فصل ۶

از انرژی به ماده

دانستیم انرژی مورد نیاز ما برای انجام فعالیت‌های حیاتی، از 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؟

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همه آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

گروه آلپ

باکس نکات:

؟

از انرژی به ماده

۱

گفتار ۱ فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

می‌دانید گیاهان در فرایند فتوسنتز CO_2 را با استفاده از انرژی نور خورشید به ماده آلی تبدیل و اکسیژن نیز تولید می‌کنند (واکنش ۱). بر این اساس می‌توان میزان فتوسنتز را با تعیین میزان کربن دی‌اکسید مصرف شده و یا اکسیژن تولید شده، اندازه گرفت.

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

واکنش ۱ـ واکنش کلی فتوسنتز

تشخیص رنگ رنگیزه‌ها با مولکول‌های مخروطی چشم!!

ترکیبی ۲-۱۱

برای اینکه جانداری بتواند فتوسنتز انجام دهد، چه ویژگی هایی باید داشته باشد؟ یکی از این ویژگی‌ها داشتن مولکول‌های رنگیزه‌ای است که بتوانند انرژی نور خورشید را جذب کنند. همچنین، باید سامانه‌ای برای تبدیل این انرژی به انرژی شیمیایی وجود داشته باشد. انواعی از جانداران وجود دارند که فتوسنتز می‌کنند. در ادامه به بررسی این فرایند در گیاهان می‌پردازیم.

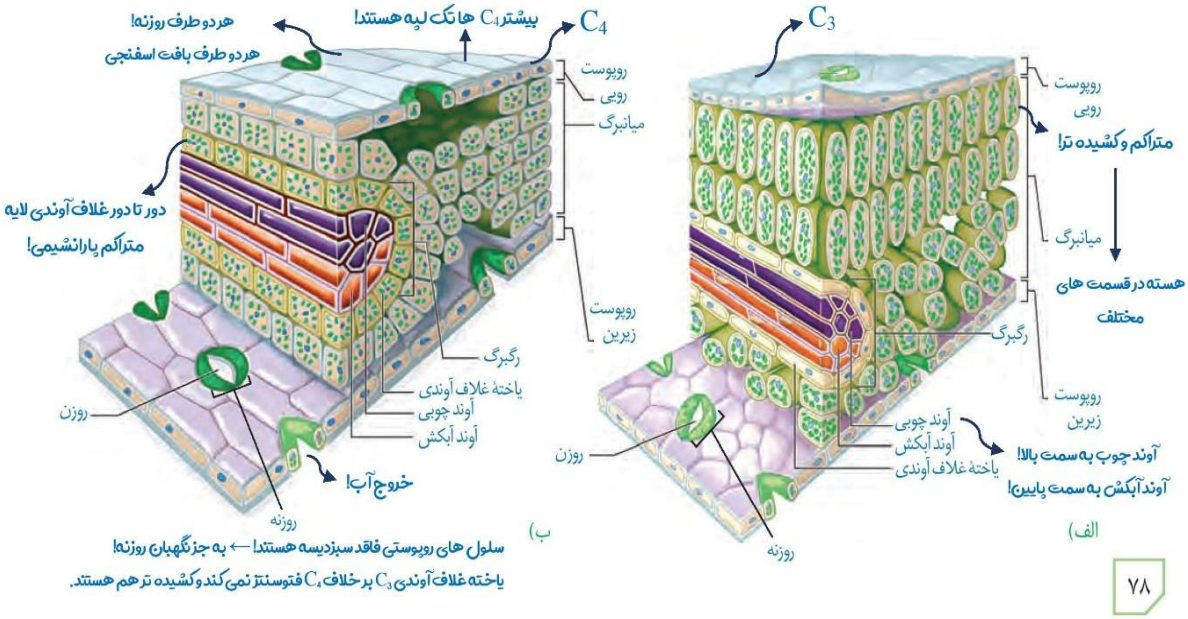
ویژگی‌ها؟!

برگ ساختار تخصص یافته برای فتوسنتز

برگ که مناسب‌ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان است تعداد فراوانی سبزدیسه دارد. همان‌طور که می‌دانید، فتوسنتز در سبزدیسه‌ها انجام می‌شود. ← نه همواره!

برگ گیاهان دو لپه دارای پهنک و دمبرگ است. پهنک شامل **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی** (رگبرگ) است. روپوست **رویی** و **زیرین** به ترتیب در سطح رویی و زیرین پهنک برگ قرار دارند. میانبرگ شامل یاخته‌های پارانشیمی است. در شکل ۱ـ الف میانبرگ از یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی تشکیل شده است. همان‌طور که در این شکل می‌بینید، یاخته‌های نرده‌ای بعد از روپوست

شکل ۱ـ ترسیمی از برگ
الف) نمونه‌ای گیاه دولپه
ب) نمونه‌ای گیاه تک‌لپه



باکس نکات:

* یاخته‌های نرم آکنه‌ای فتوسنتزکننده و به‌هم‌فشرده:
برگ تک‌لپه ← غلاف آوندی
برگ دولپه ← میانبرگ نرده‌ای

* در رگبرگ دو سامانه بافتی دیده می‌شود:
غلاف آوندی (جزو سامانه بافت زمینه‌ای)
آوندها (جزو سامانه بافت آوندی)

(ص/غ) میانبرگ در بعضی گیاهان از یاخته‌های اسفنجی تشکیل شده است. (شهریور ۱۳۹۹)

(ص/غ) تثبیت کربن در گیاهان C_4 در دو مرحله ابتدا در یاخته‌های غلاف آوندی و سپس در یاخته‌های میانبرگ انجام می‌شود. (دی ۱۳۹۸)

(انتخابی) در میانبرگ گیاهان دولپه‌ای یاخته‌های پارانشیمی (نرده ای – اسفنجی) بعد از روپوست رویی قرار دارند. (شهریور ۱۴۰۱)

(انتخابی) در برگ گیاهان دولپه، یاخته‌های اسفنجی میانبرگ به سمت روپوست (رویی زیرین) قرار دارند. (دی ۱۳۹۹) (پاسخ کوتاه) تفاوت یاختهٔ غلاف آوندی در برگ گیاه تک لپه و دولپه را بنویسید. (خرداد ۱۴۰۲)

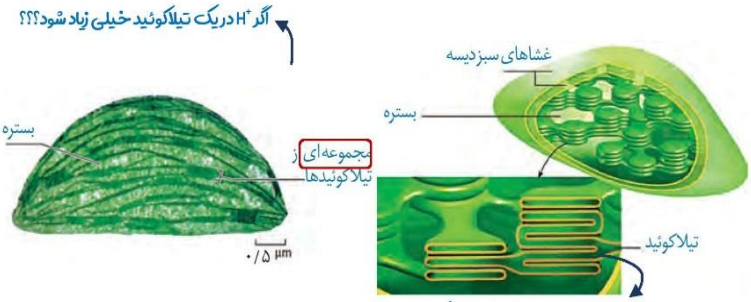
باکس نکات:

رویی قراردارند و به هم فشرده‌اند، در حالی که یاخته‌های اسفنجی به سمت روپوست زیرین قراردارند. میانبرگ در بعضی گیاهان از یاخته‌های اسفنجی تشکیل شده است (شکل ۱ـ ب).

سبزدیسه: سبزدیسه همانند راکیزه دارای غشای بیرونی و غشای درونی است که از هم فاصله دارند. فضای درون سبزدیسه با سامانه‌ای غشایی به نام **تیلاکوئید** به دو بخش فضای درون تیلاکوئید و **بستره** تقسیم شده است. تیلاکوئیدها ساختارهای غشایی و کیسه‌مانند و به هم متصل هستند (شکل ۲). بستره دارای دنا، رنا و رِناتَن است. بنابراین، سبزدیسه مانند راکیزه می‌تواند بعضی پروتئین‌های مورد نیاز خود را بسازد. سبزدیسه نیز می‌تواند به طور مستقل تقسیم شود.

باکتری!!!

شکل ۲ـ ساختار سبزدیسه



بیشتر بدانید

گوناگونی شکل برگ‌ها

برگ ذرت، دمبرگ ندارد.

برگ مرکب از تعدادی برگچه تشکیل شده است، مانند برگ درخت گردو.

لبه برگ بعضی گیاهان کنگره دار است، مانند برگ درخت بلوط.

فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

سبزینه همان‌طور که از نامش پیداست، به رنگ سبز دیده می‌شود. با توجه به آنچه در سال گذشته درباره بینایی آموختید، توضیح دهید این رنگیزه چرا به رنگ سبز دیده می‌شود؟

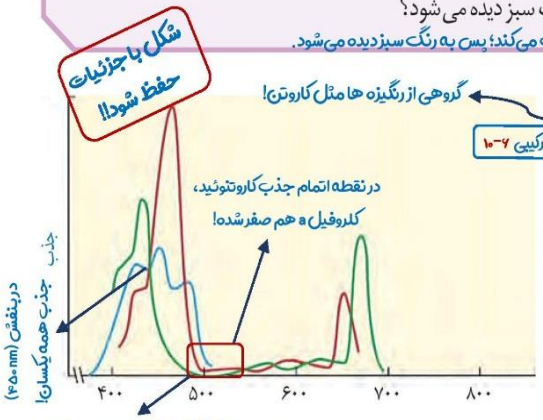
سبزینه پرتوهای سبز رنگ را کمتر از سایر پرتوها جذب می‌کند؛ پس به رنگ سبز دیده می‌شود.

رنگیزه‌های فتوسنتزی در غشای تیلاکوئید قرار دارند. افزون بر سبزینه که بیشترین رنگیزه در سبزدیسه‌هاست، کاروتنوئیدها نیز در غشای تیلاکوئید وجود دارند. وجود رنگیزه‌های متفاوت، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج های متفاوت نور افزایش می‌دهد.

نه فقط!

در گیاهان سبزینه‌های a و b وجود دارند. بیشترین جذب هر دو نوع سبزینه در محدوده‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر (بنفش ـ آبی) و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (نارنجی ـ قرمز) است. گرچه حداکثر جذب آنها در هر یک از این محدوده‌ها با هم فرق می‌کند. کاروتنوئیدها به رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز دیده می‌شوند و بیشترین جذب آنها در بخش آبی و سبز نور مرئی است (شکل ۳).

چون این رنگ ها را دفع می‌کنند!



شکل ۳ـ طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی. سبزینهٔ a (سبز)، سبزینهٔ b (قرمز) و کاروتنوئیدها (آبی)

؟ (ص/غ) **بیشترین جذب سبزینه (کلروفیل) a در محدوده 400 تا 500 نانومتر کمتر از سبزینه b است.** (خرداد ۱۴۰۲)

(پاسخ کوتاه) **مزیت وجود رنگیزه‌های متفاوت (سبزینه و کاروتنوئید) در گیاهان چیست؟** (دی ۱۴۰۰)

فتوسیستم: سامانه تبدیل انرژی

رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه‌هایی به‌نام **فتوسیستم ۱ و ۲** قرار دارند. هر فتوسیستم شامل **آنتن‌های گیرنده نور** و یک **مرکز واکنش** است. هر آنتن که از رنگیزه‌های 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 مولکول‌های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند.

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 فتوسیستم ۱، P۷۰۰ و در فتوسیستم ۲، P۶۸۰ می گویند.

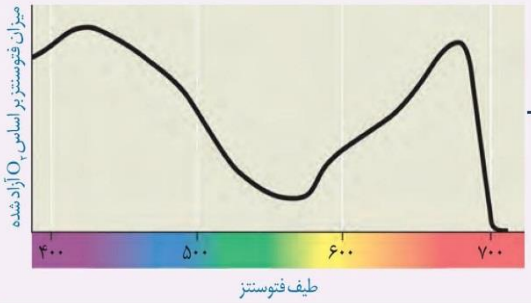
فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول‌هایی به نام **ناقل الکترون** به هم مرتبط می‌شوند. این مولکول ها می توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش).

- یک فتوسیستم → یک مرکز واکنش + چند آنتن گیرنده
- چند آنتن گیرنده: هرکدام → چند کلروفیل b و کاروتنوئید + پروتئین ها
- چند کلروفیل a + پروتئین ها
- نه یک نوع!!
- نه فتوسیستم!
- نه متصل!!

فعالیت ۲

ارائه دلیل

نمودار زیر میزان فتوسنتز یک گیاه را نشان می دهد. این نمودار را با نمودار شکل ۳ مقایسه کنید و نتایجی را که از آن به‌دست می آورید، بنویسید.

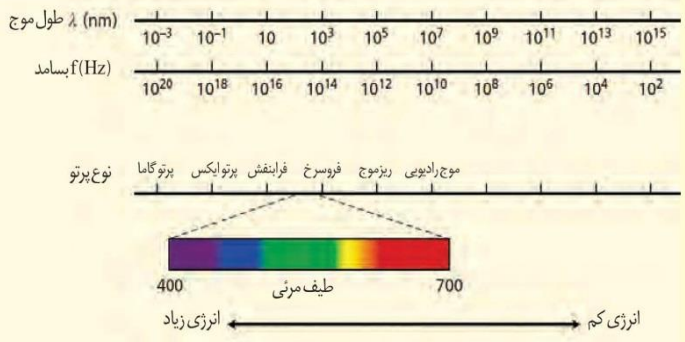


- حداکثر جذب سبزینه‌های a
  - الف) در مرکز واکنش
  - ب) در آنتن‌های گیرنده نور ← محدوده ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر
- در فتوسیستم I ← ۷۰۰nm
- در فتوسیستم II ← ۶۸۰nm
- تقریبا میانگین نمودار صفحه قبل!
- رنگیزهٔ اصلی فتوسنتز = سبزینه
- میزان جذب با میزان فتوسنتز رابطهٔ مستقیم دارد.

بیشتر بدانید

طیف الکترومغناطیس

بخش مرئی نور، بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس است. طیف الکترومغناطیس را در کتاب فیزیک ۳ مطالعه می کنید.



باکس نکات:

؟ (ص/غ) مرکز واکنش در فتوسیستم، شامل مولکول‌های کلروفیل b است که در بستری پروتئین قرار دارند. (شهریور ۱۴۰۱)

(ص/غ) هر فتوسیستم شامل آنتن گیرنده نور و یک مرکز واکنش است. (خرداد ۱۳۹۹)

(ص/غ) فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول‌هایی به نام ناقل الکترون به هم مرتبط می‌شوند. (شهریور ۱۳۹۸)

(جای خالی) فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول‌هایی به نام ..... به هم مرتبط می‌شوند. (خرداد ۱۴۰۰)

فعّالیت ۳

گفت‌وگو کنید

آیا همهٔ طول موج های نور مرئی به یک اندازه در فتوسنتز نقش دارند؟ می‌توان با استفاده از اسپیروژیر (جلبک سبز رشته‌ای)، نوعی باکتری هوازی، چشمه نور و منشور ــ برای تجزیه نور ــ آزمایشی را برای پاسخ به این پرسش انجام داد.

اسپیروژیر سبزدیسه‌های نواری و دراز دارد (شکل الف). اگر همهٔ طول موج‌های نور به یک اندازه در فتوسنتز مؤثر باشند، انتظار داریم که تراکم اکسیژن در اطراف جلبک رشته‌ای یکسان باشد. ← در این آزمایش به دنبال میزان تراکم اکسیژن در طول موج های مختلف هستیم!

در آزمایشی که برای بررسی این فرض انجام شد، جلبک را روی سطحی ثابت کردند و درون لولهٔ آزمایشی شامل آب و باکتری های هوازی قرار دادند. لوله آزمایش در برابر نوری قرار گرفت که از منشور عبور کرده و به طیف های متفاوت تجزیه شده بود. بعد از گذشت مدتی، مشاهده شد که باکتری‌ها در بعضی قسمت‌ها تجمع یافته‌اند (شکل ب). ← نه که در قسمت های دیگر وجود نداشته باشند!

الف) چه توضیحی برای این مشاهده دارید؟ با چه آزمایشی می‌توانید درستی این توضیح را بررسی کنید؟

ب) آیا از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که سبزینه، رنگیزه اصلی در فتوسنتز است؟ پاسخ خود را توضیح دهید. بله؛ زیرا در رنگ سبز و اطراف آن کمترین فتوسنتز را داریم

الف)اسپیروژیر

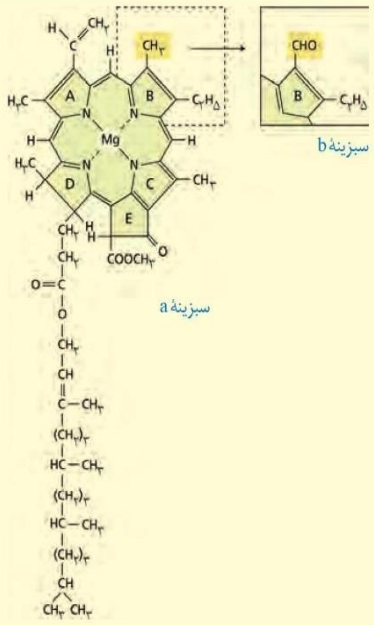
ب) ترسیمی از نتیجه آزمایش

بیشترین بازه پشت سر هم زیاد بودن فتوسنتز

بیشتر بدانید

ساختار سبزینه

مولکول سبزینه از دو بخش سر و دم تشکیل شده است. تفاوت سبزینه های a و b به اختلاف اندکی در بخش سر مربوط می‌شود. جالب است که ساختار بخش سر شبیه بخش هم در مولکول هموگلوبین است؛ با این تفاوت که به‌جای آهن، منیزیم دارد.



باکس نکات:

؟ (جاخالی) در رابطه با آزمایشی که برای بررسی اثر همهٔ طول موج‌های نور مرئی بر میزان فتوسنتز جلبک اسپیروژیر (جلبک سبز رشته‌ای) انجام شد، به سؤالات زیر پاسخ دهید. (شهریور ۱۴۰۲)

الف) با توجه به مشاهدات صورت گرفته رنگیزه اصلی فتوسنتز چیست؟

ب) چه نوع باکتری در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است؟

واکنش‌های فتوسنتزی را در دو گروه واکنش‌های وابسته به نور و مستقل از نور قرار می‌دهند. در ادامه به معرفی این دو نوع واکنش می‌پردازیم.

واکنش‌های وابسته به نور: واکنش های تیلاکوئیدی

وقتی نور به مولکول‌های رنگیزه می‌تابد، الکترون انرژی می‌گیرد و ممکن است از مدار خود خارج شود. به چنین الکترونی، **الکترون برانگیخته** می‌گویند، زیرا پرانرژی و از مدار خود خارج شده است. الکترون برانگیخته ممکن است با انتقال انرژی به مولکول رنگیزه بعدی، به مدار خود برگردد یا از رنگیزه خارج و به وسیلهٔ رنگیزه یا مولکولی دیگر گرفته شود (شکل ۴).

در فتوسنتز، انرژی الکترون‌های برانگیخته در رنگیزه‌های موجود در آنتن‌ها از رنگیزه‌ای به رنگیزه دیگر منتقل و در نهایت، به مرکز واکنش می‌رود و در آنجا سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینهٔ a و خروج الکترون از آن می‌شود (شکل ۵).

از یکی از کلروفیل های a

الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۲ بعد از عبور از زنجیره انتقال الکترون به مرکز واکنش در فتوسیستم ۱ می‌رود. همچنین، الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۱ در نهایت به مولکول $NADP^+$[1] می‌رسد (شکل ۶).

نه دو عدد!

دو نوع زنجیرهٔ انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید وجود دارد. یک زنجیره بین فتوسیستم ۲ و فتوسیستم ۱ و دیگری بین فتوسیستم ۱ و $NADP^+$ قراردارد.

دو تا!

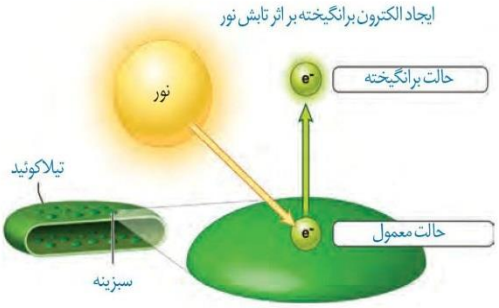
$NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می‌کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH تبدیل می‌شود (واکنش ۲).

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \rightarrow NADPH + H^+$$

واکنش ۲ـ تشکیل NADPH

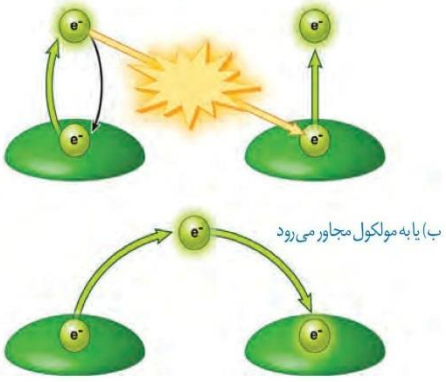
با توجه به شکل ۶ درمی‌یابیم الکترونی که از سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ می‌آید، کمبود الکترون سبزینه a در فتوسیستم ۱

۱ـ Nicotinamid Adenine Dinucleotide Phosphate



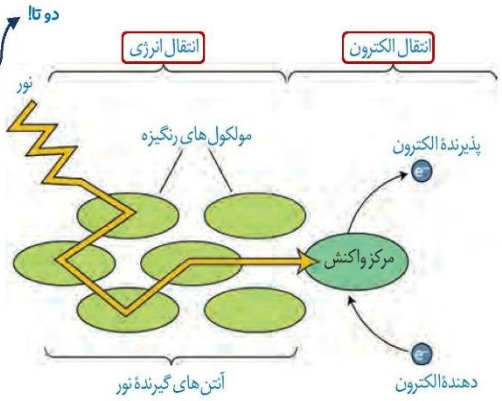
سبزینه a برخلاف سایر سبزینه‌ها می‌تواند الکترون برانگیخته آزاد کند (در مرکز واکنش).

الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گردد.



ب) یا به مولکول مجاور می‌رود

شکل ۴ـ ایجاد الکترون برانگیخته و سرانجام آن



شکل ۵ـ انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن

انتقال انرژی نور خورشید به صورت الکترون و NADPH مثل انتقال انرژی پتانسیل به صورت جنبشی و ...! ← انرژی را در دسترس کردیم!!

باکس نکات:

* نتیجه‌ی برانگیخته شدن الکترون در :
الف) آنتن‌های گیرندهٔ نور ← تحویل انرژی به مولکول مجاور و بازگشت به تراز اصلی

ب) مرکز واکنش ← اکسایش و انتقال الکترون به پذیرنده‌ی الکترون

؟ (انتخابی) در رنگیزه‌های موجود در آنتن‌های گیرنده نور فتوسیستم‌ها بر اثر تابش نور انتقال (انرژی – الکترون) انجام می‌شود. (خرداد ۱۴۰۲)

را جبران می‌کند، اما کمبود الکترون سبزینهٔ a در فتوسیستم ۲ چگونه جبران می‌شود؟

تجزیه نوری آب: به شکل ۶ نگاه کنید: در این شکل می‌بینید، مولکول‌های آب تجزیه می‌شوند و الکترون‌های حاصل از آن به فتوسیستم ۲ می‌روند. تجزیه آب به علت فرایندهایی است که به اثر نور مربوط می‌شود. بنابراین به آن، تجزیه نوری آب می‌گویند.

تجزیه نوری آب در فتوسیستم ۲ و در سطح داخلی تیلاکوئید انجام می‌شود. حاصل تجزیه آب در فتوسیستم ۲، الکترون، پروتون و اکسیژن است (واکنش ۳). الکترون‌ها، کمبود الکترونی سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ را جبران می‌کنند و پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها تجمع می‌یابند.

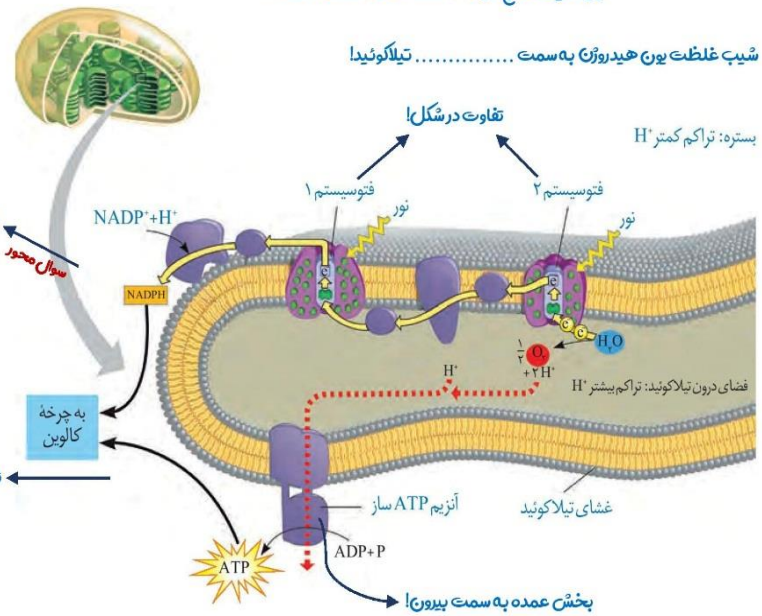
واکنش ۳ـ تجزیه آب

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$$

باید سریعاً خارج شود! ← عامل تنفس نوری!

ارتباط بین تیلاکوئیدها ← فعالیت آنزیم ATP ساز بدون نور

شیب غلظت یون هیدروژن به سمت ..... تیلاکوئید!



هرجا الکترون در حال حرکت است!

زنجیره انتقال الکترون از آب تا $NADP^+$

سوال محور

بررسی دقیق شکل‌ها!

به چرخهٔ کالوین

تنها واکنش تجزیه آب در داخل تیلاکوئید

شکل ۶ـ طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون در واکنش‌های نوری

بخش عمده به سمت بیرون!

بخش آنزیمی!

ساخته شدن ATP در فتوسنتز

یکی از اجزای زنجیره انتقال الکترون که بین فتوسیستم ۲ و ۱ قرار دارد، پروتئینی است که یون‌های H^+ را از بستره به فضای درون تیلاکوئیدها پمپ می‌کند. بنابراین، با گذشت زمان تعدادی پروتون از بستره به فضای درون تیلاکوئید وارد می‌شود.

افزایش PH بستره، کاهش PH درون تیلاکوئید

انتقال فعال! ← با انرژی الکترون به جای ATP!

ترکیبی ۲-۱۰

همچنین دانستیم که تعدای پروتون از تجزیه آب، درون فضای تیلاکوئید به وجود می‌آید. درنتیجه، به تدریج بر تراکم پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها نسبت به بستره افزوده می‌شود.

و ...؟!

پروتون‌ها بر اساس شیب غلظت خود می‌خواهند از فضای درون تیلاکوئید به بستره بروند، اما نمی‌توانند از طریق انتشار از غشای تیلاکوئید عبور کنند. پس، پروتون‌ها از چه راهی به بستره می‌روند؟

انتشار تسهیل شده

در غشای تیلاکوئید مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATP ساز** وجود دارد. این آنزیم مشابه آنزیم

چون یون هستند و آبگریز نیستند!

بیشتر بدانید

نام گذاری فتوسیستم‌ها

شاید انتظار داشته باشید چون فتوسیستم ۲ قبل از فتوسیستم ۱ فعالیت می‌کند، نام آن‌ها برعکس باشد. اما به این دلیل که ابتدا فتوسیستم ۱ کشف شده بود، فتوسیستم بعدی را فتوسیستم ۲ نامیدند. فتوسیستم ۲ در دهه ۵۰ میلادی و چند سال بعد از فتوسیستم ۱ شناسایی شد.

گروه آلپ

باکس نکات:

* عامل افزایش شیب غلظت H^+ :
۱).....
۲).....
۳).....

* به ازای تجزیهٔ هر مولکول آب، یک مولکول $NADP^+$ کاهش پیدا می‌کند. (احیا می‌شود.)

* مولکول‌های اکسیژن برای خروج از یاختهٔ یوکاریوتی فتوسنتزکننده، باید از ..... غشای پلاسمایی و ..... لایهٔ فسفولیپیدی عبور کنند.

(ص/غ) تجزیه نوری آب در فتوسیستم 2 موجب تجمع پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها می‌شود. (دی ۱۳۹۹)

(جای خالی) الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم ....., از پمپ پروتئینی زنجیره انتقال الکترون تیلاکوئید عبور می‌کنند. (خرداد ۱۴۰۲)

ATP ساز در راکیزه است. پروتون‌ها فقط از طریق این آنزیم می‌توانند به بستره منتشر شوند. همانند آنچه در راکیزه رخ می‌دهد، همراه با عبور پروتون‌ها از این آنزیم، ATP ساخته می‌شود.

به ساخته شدن ATP در واکنش های نوری، **ساخته شدن نوری ATP** می‌گویند، زیرا حاصل فرایندی است که با نور به راه می‌افتد.

با انرژی انتشار H^+! انرژی جنبشی! ترکیبی ۲-۱۰

واکنش‌های مستقل از نور: واکنش‌های تثبیت کربن

در صورت توقف واکنش‌های وابسته به نور، این واکنش‌ها نیز انجام نمی‌شوند.

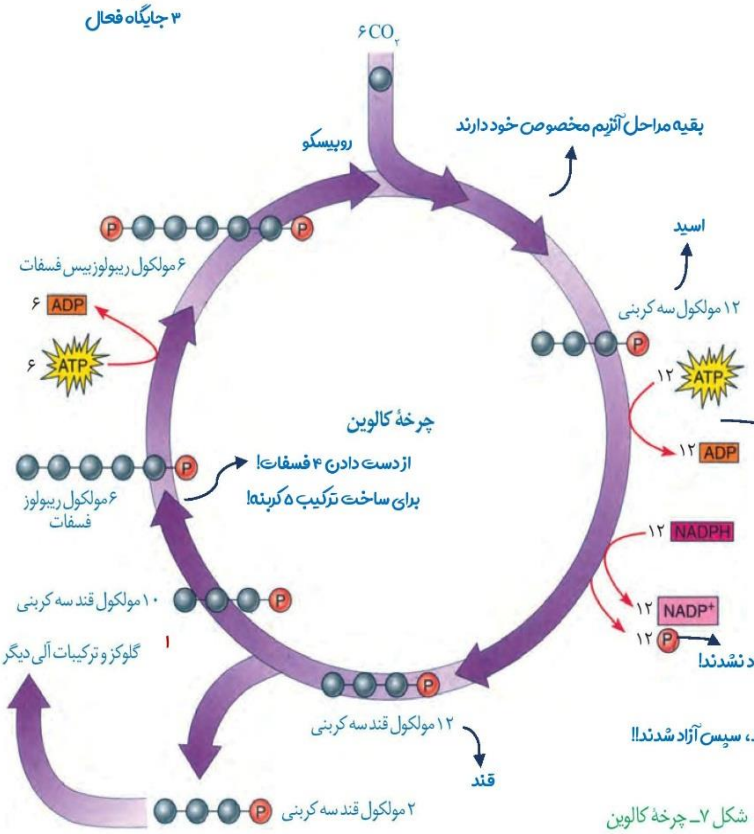
می‌دانیم که در فتوسنتز، مولکول‌های CO_2 به قند تبدیل می‌شوند. ساخته شدن این مولکول همانند تجزیه آن به یکباره رخ نمی‌دهد.

عدد اکسایش اتم کربن در مولکول قند، نسبت به کربن در CO_2، کاهش یافته است، بنابراین گیاه برای ساختن قند، به انرژی و منبعی برای تأمین الکترون نیاز دارد که از واکنش‌های وابسته به نور تأمین می‌شوند.

ساخته شدن قند در چرخه‌ای از واکنش‌ها، به نام **چرخهٔ کالوین** رخ می‌دهد (شکل ۷). این واکنش‌ها در بستره سبزدیسه انجام می‌شوند.

در چرخهٔ کالوین CO_2 با قندی پنج کربنی به نام **ریبولوزبیس فسفات** ترکیب و مولکول شش کربنی ناپایداری تشکیل می‌شود. افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی، با آنزیم **روبیسکو** (ریبولوزبیس

۳ جایگاه فعال



شکل ۷ـ چرخهٔ کالوین

بیشتر بدانید

آنزیم ATP ساز در سبزدیسه

شکل زیر طرحی از آنزیم ATP‌ساز را در غشای تیلاکوئید نشان می‌دهد. با عبور پروتون از بخش کانال این آنزیم، سر می‌چرخد و در جهت مناسب برای ترکیب ADP با فسفات قرار می‌گیرد. درنتیجه ATP ساخته می‌شود.

بیشتر بدانید

ارتباط با شیمی

در کتاب شیمی ۳ با مفهوم عدد اکسایش اتم در گونه (ترکیب) و چگونگی تعیین آن آشنا شده‌اید.

باکس نکات:

۱) به طور خلاصه، برای خروج ۲ قند ۳کربنه از چرخه کالوین: ..... NADPH، ..... CO2 مصرف ATPو ..... می‌شود.

۲) به ازای ساخت هر کربنه در nمولکول قند فرایند فتوسنتز

تعداد کربن‌دی‌اکسید مصرفی = ...

تعداد اکسیژن تولید شده = ...

تعداد مولکول‌های آب تجزیه‌شده = ...

تعداد مولکول‌های ATP مصرفی = ...

(ص/غ) محصول اولین واکنش چرخهٔ کالوین یک مولکول پنج کربنی است. (دی ۱۴۰۰)

(جای خالی) در چرخه کالوین CO_2 با قندی پنج کربنی به نام ..... ترکیب و مولکول شش کربنی ناپایداری تشکیل می‌شود. (شهریور۱۴۰۱)

(جای خالی) هر مولکول ریبولوز فسفات با دریافت فسفات از ..... تبدیل به مولکول ریبولوز بیس فسفات می‌شود. (شهریور ۱۴۰۲)

(پاسخ کوتاه) سرنوشت قندهای سه کربنی ساخته شده در چرخهٔ کالوین چیست؟ (دی ۱۳۹۹)

فسفات کربوکسیلاز ـ اکسیژناز) و فعالیت کربوکسیلازی آن (تشکیل گروه کربوکسیل) انجام می‌شود. هر مولکول شش کربنی که ناپایدار است، بلافاصله تجزیه و دو مولکول اسید سه کربنی ایجاد می‌کند. این مولکول‌ها در نهایت به قندهای سه کربنی تبدیل می‌شوند.

همان‌طور که در شکل ۷ می‌بینید، تعدادی از این قندها برای ساخته شدن گلوکز و ترکیبات آلی دیگر و تعدادی نیز برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات به مصرف می‌رسند.

گرچه واکنش‌های کالوین مستقل از نور انجام می‌شوند، اما انجام این واکنش‌ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری است.

در چرخهٔ کالوین دیدیم که CO_2 برای ساخته شدن ترکیب آلی به کار می‌رود. به فرایند استفاده از CO_2 برای تشکیل ترکیب‌های آلی **تثبیت کربن** می‌گویند.

دیدیم اولین مادهٔ آلی پایدار ساخته شده، ترکیبی سه کربنی است؛ به همین علت به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها فقط با چرخهٔ کالوین انجام می‌شود، **گیاهان C_3** می‌گویند. اکثر گیاهان 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 می‌پردازیم.

اثر محیط بر فتوسنتز

بدیهی است فرایندی مانند فتوسنتز تحت تأثیر محیط باشد. به نظر شما چه عوامل محیطی بر فتوسنتز اثر می‌گذارند؟

با توجه به واکنش کلی فتوسنتز، انتظار داریم نور و CO_2 از عوامل مؤثر بر فتوسنتز باشند. مشاهدات نشان می‌دهد، میزان CO_2، طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارند.

از طرفی فتوسنتز فرایندی آنزیمی است و می‌دانیم بیشترین فعالیت آنزیم‌ها در گسترهٔ دمایی خاص انجام می‌شود، بنابراین دما نیز بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. همچنین خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد.

بیشتر بدانید

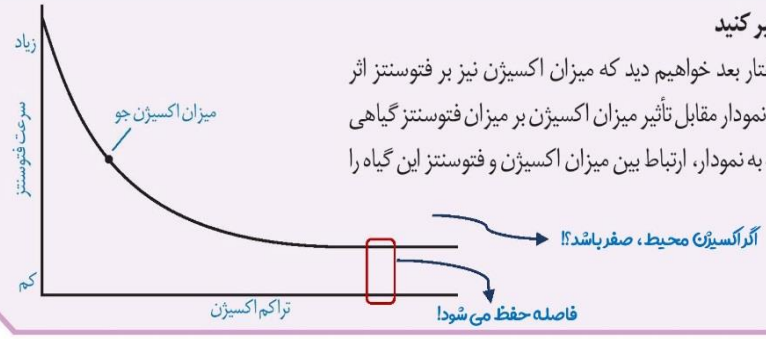
شناسایی چرخهٔ کالوین

کشف مواد پرتوزا این امکان را به محققان داد تا با استفاده از این مواد، فرایندهای زیستی را شناسایی کنند. یکی از این فرایندها فتوسنتز بود. ملوین اِلیس کالوین و همکارانش با ردیابی ^{14}C در جلبک تک یاخته‌ای سبز، توانستند مراحل متفاوت این فرایند را شناسایی کنند. کالوین که زیست شیمی‌دان بود، از پدرومادری روس که به امریکا مهاجرت کرده بودند در سال ۱۹۱۱ به دنیا آمد (مرگ ۱۹۹۷). کالوین در سال ۱۹۶۱ موفق به دریافت جایزه نوبل در شیمی برای تحقیقاتش در فتوسنتز شد.

فعالیت ۴

تفسیر کنید

در گفتار بعد خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد. نمودار مقابل تأثیر میزان اکسیژن بر میزان فتوسنتز گیاهی C_3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، ارتباط بین میزان اکسیژن و فتوسنتز این گیاه را توضیح دهید.



تغییرات میزان اکسیژن در غلظت‌های بالاتر نسبت به غلظت‌های پایین‌تر، تأثیر کمتری بر کاهش سرعت فتوسنتز دارد.

باکس نکات:

؟ (پاسخ کوتاه) **نمودار مقابل تأثیر میزان اکسیژن بر میزان فتوسنتز گیاهی C_3 را نشان می‌دهد با توجه به نمودار، ارتباط بین میزان اکسیژن و فتوسنتز این گیاه را توضیح دهید و علت آن را بنویسید.** (شهریور ۱۴۰۱)

(پاسخ کوتاه) **دو مورد از عوامل محیطی مؤثر بر فتوسنتز نام ببرید.** (دی ۱۳۹۹)

گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار

شکل ۸ روزنه را در دو حالت باز و بسته نشان می‌دهد. چه عواملی سبب بسته شدن روزنه می‌شود؟ به یاد دارید که افزایش بیش از حد دما و نور سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها چه تأثیری می‌تواند بر فتوسنتز داشته باشد؟

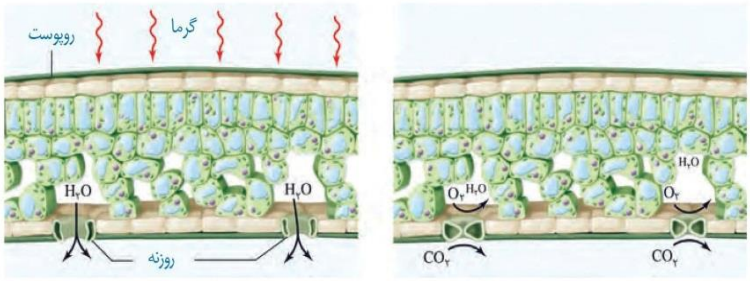
نحوه باز و بسته شدن روزنه‌ها؟؟؟

شکل ۸ـ روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته می‌شوند.

نه توقف!

در چنین شرایطی وقتی روزنه‌ها به‌منظور کاهش تعرق بسته می‌شوند، تبادل گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید از روزنه‌ها نیز توقف می‌یابد، اما فتوسنتز همچنان ادامه دارد. بنابراین در حالی که CO_2 برگ کم می‌شود، اکسیژن در آن افزایش می‌یابد (شکل ۹).

چون نور هست!



(الف) (ب)

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

در چنین حالتی، وضعیت برای نقش اکسیژنازی آنزیم روبیسکو مساعد می‌شود؛ زیرا نقش کربوکسیلازی یا اکسیژنازی این آنزیم به نسبت CO_2 و اکسیژن در محیط عملکرد آن ارتباط دارد. بنابراین با افزایش اکسیژن در برگ، اکسیژن با ریبولوزبیس فسفات ترکیب می‌شود. مولکول حاصل، ناپایدار است و به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی تجزیه می‌شود. مولکول سه کربنی به مصرف بازسازی ریبولوزبیس فسفات می‌رسد.

EXTRA بخشی در پراکسی زوم!

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.

در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می‌شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP از آن ایجاد

مصرف تعدادی از ریبولوز بیس فسفات ها ← ضربه به فتوسنتز

بیشتر بدانید

آیا تنفس نوری بی فایده است؟

گرچه تنفس نوری را عامل مزاحمی برای فتوسنتز در نظر می‌گیرند، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد بعضی گیاهان که به علت نقص ژنی تنفس نوری ندارند، در مقایسه با هم‌نوعان خود، آسیب بیشتری از نورهای شدید می‌بینند.

باکس نکات:

؟ ۱) تاثیر هورمون آبسیزیک‌اسید بر فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو در گیاهان C_3 ؟؟

(ص/غ) روبیسکو به طور اختصاصی با CO_2 عمل می‌کند و تمایلی به اکسیژن ندارد. (دی ۱۴۰۱)

(انتخابی) وقتی روزنه‌ها به منظور کاهش تعرق بسته می‌شوند وضعیت برای نقش (کربوکسیلازی – اکسیژنازی) آنزیم روبیسکو مساعد می‌شود. (شهریور ۱۴۰۰)

باکس نکات:

نمی‌شود. بنابراین تنفس نوری باعث کاهش فراورده‌های فتوسنتز می‌شود.

به هر حال انواعی از گیاهان وجود دارند که در محیط‌های با دمای بالا و تابش شدید نور خورشید زندگی می‌کنند. این گیاهان با چه سازوکاری توانسته‌اند تنفس نوری خود را کاهش دهند؟

فتوسنتز در گیاهان C_4

یکی از سازوکارها برای ممانعت تنفس نوری، در گیاهانی وجود دارد که به گیاهان C_4 معروف‌اند.

یاخته‌های **غلاف آوندی** در این گیاهان سبزدیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین‌اند در حالی که در گیاهان C_4، سبزدیسه ندارند (شکل ۱۰).

تثبیت کربن در این گیاهان در دو مرحله، ابتدا در یاخته‌های میانبرگ و سپس در یاخته‌های غلاف آوندی انجام می‌شود که در ادامه به آن می‌پردازیم.

ترکیب CO_2 با یک اسید و تولید یک اسید!

در گیاهان C_4، 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 جایگاه فعال!

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

نه فضای بین سلولی!

اسید چهار کربنی از یاخته‌های میانبرگ از طریق پلاسمودسم‌ها به یاخته‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. در این یاخته‌ها، مولکول CO_2 از اسید چهار کربنی آزاد و وارد چرخهٔ کالوین می‌شود. اسید سه کربنی باقیمانده نیز به یاخته‌های میانبرگ برمی‌گردد.

← از پلاسمودسم!

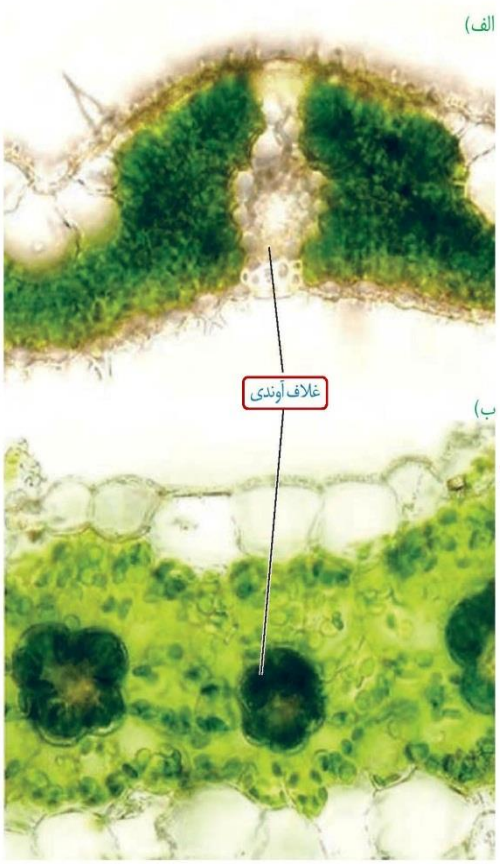
در گیاهان C_4 با وجود عملکرد آنزیم‌های گوناگون در تثبیت کربن و تقسیم مکانی آن در دو نوع یاخته، میزان CO_2 در محل فعالیت آنزیم روبیسکو، به اندازه‌ای بالا نگه داشته می‌شود که بازدارندهٔ تنفس نوری است. بنابراین، تنفس نوری به ندرت در این گیاهان روی می‌دهد.

نه هیچ

این گیاهان در دماهای بالا، شدت‌های زیاد نور و کمبود آب، در حالی که روزنه‌ها بسته‌شده‌اند تا از تبخیر آب جلوگیری شود، همچنان میزان CO_2 را در محل عملکرد آنزیم روبیسکو بالا نگه می‌دارند. به همین علت کارایی آنها در چنین شرایطی بیش از گیاهان C_3 است.

نه در شرایط عادی!

اما CO_2 در محل کارکرد آنزیم سازنده C_4 بسیار کم است!



شکل ۱۰ـ الف) برگ گیاه C_4
ب) برگ گیاه C_4

فتوسنتز در گیاهان CAM

بعضی گیاهان در مناطقی زندگی می‌کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند. برگ،

بیشتر بدانید

عملکرد اختصاصی

پذیرنده CO_2 در گیاهان C_4 فسفوانول‌پیرووات است. این اسید با فعالیت آنزیم فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز با CO_2 ترکیب و اسید چهار کربنی(مالات یا اگزالات) تشکیل می‌شود. جایگاه فعالِ آنزیمِ فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز به شکلی است که فقط کربن‌دی‌اکسید در آن قرار می‌گیرد.

؟ (جاخالی) در گیاهان C_4 اسید چهار کربنی از یاخته‌های میانبرگ از طریق پلاسمودسم‌ها به یاخته‌های ..... منتقل می‌شود. (شهریور ۱۴۰۰)

(انتخابی) در گیاهان C_4 آنزیم روبیسکو در یاخته‌های (غلاف آوندی – میانبرگ) فعال است. (دی ۱۴۰۰)

باکس نکات:

ساقه یا هردوی آنها در چنین گیاهانی گوشتی و پرآب است. این گیاهان در واکوئول‌های خود ترکیباتی دارند که آب را نگه می‌دارند.

تثبیت کربن در این گیاهان، مانند گیاهان C_3 است، با این تفاوت که تثبیت کربن در آنها در یاخته‌های متفاوت نیست و به عبارتی تقسیم‌بندی مکانی نشده، بلکه در زمان‌های متفاوت انجام می‌شود. تثبیت اولیهٔ کربن در شب که روزنه‌ها بازند و چرخهٔ کالوین در روز انجام می‌شود که روزنه‌ها بسته‌اند. آناناس از گیاهان CAM[1] (کَم) است.

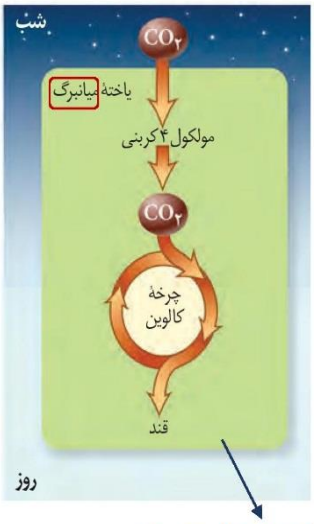
اما اولین مولکول پایدار آلی ساخته شده از CO_2 در آنها، یک اسید چهار کربنه است!

CAM زیرمجموعه C_4 نیست!

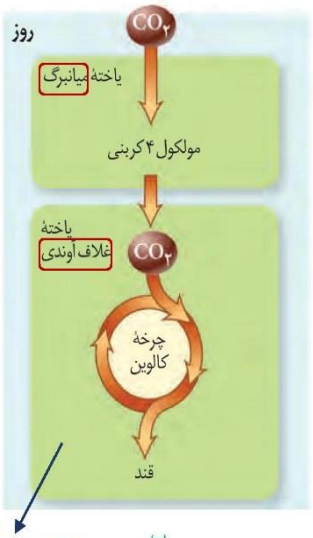
آناناس

ذرت

گل رز

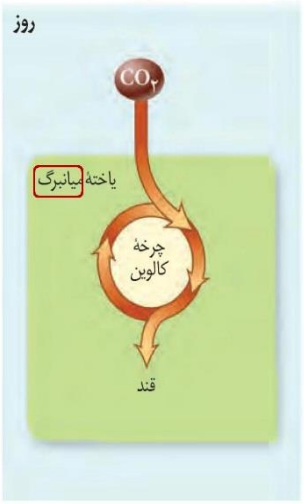


پ



ب

در هر دو، اولین ترکیب پایدار C_4 است!



الف

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

فعّالیت ۵

گفت‌وگو کنید

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

۱ـ 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 عصارهٔ گیاه ب در آغاز روشنایی نسبت به آغاز تاریکی اسیدی‌تر بود. گیاه «ب» چه نوع فتوسنتزی دارد؟

CAM — اسید ۴ کربنه!

۱ـ Crassulacean Acid Metabolism

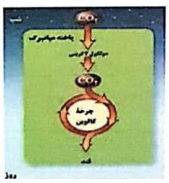
؟ (انتخابی) تثبیت اولیه کربن در آناناس در (روز- شب) انجام می‌شود. (شهریور ۱۳۹۸)

(پاسخ کوتاه) در آناناس تثبیت اولیه کربن در چه زمانی از شبانه روز صورت می‌گیرد؟ (شهریور ۱۴۰۱)

(کوتاه پاسخ) در گیاهان CAM چرخهٔ کالوین در چه موقعی از شبانه روز انجام می‌شود؟ (خرداد ۱۳۹۸)

(کوتاه پاسخ) چه تفاوتی میان تثبیت کربن در گیاهان C_4 و گیاهان CAM وجود دارد؟ (خرداد ۱۳۹۹)

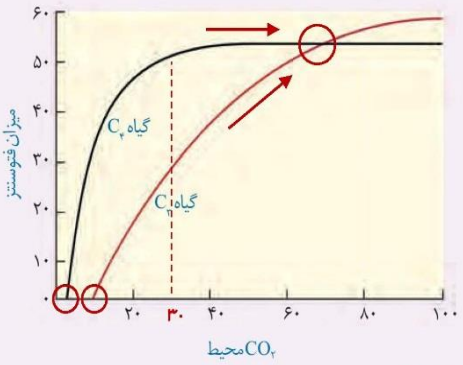
(کوتاه پاسخ) شکل روبرو فتوسنتز در چه گیاهانی را نشان می‌دهد؟ (دی ۱۳۹۹)



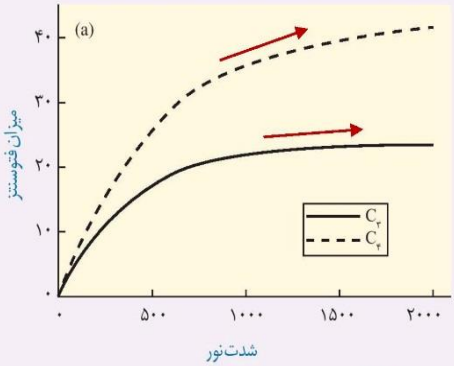
باکس نکات:

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

۲ـ نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب اثر کربن دی اکسید جوّ و شدت نور را بر فتوسنتز دو گیاه C_3 و C_4 نشان می‌دهند. چه نتیجه‌ای از این نمودارها می‌گیرید؟



نمودار ۱



نمودار ۲

حدوداً در غلظت ۰٫۰۷٪ کربن دی‌اکسید جو، میزان فتوسنتز گیاهان C_3 و C_4 یکسان است.

جانداران فتوسنتزکنندهٔ 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 که در ادامه به آنها می‌پردازیم.

باکتری‌ها: باکتری‌هایی که فتوسنتز می‌کنند، سبزدیسه ندارند اما دارای رنگیزه‌های جذب کنندهٔ نورند.

بعضی باکتری‌ها سبزینه دارند. مثلاً سیانوباکتری‌ها سبزینه a دارند و همانند گیاهان با استفاده از CO_2 و نور ماده آلی می‌سازند؛ و چون همانند گیاهان در فرایند فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند، باکتری‌های فتوسنتزکنندهٔ **اکسیژن‌زا** نامیده می‌شوند.

گروهی دیگر از باکتری‌ها، فتوسنتزکنندهٔ **غیراکسیژن‌زا** هستند. باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه‌اند. رنگیزهٔ فتوسنتزی این باکتری‌ها، **باکتریوکلروفیل** است. این باکتری‌ها کربن‌دی‌اکسید را جذب می‌کنند، اما اکسیژن تولید نمی‌کنند؛ زیرا منبع تأمین الکترون در آنها ترکیبی به غیر از آب است. مثلاً در باکتری‌های گوگردی منبع تأمین الکترون H_2S است و به‌جای اکسیژن، گوگرد ایجاد می‌شود. از این باکتری‌ها در تصفیهٔ فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند. هیدروژن سولفید گازی بی‌رنگ است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.

منبع نهایی تامین الکترون در فتوسنتز: H_2O، H_2S و ...!

واکنش ۴ـ فتوسنتز در باکتری‌های گوگردی

$$۶CO_2 + ۱۲H_2S + \text{نور} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + ۱۲S + ۶H_2O$$

تولید H_2O ! برخلاف فتوسنتز اکسیژن زا!

بیشتر بدانید

گیاهان C_4 سهم اندکی از گیاهان را به خود اختصاص می‌دهند. بیشتر گیاهان C_4 تک‌لپه‌اند، اما انواع دولپه‌ای نیز وجود دارد. گیاه تاج خروس از دولپه‌ای‌های C_4 است. بعضی دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند با توجه به گرم شدن کره زمین، شاهد انواع بیشتری از گیاهان C_4 در کره زمین باشیم.

؟ (جاخالی) در باکتری‌های گوگردی منبع تأمین الکترون ..... است. (دی ۱۳۹۹) - (شهریور ۱۳۹۸)

(پاسخ بلند) اگر میزان کربن دی اکسید محیط از 80 واحد بیشتر شود میزان فتوسنتز گیاه C3 بیشتر می‌شود یا گیاه C4 ؟ (خرداد ۱۴۰۲)

(پاسخ کوتاه) باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز جزء کدام گروه از باکتری‌های فتوسنتز کننده هستند؟(شهریور ۱۴۰۱)

(کوتاه پاسخ) از چه باکتری‌هایی در تصفیه فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند؟(خرداد ۱۳۹۸)

باکس نکات:

آغازیان: آغازیان نقش مهمی در تولید مادهٔ آلی از ماده معدنی دارند. می‌دانید که جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای از آغازیان هستند و فتوسنتز می‌کنند. اوگلنایی که در شکل ۱۲ می‌بینید، جانداری تک‌یاخته‌ای 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.

رنگیزه های متفاوت!

مثل اسپیروژیر و اوگلنا!

هتروتروف می شود!

کشیده، دارای یک برجستگی نوک تیز در انتها! هسته کشیده!

شکل اوگلنا!!

شکل ۱۲ـ اوگلنا

با از بین رفتن سبزدیسه‌ها، بخشی از ژنوم جاندار از بین خواهد رفت.

شیمیوسنتز

آیا ساختن مادهٔ آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز و جاندارانی است که از انرژی نور استفاده می‌کنند؟ آیا تولیدکنندگان در اعماق تاریک وجود ندارند؟

امروزه می‌دانیم انواعی از باکتری‌ها در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانهٔ آتشفشان‌های زیرآب وجود دارند که می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی‌اکسید مادهٔ آلی بسازند. زیستن در چنین مناطقی برای بسیاری از جانداران غیرممکن است. دانشمندان بر اساس وضعیت زمین در آغاز شکل‌گیری حیات، بر این باورند که **باکتری‌های شیمیوسنتزکننده** از قدیمی‌ترین جانداران روی زمین‌اند.

چنین باکتری‌هایی، انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش‌های اکسایش به دست می‌آورند. به این فرایند **شیمیوسنتز** می‌گویند.

باکتری‌های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند، از باکتری‌های شیمیوسنتزکننده‌اند.

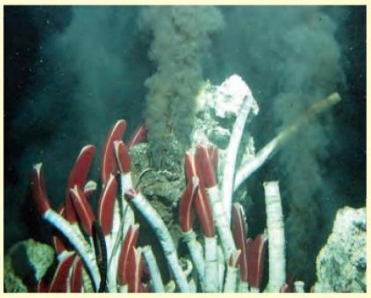
واکنش تامین کننده انرژی!

بیشتر بدانید

شیمیوسنتز در اعماق اقیانوس

در اعماق اقیانوس شکاف‌هایی وجود دارد که از آنها گاز سولفید هیدروژن خارج می‌شود.

با وجود فشار و گرمای زیاد، انواعی از کرم‌های لوله‌ای در آنجا وجود دارند. در بدن این کرم‌ها، باکتری‌های شیمیوسنتز کننده زندگی می‌کنند، که با اکسایش هیدروژن سولفید، انرژی مورد نیاز برای ساخت ماده آلی را به دست می‌آورند. زیست این کرم‌ها وابسته به غذایی است که این باکتری‌ها برای آنها می‌سازند.



CO_2 ← در همه انواع

همه در نهایت کالوین انجام می دهند؛ حتی شیمیوسنتزکننده ها!

سبک های مختلف و رنگیزه های ← از نور ← انرژی تثبیت CO_2 و کالوین و تولید قند ← فتوسنتز

استفاده از واکنش های مختلف ← از واکنش شیمیایی ← انرژی تثبیت CO_2 و کالوین و تولید قند ← شیمیوسنتز

* اکسایش ترکیبات غیرآلی (معدنی) به منظور تامین انرژی فقط در شیمیوسنتز دیده می‌شود.

؟ (جاخالی) باکتری های نیترات‌ساز که ..... را به نیترات تبدیل می‌کنند از باکتری های شیمیوسنتز کننده هستند. (دی ۱۳۹۸)

(کوتاه پاسخ) اوگلنا در صورتی که نور نباشد چگونه ترکیبات مورد نیاز خود را به دست می‌آورد؟ (شهریور ۱۴۰۱)

(کوتاه پاسخ) یک آغازی تک یاخته‌ای را نام ببرید که در صورت نبود نور، سبز دیسه‌های کلروپلاست‌های خود را از دست می‌دهد. (خرداد ۱۳۹۸)