

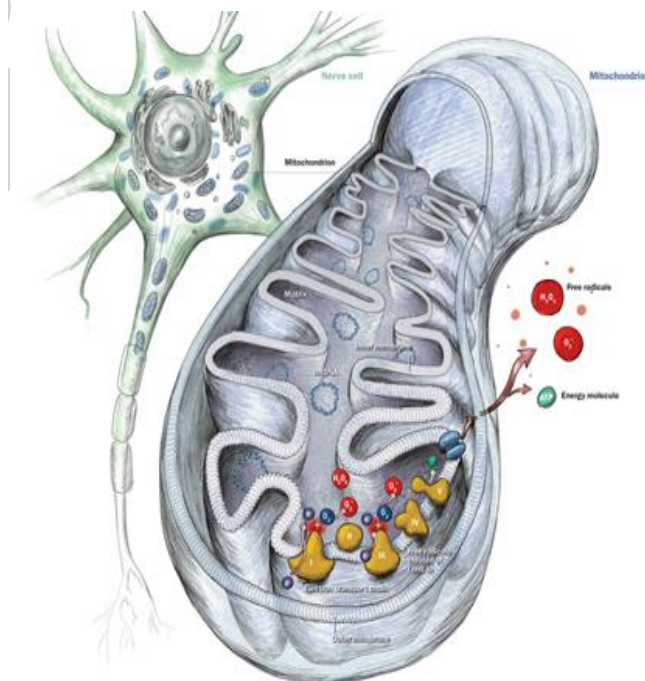
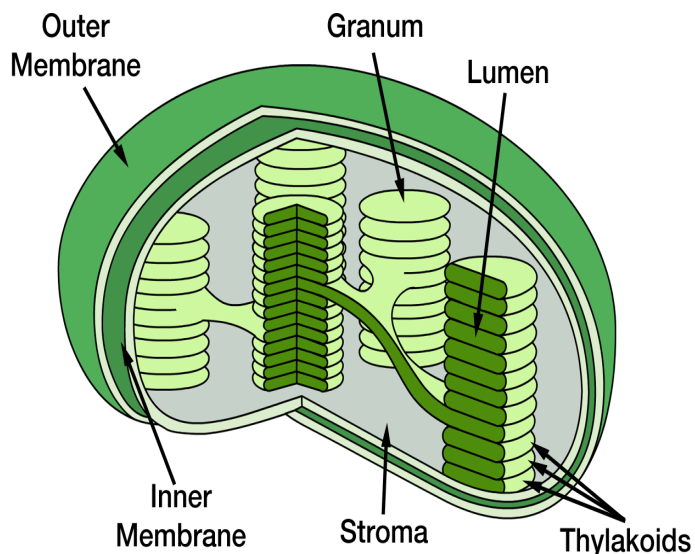
به نام خدا

جزوه کنکوری فصل 8 پیش

شارش انرژی در جانداران

کاری از استاد امیر مردانی

Chloroplast



چند برگ درخت ممکن است به نظر شما چندان خوشمزه نباشند، اما غذای عمده این گوزن برگ است. همه جانداران برای ادامه زندگی به انرژی نیاز دارند.

فتوسنتز

فتوسنتزکنندگان از انرژی نور خورشید استفاده می کنند.

گیاهان، جلبک ها و بعضی باکتری ها (۴ گروه) حدود یک درصد از انرژی نور خورشید را که به زمین می رسد، به دام می اندازند و آن را در فرآیند فتوسنتز به انرژی شیمیایی تبدیل می کنند. در نگاهی کلی، فتوسنتز سه مرحله اصلی دارد:

مرحله ۱: انرژی نور خورشید (توسط رنگیزه به دام می افتد) به دام می افتد.

مرحله ۲: انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می شود و به طور موقت در ATP (آدنوزین تری فسفات) و NADPH (نیکوتینامید آدنین دی نوکلئوتید فسفات) ذخیره می شود.

مرحله ۳: انرژی شیمیایی ذخیره شده در ATP و NADPH تشکیل ترکیب های آلی (در بستره کلروپلاست) را از CO₂ ممکن می سازد.

اتوتروف ها موجوداتی هستند که ترکیبات آلی مورد نیاز خود را خودشان تولید می کنند

هتروتروف ها جاندارانی هستند مواد آلی مورد نیاز خود را از موجودات اتوتروف کسب می کنند

<p>جلبک های سبز (تک سلولی=کلامیدوموناس کلنی پر سلولی=ولوکس-اسپیروژیر پر سلولی=کاهوی دریایی) جلبک های قرمز جلبک های قهوه ای 1/3 اوکلناها-دیاتوم ها-تازکداران چرخان گیاهان (خزه-سرخس-بازدانه-نهان دانه) باکتری (سیانوباکتری-گوگردی سبز-گوگردی ارغوانی-غیر گوگردی ارغوانی)</p>	<p>فتوتروف با نور خورشید ATP تولید می کنند</p>	<p>اتوتروف</p>
<p>نیتروزوموناس-نیتروباکتر</p>	<p>شیمیواتوتروف با انرژی NH₃-H₂S انرژی تولید می کنند</p>	
<p>همه جانوران همه قارچ ها بعضی باکتری ها بعضی آغازیان (مژکداران-2/3 اوکلناها-امیب-کپک های مخاطی سلولی و پلاسمودیومی-روزن داران)</p>		<p>هتروتروف</p>

* نکته: باکتری های فتوسنتز کننده شامل باکتری های گوگردی سبز و ارغوانی و باکتری های غیر گوگردی ارغوانی و سیانو باکتری ها

نکته: NADPH در اصل ماده ای است که از ترکیب باز ادنین و نیکوتین امید و فسفات و 2 عدد نوکلئوتید به وجود آمده است

نکته: سوال 12 عدد اب در قسمت واکنش دهنده فتوسنتز به چه دردی می خورد؟ برای تولید یک گلوکز ما احتیاج به 12 NADPH از زنجیره انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید بگیریم در اصل به 24 الکترون یا $H^{+}24$ نیاز داریم در اصل تمام این 12 اب مصرف می شوند و 6 اب تولید از جای دیگری که به ان می پردازیم آمده اند

نکته: قندهایی که برای ساخت دیواره سلولی به کار می روند مثل سلولز که دیواره سلولی عمدتا سلولز می باشد

سوال - اکسیژن تولید شده در فرایند فتوسنتز از اب آمده است یا از کربن دی اکسید؟

نکته: نشاسته تولید شده در گیاهان در ساقه و ریشه و برگ ذخیره می شود یعنی برگ و ساقه فتوسنتز می کنند و ذخیره هم می کنند ریشه فقط ذخیره می کند

نکته: گیاهان شامل 4 گروه هستند خزه گیان - سرخس ها - بازدانگان و نهاندانگان که در خزه گیان قسمت گامتوفیتی فتوسنتز کننده است و در سرخس ها هم گامتوفیت هم اسپوروفیت و در بازدانگان و نهان دانگان اسپوروفیت فتوسنتز کننده است.

نکته: گوزن از فرمانرو جانوران و از شاخه طنابداران و ردهی پستانداران است. دیافراگم کامل و منژ سه لایه دارد. گیاه خوار بوده و آنزیم تجزیه کننده نشاسته را به صورت برون سلولی و آنزیم تولید و تجزیه کننده گلیکوژن را به صورت درون سلولی دارد. گوزن علف خوار نشخوارکننده است. باکتری ها و آغازیان تجزیه کننده سلولز در معددهی گوزن حضور دارند. به دلیل سرعت بالای تولید مثل میزان باکتری ها و آغازیان ثابت است. در گوزن غذا در هر دو باری که در دهان در حال جویدن است، آب دارد. بخشی از این آب در خود غذا و بخشی از بزاق است.

✓ فتوسنتز در گیاهان، جلبک ها و برخی از باکتری ها (سیانوباکتری ها، باکتری های گوگردی سبز، باکتری های گوگردی ارغوانی و باکتری های غیر گوگردی ارغوانی) انجام می شود. به این ترتیب فتوسنتز در گونه ها سه فرمانرو از 5 فرمانرو موجودات زنده انجام می شود.

✓ در مرحله ی اول فتوسنتز در کنار جذب نور، شکافته شدن (تجزیه) آب انجام گرفته و الکترون، پروتون و اکسیژن تولید می گردد.

✓ همه ی فتوسنتزکنندگان نور را به دام می اندازند ولی در همه ی آن ها در حین فتوسنتز O_2 تولید نمی شود (فقط در گیاهان، جلبک ها و سیانوباکتری ها مولکول اکسیژن تولید می گردد).

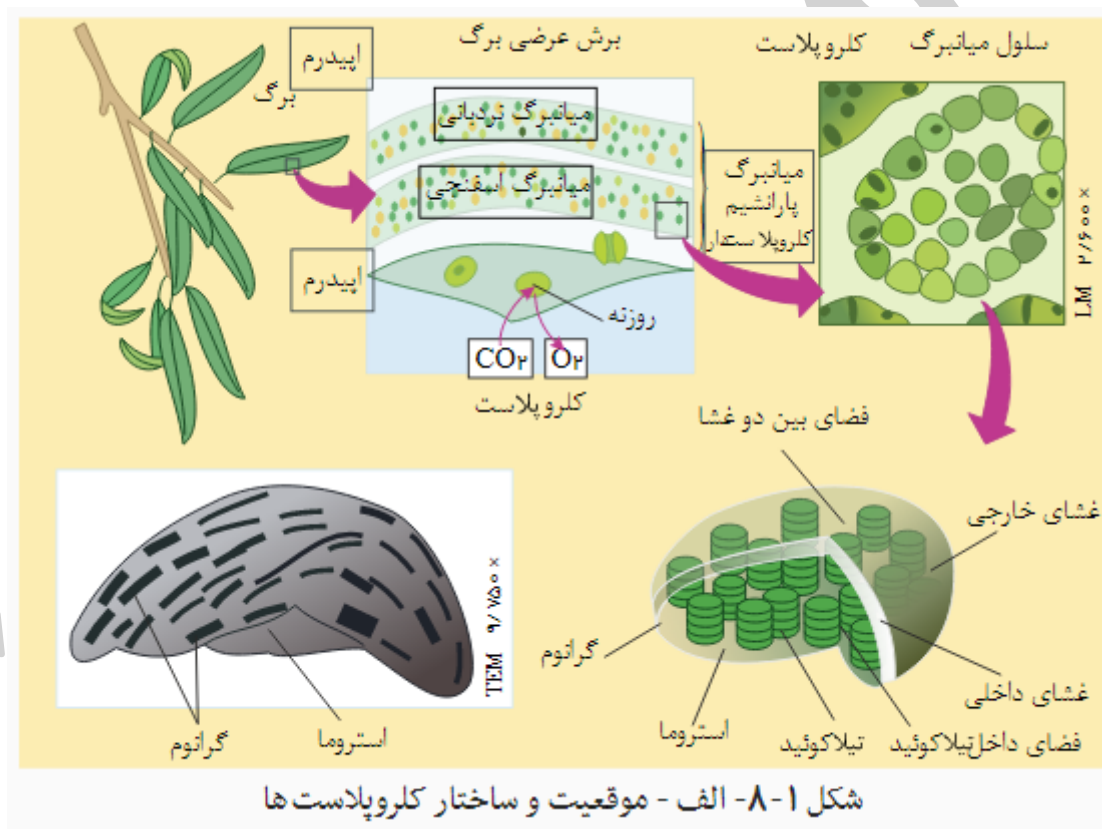
✓ انرژی ذخیره شده در ATP و NADPH از نوع انرژی شیمیایی است.

✓ مراحل 1 و 2 در گیاهان و جلبک ها در غشای تیلاکوئید و مرحله سوم تشکیل مواد آلی از CO_2 (در استروما) (بستره) کلروپلاست انجام می گیرد.

✓ مراحل ۱ و ۲، مراحل وابسته به نور یا واکنش‌های فوری بوده و مرحله ۳، مرحله مستقل از نور یا واکنش‌های تاریکی می‌باشد. واکنش‌های فوری بدون نور انجام نمی‌شوند ولی واکنش‌های تاریکی هم در نور و هم در تاریکی قابل انجام هستند.

✓ در کلروپلاست یوکاریوت‌ها (گیاهان و جلبک) و همین‌طور در غشاء سلول سیانوباکتری‌ها (مثل آفابنا) منبع الکترون برای انجام واکنش‌های فتوسنتز $2H_2O$ است (و اکسیژن آزاد می‌کند). در حالی‌که در باکتری‌های گوگردی سبز و ارغوانی منبع الکترون S (و گوگرد آزاد می‌کند) و در باکتری‌های غیر گوگردی، منبع الکترون ترکیبات آلی مثل اسیدها و کربوهیدرات‌هاست.

✓ بیشتر فتوسنتز کنندگان هوازی هستند و با میتوکندری (یوکاریوت‌ها) یا غشاء خودشان (باکتری‌ها) واکنش‌های تنفسی را انجام می‌دهند، ولی برخی از آن‌ها (مثل باکتری‌های گوگردی) بی‌هوازی هستند و تنفس سلولی انجام نمی‌دهند.



محل انجام فتوسنتز در سلول‌های گیاهی و جلبک‌ها در کلروپلاست و در باکتری‌های فتوسنتز کننده، غشای سلولی است.

✓ سلول‌های روپوست به صورت فشرده و سلول‌های مسطح سطح خارجی همه‌ی بخش‌های جوان گیاه را می‌پوشانند و در بخش‌های بیرون از خاک به منظور جلوگیری از تعرق، حمله‌ی میکروب‌ها و اثر سرما روی آن‌ها را کوتین (پلی مری از اسیدهای چرب طولی) می‌پوشاند.

✓ سلول‌های روپوست در گیاهان فاقد کلروپلاست بوده و فقط سلول‌های تمایز یافته نگهبان روزنه‌ی کلروپلاست دارند.



فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

- ✓ به منظور کاهش میزان تعرق، تعداد روزنه‌ها (محل ورود دی‌اکسیدکربن و خروج اکسیژن) در سلول‌های اپیدرمی تحتانی بیشتر از تعداد روزنه‌های سطح فوقانی هستند.
- ✓ هر روزنه توسط دو سلول نگهبان روزنه کنترل می‌شود، که سلول‌های تمایز یافته از سلول‌های روپوست هستند. این سلول‌ها کلروپلاست دارند و عمل فتوسنتز را انجام می‌دهند.
- ✓ سلول‌های نگهبان روزنه همانند سلول‌های کلانشیمی دارای دیواره‌ی غیر یکنواخت می‌باشند و به دلیل دیواره‌ی داخلی ضخیم تر و همین‌طور رشته‌های سلولزی عرضی با جذب آب روزنه را باز کرده و با از دست دادن آب، موجب بسته شدن روزنه می‌شوند.
- ✓ در سمت فوقانی برگ، در زیر اپیدرم یک یا دو لایه سلول‌های پارانشیم استوانه‌ای (فرده‌ای) با فواصل کم و در سطح تحتانی برگ و در زیر اپیدرم تحتانی سلول‌های پارانشیم اسفنجی با فواصل زیاد قرار دارند. هر دو این سلول‌ها پارانشیم کلروپلاست دار (کلرانسیم) می‌باشند.
- ✓ هر دو غشاء کلروپلاست، صاف هستند و عملکرد آن‌ها صرفاً جداسازی داخل استروما از محیط سیتوپلاسم بیرون هستند.
- ✓ درون کلروپلاست و در داخل استروما، بخش‌های غشایی دیگری وجود دارد که تیلاکوئیدها را ایجاد می‌کند و به این ترتیب ۳ غشاء و ۳ فضا در کلروپلاست به وجود می‌آید. این در حالی است که در میتوکندری ۲ غشاء و ۲ فضا وجود دارد.
- ✓ از قرار گرفتن چندین تیلاکوئید بر روی هم گرانوم ایجاد می‌شود. فضای درون گرانوم‌ها با تیغه‌های بین گرانومی با هم ارتباط دارند.
- ✓ با میکروسکوپ نوری یک سلول با کلروپلاست‌های درون آن قابل رویت است و با میکروسکوپ الکترونی گذاره‌ی خود یک کلروپلاست، با اجزای درونی آن (مثل تیلاکوئید) قابل مشاهده است. بزرگ‌نمایی میکروسکوپ الکترونی گذاره در شکل کلروپلاست حدود ۴ برابر میکروسکوپ نوری است.

نکته: سلول‌های نگهبان روزنه سلول‌های تمایز یافته روپوستی هستند و سبز رنگ بوده و فتوسنتز می‌کنند

نکته: کلروپلاست‌ها در ابتدا باکتری‌های اتوتروف بی‌هوایی بوده‌اند که بر اثر خورده شدن آنها توسط سلول‌های پیش‌یوکاریوت و هضم نشدن آنها تبدیل به اندامک شده‌اند

نکته: میتوکندری و کلروپلاست DNA حلقوی باکتریایی و ریبوزوم‌های باکتریایی نیز دارند

نکته: کلروپلاست که دوغشایی می‌باشد غشایی بیرونی آن متعلق به وزیکولی بوده است که پیش‌یوکاریوت هنگام خورده شدن تشکیل شده است

نکته: کلروپلاست را می‌توان در جلبک‌ها گیاهان و بعضی آغازیان پیدا کرد

نکته: روزنه‌ها را می‌توان در همه بخش‌های هوایی گیاهان یافت یعنی برگ و ساقه اما تعداد آنها در برگ بسیار بیشتر است

نکته: سلول‌های میان‌برگ دو دسته‌اند اسفنجی و نرده‌ای که هر دو پارانشیم فتوسنتز کننده یا همان کلرانسیم هستند

نکته: تعداد روزنه‌ها در سطح زیرین برگ بسیار بیشتر از سطح رویی آن می‌باشد برای جلوگیری از تعرق

نکته: همان طور که می بینید با باز شدن روزنه ها گیاه CO2 جذب می کن د و O2 را دفع می کند

خلاصه فرآیند فتوسنتز (مجموع واکنش های نوری و تاریکی) به شکل موازنه زیر است:



این موازنه چیزی از چگونگی فرآیند و رخداد فتوسنتز نشان نمی دهد، بلکه صرفاً نشان می دهد که چه موادی مصرف و چه موادی تولید می شوند. گیاهان از ترکیب های حاصل از فتوسنتز برای انجام فرآیندهای حیاتی خود استفاده می کنند. مثلاً بعضی از این قندها برای ساخت ترکیب های دیواره سلولی (سلولز، پلی ساکارید ساختاری) و بعضی برای ساخت نشاسته (پلی ساکارید ذخیره ای) مصرف می شوند. گیاه در صورت نیاز، نشاسته ذخیره شده در ساقه، یا ریشه را (طی واکنش های تنفس سلولی در سیتوپلاسم و میتوکندری ها) تجزیه و از آن برای ساخت ATP مورد نیاز متابولیسم سلولی، استفاده می کند. همه پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و دیگر مولکول هایی که در سلول (گیاهی) هستند، حاصل تجمع و تغییر بخش هایی از قندهای ساخته شده در گیاه هستند.

✓ در فتوسنتز آب هم تولید و هم مصرف می شود، ولی به طور خالص برای تهیه ی یک گلوکز ۶ مولکول آب باید مصرف گردد.

✓ منشأ اکسیژن مولکولی تولیدی، ۱۲ مولکول آب مصرفی است و منشأ اکسیژن موجود در ترکیب گلوکز و آب تولید شده، اتم های اکسیژن موجود در دی اکسید کربن است.

✓ مولکول آب اکسایش یافته، هیدروژن های اش را از دست داده و به صورت گاز اکسیژن در می آیند. در حالی که مولکول دی اکسید کربن به صورت مولکول گلوکز و آب احیا می شود.

✓ در گیاهان در ابتدا قند تولید شده و در صورت نیاز از تغییرات مولکول های قندی، انرژی یا مولکول های زیستی دیگر (نوکلئیک اسیدها، پروتئین ها و لیپیدها) تولید می شوند.

✓ نشاسته هم در ریشه و هم در ساقه ذخیره می گردد.

انرژی نوری در مرحله ۱ جذب می شود.

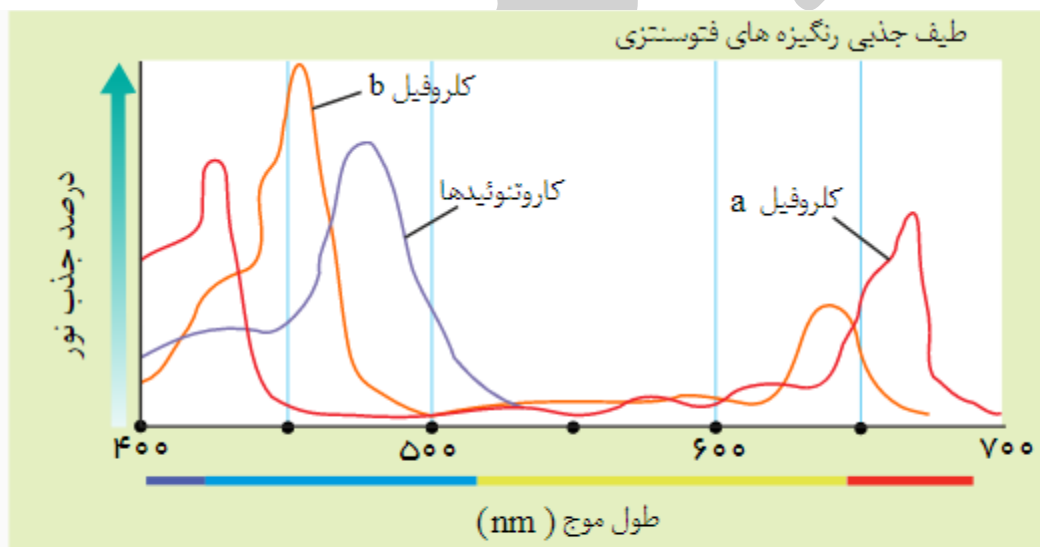
واکنش هایی که در مراحل ۱ و ۲ رخ می دهند، واکنش های نوری یا واکنش های وابسته به نور نامیده می شوند. این واکنش ها بدون نور انجام نمی شوند. پرتوهای نور خورشید از طول موج های مختلفی تشکیل شده اند. ما فقط قادر به دیدن طول موج های مرئی (با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) نور خورشید هستیم.

فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

رنگیزه‌ها طول موج‌های مختلف نور را جذب می‌کنند: چگونه چشم انسان و یا یک برگ، نور را جذب می‌کنند؟ این ساختارها موادی دارند که نور را جذب می‌کنند. به این مواد رنگیزه گفته می‌شود. رنگیزه‌ها بعضی از طول موج‌ها را جذب و بعضی دیگر را منعکس می‌کنند.

کلروفیل که اولین رنگیزه مؤثر در فتوسنتز است، بخش اعظم نور آبی و قرمز را جذب و نور سبز و زرد را منعکس می‌کند. انعکاس نور سبز و زرد موجب می‌شود که گیاهان، به خصوص برگ‌های آن‌ها، سبز دیده شوند. گیاهان و جلبک‌های سبز دو نوع کلروفیل دارند: کلروفیل a و کلروفیل b. هر دو نوع کلروفیل در فتوسنتز گیاه نقش مهمی دارند. کاروتنوئیدها گروهی دیگر از رنگیزه‌ها هستند که موجب پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی در برگ‌های پاییزی، میوه‌ها و گل‌ها می‌شوند. طول موج‌هایی که کاروتنوئیدها جذب می‌کنند با طول موج‌هایی که کلروفیل‌ها جذب می‌کنند متفاوت است؛ به همین علت استفاده از این دو گروه رنگیزه موجب می‌شود تا میزان جذب انرژی نوری هنگام فتوسنتز، توسط گیاه بیشتر شود. در شکل زیر طیف جذبی کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها را در طول موج‌های مختلف نور مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۸- نور هنگام فتوسنتز جذب می‌شود. کلروفیل‌ها نور قرمز و آبی و بنفش را بیشتر جذب می‌کنند. درحالی که کاروتنوئیدها نور آبی و سبز را بیشتر جذب می‌کنند.



✓ موادی که نور را جذب می کنند، رنگیزه نامیده می شوند. همه رنگیزه ها در فتوسنتز کارایی ندارند، ولی همه فتوسنتزکننده ها از رنگیزه استفاه می کنند. مثلا رنگیزه های موجود در شبکه جذب نورند، ولی در فتوسنتز فحشی ندارند.

✓ زیر 400nm نور ماوراء بنفش (UV) با انرژی بالا و بالای 700nm نور مادون قرمز یا فرورسرخ با انرژی پائین قرار دارد.

✓ از طول موج 400 تا 700 نانومتر، به ترتیب کلروفیل a، کلروفیل b، کارنوتوئید، کلروفیل b و کلروفیل a نور جذب می کنند. بالاترین میزان جذب نور هم به ترتیب از بالا به پائین به کلروفیل b، کارنوتوئید، کلروفیل a، کلروفیل a و کلروفیل b مربوط می باشد.

✓ کلروفیل a، بخش اعظم نور آبی، بنفش و قرمز را جذب و بخش اعظم نورهای سبز و زرد را منعکس می کند. بیشترین درصد جذب کلروفیل a در طیف بنفش (طول موج نزدیک 425) می باشد. در حالی که کلروفیل b، بخش اعظم نور آبی و بخش کمی نارنجی و قرمز را جذب و بخش اعظم نورهای سبز و زرد را منعکس می کند. بیشترین درصد جذبی کلروفیل b در طیف آبی (طول موج حدود 460) است.

✓ طیف جذبی کارنوتوئید از طول موج های 530-400nm است و بیشترین جذب کارنوتوئید در طول موج بنفش، آبی و سبز (در 475) و بیشترین انعکاس آن در نارنجی و زرد است.

✓ درصد جذب نور در طول موج های پائین طیف مرئی (400 تا 525) از درصد جذب در طول موج های بالاتر (625 تا 675) بیشتر است.

✓ نور سبز در وسط طیف مرئی جذب نمی شود (به میزان حداقل جذب می شود) و بنابراین به طرف چشم منعکس می گردد و باعث سبز دیده شدن گیاهان می شود.

✓ نور آبی هم توسط کلروفیل ها و هم توسط کارنوتوئید جذب شده و نور زرد توسط هیچ یک جذب نمی گردد.

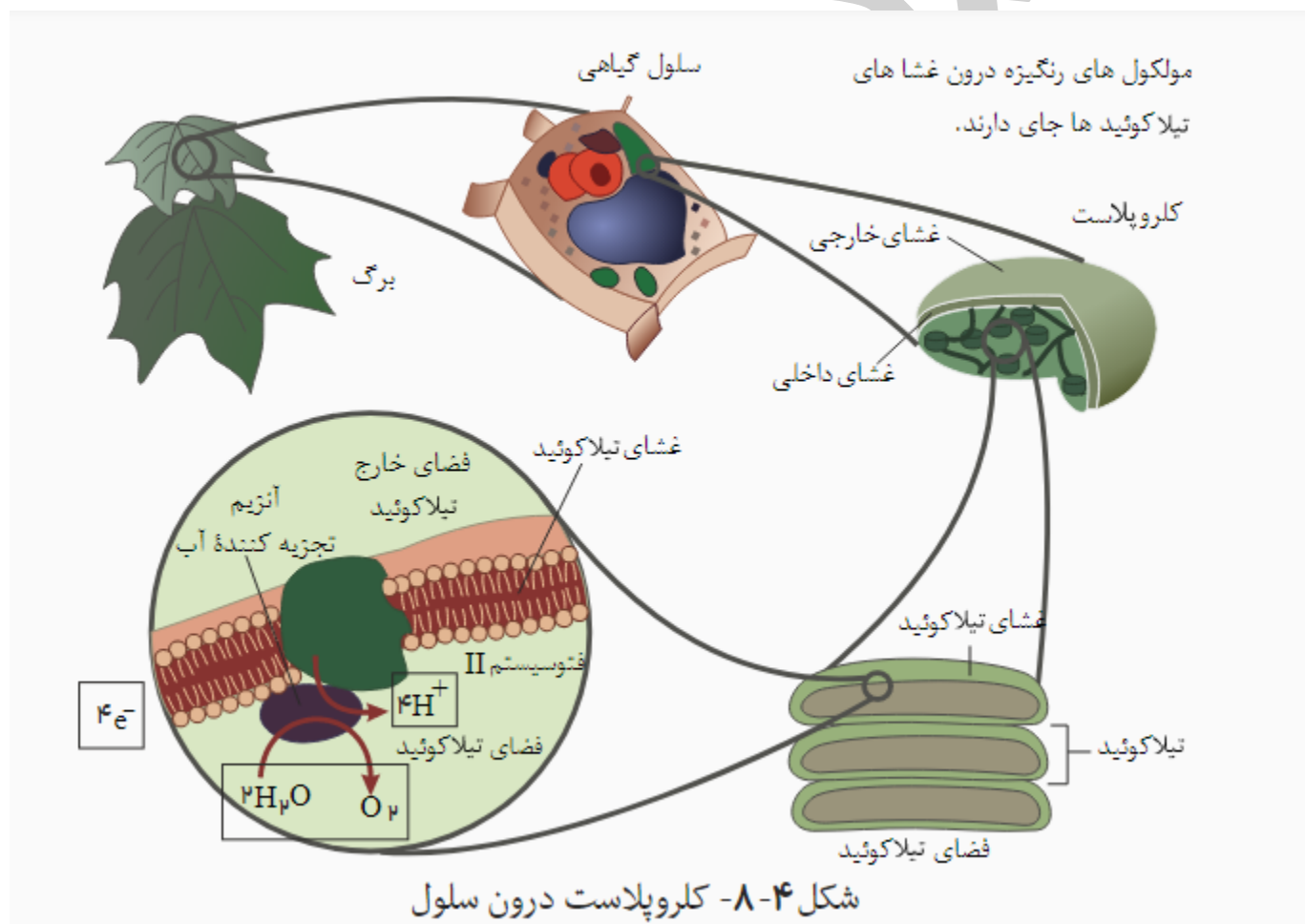
رنگیزه های فتوسنتزی درون کلروپلاست قرار دارند: درون کلروپلاست ساختارهای

کیسه ای شکل و پهنی به نام تیلاکوئید وجود دارند. تیلاکوئیدها در واقع ساختارهایی از جنس غشای سلولی اند. دسته های رنگیزه درون غشای تیلاکوئیدها جای گرفته اند. این رنگیزه ها به همراه تعدادی پروتئین، دو گروه ساختاری به نام فتوسیستم 1 و 2 را درون غشای تیلاکوئید سازمان می دهند. در هر فتوسیستم نوع خاصی از کلروفیل a وجود دارد. حداکثر جذب نوری کلروفیل a در فتوسیستم 1، 700 و در فتوسیستم 2، 680 نانومتر است؛ به همین دلیل به این کلروفیل ها P700 و P680 گفته می شود. مولکول هایی به نام حامل الکترون دو فتوسیستم را

فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

به هم وصل می کنند. انرژی نوری که به تیلاکوئیدها برخورد کرده است با فعالیت هم زمان کلروفیل ها و رنگیزه های دیگر، جذب، متمرکز و به کلروفیل های P700 و P680 منتقل می شود. این انرژی، الکترون ها را به تراز بالاتر می برد. چنین الکترون هایی را که دارای انرژی اضافی شده اند، الکترون های برانگیخته می نامند. الکترون های برانگیخته کلروفیل P700 و P680 فتوسیستم ها را ترک می کنند. این فتوسیستم ها کمبود الکترونی خود را چگونه جبران می کنند؟ الکترون هایی که فتوسیستم I از دست می دهد با الکترون های خارج شده از فتوسیستم II و الکترون هایی که از فتوسیستم II خارج شده اند با الکترون های حاصل از تجزیه آب، جانشین می شوند. در واقع اتم های هیدروژن حاصل از تجزیه آب، الکترون های خود را به کلروفیل می دهند که نتیجه آن تشکیل یون های مثبت هیدروژن است. اکسیژن های حاصل نیز با هم ترکیب می شوند و گاز اکسیژن (O_2) را تولید می کنند.





فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

ساختار تیلاکوئید از جنس غشاء سلولی با محتوای پروتئینی بالاست. رنگیزه‌های جذب کننده نور به همراه چندین پروتئین در ساختارهایی به نام فتوسیستم قرار گرفته‌اند. در بین فتوسیستم‌ها مولکول‌های پروتئینی حامل الکترون قرار دارند و ارتباط این دو را برقرار می‌کنند.

✓ کلروفیل a موجود در فتوسیستم‌های I (PI) و II (PI)، طیفی از طول موج‌ها را جذب می‌کنند، ولی بیشترین جذب نور در فتوسیستم I در طول موج ۷۰۰ و در فتوسیستم II در ۶۸۰ نانومتر (محدوده‌ی نور قرمز) است.

✓ انرژی خورشید توسط رنگیزه‌های غشاء تیلاکوئید (کلروفیل‌ها و دیگر رنگیزه‌ها) جذب شده و در نهایت به کلروفیل P700 و P680 می‌رسد و منجر به برانگیخته شدن الکترون‌ها در این کلروفیل‌ها می‌گردد.

✓ کلروفیل P700 کمبود الکترون‌های خود را از کلروفیل P680 می‌گیرد. این الکترون‌ها با استفاده از پروتئین‌های حامل الکترون زنجیره انتقال الکترون غشاء تیلاکوئید، از PII به PI می‌رسند. کلروفیل PII نیز کمبود الکترون خود را از آب می‌گیرد.

✓ به این ترتیب دهنده‌ی نهایی الکترون در فتوستنز سلول‌های کلروپلاست دار و باکتری‌های سبز، $2H_2O$ است که در نهایت منجر به تولید O_2 می‌شود.

✓ دو مولکول آب درون تیلاکوئید توسط آنزیمی که به PII متصل است، تجزیه شده، ۴ الکترون، ۴ پروتون و یک اکسیژن مولکولی (O_2) تولید می‌کند.

✓ اکسیژن مولکولی (O_2) از غشاء تیلاکوئید و کلروپلاست (دو غشاء) عبور کرده و از سلول (مجموعاً ۴ غشاء) هر یک با دو لایه‌ی فسفولیپیدی (۸ لایه) خارج می‌شود.

نکته: نور مرئی از 7 رنگ تشکیل شده است که شامل رنگ‌های بنا سزق می‌باشد ما در کتاب با 6 رنگ کار داریم.

بنفش - نیلی - ابی - سبز - زرد - نارنجی - قرمز

نکته: فرابنفش را بسیاری از حشرات می‌توانند ببینند مثلاً زنبور عسل در هنگام گرد افشانی

نکته: فرورسرخ را مار زنگی می‌تواند ببیند

محل‌های انجام هر مرحله را نام ببرید؟

مرحله یک: در تیلاکوئیدها محصول اکسیژن

مرحله دو: تیلاکوئیدها محصول NADPH-ATP

مرحله سوم: استروما محصول $NADP^+$ -ADP- قند

نکته: انواع جلبک های سبز مثل: کلامیدوموناس و کاهوی دریایی و اسپروژیر و بسیاری از پلانکتون های میکروسکوپی اب شور

نکته: جلبک های قرمز و قهوه ای نیز کلروفیل دارند اما رنگیزه های دیگری نیز دارند که با جلبک سبز متفاوت می باشد.

نکته: نور خورشید از طیف امواج بسیار زیادی تشکیل شده است که از این طیف محدوده 400 تا 700 نانومتر مرئی بوده و قابل رویت می باشد

نکته: همان طور که در فیزیک خوانده اید هر چقدر طول موج کمتر انرژی بیشتر

نام رنگیزه	حداکثر جذب	محدوده جذب	محدوده انعکاس
کلروفیل A	420-430 بنفش	بنفش تا قرمز	
کلروفیل B	460 ابی	بنفش تا وسط قرمز	
کاراتنوئیدها	470 ابی	بنفش تا سبز	زرد - نارنجی - قرمز

نکته: کدام رنگیزه بیشترین درصد جذب را دارد؟ کلروفیل B

نکته: محدوده جذبی کدام رنگیزه بیشتر است؟ کلروفیل A

نکته: ما در کتاب های درسی با رنگیزه های متفاوتی آشنا می شویم که هر کدام به کار خاصی دارند

مثلا ملانین رنگیزه ای در بدن ما است که باعث مشکی شدن می شود

کلروفیل و کاروتنوئیدها در فتوسنتز و جذب نور نقش دارند

نکته: این سه دسته رنگیزه ها فقط طیف نور مرئی را جذب می کنند؟

خیر اگر به شکل نگاه کنید در طول موج های کمتر از 400 نانومتر هم ما جذب نور داریم

ما در این شکل طیف جذبی چه تعداد رنگیزه را می بینیم؟

معلوم نیست - چون نگفته کدام کاراتنوئیدها

فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

در مرحله دوم، انرژی نوری به انرژی شیمیایی تبدیل می شود.

الکترون های برانگیخته (و پر انرژی) که مولکول های کلروفیل را ترک کرده اند، صرف تولید مولکول هایی می شوند که انرژی را به طور موقت ذخیره می کنند (ATP) و NADPH الکترون برانگیخته در غشای تیلاکوئید (در طول زنجیره انتقال الکترون) از یک مولکول به مولکول مجاور می رود. در واقع الکترون برانگیخته، گروه های مولکولی واقع در (زنجیره انتقال الکترونی) غشای تیلاکوئید را یکی پس از دیگری پشت سر می گذارد. برای درک این مطلب در نظر بگیرید به همراه چند نفر از دوستانتان در یک ردیف ایستاده اید و تویی را دست به دست می کنید. در این مثال توپ نقش الکترون برانگیخته و هر یک از شما نقش مولکول هایی را بازی می کند که در غشای تیلاکوئید قرار دارند و الکترون برانگیخته را دریافت می کنند. این مولکول ها در غشای تیلاکوئید، زنجیره های انتقال الکترون) یک زنجیره از PII به PI و زنجیره ی دیگر از PI به (NADP+) را تشکیل می دهند .

عملکرد زنجیره های انتقال الکترون: چگونه از زنجیره های انتقال الکترون برای ایجاد مولکول های ذخیره کننده انرژی استفاده می شود؟ یکی از اجزای زنجیره های انتقال الکترون در غشای تیلاکوئیدی دارای پروتئینی است که همانند یک پمپ غشایی (یعنی با انتقال در خلاف جهت شیب غلظت) عمل می کند. الکترون های برانگیخته از فتوسیستم II هنگام عبور از این پمپ مقداری از انرژی خود را از دست می دهند. این پمپ از انرژی الکترون ها برای تلمبه کردن (یا انتقال فعال) یون های هیدروژن H^+ از استروما به درون تیلاکوئید (در خلاف جهت شیب غلظت شان) استفاده می کند. به یاد دارید که هنگام شکستن مولکول آب نیز مقداری H^+ درون تیلاکوئید تولید می شود. با ادامه این روند تراکم یون های هیدروژن درون تیلاکوئید، نسبت به بیرون افزایش می یابد. در نتیجه یک شیب غلظت هیدروژن بین دو سوی غشای تیلاکوئید (از داخل تیلاکوئید به سمت استروما) به وجود می آید. بنابراین یون های هیدروژن، بر اساس شیب غلظت خود، تمایل دارند (با انتشار تسهیل شده و در جهت شیب غلظت خود) به بیرون از تیلاکوئید (و درون استروما) انتشار یابند. (یون های) هیدروژن از طریق پروتئین هایی که در غشای تیلاکوئید قرار دارند، از تیلاکوئید خارج می شوند. این پروتئین ها از این نظر که هم کانال یونی هستند و هم عمل آنزیمی) ساختن ATP از ADP و P را دارند منحصر به فردند. یعنی در حال عبور دادن یون های هیدروژن از بخش کانال خود، (در استروما) به ADP گروه فسفات می افزایند و ATP تولید می کنند. به تولید ATP در فتوسنتز ساخته شدن نوری ATP می گویند، زیرا انرژی نور عامل اولیه روند تولید (ATP) در کلروپلاست هاست .

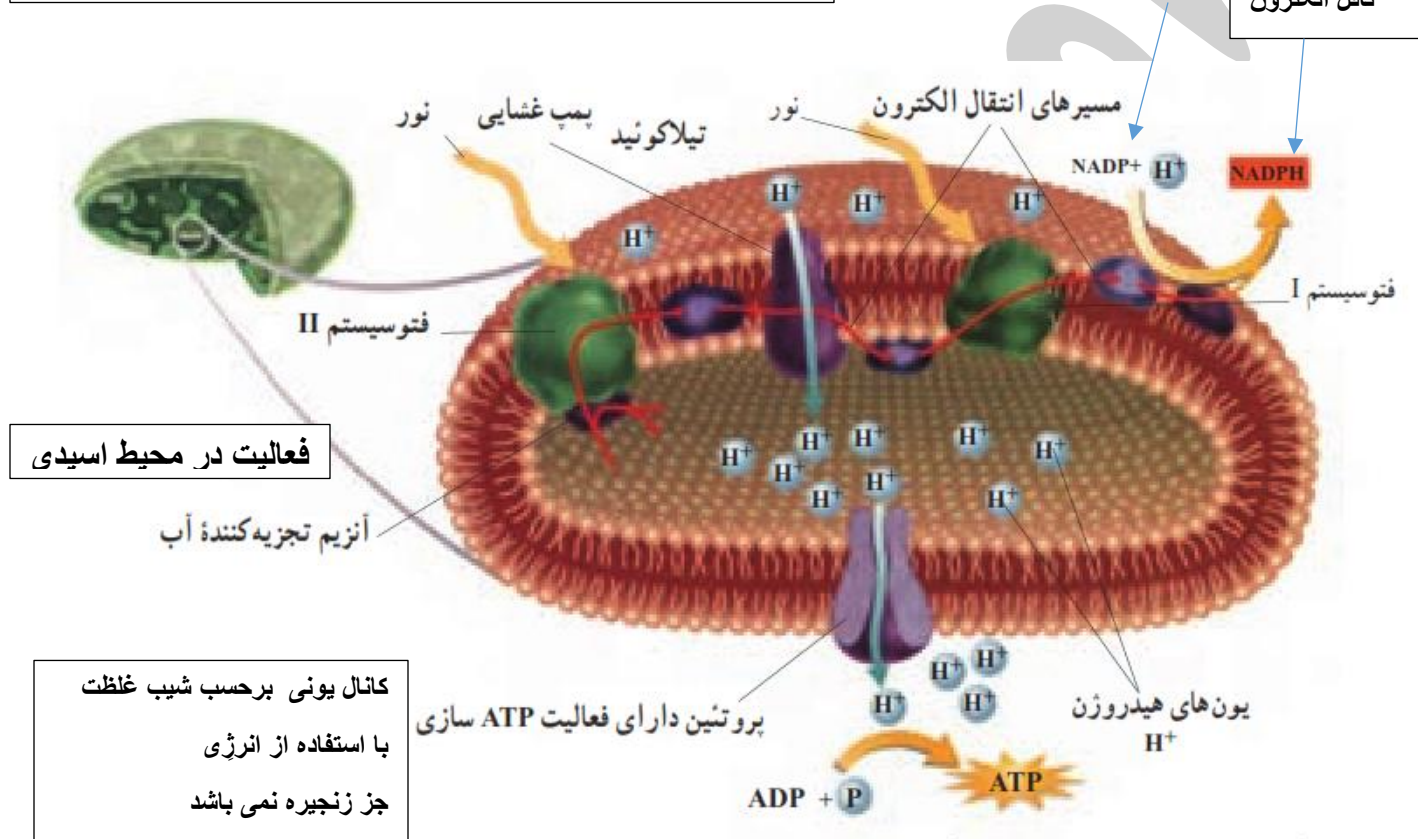
در حالی که یک زنجیره انتقال الکترون) زنجیره ی انتقال الکترون از PII به PI انرژی لازم برای ساخت ATP را فراهم می کند، زنجیره انتقال الکترون دیگری) زنجیره ی انتقال الکترون از PI به (NADP+) انرژی (و الکترون) مورد نیاز برای ساخت NADPH را تأمین می کند NADPH. یک مولکول ناقل الکترون است که الکترون های پر انرژی را برای ساخت پیوندهای کربن-هیدروژن در مرحله سوم فتوسنتز (واکنش های تاریکی)، فراهم می کند. برای ساخت NADPH الکترون های برانگیخته در این زنجیره انتقال

الکترون، به یون های هیدروژن (H^+) می پیوندند و موجب تبدیل یک گیرنده الکترونی به نام $NADP^+$ به مولکول $NADPH$ می شوند.

منشا H^+ داخل تیلاکوئید از تجزیه آب و فعالیت پمپ غشایی می باشد

گیرنده الکترون

ناقل الکترون



فعالیت در محیط اسیدی

آنزیم تجزیه کننده آب

کانال یونی برحسب شیب غلظت
با استفاده از انرژی
جز زنجیره نمی باشد

پروتئین دارای فعالیت ATP سازی

یون های هیدروژن
 H^+

ADP + P → ATP

شکل ۵ - ۸ - زنجیره های انتقال الکترون در فتوسنتز. زنجیره های انتقال الکترون انرژی نوری را به انرژی شیمیایی تبدیل می کنند.

تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی توسط پروتئین‌های زنجیره انتقال الکترونی موجود در غشاء تیلاکوئید انجام می‌گیرد و انرژی به طور موقت در مولکول‌های ATP و NADPH ذخیره می‌شود .

✓ تولید مولکول‌های ATP و NADPH در سمت استرومای غشاء تیلاکوئید انجام می‌گیرد .

✓ آیزیم تجزیه‌کننده آب در سمت فضای داخل تیلاکوئید قرار داشته و به PII چسبیده است.

✓ الکترون‌ها از آب به PII می‌رسند. پس آب اکسید شده و کلروفیل a موجود در PII ابتدا احیا شده و با انتقال الکترون-هایش به PI، آن را احیا می‌کند و خودش اکسید می‌گردد .

✓ گیرنده‌ی نهایی الکترون در زنجیره انتقال الکترون در غشاء تیلاکوئید NADP+ است که با گرفتن دو الکترون و دو پروتون، احیا شده و به یک NADPH تبدیل می‌شود .

✓ NADP+ یک پذیرنده الکترون است. با پذیرش الکترون منجر به اکسایش ماده دهنده الکترون می‌شود. در مقابل NADPH یک دهنده الکترون است. به این ترتیب که با دادن الکترون به مولکول دیگر آن را احیا می‌کند.

✓ زنجیره‌های انتقال الکترون، به طور غیر مستقیم و با انتقال فعال پروتون‌ها به داخل تیلاکوئید و ایجاد شیب غلظت پروتون در تولید ATP نقش دارند.

✓ دو عاملی که منجر به افزایش پروتون درون تیلاکوئید و متعاقب آن تولید ATP می‌شوند عبارتند از ۱. انتقال فعال H+ از استروما به درون تیلاکوئید و ۲. پروتون‌های تولید شده در اثر تجزیه آب درون فضای تیلاکوئیدی.

✓ انتقال پروتون‌ها به فضای داخل تیلاکوئید توسط یک پروتئین کانالی سراسری در بین دو فتوسیستم و به صورت انتقال فعال (بر خلاف شیب غلظتی پروتون) انجام می‌گیرد. این پمپ انرژی انتقال پروتون‌ها را از به دست می‌آورد. به این ترتیب داخل تیلاکوئید اسیدی‌تر می‌شود.

✓ زنجیره‌های انتقال الکترون در غشاء تیلاکوئید از ۴ پروتئین سطحی (۲ تا در سمت فضای داخل تیلاکوئید متصل به و) و ۲ تا در سمت استروما (تا حدودی فرو رفته در غشاء)، ۳ پروتئین سراسری (PII) ، PII و پروتئین انتقال دهنده پروتون) و یک پروتئین قرار گرفته در داخل غشاء (اکسیدکننده PII ساخته شده است).

✓ کانال غشایی پروتون که به صورت ATP ساز عمل می‌کند، یک پروتئین سراسری غشایی است که هم باعث انتقال پروتون‌ها از به می‌شود و هم با عمل آنزیمی خود موجب اضافه شدن یک فسفات به ADP گردیده و ATP تولید می‌کند. این عمل را ساخته شدن فوری ATP یا ATP سازی فوری می‌نامند.

✓ در انجام واکنش‌های مرحله دوم، یک پمپ غشایی (در زنجیره اول انتقال الکترون) و یک کانال یونی با خاصیت آنزیمی) در ATP سازی (کار می‌کنند. کار این دو در جهت عکس هم دیگر است.

✓ ورود و خروج پروتون به درون تیلاکوئید بدون مصرف ATP است ولی خروج آن با تولید ATP همراه است.

✓ در واکنش‌های فوری آب، $NADP^+$ ، ADP (به همراه نور جذب شده) مصرف می‌شوند و اکسیژن مولکولی، $NADPH$ و ATP تولید می‌شوند.

در مرحله سوم انرژی در ترکیب‌های آلی ذخیره می‌شود.

حاصل مرحله اول و دوم فتوسنتز تولید مولکول‌های ATP و $NADPH$ است. این مولکول‌ها به طور موقت انرژی ذخیره می‌کنند. در مرحله سوم یا مرحله پایانی فتوسنتز از اتم‌های کربن گاز دی‌اکسید کربن جو برای ساخت ترکیب‌های آلی استفاده می‌شود. این ترکیب‌ها انرژی شیمیایی در خود ذخیره دارند. استفاده از دی‌اکسید کربن (معدنی) برای ساخت ترکیب‌های آلی، تثبیت دی‌اکسید کربن نامیده می‌شود. واکنش‌هایی را که منجر به تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شوند، واکنش‌های تاریکی یا واکنش‌های مستقل از نور می‌نامند.

موجودات فتوسنتز کننده به **چند روش دی‌اکسید کربن** را تثبیت می‌کنند:

چرخه کالوین: چرخه کالوین رایج ترین روش تثبیت CO₂ در جانداران کلروفیل دار (گیاهان، جلبک ها و

باکتری های فتوسنتزی) است. طی این چرخه مجموعه ای از واکنش های آنزیمی در نهایت منجر به تولید قند سه کربنی می شوند.

گام ۱: هر مولکول دی اکسیدکربن (در بستره کلروپلاست) با کمک یک آنزیم (به نام روپیسکو) به یک ترکیب پنج کربنی (ریبولوز بیس فسفات) اضافه می شود و یک ترکیب شش کربنی ناپایدار تولید می کند.

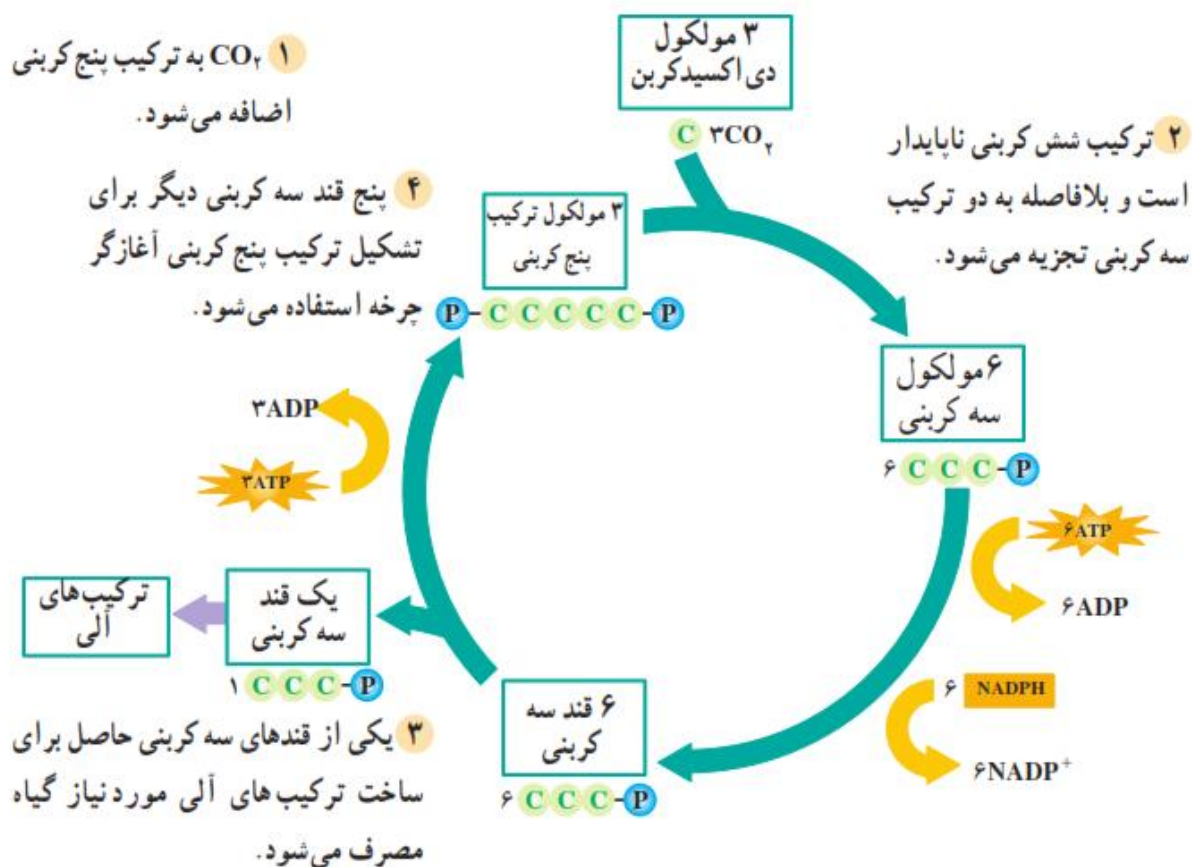
گام ۲: ترکیب شش کربنی حاصل به دو ترکیب سه کربنی شکسته می شود. از افزودن انرژی گروه های فسفات ATP و الکترون-های NADPH به این ترکیب ها قندهای سه کربنی تشکیل می شود.

گام ۳: تعدادی از قندهای سه کربنی حاصل برای ساخت ترکیب های آلی، مانند نشاسته و ساکارز، به مصرف می رسند.

گام ۴: از تعدادی دیگر از قندهای سه کربنی برای تولید مجدد ترکیب پنج کربنی اولیه، استفاده می شود. در نتیجه آن، چرخه یک بار دیگر آغاز می شود.

این واکنش ها به طور چرخه ای انجام می گیرند، زیرا ترکیب پنج کربنی را بازسازی می کنند. در مجموع برای تشکیل هر مولکول قند سه کربنی، سه مولکول دی اکسیدکربن وارد چرخه می شود، به عبارتی با سه چرخه کالوین یک قند سه کربنی ساخته و از چرخه خارج می شود ATP و NADPH حاصل از واکنش های نوری، انرژی و هیدروژن مورد نیاز چرخه کالوین را فراهم می کند.





مرحله ی سوم فتوسنتز یا واکنش های تاریکی در استرومای کلروپلاست یا درون سیتوسول باکتری های فتوسنتزی انجام می گیرد و طی آن انرژی شیمیایی نهفته در ATP و NADPH به ترکیبات تولید شده از CO_2 (تثبیت دی اکسید کربن) منتقل می شوند.

✓ گام های انجام سه دور چرخه کالوین (رایج ترین نوع تثبیت دی اکسید کربن):

۱. ایجاد سه ترکیب شش کربنی ناپایدار از سه CO_2 و سه ریبولوز بیس فسفات (بنج کربنه دو فسفات) توسط آنزیم رویسکو

۲. شکسته شدن ۳ ترکیب ناپایدار شش کربنه به ۳ ترکیب (نه قند!!) سه کربنه و افزودن انرژی ۶ مولکول ATP و الکترون های ۶

(مولکول) NADPH دو ATP و دو NADPH به ازای هر چرخه (و تشکیل ۶ قند سه کربنه یک فسفات)

۳. خروج یکی از ۶ مولکول قند سه کربنه فوق از چرخه کالوین برای تولید مواد قندی

۴. تولید ۳ مولکول پنج کربنه (ریبولوز بیس فسفات) جدید از ۵ مولکول قند سه کربنه دیگر با مصرف سه ATP

✓ چرخه کالوین برای انجام ۳ بار خود نوشته شده است که برای ۳ بار انجام، ۳ مولکول CO_2 ، ۲، ۹ مولکول ATP و ۶ مولکول NADPH مصرف می کند.

✓ به ازای هر یک دی اکسید کربن وارد شده به چرخه کالوین ۳ عدد ATP و ۲ عدد NADPH مصرف و ۲ عدد قند سه کربنه تولید می شود .

✓ از ۶ مولکول سه کربنه، یکی (.....) از چرخه خارج شده و ۵ مولکول (.....) دوباره در چرخه استفاده می شوند.

✓ در چرخه کالوین ریبولوز بیس فسفات (قند پنج کربنه) هم تولید و هم مصرف می شود، ولی CO_2 و ATP تولید نمی شوند.

✓ در گام دوم چرخه کالوین ATP و NADPH و در گام سوم ATP مصرف می شود .

ATP ✓ مصرف شده در گام دوم و سوم با هم متفاوتند. به این معنی که در گام دوم صرفاً برای تولید انرژی و در گام سوم هم برای انرژی و هم برای دادن فسفات به ترکیب پنج کربنه یک فسفات (ریبولوز فسفات) عمل کرده و آن را ریبولوز بیس فسفات می کند.

NADP+ ✓ تولید شده در گام ۲ چرخه کالوین، به طور غیر مستقیم در تولید ATP نقش دارد، چون می تواند دوباره وارد زنجیره های انتقال الکترون شده و با دریافت الکترون موجبات انتقال پروتون ها به درون تیلاکوئید و خروج آن ها از طریق پروتئین ATP ساز و تولید ATP را فراهم آورد.

✓ در چرخه کالوین دی اکسید کربن، ATP، NADPH و مولکول قند پنج کربنه در بستره یا ماده زمینه کلروپلاست مصرف شده و در مقابل قند سه کربنه، ADP، NADP+ و مولکول قند پنج کربنه نیز در بستره تولید می شود.

✓ واکنش های تبدیلی چرخه کالوین (گام های دوم و سوم) انرژی خواهد اند.

زیست پیش فصل 8: شارش انرژی در جانداران

✓ پذیرنده الکترون ها در چرخه کالوین و در کل عمل فتوسنتز ترکیب سه کربنه و متعاقب آن قند سه کربنه است، در حالی که دهنده آن عمدتاً آب، در برخی موارد (در باکتری های گوگردی) $2H_2S$ یا (در باکتری های غیر گوگردی ارغوانی) ترکیبات آلی می باشد.

✓ برای ساخت یک مولکول سه کربنه CO_2 ۲ ATP، NADPH، الکترون، آب مصرف شده، چرخه کالوین بار انجام شده و مولکول (اتم اکسیژن و آب تولید می شود. همین طور برای ساخت یک مولکول گلوکز $2CO_2$ ATP، NADPH، الکترون، آب مصرف شده، چرخه انجام شده و مولکول (اتم اکسیژن و آب تولید می شود. پس تعداد CO_2 مصرفی، اکسیژن و آب تولید شده و تعداد انجام چرخه به تعداد کربن های ترکیب حاصل و تعداد ATP، NADPH و الکترون مصرفی به ترتیب برابر، و برابر تعداد کربن های تولید شده است .

عوامل مؤثر بر فتوسنتز: عوامل محیطی مختلفی بر فتوسنتز تأثیر می گذارند. محسوس ترین عامل نور است.

به طور کلی سرعت فتوسنتز با افزایش شدت نور، تا حدی که همه رنگیزه ها مورد استفاده قرار گیرند، زیاد می شود. در این حالت فتوسنتز به نقطه اشباع خود می رسد، زیرا رنگیزه ها در این حالت نمی توانند نور بیشتری جذب کنند. افزایش تراکم گاز دی اکسید کربن تا حدی معین نیز موجب افزایش سرعت فتوسنتز می شود.

فتوسنتز مانند سایر فرآیندهای متابولیکی، مرتبط با بسیاری از واکنش های آنزیمی دیگر است. به یاد دارید که دامنه دمایی خاصی برای فعالیت آنزیم ها مناسب است. به همین دلیل فتوسنتز در دامنه ای خاص از دماهای محیطی، بیشتر انجام می شود. دماهای خارج از این دامنه (چه بالاتر و چه پایین تر) ممکن است موجب غیر فعال شدن بعضی از (نه همه!!) این آنزیم ها شوند. سطح بهینه فتوسنتز هر گیاه خاص، به شدت نور، تراکم دی اکسید کربن و دما بستگی دارد.

تنفس نوری مانع فتوسنتز است: تنفس نوری فرآیندی وابسته به نور است که طی آن اکسیژن جذب و دی اکسید کربن آزاد می شود. این فرآیند در برخی گیاهان (یعنی گیاهان C_3 همراه با فتوسنتز انجام می شود. تنفس نوری مانع از وارد شدن دی اکسید کربن به چرخه کالوین می شود و به همین دلیل به عنوان فرآیندی مخالف با تولید کنندگی فتوسنتز در نظر گرفته می شود. همان طور که قبلاً گفته شد هر مولکول دی اکسید کربن که وارد چرخه کالوین می شود ابتدا با یک مولکول ۵ کربنی ترکیب می شود. آنزیمی که این واکنش را کاتالیز می کند روبیسکو (RuBisCO) نام دارد. در ادامه این واکنش نیز دو اسید سه کربنی تشکیل می شود. آنزیم

فصل 8: شارش انرژی در جانداران

زیست پیش

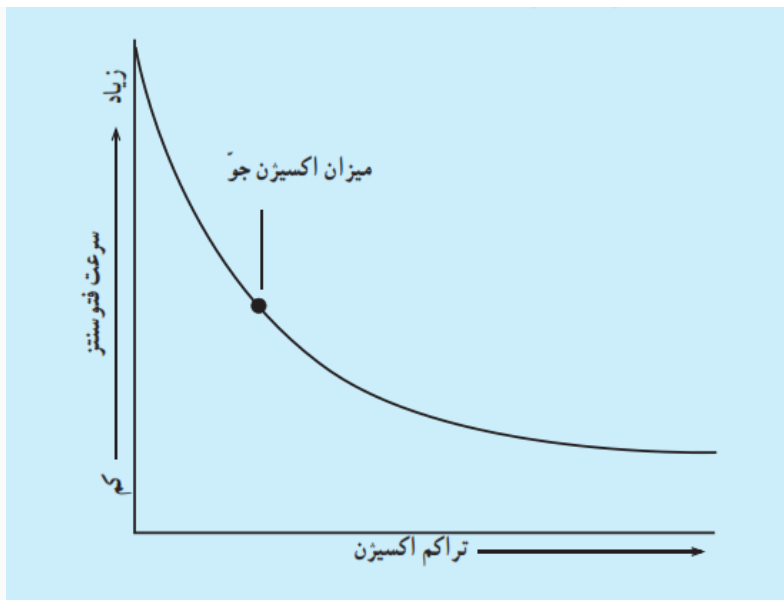
روبیسکو می‌تواند با اکسیژن نیز واکنش دهد، به عبارتی این آنزیم نه تنها موجب کربوکسیله شدن ترکیب ۵ کربنی (ترکیب آن با CO_2 می‌شود، بلکه واکنش اکسیژناسیون) ترکیب با O_2 آن را نیز کاتالیز می‌کند. به همین دلیل این آنزیم به روبیسکو (ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز - اکسیژناز) مشهور شده است. بنابراین مقادیر نسبتاً بالای CO_2 به نفع فرآیند فتوسنتز و مقادیر نسبتاً بالای اکسیژن به نفع فرآیند تنفس نوری است.

در تنفس نوری، مولکول ۵ کربنی که با اکسیژن ترکیب شده است، (در کلروپلاست) تجزیه و از آن یک مولکول ۳ کربنی و یک مولکول ۲ کربنی حاصل می‌شود. مولکول ۲ کربنی از کلروپلاست خارج و با واکنش‌هایی که بخشی از آن‌ها در میتوکندری انجام می‌شود، یک مولکول CO_2 آزاد می‌کنند. توجه داشته باشید که در فرآیند تنفس نوری، برخلاف تنفس سلولی مولکول ATP تولید نمی‌شود (فرآیند تنفس سلولی را در ادامه این فصل می‌خوانید).

✓ نسبت غلظت CO_2 به O_2 نشان دهنده‌ی این است که آنزیم روبیسکو فعالیت کربوکسیلازی داشته باشد یا اکسیژنازی. اگر این نسبت بالا باشد، فعالیت کربوکسیلازی انجام شده و CO_2 را به ریبولوز بیس فسفات اضافه کرده و چرخه‌ی کالوین را راه می‌اندازد، ولی اگر این نسبت پائین باشد، واکنش اکسیژنازی (تنفس نوری) غالب شده و ریبولوز بیس فسفات شکسته، علاوه بر مولکول سه کربنی، یک مولکول دو کربنی تولید می‌شود که از کلروپلاست خارج شده و در میتوکندری یک CO_2 آزاد می‌کند. از این مولکول دو کربنی ATP تولید نمی‌شود.

✓ بخشی از تنفس نوری در کلروپلاست و بخش دیگری از آن در میتوکندری انجام می‌گیرد. پیش‌ماده آن ریبولوز بیس فسفات و اکسیژن و محصول‌هایی آن قند سه کربنه و دی‌اکسید کربن است. در این مسیر ATP تولید نمی‌گردد.





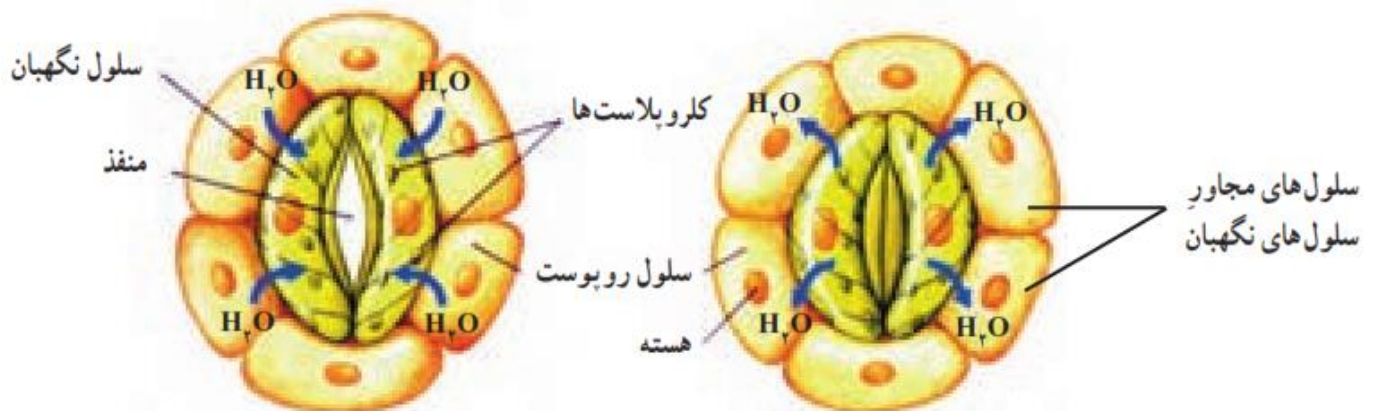
افزایش O_2 منجر به کاهش در میزان فتوسنتز می شود. چون فعالیت اکسیژنازی رو بیسکو بر خلاف فعالیت کربوکسیلازی آن افزایش پیدا می کند. ولی میزان فتوسنتز به صفر نمی رسد. به این معنی که در نهایت مقداری فعالیت کربوکسیلازی انجام می دهد.

سازگاری های ویژه ای تنفس نوری را کاهش می دهند: هوای گرم و خشک، تعرق گیاه را افزایش می دهد. از طرفی افزایش تعرق باعث می شود تا گیاه آب را از راه روزنه ها از دست بدهد. به همین دلیل روزنه های بسیاری از (نه همه!!) گیاهان در هوای گرم و خشک (برای جلوگیری از اتلاف آب گیاه) بسته می شوند. بسته بودن روزنه ها ممکن است دی اکسید کربن برگ را به حدی پایین آورد که وضع را برای انجام تنفس نوری مناسب سازد، زیرا CO_2 نه فقط وارد برگ نمی شود، بلکه با انجام فتوسنتز مصرف نیز می شود. این وضع سبب کاهش نسبت CO_2 به O_2 در برگ و در نتیجه مناسب شدن شرایط لازم برای فعالیت اکسیژنازی آنزیم رو بیسکو می شود. برای مقابله با این وضع چه سازگاری هایی در گیاهان انجام شده است؟

✓ منظور از سازگاری های به عمل آمده در مناطق گرم و خشک، وجود یک سری واکنش های فرعی و ضمیمه ای است که قبل از چرخه ی کالوین انجام می شوند و منجر به افزایش غلظت CO_2 در اطراف آنزیم رو بیسکو می گردد.

تعریق از راه روزنه‌های ویژه‌ای به نام روزنه‌های آبی که در منتهی‌الیه آوندهای چوبی قرار دارند انجام می‌شود. دهانه این روزنه‌ها همواره باز است. روزنه‌های آبی در حاشیه برگ‌های لادن، عشقه، گوجه‌فرنگی و یا در انتهای برگ‌های گیاهان تیره **گندمیان**

تیره گندمیان یعنی گندم و ذرت روزنه آبی دارند



۱- سلول‌های نگهبان پس از جذب آب انبساط طولی پیدا می‌کنند و از یکدیگر دور می‌شوند. در نتیجه روزنه‌ها باز می‌شود.

۲- سلول‌های نگهبان آب از دست می‌دهند و کوتاه‌تر می‌شوند. با نزدیک شدن این سلول‌ها به یکدیگر روزنه بسته می‌شود.

شکل ۳۲-۶- تغییرات شکل سلول‌های نگهبان باعث باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود.

گیاهان C4

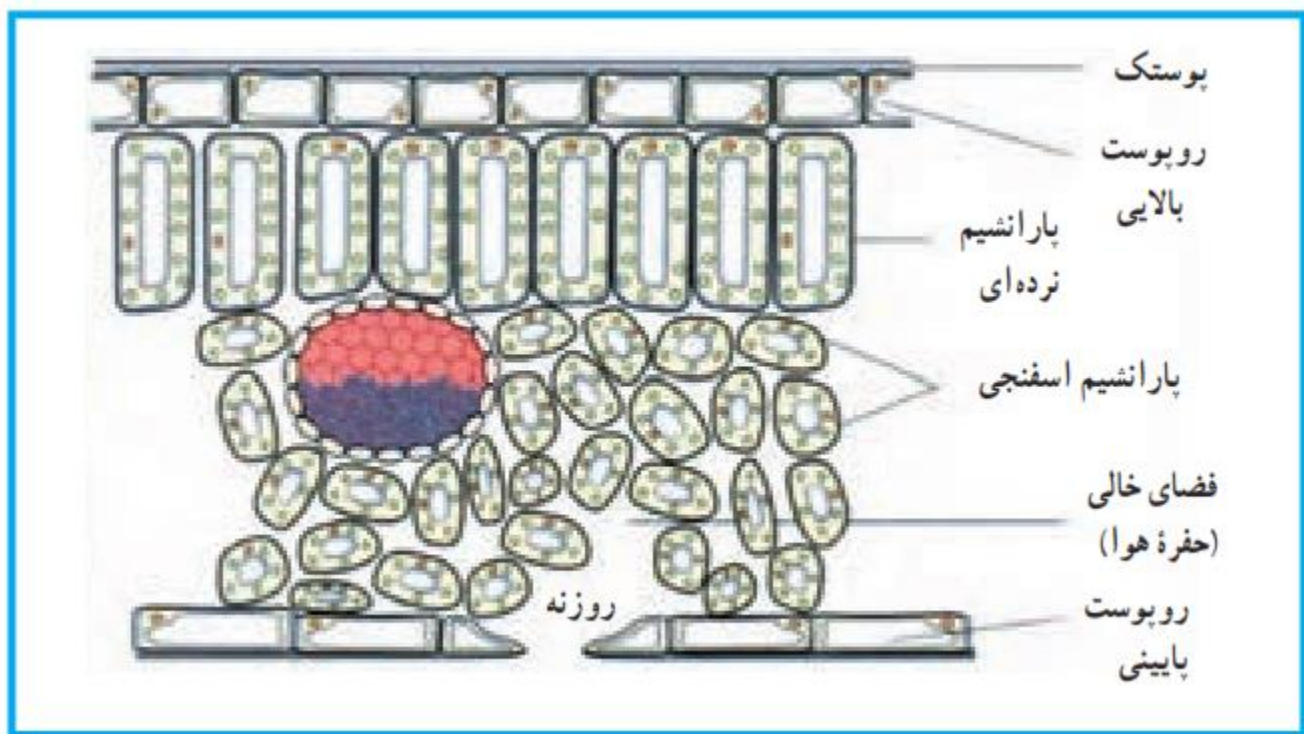
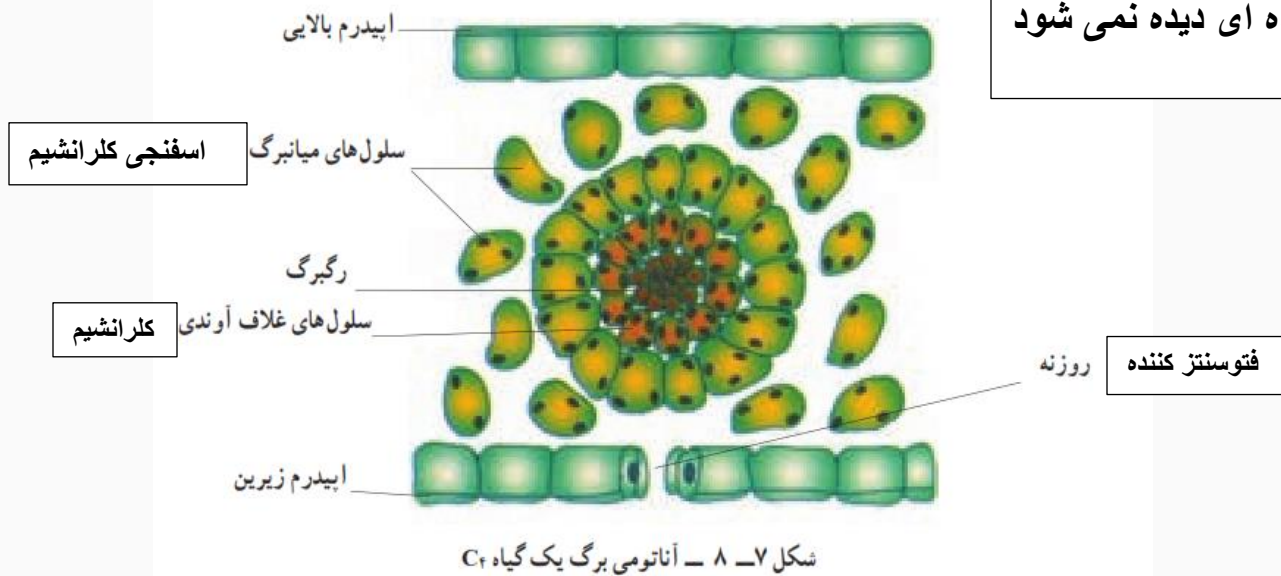


بیشتر گیاهان برای تثبیت دی اکسید کربن فقط از چرخه کالوین استفاده می کنند. به این گیاهان، گیاهان C3 می گویند، زیرا اولین مولکول آلی پایداری که در آن ها تشکیل می شود یک اسید ۳ کربنی است. در بعضی گیاهان، مانند نیشکر، ذرت و بعضی دیگر از گیاهان که نسبت به گرما مقاوم اند، قبل از چرخه کالوین واکنش های دیگری) در جهت تغلیظ CO₂ در اطراف رویسکو (انجام می گیرد. حاصل تثبیت دی اکسید کربن در این واکنش ها یک اسید ۴ کربنی است. به همین دلیل این گیاهان را گیاهان C4 می نامند. سلول های فتوسنتز کننده ی برگ (پارانسیم کلروفیل دار یا کلرانسیم) این گیاهان به دو شکل یافت می شوند:

۱. لایه ای از سلول های فشرده و کلروپلاست دار به نام سلول های غلاف آوندی که دور تا دور هر رگ برگ را احاطه می کند.

۲. سلول های (نامتراکم) میانبرگ که در تماس با فضاهای هوادار برگ هستند و در اطراف سلول های غلاف آوندی قرار دارند

در این شکل میانبرگ
نرده ای دیده نمی شود



گیاهان C_4 برای تثبیت CO_2 از مسیری دو مرحله ای استفاده می کنند. در این مسیر دو سیستم آنزیمی متفاوت و مجزا درگیر هستند. اولین سیستم (آنزیمی) در سلول های میانبرگ عمل می کند. این سیستم آنزیمی در واکنش های مربوط به ترکیب دی اکسید کربن با

یک اسید ۳ کربنی شرکت می کند. اسید ۴ کربنی حاصل (توسط پلاسمودسم ها) به سلول های غلاف آوندی منتقل می شود. دومین سیستم آنزیمی در سلول های غلاف آوندی عمل می کند. در این سلول ها دی اکسیدکربن از اسید ۴ کربنی آزاد و وارد چرخه کالوین می شود و همانند چرخه کالوین در گیاهان C3 قند سه کربنی را می سازد .

سیستم آنزیمی که در سلول های میانبرگ وجود دارد به طور مؤثری منجر به انتقال دی اکسیدکربن به درون سلول های غلاف آوندی می شود. بنابراین تراکم CO2 درون سلول های غلاف آوندی در مقایسه با جو بیشتر است. این حالت وضع را برای انجام فتوسنتز مناسب می کند و مانع از انجام تنفس نوری می شود. وجود تراکم بالای دی اکسیدکربن در اطراف آنزیم رویسکو در گیاهان C4 سبب شده است که حتی با وجود دماهای بالا و شدت های زیاد نور (عوامل مناسب برای تنفس نوری)، این گیاهان بر تنفس نوری غلبه کنند. بنابراین گیاهان C4 می توانند در حالی که روزنه های آن ها تقریباً بسته است، در دماهای بالا و شدت های زیاد نور با بیشترین کارایی عمل کنند و هم چنین مانع از افزایش دفع آب شوند. به همین دلیل گیاهان C4 در آب و هوای گرم (نه همیشه!!) سریع تر از گیاهان C3 رشد می کنند. کارایی گیاهان C4 در دمای بالا، شدت زیاد نور، یا کمبود آب (نه همیشه!!) تقریباً دو برابر گیاهان C3 است .

✓ از گیاهان C3 می توان به خزها، جلبک ها و اغلب بازدانگان و نهان دانگان اشاره کرد و از گیاهان C4 می توان به ذرت و نیشکر (علفی) اشاره نمود.

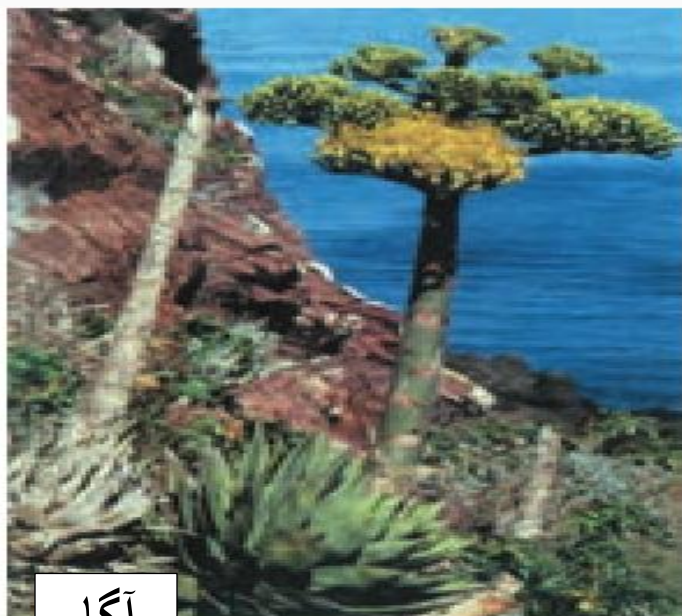
✓ در میانبرگ گیاهان C4 مثل نیشکر و ذرت (هر دو تک لپه ای) سلول پارانشیم نرده ای (یا استوانه ای) وجود ندارد و کل میانبرگ از سلول های اسفنجی پوشیده شده است .

✓ در گیاهان C3 در روزهای گرم و خشک به دلیل بسته شدن روزنه های هوایی دی اکسیدکربن وارد فضای بین سلول های برگ نشده و به دلیل کاهش موضعی CO2 و تولید O2 درون فضای برگ، فعالیت کربوکسیلازی آنزیم رویسکو کاهش یافته و فعالیت اکسیژنازی بالای آنزیم باعث تنفس نوری زیاد می شود. در این حالت شدت فتوسنتز کم خواهد شد.

✓ سیستم آنزیمی ۱ در سلول های میانبرگ CO2 را گرفته، به صورت یک مولکول چهارکربنه تثبیت کرده و از طریق پلاسمودسماقا به سیستم آنزیمی ۲ در سلول های غلاف آوندی می فرستد تا در آنجا ترکیب چهارکربنه را شکسته و CO2 تولید نمایند .

- ✓ در گیاهان C4 مثل فیشکر و ذرت تولید ترکیب چهارکربنه (تثبیت دی اکسیدکربن در مولکول چهارکربنه) در سلول های میانبرگ انجام می شود، ولی تجزیه آن و تولید CO2، همین طور چرخه ی کالوین و عمل آنزیم روبیسکو در سلول های غلاف آوندی اتفاق می افتد .
- ✓ سلول های میانبرگ، غلاف آوندی هر دو کلروپلاست دارند، هر دو واکنش های فوری را نیز انجام می دهند ولی واکنش های تاریکی (و چرخه کالوین) فقط در سلول های غلاف آوندی صورت می گیرد.
- ✓ سلول های تمایز یافته نگهبان روزنه کلروپلاست دارند و فتوسنتز انجام می دهند ولی دیگر سلول های روپوست فوقانی و روپوست تحتانی فاقد کلروپلاست بوده و فتوسنتز انجام نمی دهند .
- ✓ در گیاهان C4 مثل ذرت و فیشکر، در میانبرگ چرخه ی کالوین و آنزیم روبیسکو فعال نیست. در میانبرگ دی اکسیدکربن فقط به صورت اسید آلی ۴ کربنه تثبیت می شود.
- ✓ هر دو عمل تولید و تجزیه ی مولکول چهارکربنه، در سلول های میانبرگ و غلاف آوندی در طول روز انجام می گیرد. به این ترتیب در گیاهان C4 در طول روز واکنش های تاریکی اتفاق می افتد .
- ✓ تنفس فوری در گیاهان C3 دیده می شود و گیاهان C4 تنفس فوری ندارند. آنزیم روبیسکو غلاف آوندی در گیاهان C4 با وجود دمای بالا و شدت نور زیاد و بسته بودن روزنه ها فعالیت اکسیژنازی انجام نمی دهد، چون غلظت CO2 در غلاف آوندی بیشتر از جو است.

گیاهان CAM



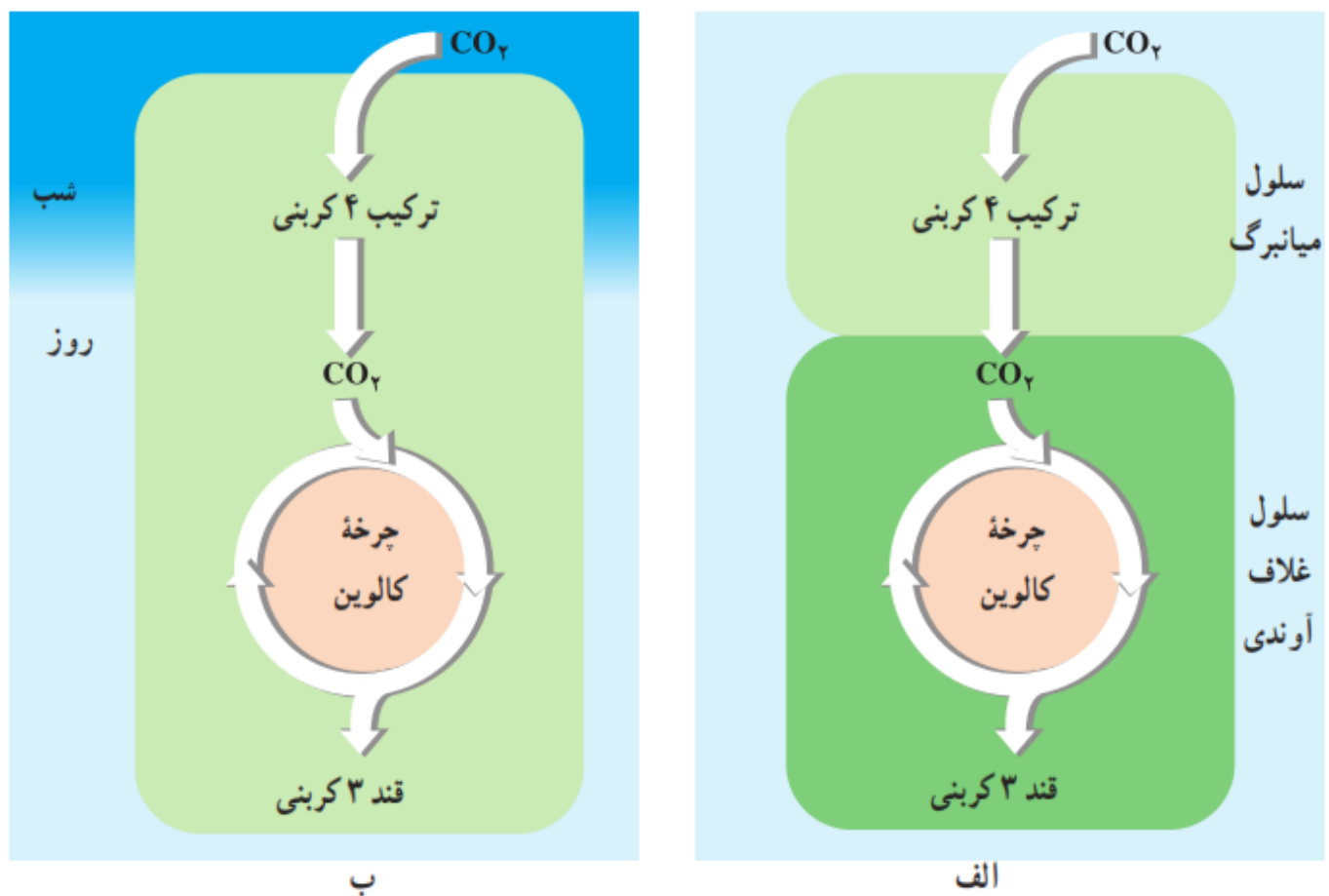
آگاو

گل ناز



نوعی دیگر از اختصاصی شدن فتوسنتز در گیاهان بیابانی، مانند کاکتوس وجود دارد. این نوع فتوسنتز را متابولیسم اسید کراسولاسه ای یا CAM می نامند. این نوع فتوسنتز، سازشی مهم برای گیاهان ساکن اکوسیستم های خشک، یا در وضعیت های بسیار خشک است. روزنه های گیاهان CAM برخلاف گیاهان C3 و C4 در شب باز می شود. این گیاهان در شب دی اکسید کربن را به صورت اسیدهای آلی تثبیت و سپس در واکوئل ذخیره می کنند) گیاهان تیره ی کراسولاسه (گل ناز) دی اکسید کربن را در شب به صورت مالیک اسید (C4)

ذخیره می کنند. (طی روز که دما بالا و رطوبت کم است، روزنه ها بسته اند، تا از انجام تعرق که می تواند برای گیاه مرگ آور باشد، ممانعت کنند. اسیدهای آلی که در شب تشکیل شده اند، در روز دی-اکسیدکربن آزاد می کنند. دی اکسیدکربن به درون کلروپلاست ها انتشار می یابد و وارد چرخه کالوین می شود که مولکول های پرا انرژی (ATP) و (NADPH) مورد نیاز خود را از واکنش های نوری فتوسنتز گرفته است. کارایی فتوسنتز نوع CAM چندان بالا نیست. گیاهانی که این نوع فتوسنتز را انجام می دهند، گرچه قادر به حفظ بقای خود در گرمای شدیدند، اما معمولاً به کندی رشد می کنند.



شکل ۸-۸ - تثبیت کربن در گیاهان C₄ (الف) و CAM (ب)

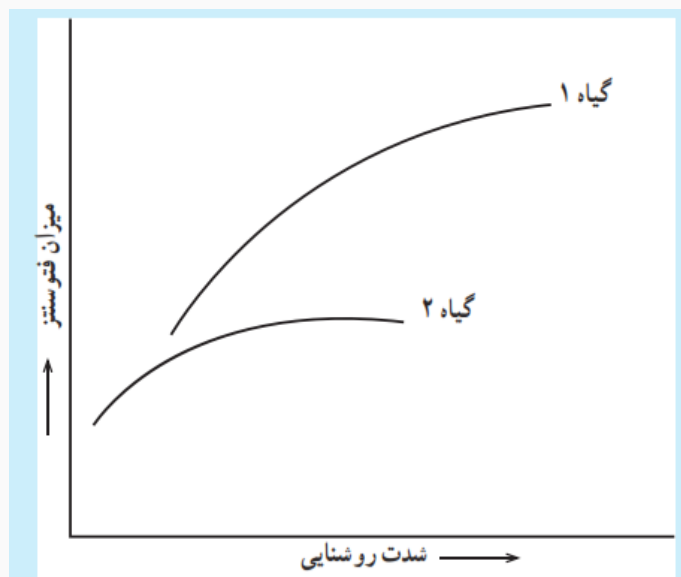
در کاکتوس، CO_2 فقط در شب جذب شده، در سیتوپلاسم به ترکیب چهار کربنه تبدیل می شود. این ترکیب چهار کربنه درون واکوئل ها به صورت ترکیب های آلی اسیدی چهار کربنه ذخیره می شود و در طول روز از تجزیه ی آن دی اکسید کربن به وجود آمده، به درون کلروپلاست وارد شده و در آن جا توسط چرخه کالوین تثبیت شده و به صورت قند سه کربنه در می آید.

✓ در گیاهان CAM تثبیت CO_2 در دو مرحله انجام می گیرد. هر دو مرحله درون یک سلول ولی درون دو موقعیت متفاوت (سیتوپلاسم و کلروپلاست) انجام می شوند. این در حالی است که در گیاهان C_4 تثبیت CO_2 در دو مرحله ولی در دو سلول متفاوت (سلول میانبرگ و سلول غلاف آوندی) اتفاق می افتد.

✓ در گیاهان C_4 جدایی مکانی بین اتفاقات وجود دارد و در گیاهان CAM جدایی از نوع زمانی است .

✓ در C_4 در طی شب و در CAM درون واکوئل ابتدا یک اسید چهار کربنه تولید و در نهایت در C_4 در طی روز و در CAM درون استروما یک اسید سه کربنه تولید می شود. این در حالی است که در گیاهان C_3 از همان ابتدا هم در طول روز و هم در شب، در استروما اسید سه کربنه تولید می شود.

✓ فرآورده ی نهایی در هر سه نوع گیاهان تولید قند سه کربنه توسط چرخه ی کالوین است که در استرومای کلروپلاست انجام می گیرد.



✓ فتوسنتز در گیاه ۱ در شدت‌های بالاتر نور و در گیاه ۲ در شدت پائین نور به اشباع می‌رسد. پس گیاه ۱ فورسند و گیاه ۲ بیشتر سایه پسند است. از طرفی میزان فتوسنتز در گیاه ۱ از گیاه ۲ بیشتر (تقریباً ۲ برابر آن) است. پس گیاه ۱ یک گیاه C4 و گیاه ۲ یک گیاه C3 می‌تواند باشد.

✓ کارایی فتوسنتزی گیاهان C4 از گیاهان C3 بیشتر و برای C3 از گیاهان CAM بیشتر است. در شدت‌های نوری بسیار کم، کارایی فتوسنتزی گیاهان C3 می‌تواند بیشتر از سایرین باشد.

زیست پیش
مردانی

برای تولید یک قند سه کربنه باید سه بار کالوین انجام شود

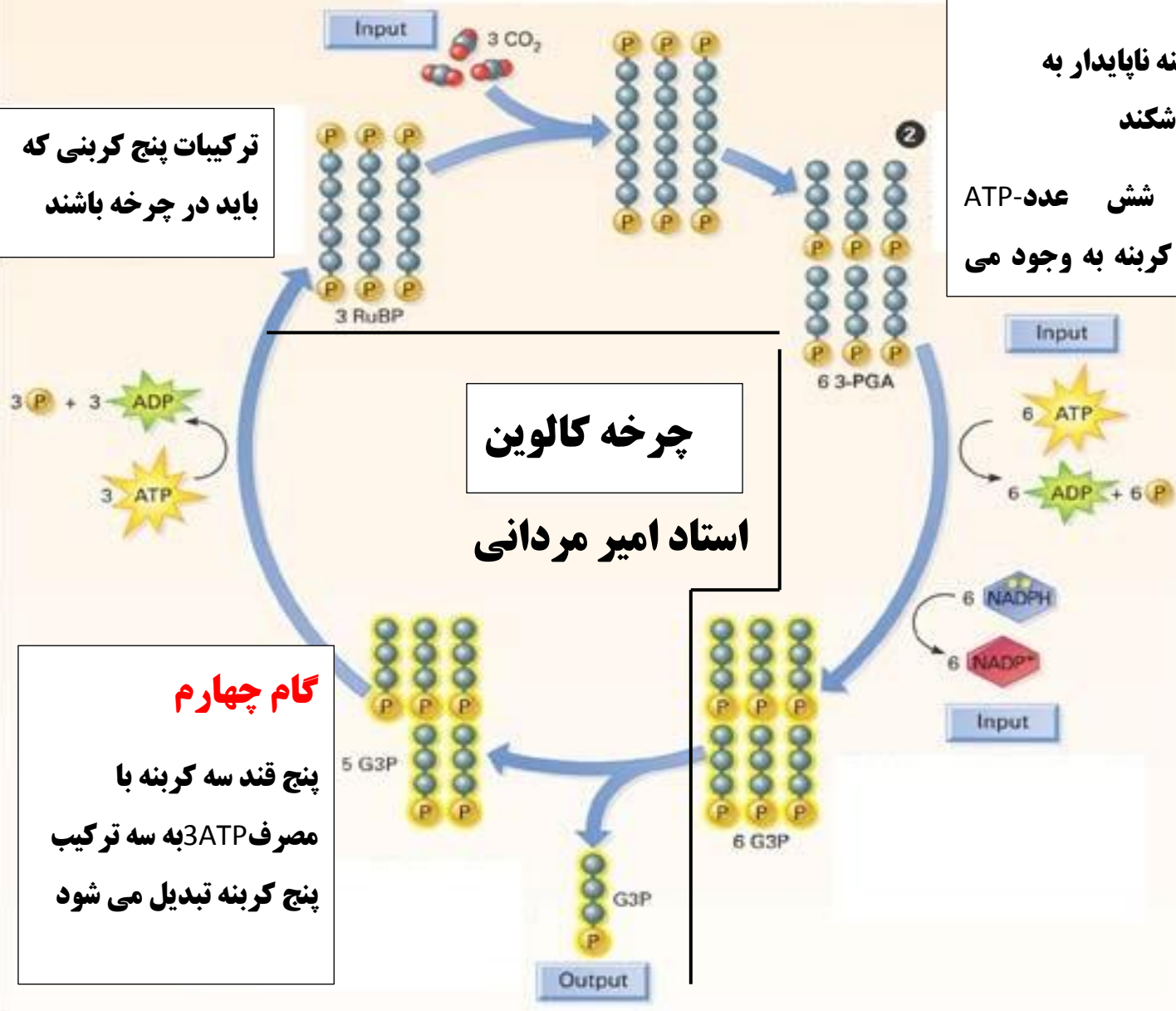
گام اول: به کمک آنزیم روبیسکو CO₂ به ترکیب پنج کربنه اضافه می شود

گام دوم

ابتدا ترکیب شش کربنه ناپایدار به ترکیبات سه کربنه می شکند

سپس با مصرف شش عدد ATP و NADPH شش کربنه به وجود می

ترکیبات پنج کربنی که باید در چرخه باشند



کالوین
مرحله تاریکی
در
استروما
کلروپلاست

گام چهارم

پنج قند سه کربنه با مصرف 3ATP به سه ترکیب پنج کربنه تبدیل می شود

گام سوم: قند سه کربنه ایجاد شده از چرخه خارج می شود

AMIR MARDANI