* گیاهان در فرایند فتوسنتز ، CO_2 را با استفاده از انرژی نور خورشید به ماده آلی تبدیل و اکسیژن نیز تولید می کنند .

می توان میزان فتوسنتز را با تعیین میزان کربن دی اکسید مصرف شده و یا اکسیژن تولید شده (البته در صورتی که منبع الکترون آب باشد !) اندازه گرفت . خلاصه فرایند فتوسنتز :

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

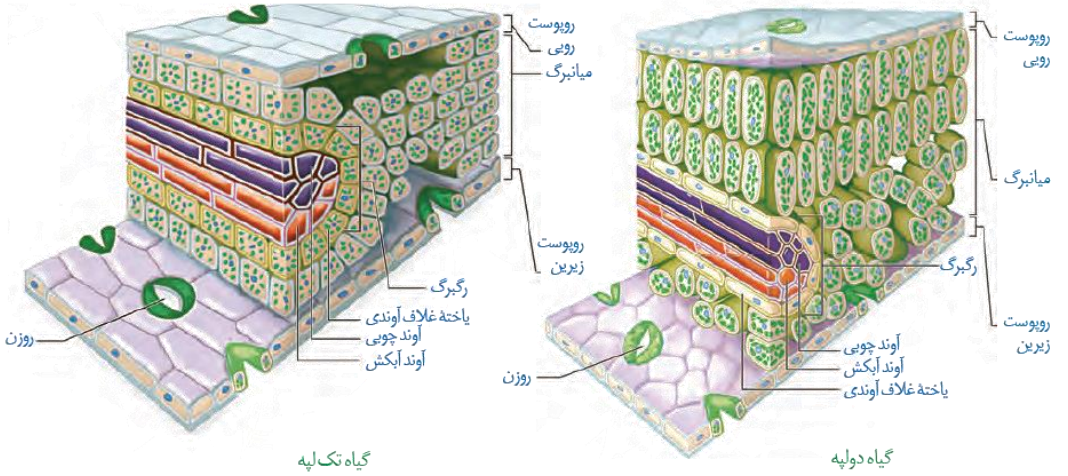
* برای اینکه جانداری بتواند فتوسنتز کند ، باید مولکول های رنگیزه ای داشته باشد تا بتواند انرژی نور خورشید را جذب کند . همچنین باید سامانه ای داشته باشد که این انرژی را به انرژی شیمیایی تبدیل کند

* برگ ، مناسبت ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان است . برگ تعداد فراوانی سبزدیسه (کلروپلاست) دارد که محل انجام فتوسنتز هستند

* برگ گیاهان دو لپه دارای پهنک و دمبرگ است . پهنک شامل روپوست ، میانبرگ و دسته های آوندی (رگبرگ) است .

* میانبرگ گیاهان دو لپه ، از یاخته های پارانشیمی نرده ای و اسفنجی تشکیل شده است . یاخته های نرده ای به هم فشرده هستند و در زیر روپوست رویی قرار گرفته اند . یاخته های اسفنجی در بالای روپوست زیرین واقع شده اند .

* میانبرگ در بعضی گیاهان (تک لپه ای ها) ، فقط از یاخته های اسفنجی تشکیل شده است



نکته : یاخته های غلاف آوندی در گیاهان دولپه ، فاقد سبزدیسه بوده ، قادر به انجام فتوسنتز نیستند و همچنین کشیده ترند

نکته : هم در گیاهان تک لپه و هم در گیاهان دو لپه ، تعداد روزنه ها در سطح زیرین برگ بیشتر است ! (برای اینکه تبخیر آب کاهش یابد)

نکته : تعداد روزنه ها در گیاهان تک لپه ای بیشتر از دو لپه ای هاست

نکته : درگیاهان دولپه ، یاخته های روپوست بالایی کشیده تر از یاخته های روپوست پایینی هستند

* سبزدیسه نیز همانند راکیزه ، دو غشایی است . فضای درون سبزدیسه با سامانه ای غشایی به نام تیلاکوئید به دو بخش فضای درون تیلاکوئید و بستره تقسیم شده است .

نکته : سبزدیسه همانند راکیزه دارای دو غشا است اما برخلاف آن ۳ فضا دارد

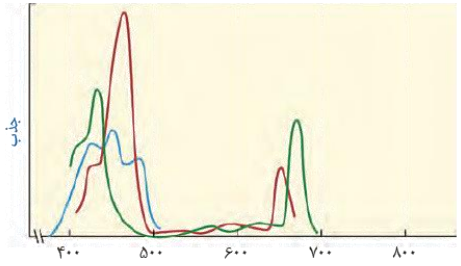
* تیلاکوئیدها ساختارهای غشایی و کیسه مانند و به هم متصل هستند

* بستره دارای دنا (حلقوی) ، رنا و رناتن است . بنابراین ، سبزدیسه مانند راکیزه می تواند بعضی پروتئین های مورد نیازخود را بسازد . سبزدیسه نیز همانند راکیزه می تواند به طور مستقل تقسیم شود

* رنگیزه های فتوسنتزی در غشای تیلاکوئید (نه سبزدیسه !) قرار دارند

* رنگیزه های تیلاکوئید : ۱_سبزینه (بیشترین رنگیزه . شامل سبزینه a و b) و ۲_ کاروتنوئید

* وجود رنگیزه های متفاوت ، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج های متفاوت نور ، افزایش می دهد



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

* در گیاهان ، سبزینه های a و b وجود دارند

* محدوده جذبی و رنگ رنگیزه ها :

سبزینه های a : بیشترین جذب ››› بنفش و آبی . کمترین جذب ››› سبز

سبزینه های b : بیشترین جذب ››› بنفش و آبی . کمترین جذب ››› سبز

(البته حداکثر جذب سبزینه های a و b در هر یک از این محدوده ها با هم فرق می کند)

کاروتنوئید ها : بیشترین جذب ››› آبی و سبز . کمترین جذب ››› زرد ، نارنجی ، قرمز

نکته : رنگیزه ها طیف های مختلف نور را جذب می کنند و طیفی را که قادر به جذب آن نباشند ، منعکس می کنند . به همین دلیل مثلا ما سبزینه ها را به رنگ سبز می بینیم !

نکته : حداکثر جذب سبزینه b از حداکثر جذب سبزینه a بیشتر است

نکته : حداکثر جذب سبزینه a از حداکثر جذب کاروتنوئیدها بیشتر است

نکته : در طول موج ۶۰۰ – ۷۰۰ ، حداکثر جذب سبزینه a از حداکثر جذب b بیشتر است

نکته : سبزینه a در طول موج کمتری نسبت به کاروتنوئید ها و سبزینه b به حداکثر جذب خود می رسد (سبزینه b نیز در طول موج کمتری نسبت به کاروتنوئید ها به حداکثر جذب می رسد)

نکته : در طول موج ۶۰۰-۷۰۰، سبزینه b در طول موج کمتری نسبت به سبزینه a به حداکثر جذب خود در این موج میرسد

* رنگیزه های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه هایی به نام فتوسیستم ۱ و ۲ قرار دارند . هر فتوسیستم شامل آنتن های گیرنده نور و یک مرکز واکنش است . هر آنتن که از رنگیزه های متفاوت (کلروفیل ها و کاروتنوئیدها) و انواعی پروتئین ساخته شده است ، انرژی نور را می گیرد و به مرکز واکنش منتقل می کند . مرکز واکنش ، شامل مولکول های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند .

* به سبزینه a در فتوسیستم ۱ ، P700 و در فتوسیستم ۲ ، P680 می گویند

* فتوسیستم ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول هایی به نام ناقل الکترون به هم مرتبط می شوند . این مولکول ها می توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش)

نکته فعالیت ۲ : در محدوده سبز طیف نور ، میزان فتوسنتز حداقل می باشد !

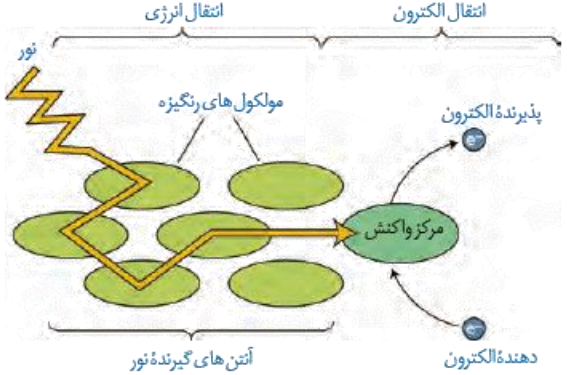
نکته فعالیت ۲ : در محدوده قرمز یا بنفش طیف نور ، میزان فتوسنتز حداکثر می باشد !

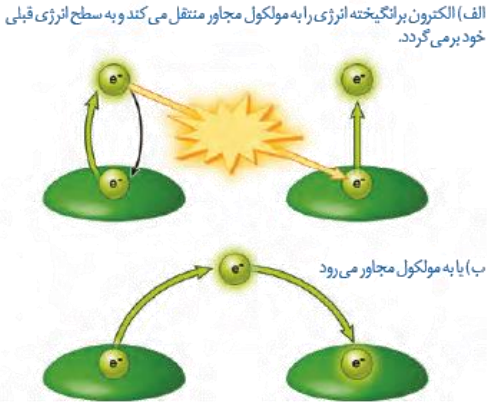
نکته فعالیت ۳ : اسپیروژیر نوعی جلبک سبز رشته ای است که سبزدیسه های نواری و دراز دارد

* واکنش های فتوسنتزی را در دو گروه واکنش های وابسته به نور(تیلاکوئیدی) و مستقل از نور (تثبیت کربن) قرار می دهند

* وقتی نور به رنگیزه ها می تابد ، الکترون انرژی می گیرند و ممکن است برانگیخته شود . الکترون برانگیخته ممکن است با انتقال انرژی به رنگیزه بعدی ، به مدار خود برگردد یا از رنگیزه خارج و به وسیله رنگیزه یا مولکولی دیگرگرفته شود .

* در فتوسنتز ، انرژی الکترون های برانگیخته موجود در آنتن ها در نهایت سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینه a و خروج الکترون از آن می شود .





* الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۲ بعد از عبور از زنجیره انتقال الکترون ، به مرکز واکنش در فتوسیستم ۱ می رود . الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۱ ، در نهایت به مولکول $NADP^+$ منتقل می شود و آن را احیا می کند

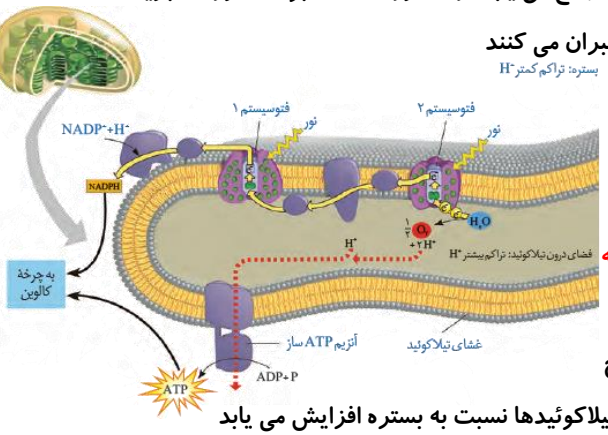
* دو نوع زنجیره انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید وجود دارد . یک زنجیره بین فتوسیستم ۲ و فتوسیستم ۱ و دیگری بین فتوسیستم ۱و $NADP^+$ واقع شده است

* $NADP^+$ با گرفتن دو الکترون ، بار منفی پیدا می کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH تبدیل می شود $NADP^+ + ۲e^- + ۲H^+ \longrightarrow NADPH + H^+$

* الکترونی که از سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ می آید ، کمبود الکترون سبزینه a در فتوسیستم ۱ را جبران می کند . کمبود الکترون سبزینه a در فتوسیستم ۲ نیز با تجزیه مولکول آب جبران می شود .

* تجزیه نوری آب در فتوسیستم ۲ و در سطح داخلی تیلاکوئید انجام می شود.حاصل تجزیه آب در فتوسیستم ۲ ، الکترون ، پروتون و اکسیژن است $H_۲O \longrightarrow ۲H^+ + \frac{۱}{۲} O_۲ + ۲e^-$

* پروتون ها (H^+) درون تیلاکوئید تجمع می یابند و الکترون ها ، کمبود الکترون سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ را جبران می کنند



* پمپ غشایی که در بین فتوسیستم ۱ و۲ قرار گرفته ، پروتون ها را با صرف انرژی (این انرژی را از الکترون های برانگیخته دریافت می کند نه ATP) به درون تیلاکوئید منتقل می کند و به تدریج تراکم پروتون ها در فضای درون تیلاکوئیدها نسبت به بستره افزایش می یابد

نکته : مولکول های ناقل الکترون در اولین زنجیره انتقال الکترون به ترتیب آبگریز ، سراسری و آبدوست هستند . در دومین زنجیره هردو آبدوست هستند

نکته : انتهای ضخیم فتوسیستم ۱ ، در سمت درون تیلاکوئید قرار دارد

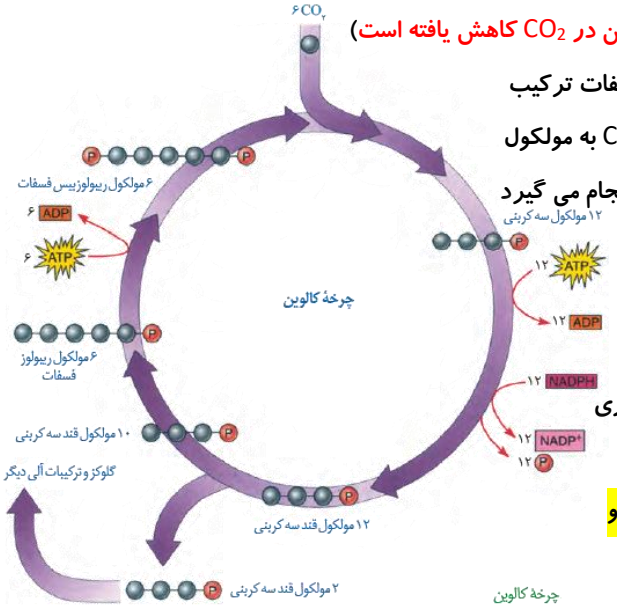
* دانستیم که دو عامل سبب افزایش پروتون های تیلاکوئید می شوند (چه عواملی بودن ؟؟)

* با افزایش غلظت پروتون ها درون تیلاکوئید نسبت به بستره ، یک شیب غلظت ایجاد می شود و پروتون ها تمایل به خروج از تیلاکوئید دارند . این خروج فقط از طریق کانال موجود در آنزیم ATP ساز انجام می شود . همانند آنچه در راکیزه رخ می دهد ، همراه با عبور پروتون ها از این آنزیم ، ATP ساخته می شود (ساخته شدن نوری ATP)

* ساخته شدن قند در چرخه ای از واکنش ها ، به نام چرخه کالوین رخ می دهد این واکنش ها در بستره سبزدیسه انجام می شوند (عدد اکسایش کربن در مولکول قند ، نسبت به کربن در CO_2 کاهش یافته است)

* در چرخه کالوین CO_2 با قندی پنج کربنی به نام ریبولوزبیس فسفات ترکیب و مولکول شش کربنی ناپایداری تشکیل می شود . افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی ، با کمک آنزیم روبیسکو (طی فعالیت کربوکسیلازی) انجام می گیرد

* مولکول شش کربنی که ناپایدار است ، بلافاصله تجزیه شده و دو مولکول اسید سه کربنی ایجاد می کند. این مولکول ها در نهایت به قندهای سه کربنی تبدیل می شوند . تعدادی از این قندها برای ساخته شدن گلوکز و ترکیبات آلی دیگر و تعدادی نیز برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات به مصرف می رسند



نکته : در چرخه کالوین به ازای هر مولکول CO_2 ، ۳ مولکول ATP و ۲ مولکول NADPH تولید می شود

* گرچه واکنش های کالوین مستقل از نور انجام می شوند ، اما انجام این واکنش ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنش های نوری است

* به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها فقط با چرخه کالوین انجام می شود ، گیاهان C_3 می گویند . زیرا اولین ماده آلی پایدار ساخته شده ، ترکیبی سه کربنی است

* به فرایند استفاده از CO_2 برای تشکیل ترکیب های آلی ، تثبیت کربن می گویند

* فرایند فتوسنتز تحت تاثیر محیط است . دما ، میزان اکسیژن ، میزان CO_2 ، طول موج ، شدت و مدت زمان تابش نور نیز بر فتوسنتز اثر می گذارند

نکته : هر چه تراکم اکسیژن محیط بیشتر باشد ، سرعت فتوسنتز کاهش می یابد (اما به صفر نمی رسد !) تا اینکه از تراکم خاصی به بعد ، این سرعت ثابت می ماند

* افزایش بیش از حد دما و نور ، سبب بسته شدن روزنه های هوایی می شود

* وقتی روزنه ها به منظور کاهش تعرق بسته می شوند ، تبادل گازهای اکسیژن و کربن دی اکسید از روزنه ها نیز توقف (نه کاهش !) می یابد . اما فتوسنتز همچنان ادامه دارد و سبب کاهش CO_2 و افزایش اکسیژن در برگ می شود (وقتی روزنه ها باز هستند ، نسبت CO_2 به O_2 بیشتر از زمانی است که روزنه ها برای حفظ آب گیاه بسته شده اند)

* در شرایطی که روزنه ها بسته باشند ، وضعیت برای فعالیت اکسیژنازی روبیسکو فراهم می شود . (کربوکسیلازی یا اکسیژنازی این آنزیم به نسبت CO_2 و اکسیژن مربوطه)

* در صورت فعالیت اکسیژنازی روبیسکو ، ریبولوزبیس فسفات با اکسیژن ترکیب می شود و به یک ترکیب ۵ کربنی ناپایدار تبدیل می شود . این ترکیب تجزیه شده و یک مولکول سه کربنی (برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات مصرف می شود) و یک مولکول دو کربنی (در فرایند تنفس نوری مصرف می شود) ایجاد می کند .

* در فرایند تنفس نوری که بخشی از واکنش های آن در راکیزه انجام می شود ، CO_2 از ترکیب دو کربنی آزاد می شود.در تنفس نوری برخلاف تنفس یاخته ای ، ATP تولید نمیشود

* یکی از سازگاری ها برای ممانعت از تنفس نوری ، در گیاهان C_4 قابل مشاهده است . یاخته های غلاف آوندی در این گیاهان سبزدیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین اند در حالی که در گیاهان C_3 ، سبزدیسه ندارند

تثبیت کربن در گیاهان C_4 :

– مرحله اول : در یاخته های میانبرگ و تولید اسید پایدار ۴ کربنی (به وسیله آنزیمی که با روبیسکو متفاوت است و تمایلی به اکسیژن ندارد !)

– مرحله دوم : در یاخته های غلاف آوندی ، CO_2 از اسید ۴ کربنی آزاد می شود و با کمک آنزیم روبیسکو ، چرخه کالوین انجام می شود

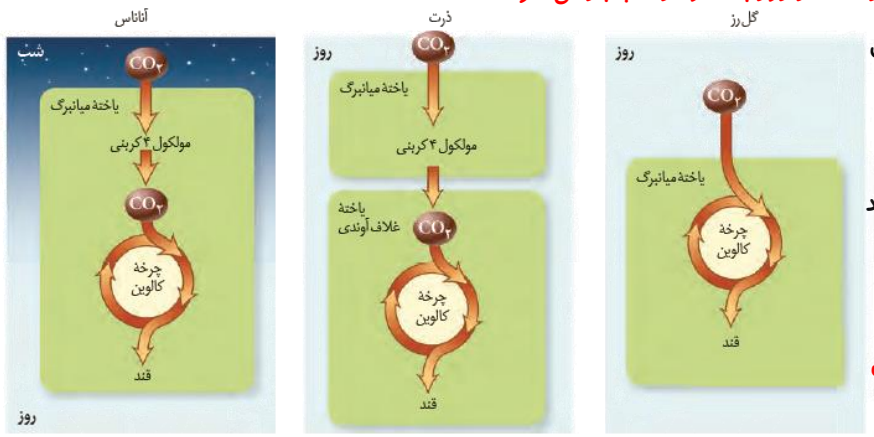
* این سازگاری ها سبب می شود که تنفس نوری به ندرت در گیاهان C_4 رخ دهد

* این گیاهان در دماهای بالا ، شدت های زیاد نور و کمبود آب، بیشتر از C_3 ها کارایی دارند

* گیاهان CAM در مناطقی زندگی می کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه اند و به همین دلیل برای جلوگیری از هدر رفتن آب ، روزنه ها در روز بسته و در شب باز می شوند .

* برگ ، ساقه یا هردوی آنها در چنین گیاهانی ، گوشتی و پرآب است . این گیاهان در کریچه های خود ترکیباتی دارند که آب را نگه می دارند

* تثبیت کربن در گیاهان CAM برخلاف گیاهان C_4 ، در یاخته های مختلفی رخ نمی دهد بلکه در بازه های زمانی مختلفی اتفاق می افتد



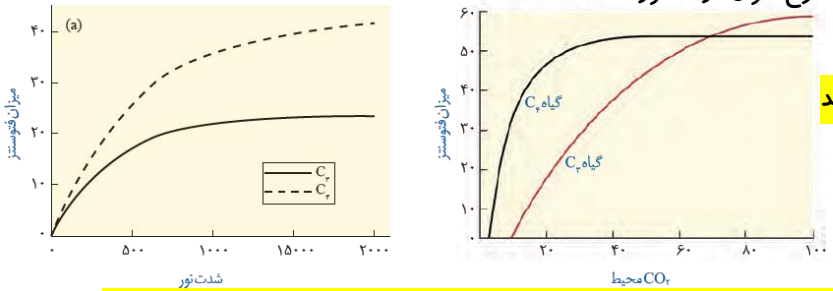
مقایسه فتوسنتز در گیاهان الف) C_3، ب) C_4 و پ) CAM

* در گیاهان CAM ، تثبیت اولیه کربن در شب که روزنه ها بازند و چرخه کالوین در روز انجام می شود که روزنه ها بسته اند

نکته : عصاره برگ گیاهان CAM در هنگام آغاز روشنایی روز نسبت به آغاز تاریکی ، اسیدی تر بوده و pH کمتری دارد

* نمودار های زیر دارای شانس بالایی برای طرح سوال در کنکور هستند !

نکته : در صورت تراکم بالای CO_2 جو ، کارایی گیاهان C_3 می تواند بیشتر C_4 از باشد



* * نکات مقایسه ای :

– تثبیت کربن در گیاهان C_4 در دو نوع یاخته اما در یک زمان (طول روز) و در گیاهان CAM در زمان های متفاوت و یک نوع یاخته انجام می گیرد

– گیاهان C_3 در یک سلول و در یک زمان تثبیت CO_2 را انجام می دهند

– در گیاهان C_3 و گیاهان CAM ، چرخه کالوین در یاخته های میانبرگ انجام می شود

– در هر۳ نوع گیاه ، تثبیت کربن ابتدا در یاخته های میانبرگ انجام می گیرد

– در گیاهان C_4 و CAM ، اولین ماده ی پایدار حاصل از تثبیت کربن ، مولکولی 4 کربنی است

* بخش عمده فتوسنتز را جاندارانی انجام می دهند که گیاه نیستند و حتی ممکن است در خشکی زندگی نکنند

– باکتری ها : باکتری ها هیچ اندامکی (از جمله سبزدیسه) ندارند اما دارای رنگیزه های جذب کننده نورند . بعضی باکتری ها سبزینه (نه سبزدیسه !) دارند . مثلا سیانوباکتری ها همانند گیاهان سبزینه a دارند و می توانند مواد آلی و اکسیژن تولید کنند

به همین دلیل به این باکتری های فتوسنتز کننده ، باکتری های اکسیژن زا گفته می شود

گروهی دیگر از باکتری های فتوسنتز کننده ، اکسیژن تولید نمی کنند بنابراین غیر اکسیژن زا هستند . مثل باکتری های گوگردی سبز و گوگردی ارغوانی (که منبع الکترون آن ها آب نیست بلکه H_2S می باشد . هیدروژن سولفید گازی بی رنگ است و بویی شبیه تخم مرغ گندیده دارد) از این باکتری ها در تصفیه فاضلاب ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می کنند $۶CO_۲ + ۱۲H_۲S + \text{نور} \longrightarrow C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۱۲S + ۶H_۲O$

– آغازیان : آغازیان نقش مهمی در تولید ماده آلی از ماده معدنی دارند .

جلبک های سبز ، قرمز و قهوه ای و همچنین اوگلنا ها فتوسنتز می کنند . اوگلنا جانداری تک یاخته ای است و در صورت نبود نور ، سبزدیسه های خود را از دست داده و از مواد آلی تغذیه می کند

* ساختن ماده آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز نیست . مثلا باکتری های شیمیوسنتز کننده بدون نیاز به نور می توانند مواد معدنی را به مواد آلی تبدیل کنند

(دانشمندان معتقدند باکتری های شیمیوسنتز کننده از قدیمی ترین جانداران روی زمین اند)

چنین باکتری هایی ، انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش های اکسایش به دست می آورند . به این فرایند شیمیوسنتز می گویند

باکتری های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می کنند ، نمونه هایی از باکتری های شیمیوسنتزکننده اند .

با تشکر فراوان از دکتر نوید درویش پور بابت همکاری در انجام این پروژه ♡
Navid's Channel: @zistDVPP