

Fotosentez

Prof. Dr. Bektaş TEPE

Genel Biyoloji

Bölüm 10



Fotosentez: Biyosferin Beslenme Mekanizması

- Dünya üzerindeki yaşam, güneş enerjisiyle beslenir.
- Bitkiler ve diğer fotosentetik organizmaların hücrelerinde kloroplast adlı organeller bulunur.
- Kloroplastlardaki özel moleküler yapılar, Güneş'ten gelen ışık enerjisini yakalayarak kimyasal enerjiye dönüştürür.
- Bu enerji daha sonra şeker ve diğer organik moleküllerde depolanır — bu dönüşüm süreci fotosentez olarak adlandırılır.



Fotosentezin Ekolojik Bağlamı

- Fotosentez, yaşamın neredeyse tamamını doğrudan ya da dolaylı olarak besler.
- ***Organizmalarda enerji ve karbon iskeleti sağlayan organik bileşikler iki temel yolla elde edilir:*** ototrofik ve heterotrofik beslenme.
- Ototroflar, çevreden aldıkları CO₂ ve diğer inorganik maddeleri kullanarak kendi organik bileşiklerini sentezler.
- Bu nedenle ototroflar, biyosferin üreticileri olarak kabul edilir.





Bitkiler: Işıkla Beslenen Ototroflar

- Bitkilerin neredeyse tamamı ototroftur; yalnızca su, mineral ve karbondioksit ihtiyacı duyarlar.
- Özellikle, bitkiler ışığı enerji kaynağı olarak kullanan fotoototroflardır.
- Fotosentez, bitkiler dışında alglerde, bazı tek hücreli ökaryotlarda ve bazı prokaryotlarda da gerçekleşir.



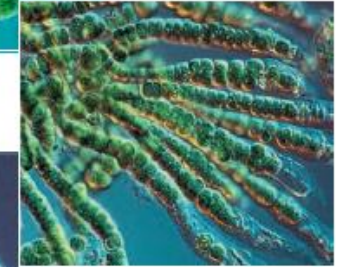
(a) Plants



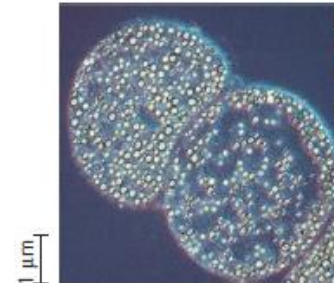
(b) Multicellular alga



(c) Unicellular eukaryotes



(d) Cyanobacteria



(e) Purple sulfur bacteria

İZLE



Heterotroflar: Tüketiciler ve Ayrıştırıcılar

- Heterotroflar, organik maddeleri başka organizmalardan elde eden canlılardır.
- En belirgin örnek, hayvanların bitki ya da diğer hayvanları yemesidir.
- Bazı heterotroflar, ölü organizma kalıntılarını ayrıştırarak beslenir; bunlara ayrıştırıcılar (dekompozörler) denir.
- Çoğu mantar ve birçok prokaryot, bu yolla beslenir.

Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr

İZLE



Fotosenteze Bağımlılık ve Oksijenin Kaynağı

- Hemen tüm heterotroflar (insanlar dahil), gıdalarını doğrudan ya da dolaylı olarak fotoototroflardan alır.
- Ayrıca, atmosferdeki oksijen de fotosentezin bir yan ürünüdür.
- Bu nedenle, fotosentez hem besin üretimi hem de oksijen sağlanması açısından vazgeçilmezdir.

 Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr



Fosil Yakıtlar: Geçmişin Güneş Enerjisi

- Dünyadaki fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce ölen organizmaların kalıntılarından oluşmuştur.
- Bu yakıtlar, aslında eski zamanların güneş enerjisi deposu olarak düşünülebilir.
- Ancak, kullanım hızları yenilenme hızlarından çok daha fazladır.
- Bu nedenle, yanda gösterildiği gibi, araştırmacılar fotosentezden yararlanarak alternatif yakıt üretimi üzerinde çalışmaktadır.





Fotosentezin Genel Yapısı

- *Fotosentez süreci iki ana aşamadan oluşur:* ışık reaksiyonları ve Calvin döngüsü.
- Işık reaksiyonları, güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürür.
- Calvin döngüsü ise bu kimyasal enerjiyi kullanarak organik besin moleküllerini sentezler.
- Ayrıca, bu süreçlerin evrimsel geçmişi de ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır.





Fotosentez: Işık Enerjisinden Kimyasal Enerjiye

- Fotosentez, ışık enerjisini organik bileşiklerin sentezi için kimyasal enerjiye dönüştürür.
- Bu süreç, hücredeki yapısal organizasyondan kaynaklanır; gerekli moleküller biyolojik zar içinde gruplanmıştır.
- Fotosentezin kökeni, plazma zarında içe kıvrılmış fotosentetik bölgelere sahip bir bakteri grubuna dayanır.
- Günümüzdeki fotosentetik bakterilerdeki iç zarlar, ökaryotik hücrelerdeki kloroplastların iç zarlarıyla benzer işlev görür.



İZLE



Endosimbiyoz Teorisi ve Kloroplastların Kökeni

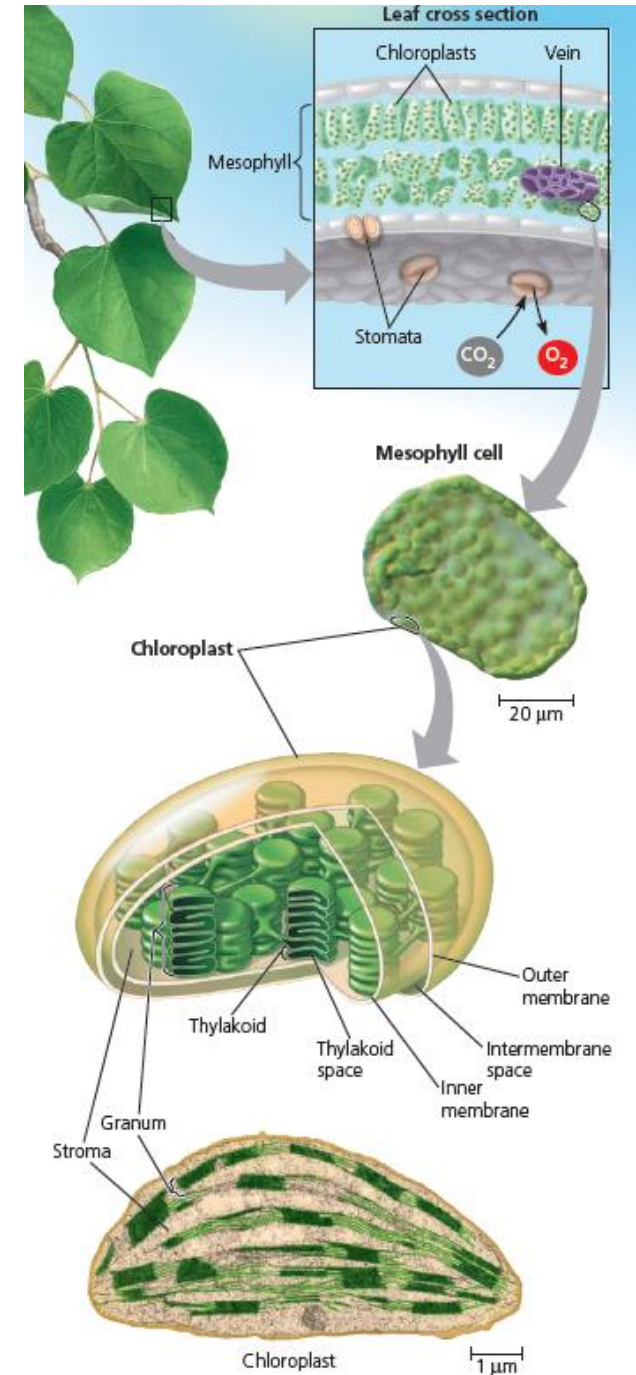
- Endosimbiyoz teorisine göre, kloroplastlar bir zamanlar ökaryot atalarının içinde yaşayan fotosentetik prokaryotlardan türemiştir.
- Günümüzde kloroplastlar, birçok fotosentez yapan canlıda bulunur.
- Bu bölümde özellikle bitkilerdeki kloroplastlara odaklanılacaktır.

 Bi Dünya Biyoloji



Bitkilerde Fotosentezin Gerçekleştiği Yer: Kloroplastlar

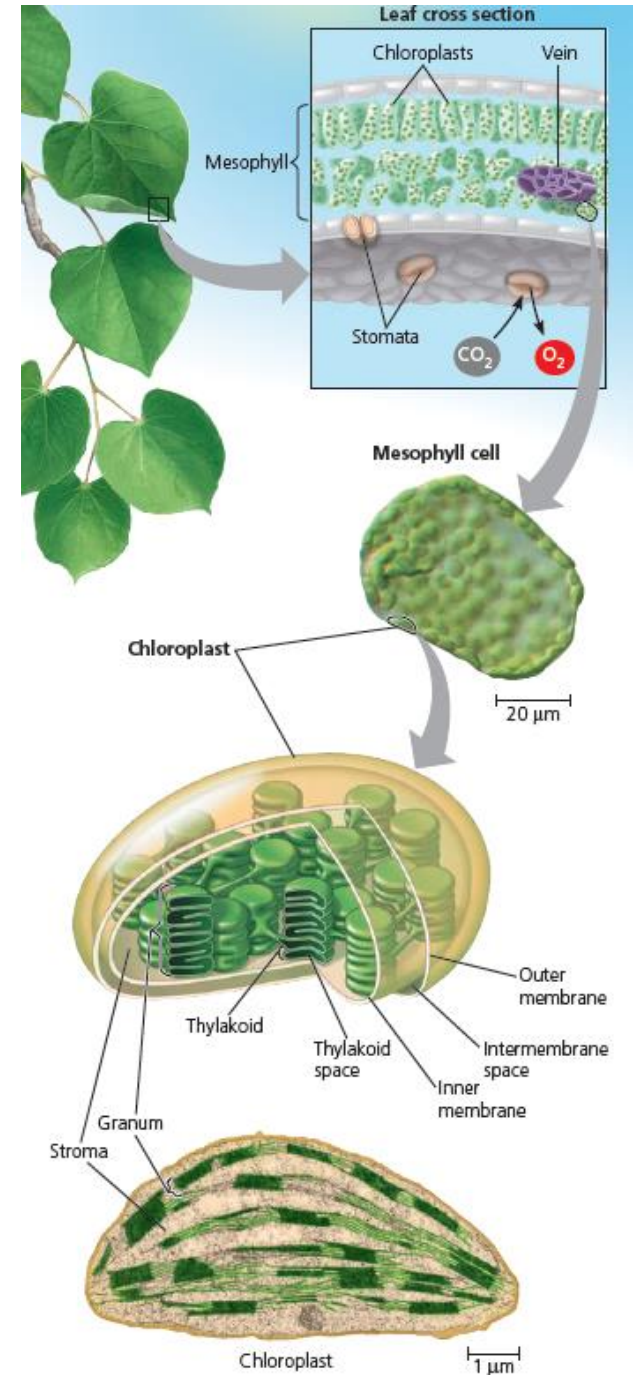
- Bitkilerin tüm yeşil kısımları kloroplast içerir; ancak en yoğun fotosentez yaprağın üst kısmında gerçekleşir.
- 1 mm²'lik yaprak yüzeyinde yaklaşık yarım milyon kloroplast bulunabilir.
- Kloroplastlar, yaprağın iç kısmındaki mezofil hücrelerinde yer alır.
- Karbondioksit yapraktaki stomalardan girer, oksijen çıkar; su ise kökten damarlara taşınır.





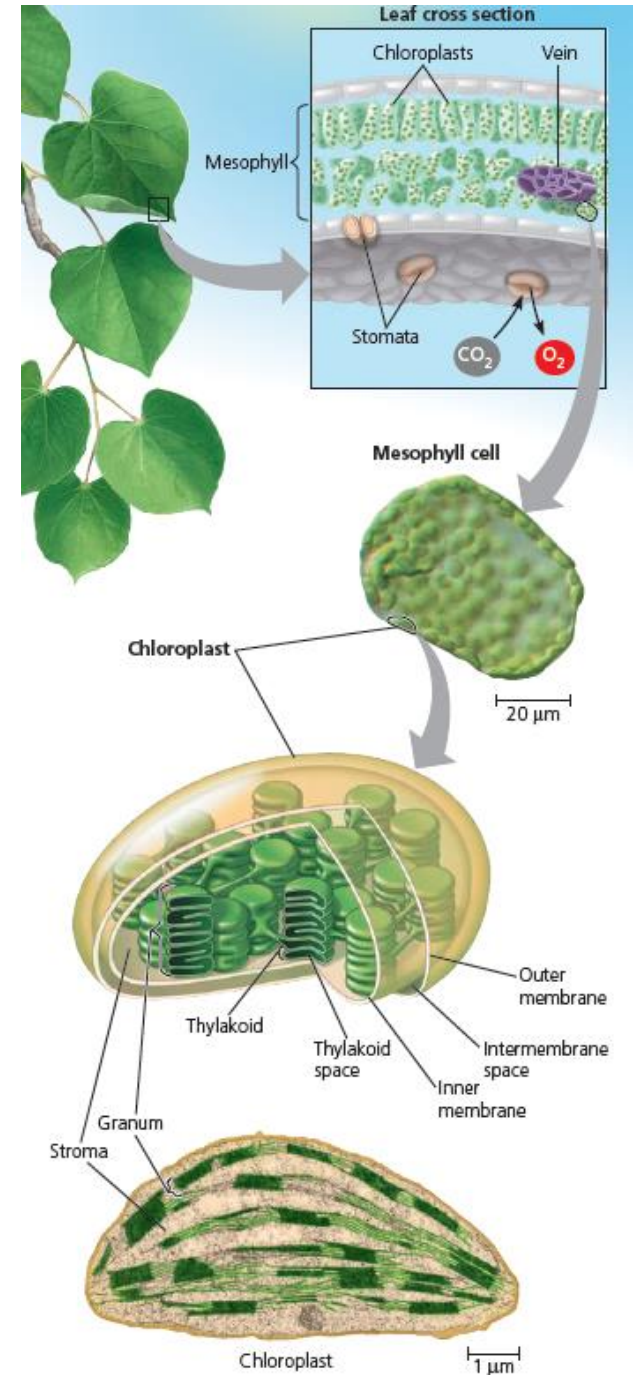
Kloroplastların Yapısı

- Tipik bir mezofil hücresinde yaklaşık 30–40 kloroplast bulunur.
- Her kloroplast 2–4 μm genişliğinde ve 4–7 μm uzunluğundadır.
- Kloroplastın iki zarı vardır ve içteki sıvı kısmı “stroma” olarak adlandırılır.
- Stromanın içinde, “tilakoid” adı verilen zarla çevrili diskler bulunur; bazıları üst üste yığılarak “grana”yı oluşturur.



Tilakoid Zarlar ve Klorofil

- Tilakoid zarlarında yer alan klorofil, yapraklara yeşil rengini verir.
- Bu klorofil, ışık enerjisini soğurarak organik moleküllerin sentezini başlatır.
- Bazı prokaryotlarda da benzer tilakoid zarlar bulunur.
- Kloroplastın iç yapısı, fotosentez reaksiyonlarının verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlar.





Fotosentez Denkleminin Tarihçesi

- Bilim insanları yüzyıllardır bitkilerin nasıl besin ürettiğini anlamaya çalışmıştır.
- 1800'lü yıllardan beri fotosentezin genel kimyasal denklemi bilinmektedir.
- Işık varlığında, yeşil bitki kısımları karbondioksit ve sudan organik bileşikler ve oksijen üretir.
- Bu süreç, oldukça karmaşık bir dizi kimyasal reaksiyondan oluşur.





Fotosentezin Kimyasal Denklemi

- Fotosentez, şu şekilde özetlenebilir:



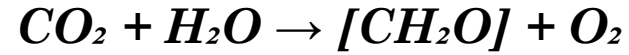
- Denklemi sadeleştirmek için net su tüketimi dikkate alınarak şöyle yazılabilir:





Solunumla Karşılaştırma ve Basitleştirme

- Bu denklem, hücresel solunumda gerçekleşen kimyasal değişimin tersidir.
- Ancak, kloroplastlar şeker sentezini solunumun basamaklarını tersine çevirerek gerçekleştirmez.
- Denklemi 6'ya bölerek en basit haliyle ifade edebiliriz:





[CH₂O] Ne Anlama Geliyor?

- Buradaki [CH₂O], gerçek bir şeker değil, karbonhidratların genel formülünü temsil eder.
- Bu ifade, bir glikoz molekülünün altı karbonlu yapısına ulaşmak için altı tekrar halinde düşünülebilir.
- Fotosentez, bir karbon birimiyle başlayan ve zamanla şeker oluşturan bir sentez sürecidir.
- Şimdi, fotosentezin ayrıntılı basamaklarını ele alabiliriz...



Fotosentezin Kaynağı Üzerine İlk Gözlemler

- Bitkiler tarafından açığa çıkarılan oksijenin kaynağının CO_2 değil, H_2O olduğu keşfedilmiştir.
- Kloroplastlar, suyu hidrojen ve oksijen bileşenlerine ayırarak kullanır.
- Önceki hipotez, fotosentezin CO_2 'yi C ve O_2 'ye ayırdığı ve ardından suyun karbonla birleştiğini öne sürüyordu.
- Bu eski hipoteze göre açığa çıkan O_2 'nin kaynağı CO_2 olmalıydı.





C. B. van Niel ve Alternatif Görüş

- 1930'larda C. B. van Niel, bazı bakterilerin CO_2 'yi kullanarak karbonhidrat ürettiğini ancak O_2 üretmediğini gözlemledi.
- Bu bakteriler fotosentez için H_2O yerine H_2S kullanıyor ve atık ürün olarak kükürt (S) açığa çıkarıyordu.
- Bu bulgu, CO_2 'nin C ve O_2 'ye ayrılmadığını, H_2S 'nin parçalanarak hidrojen sağladığını gösterdi.





Van Niel'in Genel Hipotezi

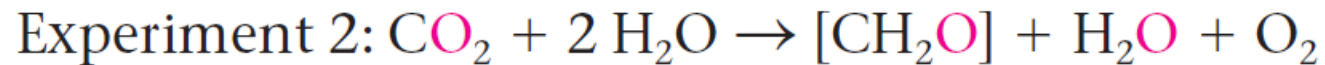
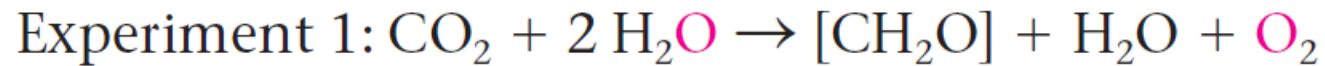
- Van Niel, tüm fotosentetik organizmaların bir hidrojen kaynağına ihtiyaç duyduğunu öne sürdü.
- Bu kaynak bakterilerde H_2S , bitkilerde ise H_2O 'dur:
 - Bakteriler: $CO_2 + 2 H_2S \rightarrow [CH_2O] + H_2O + 2 S$
 - Bitkiler: $CO_2 + 2 H_2O \rightarrow [CH_2O] + H_2O + O_2$
- Genel denklem şu şekilde formüle edildi:





Oksijenin Kaynağını Kanıtlayan Deneyler

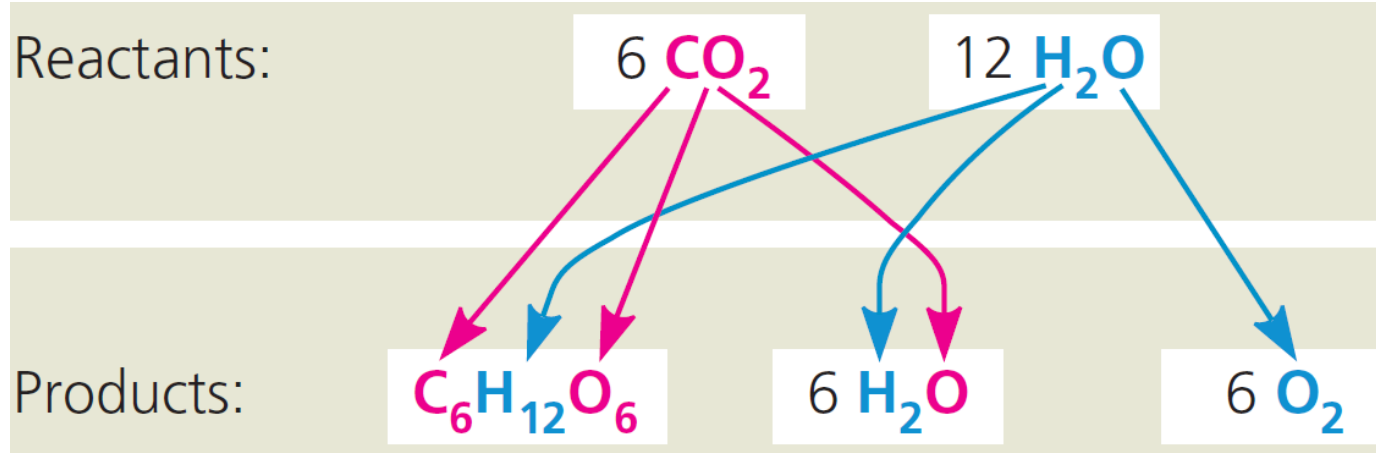
- Van Niel'in hipotezi, yaklaşık 20 yıl sonra oksijen-18 (^{18}O) izotopu ile yapılan deneylerle doğrulandı.
- **Deney 1:** Eğer bitkiye ^{18}O içeren H_2O verildiğinde, çıkan O_2 bu etiketli oksijeni içeriyordu.
- **Deney 2:** ^{18}O , CO_2 içinde verildiğinde ise çıkan O_2 'de bu etiket görülmedi.
- Bu sonuçlar, fotosentezde açığa çıkan O_2 'nin sudan geldiğini kesin olarak ortaya koydu.





Atomların Akıbeti

- Fotosentez sırasında hidrojen, sudan ayrılarak şekere aktarılır.
- Oksijen ise bir atık ürün olarak atmosfere salınır.
- Aşağıda, fotosentez sırasında tüm atomların nasıl yer değiştirdiği ve hangi ürünlere dönüştüğü gösterilmiştir.
- Bu süreçte, su molekülü elektron ve proton sağlayarak tepkimenin merkezinde yer alır.





Fotosentezde Redoks Reaksiyonları

- Fotosentez ve hücresel solunum, her ikisi de redoks tepkimeleri içerir.
- Solunumda elektronlar, glikozdan O_2 'ye taşınırken enerji açığa çıkar.
- ***Fotosentezde bu yön tersine döner:*** elektronlar sudan alınır, CO_2 'ye taşınır ve şeker oluşturulur.
- Bu nedenle fotosentez, endergonik (enerji gerektiren) bir süreçtir.



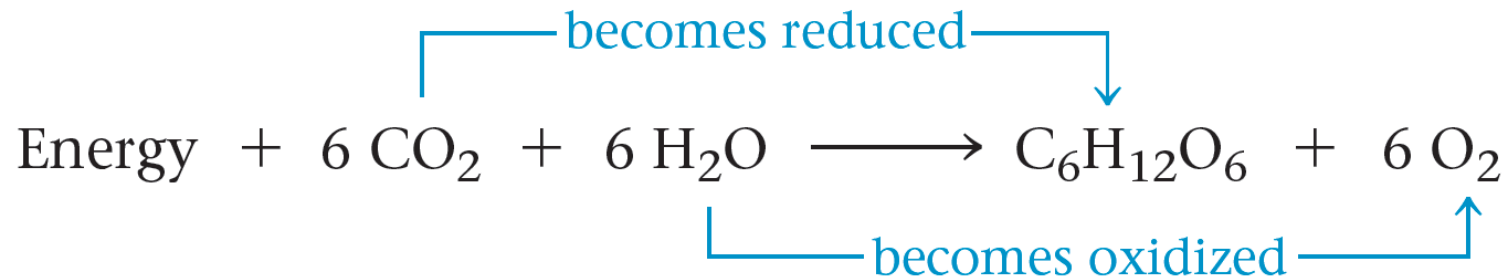


Fotosentezin Enerji Dönüşümü

- Tepkime denklemi:



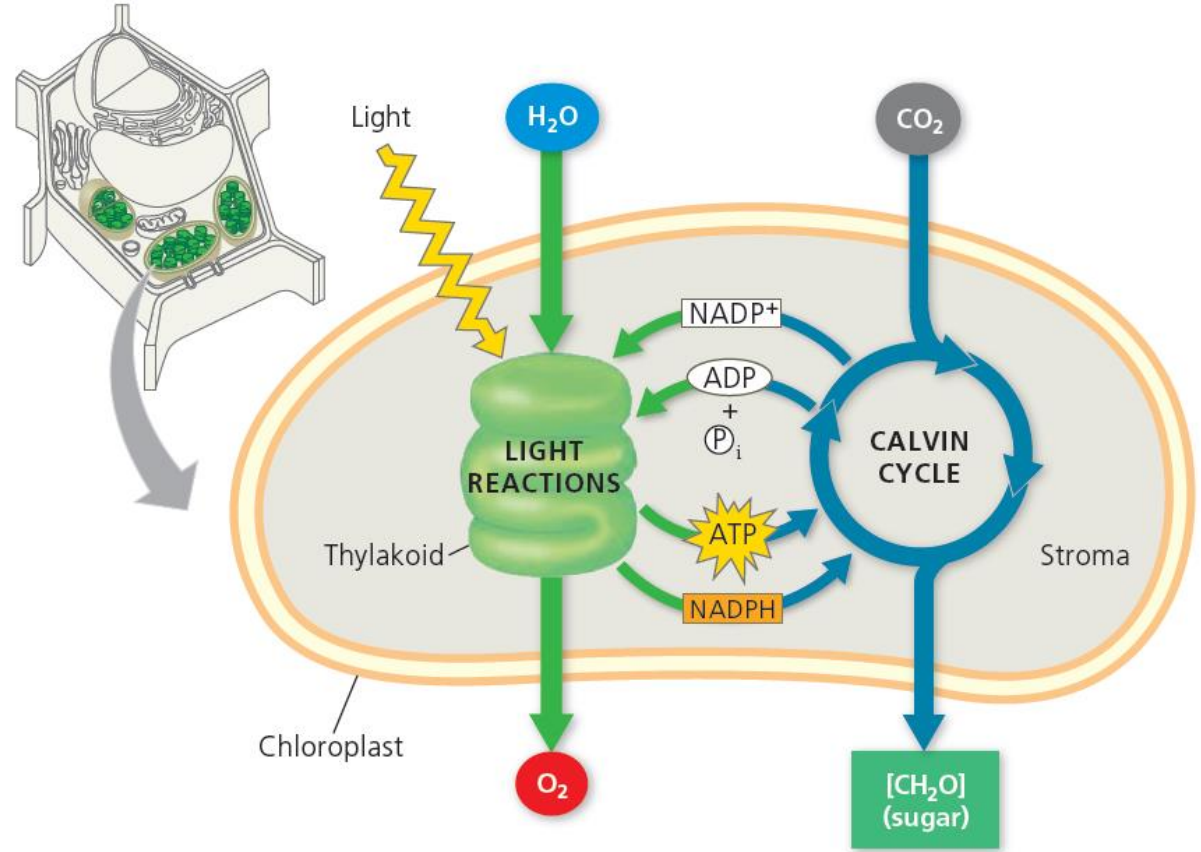
- Bu süreçte CO₂ indirgenir, yani elektron kazanır.
- H₂O ise yükseltgenir, yani elektron kaybeder.
- Elektronlar daha yüksek potansiyele geçerken, gerekli enerji ışık tarafından sağlanır.





Fotosentezin İki Ana Aşaması

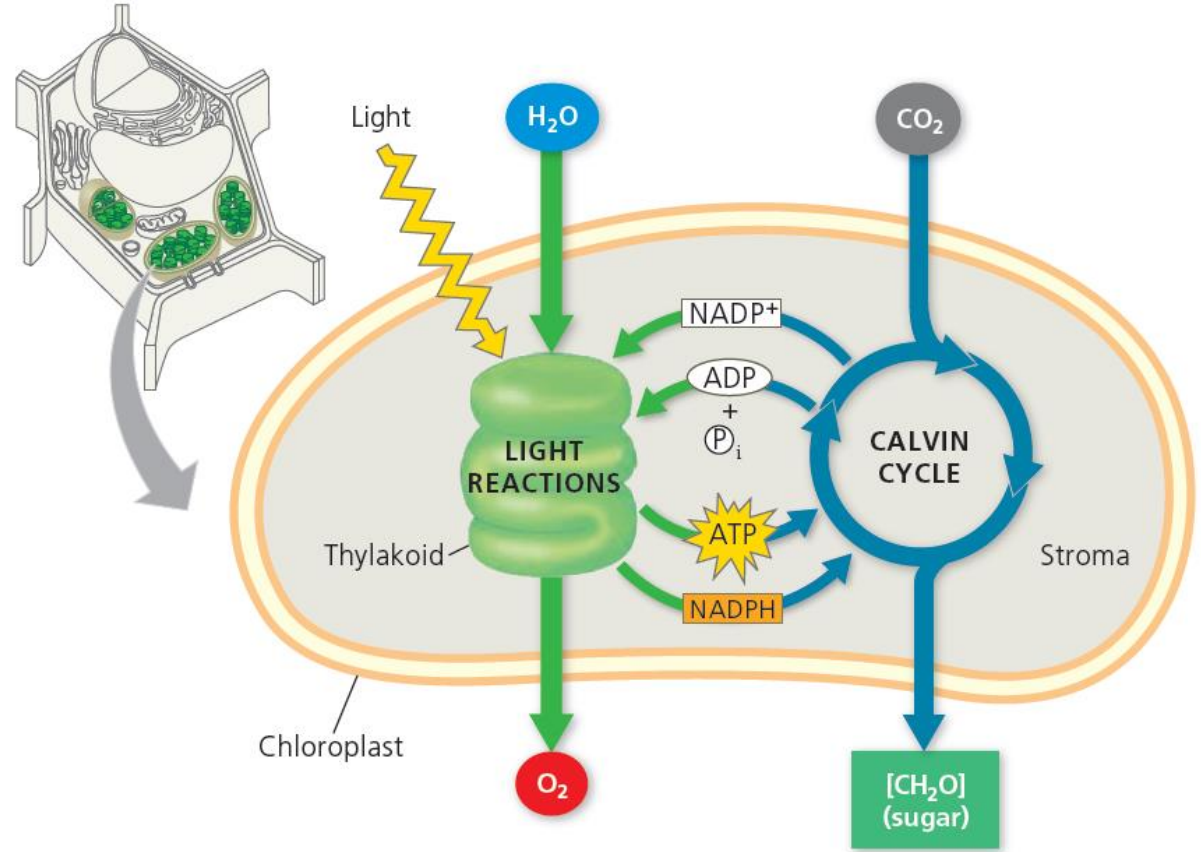
- Fotosentez, sanıldığı gibi tek bir süreç değil; iki aşamalı, çok adımlı bir mekanizmadır.
- Bu iki ana aşama:** ışık reaksiyonları (foto kısmı) ve Calvin döngüsü (sentez kısmı) olarak adlandırılır.
- Işık reaksiyonları, güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren basamaklardır.





Işık Reaksiyonlarının Temel İşlevi

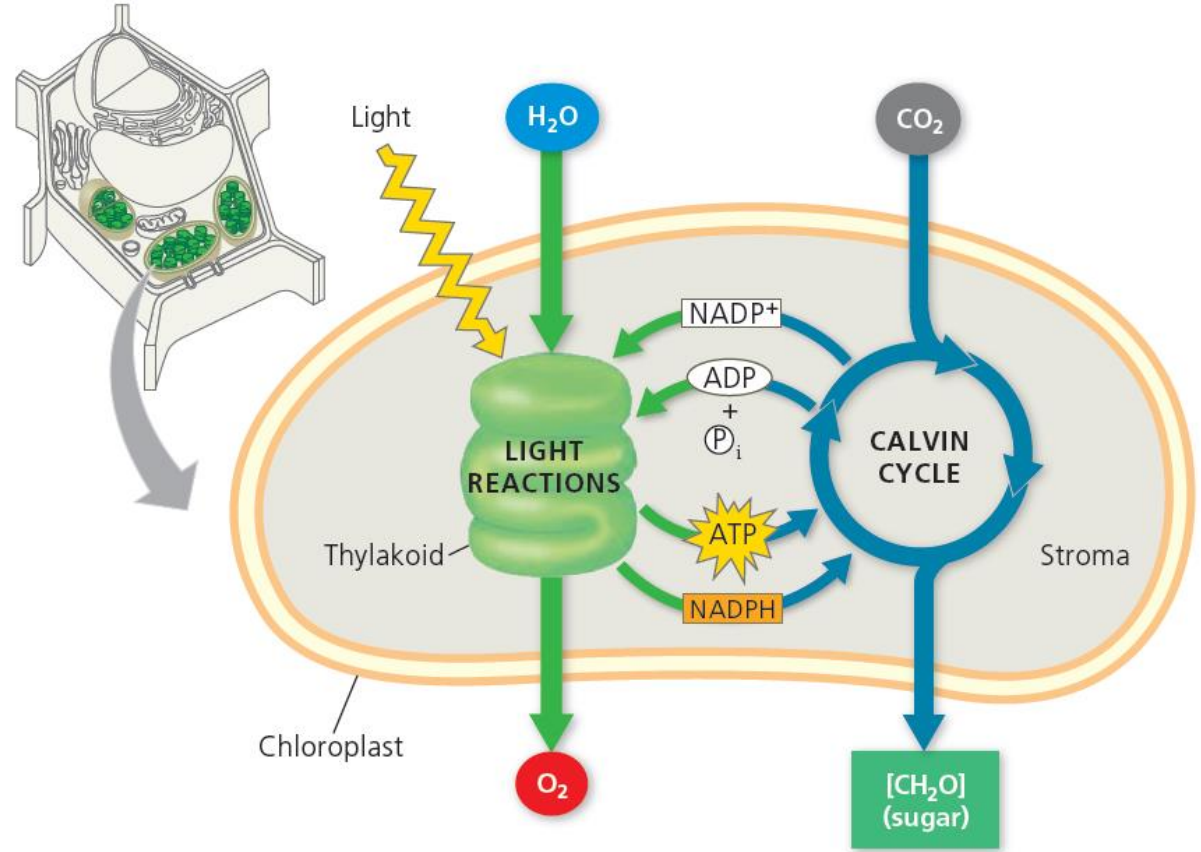
- Bu aşamada su parçalanarak elektron ve proton sağlanır, yan ürün olarak O_2 açığa çıkar.
- Klorofilin soğurduğu ışık enerjisi, elektron ve protonların $NADP^+$ adlı alıcı moleküle aktarılmasını sağlar.
- $NADP^+$, $NADPH$ 'ye indirgenir; aynı zamanda fotofosforilasyonla ATP sentezlenir.





Işık Reaksiyonlarının Ürünleri

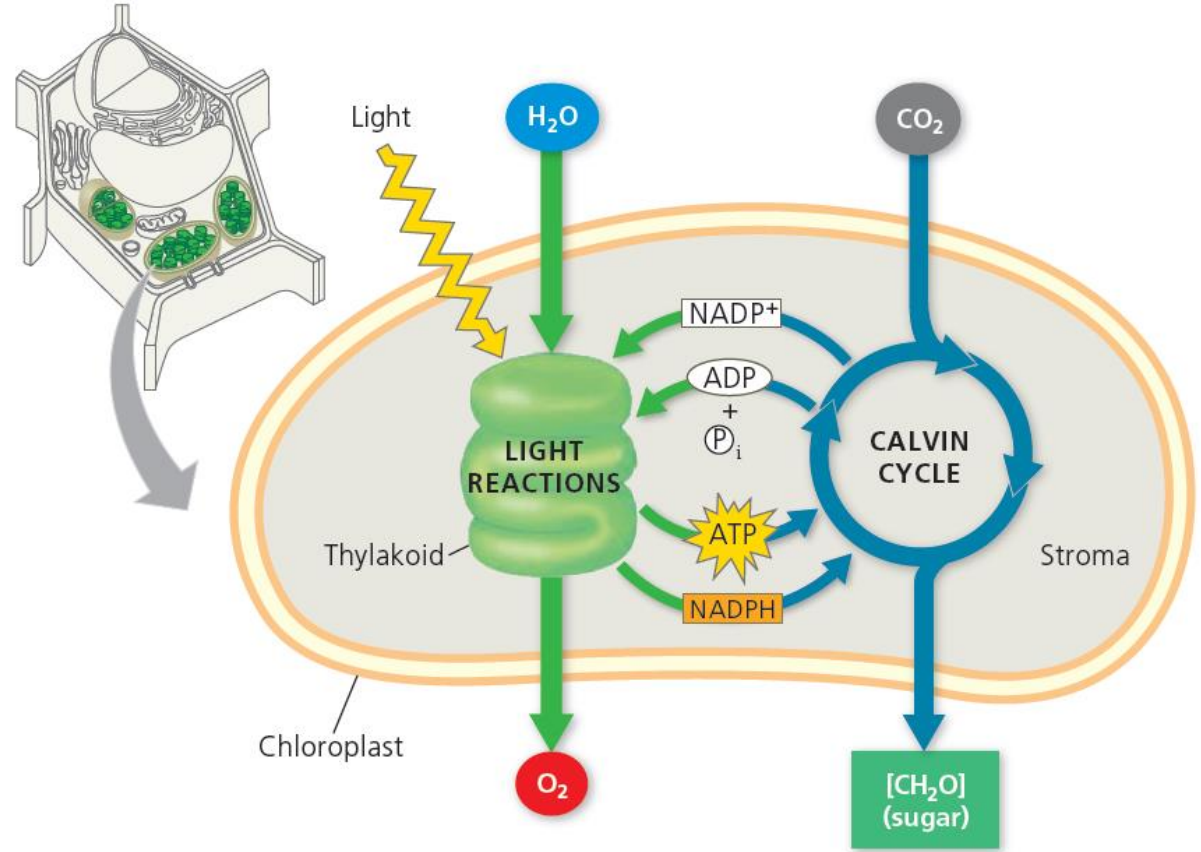
- Işık enerjisi, NADPH ve ATP gibi kimyasal enerji taşıyan bileşiklere dönüştürülür.
- NADPH, elektron kaynağı olarak indirgeme gücü sağlar.
- ATP ise hücrelerin çok yönlü enerji para birimi olarak görev yapar.





Calvin Döngüsüne Giriş

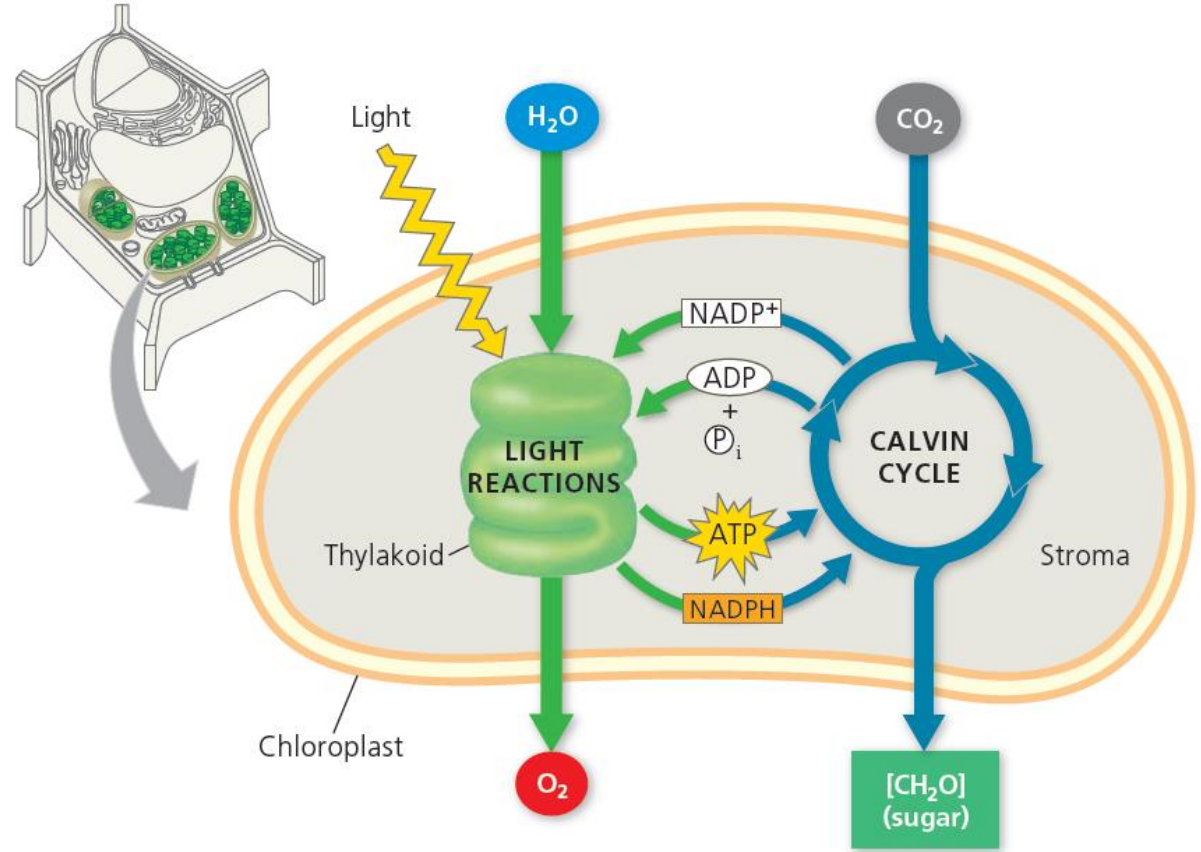
- Şeker üretimi ışık reaksiyonlarında değil, Calvin döngüsünde gerçekleşir.
- Calvin döngüsü, havadaki CO₂'yi mevcut organik moleküllere bağlayarak başlar.
- Bu ilk basamak, karbon fiksasyonu (karbonun bağlanması) olarak adlandırılır.





Calvin Döngüsünün İşleyişi

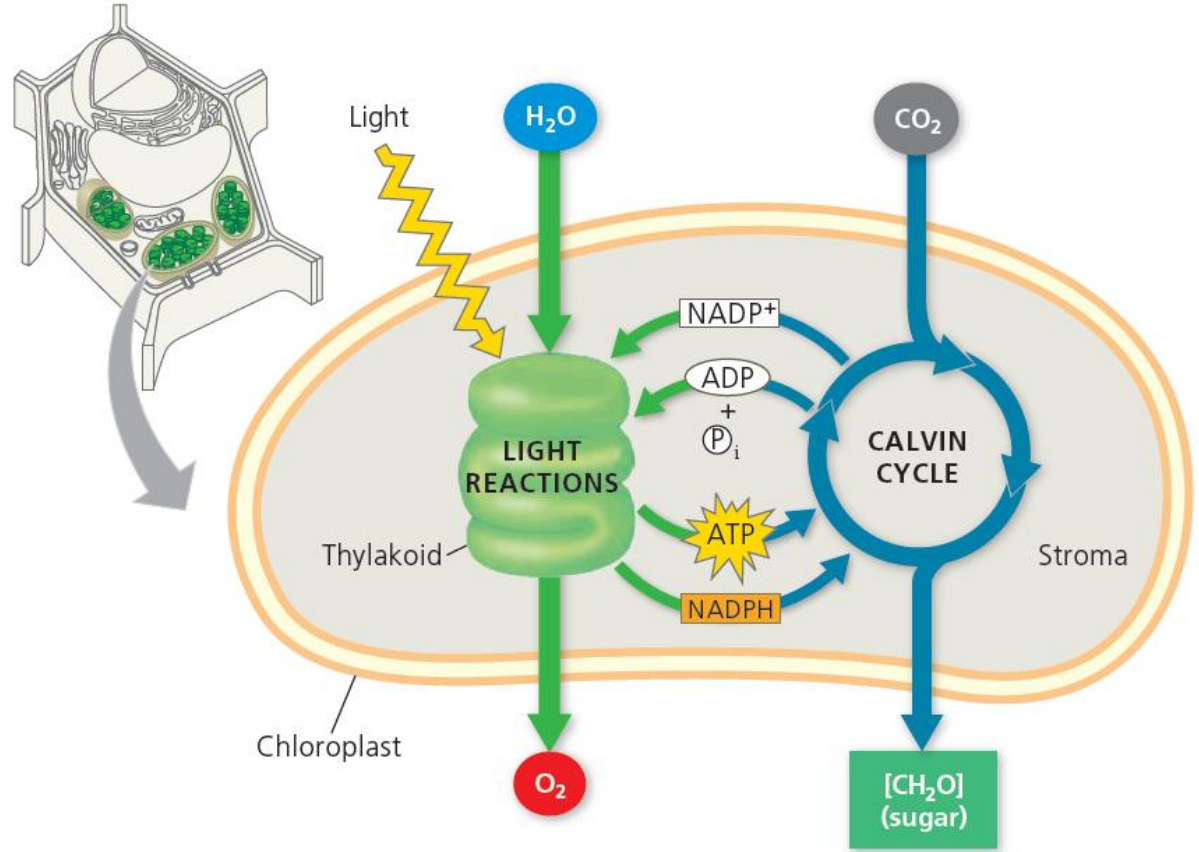
- Bağlanan karbon, NADPH yardımıyla karbonhidratlara indirgenir.
- CO₂'nin şekere dönüşmesi için gerekli enerji ATP tarafından sağlanır.
- Calvin döngüsü, ışığa doğrudan ihtiyaç duymasa da, NADPH ve ATP'ye bağlıdır.





Calvin Döngüsünün Gün Işığında Gerçekleşmesi

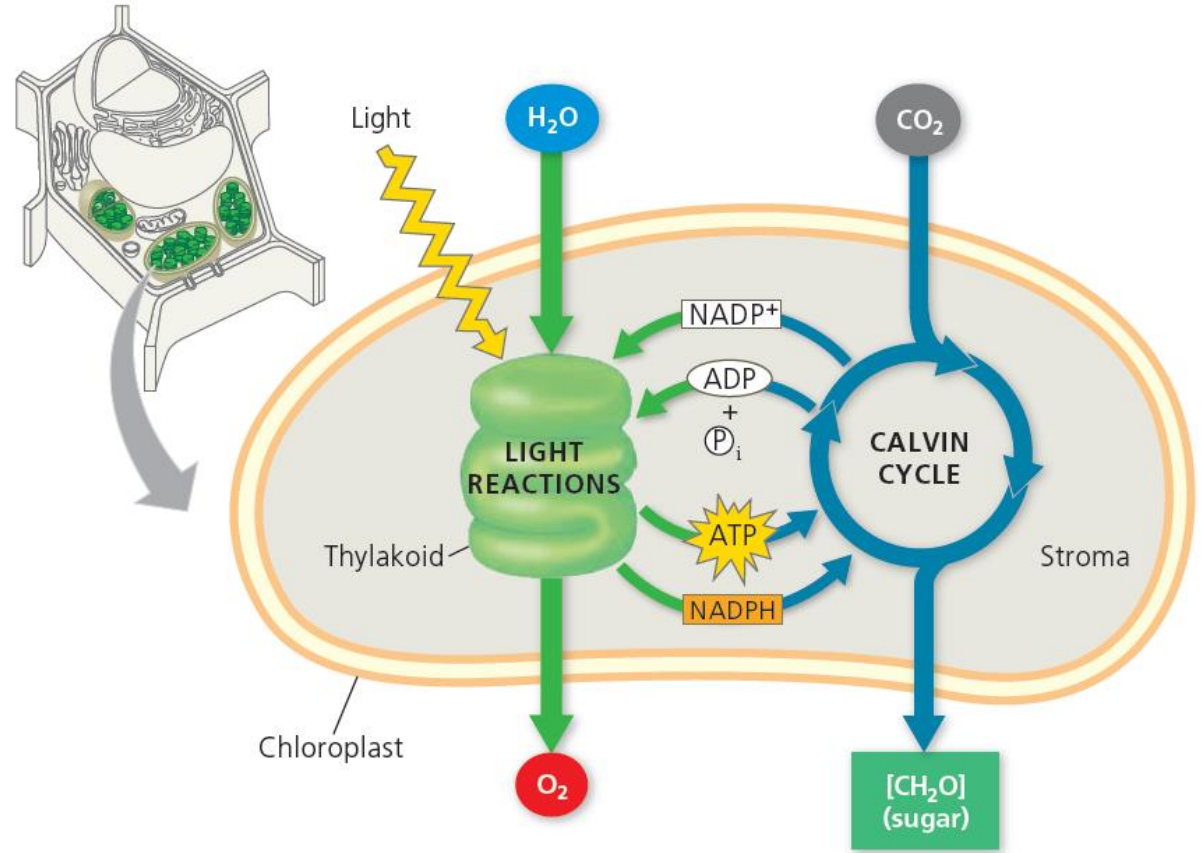
- Calvin döngüsü genellikle gündüz gerçekleşir çünkü NADPH ve ATP yalnızca ışık reaksiyonlarında üretilir.
- Kloroplastlar, iki aşamayı koordine ederek güneş ışığını şekere dönüştürür.
- Işık reaksiyonları tilakoidlerde, Calvin döngüsü ise stroma adlı bölgede gerçekleşir.





Enerji Üretim Sürecinin Koordinasyonu

- Tilakoid zarlarında NADP^+ ve ADP, sırasıyla elektron ve fosfat alır.
- Oluşan NADPH ve ATP stromaya salınır ve Calvin döngüsünde kullanılır.
- Yandaki şekil, bu iki aşamayı “girdi-çıkı” sistemi şeklinde göstermektedir.



İZLE



Güneş Enerjisinin Dönüşümü

- Kloroplastlar, güneş enerjisiyle çalışan kimyasal fabrikalardır.
- Tilakoidler, ışık enerjisini ATP ve NADPH'ye dönüştürür.
- Bu moleküller daha sonra glikoz ve diğer enerji kaynaklarının sentezinde kullanılır.

 Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr

İZLE



Işığın Yapısı ve Özellikleri

- Işık, elektromanyetik enerji ya da elektromanyetik radyasyon olarak bilinir.
- Bu enerji, göle atılan taşın oluşturduğu dalgalar gibi ritmik dalgalar hâlinde yayılır.
- Ancak bu dalgalar, su gibi fiziksel bir ortamda değil; elektrik ve manyetik alanların titreşiminden oluşur.

 Bi Dünya Biyoloji

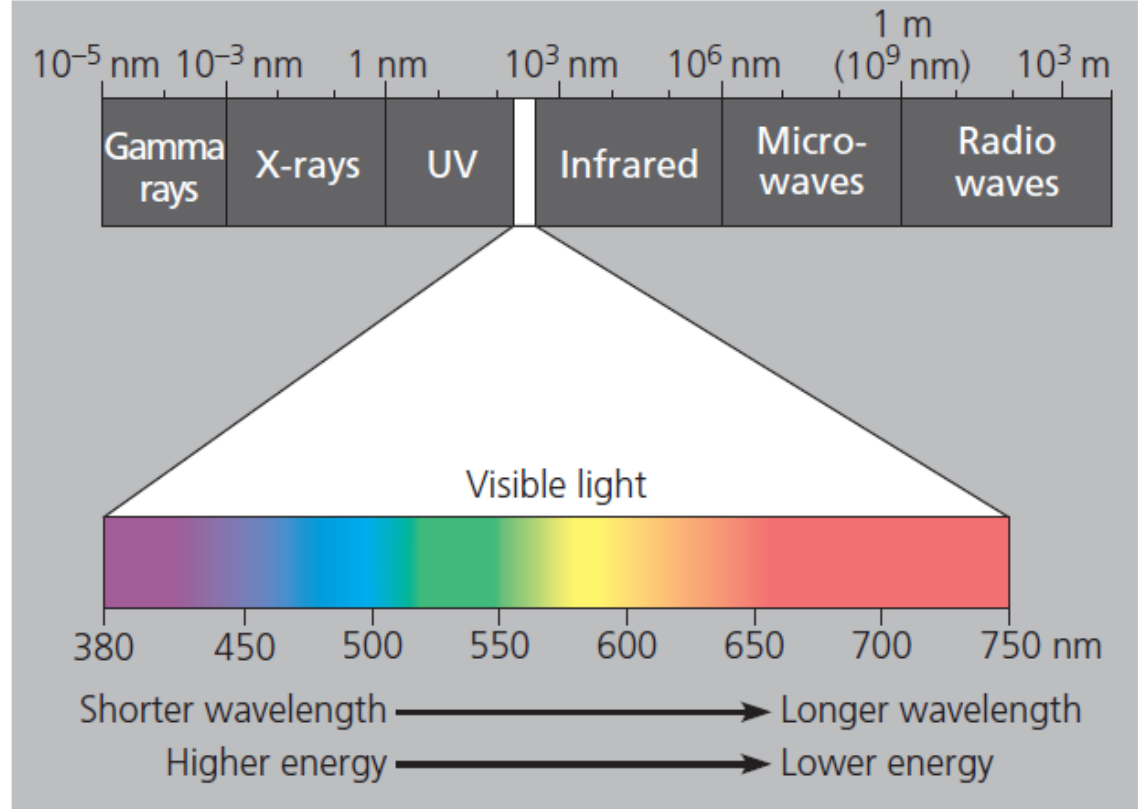


Bektaş Tepe
gezimania_tr



Elektromanyetik Spektrum ve Görünür Işık

- Elektromanyetik dalgalar arasındaki mesafe “dalga boyu” olarak adlandırılır.
- Spektrum, gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar geniş bir aralığı kapsar.
- Yaşam için en önemli bölüm, 380–750 nm arasındaki görünür ışıktır.





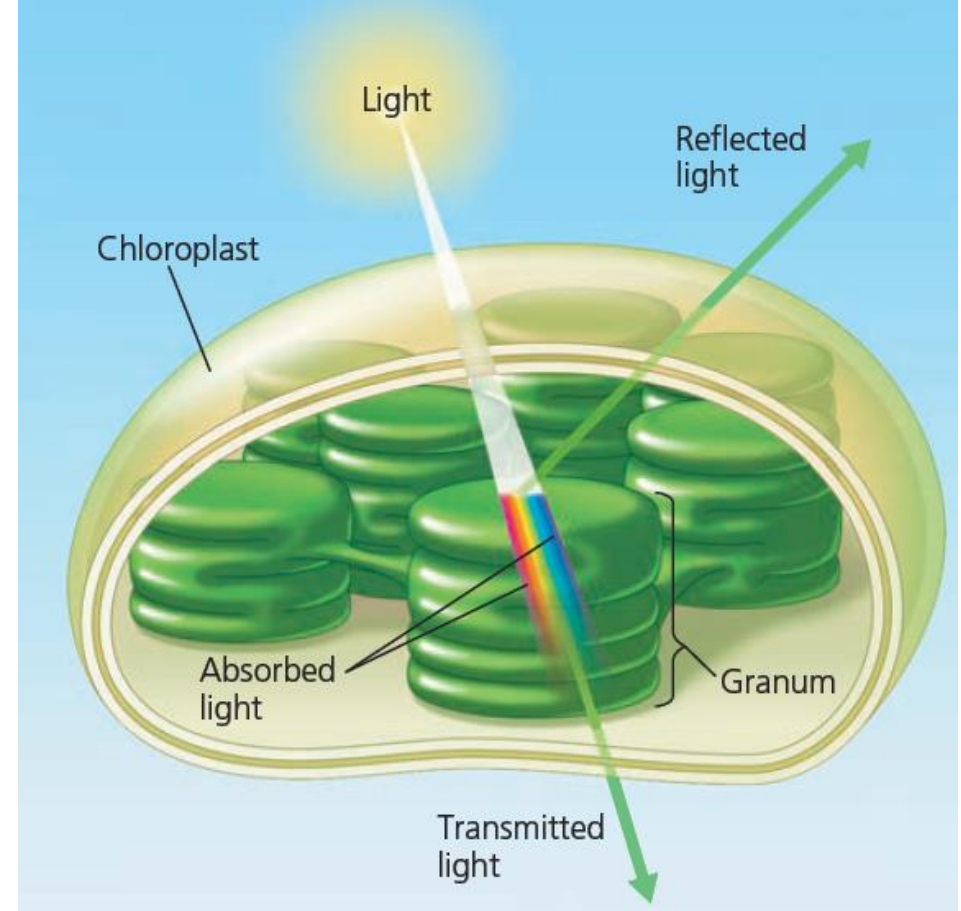
Fotonlar ve Işığın Parçacık Özelliği

- Işık, dalga gibi davranmasının yanında, “foton” denen parçacıklar gibi de hareket eder.
- Fotonlar, dokunulabilir nesneler olmasa da enerji taşıyan birim olarak tanımlanır.
- Bu özellikleriyle ışığın doğası, enerji dönüşüm süreçlerini anlamada büyük rol oynar.



Işığın Pigmentlerle Karşılaşıması

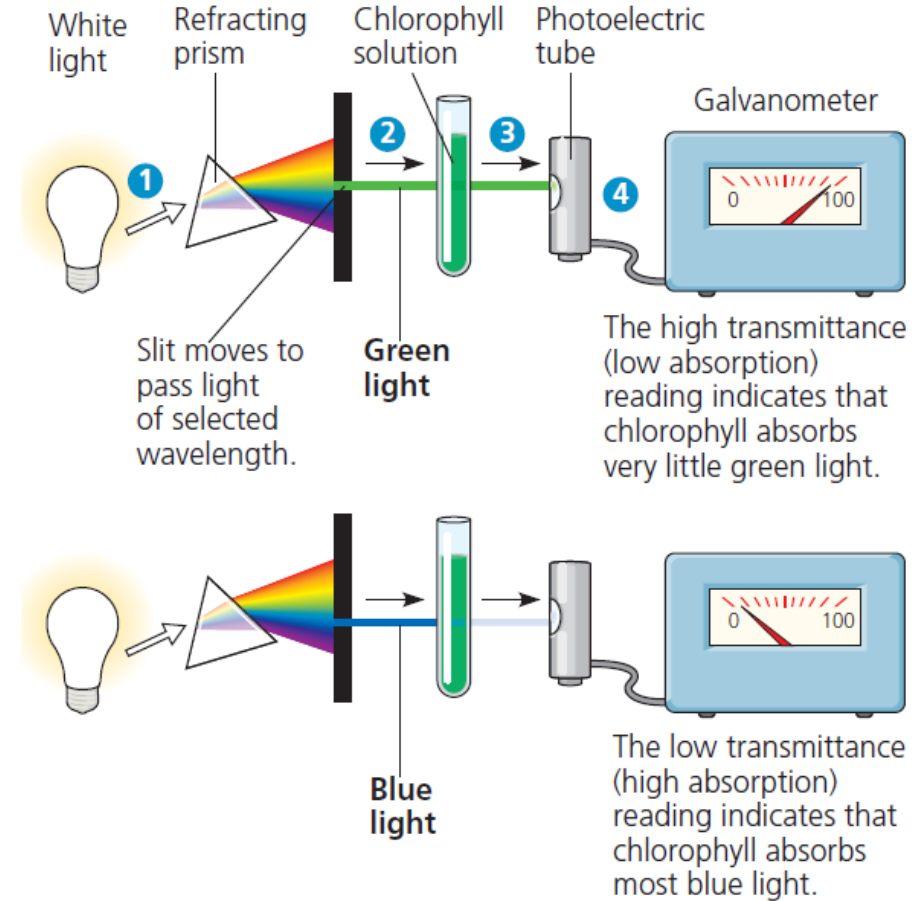
- Işık bir maddeyle karşılaştığında yansıtılabilir, geçirilebilir veya soğurulabilir.
- Görünür ışığı soğuran maddelere pigment adı verilir.
- Her pigment farklı dalga boylarını soğurur ve yansıttığı ya da ilettiği ışık onun rengini belirler.
- Örneğin, yeşil yapraklarda bulunan klorofil; mor-mavi ve kırmızı ışığı soğurur, yeşil ışığı ise yansıtır ya da iletir.





Pigmentlerin Işık Soğurma Özelliklerinin Ölçülmesi

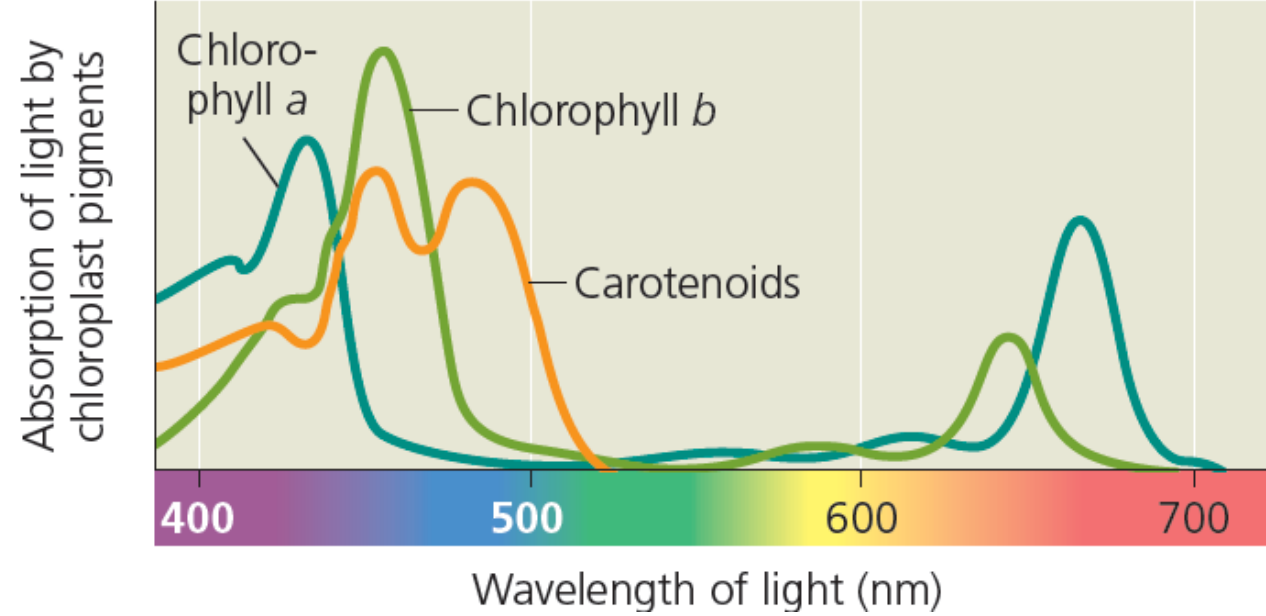
- Pigmentlerin hangi dalga boylarını ne kadar soğurduğunu ölçmek için spektrofotometre kullanılır.
- Bu cihaz, pigment çözeltisinden farklı dalga boylarında ışık geçirerek ne kadarının iletildiğini ölçer.
- Elde edilen veriler, dalga boyuna karşılık ışık soğurulmasının gösterildiği bir grafikte toplanır.
- Bu grafiğe “absorbsiyon (soğurma) spektrumu” denir.





Fotosentezde Dalga Boylarının Etkinliği

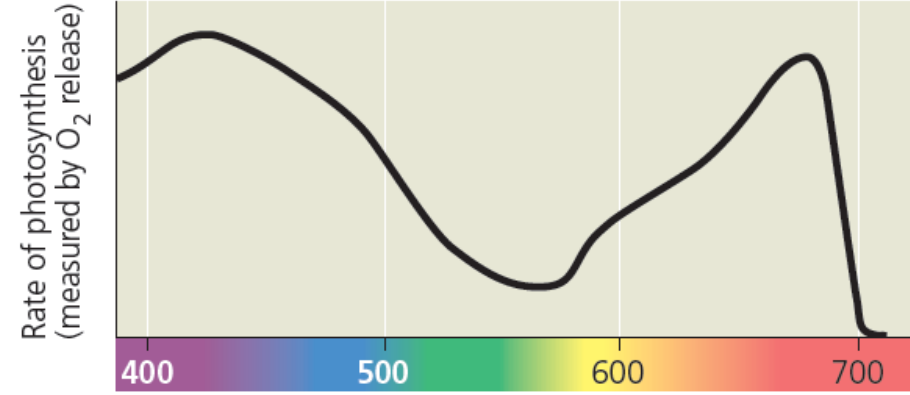
- Kloroplast pigmentlerinin soğurma spektrumları, hangi dalga boylarının fotosentezi daha iyi desteklediği hakkında ipuçları verir.
- Fotosentez ancak ışık soğurulursa gerçekleşebilir.
- Klorofil a'nın spektrumu, mor-mavi ve kırmızı ışığın en verimli olduğunu gösterir.
- Yeşil ışık ise en az etkili olan dalga boyudur.



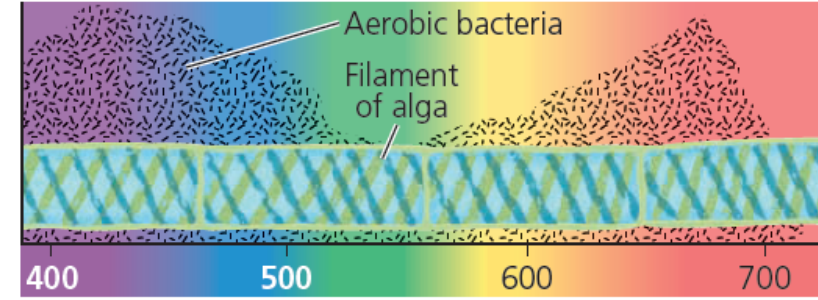


Aksiyon Spektrumu ve Engelmann'ın Deneyi

- Aksiyon spektrumu, farklı dalga boylarının fotosentezi ne kadar etkili tetiklediğini gösterir.
- Bu spektrum, farklı renklerde ışıkla aydınlatılan kloroplastlarda O_2 salınımı ya da CO_2 tüketimi gibi ölçümlerle elde edilir (b).
- 1883'te Theodor Engelmann, oksijen ölçüm cihazları icat edilmeden önce bakterilerle gerçekleştirdiği deneyle bu spektrumu ilk kez ortaya koymuştur (c).
- Engelmann'ın sonuçları günümüz aksiyon spektrumlarıyla büyük benzerlik gösterir.



(b) Action spectrum. This graph plots the rate of photosynthesis versus wavelength. The resulting action spectrum resembles the absorption spectrum for chlorophyll *a* but does not match exactly (see part a). This is partly due to the absorption of light by accessory pigments such as chlorophyll *b* and carotenoids.

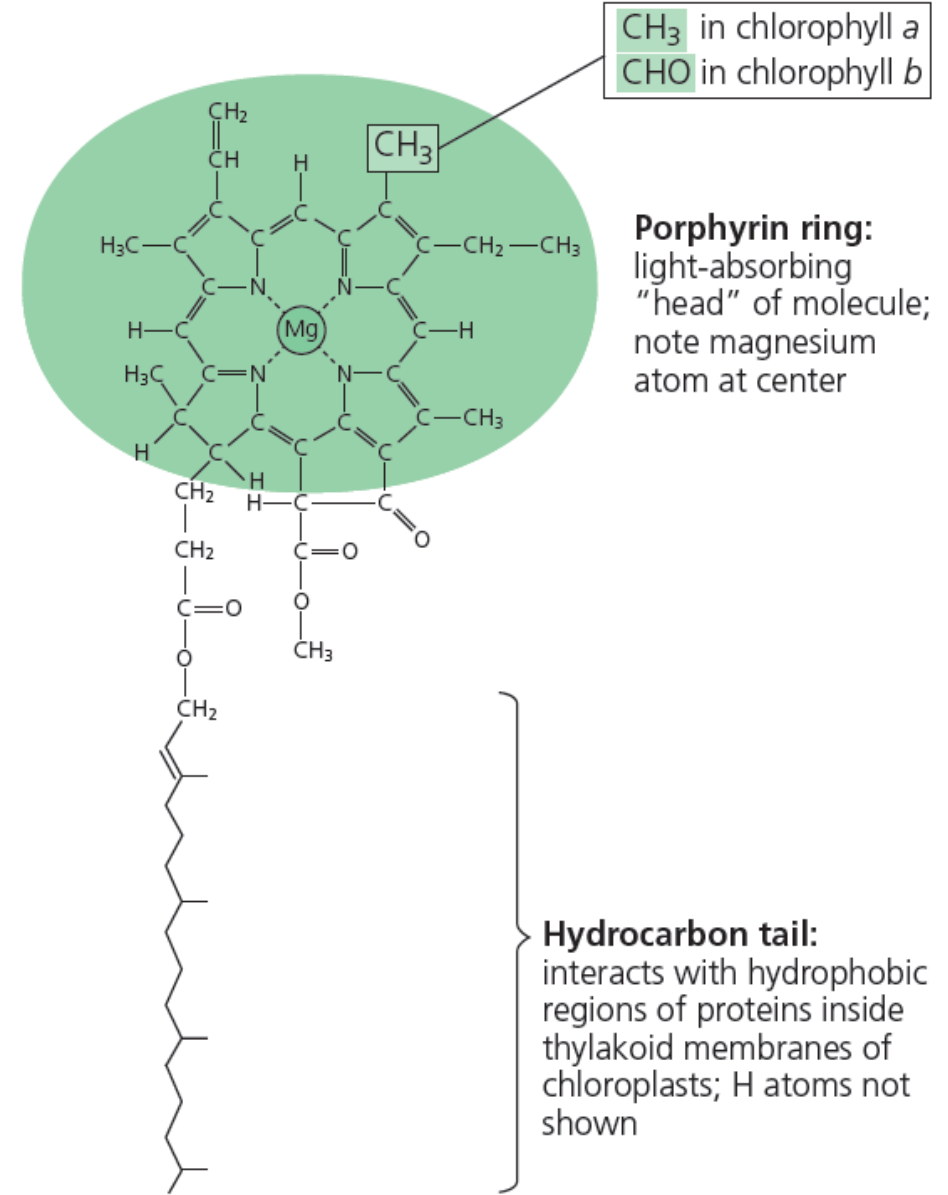


(c) Engelmann's experiment. In 1883, Theodor W. Engelmann illuminated a filamentous alga with light that had been passed through a prism, exposing different segments of the alga to different wavelengths. He used aerobic bacteria, which congregate near an oxygen source, to determine which segments of the alga were releasing the most O_2 and thus photosynthesizing most. Bacteria congregated in greatest numbers around the parts of the alga illuminated with violet-blue or red light.



Klorofil a ve Diğer Pigmentler

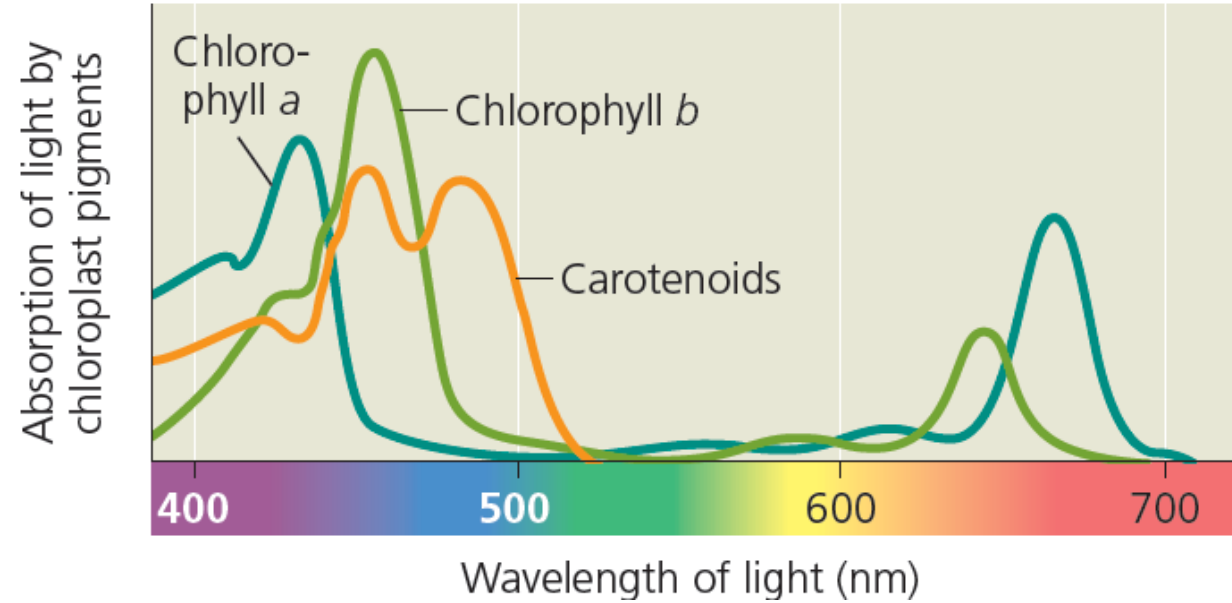
- Klorofil a'nın soğurma spektrumu, fotosentezi destekleyen tüm ışık dalga boylarını tam olarak yansıtmaz.
- Kloroplastlarda bulunan yardımcı pigmentler (klorofil b ve karotenoidler) daha geniş bir spektrumda ışığı soğurur.
- Bu pigmentler sayesinde fotosentezi tetikleyebilecek daha fazla renk kullanılabilir hale gelir.
- Yanda, klorofil a ile klorofil b'nin yapısal farkları gösterilmektedir.





Klorofil a ve b'nin Renk ve Soğurma Farklılıkları

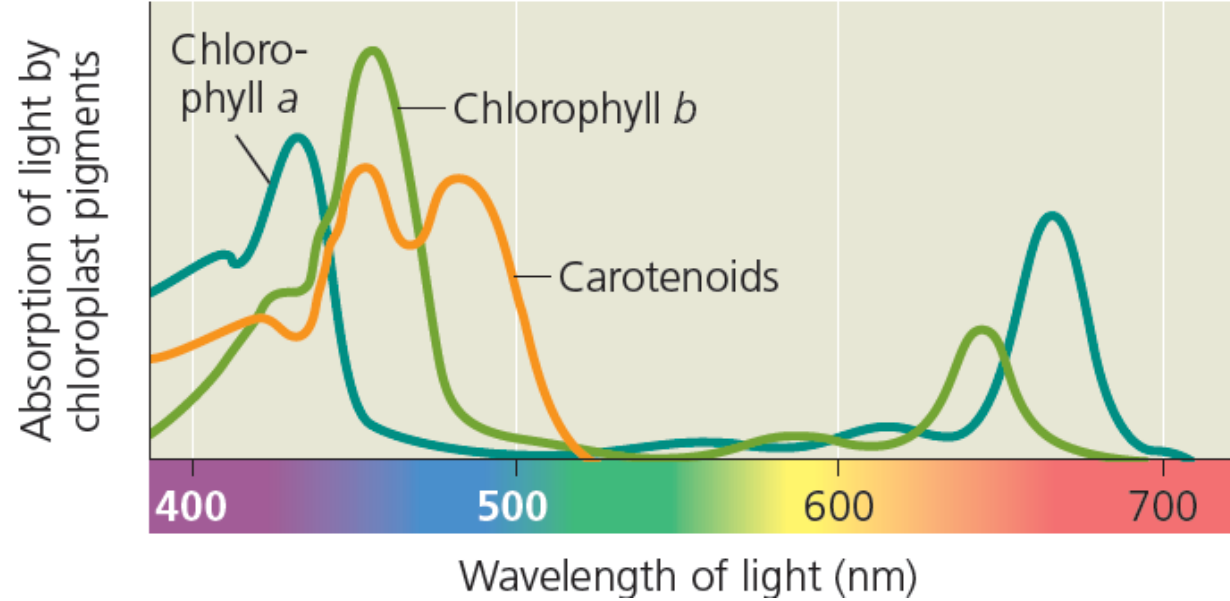
- Klorofil a ve klorofil b'nin yapıları benzer olsa da küçük bir farklılık onların soğurdukları ışığı etkiler.
- Bu fark, özellikle kırmızı ve mavi bölgedeki dalga boylarında kendini gösterir.
- Klorofil a, görünür ışık altında mavi-yeşil; klorofil b ise zeytin yeşili renktedir.
- Bu durum, farklı pigmentlerin farklı ışık aralıklarını soğurmasını sağlar.





Karotenoidler ve Fotokoruma

- Karotenoidler, mor ve mavi-yeşil ışığı soğuran sarı-turuncu hidrokarbon pigmentleridir.
- Fotosenteze destek olmalarının yanı sıra, fazla ışık enerjisinin soğurularak dağıtılmasında görev alırlar.
- Bu sayede klorofilin zarar görmesini veya reaktif oksijen türlerinin oluşmasını engellerler.
- İnsan gözünde de benzer fotokoruyucu karotenoidler bulunur.





Karotenoidler ve İnsan Sağlığı Arasındaki Bağlantı

- Havuç gibi karotenoid zengini sebzeler gece görüşünü artırıcı etkileriyle bilinir.
- Bu pigmentler doğal olarak birçok meyve ve sebzede bulunur.
- Ayrıca “fitokimyasallar” olarak adlandırılarak sağlık ürünlerinde de öne çıkarılırlar.
- Bitkiler ihtiyaç duydukları tüm antioksidanları sentezleyebilirken, insanlar bazılarını dışarıdan almak zorundadır.





Işığın Soğurulmasıyla Klorofilde Neler Olur?

- Klorofil ve diğer pigmentler ışık soğurduğunda, soğurulan dalga boyuna karşılık gelen renkler ortadan kaybolur.
- Ancak enerji kaybolmaz; bir foton soğurulduğunda pigment molekülünün bir elektronu daha yüksek enerjili bir orbitale çıkar.
- Elektron normal orbitalindeyken molekül "temel durumda", daha yüksek enerjili orbitaldeyken "uyarılmış durumda" olur.
- Yalnızca, foton enerjisi ile temel ve uyarılmış durumlar arasındaki enerji farkı eşleştğinde soğurma gerçekleşir; bu nedenle her pigmentin kendine özgü bir soğurma spektrumu vardır.





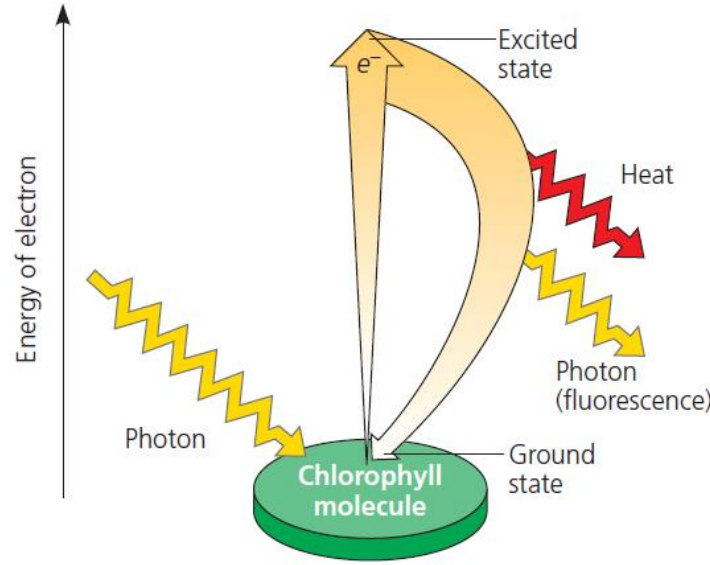
Uyarılmış Elektronların Kararsızlığı ve Floresans

- Elektron uyarılmış duruma geçtiğinde bu durumda uzun süre kalamaz; bu enerji seviyesi kararsızdır.
- İzole pigment moleküllerinde, uyarılmış elektronlar hızla temel duruma geri dönerken fazla enerji genellikle ısı olarak açığa çıkar.
- Bu nedenle, örneğin güneşli bir günde arabaların üst yüzeyi çok ısınır; beyaz arabalar tüm görünür ışığı yansıttığı için daha serindir.
- İzole klorofil gibi bazı pigmentler, ısıya ek olarak ışık da yayar; bu olay floresans olarak adlandırılır.

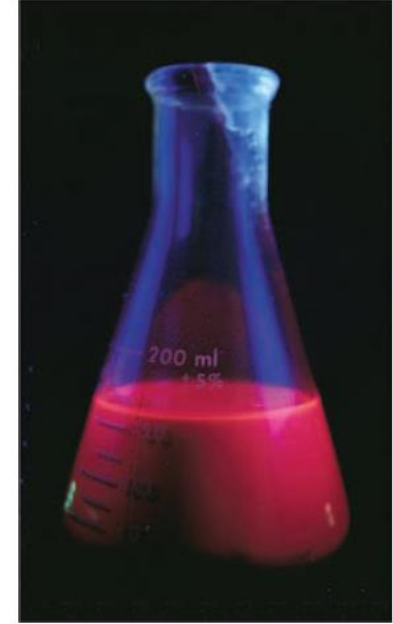


Klorofilin Floresansı: Bir Gözlem

- Kloroplasttan izole edilen bir klorofil çözeltisi ışıkla aydınlatıldığında kırmızı bölgede floresans yayar ve aynı zamanda ısı üretir.
- Bu floresans, klorofilin ultraviyole ışığı da soğurabilmesi sayesinde en iyi UV ışığı altında görülür.
- Normal görünür ışık altında, çözeltinin yeşil rengi nedeniyle floresansı görmek zordur.



(a) Excitation of isolated chlorophyll molecule

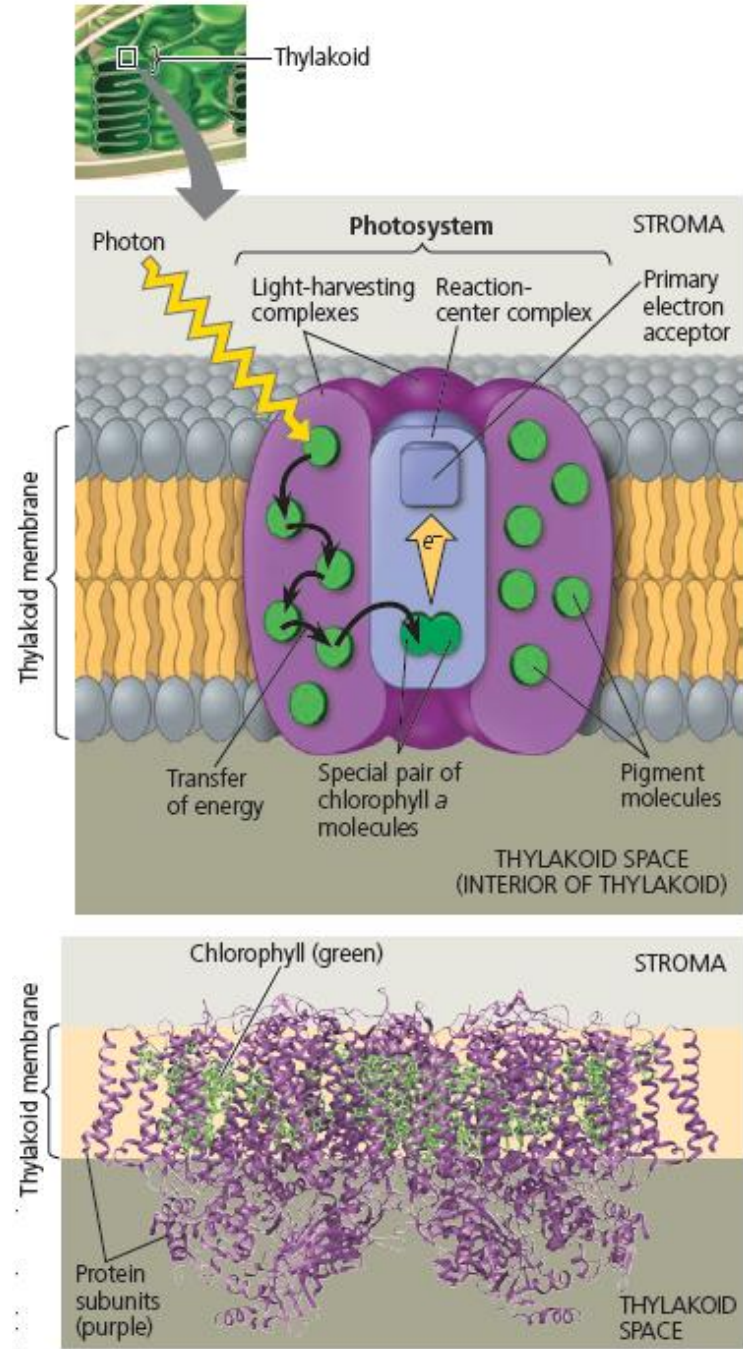


(b) Fluorescence



Doğal Ortamda Klorofil ve Fotosistem Yapısı

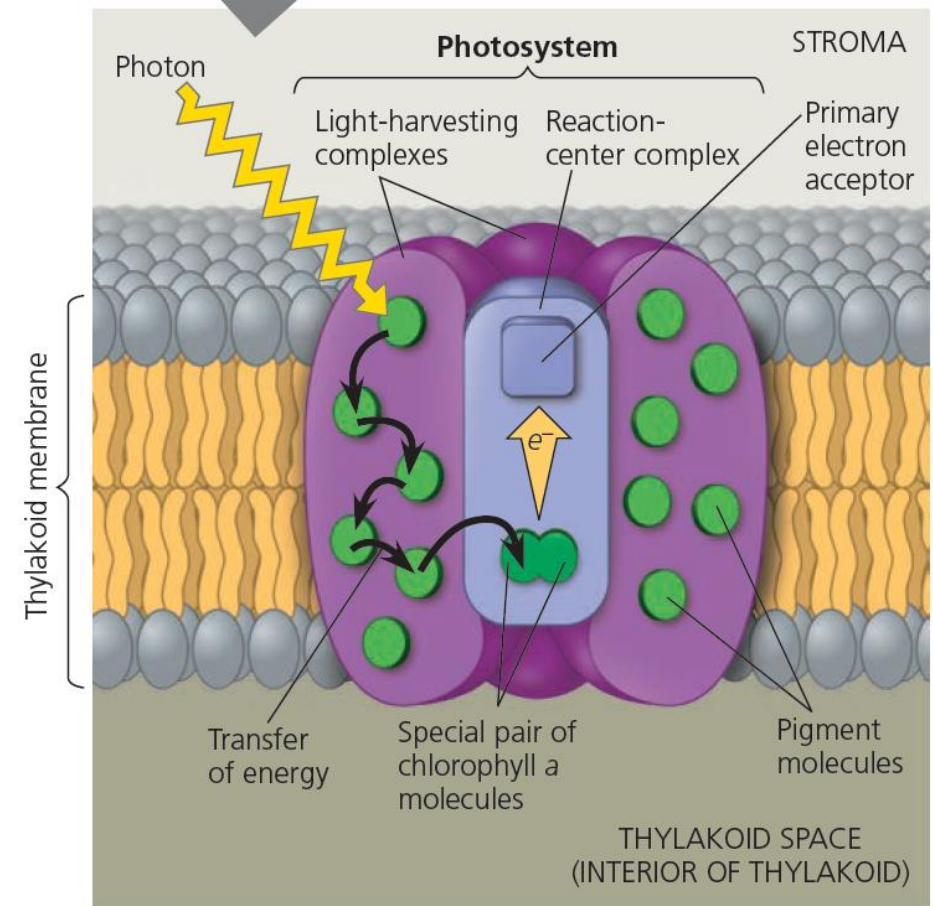
- Kloroplast içinde, klorofil molekülleri izole değil; tilakoid zarlar üzerinde protein ve organik moleküllerle birlikte "fotosistem" adı verilen yapılarda organize olur.
- Fotosistemler, "reaksiyon merkezi kompleksi" ve onu çevreleyen "ışık hasat eden komplekslerden" oluşur.
- Reaksiyon merkezi, özel bir klorofil a çifti ve birincil elektron alıcısını içeren protein kompleksidir.
- Işık hasat eden kompleksler, klorofil a, klorofil b ve karotenoid gibi pigmentlerin proteinlere bağlanmasıyla oluşur.





Işık Hasadı: Enerji Transferi ve Anten Sistemi

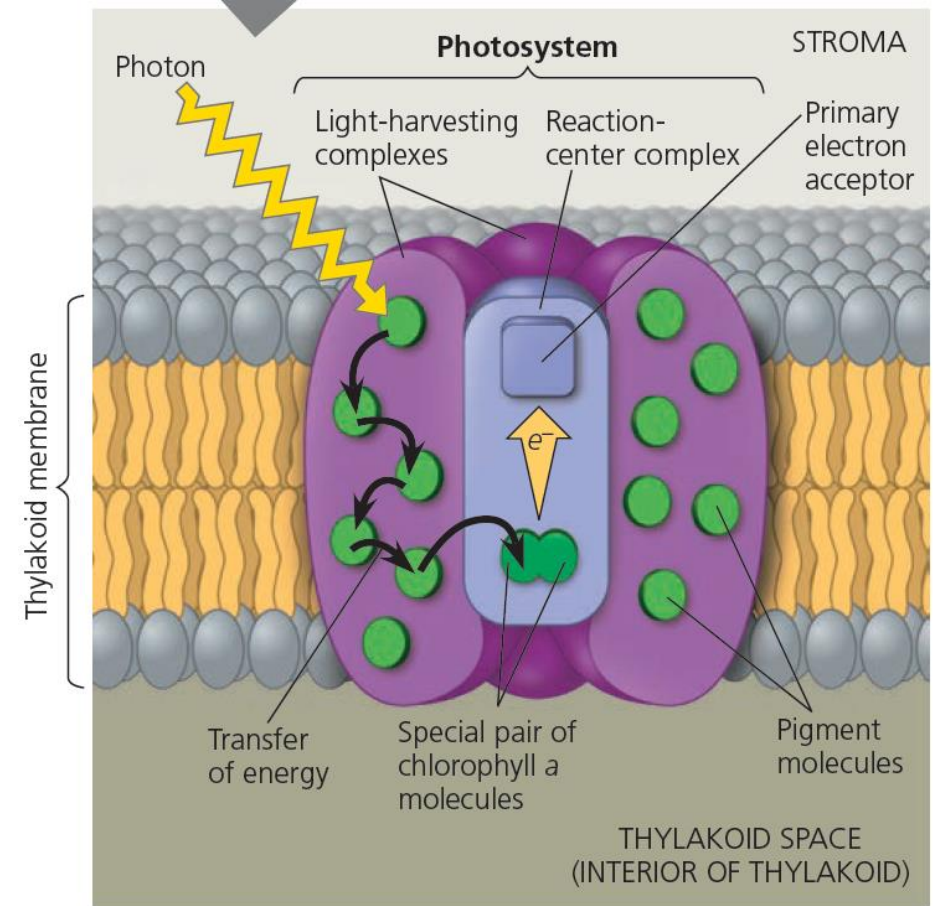
- Pigment çeşitliliği sayesinde, fotosistem daha geniş bir yüzey alanından ve daha fazla dalga boyundan ışık toplayabilir.
- Işık hasat eden kompleksler, reaksiyon merkezine enerji aktaran birer "anten" gibi çalışır.
- Bir pigment foton soğurduğunda, enerji adım adım diğer pigmentlere iletilir ve sonunda reaksiyon merkezindeki klorofil a çiftine ulaşır.
- Bu özel klorofil molekülleri, enerjiyi sadece elektronu uyarılmış duruma geçirmek için değil, aynı zamanda birincil elektron alıcısına aktarmak için de kullanabilir.





Fotosentezin Işık Reaksiyonlarında İlk Adım

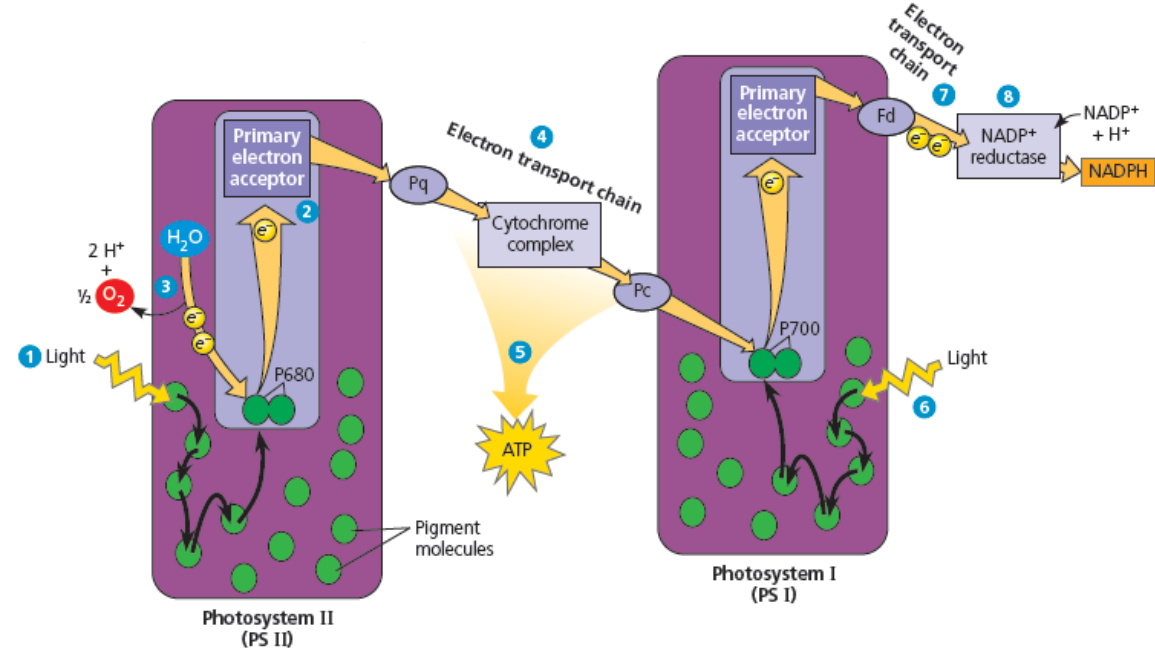
- Reaksiyon merkezindeki klorofil a elektronunu daha yüksek enerji seviyesine çıkarır ve bu elektron hemen birincil elektron alıcısı tarafından yakalanır.
- Bu olay bir redoks tepkimesidir ve ışık reaksiyonlarının ilk adımıdır.
- İzole klorofil floresans yayarken, kloroplast içindeki yapılar sayesinde elektron enerjisi ısı ya da ışık olarak kaybolmaz.
- Bu sayede fotosistemler, ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren işlevsel birimler olarak çalışır.





Fotosistem I ve Fotosistem II: Işık Reaksiyonlarının İşbirliği

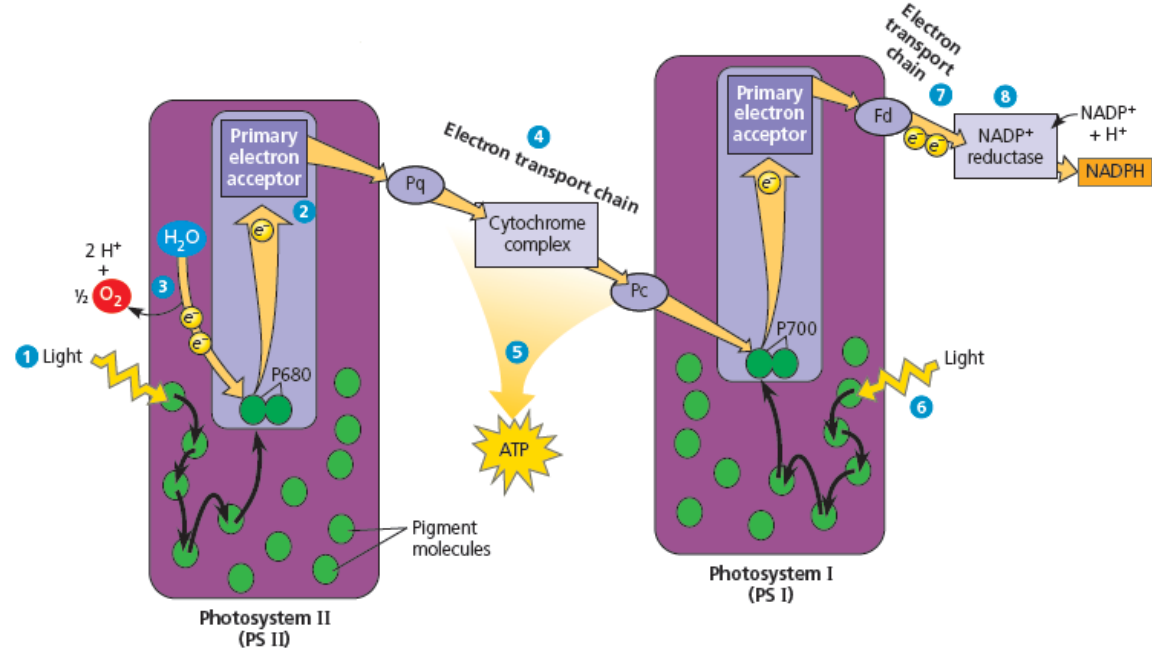
- Tilakoid zarında, fotosentezin ışık reaksiyonlarında görev alan iki tip fotosistem bulunur: Fotosistem II (PS II) ve Fotosistem I (PS I).
- İsimlendirme keşif sırasına göredir, fakat ışık reaksiyonlarında ilk çalışan PS II'dir.
- Her bir fotosistem, kendine özgü bir reaksiyon merkezi kompleksine ve birincil elektron alıcısına sahiptir.





Fotosentezin Işık Reaksiyonlarına Giriş

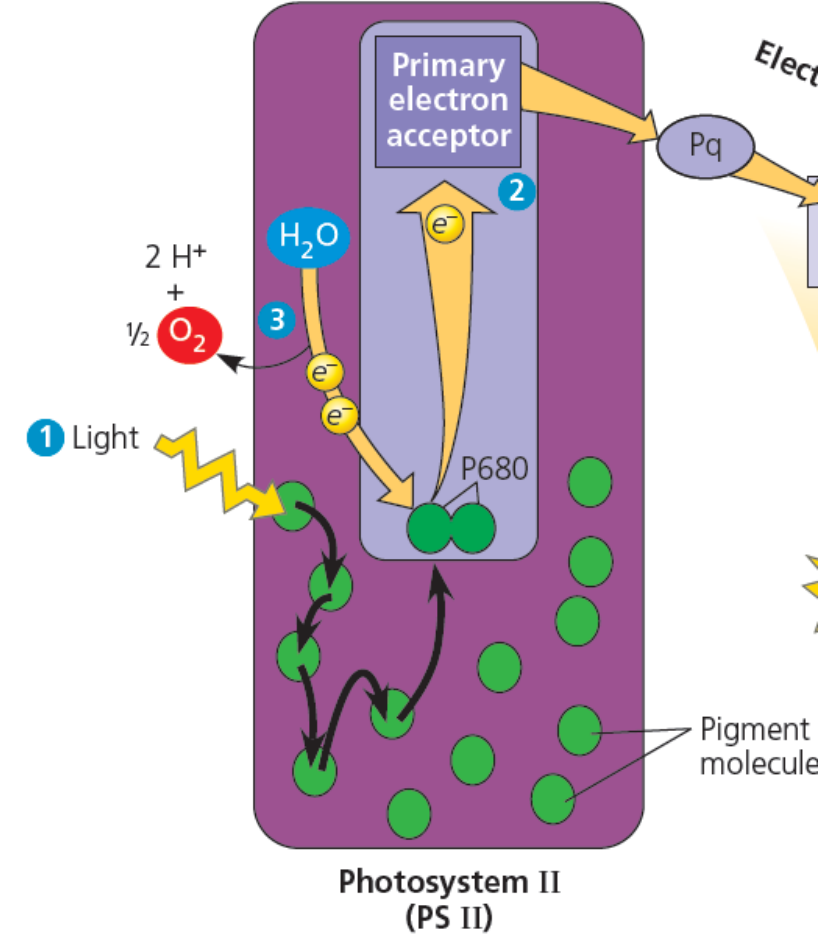
- Işık, kloroplastlardaki tilakoid zarlarına gömülü olan iki farklı fotosistem aracılığıyla ATP ve NADPH sentezini başlatır.
- Bu süreçte, fotosistemler ve diğer zar bileşenleri üzerinden bir elektron akışı gerçekleşir.
- Bu olaya doğrusal (lineer) elektron akışı denir ve fotosentezin ışık reaksiyonları sırasında meydana gelir.





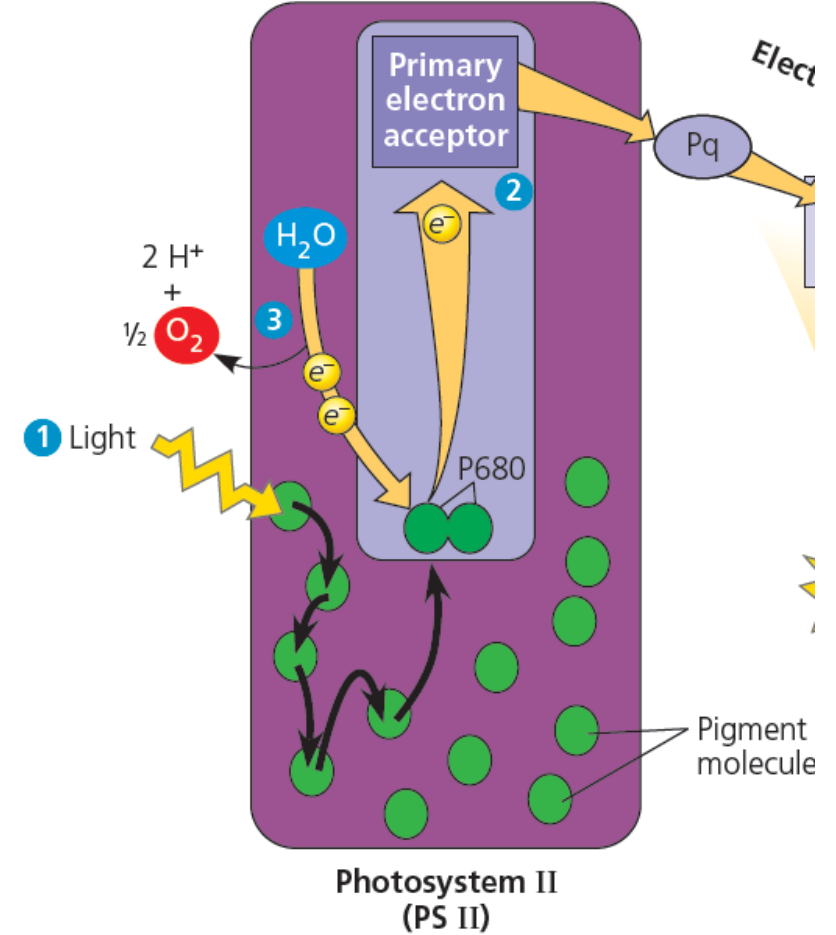
Işığın Elektronları Uyarması

- PS II'ye ait bir ışık hasat kompleksindeki pigment molekülüne foton çarparak bir elektronunu daha yüksek enerji seviyesine çıkarır.
- Bu enerji, diğer pigment moleküllerine aktarılır ve sonunda PS II reaksiyon merkezi içindeki P680 klorofil çiftine ulaşır.
- P680'teki bir elektron, daha yüksek enerji seviyesine çıkarak uyarılmış hale gelir.
- Bu süreç, ışık enerjisinin fotosistemle etkileşimi sonucu başlatılır.



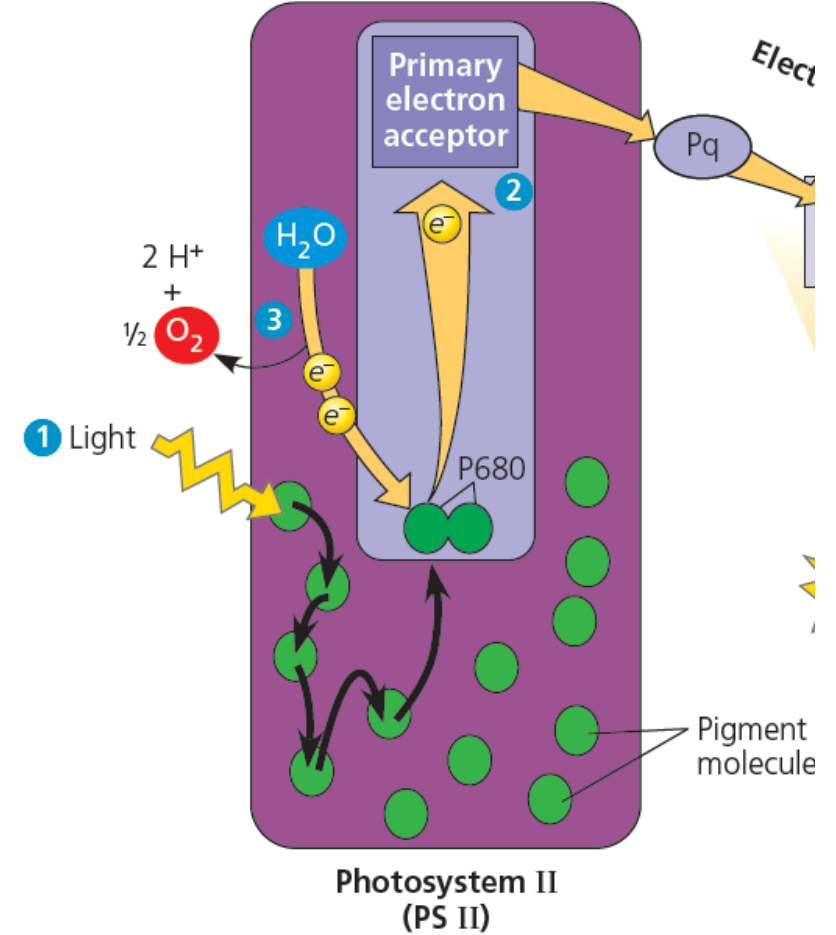
Elektronun İlk Aktarıcısına Transferi

- Yükseltilmiş enerjiye sahip elektron, PS II'nin birincil elektron alıcısına aktarılır.
- Elektronunu kaybeden P680 artık P680⁺ olarak adlandırılır.
- Bu durum, sistemde bir elektron açığı oluşmasına yol açar.



Suyun Parçalanması ve Oksijen Oluşumu

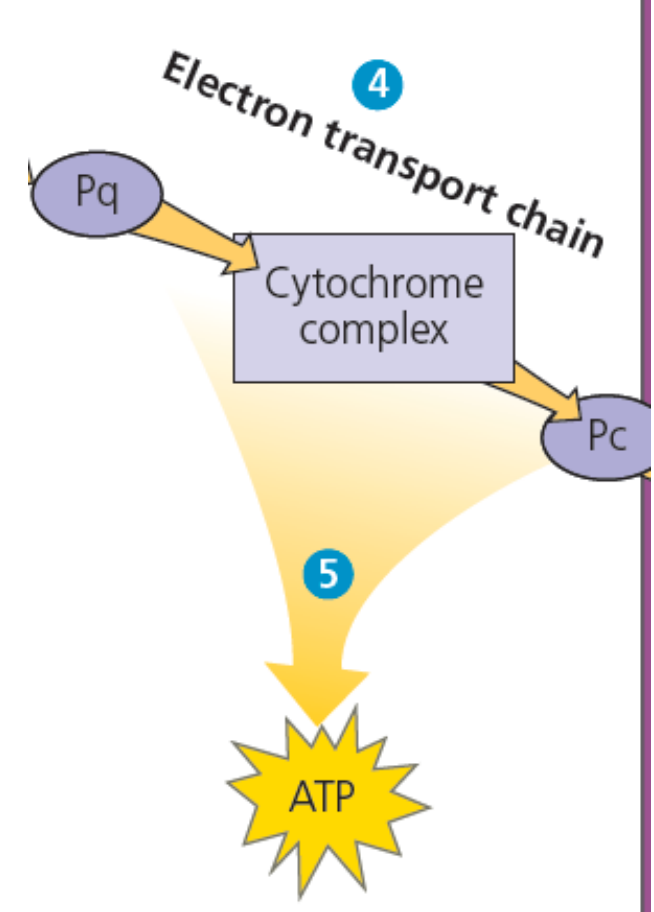
- Bir enzim, bir su molekülünü parçalayarak iki elektron, iki H^+ iyonu ve bir oksijen atomu oluşturur.
- Oluşan elektronlar, $P680^+$ 'ın elektron açığını sırayla kapatır.
- Açığa çıkan H^+ iyonları tilakoid boşluğuna salınır; oksijen atomları birleşerek O_2 oluşturur.
- $P680^+$, bilinen en güçlü biyolojik oksitleyici ajandır.





Elektronların PS I'e Taşınması

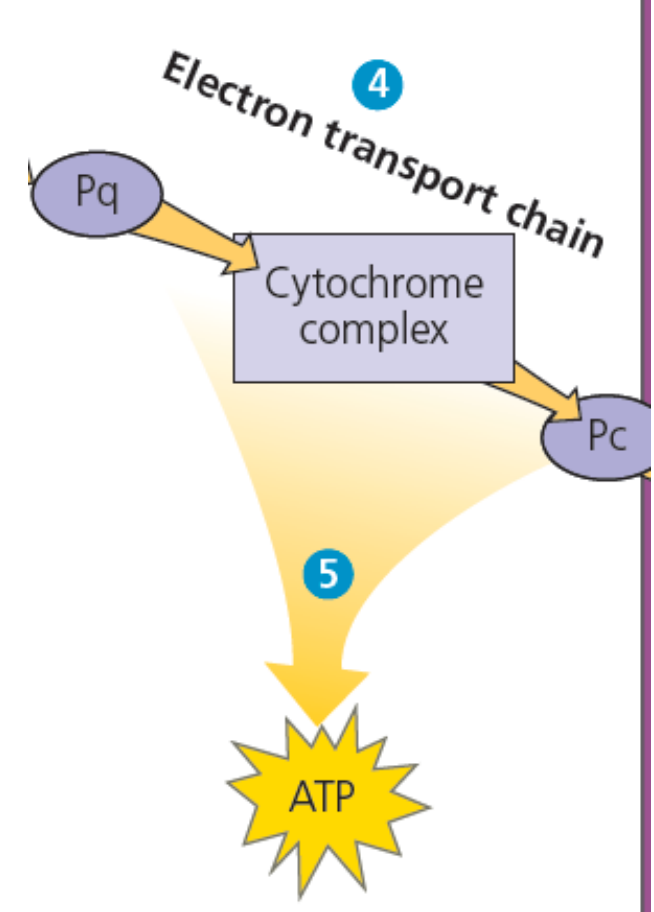
- Elektronlar, PS II'den PS I'e doğru bir elektron taşıma zinciri üzerinden ilerler.
- Bu zincir plastokinon (Pq), sitokrom kompleksi ve plastosiyanin (Pc) gibi bileşenlerden oluşur.
- Her bir taşıyıcı, elektronları redoks tepkimeleri ile aktarırken serbest enerji açığa çıkar.
- Bu enerji, tilakoid boşluğuna H^+ pompalanmasında kullanılır ve zar boyunca bir proton gradyenti oluşur.





Kemiozmoz ve ATP Sentezi

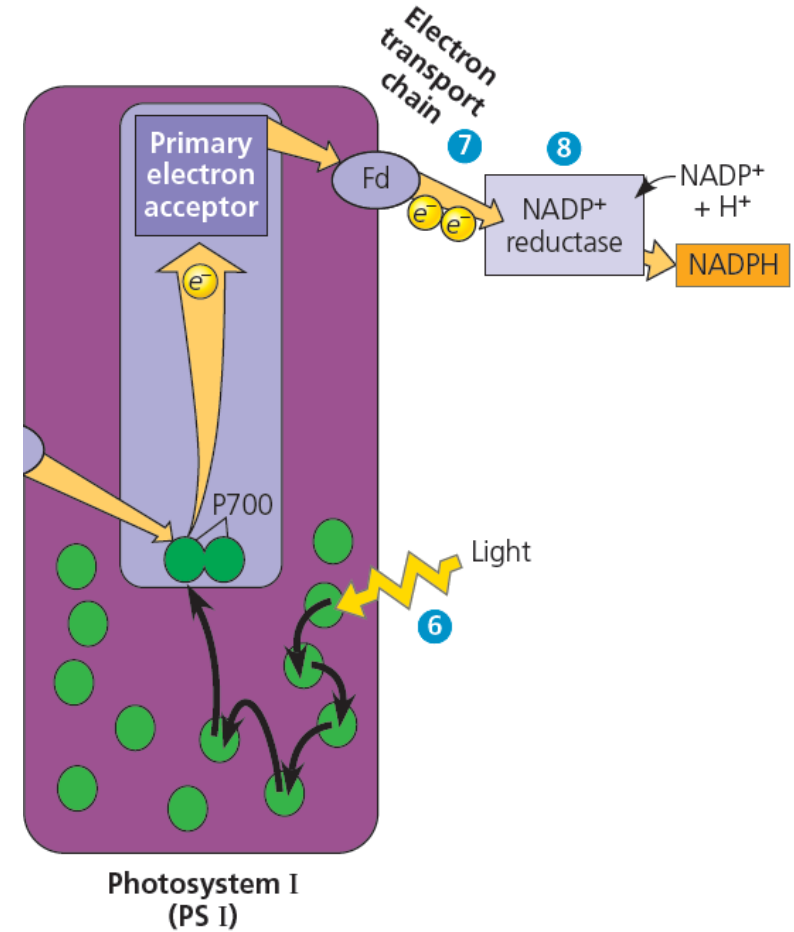
- Tilakoid zarındaki proton gradyenti, ATP sentezi için gerekli potansiyel enerjiyi oluşturur.
- Bu enerji, kemiozmoz süreciyle ATP üretiminde kullanılır.
- Oluşan ATP, Calvin döngüsünün enerji ihtiyacını karşılamak üzere stromaya salınır.





PS I'in Uyarılması ve Elektron Kabulü

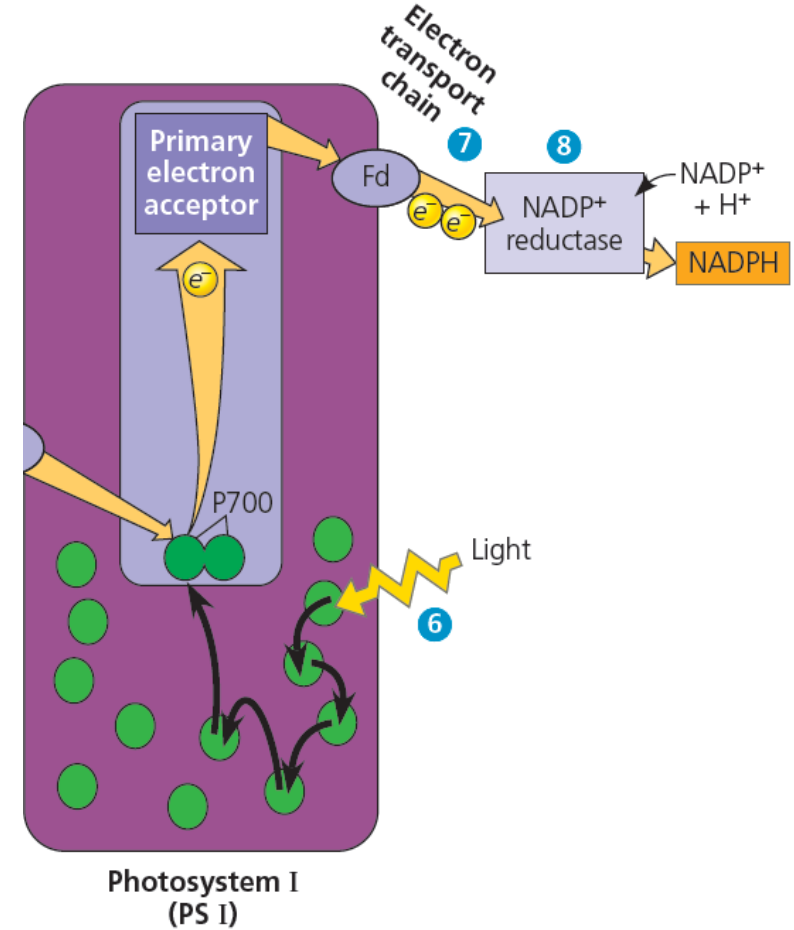
- Işık enerjisi PS I'deki P700 klorofil çiftine ulaştırılır ve bir elektron uyarılır.
- Bu elektron, PS I'in birincil elektron alıcısına aktarılır ve geride elektron açığı bulunan $P700^+$ kalır.
- $P700^+$, PS II'den gelen elektronla bu açığı kapatarak yeniden nötr hale gelir.





PS I'den Fd'ye Elektron Aktarımı

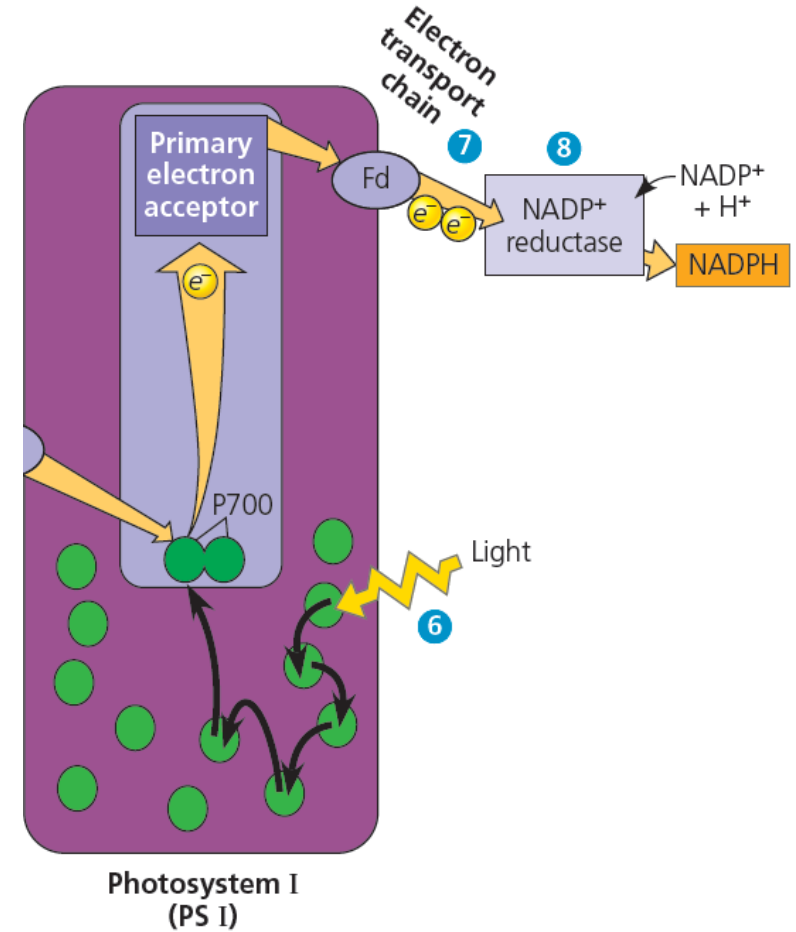
- PS I'in birincil elektron alıcısından çıkan elektronlar, ferredoksin (Fd) aracılığıyla ikinci bir taşıma zincirinden geçer.
- Bu ikinci zincir proton gradyenti oluşturmaz, dolayısıyla ATP üretimi gerçekleşmez.
- Elektronlar bu zincirde redoks reaksiyonlarıyla ilerler.





NADPH'nin Oluşumu

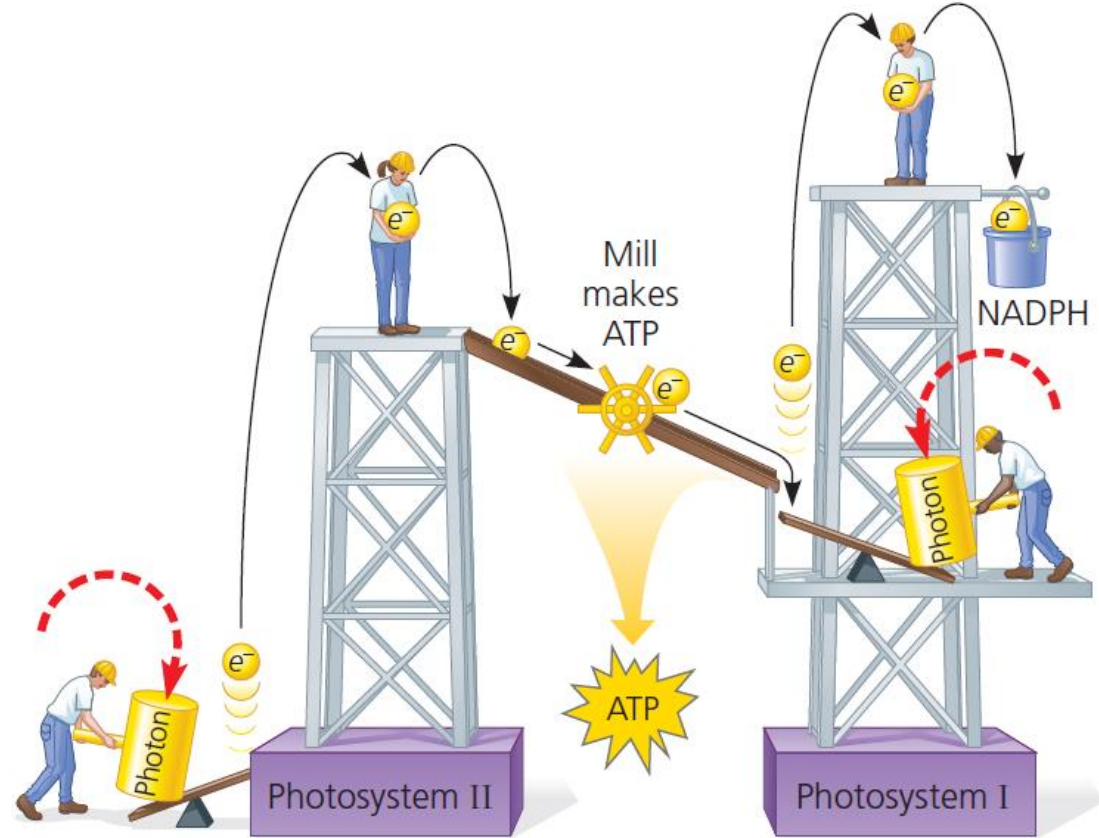
- Enzim NADP^+ redüktaz, Fd'den NADP^+ 'a iki elektron aktarır ve NADPH oluşur.
- NADPH, Calvin döngüsündeki indirgenme reaksiyonları için gerekli elektronları sağlar.
- Bu süreç aynı zamanda stromadan bir H^+ iyonunu uzaklaştırır.





Enerji Akışı ve Büyük Resim

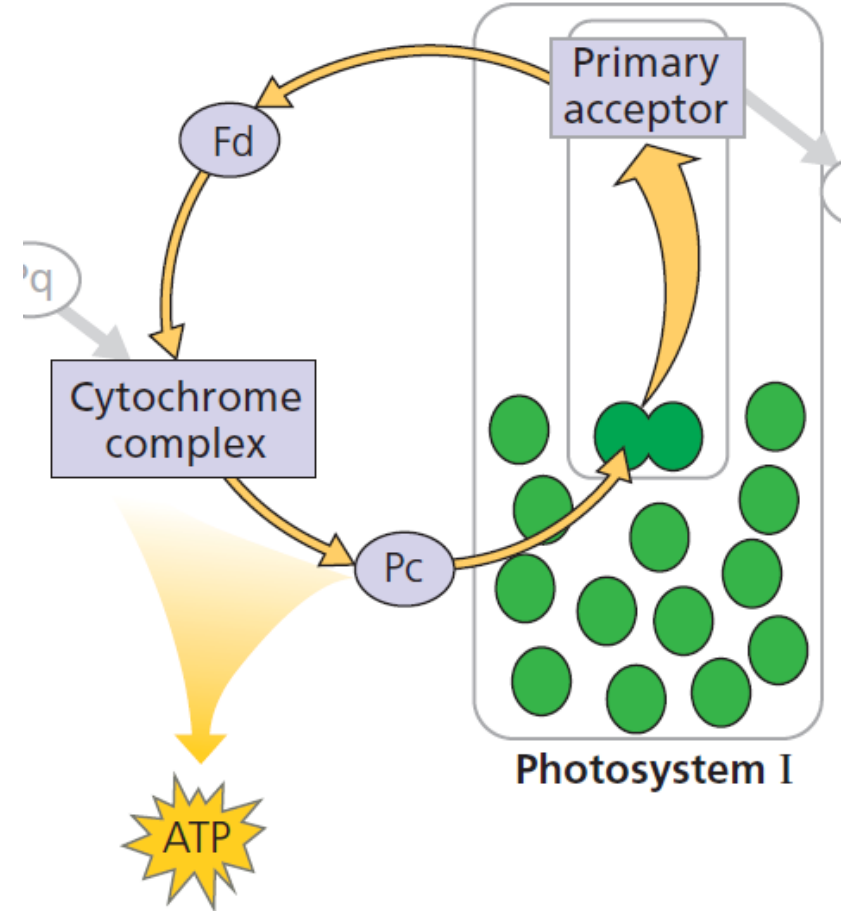
- Elektronların ışık reaksiyonları boyunca geçirdiği enerji değişimleri yanda mekanik bir analogiyle gösterilmiştir.
- Genel olarak, ışık reaksiyonları güneş enerjisini ATP ve NADPH'ye dönüştürerek Calvin döngüsü için gerekli kimyasal enerjiyi sağlar.
- ATP enerji sağlarken, NADPH indirgenme gücünü sunar.
- Bu süreç, fotosentezin karbon fiksasyonu aşaması olan Calvin döngüsünün temelini oluşturur.





Fotosentezde Alternatif Bir Yol: Çevrimsel Elektron Akışı

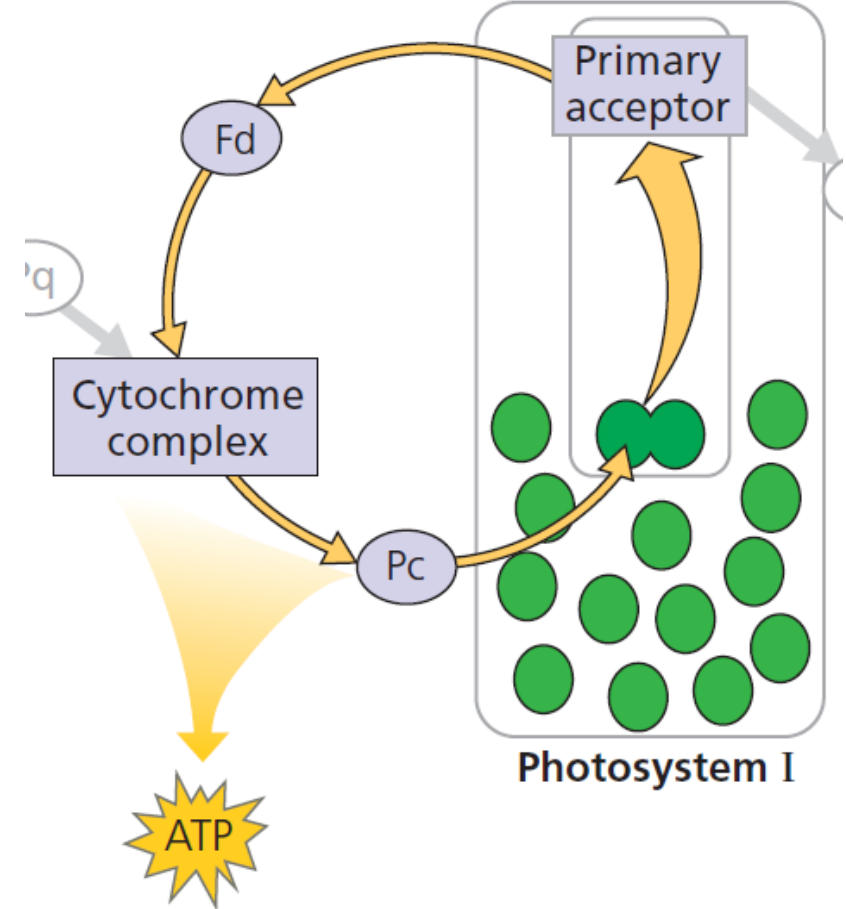
- Bazen, ışıkla uyarılan elektronlar çevrimsel bir yol izleyerek farklı bir akış şekline geçer.
- Bu çevrimsel elektron akışı yalnızca fotosistem I'i kullanır; fotosistem II bu süreçte yer almaz.





Fotosentezde Alternatif Bir Yol: Çevrimsel Elektron Akışı

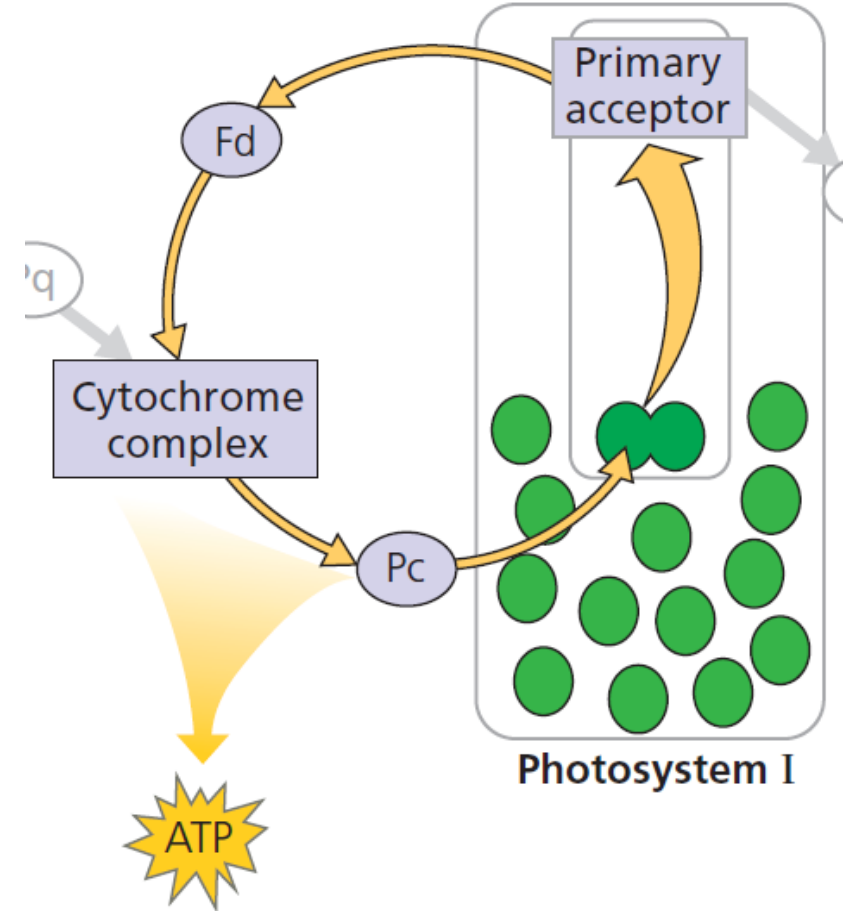
- Yanda görülebileceği üzere, elektronlar ferredoksin (Fd) başlayarak sitokrom kompleksine, ardından plastosiyanin (Pc) aracılığıyla tekrar PS I reaksiyon merkezine döner.
- Bu yolda NADPH üretimi ya da oksijen salımı gerçekleşmez; yalnızca ATP üretimi sağlanır.





ATP Üretiminde Çevrimsel Elektron Akışının Rolü

- Çevrimsel elektron akışı, bazı bakteriler için fotosentez sırasında ATP üretiminin tek yoludur.
- Örneğin mor sülfür bakterileri ve yeşil sülfür bakterileri bu yola sahiptir.
- Bu bakteriler sadece bir fotosistem içerir ve bu fotosistem PS I ya da PS II'ye benzer yapıdadır.
- Evrimsel olarak bu canlılar, fotosentezin ilk evrimleştiği atasal bakterilerin torunları olabilir.





Evrimsel Kalıntı mı, Koruyucu Bir Mekanizma mı?

- Çevrimsel elektron akışı, hem prokaryot hem de ökaryot fotosentetik canlılarda görülebilir.
- Bu süreç, evrimsel bir kalıntı gibi görünse de organizmalar için önemli faydalar sağlayabilir.
- Mutasyon nedeniyle çevrimsel elektron akışı yapamayan bitkiler düşük ışıktaki büyüyebilirken, yoğun ışık altında gelişemez.
- Bu da çevrimsel akışın fotokoruyucu bir rolü olabileceğini düşündürmektedir.



ATP Sentezinin Ortak Mekanizması: Kemiosmoz

- Hem kloroplastlarda hem mitokondrilerde ATP sentezi kemiosmoz mekanizmasıyla gerçekleşir.
- Elektron taşıma zinciri, elektronları taşıyarak protonları bir zar boyunca pompalar.
- Böylece oluşan H^+ gradyanı, ATP sentaz kompleksi aracılığıyla ATP üretiminde kullanılır.
- Bu sistem, redoks enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmenin etkili bir yoludur.





Kloroplastlar ve Mitokondrilerde Elektron Kaynağı

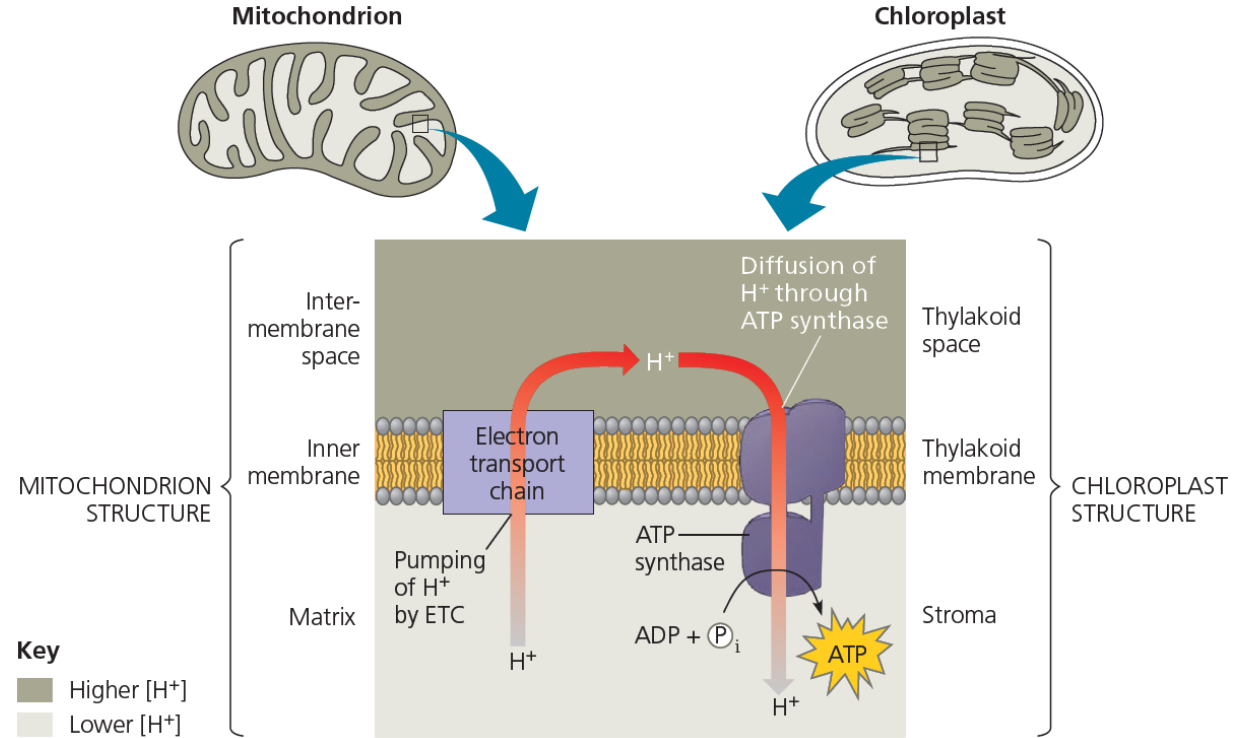
- Mitokondrilerde yüksek enerjili elektronlar organik maddelerden elde edilir (yani besin oksitlenir).
- Kloroplastlarda ise elektronlar sudan alınır ve ışık enerjisiyle taşınır.
- Kloroplastlar ışık enerjisini doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürür.
- Mitokondriler ise besin enerjisini ATP'ye dönüştürür.





Kemiosmozun Yapısal Benzerlikleri ve Farklılıkları

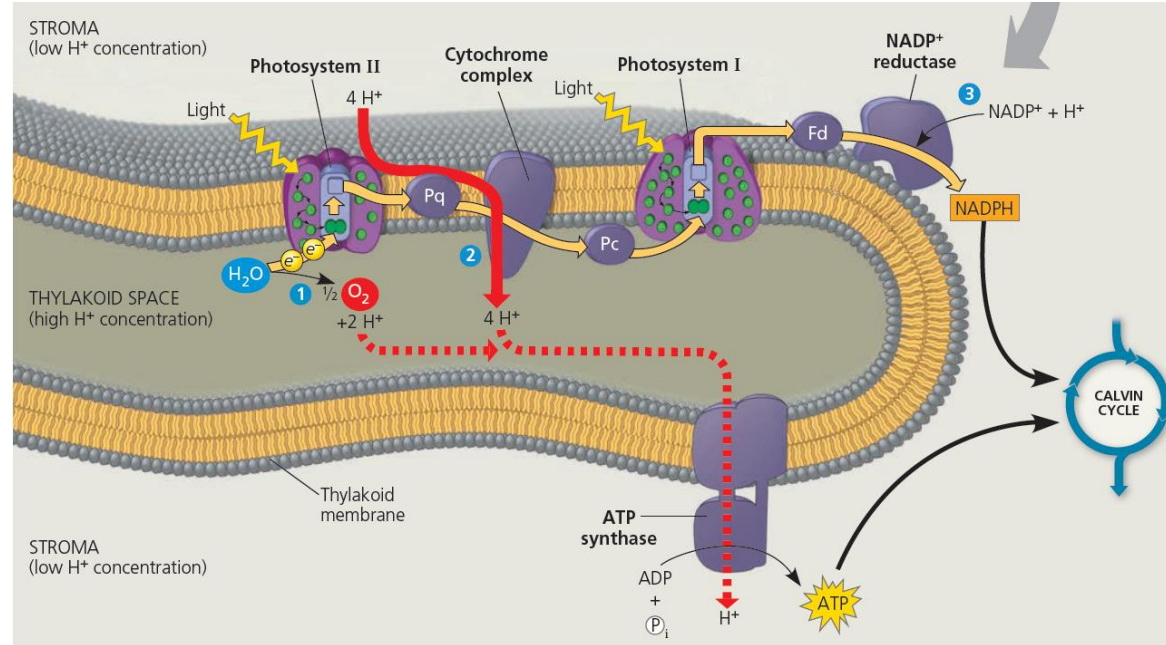
- Mitokondride elektron taşıma zinciri, protonları matriksten intermembran boşluğa pompalar.
- Kloroplastta ise bu pompalama stromadan tilakoit boşluğuna doğrudur.
- Intermembran boşluğu ile tilakoit boşluğu benzer şekilde birer H^+ deposu işlevi görür.
- Mitokondride protonlar bu boşluktan matrikse geçerken, kloroplastta tilakoit boşluktan stromaya geçerek ATP üretimini tetikler.





ATP Sentaz Kompleksi ve Protonların Akışı

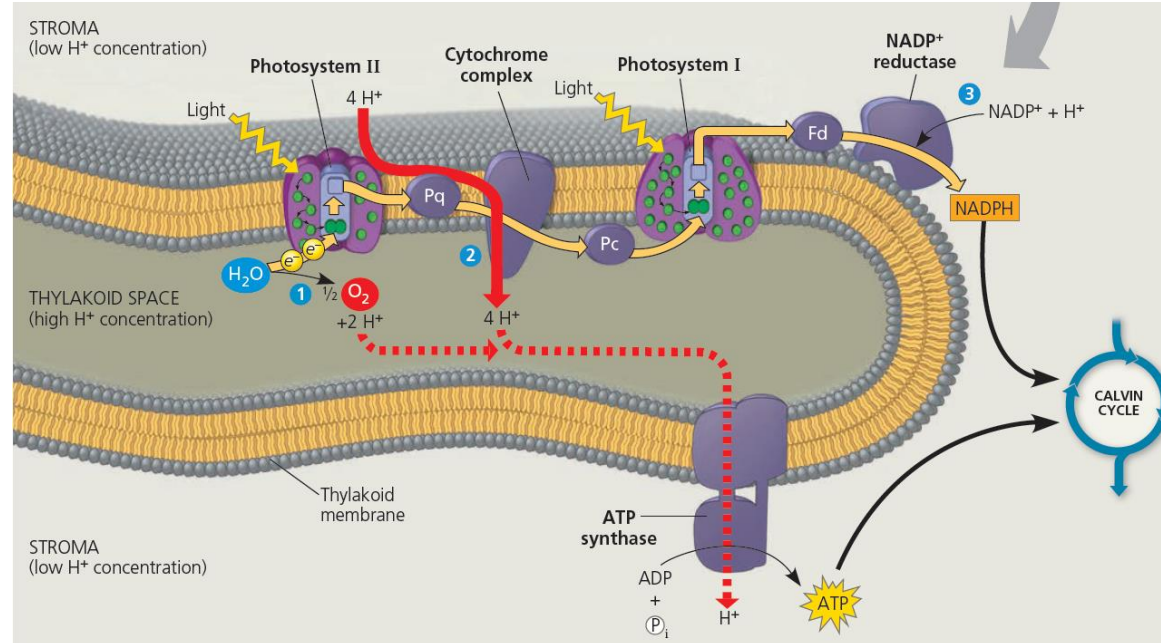
- Her iki organelde de ATP sentaz kompleksi, H^+ iyonlarının gradyanına göre çalışır.
- Mitokondride protonlar intermembran boşluktan matrikse doğru akar.





ATP Sentaz Kompleksi ve Protonların Akışı

- Kloroplastta ise protonlar tilakoit boşluktan stromaya geçer ve bu geçiş sırasında ATP oluşur.
- Aşağıda, ATP sentazın stromaya bakan kısmında ATP sentezini detaylı şekilde göstermektedir.





Calvin Döngüsüne Giriş

- Calvin döngüsü, tıpkı sitrik asit döngüsü gibi, bazı maddelerin giriş yaptığı ve diğerlerinin çıktığı bir süreçtir.
- Ancak sitrik asit döngüsü katabolik, Calvin döngüsü ise anabolik bir döngüdür.
- Calvin döngüsü, küçük moleküllerden karbonhidrat sentezleyerek enerji tüketir.
- Karbon döngüye CO₂ formunda girer ve şeker olarak çıkar.





Calvin Döngüsünde Enerji Kullanımı

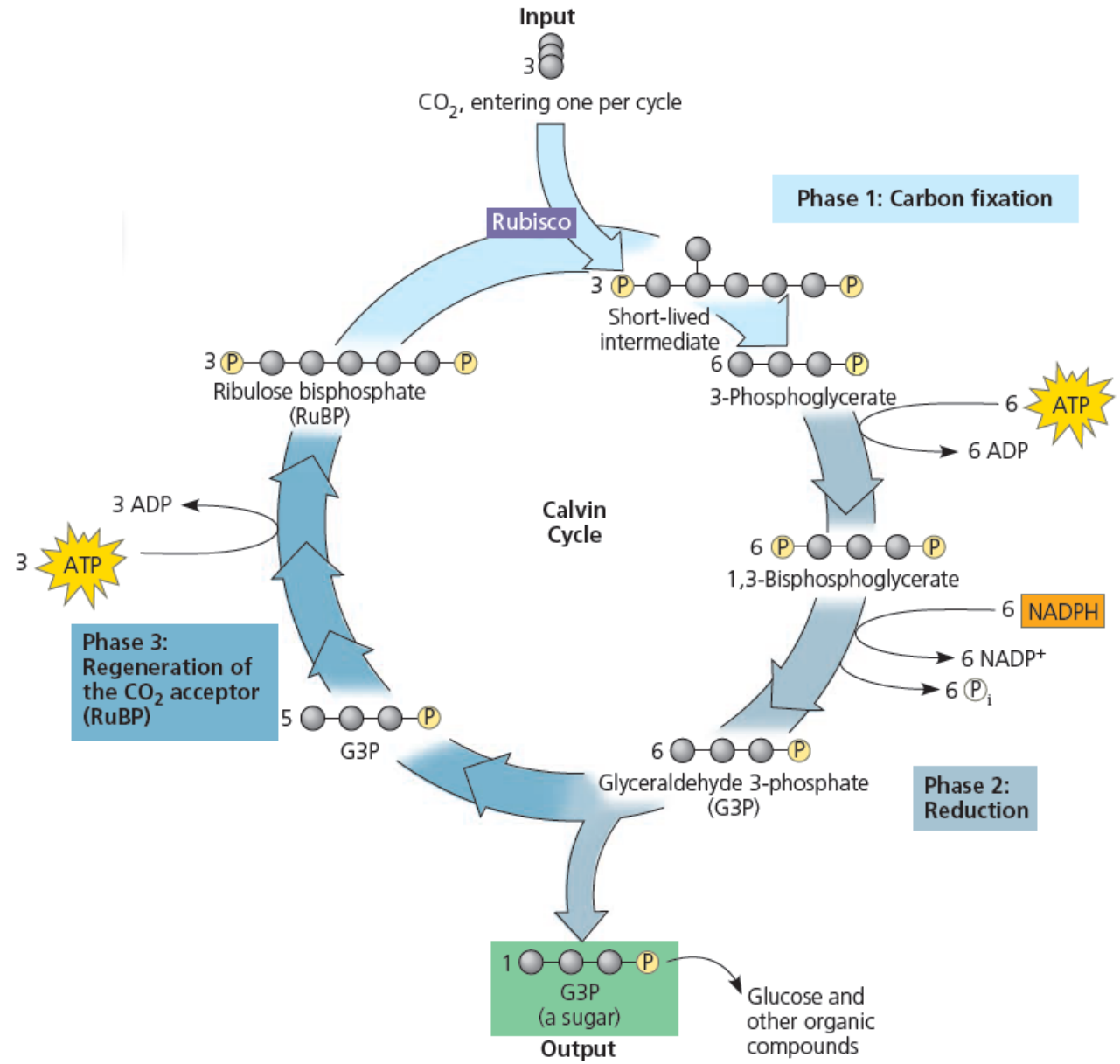
- Döngüde ATP enerji kaynağı olarak harcanır, NADPH ise indirgeme gücü sağlar.
- Calvin döngüsünün doğrudan ürünü glikoz değil, üç karbonlu bir şeker olan G3P'dir.
- Bir G3P molekülünün sentezi için döngünün üç kez dönmesi ve üç CO₂ molekülünün bağlanması gerekir.
- Karbon fiksasyonu, yani CO₂'nin organik moleküllere katılması, sürecin ilk adımıdır.





Calvin Döngüsünün Üç Aşaması

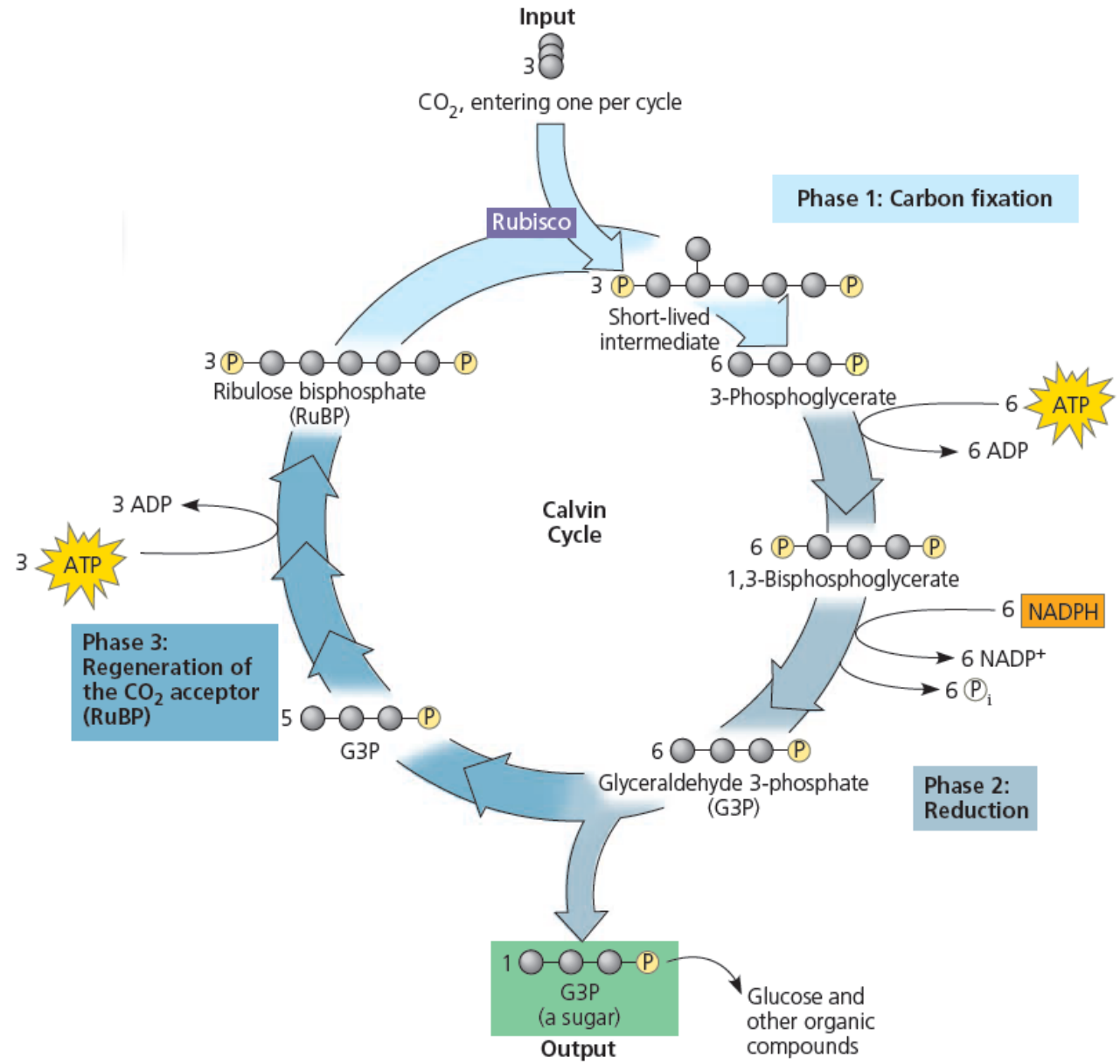
- Calvin döngüsü üç temel aşamadan oluşur: karbon fiksasyonu, indirgenme ve CO_2 alıcısının yeniden oluşumu.
- Her aşamada farklı enzimler ve enerji taşıyıcı moleküller görev alır.





Aşama 1: Karbon Fiksasyonu

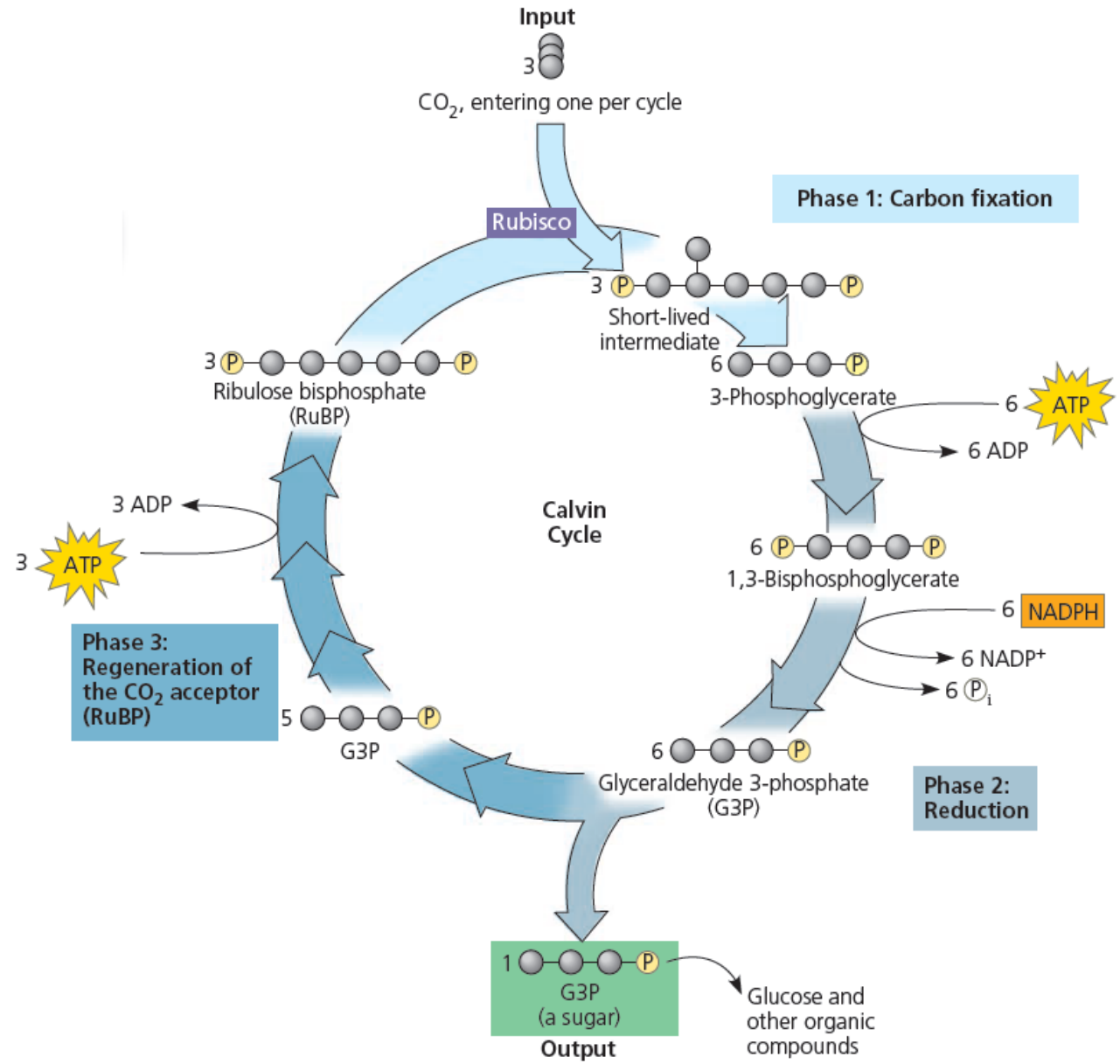
- Her bir CO₂ molekülü, beş karbonlu RuBP ile birleşerek döngüye katılır.
- Bu ilk reaksiyon, rubisco enzimi tarafından katalizlenir.
- Oluşan altı karbonlu ara ürün kararsızdır ve hemen iki 3-fosfogliserat molekülüne ayrılır.
- Bu işlem, her CO₂ için iki yeni üç karbonlu ürün oluşturur.





Aşama 2: İndirgenme

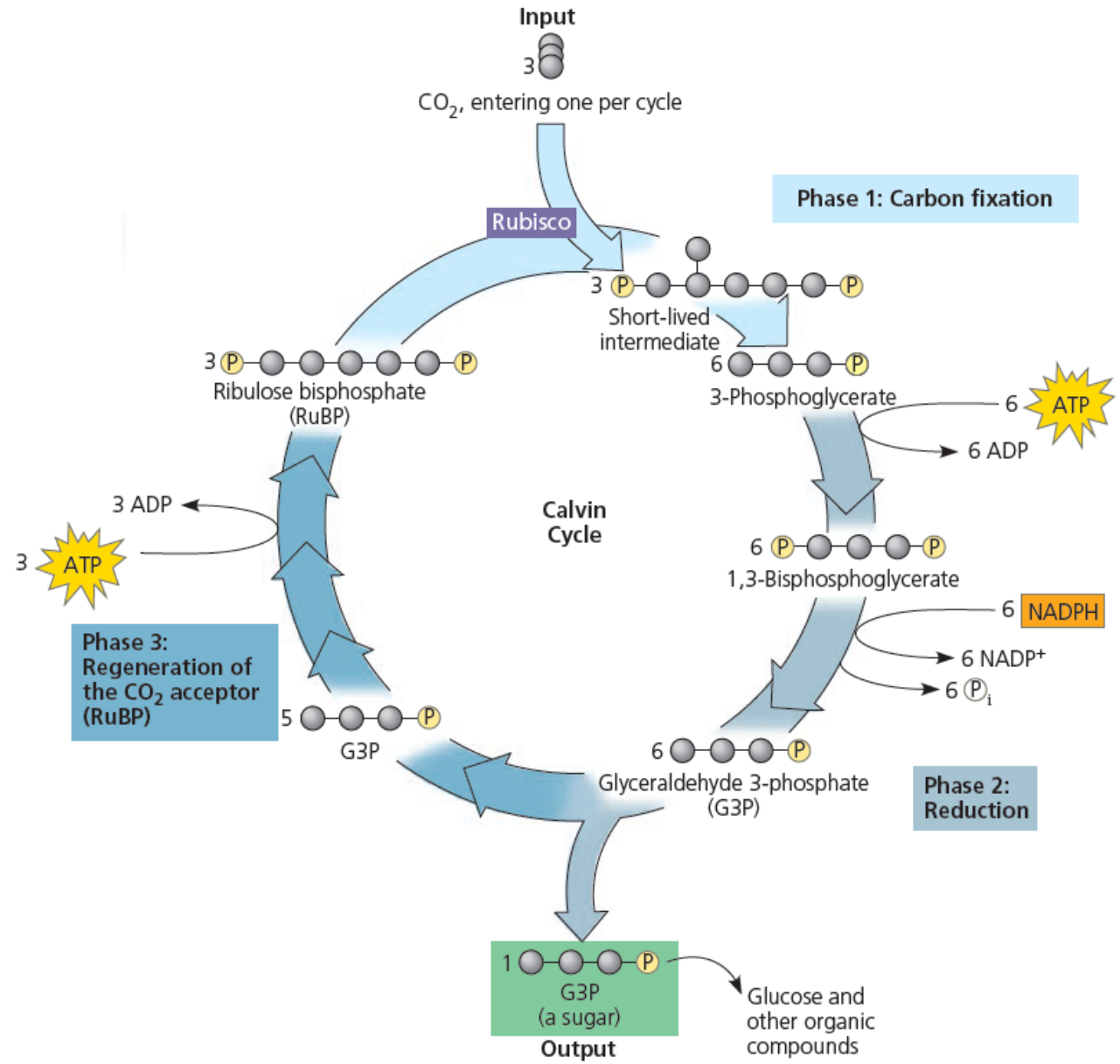
- Her 3-fosfogliserat molekülü, ATP'den bir fosfat alarak 1,3-bisfosfogliserata dönüşür.
- Daha sonra NADPH'tan gelen elektronlarla indirgenerek G3P'ye dönüşür.
- G3P, glikolizde de oluşan üç karbonlu bir şekerdir ve yüksek enerji içerir.
- Yanda da görüldüğü üzere, her üç CO₂ için altı G3P üretilir; bunlardan sadece biri döngü dışına çıkar.





G3P'nin Net Kazancı ve Karbon Dengesi

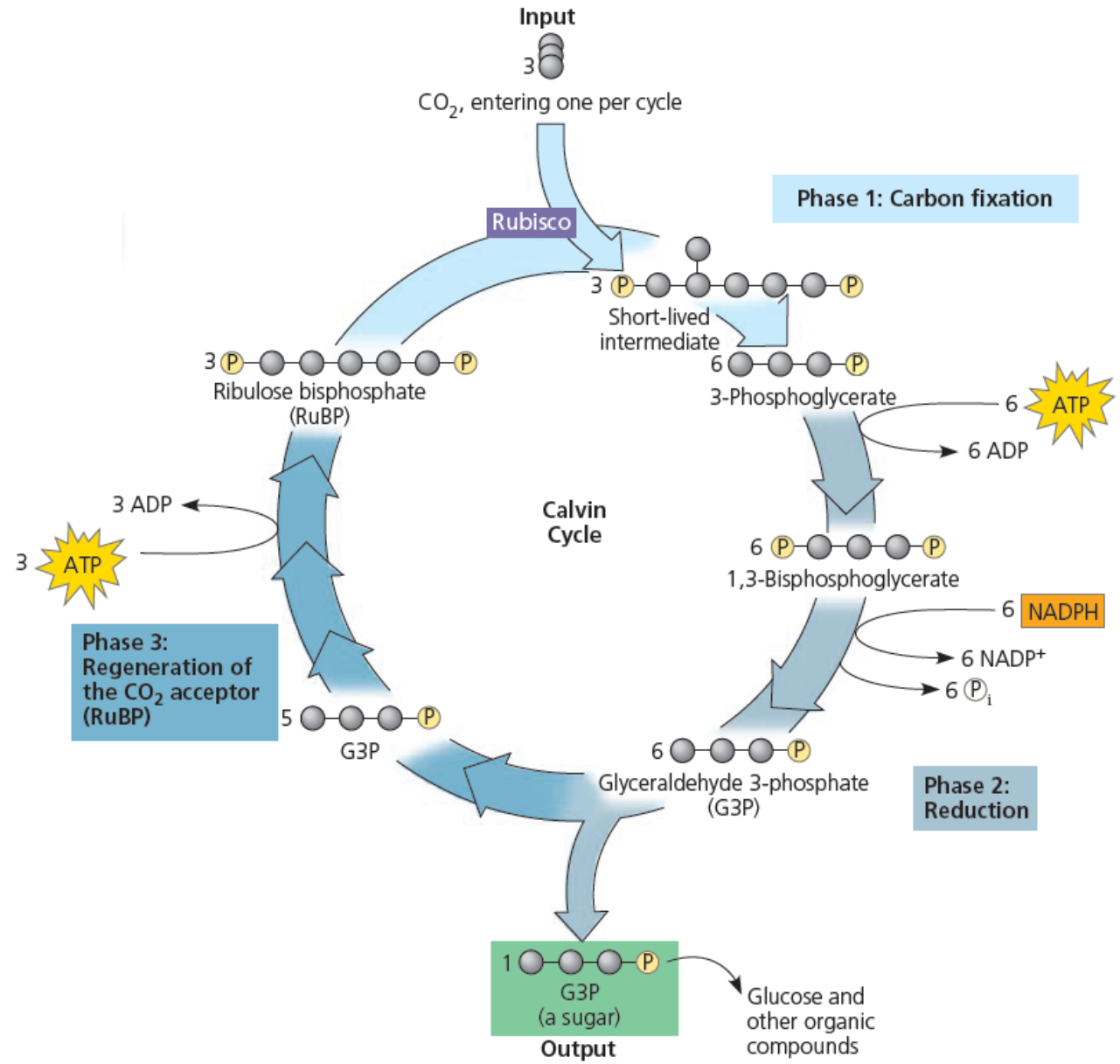
- Döngü başında üç RuBP molekülünde toplam 15 karbon bulunur.
- Üretilen altı G3P molekülünde ise toplam 18 karbon yer alır.
- Bu G3P'lerin sadece biri döngüden çıkarak bitki hücresi tarafından kullanılır.
- Geri kalan beş G3P, RuBP'nin yeniden sentezi için kullanılır.





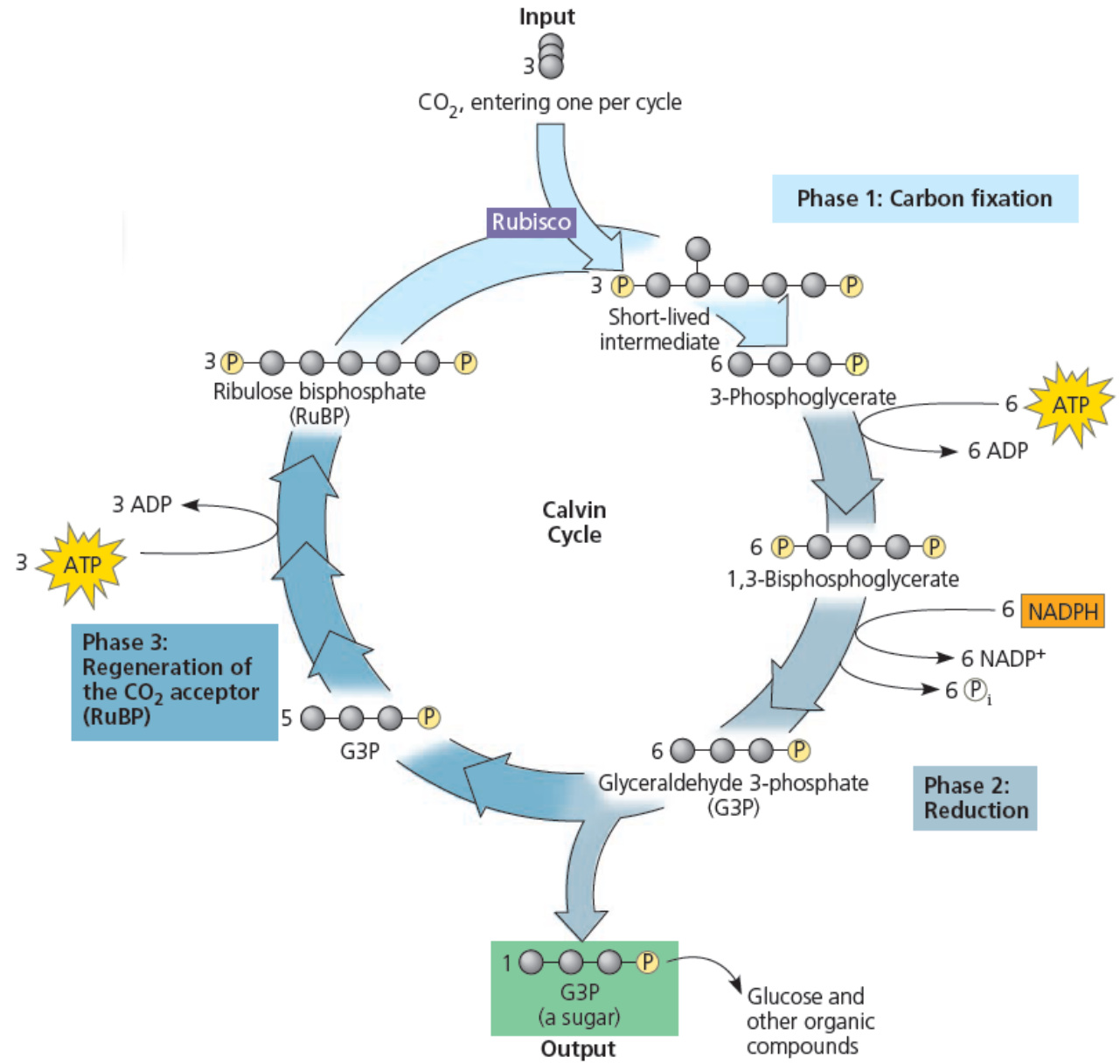
Aşama 3: CO₂ Alıcısının Yeniden Oluşumu

- Beş G3P molekülünün karbon iskeletleri yeniden düzenlenerek üç RuBP molekülü oluşturulur.
- Bu işlem için üç ATP molekülü daha harcanır.
- Böylece RuBP tekrar CO₂ alacak şekilde hazır hale gelir ve döngü devam eder.
- Bu aşama, Calvin döngüsünün sürekliliği için kritik önemdedir.



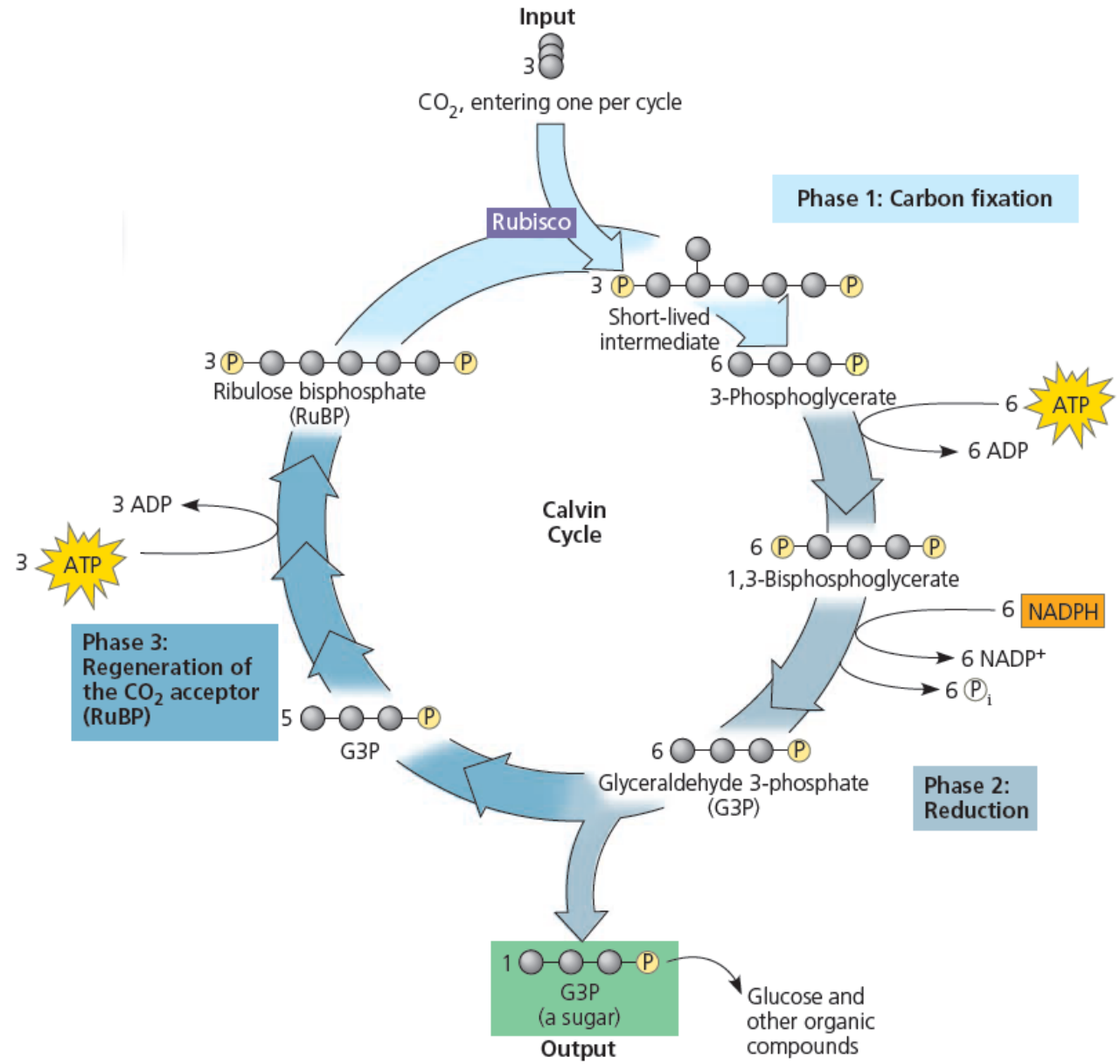
Calvin Döngüsünde Enerji Maliyeti

- Bir G3P molekülünün net üretimi için toplam dokuz ATP ve altı NADPH kullanılır.
- Bu enerji taşıyıcıları ışık reaksiyonları tarafından yenilenir.
- Calvin döngüsü ve ışık reaksiyonları birlikte çalışarak fotosentezi mümkün kılar.
- Bu bütünlük, sadece kloroplastın tam yapısıyla ortaya çıkan bir özellik olarak tanımlanır.



Calvin Döngüsünden Şeker Üretimi

- Calvin döngüsünden çıkan G3P, diğer organik bileşiklerin sentezinde başlangıç maddesi olarak kullanılır.
- İki G3P molekülünden bir glikoz molekülü sentezlenebilir.
- G3P aynı zamanda sükroz gibi disakkaritlerin ve diğer karbonhidratların üretiminde de rol oynar.
- CO₂'den şeker üretimi, ışık reaksiyonları ve Calvin döngüsünün bütüncül işleyişine bağlıdır.





Karasal Yaşamın Zorluğu: Dehidrasyon Problemi

- Bitkiler yaklaşık 475 milyon yıl önce karaya geçtiklerinden beri susuz kalma sorununa karşı çeşitli uyumlar geliştirmiştir.
- Bu kısımda, bitkilerin metabolik düzeyde su kaybını azaltmaya yönelik geliştirdiği stratejilere odaklanacağız.
- Fotosentez ile su kaybı arasında denge kurmak bitkiler için temel bir zorluktur.
- Stomalardan giren CO₂ fotosentez için gereklidir, ancak aynı zamanda suyun buharlaşarak kaybedildiği ana yoldur.





Stomaların Rolü ve Kuraklıkla Mücadele

- Sıcak ve kuru günlerde çoğu bitki su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kapatır.
- Ancak bu durum, yaprak içindeki CO₂ miktarını düşürerek fotosentezi olumsuz etkiler.
- Aynı anda, ışık reaksiyonları sonucu açığa çıkan O₂ konsantrasyonu artar.
- Bu ortam, bitkilerde "fotorespirasyon" adı verilen verimsiz bir süreci teşvik eder.





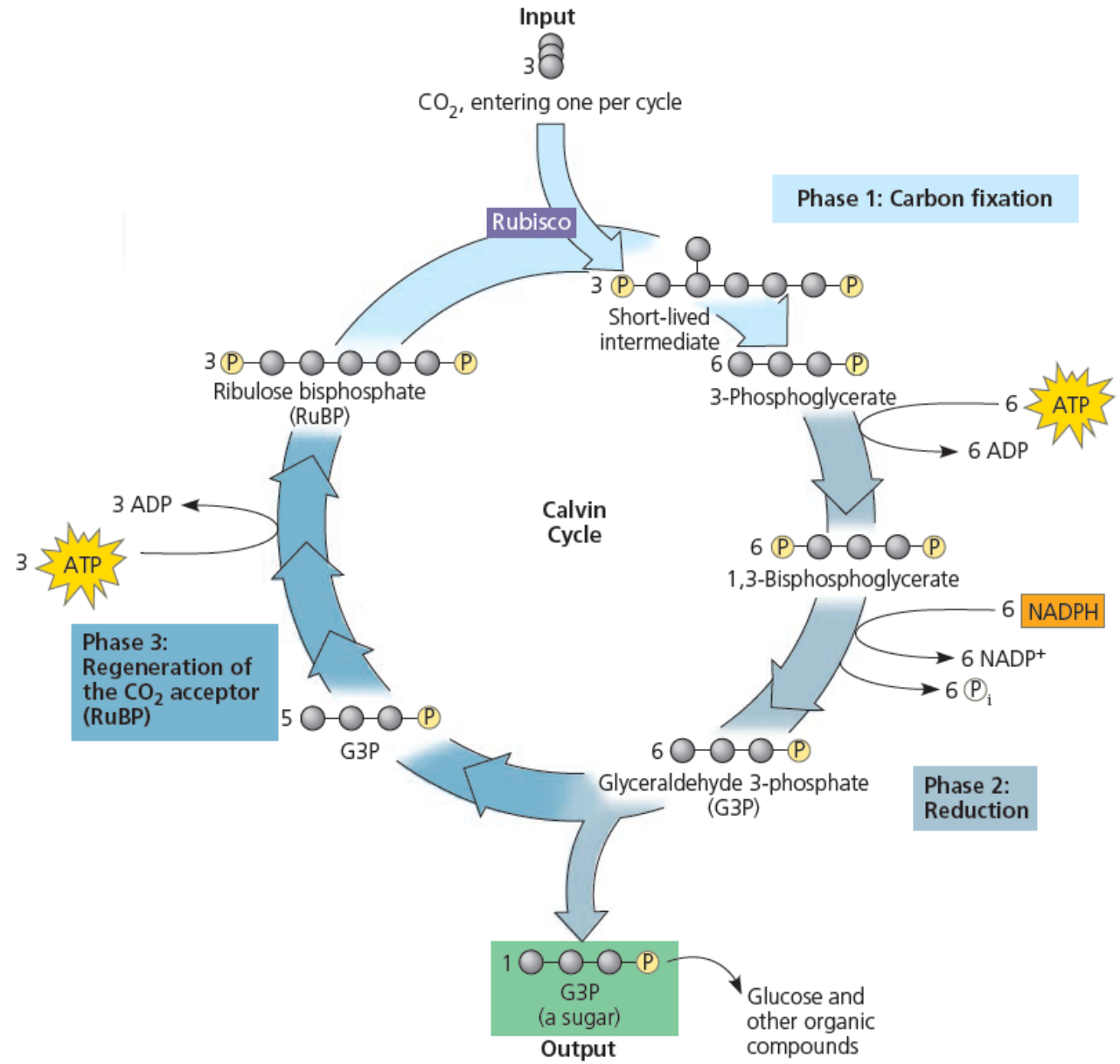
Fotorespirasyon Nedir?

- Fotorespirasyon, ışık altında gerçekleşen ve O_2 tüketip CO_2 salan bir metabolik süreçtir.
- Bu süreçte, rubisco enzimi CO_2 yerine O_2 'yi bağlayarak Calvin döngüsünü sekteye uğratır.
- Fotorespirasyon ATP harcar, şeker üretmez ve fotosentetik verimliliği düşürür.
- Bu yönüyle, enerjiyi tüketip net bir kazanım sağlamaması bakımından "hamster çarkında koşmak" gibi tanımlanır.



Rubisco ve C3 Bitkilerinde Sorunlar

- Rubisco enzimi, normalde CO₂'yi ribuloz bifosfata bağlayarak 3-karbonlu 3-fosfogliserat oluşturur.
- Bu şekilde karbonu sabitleyen bitkiler "C3 bitkileri" olarak adlandırılır.
- Pirinç, buğday ve soya fasulyesi gibi tarımda önemli birçok bitki bu gruba girer.
- Sıcak ve kurak koşullarda stomalar kapandığında, bu bitkilerde şeker üretimi düşer.





Fotorespirasyonun Evrimsel Kökeni

- Fotorespirasyon, günümüzde verimsiz görünse de evrimsel geçmişin bir kalıntısı olabilir.
- Rubisco enzimi, atmosferde CO₂'nin fazla, O₂'nin ise az olduğu bir dönemde evrimleşmiştir.
- O dönemde O₂'ye bağlanma eğilimi sorun yaratmazken, günümüzde atmosferdeki yüksek O₂ seviyesi bunu dezavantaja dönüştürmüştür.
- Yani, rubisco'nun O₂'ye olan ilgisi geçmişten kalan bir "metabolik yük" olabilir.





Fotorespirasyonun Olası Koruyucu Rolü

- Bazı araştırmalar, fotorespirasyonun ışık reaksiyonları sonucu oluşan zararlı yan ürünleri temizlemeye yardımcı olabileceğini göstermektedir.
- Calvin döngüsünün yavaşladığı düşük CO₂ koşullarında, bu koruyucu etki daha belirgin hale gelir.
- Yani, her ne kadar verimsiz olsa da, fotorespirasyonun bazı koruyucu işlevleri olabilir.
- Ancak bu etki, verim kaybını telafi edecek düzeyde değildir.





Verim Kaybı ve Alternatif Karbon Fiksasyonu Yolları

- Fotorespirasyon, bazı bitkilerde Calvin döngüsüyle sabitlenen karbonun %50'sine kadarını kaybettirebilir.
- Bu durum, özellikle tarımsal verim açısından büyük bir kayıptır.
- Bu nedenle, fotorespirasyonu azaltan alternatif karbon sabitleme mekanizmaları evrimleşmiştir.
- Bu adaptasyonlar, özellikle sıcak ve kuru iklimlerde fotosentezin verimini artırmak için önemlidir.





C4 ve CAM Fotosentezi: Çözüm Arayışları

- Fotorespirasyonu en aza indiren iki önemli adaptasyon C4 fotosentezi ve CAM (Crassulacean Acid Metabolism) yoludur.
- Bu mekanizmalar, Calvin döngüsünün daha verimli çalışmasını sağlar.
- Özellikle sıcak, kuru iklimlerde yaşayan bitkilerde bu yöntemler yaygındır.
- Bu adaptasyonlar sayesinde bitkiler, CO₂ kaybını en aza indirip şeker üretimini sürdürebilirler.





C4 Bitkilerine Giriş

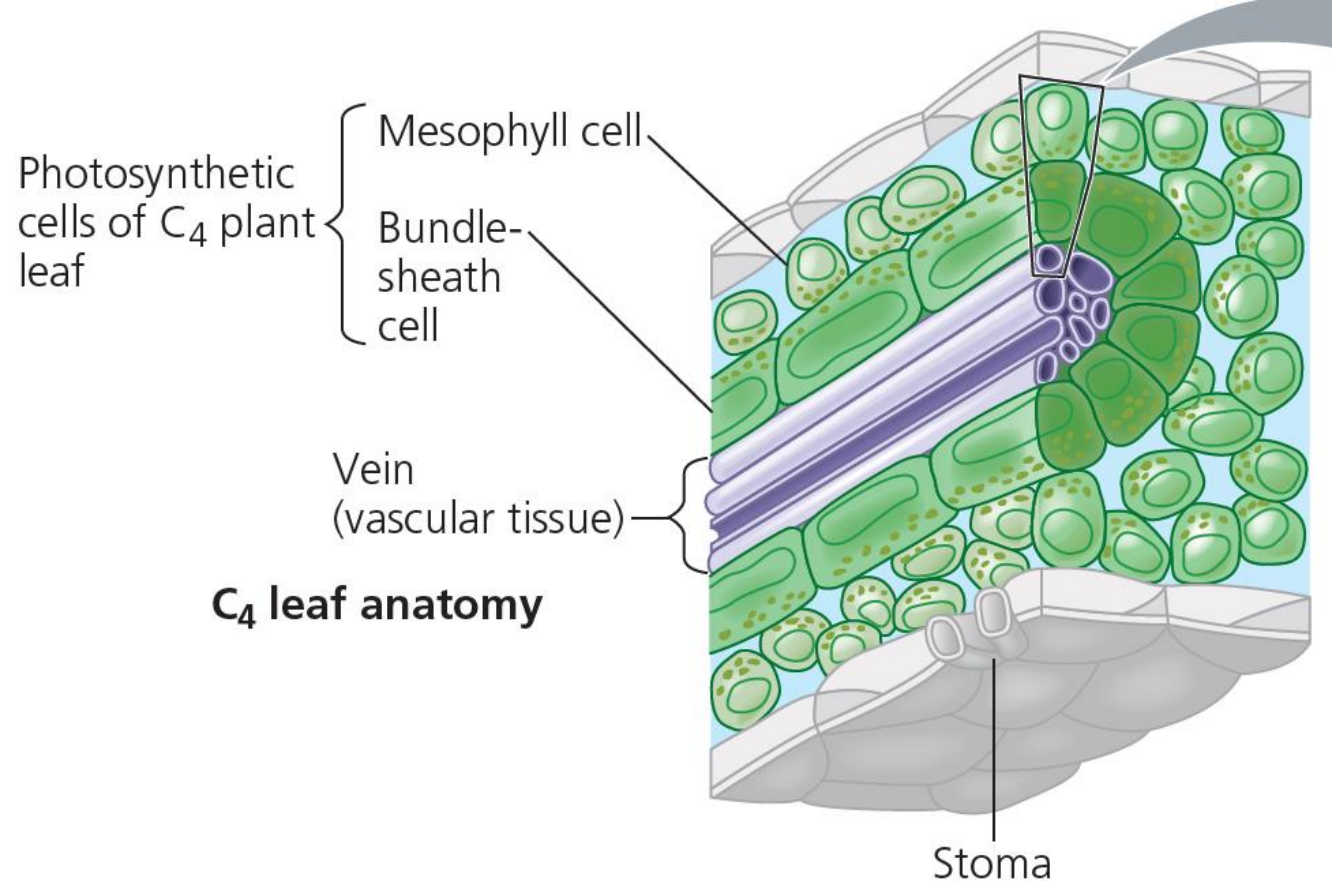
- C4 bitkileri, Calvin döngüsünden önce gerçekleşen farklı bir karbon fiksasyonu mekanizmasıyla adlandırılır.
- Bu süreçte ilk ürün olarak dört karbonlu bir bileşik oluşur.
- C4 yolu, en az 45 farklı evrimsel hatta bağımsız olarak ortaya çıkmıştır.
- Şeker kamışı ve mısır gibi birçok tarımsal önemi olan bitki C4 fotosentezi yapar.





C4 Yaprak Anatomisi

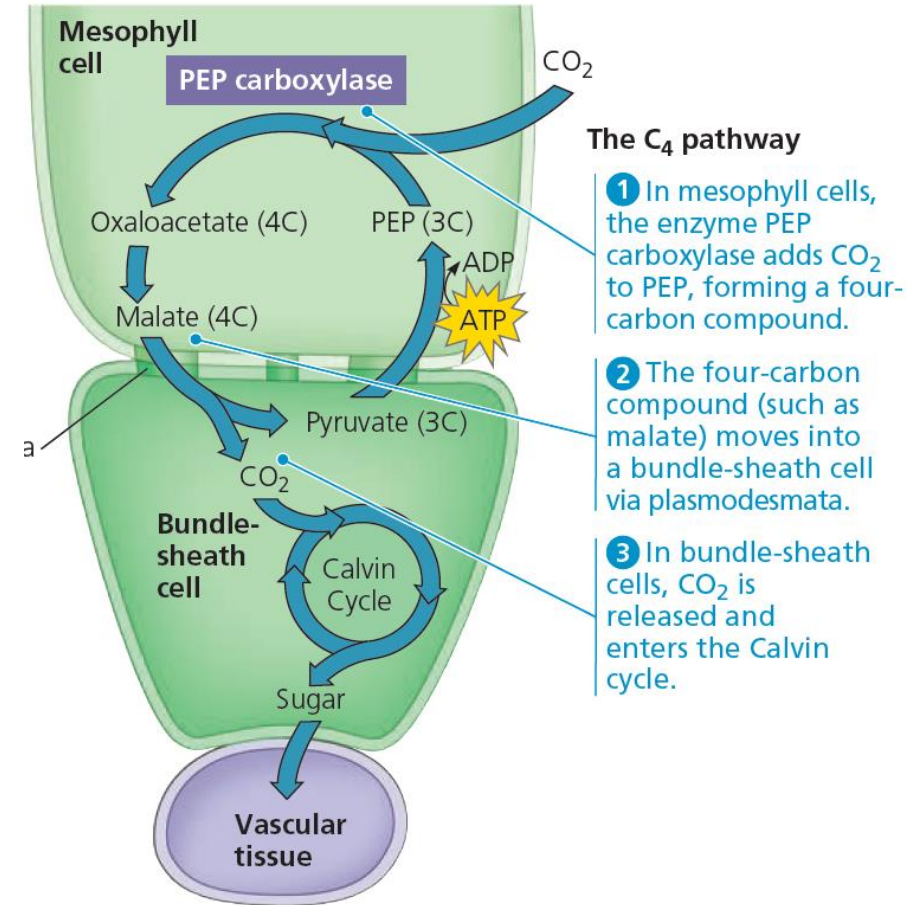
- *C4 bitkilerinin yapraklarında iki farklı fotosentetik hücre tipi bulunur:* demet kını (bundle-sheath) hücreleri ve mezofil hücreleri.
- Demet kını hücreleri, yaprak damarlarının çevresinde sıkı şekilde dizilmiştir.
- Mezofil hücreleri ise yaprak yüzeyine daha yakındır ve gevşek yapılıdır.
- C4 bitkilerinin yapraklarında, mezofil hücreleri demet kını hücrelerine en fazla 2-3 hücre uzaklıktadır.





Calvin Döngüsünün Yeri ve Başlangıç Aşaması

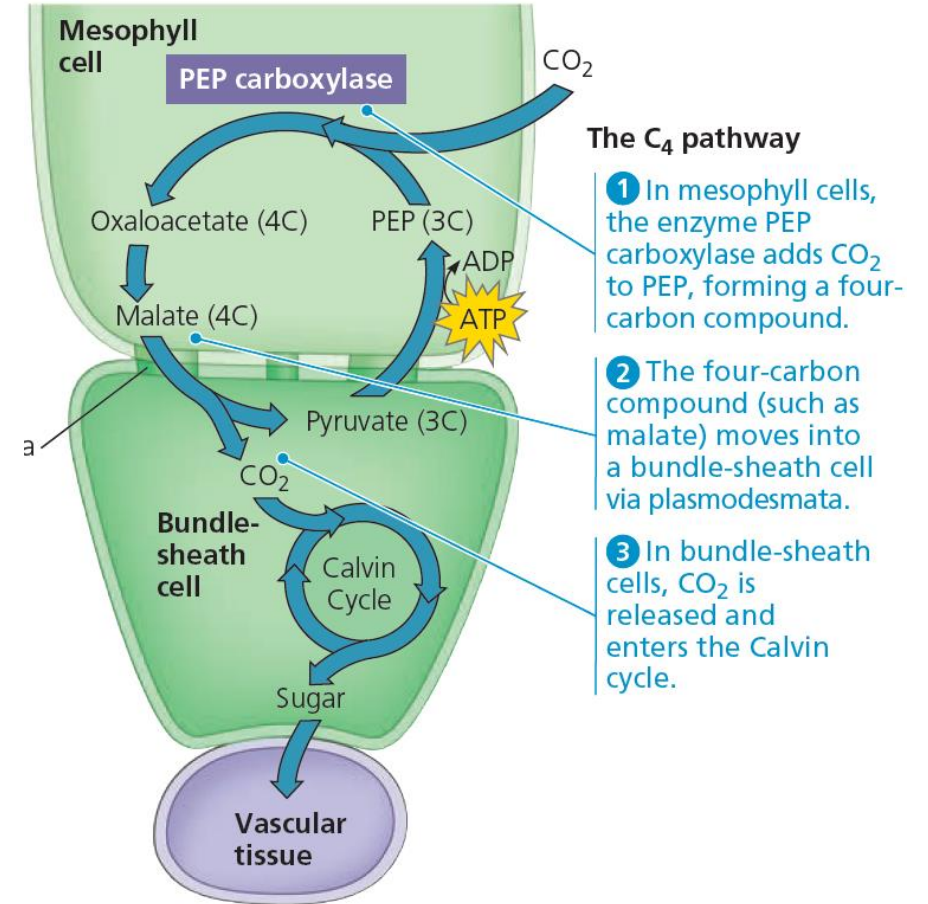
- Calvin döngüsü yalnızca demet kını hücrelerinin kloroplastlarında gerçekleşir.
- CO₂'nin organik bileşiklere katılması ise mezofil hücrelerinde başlar.
- İlk aşamada yalnızca mezofil hücrelerinde bulunan PEP karboksilaz enzimi görev alır.
- Bu enzim, CO₂'yi fosfoenolpirüvata (PEP) bağlayarak oksaloasetat üretir.





PEP Karboksilazın Rolü

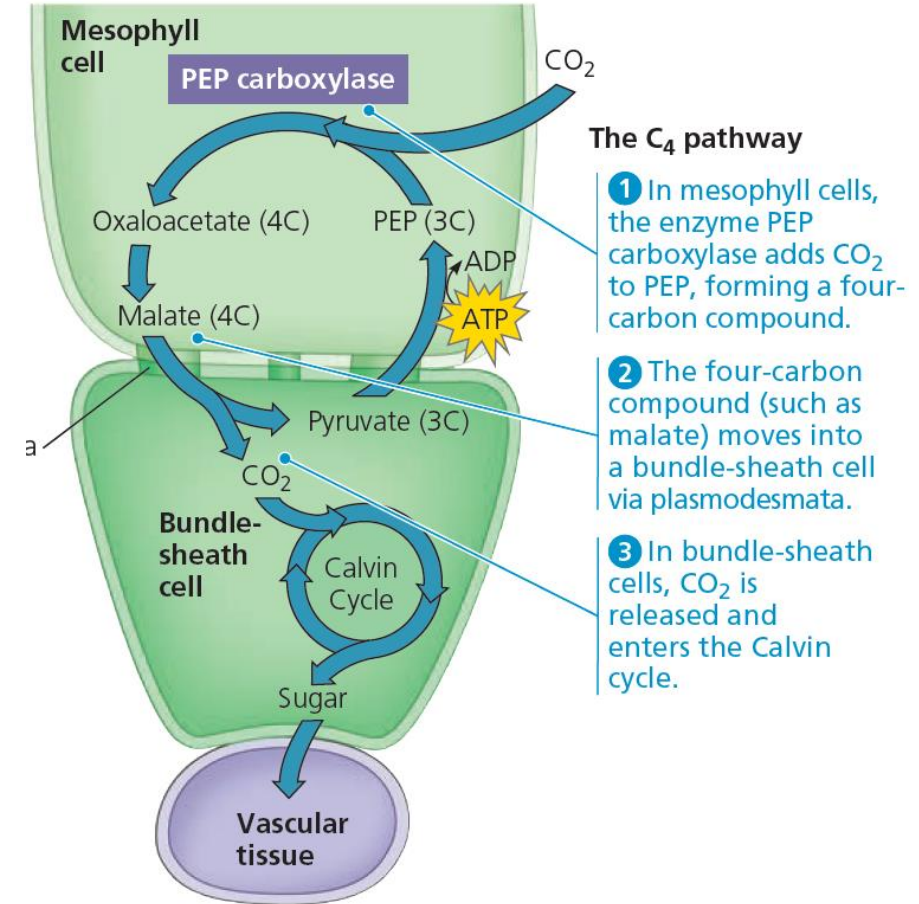
- PEP karboksilazın CO_2 'ye olan ilgisi rubisco'ya kıyasla çok daha fazladır.
- O_2 'ye karşı hiçbir ilgisi olmadığından sıcak ve kuru ortamlarda da etkin çalışabilir.
- Bu koşullarda rubisco'nun verimi düşerken, PEP karboksilaz karbon fiksasyonunu sürdürebilir.
- Bu özellik, C_4 bitkilerinin verimliliğini artıran önemli bir adaptasyondur.





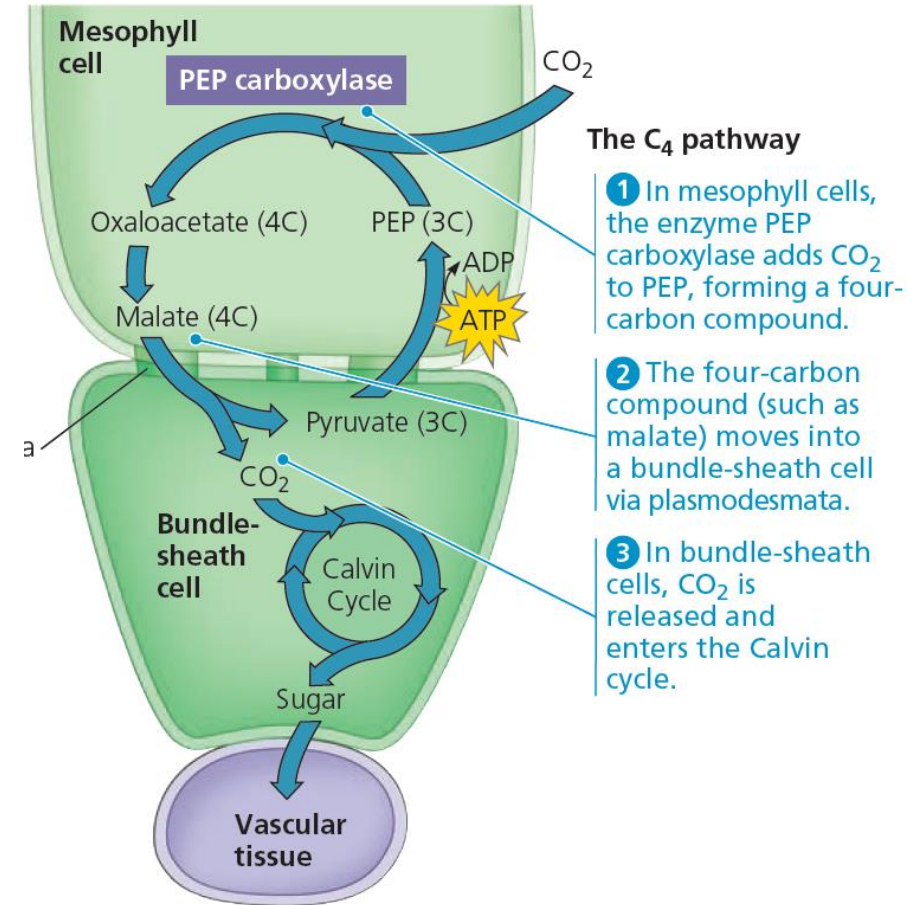
Dört Karbonlu Ürünlerin Taşınması

- Mezofil hücrelerinde sabitlenen CO_2 , malat gibi dört karbonlu bileşikler hâlinde aktarılır.
- Bu ürünler plazmodezmalar yoluyla demet kını hücrelerine taşınır.
- Böylece sabitlenen karbon Calvin döngüsü için uygun forma ulaşır.
- Hücreler arası bu özel aktarım C_4 yolunun merkezindedir.



CO₂'nin Serbest Bırakılması ve Döngünün Devamı

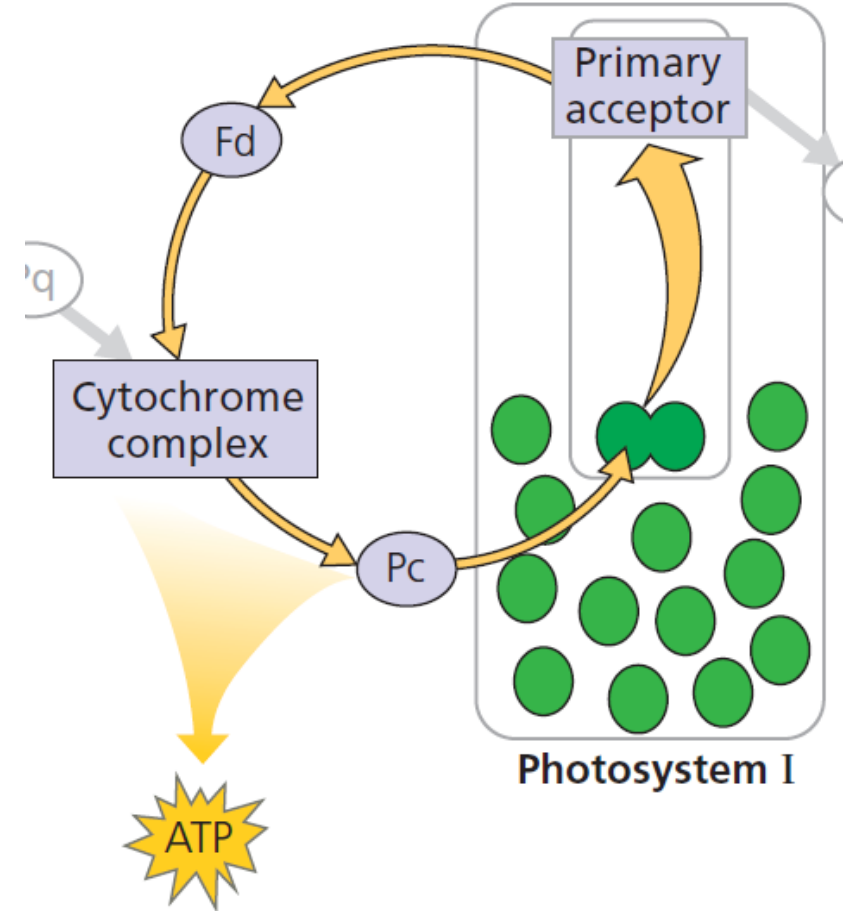
- Demet kını hücrelerinde, dört karbonlu bileşikler CO₂'yi serbest bırakır.
- Bu CO₂, rubisco tarafından yeniden sabitlenerek Calvin döngüsüne girer.
- Aynı reaksiyonla oluşan pirüvat, tekrar mezofil hücrelerine taşınır.
- ATP harcanarak pirüvat yeniden PEP'e dönüştürülür ve döngü devam eder.





ATP Kullanımı ve Fotosentetik Özellikler

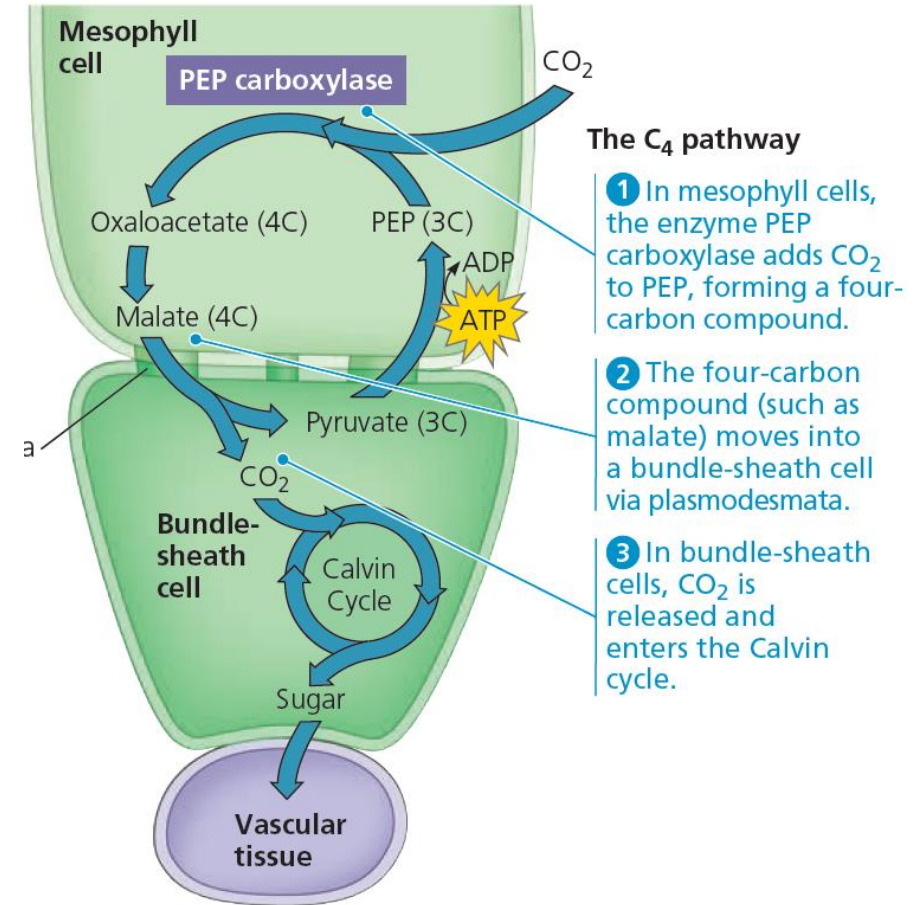
- PEP'in yeniden oluşumu için ATP harcanması gerekir.
- Bu ATP, demet kını hücrelerinde sadece çevrimsel elektron akışıyla üretilir.
- Bu hücrelerde PS I bulunur, fakat PS II yoktur.
- Bu nedenle ATP üretimi, yalnızca çevrimsel elektron akışıyla sağlanır.





CO₂ Konsantrasyonunun Artırılması

- Mezofil hücreleri, CO₂'yi demet kını hücrelerine adeta pompalar.
- Böylece CO₂ seviyesi yüksek tutulur ve rubisco, CO₂ yerine O₂ bağlamaz.
- PEP karboksilaz ve PEP'in yenilenmesini içeren döngü, ATP harcayan bir CO₂ konsantrasyon sistemidir.
- Bu sistem, fotorespirasyonu azaltır ve şeker üretimini artırır.





C4 Bitkilerinin Adaptif Avantajları

- C4 fotosentezi, sıcak ve güneşli bölgelerde büyük avantaj sağlar.
- Bu ortam koşullarında stomalar gün içinde kısmen kapanır.
- Rubisco'nun verimsizleştiği bu durumlarda C4 mekanizması devreye girer.
- Bu nedenle C4 bitkileri bu gibi ortamlarda başarılı şekilde evrimleşmiş ve yayılmıştır.





Küresel İklim Değişikliği ve C4 Bitkileri

- Sanayi Devrimi'nden bu yana atmosferdeki CO₂ oranı hızla artmıştır.
- Küresel ısınma, bitki türlerinin dağılımını da etkilemektedir.
- Artan CO₂ ve sıcaklık, C3 ve C4 bitkilerini farklı şekillerde etkileyebilir.
- Bu durum, bitki topluluklarının dengelerini değiştirebilir.





C3 ve C4 Bitkilerinin Geleceđi

- C3 bitkilerinde O_2 'nin rubisco tarafından bağlanması fotorespirasyona yol açar.
- Yükselen CO_2 , bu olumsuzluğu azaltarak C3 bitkilerine avantaj sağlar.
- Ancak yükselen sıcaklıklar, fotorespirasyonu artırarak bu avantajı dengeleyebilir.
- C4 bitkileri ise CO_2 ve sıcaklık artışından daha az etkilenebilir.





Kuraklığa Uyum: CAM Bitkileri

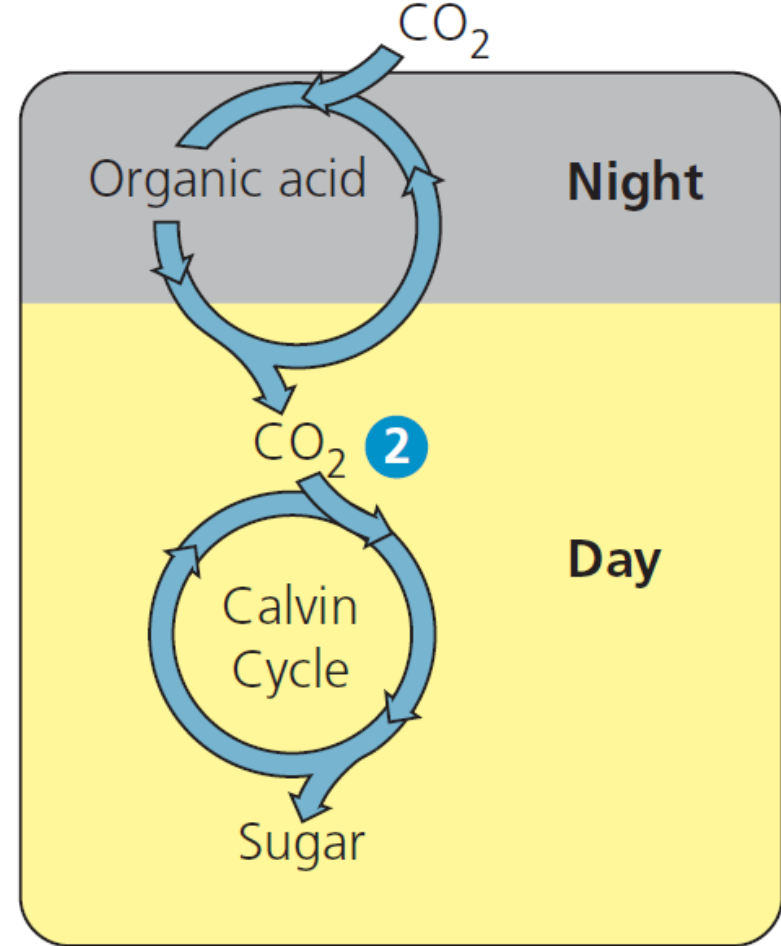
- Bazı sukulent bitkiler, kaktüsler ve ananas gibi türler CAM adı verilen özel bir fotosentez türü geliştirmiştir.
- Bu bitkiler, gözeneklerini gece açar ve gündüz kapatarak su kaybını en aza indirir.
- Geceleri alınan CO_2 , çeşitli organik asitlere dönüştürülerek vakuollerde depolanır.
- Bu adaptasyon, ilk olarak Crassulaceae ailesinde gözlenmiş ve "crassulacean acid metabolism" adını almıştır.





CAM Mekanizmasında Gündüz ve Gece Ayrımı

- CAM bitkileri geceleri CO_2 toplar ve organik asitlere dönüştürür.
- Gündüzleri, ışık reaksiyonlarının ürettiği ATP ve NADPH kullanılarak bu asitlerden CO_2 salınır.
- Salınan CO_2 , kloroplastlarda Calvin döngüsüne girerek şekere dönüştürülür.
- Bu mekanizma, kurak ortamlarda fotosentez yapmayı mümkün kılar.





CAM ve C4 Bitkileri Arasındaki Farklar

- Yanda gösterildiği gibi CAM ve C4 yolları, CO₂'nin önce organik ara bileşiklere bağlanması bakımından benzerdir.
- C4 bitkilerinde bu işlem mekânsal olarak ayrı hücrelerde gerçekleşirken, CAM bitkilerinde aynı hücrede fakat farklı zamanlarda olur.
- Her iki yol da sonunda Calvin döngüsüne bağlanır ve şeker sentezine katkı sağlar.
- CAM, C4 ve C3 bitkilerinin hepsi, şeker üretiminde ortak olarak Calvin döngüsünü kullanır.



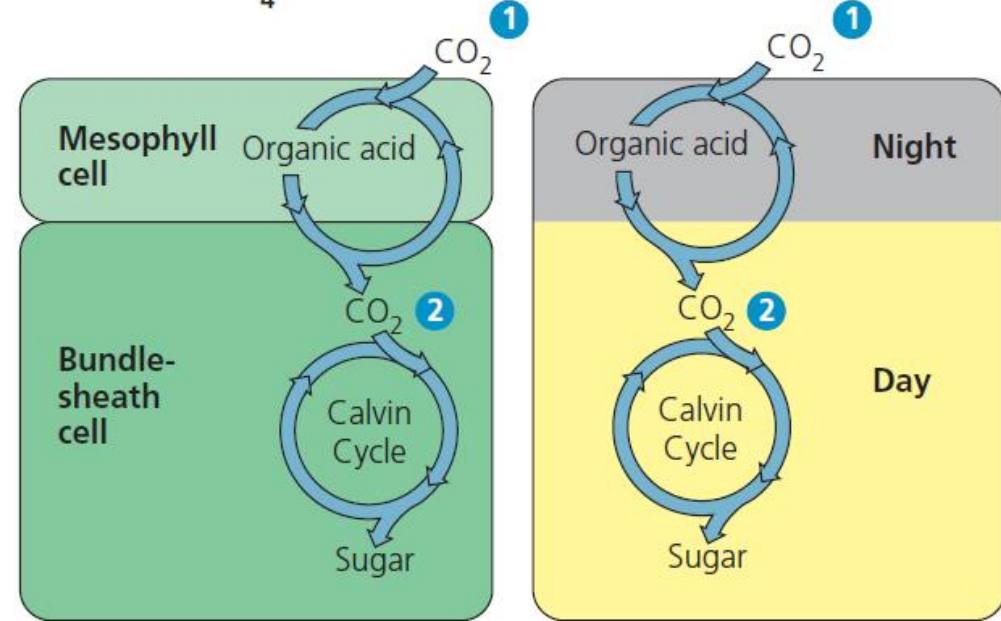
Sugarcane

C₄



Pineapple

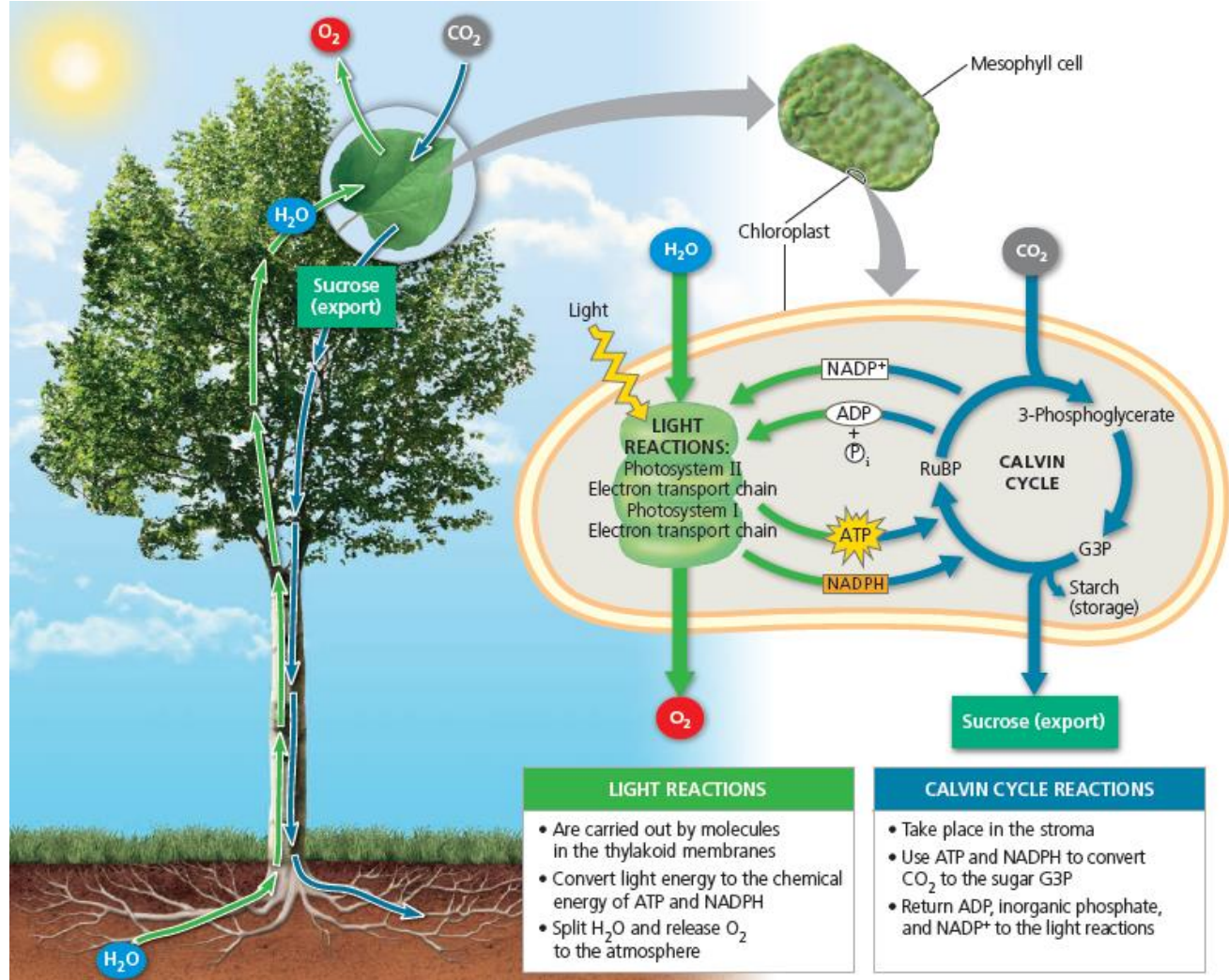
CAM





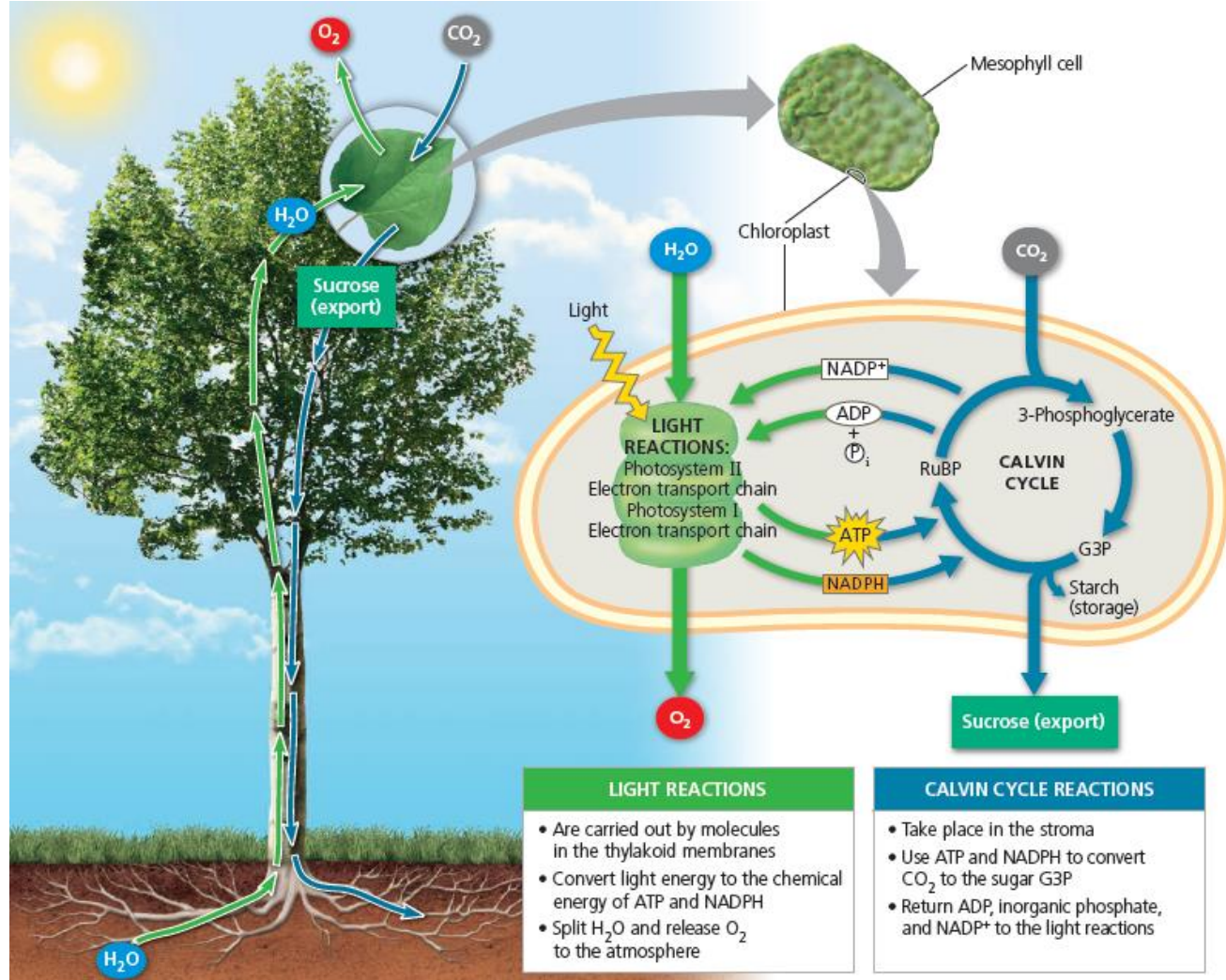
Fotosentezin Genel Özeti

- Fotosentezde ışık reaksiyonları güneş enerjisini yakalayıp ATP ve NADPH üretir.
- Calvin döngüsü bu enerji taşıyıcıları kullanarak CO_2 'den şeker sentezler.
- Güneş enerjisi, organik bileşiklerde kimyasal enerji olarak depolanır.
- Yanda, fotosentezin tüm süreçleri ve doğal bağlamı görsel olarak özetlenmektedir.



Bitki Hücresindeki Ürünlerin Kaderi

- Calvin döngüsünde üretilen G3P, kloroplast ve sitozolde diğer organik moleküllere dönüştürülür.
- Üretilen şeker, tüm bitki hücreleri için enerji ve yapı taşı kaynağıdır.
- Organik maddelerin yaklaşık %50'si mitokondrilerde solunum için tüketilir.
- Yandaki şeklin üst kısmı, bu ürünlerin yapraktan diğer bölgelere taşınmasını gösterir.





Şekerin Kullanımı ve Depolanması

- Yapraklarda sentezlenen şeker, genellikle sükroz olarak taşınır.
- Sükroz, fotosentez yapmayan hücrelerde solunum ve biyosentez için kullanılır.
- Glukoz molekülleri bağlanarak selüloz polimeri oluşturur.
- Fazla şeker, nişasta olarak depolanır; bu stoklar kök, yumru, tohum ve meyvelerde birikir.



İZLE



Fotosentezin Ekolojik ve Küresel Önemi

- Fotosentez, atmosferdeki oksijenin ana kaynağıdır.
- Her yıl yaklaşık 150 milyar metrik ton karbonhidrat üretilir.
- Bu miktar, 60 trilyon biyoloji kitabına eşdeğer organik maddeye karşılık gelir.

Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr

Teşekkür ederim

Prof. Dr. Bektaş TEPE

