) ekleme

Not: Hangisinin ekleneceği O 2 ve CO 2 ortamdaki konsantrasyonlarına bağlıdır

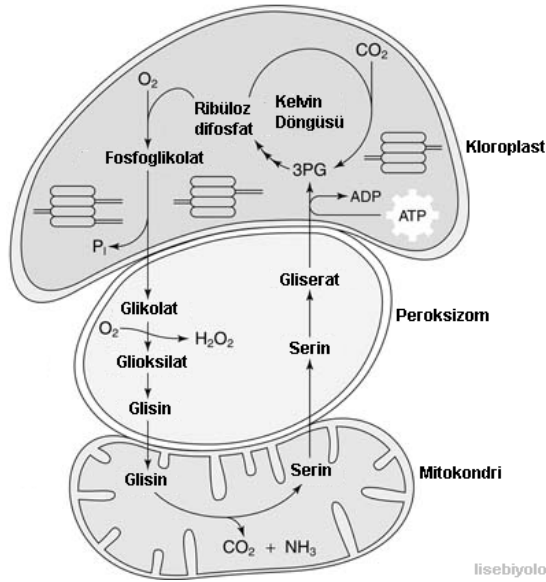
- yüksek CO 2, düşük O 2 karboksilaz etkinliği gerçekleşir
- yüksek O 2, düşük CO 2 oksijenaz etkinliği gerçekleşir

Fotosentez ışık tepkimelerinde oksijen oluşur. Oksijen yüksek sıcaklıklarda hücre ve sitoplazmada çözünür. Bundan dolayı,

- yüksek ışıpta
- yüksek sıcaklıklarda (30 ° C yukarıda)

İki koşul oksijenaz etkinliği için uygundur.

### Fotorespirasyon ve ayrıntıları



- RUBISCO etkisi ile Ribulozdifosfat O<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek
  - 3-karbon 3-fosfoglisirik asit:
  - 2-karbon glikolate. – Bu olay kloroplastta Calvin döngüsünde gerçekleşir
- Glikolate peroksizomlara girer Burada O<sub>2</sub> kullanılır ve amino asit türevleri oluşur
- Oluşan amino asitler mitokondriye geçerek burada CO<sub>2</sub> oluşan reaksiyonlarla amino asit türevlerine dönüşürler.

Yani bu süreç O<sub>2</sub> kullanıp ve CO<sub>2</sub> açığa çıkararak hücre solunum yapar ve bu **Fotorespirasyon** (Işık solunumu) adı verilir.

Not:Atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu yükselmeye devam ediyor, belki de bu fotorespirasyon kaybını azaltarak dünyada mahsullerin net verimliliği artıracaktır.

### Bu olay bitkinin fotosentez verimini azaltır

- mitokondrial solunum ile ilişkili değildir
- ışık gerektirir
- ATP sentezi gerçekleşmez
- atıkları enerji (yani, ATP, NADPH)

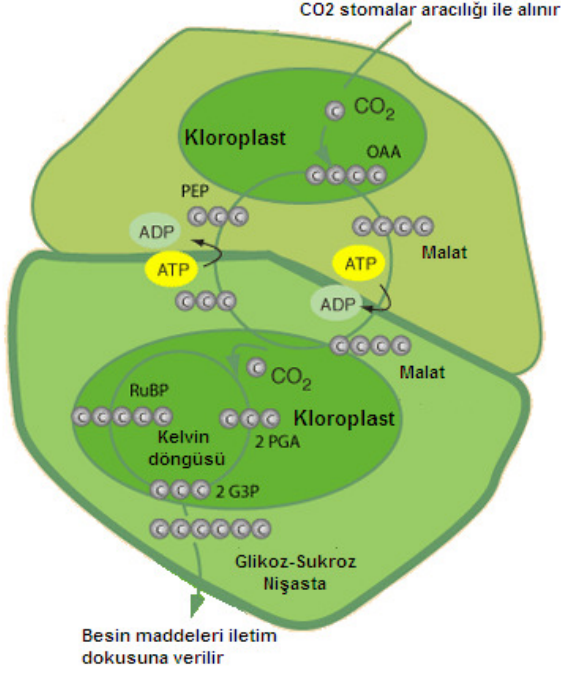
Bu nedenle, bitkilerde fotorespirasyonu engelleyen bazı mekanizmalar gelişmiştir.Bitkiler atmosferdeki CO<sub>2</sub> bağlamak için bazı özel molekül ve kimyasal süreçler geliştirmişlerdir

Bunlar

1- C 4

2- CAM

1- C 4 döngüsünün ayrıntıları



- Stoma aracılığıyla alınan CO<sub>2</sub> ilk önce **mezofil hücreleri** içine geçer.
  - Yaprak yüzeyine yakın olan bu hücreler yüksek O<sub>2</sub>'e maruz kalır ama RUBISCO bulunmaz.
  - Bu hücrelerde fotorespirasyon ve karbon tutma (Calvin döngüsünün= karanlık) tepkileri gerçekleşmez
- CO<sub>2</sub>, 3-karbon bileşik olan (C 3) **fosfoenolpirüvik asit (PEP) reaksiyona girer. Bu reaksiyon PEP karboksilaz tarafından yürütülür**
- Reaksiyon sonunda **4-karbon** bileşik **oksalasetik asit (C 4) oluşur.**
- Oksaloasetik asit 4 karbonlu malat veya aspartik asit dönüştürülür
- Oluşan 4C lu bileşikler (Malat) plasmodezmalarla demet kını hücrelerine iletilir
- Demet kını hücreleri
  - Yaprak yüzeyine göre derinde olduklarından oksijen difüzyonu zordur;
  - PSII ve azaltılmış oksijen üretimi gerçekleştiren tilakoid yapı var
  - Her iki özellik hücrede oksijen seviyelerini düşük tutarak fotorespirasyonu önler
- 4-karbonlu bileşik demet kını hücrelerinde parçalanması
  - 4C lu bileşik CO<sub>2</sub> ve pirüvik asit (3C lu) oluşturarak parçalanır
  - karbon dioksit **şeker ve nişasta** oluşturmak için Calvin döngüsü girer.
  - Pirüvik asit PEP e dönüştürülerek yeniden mezofil hücrelerine gönderilir (Bu olay için ATP harcanır).

C 4 bitkileri aşağıdaki özelliklerde olan habitatlar uyumludur

- yüksek gündüz sıcaklıkları
- yoğun güneş ışığı.

**C4 bitkileri (Özet)**

- Fotosentezde demet kını hücreleri ve mezofil hücreleri birlikte rol alır
- Mezofil hücrelerinde Rubisco enzimi bulunmaz
- Demet kını hücrelerinde Rubisco bulunur ve C 3 bitkileri gibi CO<sub>2</sub> özümlemesi yapar
- Ama burada kullanılacak CO<sub>2</sub>'e ihtiyaç var?
- Mezofil hücrelerinde başka bir CO<sub>2</sub> bağlayıcı enzim, PEP karboksilaz var
- CO<sub>2</sub> + PEP (phosphoenol pyruvate) >>> OAA (Oxaloacetate), 4 Karbon bileşik oluşur
- PEP karboksilaz Rubisco dan farklı olarak O<sub>2</sub> ilgi duymaz
- Mezofil hücrelerinde OAA >>> Malate dönüşür ve demet kını hücrelerine geçer
- Malate demet kını hücre içinde CO<sub>2</sub> ve pirüvata dönüşür
- Pirüvat tekrar mezofil hücrelerine geçerek PEP dönüştürülür. Bu reaksiyon için (ATP) gerekir.

## ayxmaz/biyoloji

- CO<sub>2</sub> (C<sub>3</sub> bitkilerinde olduğu gibi) Calvin döngüsü girer.
- 

### C4 metabolizma avantajları

bu fotosentez tipine sahip bitkiler (C4) yüksek ışık ,sıcak, tropik özelliği sahip ortamlarda avantajlıdır, C4 metabolizma ise:

1. karbon ve photorespiratory kaybını önler
2. bu bitkilerin su kullanım verimliliği artırır
3. yüksek sıcaklıklarda fotosentez yüksek fiyatlara sonuçları
4. nitrojen kullanımı verimliliğini artırır

### Bazı örnekler:

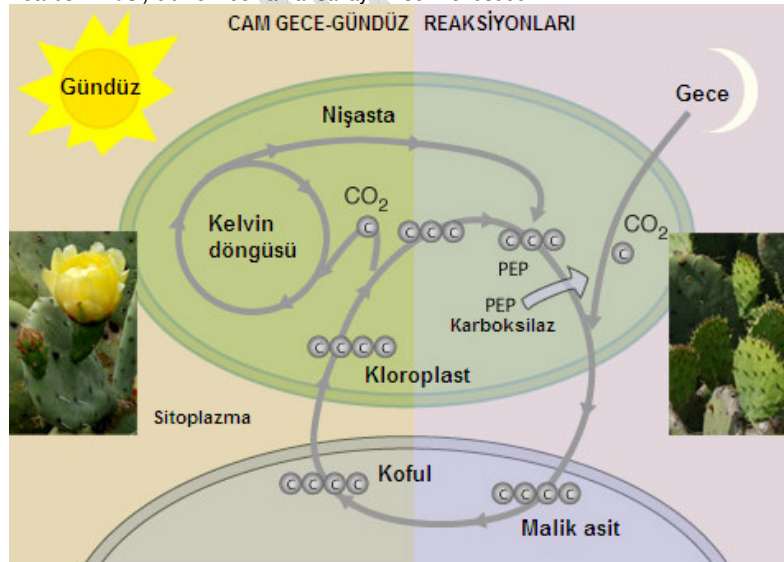
- mısır
- şeker kamışı
- süpürge darısı

### C3 ve C4 bitkilerinin farkları

- 1-C3 bitkilerinde tek fotosentez yolu bulunurken,
  - C4 bitkilerinde 2 fotosentez yolu bulunur.
- 2-C3 bitkilerinde CO<sub>2</sub>'i ilk yakalayan ribuloz1,5difosfat,
  - C4 bitkilerinde fosfoenol pirüvik asittir.
- 3-C3 bitkilerinin tümü ışık solunumu yaparken,
  - C4 bitkileri çok az ışık solunumu yaparlar.
- 4-C3'de stromada demet kını hücreleri bulunur,
  - C4 bitkilerinin yapraklarında mezofil hücreleri vardır.
- 5-C3 bitkilerinde oluşan ilk ürün 3-fosfoglisarikasit,
  - C4 bitkilerinde ise oksaloasetik asittir.
- 6-C3'de karbonhidrat sentezlenir.
  - C4'de organik asit sentezlenir.
- 7-C4'de glikolat oksidaz enzimi ya yok ya da çok azdır. Bu verimi yükseltir.
- 8-C3 bitkileri tüm angiosperm, gymnosperm ve dikotiledonların çoğudur;
  - C4 bitkileri şeker pancarı gibi bazı dikotiller ve Graminae familyası üyeleri ve çoğu monokotil bitkileridir.

### 2-CAM Bitkiler

C<sub>4</sub> Bitkilerinde fotosentezde CO<sub>2</sub> tutma ve Calvin döngüsü mekansal olarak ayrılmışken CAM (**Crassulacean Asit Metabolizması**) bitkilerinde zamansal ayrım söz konusudur.



### Gece

- Stomalar açık
- Alınan CO<sub>2</sub> PEP ile birleşerek 4-karbon **oksalasetik asit** sentezlenir.
- Bu molekül **hücreleri kofullarında** bir gece boyunca malik asidi şeklinde birikir.

### Gündüz

- Stomalar kapanır böylece su kaybı önlenir ve oksijenin dokulara difüzyonu azaltılır.
- Kofullarda gece boyu biriken malik asit serbest kalır
- Malik asit CO<sub>2</sub> ve PEP e dönüşür
- CO<sub>2</sub> Calvin (C<sub>3</sub>) döngüsü içine katılır ve organik madde (Nişasta) sentezlenir.

### Bu özellikler aşağıdaki koşullara uyumludur

- yüksek gündüz sıcaklıkları
- yoğun güneş ışığı
- düşük toprak nemi.

### CAM bitkileri bazı örnekler:

- Kaktüs
- Bryophyllum
- Ananas

### Avantajları

- C<sub>3</sub> :daha soğuk, nemli ortamlarda makul ışık yoğunluğu ile etkili
- C<sub>4</sub> :daha yüksek ışık yoğunluğu ile sıcak, kuru ortamlarda verimli
- CAM: daha yüksek ışık yoğunluğu ile sıcak, kuru ortamlarda verimli

### CAM Fotosentez

- Kurak ortamlara uyumlu bitkilerdir
- Bitkiler gece stomalarını açık tutar.gündüz ise su kaybını önlemek için kapalı tutar
- Beklendiği gibi ışık bağlı tepkiler gündüz, ATP ve NADPH oluşturarak meydana gelir
- Gece boyunca açık stomalardan alınan CO<sub>2</sub>, CAM (**Crassulacean Asit Metabolizması**) özelliği kullanılarak organik asitlerin yapısında biriktirilir.
- During the day, ışığa bağlı tepkiler, daha fazla ATP ve NADPH yapmadan devam - Bu CO<sub>2</sub> organik asitler ve Rubisco normal faaliyet serbest bırakılmasını destekliyor (ancak büyük CO<sub>2</sub>-zenginleştirdi ortamı olarak)
- Bu bir adaptasyon daha photorespiration ve etkilerini azaltmak için daha su tasarrufu için

2. Karşılaştırma C3, C4 ve CAM ve Fotosentez

| Özellik  | C3                | C4  | CAM                                  |
|--|-------------------|---|--------------------------------------|
| Yaprak anatomisi   | Mezofil hücreleri | Mezofil hücreleri<br>Demet kını hücreleri | Mezofil hücreleri<br>(büyük kofullu) |
| İlk karbon bağlayan enzim  | Rubisco           | PEP karboksilaz                           | PEP karboksilaz                      |
| CO <sub>2</sub> tutulduğunda ilk oluşan ürün                                 | PGA (C3)          | OAA (C4)                                  | OAA (C4)                             |
| Kloroplast tipi  | bir tip           | iki tip                                   | bir tip                              |
| Teorik enerji gereksinimleri<br>(CO <sub>2</sub> : ATP: NADPH)               | 1: 3: 2           | 1: 5: 2                                   | 1: 6.5: 2                            |
| Terleme oranı (g H <sub>2</sub> O / g kuru WT) (Su kaybı)                    | 450-950           | 250-350                                   | 18-125                               |
| Fotosentez oranı (CO <sub>2</sub> sabit DM <sup>-2</sup> S <sup>-1</sup> mg) | 15 - 30           | 40 - 80                                   | Düşük                                |
| Klorofil a / b oranı   | 2,8               | 3,9                                       | 2,5 - 3,0                            |
| Besin olarak sodyum ihtiyacı   | Hayır             | Evet                                      | Hayır                                |
| Karbondiyoksit bağlama noktası (ppm)   | 50 - 150          | 0-10                                      | 0-5 karanlıkta                       |

ayxmaz/biyoloji

|   |  |  |                |
|---|--|--|----------------|
| <b>Fotosentez oksijen tarafından engellenmesi</b> | Evet                                     | Hayır                                    | Evet           |
| <b>Fotosolunum gerçekleşir</b>                    | Evet                                     | Sadece demet kını hücrelerinde           | öğleden sonra  |
| <b>Fotosentez için optimal sıcaklık</b>           | 15-25                                    | 30-47                                    | 35             |
| <b>Kuru madde üretimi (Kuru madde / hektar)</b>   | Düşük (26 - soya fasulyesi; 30 - buğday) | Yüksek (87 - mısır; 50 - süpürge darısı) | değişken düşük |

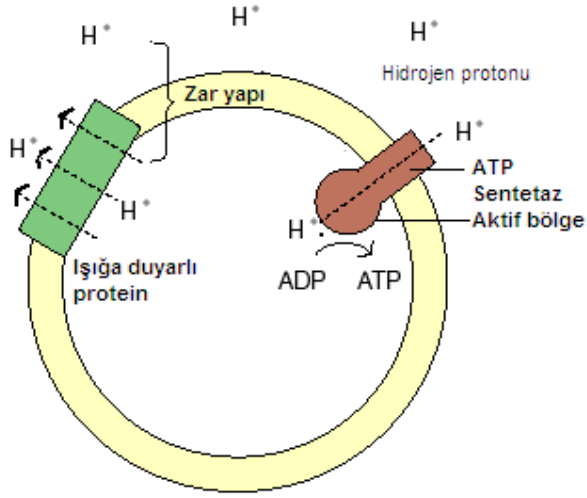
www.isebiyoloji.com

C4 , C3 ve CAM bitkilerini karşılaştırılması

|                              | <b>C-3</b>  | <b>C-4</b>                             | <b>CAM</b>  |
|------------------------------|---|--|---|
| <b>İlk CO2 tespit enzimi</b> | Rubisco<br>ribuloz bifosfat<br>karboksilaz /oksigenaz | PEP<br>karboksilaz                     | PEP<br>karboksilaz  |
| <b>Ara C Formu</b>           | (3C) molekül<br>2 PGA                                 | (4C) molekül<br>(OAA)                  | (4C) molekül<br>(OAA)                                     |
| <b>C saklanan</b>            | Önce 3C<br>sonra nişasta                              | önce 4C<br>Sonra C-3<br>en son nişasta | önce kofulda 4 C<br>Sonra 3C<br>en son nişasta            |
| <b>Bitki türü</b>            | tüm bitkiler  | sıcak iklimlerde<br>çimen,mısır,kamış  | sıcak, kurak bölge<br>bitkileri kaktüs,bazı<br>orkide, vb |
| <b>Ayrılma C-3</b>           | hiçbiri   | mekansal                               | zamansal  |

### ATP Üretim (kemiozmoz)

1.  $H^+$  iyonları için bir depo olan tilakoid alana her bir  $H_2O$  iyonizasyonu ile oluşan iki  $H^+$  aktarılır.
2. Tilakoid zarında yer alan Elektron taşıyıcısı sistem elemanları elektron enerjisini  $H$  pompa gibi kullanarak tilakoid zarı ayırdığı iki ortam arasındaki  $H^+$  konsantrasyon farkının artmasına neden olur.
3. Tilakoid zarında yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyon  $H^+$  akışı ATP sentetaz enzimi kullanılarak ADP den ATP üretimi sağlanır.



www.isebiyoloji.com