فصل ۶
تامین انرژی برای ساختن ماده آلی

دانستیم انرژی مورد نیاز ما برای انجام فعالیت‌های حیاتی، از اکسایش مواد مغذی مانند گلوکز تأمین می‌شود. اکنون پرسش این است که منشأ انرژی ذخیره شده در ترکیباتی مانند گلوکز چیست؟ چه فرایند یا فرایندهایی در دنیای حیات وجود دارد که با ساختن ماده آلی، انرژی را در آنها ذخیره می‌کند؟ چه جاندارانی می‌توانند این فرایندها را انجام دهند و این جانداران چه ویژگی‌هایی دارند؟

گفتار ۱

فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

می‌دانید در فتوسنتز با استفاده از انرژی نور خورشید، CO_2 را به ماده آلی (قند) تبدیل می‌کنند. فرایند فتوسنتز را به طور خلاصه با رابطه زیر نشان می‌دهند.

$$۶CO_۲ + ۶H_۲O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۶O_۲$$

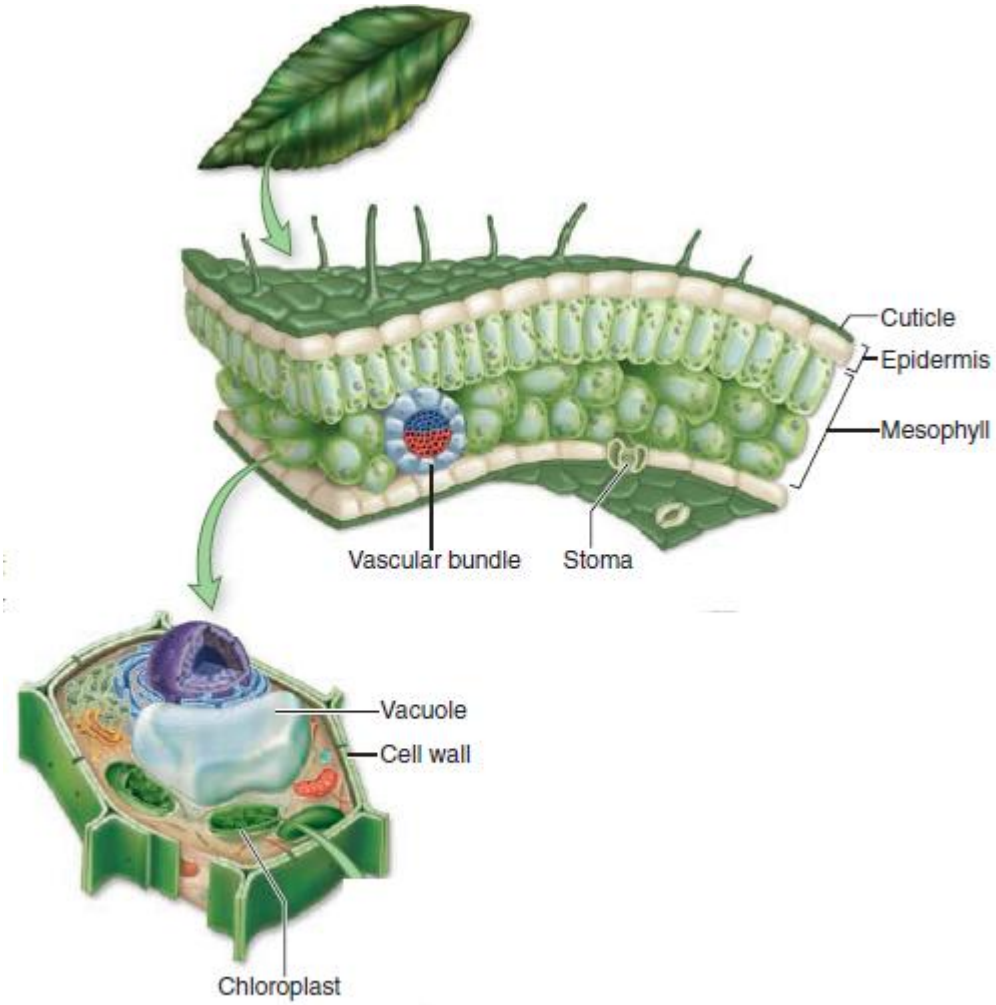
برای اینکه جانداری بتواند فتوسنتز انجام دهد، چه ویژگی هایی باید داشته باشد؟ یکی از این ویژگی‌ها داشتن مولکول های رنگیزه ای است که بتوانند انرژی نور خورشید را جذب کنند. همچنین این رنگیزه ها باید در سامانه‌ای برای تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی، قرارداشته باشند.

انواعی از جانداران می توانند فتوسنتز کنند. در ادامه به بررسی این فرایند در گیاهان می پردازیم.

برگ ساختارتخصص یافته برای فتوسنتز

برگ مناسب‌ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان و دارای مقدار فراوانی سبزدیسه است. می دانید که فتوسنتز در سبزدیسه ها انجام می شود.

برگ گیاهان دو لپه از دو بخش پهنک و دمبرگ تشکیل شده است. در سطح رویی و زیرین پهنک برگ به ترتیب، روپوست رویی و زیرین قرار دارند. میانبرگ شامل یاخته های نرم آکنه ای است که دسته های آوندی را در بر می گیرند(شکل۱).همان طور که در شکل یک می‌بینید، سبزدیسه‌ها در یاخته‌های میانبرگ و یاخته‌های نگهبان روزنه قرار دارند.



شکل ۱. ترسیمی از برگ. در این شکل تعداد سبزدیسه ها بسیار بیشتر از چیزی است که در اینجا نشان داده شده است.

(نام گذاری میانبرگ نرده ای و اسفنجی، روپوست رویی و زیرین)

بیشتر بدانید

انواع میانبرگ

میانبرگ به شکل های متفاوتی در گیاهان دیده می شود.در یک نوع، میانبرگ به صورت نرده ای و اسفنجی دیده می شود. میانبرگ نرده ای به سمت روپوست رویی و از یاخته های نرده ای شکل و به هم فشرده؛ و میانبرگ اسفنجی به سمت روپوست زیرین و از یاخته هایی تشکیل شده است که از هم فاصله دار و پراکنده اند.در نوعی دیگر، میانبرگ فقط از میانبرگ اسفنجی تشکیل شده است.

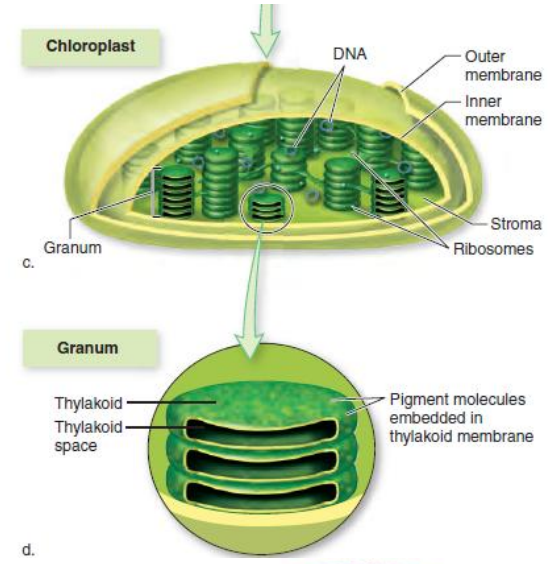
بیشتر بدانید

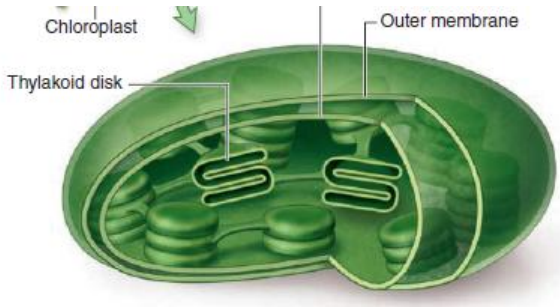
شکل های متفاوت

بعضی برگ ها دمبرگ ندارند، مانند برگ ذرت. بعضی برگ ها مرکب هستند، یعنی از تعدادی برگچه درست شده اند، مانند برگ درخت گردو. لبه بعضی برگ ها دارای بریدگی است ، مانند برگ درخت بلوط و درخت انجیر.

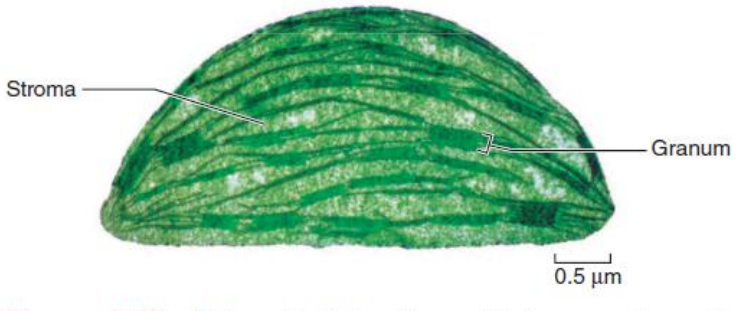
سبزدیسه همانند میتوکندری دارای غشای بیرونی و غشای درونی است.فضای درون کلروپلاست با سامانه ای غشایی به نام **تیلاکوییید** به دو بخش فضای درون تیلاکوییدها و **بستره** تقسیم شده است. تیلاکوییدها ساختارهای غشایی و کیسه مانندی هستند که از روی هم قرار گرفتن آنها گرانوم ایجاد می شود. در هر کلروپلاست تعدادی گرانوم وجود دارد(شکل ۲).

شکل۲. ساختار کلروپلاست (الف: ترسیمی، ب: تصویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی)





تیلاکوییدها به هم راه دارند.



غشای تیلاکویید محل قرار گیری رنگیزه های فتوسنتزی است. افزون بر سبزینه که بیشترین رنگیزه در سبز دیسه هاست، کاروتنوئیدها نیز در غشای تیلاکوئید وجود دارند.وجود رنگیزه‌ها متفاوت، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج های متفاوت نور افزایش می دهد.سبزینه همان‌طور که از نامش پیداست ، به رنگ سبز دیده می‌شود. آیا می‌دانید چرا؟

فعالیت

طراحی آزمایش

با توجه به اینکه کلروفیل به رنگ سبز دیده می‌شود، پیش‌بینی می‌کنید، چه بخشی از نور مرئی را جذب نکند؟ برای درستی پیش‌بینی خود آزمایشی طراحی کنید.

در گیاهان سبزینه‌های a و b وجود دارند. اختلاف اندک در ساختار مولکولی این دو سبزینه، سبب می‌شود که حداکثر جذب آنها در طول موج‌های متفاوتی باشد. کاروتئوئیدها به رنگ‌های زرد ، نارنجی و قرمز دیده می‌شوند و بیشترین جذب آنها در بخش آبی و سبز نور مرئی است(شکل ۳).

Photosynthesis: The Light Reactions **115**

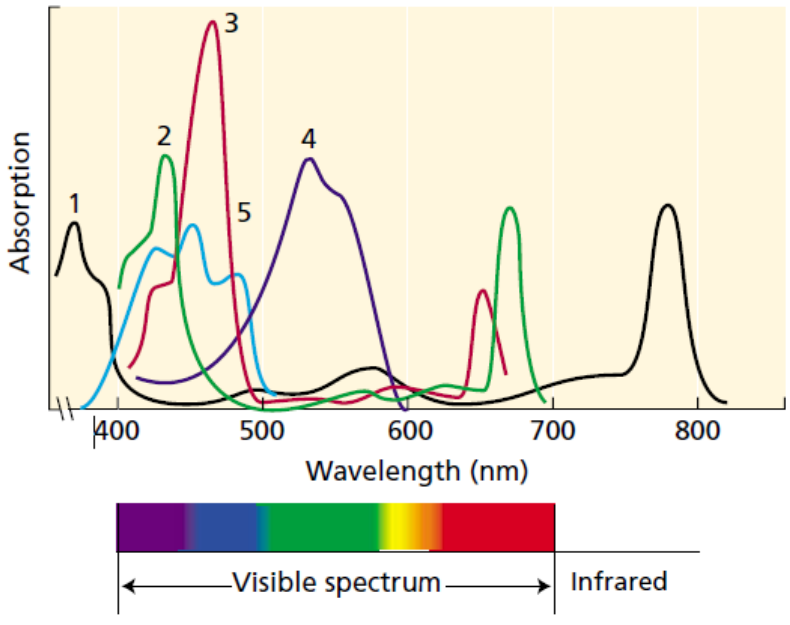


FIGURE 7.7 Absorption spectra of some photosynthetic

شکل۳.طیف جذبی رنگیزه های فتوسنتزی. وجود سبزینه‌های (سبز)a ، b(قرمز) و کاروتنوئیدها (آبی)به استفاده حداکثری از انرژی نورمرئی می‌انجامد. (حذف منحنی شماره ۱ و ٤ ، نام گذاری منحنی های۲،۳،۵)

بیشتر بدانید

سبزینه های متفاوت

انواعی سبزینه در فتوسنتزکنندگان شناخته شده است.

سبزینه a در همه ، به جز باکتری ها، سبزینه b

در گیاهان و جلبک های سبز وجود دارد.

دربعضی جلبک ها سبزینه های c و d

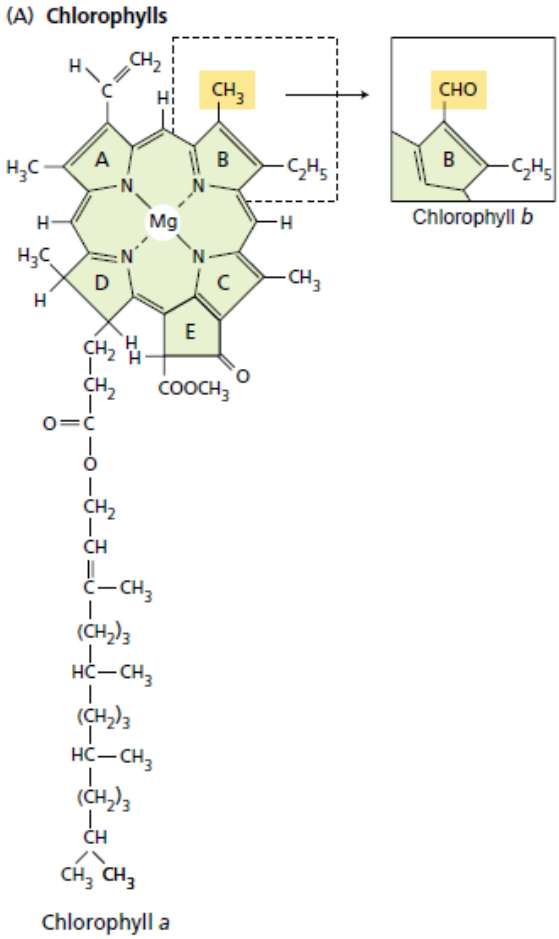
نیز وجود دارد.

علت تفاوت جذب سبزینه های a و b

به اختلاف اندکی درساختار مولکولی این

رنگیزه ها مربوط می شود که در شکل

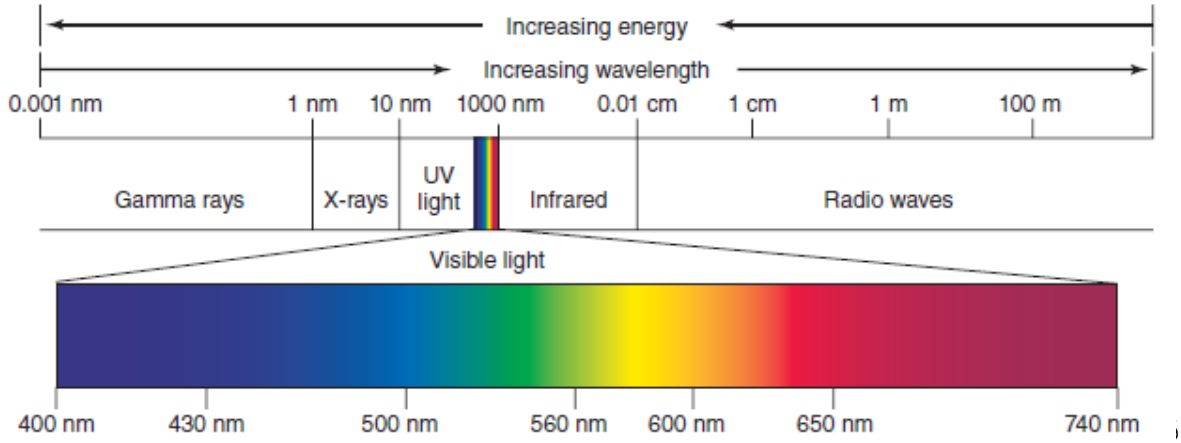
مشخص شده است.



بیشتر بدانید

طیف الکترومغناطیس

بخش مرئی نورخورشید، بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس خورشید است. (فارسی می شود)



رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه هایی به نام فتوسیستم I و II (به ترتیب یک و دو)قرار دارند. هر فتوسیستم شامل چندین آنتن گیرنده نور و یک مرکز واکنش است. آنتن گیرنده نور از رنگیزه

های متفاوت (کلروفیل ها و کاروتنوئیدها) و پروتئین ها ساخته شده است.آنتن ها انرژی نور را می گیرند و به مرکز واکنش منتقل می کنند.

مرکز واکنش، شامل مولکول‌های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند.

حداکثر جذب سبزینه a در فتوسیستم I در طول موج ۷۰۰ نانومتر و حداکثر جذب این سبزینه در فتوسیستم II در طول موج ۶۸۰ نانومتر است. بر همین اساس به سبزینه a در فتوسیستمI ، P۷۰۰ و به سبزینه a در فتوسیستم II ، P۶۸۰ نیز می‌گویند.

پروتئین‌های مراکز واکنش فتوسیستم های I و II با هم متفاوت اند ؛ به همین علت حداکثر جذب در هر فتوسیستم در طول موج‌های متفاوتی است.

فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با ترکیباتی به هم متصل می‌شوند که درجهٔ اکسایش آنها با گرفتن الکترون ، کاهش و با از دست دادن آن افزایش می‌یابد.

فعالیت

گفت و گو کنید

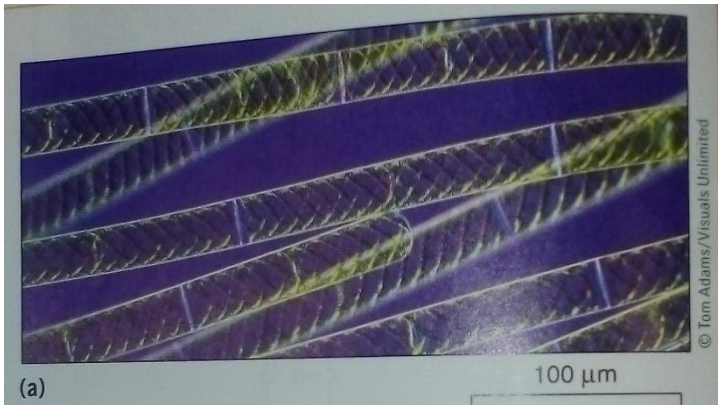
آیا همهٔ طول موج‌های نور در فتوسنتز موثرند؟ برای پاسخ به این پرسش آزمایشی با استفاده از جلبک رشته‌ای سبز ،نوعی باکتری هوازی، نور و منشور برای تجزیه نور انجام شد.

این جلبک ، کلروپلاست های نواری شکل و بزرگی دارد. اگر این فرض درست باشد که همهٔ طول موج‌های نور در فتوسنتز موثرند، انتظار داریم که میزان تولید و درنتیجه تراکم اکسیژن در اطراف جلبک رشته‌ای یکسان باشد.

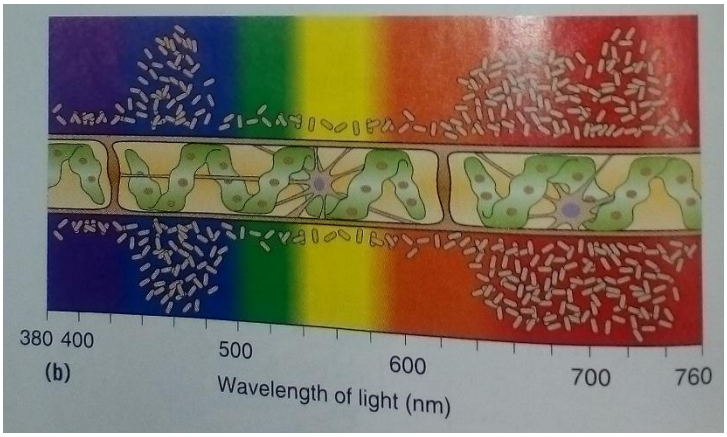
جلبک را روی سطحی ثابت کردند و در لوله آزمایشی شامل آب و باکتری های هوازی قرار دادند. با استفاده از منشور، نور معمولی تجزیه و به لوله آزمایش تابانده شد. بعد از گذشت مدتی، مشاهده شد که باکتری‌ها در بعضی قسمت‌ها تجمع یافته‌اند.

الف) تجمع باکتری ها در محل تابش چه طول موج هایی است؟ چرا؟

توضیح دهید در این آزمایش چگونه این فرضیه تائید می شود که سبزینه رنگیزه اصلی در فتوسنتز است.



الف)جلبک سبز رشته ای



ب) ترسیمی از نتیجه آزمایش

بیشتر بدانید

نام گذاری فتوسیستم ها

شاید انتظار داشته باشید چون فتوسیستم II قبل از فتوسیستم I فعالیت می کند، نامگذاری این فتوسیستم ها برعکس باشد.اما اولین فتوسیستمی که کشف شد ،فتوسیستم I بود. این فتوسیستم در دهه ۵۰ میلادی کشف و چند سال بعد فتوسیستم دیگری شناسایی شد که آن را فتوسیستم II نامیدند.

گفتار ۲ واکنش های فتوسنتزی

واکنش‌های فتوسنتزی در دو گروه واکنش‌های وابسته به نور و مستقل از نور انجام می‌شوند.در ادامه به معرفی این دو نوع واکنش می پردازیم.

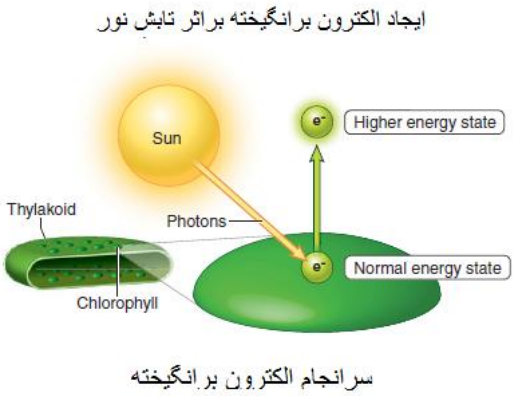
واکنش‌های وابسته به نور

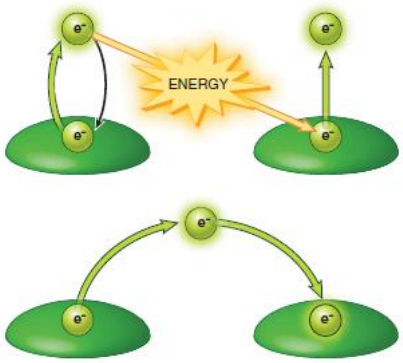
وقتی نور به مولکول‌های رنگیزه می تابد، انرژی آن ممکن است سبب شود تا الکترون انرژی بگیرد و از مدار الکترونی خود خارج شود و به تراز انرژی بالاتری برود. به چنین الکترونی ، **الکترون برانگیخته** می‌گویند، زیرا پرانرژی و از مدار خود خارج شده است. الکترون برانگیخته ممکن است با دادن انرژی خود به مولکول رنگیزه بعدی ، به مدار خود برگردد. یا اینکه از مولکول خارج و به وسیله **مولکول پذیرنده الکترون** گرفته شود.

شکل ٤. ایجاد الکترون برانگیخته و سرانجام آن.

الکترون با ازدست دادن انرژی به ترازخود بر می گردد یا اینکه از مولکول خارج و به مولکول دیگری می رود.

شکل فارسی می شود





انرژي را به مولکول مجاورمنتقل کند
و به سطح انرژي قبلي خود برگردد

يا

به مولکول مجاور برود

در فتوسنتز انرژی الکترون های برانگیخته در رنگیزه های موجود در آنتن ها از رنگیزه ای به رنگیزه دیگر منتقل و در نهایت، به کلروفیل a در مرکز واکنش می رود و سبب برانگیخته شدن الکترون در این کلروفیل می‌شود. الکترون برانگیخته در اینجا از کلروفیل a خارج و به اولین پذیرنده الکترون منتقل می‌شود (شکل ۵).

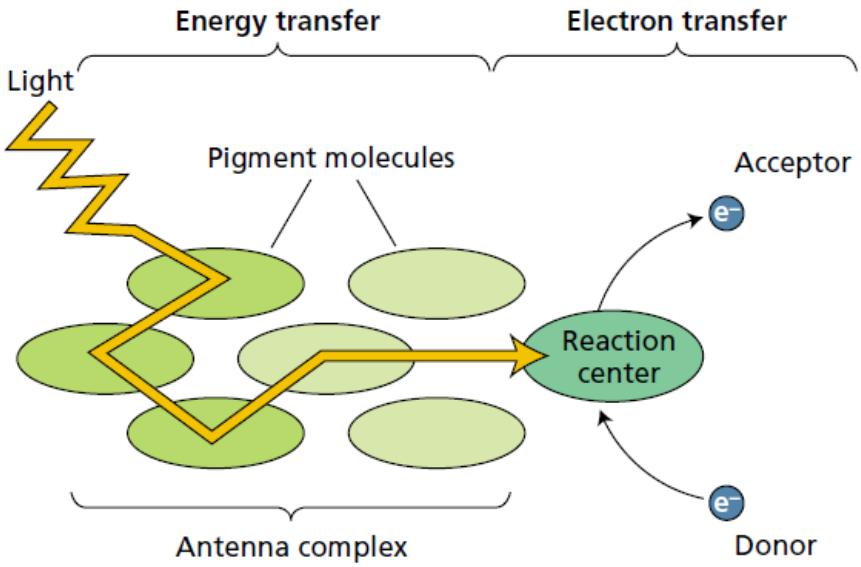


FIGURE 7.10 Basic concept of energy transfer during photo-

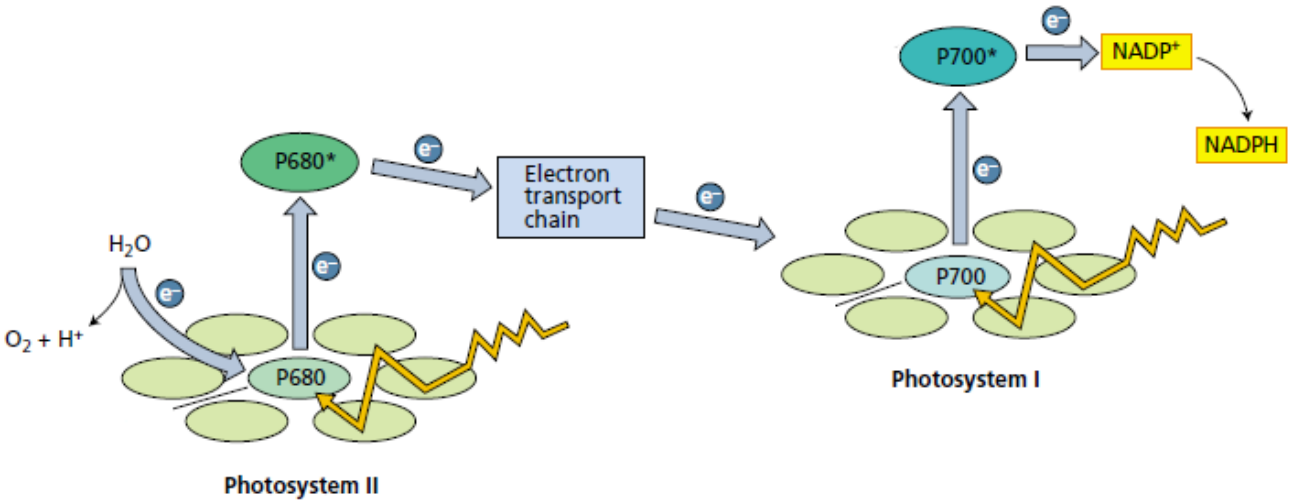
شکل ۵. انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن. (شکل فارسی می شود)

الکترون، سپس در زنجیرهٔ انتقال الکترون از مولکولی به مولکول دیگر منتقل و در نهایت به مولکول NADP+ [1] (اِن اِی دی پی مثبت)می رسد.

$NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH (اِن اِی دی پی اِچ)تبدیل می شود(شکل ٦).

$$NADP^+ + 2\,e^- \longrightarrow NADP^- \qquad NADP^- + H^+ \longrightarrow NADPH$$

[1] Nicotinamid Adenine dinucleotide phosphate



شکل٦. طرحی از فتوسیستم ها و انتقال الکترون در واکنش های نوری . (شکل فارسی می شود)

تجزیه نوری آب: گفتیم که فتوسیستم‌ها در اثر برخورد نور، الکترون از دست می‌دهند. این کمبود الکترونی باید جبران شود. اکنون پرسش این است که کمبود الکترونی هر فتوسیستم چگونه جبران می‌شود.

به شکل ٦ نگاه کنید! در این شکل می‌بینید که الکترون‌ها از فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌روند و در نتیجه کمبود الکترونی فتوسیستم I جبران می‌شود. اما کمبود الکترونی فتوسیستم II چگونه جبران می شود؟

همان طور که ٦می بینید، مولکول های آب تجزیه و الکترون های حاصل به فتوسیستم II می روند. بنابراین آب الکترون های مورد نیاز این فتوسیستم را تامین می کند. همان طور که دیدید نور علت تجزیه آب در فتوسیستم II است. این اتفاق در صورت نبود نور رخ نمی دهد؛ بنابراین به این نوع تجزیه آب ، **تجزیه نوری آب** می گویند.

واکنش های زیر تجزیه نوری آب را در تیلاکوییدهای فتوسیستم II نشان می دهند. حاصل تجزیه آب در فتوسیستم II ، الکترون ، پروتون و اکسیژن است.

$$۲H_2O \longrightarrow 2\,OH^- + 2\,H^+ \qquad 2\,OH^- \longrightarrow H_2O + ½\,O_2 + 2\,e^-$$

الکترون ها،کمبود الکترونی سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم II را جبران می کنند،و پروتون ها در فضای درون تیلاکوئیدها تجمع می‌یابند.

زنجیره های انتقال الکترون : دو نوع زنجیره انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید وجود دارد. در یک زنجیره، الکترون‌ها از مرکز واکنش فتوسیستم II ، به پذیرنده الکترون می روند و پس از طی زنجیره ای از مولکول های ناقل الکترون وارد فتوسیستم I می شوند.

در زنجیره دیگر الکترون های پرانرژی از مرکز واکنش فتوسیستم I ، ابتدا به مولکول پذیرنده و پس از طی زنجیره ای از ناقل‌های الکترون به مولکول $NADP^+$ می‌رسند.

گاهی واکنش‌های نوری بدون دخالت فتوسیستم II نیز انجام می‌شوند.در این حالت نور باعث ایجاد الکترون‌های برانگیخته در فتوسیستم I می‌شود. این الکترون‌ها به +NADP نمی‌روند، بلکه دوباره به فتوسیستم I برمی‌گردند.در این حالت فقط ATP تشکیل می شود و NADPH به وجود نمی آید.

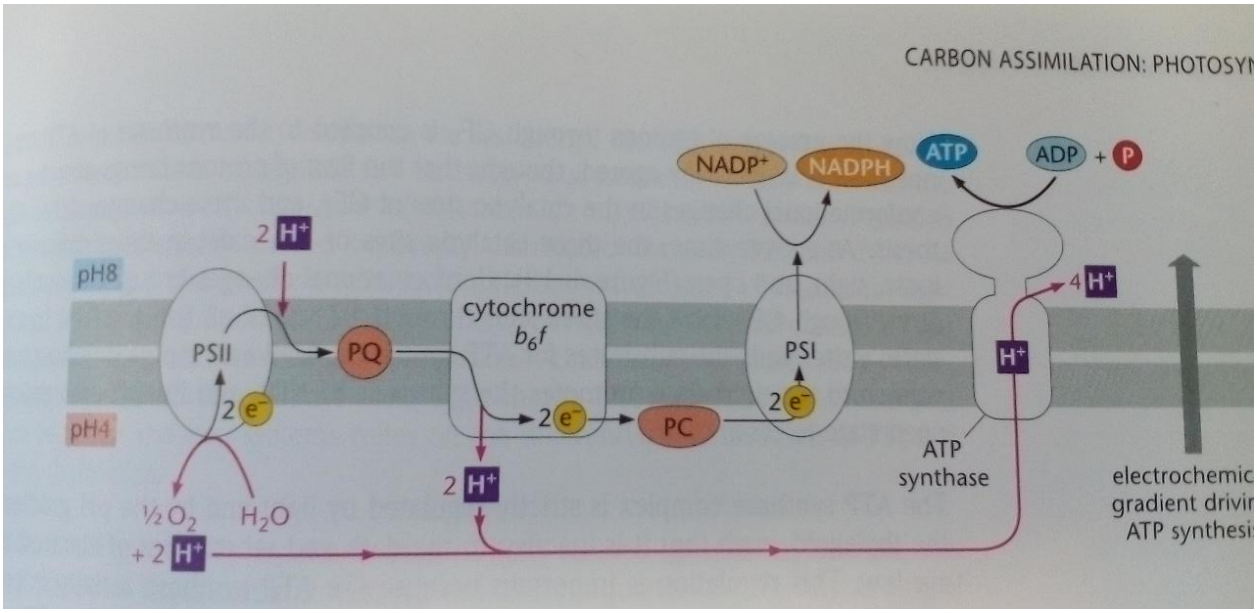
ساخته شدن ATP در فتوسنتز

یکی از اجزای زنجیره انتقال الکترون بین فتوسیستم II و I ، پروتئینی است که مانند یک پمپ عمل می کند. مقداری از انرژی الکترون ها ، هنگام عبور از این پمپ، برای انتقال پروتون ها از بستره به فضای درون تیلاکوئید مصرف می شود. بنابراین با گذشت زمان تعدادی پروتون از بستره به فضای درون تیلاکوئید وارد می شود؛ از طرفی تعدای پروتون نیز از تجزیه آب ، درون فضای تیلاکوئید به وجود می آید. درنتیجه به تدریج تراکم پروتون ها در فضای درون تیلاکوئیدها نسبت به بستره افزایش می یابد؛ بنابراین شیبی از غلظت پروتون از فضای درون تیلاکوئیدها به سمت بستره ایجاد می شود.

پروتون ها بر اساس شیب غلظت خود می‌خواهند از فضای درون تیلاکویید به بستره بروند، اما نمی توانند از طریق انتشار از غشای تیلاکویید عبور کنند.پس پروتون ها از چه راهی به بستره می روند؟

در غشای تیلاکوئید آنزیمی به نام **آنزیم ATP ساز** وجود دارد. پروتون ها فقط از طریق این آنزیم می توانند به بستره بروند. این آنزیم مشابه آنزیم ATP ساز در میتوکندری‌هاست و هنگام عبور پروتون‌ها از کانال آن، انرژی مورد نیاز برای ساخته شدن ATP از ADP و فسفات فراهم می‌شود.

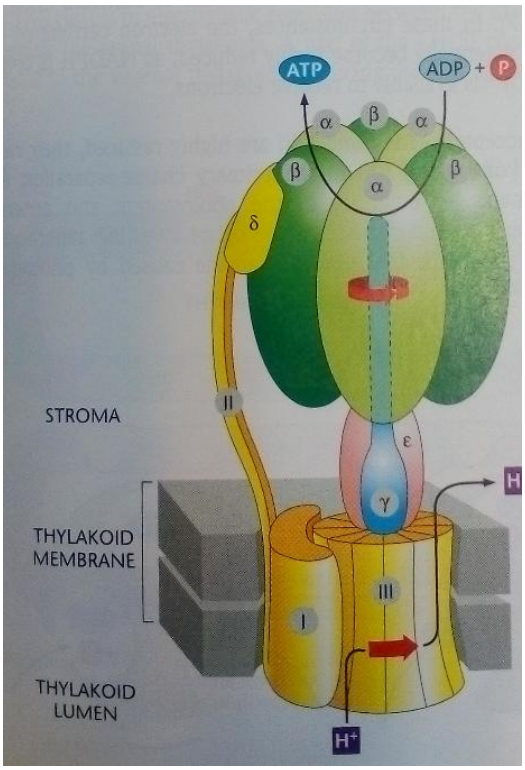
به ساخته شدن ATP در واکنش های نوری ، **ساخته شدن نوری ATP** می گویند، زیرا نور منشا انرژی لازم برای ساخته شدن این مولکول پر انرژی است.



شکل ۷. در واکنش های نوری ATP و NADPH تولید می شود. (فارسی و مطابق متن ساده سازی می شود)

بیشتر بدانید

آنزیم ATP ساز



شکل زیر طرحی از آنزیم ATP ساز در غشای تیلاکوئیدهارا نشان می دهد.

با عبور پروتون از بخش کانال این آنزیم، سر می چرخد و در جهت مناسب برای ترکیب ADP با فسفات قرار می گیرد. درنتیجه ATP ساخته می شود.

بیشتر بدانید

طرح Z

طرحی که در شکل ٦ می بینید، براساس سطح انرژی ترکیبات در فتوسیستم ها به شکل حرف Z از الفبای زبان انگلیسی ترسیم شده است؛ اما اجزای فتوسیستم ها در واقع مانند چیزی است که در شکل ۷ ترسیم شده است.

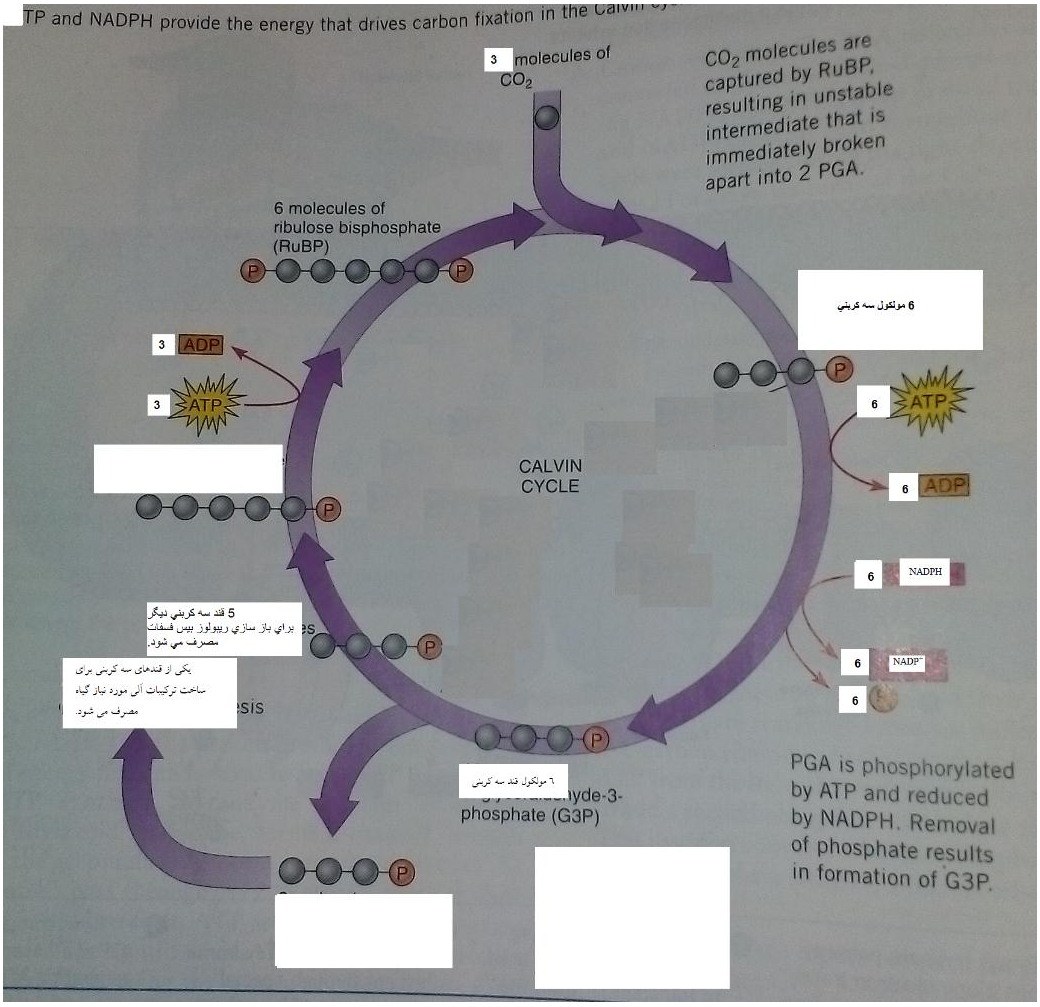
واکنش‌های مستقل از نور

می‌دانیم که در فتوسنتز مولکول‌های CO_2 به قند تبدیل می‌شوند. همان‌طور که تجزیه مولکول‌های قند به یکباره رخ نمی‌دهد،ساخته شدن آنها نیز فرایندی مرحله‌ای است.

می‌دانید درجه اکسایش اتم کربن در مولکول قند نسبت به کربن در مولکول CO_2 کاهش یافته است، بنابراین گیاه برای ساختن قند، به انرژی و منبعی برای تأمین الکترون نیاز دارد که از واکنش های وابسته به نور تامین می شوند.

ساخته شدن قند در چرخه‌ای از واکنش‌ها ، به نام **چرخهٔ کالوین** رخ می‌دهد. این واکنش ها در بستره سبزدیسه انجام می شوند.

در چرخهٔ کالوین CO2 با قندی پنج کربنی به نام **ریبولوزبیس فسفات ترکیب** می‌شود و نتیجه آن تشکیل ترکیب شش کربنی ناپایداری است که بلافاصله تجزیه و دو مولکول ۳ کربنی از آن ایجاد می شود.



شکل ۸– چرخه کالوین (مطابق متن بازسازی می شود)

مولکول های سه کربنی با دریافت انرژی ، فسفات و الکترون در نهایت به قند های سه کربنی تبدیل می شوند. تعدادی از این قندها برای ساخته شدن گلوکز، ساکارز و ترکیبات آلی دیگر و تعدادی نیز برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات به مصرف می رسند.

گرچه واکنش‌های کالوین مستقل از نور انجام می‌شوند، اما همان‌طور که در شکل۸ می‌بینید انجام این واکنش‌ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنشی‌های نوری است.

در چرخه کالوین دیدیم که CO_2 برای ساخته شدن ترکیب آلی (غیر معدنی) به کار می‌رود. به این فرایند **تثبیت کربن** می‌گویند.

دیدیم اولین مادهٔ آلی پایدار ساخته شده ، ترکیبی ۳ کربنی است؛ به همین علت به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها در چرخهٔ کالوین انجام می‌شود، **گیاهان** C_3 می‌گویند. اکثرگیاهان، C_3 هستند؛ گرچه انواع دیگری از تثبیت کربن در طول حیات گیاهان روی زمین نیز شکل گرفته است که در گفتار بعد به آنها می پردازیم.

بیشتر بدانید

شناسایی چرخه کالوین

کشف مواد رادیواکتیو این امکان را برای پژوهشگران فراهم آورد تا با استفاده از ایزوتوپ های عناصر، بعضی فرایندهای زیستی را شناسایی کنند.مثلا کالوین با استفاده از کربن -۱٤ توانست با ردیابی کربن، مسیر فتوسنتزی C_3 را معرفی کند.

فتوسنتز و عوامل محیطی

بدیهی است که فرایندی مانند فتوسنتز تحت تاثیر شرایط محیطی باشد. به نظر شما چه عواملی بر فتوسنتز، اثر می‌گذارند؟

مسلماً انتظار داریم نور و میزان CO_2 از عوامل موثر بر فتوسنتز باشند. مشاهدات نشان می‌دهد، طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارد.

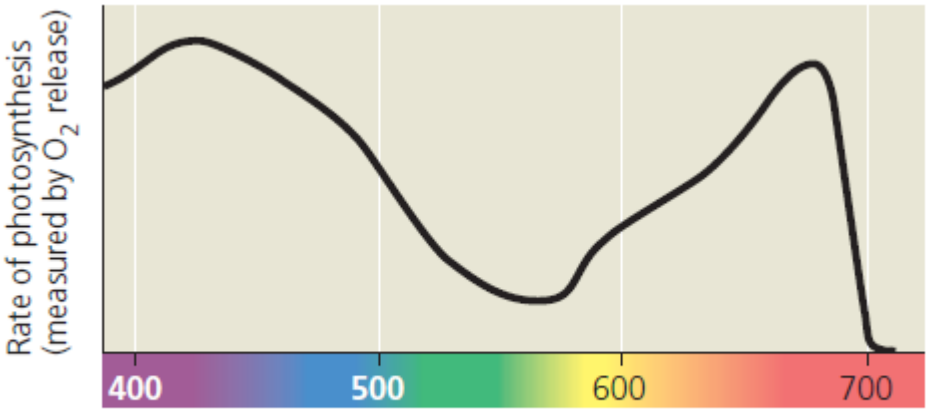
از طرفی فتوسنتز فرایندی آنزیمی است و می دانیم بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌ها در گستردهٔ دمایی خاص انجام می‌شود ، بنابراین از آن جایی که فتوسنتز فرایندی آنزیمی است، دما نیز بر فتوسنتز اثر می گذارد.همچنین در گفتار بعد خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد.

علاوه بر عوامل محیطی، عوامل درونی که مربوط به خود گیاه اند در میزان فتوسنتزموثرند؛ مانند تعداد سبزدیسه ها ،مقدارسبزینه ، و سعت و تعداد برگ ها.

فعالیت

الف) توضیح دهید که فتوسنتز را چگونه می توان اندازه گرفت؟

ب) نمودار زیر میزان فتوسنتز را در طول موج های متفاوت نورمرئی نشان می دهد. از این نمودار چه نتیجه ای می گیرید؟



(b) Action spectrum. This graph plots the rate of photosynthesis

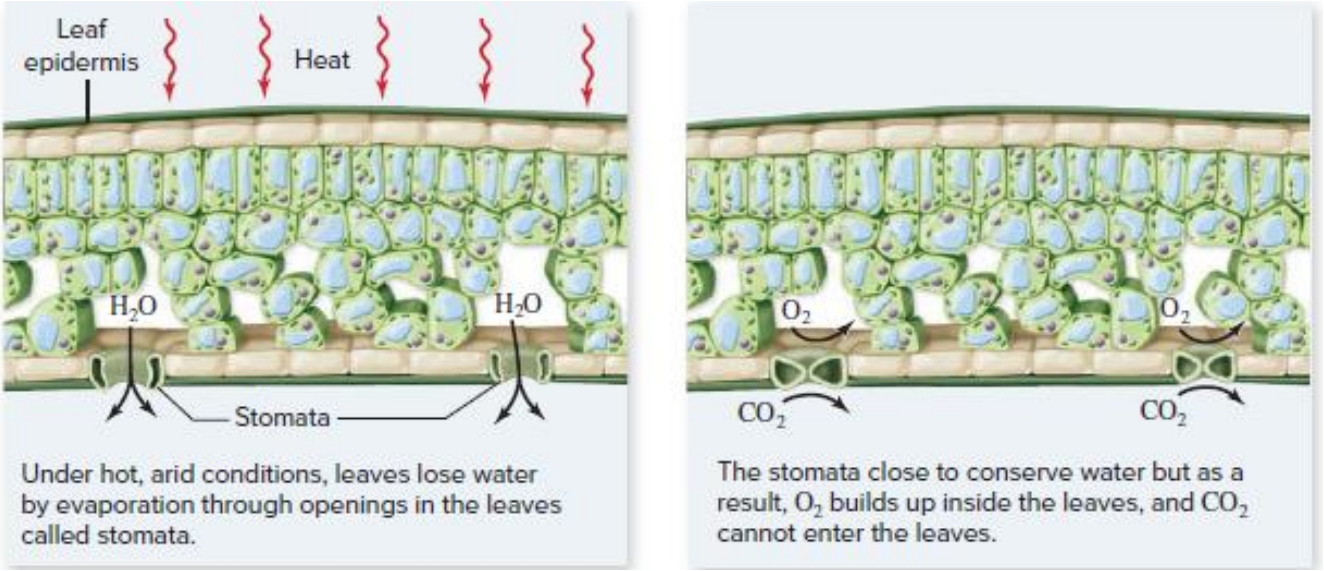
نمودار ۱– میزان فتوسنتز در طول موج های متفاوت (فارسی می شود)

گفتار ۳ : فتوسنتز در شرایط دشوار

شکل ۹ روزنه های باز و بسته را در برگ نشان می‌دهد. چه عوامل محیطی سبب بسته شدن روزنه می‌شود؟ به یاد دارید که دما و نور از عوامل موثر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها هستند و افزایش بیش از حد این عوامل باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها چه تأثیری بر فتوسنتز دارد؟

شکل۹. روزنه ها برای حفظ آب گیاه بسته می شوند. (فارسی می شود)

در هوای گرم و خشک، روزنه‌های گیاه برای کاهش تعرق بسته می‌شوند و بنابراین تبادل گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید از روزنه ها متوقف می‌شود اما فتوسنتز همچنان ادامه دارد. بنابراین در حالیکه میزان CO_2 برگ کم می شود ، میزان اکسیژن در برگ افزایش می‌یابد(شکل ۱۰).



ب آب در این تصویر نیز اضافه شود الف

شکل ۱۰. افزایش میزان اکسیژن و وارد نشدنِ CO_2شرایط را برای تنفس نوری مساعد می کند.روزنه های باز (الف)روزنه ها برای حفظ آب گیاه بسته می شوند(ب)

در چرخه کالوین افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی، با حضور آنزیم روبیسکو(ریبولوزبیس فسفات کربوکسیلاز-اکسیژناز) انجام می شود. این فعالیت، نقش کربوکسیلازی آنزیم را نشان می دهد.

این آنزیم نقش اکسیژنازی نیز دارد، یعنی می تواند اکسیژن را به قند ریبولوزبیس فسفات اضافه کند. نقش کربوکسیلازی یا اکسیژنازی آنزیم به میزان اکسیژن و CO_2 در اطراف آنزیم ارتباط دارد.

اگر میزان اکسیژن در اطراف آنزیم روبیسکو افزایش یابد، به جای ترکیب CO_2 با ریبولوزبیس فسفات، به آن اکسیژن اضافه و آن را اکسید می‌کند.این ترکیب ناپایدار است و به دو مولکول ۳ کربنی و ۲ کربنی تجزیه می‌شود.

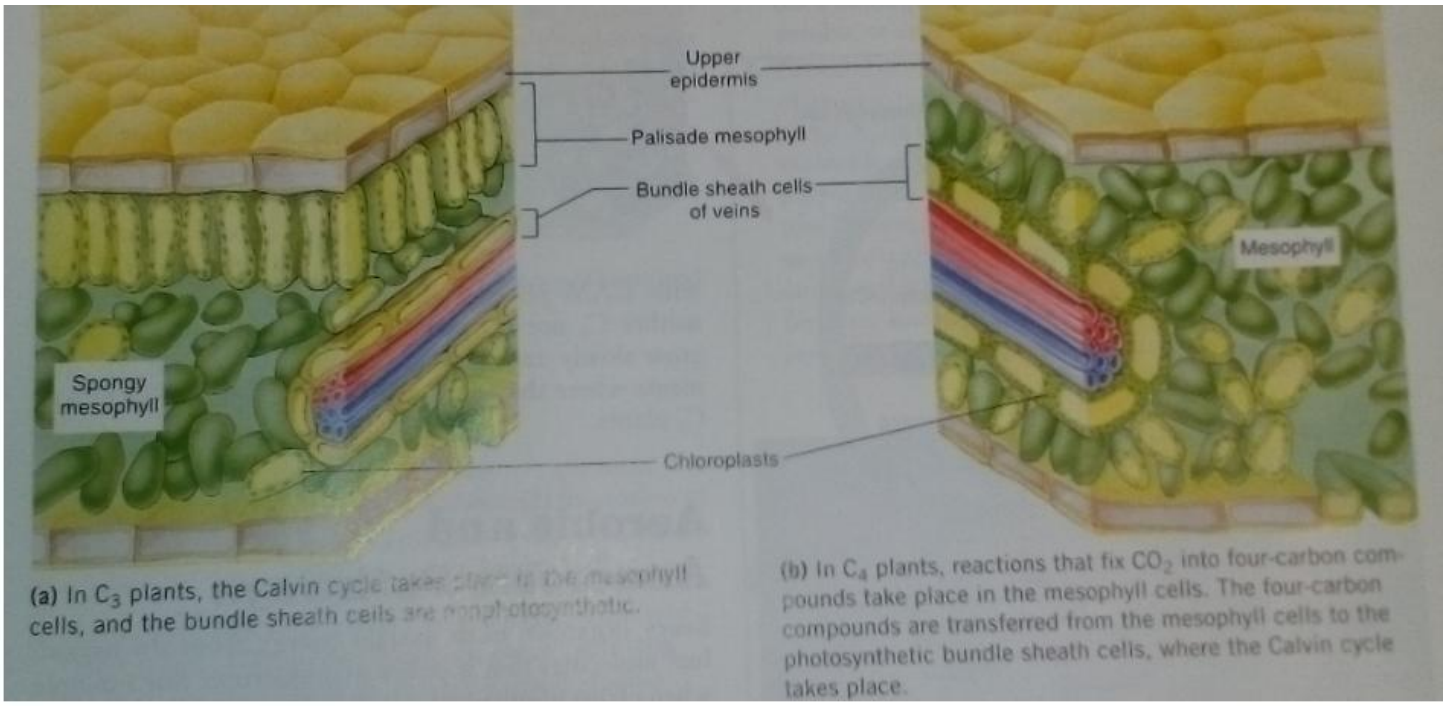
مولکول دو کربنی از کلروپلاست خارج و در واکنش‌هایی که بخشی از آنها در میتوکندری انجام می‌گیرد، به شکل CO_2 آزاد می‌شود. چون این فرایند با مصرف اکسیژن و آزاد شدن CO_2 همراه و وابسته به نور است (همراه با فتوسنتز انجام می‌شود)، **تنفس نوری** نامیده می‌شود.

در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP ای از آن ایجاد نمی شود. بنابراین انجام تنفس نوری در گیاهان، سبب پایین آمدن، بازده فتوسنتز می‌شود. با وجود این انواعی از گیاهان وجود دارند که در محیط های با دمای بالا و تابش شدید نور خورشید زندگی می کنند. این گیاهان با چه سازوکاری توانسته اند تنفس نوری خود را کاهش دهند؟

فتوسنتزدر گیاهان C_4

یکی از سازوکارها برای ممانعت از تنفس نوری ، در گیاهانی وجود دارد که به گیاهان C_4 معروف‌اند. در این گیاهان تثبیت کربن در یک نوع یاخته و چرخهٔ کالوین در نوع دیگری از یاخته‌ها انجام می‌شود. ساختار برگ در این گیاهان متفاوت از گیاهان C_3 است (شکل ۱۱).

اصلی ترین تفاوت این دو نوع برگ در یاخته های غلاف آوندی است. این یاخته ها در گیاهان C_4 سبزدیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین اند، در حالیکه یاخته هایی که در اطراف دسته آوندی در گیاهان C_3 می بینید، سبزدیسه ندارند.



شکل ۱۱. الف) برگ گیاه C_3، ب) برگ گیاه C_4 **شکل فارسی می شود**

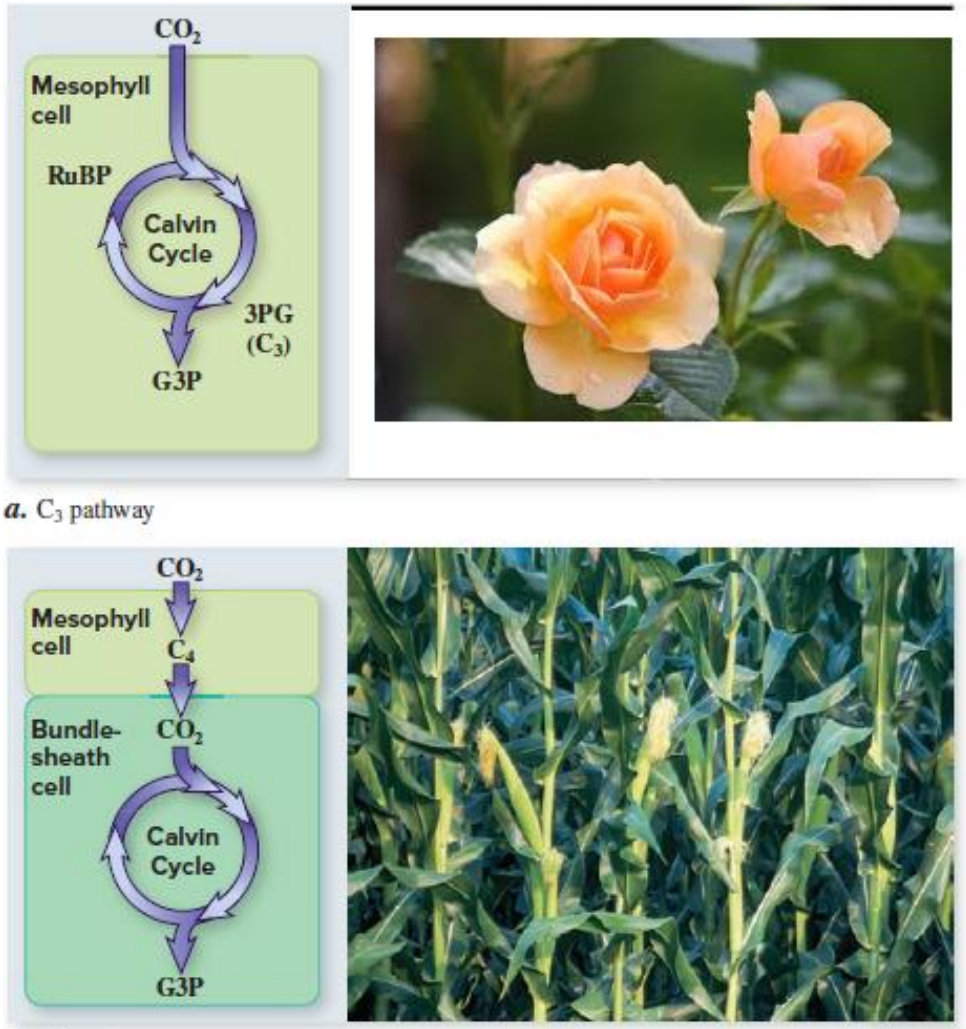
در گیاهان C_4، CO_2 با اسیدی ۳ کربنی(فسفوانول پیرووات) ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی (اگزالواستیک اسید) ایجاد می‌شود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان C_4 می گویند؛ زیرا اولین ماده پایدار حاصل از تثبیت کربن ، ترکیبی چهار کربنی است.

آنزیمی که در ترکیب CO_2 با اسید۳ کربنی و تشکیل اسید٤کربنی نقش دارد، به طور اختصاصی با CO_2 عمل می‌کند و تمایلی به اکسیژن ندارد. این واکنش در یاخته‌های میانبرگ انجام می شود.

اسید٤ کربنی از یاخته های میانبرگ به سرعت به **یاخته‌های غلاف آوندی** منتقل می‌شود. در این یاخته‌ها، مولکول CO_2 از آن آزاد و وارد چرخهٔ کالوین می‌شود. اسید ۳ کربنی باقیمانده نیز به یاخته‌های میانبرگ برمی‌گردد.بنابراین گیاهان C_4 از مسیری دو مرحله ای و دو سیستم آنزیمی متفاوت برای تثبیت کربن استفاده می کنند.

در گیاهان C_4 با وجودعملکرد آنزیم های متفاوت در تثبیت کربن و تقسیم مکانی انجام آن در یاخته های متفاوت (میانبرگ و غلاف آوندی)، CO_2 به طور بهینه جذب و میزان آن در یاخته‌های غلاف آوندی که چرخه کالوین در آنها انجام می‌شود، به اندازه ای بالا نگه داشته می شود که بازدارندهٔ تنفس نوری است. بنابراین تنفس نوری به ندرت در گیاهان C_4 روی می دهد.

به این ترتیب گیاهان C_4 می‌توانند در دماهای بالا ، شدت‌های زیاد نور و در حالی که روزنه‌ها بسته‌اند و از تبخیر آب جلوگیری می‌شود، همچنان میزان CO2 را در محل عملکرد آنزیم روبیسکو بالا نگه دارند. به همین علت کارایی گیاهان C_4 در دمای بالا، شدت زیاد نور و کمبود آب، بیش از گیاهان C_3 است.



شکل ۱۲. مقایسه فتوسنتزدرگیاهان C_3 و C_4.

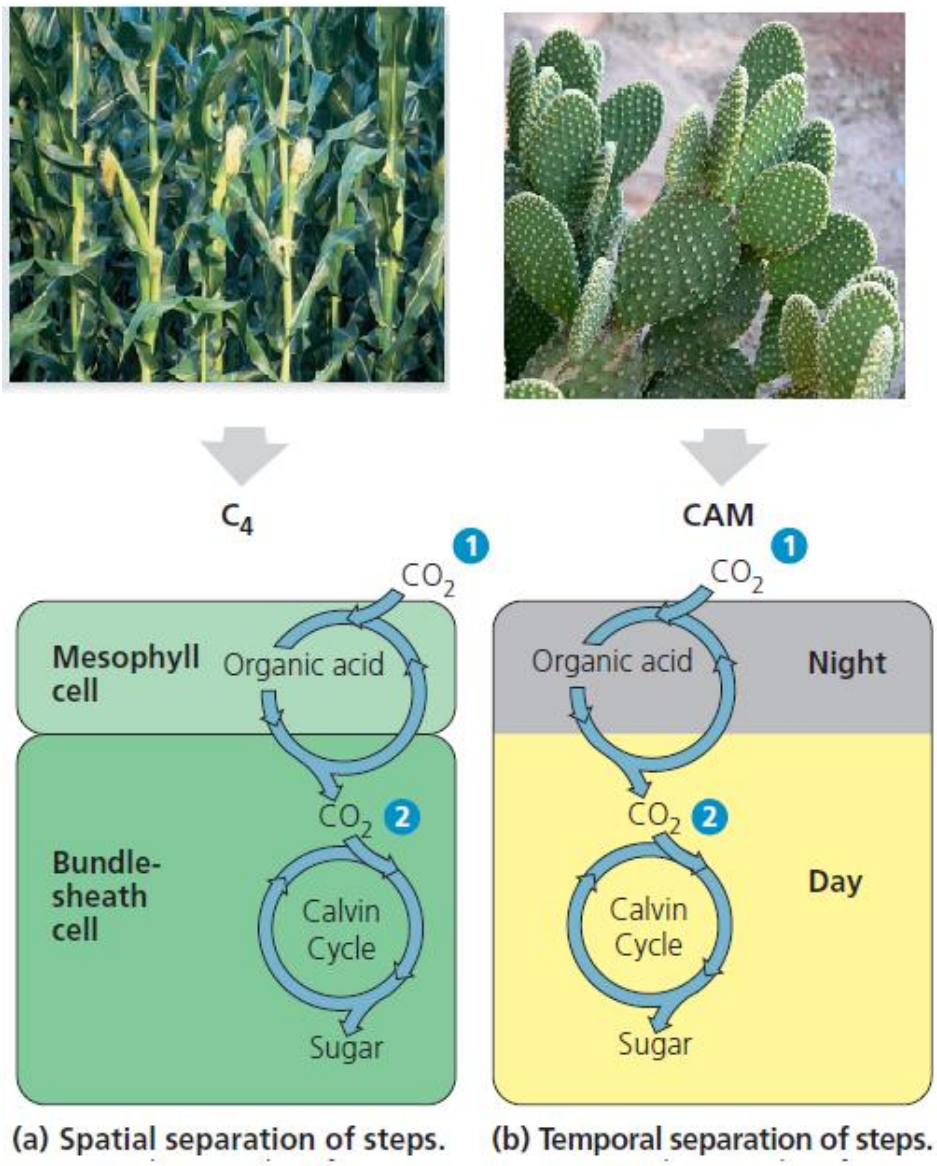
بیشتر بدانید

گیاهان C_4 سهم اندکی از گیاهان را به خود اختصاص می دهند.همه گیاهان C_4شناخته شده تا به امروز، از نهان‌دانگانی اند که در بوم سازگان های گرم و خشک، و در معرض تابش شدید نور خورشید قرار دارند.نیشکر و ذرت که نقش مهمی در تغذیه و اقتصاد دارند از این گیاهان اند.بعضی دانشمندان پیش بینی می کنند با توجه به گرم شدن کره زمین، شاهد انواع بیشتری از گیاهان C_4 در کره زمین باشیم.

گیاهان CAM

گیاهانی مانند کاکتوس که در مناطق بیابانی زندگی می‌کنند، با مسئله دما و نور شدید در طول روز، و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان روزنه‌ها در طول روز برای جلوگیری از هدر رفتن آب، بسته و در شب بازند. برگ ، ساقه یا هردو آنها در چنین گیاهان گوشتی و پرآب است. این گیاهان در کریچه‌های خود ترکیباتی دارند که آب را در خود نگه می‌دارند.

تثبیت کربن در این گیاهان، مانند گیاهان C_4 است، با این تفاوت که تثبیت کربن در آنها تقسیم‌بندی مکانی نشده، بلکه در زمان‌های متفاوت انجام می‌شود. تثبیت CO2 در شب که روزنه ها بازند، و چرخه کالوین در روز انجام می‌شود که روزنه‌هابسته اند. کاکتوس‌ها و گیاهان تیرهٔ گل ناز از گیاهان CAM [۲] هستند.



شکل۱۳. مقایسه فتوسنتز گیاهان C_4 و CAM.
(شکل فارسی می شود)

[2] Crassulacean Acid Metabolism

فعالیت

سه گیاه الف، ب و پ داریم. با فرض اینکه فتوسنتز هیچ یک از این گیاهان یکسان نباشد، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) عصارهٔ برگ هر یک از این گیاهان در دو زمان، یکی در آغاز تاریکی (شب)و دیگری در آغاز روشنایی (صبح)استخراج و pH آنها اندازه‌گیری شد. pH در گیاه ب در آغاز روشنایی نسبت به آغاز تاریکی اسیدی‌تر بود.گیاه «ب» چه نوع فتوسنتزی دارد؟

ب) برای تشخیص نوع فتوسنتز گیاه الف و پ چه راهی را پیشنهاد می‌دهید؟ آیا ساختار این گیاهان در تشخیص نوع فتوسنتز به شما کمک می‌کند؟ چگونه؟

جانداران فتوسنتز کنندهٔ دیگر

بخش عمده فتوسنتز را جاندارانی انجام می دهند که گیاه نیستند و در خشکی زندگی نمی کنند. انواعی از باکتری ها و آغازیان در محیط های متفاوت خشکی و آبی فتوسنتز می کنند که در ادامه به آنها می پردازیم.

باکتری ها: باکتری‌ها کلروپلاست ندارند، اما دارای رنگیزه‌های جذب کنندهٔ نورند. بعضی باکتری‌ها سبزینه دارند. مثلا سیانوباکتری ها سبزینه a دارند و همانند گیاهان با استفاده از CO_2 و نور ماده آلی می سازند و اکسیژن تولید می‌کنند. چنین باکتری هایی **فتوسنتز کننده هوازی** هستند.

گروهی دیگر از باکتری‌های فتوسنتز کننده، **بی‌هوازی** اند. باکتری های گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه اند.رنگیزه فتوسنتزی این باکتری ها ، **باکتریوکلروفیل** نامیده می شود. این باکتری‌ها کربن‌دی‌اکسید را جذب می‌کنند، اما اکسیژن تولید نمی‌کنند؛ زیرا منبع تأمین الکترون در آنها ترکیبی به غیر از آب است. مثلا در باکتری های گوگردی منبع تامین الکترون H_2S است و به جای اکسیژن گوگرد تولید می‌شود. ازاین باکتری‌ها در تصفیه فاضلاب ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می کنند. هیدروژن سولفید گازی بی رنگ است و بویی شبیه تخم مرغ گندیده دارد.

$$۶\,CO_۲ + ۱۲\,H_۲S + \text{نور} \longrightarrow C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۱۲\,S + ۶H_۲O$$

آغازیان : آغازیان نقش مهمی در تولید ماده آلی از ماده معدنی دارند. از سال های قبل می دانید که جلبک های سبز، قرمز و قهوه ای از آغازیان هستند و فتوسنتز می کنند. اوگلنا که جانداری تک یاخته ای است ، مثال دیگری از آغازیان فتوسنتز کننده است. او گلنا ویژگی جالبی دارد. این جاندار در حضور نور فتوسنتز می‌کند و در صورتی که نور نباشد، کلروپلاست‌های خود را از دست می‌دهد و با تغذیه از مواد آلی، ترکیبات مورد نیاز خود را به دست می‌آورد.

شکل ١٤. الف) **جلبک سبز رشته ای**

ب) اوگلنا

شیمیوسنتز

آیا ساختن مادهٔ آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز و جاندارانی است که از انرژی نور استفاده می کنند؟ آیا تولیدکنندگان در تاریکی ها وجود ندارند؟

امروزه می دانیم انواعی از باکتری‌ها در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانهٔ آتشفشان‌های زیرآب وجود دارند که می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی اکسید ماده آلی بسازند. زیستن درچنین مناطقی برای بسیاری از جانداران غیر ممکن است. دانشمندان بر اساس وضعیت زمین در آغاز شکل گیری حیات، براین باورند که باکتری های شیمیوسنتزکننده قدیمی ترین جانداران روی زمین اند.

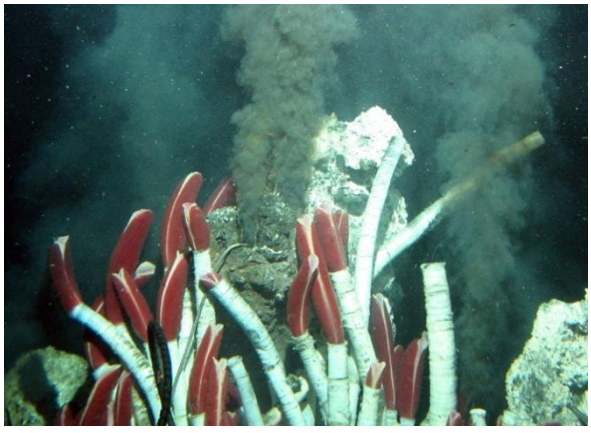
چنین باکتری‌هایی انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را با اکسایش ترکیبات غیر آلی به دست می آورند؛ به همین علت به این باکتری ها ، باکتری های **شیمیوسنتزکننده** می گویند؛ زیرا تبدیل کربن به ماده آلی در واکنش‌هایی انجام می‌شود که نیازی به نور ندارند. این فرایند **شیمیوسنتز** نامیده می شود.

باکتری های نیترات ساز که آمونیاک را به نیترات تبدیل می کنند، از باکتری های شیمیوسنتزکننده اند.

$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_2^- +$ انرژی

$2NO_2^- + O2 \longrightarrow 2NO_3^+$ انرژی

بیشتر بدانید



شیمیوسنتز در اعماق اقیانوس

در اعماق اقیانوس شکاف هایی وجود دارد که از آن ها گازسولفید هیدروژن خارج می شود. با وجود فشار و گرمای زیاد ، اما انواعی از کرم های لوله ای در آنجا به فراوانی دیده می شوند. در این کرم ها ، باکتری های گوگردی شیمیوسنتز کننده زندگی می کنند، که با اکسایش هیدروژن سولفید ،انرژی مورد نیاز برای ساخت ماده آلی را به دست می آورند که به مصرف باکتری ها و کرم های لوله ای می رسد.حیات این کرم ها وابسته به غذایی است که این باکتری ها برای آنها می سازند.