فصل ۶

از انرژی به ماده

Dr.

تهیه و تنظیم: دکتر سروش صفا

@Zistnovin

گفتار ۱ فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

گیاهان در فرایند فتوسنتز CO2 را با استفاده از انرژی نور خورشید به ماده آلی تبدیل و اکسیژن نیز تولید می‌کنند (واکنش زیر)

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

نکتهٔ ۱: فتوسنتز درون سبزدیسه (کلروپلاست) انجام می‌شود.

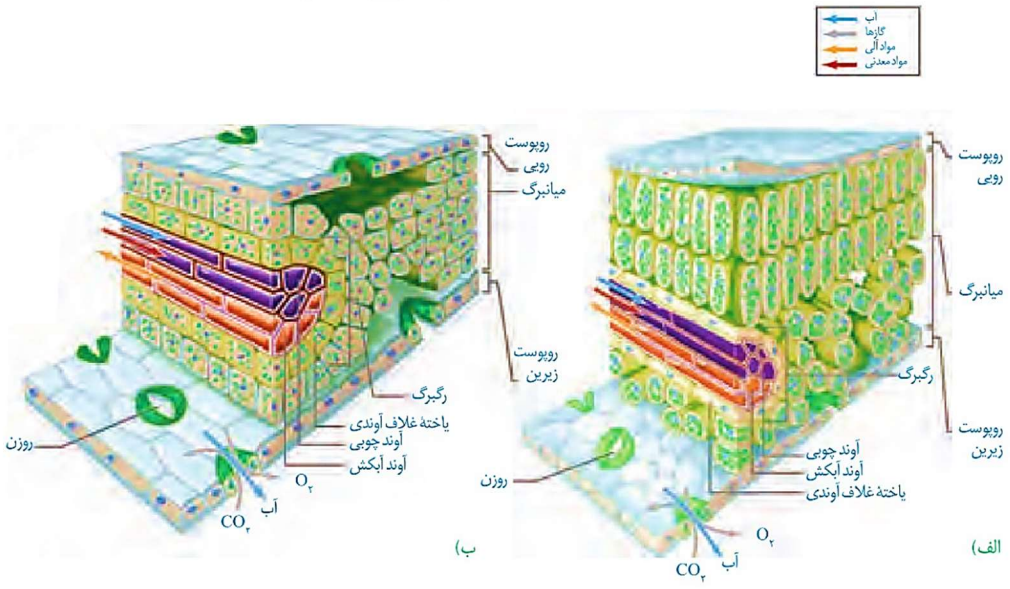
نکتهٔ۲: می‌توان میزان فتوسنتز را با تعیین میزان کربن دی اکسید مصرف شده و یا اکسیژن تولید شده، اندازه گرفت.

نکتهٔ ۳: برگ اکثر گیاهان بدلیل دارا بودن مقدار زیادی سبزدیسه، مناسب‌ترین ساختار برای انجام فتوسنتز می‌باشد.

اجزای برگ گیاهان دولپه‌ای:

۱. دمبرگ

۲. پهنک: پهنک شامل روپوست، میانبرگ و دسته های آوندی (رگبرگ) است. روپوست رویی زیرینبه ترتیب در سطح رویی و زیرین پهنک برگ قرار دارند. میانبرگ شامل یاختەهای نرم آکنه است که شامل دو نوع نرده ای و اسفنجی می‌باشد.



نکات شکل:

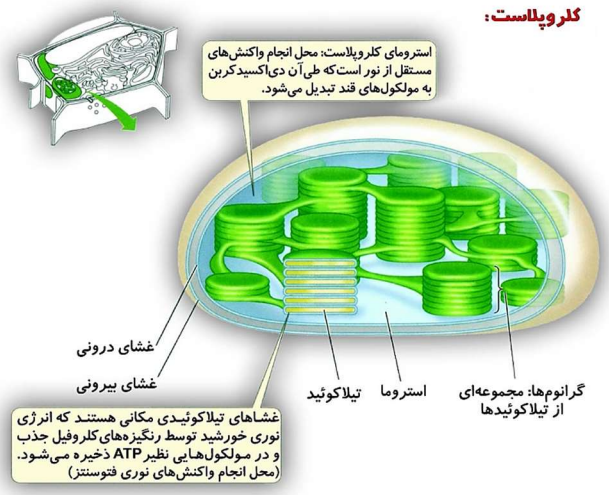
۱- میانبرگ در دولپه‌ای‌ها (شکل الف) شامل نرم‌آکنهٔ اسفنجی و نرده‌ای می‌باشد اما در بعضی گیاهان (تک‌لپه‌ای‌ها)، فقط از یاخته‌های اسفنجی تشکیل شده است (شکل ب).

۲- یاخته‌های نرده‌ای بعد از روپوست رویی قراردارند و به هم فشرده‌اند در حالی که یاخته‌های اسفنجی به سمت روپوست زیرین قراردارند.

۳- در هر رگبرگ، در اطراف آوندهای چوبی و آبکش را یاخته‌های غلاف آوندی قرار دارند. در واقع یاخته‌های غلاف آوندی بین یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای و استوانهٔ آوندی قرار دارند.

٤- در هر رگبرگ، آوندهای چوبی در بالای آوندهای آبکشی قرار دارند.

۵- جهت حرکت آب و مواد محلول در آوندهای چوبی رگبرگ، از سمت دمبرگ به سمت برگ است، درحالیکه جهت حرکت مواد آلی در آوندهای آبکش رگبرگ، برعکس (از برگ به سمت دمبرگ) می‌باشد.



ساختار سبزدیسه:

- سبزدیسه همانند راکیزه دارای غشای بیرونی و غشای درونی است که از هم فاصله دارند.
- فضای درون سبزدیسه با سامانه ای غشایی به نام تیلاکوئیدبه دو بخش فضای درون تیلاکوئید و بستره (استروما) تقسیم شده است.
- تیلاکوئیدها ساختارهای غشایی و کیسه مانند و به هم متصل هستند.
- بستره هم‌ارز با سیتوپلاسم یاخته بوده و دارای رِنا، دِنا و رِناتَن (ریبوزوم)است.
- سبزدیسه همانند راکیزه می‌تواند بعضی از پروتئین‌های مورد نیاز خود را بسازد.
- سبزدیسه همانند راکیزه می‌تواند به طور مستقل تقسیم شود.

نکته: به طور کلی در سبزدیسه سه فضا داریم:

۱- فضای بین دو غشاءِ

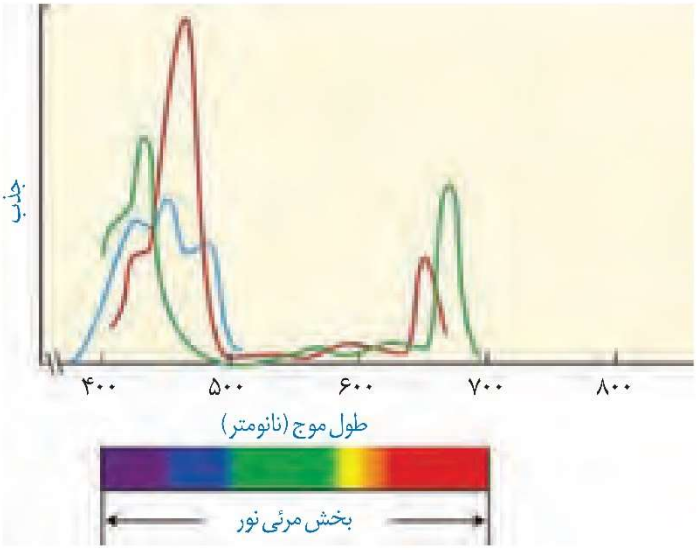
۲- بستره یا استروما

۳- فضای داخل تیلاکوئیدها

رنگیزه‌های فتوسنتزی:

این رنگیزه‌ها در غشای تیلاکوئیدها قرار دارند و شامل سبزینه‌های (کلروفیل‌های) a و b و کاروتنوئیدها می‌باشند.

نام رنگیزه	طول موج بیشترین جذب (نانومتر)	طیف جذبی در نور مرئی
سبزینهٔ a و b	۵۰۰ – ۴۰۰	بنفش - آبی
	۷۰۰ - ۶۰۰	نارنجی - قرمز
کاروتنوئیدها	۵۰۰ – ۴۰۰	بنفش و آبی و سبز



طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی. سبزینهٔ a (سبز)، سبزینهٔ b(قرمز) و کاروتنوئیدها (آبی)

نکات مهم:

۱. طیف جذبی سبزینهٔ b در محدودهٔ ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر، بیشتر از طیف جذبی سبزینهٔ a می‌باشد.

۲. طیف جذبی سبزینهٔa در محدودهٔ ۷۰۰-۶۰۰ نانومتر، بیشتر از طیف جذبی سبزینهٔ b می‌باشد.

۳. از نظر میزان جذب نور، رابطهٔ مقابل بین رنگیزه‌ها برقرار است: سبزینهٔ b > سبزینهٔ a > کاروتنوئیدها

٤. بیشترین میزان جذب نور مربوط به سبزینهٔ b و در طیف نور آبی (۵۰۰ - ٤۵۰ نانومتر) می‌باشد.

۵. وجود رنگیزه‌های متفاوت، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج های متفاوت نور افزایش می‌دهد.

فتوسیستم‌ها:

رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه‌هایی به‌نام فتوسیستم ۱ و ۲ قرار دارند.

Dr.Sorush Safa

اجزای هر فتوسیستم:

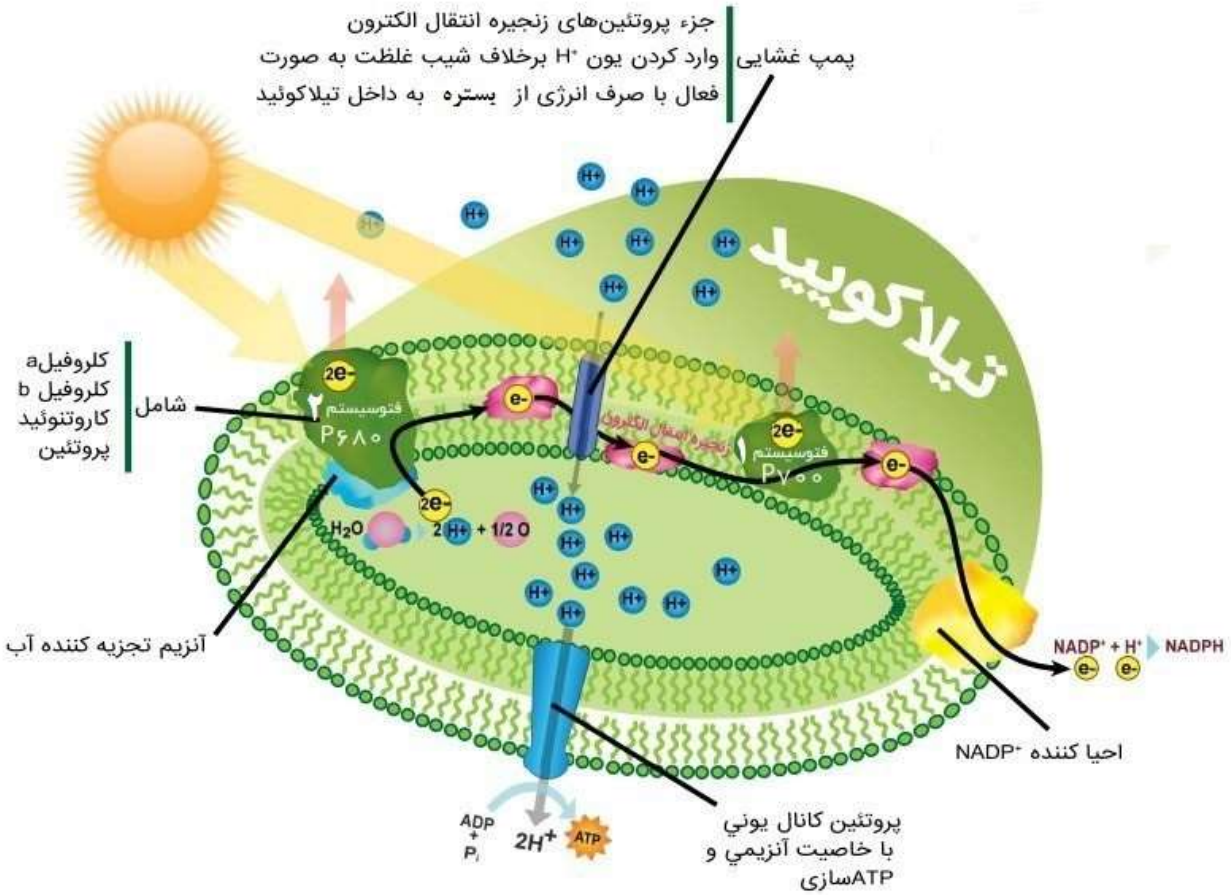
۱. آنتن های گیرندهٔ نور: هر آنتن که از رنگیزه‌های متفاوت (سبزینه‌ها و کاروتنوئیدها) و انواعی پروتئین ساخته شده است، انرژی نور را میگیرد و به مرکز واکنش منتقل می‌کند.

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

نکتهٔ ۱: حداکثر جذب سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، در طول موج ۷۰۰ نانومتر و حداکثر جذب آن در فتوسیستم ۲، در طول موج ۶۸۰ نانومتر است. بر همین اساس، به سبزینه a در فتوسیستم۱، P۷۰۰ و در فتوسیستم۲، P ۶۸۰ می‌گویند.

نکتهٔ ۲: فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکولهایی به نام ناقل الکترون به هم مرتبط می‌شوند. این مولکولها می‌توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش).

گفتار ۲ واکنش‌های فتوسنتزی



اجزای مورد نیاز برای فتوسنتز (شکل بالا):

۱. دو عدد فتوسیستم (۱ و ۲)

۲. آنزیم تجزیه کنندهٔ آب: در اتصال با بخش زیرین فتوسیستم ۲ قرار دارد.

۳. دو زنجیرهٔ انتقال الکترون: مولکول‌های ناقل الکترون که یکی بین فتوسیستم ۱ و ۲ و دیگری بعد از فتوسیستم ۱ قرار دارد.

٤. سه عدد پروتئین غشایی:

الف) پمپ غشایی: بین زنجیرهٔ انتقال الکترون اول قرار دارد و یون‌های هیدروژن را برخلاف شیب غلظت و به صورت فعال (با صرف انرژی زیستی) از بستره به داخل تیلاکوئید پمپ می‌کند.

ب) آنزیم ATP ساز (کانال یونی): یون‌های هیدروژن را از درون تیلاکوئید و در جهت شیب غلظت به درون بستره می‌فرستد و ATP تولید می‌کند.

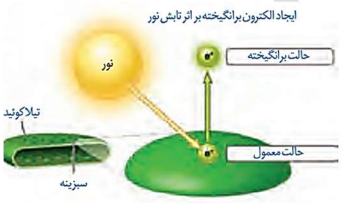
ج) پروتئین احیاءِ کنندهٔ $NADP^+$: با دریافت ۲ عدد الکترون از زنجیرهٔ انتقال الکترون دوم، $NADP^+$ را احیاء کرده (یک عدد H^+ را به $NADP^+$ می‌افزاید) و NADPH بدست می‌آید.

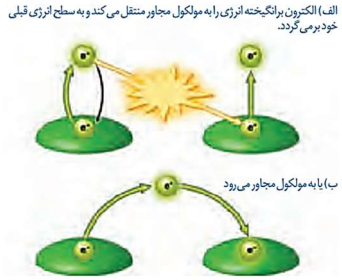
نکته: تمام موارد فوق، درون غشای تیلاکوئید قرار دارند.

واکنش‌های فتوسنتز:

۱. واکنش‌های وابسته به نور (واکنش‌های تیلاکوئیدی): طی این واکنش‌ها که در حضور نور خورشید (روز) و درون تیلاکوئید-ها انجام می‌گیرد، مولکول NADPH و ATP و همچنین اکسیژن تولید می‌شود.

۲. واکنش‌های مستقل از نور: این واکنش‌ها در شب انجام می‌گیرند و طی این واکنش‌ها که چرخهٔ کالوین نامیده می‌شوند، با کمک مولکول‌های NADPH و ATP تولید شده در واکنش‌های مرحلهٔ روشنایی، مولکول‌های CO_2 تبدیل به گلوکز و سایر مواد آلی می‌شوند.





واکنش‌های مرحلهٔ روشنایی فتوسنتز

۱. در اثر تابش نور خورشید به فتوسیستم‌ها، الکترون‌های موجود

در فتوسیستم‌ها انرژی نور خورشید را دریافت کرده و برانگیخته می‌شوند.

این الکترون‌های برانگیخته شده از فتوسیستم‌ها خارج شده و وارد زنجیرهٔ انتقال

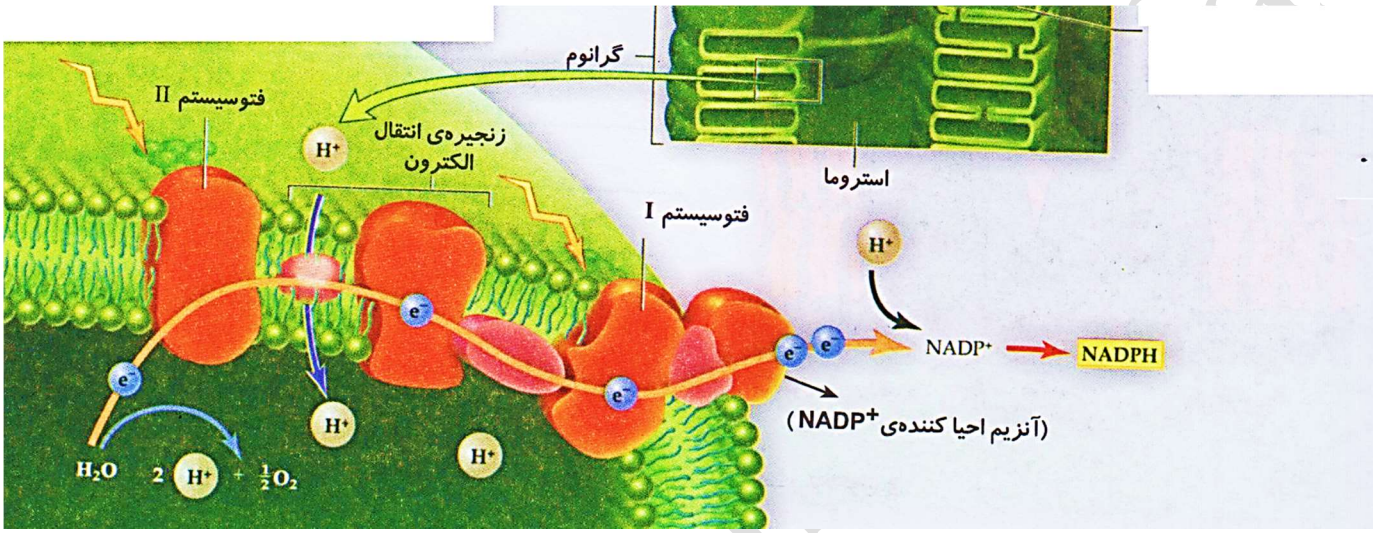
الکترون می‌شوند.

Soroush Safa

نکته: الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم ۲ وارد اولین زنجیرهٔ انتقال الکترون و الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم ۱، وارد دومین زنجیرهٔ انتقال الکترون می‌شوند.

مسیر طی شده توسط الکترون‌ها:

فتوسیستم ۲ ← زنجیرهٔ انتقال الکترون اول ← فتوسیستم ۱ ← دومین زنجیرهٔ انتقال الکترون ← $NADP^+$



۲. الکترون‌های خروجی از فتوسیستم۱، پس از عبور از زنجیرهٔ انتقال الکترون دوم، توسط پروتئین احیاءِ کنندهٔ $NADP^+$، به مولکول $NADP^+$ منتقل می‌شوند ⇐ $NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می‌کند و با ایجاد پیوند با پروتون (یون هیدروژن) به مولکول NADPH تبدیل می‌شود: $NADP^+ + ۲e^- + ۲H^+ \longrightarrow NADPH + H^+$

۳. در اثر خروج الکترون‌های برانگیخته شده از فتوسیستم‌ها،کمبود الکترون در داخل این فتوسیستم‌ها رخ می‌دهد که باید جبران شوند، یعنی الکترون‌های جدیدی به شرح زیر، جایگزین الکترون‌های خارج شده می‌شوند:

الف- کمبود الکترونی فتوسیستم ۲، بوسیلهٔ الکترون‌های حاصل از تجزیهٔ مولکول آب توسط آنزیم متصل به سطح داخلی فتوسیستم ۲ تأمین می‌شود. در طی تجزیهٔ نوری آب محصولات زیر تولید می‌شوند: $H_۲O \longrightarrow ۲H^+ + \frac{۱}{۲} O_۲$

- دو یون هیدروژن: موجب افزایش تراکم یون هیدروژن در داخل تیلاکوئید می‌شوند.
- یک اتم اکسیژن
- دو عدد الکترون: که کمبود الکترونی فتوسیستم ۲ را جبران می‌کنند.

ب- کمبود الکترونی فتوسیستم ۱ بوسیلهٔ الکترون‌های خروجی از اولین زنجیرهٔ انتقال الکترون جبران می‌شود.

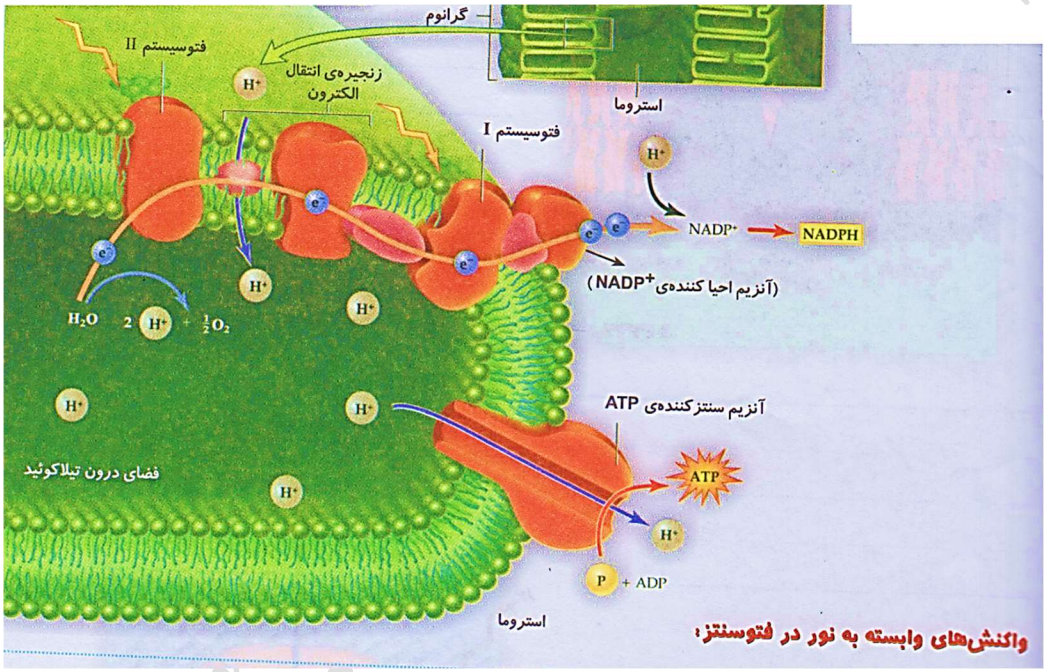
٤. الکترون‌های در حال عبور از اولین زنجیرهٔ انتقال الکترون، مقداری از انرژی خود را به پمپ هیدروژنی (در بین مولکول‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون اول) می‌دهند تا این پمپ یون‌های هیدروژن را از بستره به داخل فضای تیلاکوئیدی و در خلاف جهت شیب غلظت انتقال دهد.

نکته: دو عامل موجب افزایش غلظت یون هیدروژن در داخل تیلاکوئید می‌شوند:

الف) فعالیت پمپ هیدروژنی ب) تجزیهٔ نوری آب

۵. در اثر افزایش غلظت پروتون‌ها درون تیلاکوئید، پروتون‌ها در جهت شیب غلظت و از طریق آنزیم ATP ساز موجود در غشای تیلاکوئیدها از داخل تیلاکوئید به بستره می‌روند که همراه با عبور پروتون‌ها از این آنزیم، ATP ساخته می‌شود.

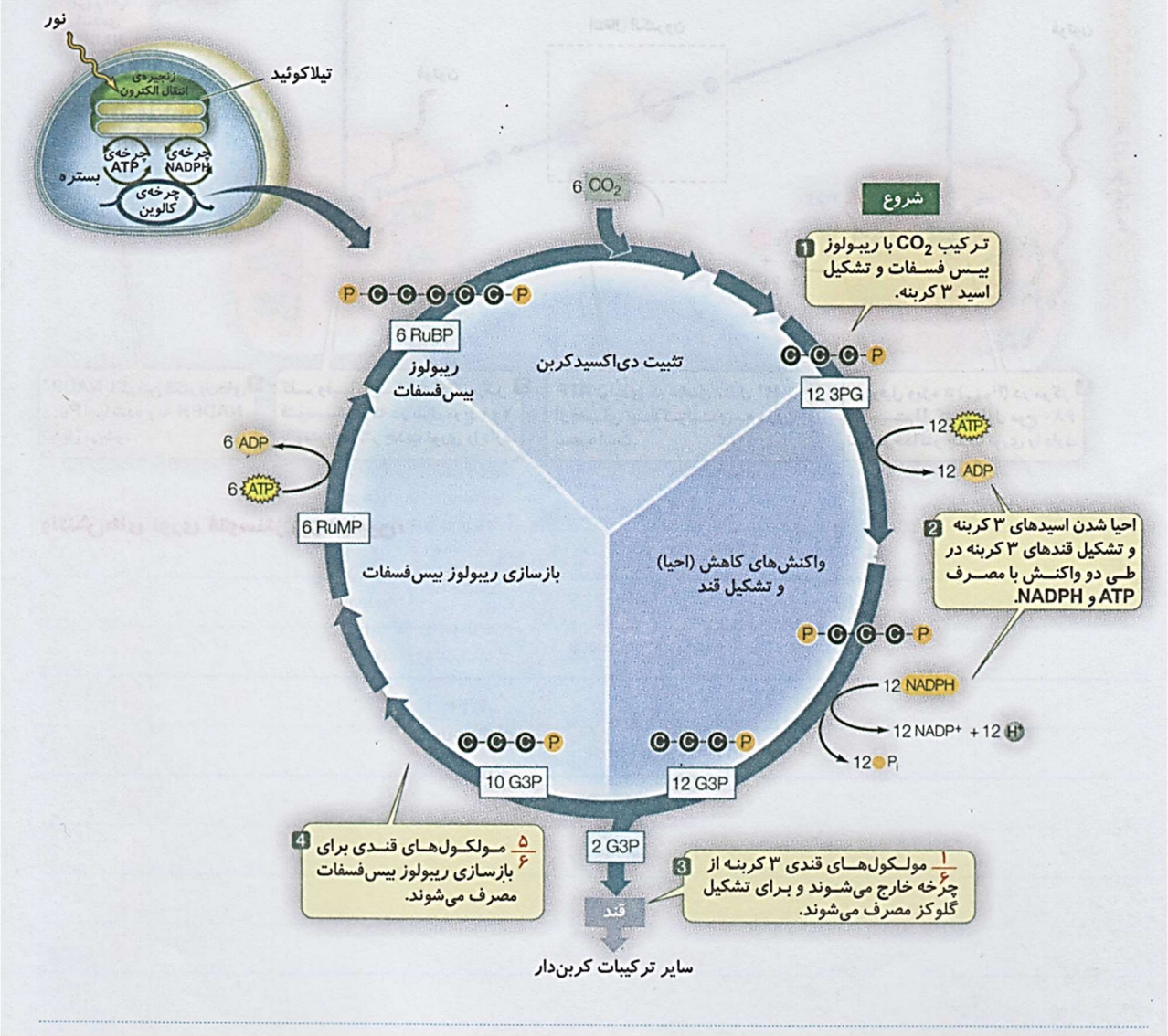
نکته: به ساخته شدن ATP در واکنش های نوری، ساخته شدن نوری ATP میگویند، زیرا حاصل فرایندی است که با نور به راه می افتد.



واکنش‌های مستقل از نور: واکنش‌های تثبیت CO_2

در این مرحله، مولکول‌های CO_2 با استفاده از مواد تولید شده در مراحل روشنایی یعنی ATP به عنوان منبع انرژی و NADPA به عنوان منبع الکترون، در چرخه‌ای از واکنش‌ها به نام چرخهٔ کالوین، تبدیل به قند می‌شوند.

مراحل چرخهٔ کالوین:



۱. مرحلهٔ اول: ترکیب ۶ مولکول CO_2 با ۶ مولکول قند پنج کربنی ریبولوز بیس‌فسفات (هر قند دارای دو فسفات می‌باشد) توسط آنزیم روبیسکو (ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز - اکسیژناز) ⇐ ایجاد ۶ قند شش کربنهٔ دو فسفاتهٔ ناپایدار ⇐ تبدیل هر کدام از قندهای ۶ کربنهٔ ناپایدار به یک اسید سه کربنهٔ یک فسفاته:

۱۲ اسید سه کربنهٔ یک فسفاته ⟵ ۶ قند شش کربنهٔ دوفسفاته ⟵ (روبیسکو) ۶ ریبولوز بیس‌فسفات + ۶CO_2

نکته: روبیسکو هم فعالیت کربوکسیلازی داشته و هم اکسیژنازی، که در این واکنش، فعالیت کربوکسیلازی دارد.

۲. **مرحلهٔ دوم:** هر یک از اسیدهای تولیدی در مرحلهٔ قبل با مصرف یک مولکول ATP و یک مولکول NADPH تبدیل به سه قند سه کربنهٔ یک فسفاته می‌شود.

۱۲ اسید سه کربنهٔ یک فسفاته + ۱۲ATP + ۱۲NADPH ⟶ ۱۲ قند سه کربنهٔ یک فسفاته + ۱۲ADP + ۱۲$NADP^+$ + ۱۲P

۳. **مرحلهٔ سوم:** در این مرحله ۲ مولکول قند سه کربنه از واکنش خارج شده و به تولید گلوکز و یا سایر مواد آلی دیگر می‌رسد و ۱۰ قند سه کربنهٔ باقی مانده، تبدیل به ۶ قند سه کربنهٔ ریبولوز فسفات (یک فسفات دارد) می‌شود.

۶ قند ۵ کربنهٔ یک فسفاته (ریبولوز فسفات) ⟶ ۱۰ قند سه کربنهٔ یک فسفاته ⟶ ۱۲ قندسه کربنهٔ یک فسفاته

دو قند سه‌کربنه

٤. **مرحلهٔ چهارم:** هر یک از مولکول‌های ریبولوز فسفات، با صرف یک مولکول ATP تبدیل به ریبولوز بیس فسفات می‌شوند که در این واکنش، ATP هم به عنوان منبع انرژی و هم منبع فسفات به‌کار می‌رود. مولکول‌های ریبولوزبیس‌فسفات مجددا آغازگر چرخهٔ بعدی خواهند بود.

۶ مولکول ریبولوزبیس‌فسفات + ۶ATP ⟶ ۶ مولکول ریبولوز فسفات + ۶ADP

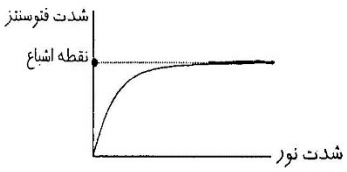
نکات مهم:

۱- در هر چرخهٔ کالوین ۱۸ مولکول ATP و ۱۲ مولکول NADPH مصرف می‌شود.

۲- چرخهٔ کالوین در تاریکی (شب) انجام می‌گیرد، اما چون مولکول‌های ATP و NADPH مورد نیاز این چرخه در واکنش‌های مرحلهٔ وابسته به نور تولیدمی‌شوند، می‌توان گفت که چرخهٔ کالوین نیز به طور غیرمستقیم به نور وابسته است.

۳- اولین ماده آلی پایدار ساخته شده، ترکیبی سه کربنی است؛ به همین علت به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها فقط با چرخهٔ کالوین انجام میشود،گیاهانC_3 می‌گویند. اکثر گیاهان C_3 هستند.

اثر محیط بر فتوسنتز:

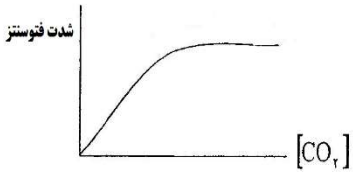


۱. اثر نور در فتوسنتز: افزایش نور در اکثر گیاهان تا حدی موجب افزایش فتوسنتز می‌شود، اما در نور شدید به علت اشباع شدن فتوسیستم‌ها، شدت فتوسنتز تغییری نمی‌کند .

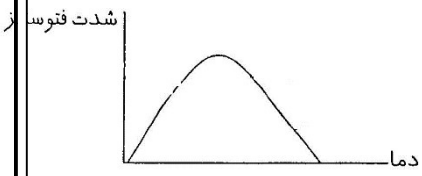
نکته: طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارند.

Dr.Soroush Safa

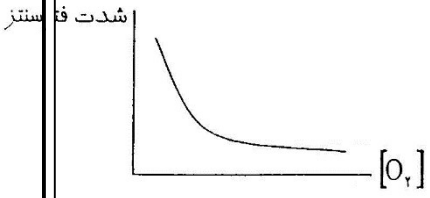
۲. اثر غلظت CO_2 بر فتوسنتز: با افزایش میزان CO_2، شدت فتوسنتز تا حدی افزایش می‌یابد، اما با افزایش بیشتر CO_2، بدلیل محدود بودن قندهای ریبولوز بیس‌فسفات و آنزیم‌های چرخهٔ کالوین، شدت فتوسنتز ثابت می‌ماند (مشابه اثر نور).



۳. اثر دما بر فتوسنتز: افزایش دما تا یک حدی بدلیل افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها، موجب افزایش فتوسنتز می‌شود، اما در دمای بالا بدلیل بسته شدن روزنه‌های هوایی و همچنین عدم فعالیت آنزیم‌ها، موجب کاهش شدت فتوسنتز می‌شود.



٤. اثر اکسیژن بر فتوسنتز: افزایش اکسیژن موجب افزایش فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو می‌شود و در نتیجه بجای ترکیب کردن ریبولوز بیس‌فسفات با CO_2، این قند را با اکسیژن ترکیب کرده که این عمل، شدت فتوسنتز را کاهش می‌دهد.



نکته: با افزایش اکسیژن، شدت فتوسنتز کاهش یافته، اما شدت تنفس نوری افزایش می‌یابد.

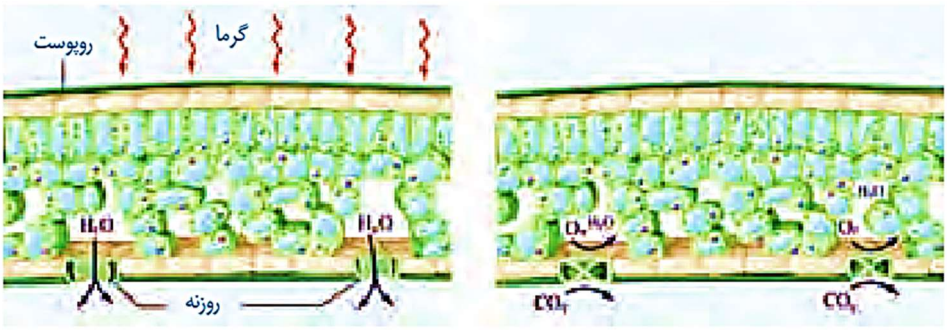
Dr.Soroush Safa

گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار

فتوسنتز در شرایط بسته بودن روزنه‌ها:

☜ افزایش بیش از حد **دما** و **نور** و همچنین هورمون **آبسیزیک اسید**، باعث بسته شدن روزنه‌های هوایی جهت کاهش تعرق می‌شوند.

☜ در شرایط بسته شدن روزنه‌ها، تبادل گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید نیز متوقف می‌شود. در این حال از میزان کربن-دی‌اکسید داخل برگ‌ها کاسته می‌شود (بدلیل مصرف در چرخهٔ کالوین) اما میزان اکسیژن در برگ‌ها افزایش می‌یابد (در اثر تجزیهٔ نوری آب). این شرایط موجب افزایش فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو می‌شود.



شکل ۹ـ افزایش میزان اکسیژن در اطراف یاخته‌ها به علت بسته شدن روزنه‌ها.
الف) روزنه‌های باز. روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته می‌شوند.
ب) وقتی روزنه‌ها باز هستند میزان CO_2 از O_2 بیشتر است.

☜ در اثر فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو، ریبولوزبیس‌فسفات با اکسیژن ترکیب می‌شود. مولکول حاصل، ناپایدار است و به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی تجزیه می‌شود:

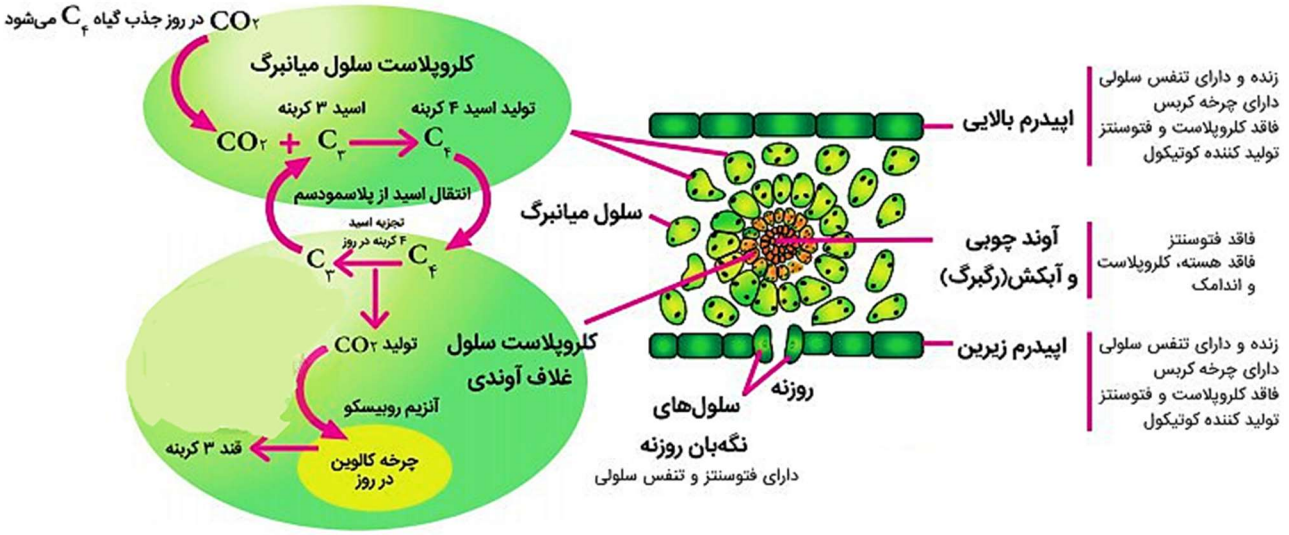
۱) مولکول سه کربنی به مصرف بازسازی ریبولوزبیس فسفات می‌رسد.

۲) مولکول دو کربنی از کلروپلاست خارج و در واکنشهایی که بخشی از آنها در راکیزه انجام می‌گیرد، از آن مولکول CO_2 آزاد می‌شود. چون این فرایند با مصرف اکسیژن، آزاد شدن CO_2 و همراه با فتوسنتز است، تنفس نوری نامیده می‌شود.

نکتهٔ ۱: در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می‌شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP از آن ایجاد نمی‌شود. بنابراین تنفس نوری باعث کاهش فراورده‌های فتوسنتز می‌شود.

نکتهٔ ۲: فعالیت اکسیژنازی و کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو به میزان اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید در محیط عملکرد آن بستگی دارد، یعنی در صورتی که $O_2 < CO_2$ باشد، این آنزیم فعالیت کربوکسیلازی و درصورتی که $O_2 > CO_2$ باشد، این آنزیم فعالیت اکسیژنازی خواهد داشت.

فتوسنتز در گیاهان C_4:



تثبیت کربن در این گیاهان در دو مرحله انجام می‌شود:

۱. CO_2 در یاخته‌های میانبرگ با اسیدی سه کربنی ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی ایجاد میشود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان C_4 میگویند؛ زیرا اولین مادهٔ پایدار حاصل از تثبیت کربن، ترکیبی چهار کربنی است.

۲. در یاخته‌های غلاف آوندی، مولکول CO_2 از اسید چهار کربنی آزاد و وارد چرخه کالوین می‌شود. اسید سه کربنی باقیمانده نیز به یاخته‌های میانبرگ برمی‌گردد.

نکتهٔ ۱: آنزیمی که در ترکیب CO_2 با اسید سه کربنی و تشکیل اسید چهارکربنی نقش دارد، برخلاف روبیسکو به طور اختصاصی با CO_2 عمل میکند و تمایلی به اکسیژن ندارد.

نکتهٔ ۲: اسید چهارکربنی از یاخته‌های میانبرگ از طریق پلاسمودسم‌ها به یاخته‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود.

نکات مهم:

۱. در گیاهان C_4 ، برخلاف گیاهان C_3، یاخته‌های غلاف آوندی دارای کلروپلاست می‌باشند.

۲. در گیاهان C_4 با وجود عملکرد آنزیم‌های گوناگون در تثبیت کربن و تقسیم مکانی آن در دو نوع یاخته، میزان CO_2 در محل فعالیت آنزیم روبیسکو، به اندازه‌ای بالا نگه داشته میشود که بازدارندهٔ تنفس نوری است. بنابراین، تنفس نوری به ندرت در این گیاهان روی می‌دهد.

Dr.Soroush

۳. در گیاهان C_4، در دماهای بالا، شدت‌های زیاد نور و کمبود آب، در حالیکه روزنه‌ها بسته شده‌اند تا از تبخیر آب جلوگیری شود، همچنان میزان CO_2 را در محل عملکرد آنزیم روبیسکو بالا نگه می‌دارند. همین علت کارایی آنها در چنین شرایطی بیش از گیاهان C_3 است.

فتوسنتز در گیاهان CAM (کَم):

ویژگی گیاهان CAM :

۱. در مناطقی با درجه حرارت و نور شدید و آب کم زندگی می‌کنند.

۲. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند.

۳. برگ، ساقه یا هردوی آنها در چنین گیاهانی گوشتی و پرآب است.

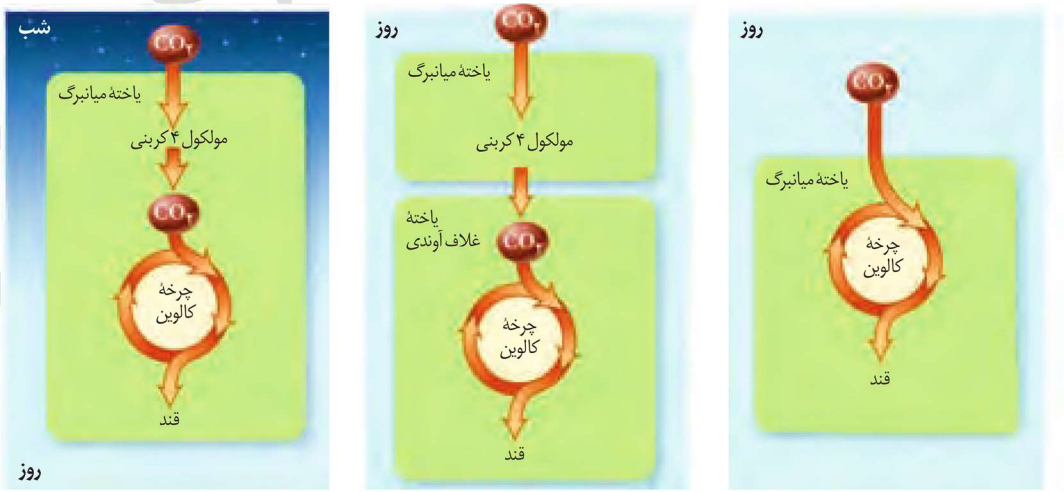
٤. این گیاهان در کریچه‌های خود ترکیباتی پلی‌ساکاریدی دارند که آب را نگه می‌دارند.

تثبیت کربن در گیاهان CAM همانند گیاهان C_4 در دو مرحله انجام می‌شود، اما هردوی این مراحل در یاخته‌های میانبرگ اما در دو زمان متفاوت (شب و روز) انجام می‌گیرند:

۱- در شب (روزنه‌ها بازند): ترکیب CO_2 با اسید سه‌کربنه در یاخته‌های میانبرگ و تولید اسید چهارکربنه.

۲- در روز (روزنه‌ها بسته‌اند): مولکول CO_2 در همان یاخته‌های میانبرگ از اسید چهار کربنی آزاد و وارد چرخه کالوین می‌شود.

مثال برای گیاهان CAM: کاکتوس، گیاهان تیرهٔ گل ناز و آناناس.



پ ب الف

شکل ۱۱ـ مقایسه فتوسنتز در گیاهان الف) C_3، ب) C_4 و پ) CAM

جدول مقایسه‌ای گیاهان از نظر فتوسنتز

	گیاهان C_3	گیاهان C_4	گیاهان CAM
مثال	بیشتر گیاهان	نیشکر	کاکتوس، گیاهان تیرهٔ گل‌ناز و آناناس
زیستگاه	بیشتر مناطق	مناطق گرم	مناطق بسیار گرم و خشک
واکنش‌های تثبیت‌کنندهٔ CO_2	فقط چرخهٔ کالوین	چرخهٔ کالوین و سایر واکنش‌ها	چرخهٔ کالوین و سایر واکنش‌ها
اولین مادهٔ آلی پایدار که از CO_2 ساخته می‌شود	اسید سه کربنه	اسید ٤ کربنه	اسید ٤ کربنه
محل ساخت اولین مادهٔ آلی پایدار از CO_2	یاخته‌های میانبرگ	یاخته‌های میانبرگ	یاخته‌های میانبرگ
محل انجام چرخهٔ کالوین	یاخته‌های میانبرگ	یاخته‌های غلاف آوندی	یاخته‌های میانبرگ
زمان ساخت اولین مادهٔ آلی پایدار از CO_2	شب	شب	شب
زمان انجام چرخهٔ کالوین	شب	شب	روز
وضعیت روزنه‌های هوایی در روز	باز	باز	بسته
وضعیت روزنه‌های هوایی در شب	بسته	بسته	باز

جانداران فتوسنتز کنندهٔ دیگر

- بخش عمدهٔ فتوسنتز را جاندارانی انجام می‌دهند که گیاه نیستند و در خشکی زندگی نمی‌کنند.
- انواعی از باکتریها و آغازیان در محیط‌های متفاوت خشکی و آبی فتوسنتز می‌کنند.

باکتری ها:باکتری‌هایی که فتوسنتز می‌کنند، سبزدیسه ندارند، اما دارای رنگیزه‌های جذب کننده نور هستند.

جدول مقایسه‌ای انواع باکتری‌های فتوسنتز کننده		
انواع باکتری	اکسیژن‌زا	غیر اکسیژن‌زا
مثال	سیانوباکتری‌ها	باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز
نام رنگیزهٔ فتوسنتز کننده	سبزینهٔ a	باکتریوکلروفیل
منبع کربن	CO_2	CO_2
منبع الکترون	آب (H_2O)	H_2S
منبع انرژی	نور خورشید	نور خورشید
محصولات فتوسنتزی	قندهای ساده و اکسیژن	قندهای ساده و گوگرد
واکنش فتوسنتزی	$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	$6CO_2 + 12H_2S + \text{نور} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$

نکات:

۱- چون منبع الکترون باکتری‌های گوگردی (H_2S) اکسیژن ندارد، به همین خاطر در اثر تجزیهٔ آن، بجای اکسیژن، گوگرد درست می‌شود.

۲- از این باکتریها در تصفیهٔ فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند.

۳- هیدروژن سولفید گازی بی‌رنگ است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.

آغازیان:

آغازیان نقش مهمی در تولید مادهٔ آلی از ماده معدنی دارند.

انواع آغازیان فتوسنتز کننده

۱- جلبکهای سبز، قرمز و قهوه ای که به صورت دائمی فتوسنتز می‌کنند.

۲- **اوگلنا :** جانداری تک‌یاخته ای و مثال دیگری از آغازیان فتوسنتزکننده است.

این جاندار در حضور نور فتوسنتز می‌کند و در صورتی که نور نباشد، سبزدیسه‌های خود را از دست می‌دهد و با تغذیه از مواد آلی، ترکیبات مورد نیاز خود را به دست می‌آورد.

Dr.SorooshSafa

شیمیوسنتز

تعریف: ساختن مواد آلی از مواد معدنی ، با استفاده از انرژی واکنش‌های شیمیایی را شیمیوسنتز گویند.

باکتری‌های شیمیوسنتز کننده

- در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانه آتشفشانهای زیرآب وجود دارند.
- از قدیمیترین جانداران روی زمین‌اند.
- می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی اکسید مادهٔ آلی بسازند.
- انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنشهای شیمیایی، به ویژه اکسایش ترکیبات معدنی (غیرآلی) به دست می‌آورند.
- **مثال:** باکتریهای نیترات ساز ← آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند

نکته: زیستن در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانه آتشفشانهای زیرآب برای بسیاری از جانداران غیرممکن است.

دانش آموزان عزیزی که دوست دارند مطالب این جزوه رو به صورت تدریس ویدئویی همراه با حل تست مشاهده کنند، برای اطلاع از زمان پخش ویدئوها می‌تونند به کانال تلگرامی بنده @ZISTNOVIN مراجعه کنند. به محض آماده شدن ویدئوها، لینک پخش رایگان ویدئو را در کانال قرار خواهم داد.

♥ با آرزوی موفقیت برای تمام شما عزیزان ♥

خداوند مهربون پشت و پناهتون

سروش صفا

Dr.Soroush Safa