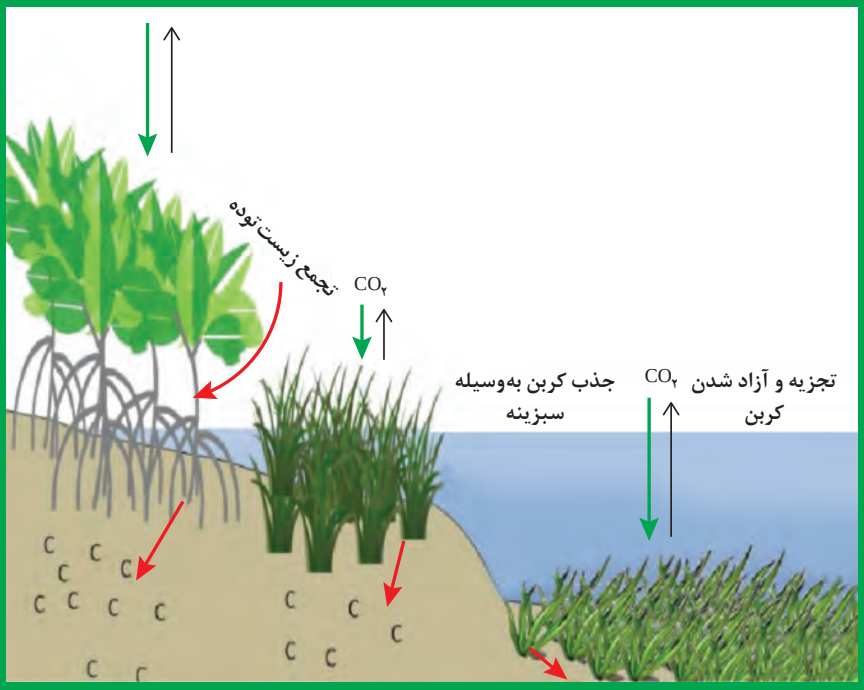
پودمان ۳

فتوسنتز و تنفس گیاهان



آیا می‌دانید که:

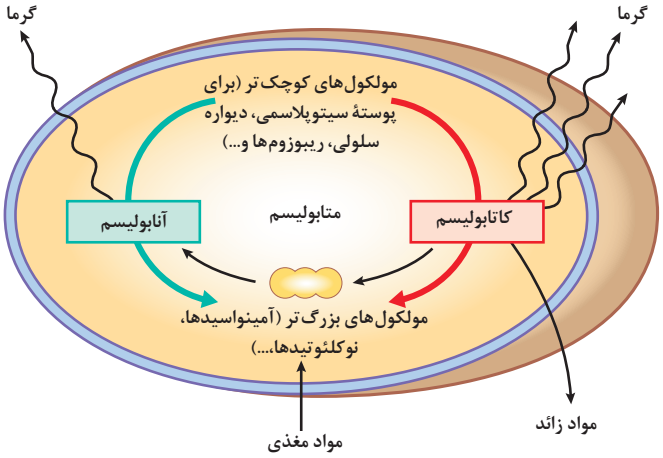
- گیاهان اولین موجوداتی هستند که فرایند غذاسازی را انجام می‌دهند.
- از شروع غذاسازی توسط گیاهان تا ذخیره‌شدن آن مراحل مختلفی وجود دارد.
- همه غذای تولید شده توسط گیاه در اندام ذخیره‌ای تجمع نمی‌یابد.
- تمام مواد ذخیره‌ای به دانه (بذر) منتقل می‌شود.

واحد یادگیری ۱

تحلیل فتوسنتز گیاهان

سوخت و ساز (متابولیسم)

یکی از ویژگی‌های دستگاه‌های حیاتی موجودات زنده به ویژه گیاهان و جانوران (تک سلولی و پرسلولی) توان سوخت‌وساز است که اصطلاحاً متابولیسم گفته می‌شود. در سوخت و ساز دو گروه فرایند مورد بررسی قرار می‌گیرند: فرایندهای فراگشت (آنابولیسمی) و فرایندهای فروگشت (کاتابولیسمی) (شکل ۱).



شکل ۱ــ سوخت‌وساز موجودات زنده

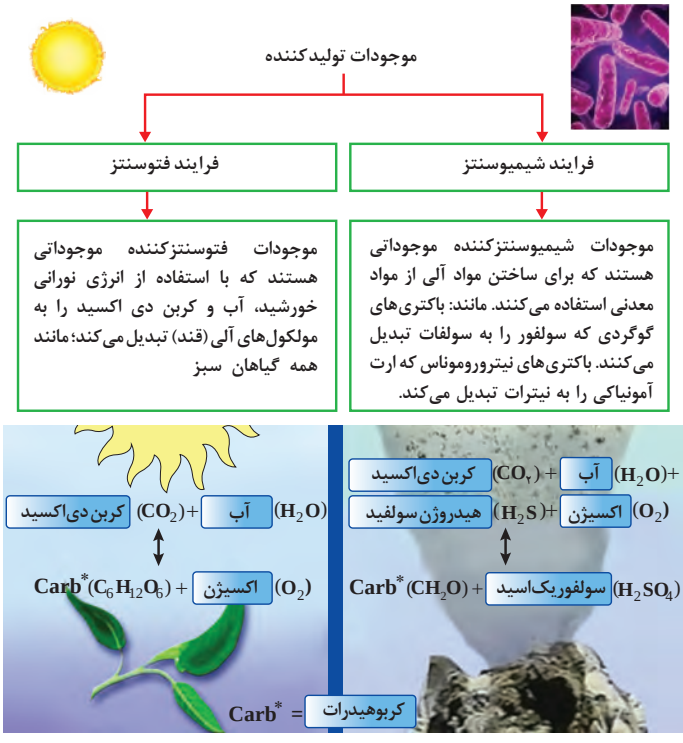
فرایندهای فراگشت (آنابولیسمی)

این فرایندها انرژی خواه هستند. در جریان این فرایندها، مولکول‌های کوچک به مولکول‌های درشت آلی تبدیل می‌شوند. فرایندهای آنابولیسمی شامل فتوسنتز و شیمیوسنتز می‌باشند که در تولیدکنندگانی مانند گیاهان سبز، جلبک‌ها و برخی باکتری‌ها انجام می‌شود.

فتوسنتز عبارت است از پدیده‌ای که گیاهان سبز در حضور نور و کربن دی‌اکسید، مواد قندی می‌سازند و اکسیژن را به محیط پس می‌دهند.

شیمیوسنتز یکی از راه‌های غذاسازی در جاندارانی غیر از گیاهان سبز می‌باشد، که در مقایسه با فتوسنتز از اهمیت کمتری برخوردار است.

در این فرایندها، پیش‌سازهای ساده و



کوچک برای ساختن مولکول‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر، نظیر لیپیدها، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. تمامی واکنش‌های آنابولیک نیاز به مصرف انرژی دارند.

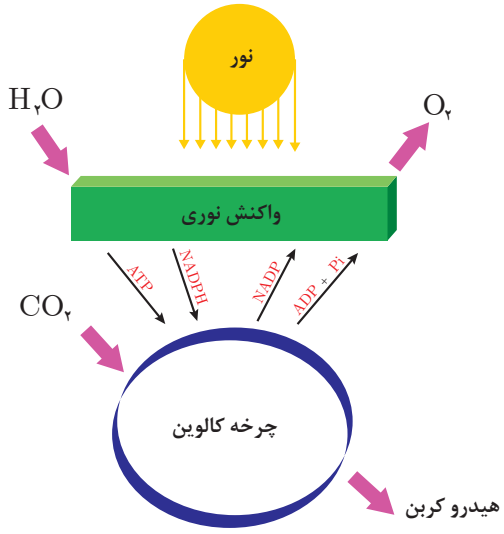
فرایندهای فروگشت (کاتابولیسمی)

پدیده‌هایی هستند که در جریان آن موجودات زنده مولکول‌های درشت آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها) را تجزیه کرده و به مولکول‌های کوچک تبدیل می‌کنند و انرژی آزاد می‌شود که این انرژی در جریان فرایندهای آنابولیسمی مود استفاده قرار می‌گیرد.
مهم‌ترین فرایندهای کاتابولیسمی عبارت‌اند از: تنفس و تخمیر.

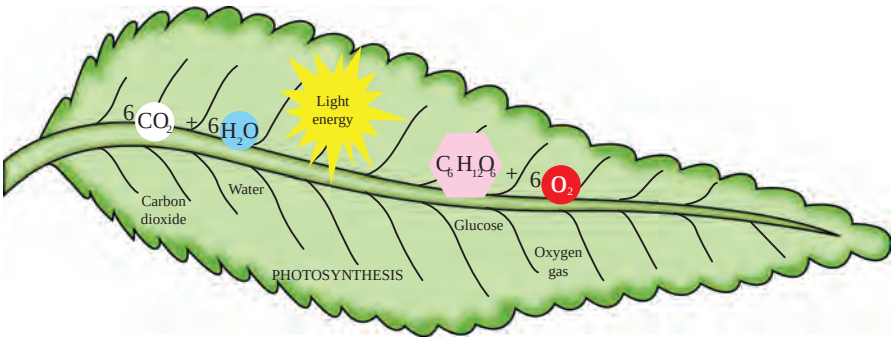
فتوسنتز

خورشید تنها تأمین‌کننده انرژی زمین محسوب می‌شود. فتوسنتز منبع اولیه انرژی برای بشر و بستری برای تولید غذا، پوشاک، علوفه و سایر نیازهای انسان می‌باشد، بنابراین فتوسنتز تنها فرایند زیستی مهمی است که می‌تواند از این انرژی بهره‌برداری نماید.

فتوسنتز از نظر لغوی به معنی ساختن با استفاده از نور است. موجودات فتوسنتزکننده از انرژی خورشیدی در ساخت ترکیبات کربنی که واکنش‌هایی نیازمند انرژی هستند، استفاده می‌کنند. انرژی ذخیره شده در کربوهیدرات‌ها سپس برای تأمین انرژی و فرایندهای سلولی گیاه و همچنین به عنوان منبع انرژی برای تمامی موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. فتوسنتز در گیاهان سبز، جلبک‌ها و باکتری‌های فتوسنتزکننده نیز صورت می‌گیرد. محل انجام فتوسنتز در سلول‌های گیاهی و جلبک‌ها در کلروپلاست و در باکتری‌های فتوسنتزکننده، غشای سلولی است. در این پودمان به فتوسنتز در گیاهان سبز پرداخته می‌شود.



شکل ۲ـ فتوسنتز در گیاهان سبز



برگ

برگ و ساقه هر دو از مریستم مشترکی به نام «مریستم انتهایی نوک ساقه» به‌وجود می‌آیند. برگ گیاهان دارای بیشترین مقدار سبزینه یا کلروفیل هستند.

پژوهش

وظایف برگ در گیاه را از منابع معتبر جست‌وجو کنید و نتیجه پژوهش خود را در کلاس ارائه دهید.

برگ

اجزای تشکیل‌دهنده برگ: برگ از پهنک و دمبرگ تشکیل شده است. پهنک صفحه مسطحی است و رگبرگ‌ها ادامه دمبرگ بوده و در سطح زیرین برگ مشخص‌تر هستند. دمبرگ میله کوتاهی است که پهنک را در محل گره به ساقه متصل می‌کند. قاعده برگ گاهی به‌صورت غلاف یا نیام گسترش می‌یابد. ضمایمی به نام گوشوارک و زبانک هم در برخی گونه‌ها دیده می‌شود.

شکل ۳ـ ساختار بیرونی برگ

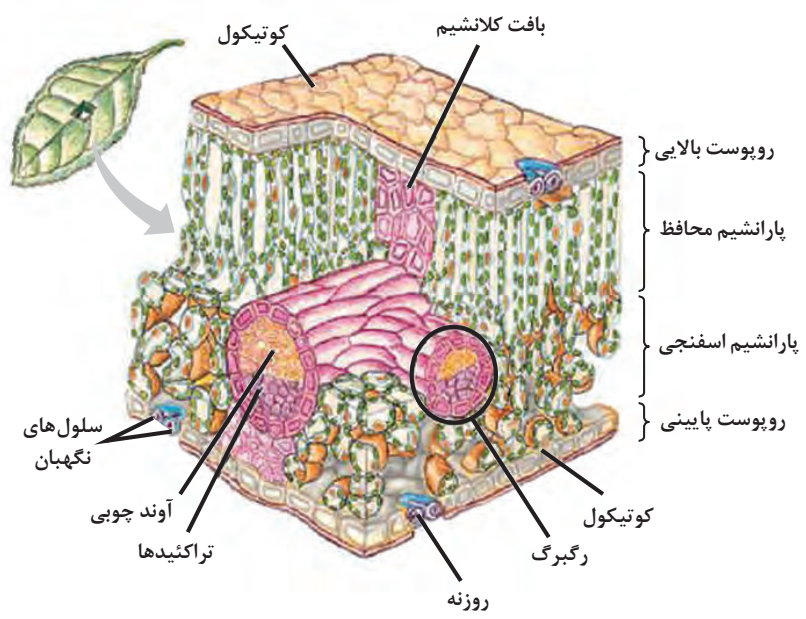
فعالیت

- برگ‌ها از نظر ظاهری چند نوع‌اند؟ برگ چند گیاه زراعی را بررسی و مقایسه کنید؟
- با تهیه برش عرضی برگ قسمت‌های مختلف آن را در زیر میکروسکوپ مشاهده کنید؟

ساختمان برگ: در برش عرضی پهنک سه نوع بافت شامل اپیدرم بالایی، اپیدرم زیرین و مزوفیل دیده می‌شود.

روپوست (اپیدرم): لایه روپوست تمامی سطح برگ را می‌پوشاند و به روپوست شاخه‌ای که برگ بر روی آن واقع شده متصل می‌شود. دو روپوست زیرین و زبرین (بالایی) سطوح بالا و پایین برگ را می‌پوشانند. سلول‌های روپوست خاستگاه انواع کُرک‌ها و روزنه‌ها هستند.

میانبرگ (مزوفیل): میانبرگ به پارانشیمی که بین روپوست زیرین و زبرین وجود دارد گفته می‌شود. یاخته‌های میانبرگ حتی پس از بلوغ دارای هسته و دیواره نازک هستند. در میانبرگ بیشتر برگ‌ها دو نوع پارانشیم نرده‌ای و اسفنجی وجود دارد. سلول‌های پارانشیم نرده‌ای سلول‌هایی نرده‌ای، دراز و باریک و سلول‌های پارانشیم اسفنجی به‌طور معمول کروی و حفره‌ای شکل هستند. سلول‌های پارانشیم نرده‌ای زیر اپیدرم زبرین قرار گرفته‌اند و زیر آنها سلول‌های پارانشیم اسفنجی قرار می‌گیرند. در تک‌لپه‌ای‌ها میانبرگ بیشتر از سلول‌های پارانشیم اسفنجی تشکیل شده است. (شکل ۴)



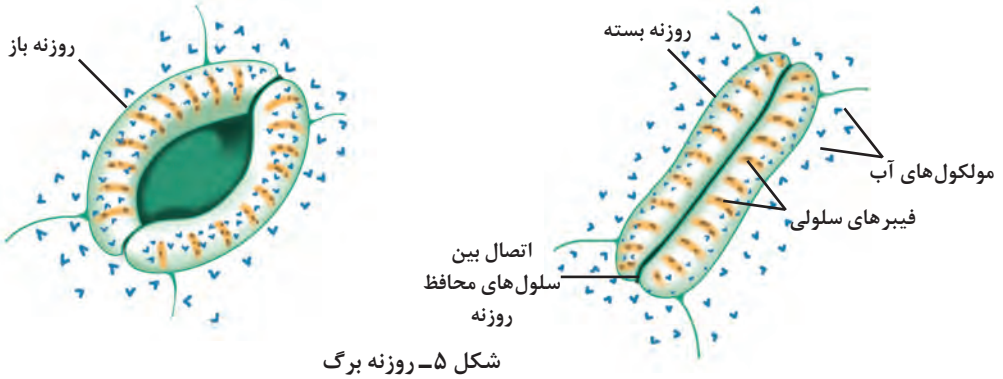
شکل ۴ــ میانبرگ یا مزوفیل

رگبرگ‌ها یا دستجات آوندی

دسته‌های آوندهای چوبی و آبکشی، رگبرگ‌های برگ را به‌وجود می‌آورند. هر دسته آوندی به‌وسیله غلاف آوندی احاطه می‌شوند. رگبرگ‌ها در واقع ادامه رشته‌های آوندهای چوبی و آبکشی دمبرگ هستند که شبکه گسترده‌ای را در میانبرگ تشکیل می‌دهند. رگبرگ‌های اصلی غالباً در سطح پهنک برجسته‌اند و همان تشکیلات دمبرگ در آنها دیده می‌شود بنابراین دمبرگ و نیام ساختاری مشابه پهنک برگ دارند.

روزنه‌ها

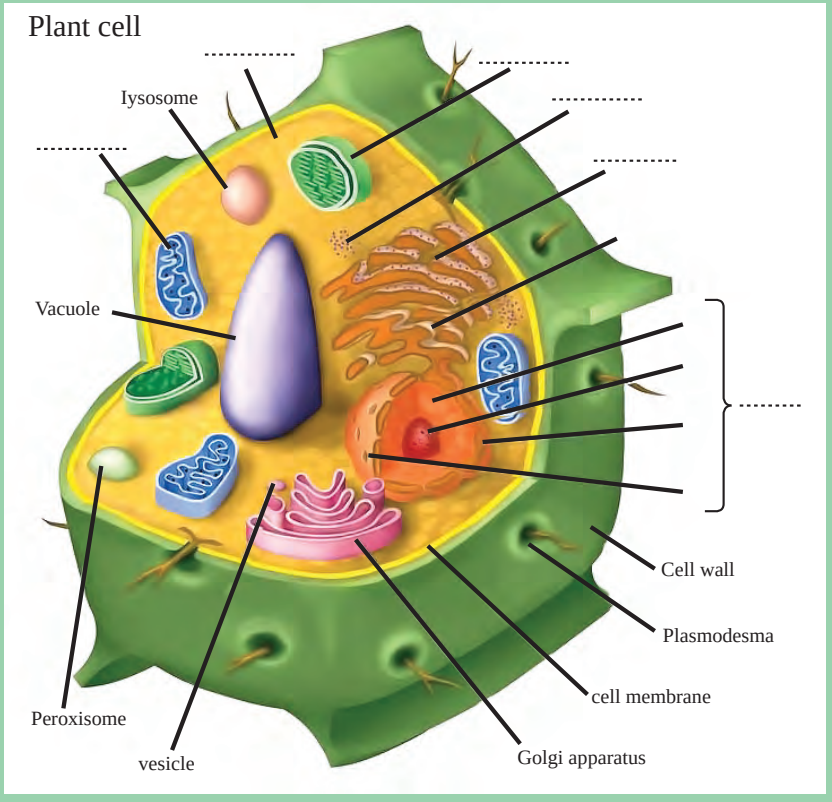
روزنه‌ها در سطح زبرین و زیرین برگ برای تبادل گازهای دی اکسید کربن و اکسیژن(پدیده فتوسنتز) و بخار آب می‌باشند.



شکل ۵ــ روزنه برگ

یادآوری

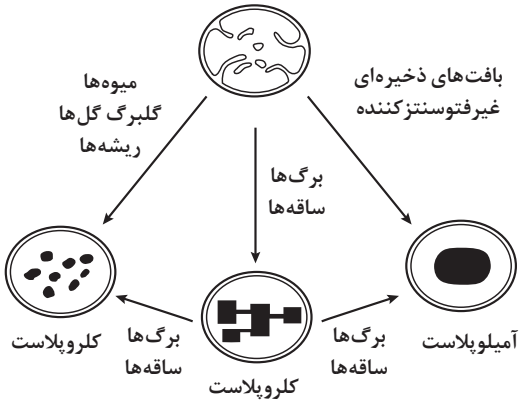
اجزای سلول‌های گیاهی نوشته نشده در شکل ۶ را بنویسید. سپس سایر اجزای مشخص شده را به فارسی ترجمه کرده و وظیفه هر یک را به‌طور خلاصه توضیح دهید.



شکل ۶ــ سلول گیاهی

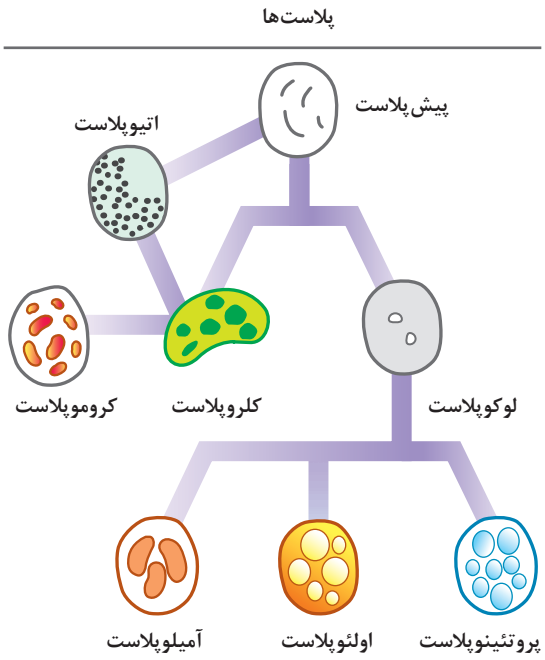
پیش پلاست‌ها

پلاست‌های کوچک، کم‌رنگ یا بی‌رنگ هستند که پیش‌ساز همه پلاست‌ها هستند و معمولاً در مریستم انتهایی ریشه و ساقه وجود دارند. پیش‌پلاست‌ها بسته به شرایط محیطی و نوع بافتی که در آن قرار دارند به پلاست‌های دیگر تبدیل می‌شوند. برای نمونه وقتی پیش‌پلاست‌ها (پروپلاستیدها) در معرض نور قرار می‌گیرند (در برگ‌ها و سایر اندام‌های هوایی) به کلروپلاست‌ها تبدیل می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۷

پلاست‌ها (پلاستیدها)



پلاست‌ها اندامک‌های دو غشایی در یاخته‌های گیاهی و برخی از آغازیان مثل جلبک‌ها هستند. معمولاً مدوّر، تخم‌مرغی شکل و دیسک مانند که دارای ابعادی حدود ۴ تا ۶ میکرون هستند و در سنتز و ذخیره مواد ـ غذایی مشارکت دارند. این اندامک‌ها نه تنها در تجمع و اندوختن مواد مختلف ذخیره‌ای و رنگیزه‌ها نقش دارند بلکه نوعی از آنها یعنی کلروپلاست‌ها با انجام فتوسنتز و تولید مواد آلی دارای انرژی نهفته‌اند و در بقای مصرف‌کنندگان نقش اساسی دارند. پلاست‌ها اندامک‌هایی هستند که نقش تولیدی آنها با فراهم‌آوری ترکیبات مختلفی مانند نشاسته، پروتئین‌ها و... روشن شده است. پلاست‌های سلول‌های بالغ بر حسب ماهیت موادی که در خود جمع می‌کنند انواع مختلفی دارند که عبارت‌اند از: کروموپلاست‌ها (پلاست‌های رنگی)، لوکوپلاست‌ها (پلاست‌های بی‌رنگ) وکلروپلاست‌ها (پلاست‌های سبز)

کروموپلاست‌ها

کروموپلاست‌ها، پلاست‌های زرد و نارنجی و قرمزرنگی هستند که به شکل‌های گوناگون دیده می‌شوند و کلروفیل ندارند. ولی دارای کاروتنوئیدها هستند. کاروتنوئیدها مسئول رنگ زرد و نارنجی و قرمز در گلبرگ‌ها، میوه‌ها، برخی ریشه‌ها و برگ‌های پائیزی هستند. رنگ میوه گوجه‌فرنگی و رنگ ریشه‌های هویج به علت وجود کروموپلاست‌هایی است که دارای رنگدانه قرمز و نارنجی هستند. در بیشتر موارد کروموپلاست‌ها از کلروپلاست‌ها به‌وجود می‌آیند. وظیفه حفاظتی به ویژه حفاظت نوری و همچنین مشارکت در جلب حشرات و پروانه‌ها برای انتشار دانه‌های گرده، از وظایف کروموپلاست‌ها است.

لوکوپلاست‌ها

لوکوپلاست‌ها پلاست‌های بی‌رنگی هستند که در یاخته‌های پوست و دیگر بافت‌های بی‌رنگ وجود دارند. این پلاست‌ها معمولاً در اندام‌های زیرزمینی که دور از نور هستند، مانند ریشه‌ها و ساقه‌های زیرزمینی، دیده می‌شوند. ولی در بخش‌های هوایی هم دیده می‌شوند. در ساختن مواد نقش ندارند ولی وظیفه آنها ذخیره است. لوکوموپلاست‌ها شامل آمیلوپلاست‌ها (که نشاسته ذخیره می‌کنند)، پروتئینوپلاست‌ها (که دارای پروتئین هستند.) و اولئوپلاست‌ها (که دارای روغن هستند) می‌باشند. در لپه‌های دانه گیاه هم آمیلوپلاست‌ها هم پروتئینوپلاست‌ها و هم اولئوپلاست‌ها یافت می‌شوند.

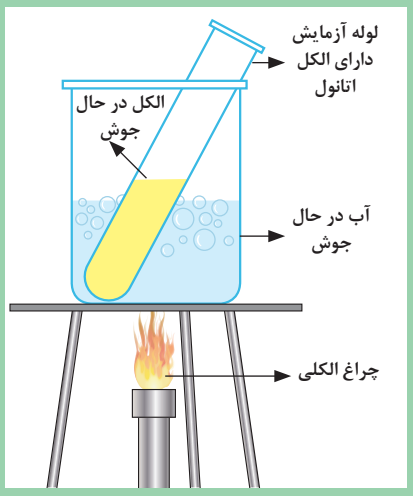
آزمایش کنید

آیا برگ‌ها نشاسته تولید و ذخیره می‌کنند؟

روش آزمایش:

این آزمایش برای شناسایی نشاسته در برگ انجام می‌شود. نشاسته سفیدرنگ است و زمانی که به ید آغشته شود به رنگ آبی در می‌آید.

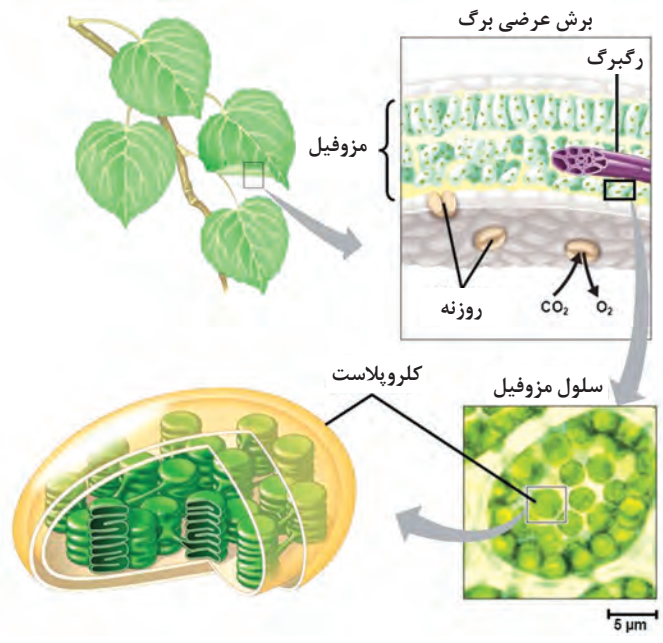
برگ را به مدت ۳۰ ثانیه در آب جوش فرو ببرید تا سیتوپلاسم و آنزیم‌ها کشته شوند و نفوذپذیری نسبت به محلول ید افزایش یابد. سپس برگ را در لوله آزمایشی که الکل اتانول درون آن ریخته شده و درون بشر آب جوش که در حال جوشیدن است قرار دهید تا کلروفیل آن از بین برود و برگ کاملاً سفید شود (شکل ۸). دوباره برگ را در آب جوش فرو برده و پس از خشک‌کردن روی کاغذ سفیدی قرار دهید، سپس روی آن چند قطره ید بریزید. نواحی‌ای که آبی‌رنگ می‌شوند مکان تولید و ذخیره نشاسته است.



شکل ۸ــ آزمایش تولید نشاسته در برگ

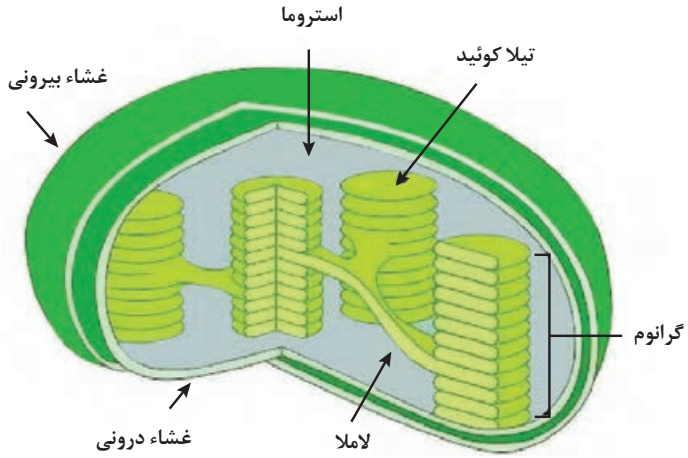
کلروپلاست‌ها

کلروپلاست‌ها مکان تولید غذا در سلول هستند و معمولاً در برش عرضی قرصی‌شکل و دارای قطری حدود ۱۰ـ۳ میکرون می‌باشند. رنگدانه‌های موجود در کلروپلاست‌ها شامل کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها است. چون مقدار کلروفیل در برگ بیشتر است، به رنگ سبز دیده می‌شود. رنگ کاروتنوئیدها در پائیز در برگ‌ها، پس از آنکه کلروفیل تخریب شد، مشاهده می‌گردد. رنگ کاروتنوئیدها همچنین در برگ‌های پیر نیز نمایان می‌شود. همچنین کلروپلاست‌های سلول‌های مزوفیل نردبانی معمولاً از نظر اندازه و تعداد بزرگ‌تر از سلول‌های مزوفیل اسفنجی هستند. نقش اصلی کلروپلاست‌ها فتوسنتز است. کلروپلاست‌ها علاوه بر آنکه محل فتوسنتزند در سنتز اسید آمینه و اسید چرب نیز شرکت می‌کنند (شکل ۹).



شکل ۹

ساختمان کلروپلاست: کلروپلاست از دو غشای درونی و غشای بیرونی تشکیل شده است. ماده زمینه‌ای کلروپلاست استروما نام دارد که شامل نشاسته و بیشتر آنزیم‌های لازم برای فتوسنتز، پروتئین‌ها، آب و رشته‌های RNA به‌صورت محلول می‌باشد. مهم‌ترین پروتئین ذخیره‌ای آن، آنزیمی به‌نام ریبولوز-۱و۵- بیس فسفات کربوکسیلاز اکسیژناز معروف به روبیسکو است. این اندامک غشایی دو لایه‌ای دارد. بخش درونی کلروپلاست شامل دو سیستم لایه‌ای و ماده دربرگیرنده این دو سیستم یعنی ماده زمینه‌ای است. سیستم لایه‌ای دو بخش دارد: بخشی که گرانوم‌ها را تشکیل می‌دهد و بخش دیگری که آنها را به هم متصل می‌کند (لاملا). بخش درونی گرانوم دارای ساختار غشاء مانندی به‌نام تیلاکوئید هستند که محل قرارگرفتن فتوسیستم‌ها (سیستم‌های نوری) می‌باشد. فضای داخلی تیلاکوئید، لومن نامیده می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- ساختمان کلروپلاست

رنگیزه‌های فتوسنتزی

رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان سبز عامل اصلی جذب انرژی نور خورشید هستند و شامل کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌باشند:

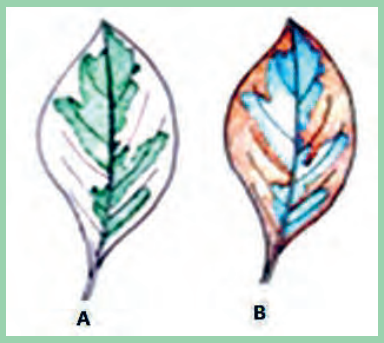
کلروفیل‌ها: رنگیزه‌های سبز و فعال فتوسنتزی موجود در کلروپلاست هستند که به انواع متنوع a، b، c، d، e شناخته شده‌اند. تمام گیاهان فتوسنتزکننده دارای کلروفیل‌های a و b هستند. در بعضی جلبک‌ها کلروفیل b وجود ندارد و به‌جای آن کلروفیل c یا d دیده می‌شود. کلروفیل a به رنگ آبی مایل به سبز و کلروفیل b به رنگ سبز متمایل به زرد است. طیف جذبی کلروفیل a با b متفاوت است.

گفت‌وگو

در ساختار کلروفیل‌ها عنصرهای کربن، اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن و منیزیم مشارکت دارند. به نظر شما اگر دلیل زرد شدن برگ گیاه کمبود مواد غذایی باشد چه نوع کودهایی را برای رفع زردی برگ آن پیشنهاد می‌کنید؟ دلیل خود را در کلاس توضیح دهید.

کاروتنوئیدها: کاروتنوئیدها ترکیباتی لیپیدی هستند که به مقدار زیاد در جانوران و گیاهان به‌صورت‌های گزانتوفیل‌ها، کاروتن و لیکوپن به ترتیب به رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز یافت می‌شوند. و نقش کمکی برای کلروفیل a و b دارند یعنی طول موج‌هایی که توسط کلروفیل a و b جذب نمی‌شوند توسط کاروتنوئیدها جذب می‌شوند و به نورهای با طول موج بالاتر مانند قرمز تبدیل می‌شوند.

آزمایش کنید



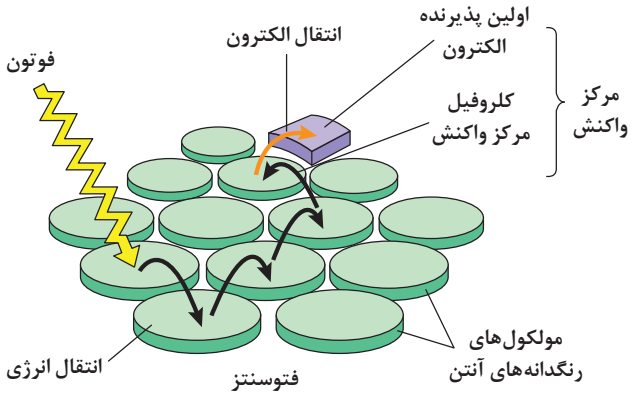
آیا کلروفیل‌ها برای انجام عمل فتوسنتز ضروری هستند؟

روش آزمایش: برگ یک گیاه ابلق مانند گیاه زینتی بنجامین ابلق را انتخاب نمایید و بدون اینکه آن را از بوته جدا نمایید چند ساعت در معرض نور خورشید قرار دهید و سپس آزمایش شناسایی نشاسته را توسط ید انجام دهید.

□ آیا ناحیه‌هایی که قبلاً سبز بودند با عنصر ید به رنگ آبی در می‌آیند و ناحیه‌هایی که سفید بودند قهوه‌ای می‌شوند؟

فتوسیستم‌ها

مجموعه‌ای شامل چندصد مولکول رنگیزه (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) و پروتئین، ساختارهایی از ترکیب‌های پروتئینی رنگیزه به‌نام فتوسیستم به‌وجود می‌آورند که در غشاهای تیلاکوئید کلروپلاست قرار دارند (شکل ۱۱).

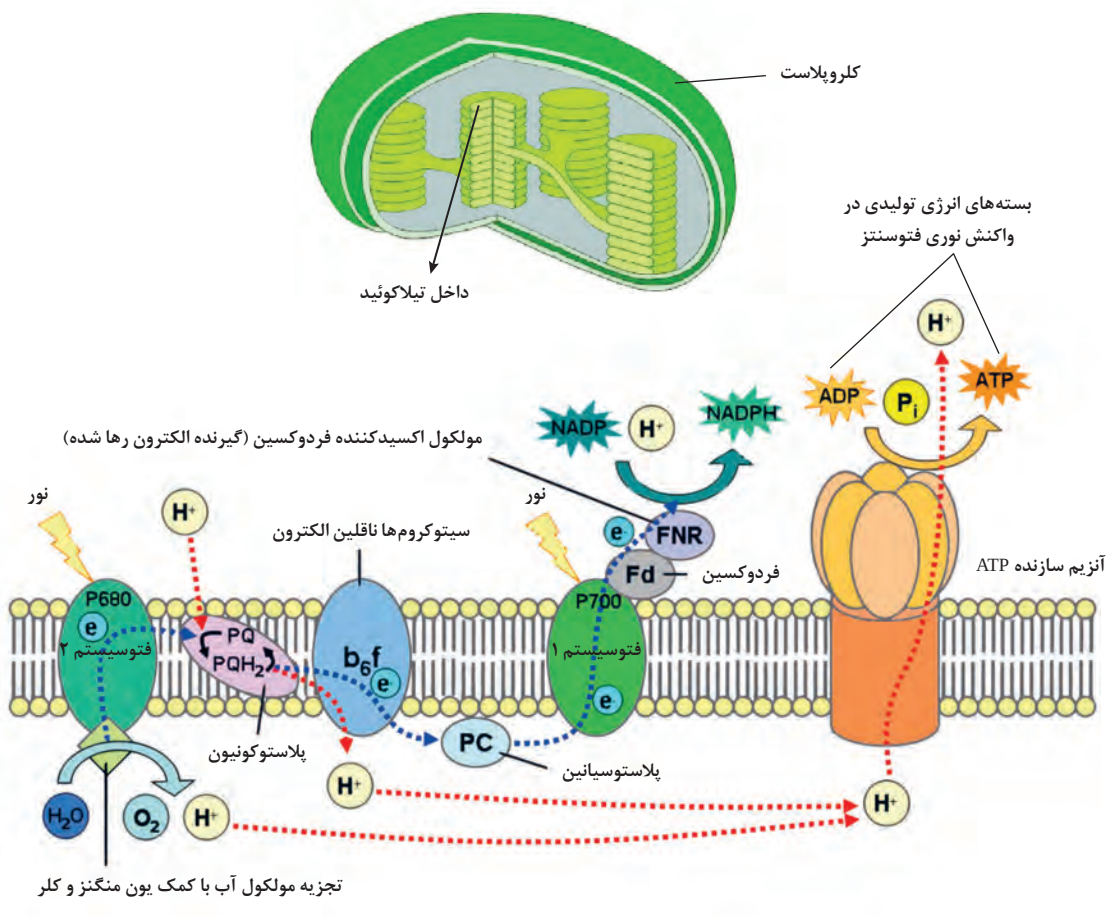


شکل ۱۱ــ ساختمان کلروپلاست

هر فتوسیستم دو بخش دارد

الف)ــ سیستم برداشت‌کننده نوری (آنتن) توسط رنگیزه‌های کمکی (کلروفیل b و کاروتنوئیدها) دو وظیفهٔ اصلی جذب نور و هدایت انرژی آن به کلروفیل a در مرکز واکنش فتوسیستم را انجام می‌دهد.

ب)ــ مرکز واکنش که ترکیبی از پروتئین و کلروفیل a است. دو نوع فتوسیستم وجود دارد: فتوسیستم یک و دو، که هر کدام دارای مراکز واکنش کلروفیلی مجزا هستند که به ترتیب $P_{۷۰۰}$ (فتوسیستم ۱) و $P_{۶۸۰}$ (فتوسیستم ۲) نام دارند. این رنگیزه‌ها بر اساس طول موجی که بیشترین جذب را در آن دارند، نام‌گذاری شده‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ــ فتوسیستم یک و دو در غشای تیلاکوئید و انجام مرحله نوری فتوسنتز

فعالیت

آیا نور برای فتوسنتز گیاهان ضروری است؟

روش آزمایش: گلدانی را در نظر بگیرید و یک برگ آن را انتخاب کنید، سپس بخشی از دو طرف برگ را با فویل آلومینیمی بپوشانید. روی ورقه آلومینیمی می‌توانید شکل L را ایجاد کنید. سپس گیاه را ۴ تا ۶ساعت در معرض نور خورشید قرار داده و پس از آن برگ را جدا نموده و پوشش آلومینیمی را برداشته و آزمون شناسایی نشاسته را با یُد انجام دهید.

نتیجه: تنها ناحیه‌هایی از برگ که نور خورشید را دریافت کرده‌اند به‌وسیله ید آبی رنگ می‌شوند. به نظر شما علت آن چیست؟

شکل ۱۳ــ آزمایش ضرورت نور برای فتوسنتز

واکنش‌های شیمیایی فتوسنتز

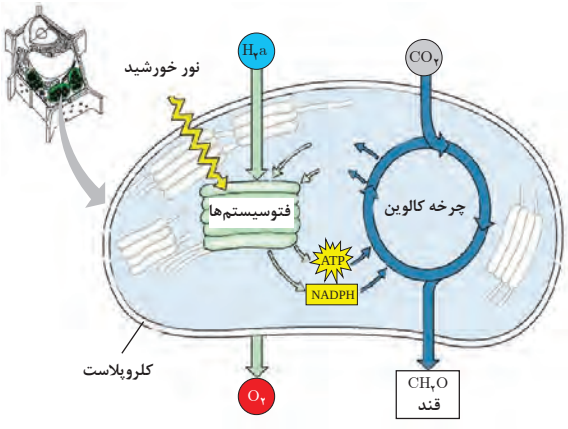
واکنش‌های فتوسنتز در دو مرحله انجام می‌شوند:

۱ واکنش‌های وابسته به نور یا واکنش‌های نوری فتوسنتز که در غشای تیلاکوئید انجام می شوند.

۲ واکنش‌های مستقل از نور یا واکنش‌های تاریکی که در استرومای کلروپلاست انجام می‌شوند.

واکنش‌های وابسته به نور (واکنش‌های روشنایی فتوسنتز)

در گیاهان عالی واکنش‌های فتوسنتزی در کلروپلاست انجام می‌شود. کلروپلاست ابتدا انرژی تابشی خورشید را به دام می‌اندازد و سپس بخشی از آن را به شکل شیمیایی (ATP و NADPH) ذخیره می کند. واکنش‌هایی که این انتقال انرژی را انجام می‌دهند، به واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز معروف‌اند. به عبارتی این دسته از واکنش‌های فتوسنتزی در حضور نور انجام می‌شوند. در موجودات فتوسنتزکننده از طریق اکسیدکردن آب به مولکول اکسیژن (فتولیز آب) و احیای نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (NADPH)، الکترون را به‌صورت غیر چرخه‌ای منتقل می کنند. بخشی از انرژی نور از طریق اختلاف PH و اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو طرف غشای فتوسنتزی (غشای تیلاکوئید) به‌صورت انرژی پتانسیل شیمیایی یا ATP (آدنوزین تری فسفات) ذخیره می‌شود (فسفوریلاسیون نوری غیرچرخه‌ای). این ترکیبات پر انرژی، انرژی لازم برای احیای کربن در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز را تأمین می کنند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ــ واکنش‌های روشنایی فتوسنتز

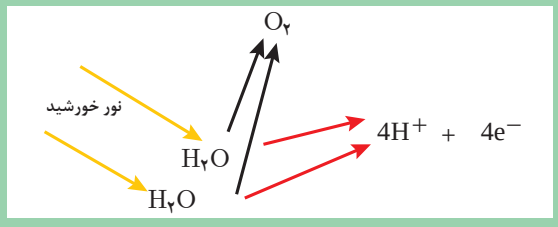
بیشتر بدانید

واکنش‌های وابسته به نور در فتوسیستم‌های واقع در گرانای کلروپلاست انجام می‌شود و شامل مراحل زیر است:

۱ ابتدا نور خورشیدی به سیستم برداشت‌کننده نوری (آنتن) فتوسیستم ۲ برخورد کرده و انرژی فوتون آن، توسط رنگیزه‌های کمکی (کلروفیل b و کاروتنوئیدها) جذب شده، سپس به کلروفیل a مرکز واکنش P۶۸۰ (فتوسیستم ۲) انتقال می‌یابد.

۲ سپس الکترون‌های کلروفیل a آن‌قدر پر انرژی می‌شوند که به حالت ناپایدار در آمده و این مولکول را ترک می‌کنند که طی آن کلروفیل یک الکترون را به مجموعه‌ای از مولکول‌های پذیرنده و ناقل الکترون در زنجیره انتقال الکترون منتقل می‌کند.

۳ کلروفیل مرکز واکنش $P_{۶۸۰}$ (فتوسیستم ۲) به وسیلهٔ پذیرش یک الکترون به حالت اولیه‌اش برمی‌گردد. در فتوسیستم ۲، الکترونی که سرانجام $P_{۶۸۰}$ را احیاء می‌کند طی واکنش فتولیز آب به اکسیژن و H^+ تبدیل می‌شود. این واکنش‌ها در گیاهان باعث آزاد شدن گاز اکسیژن می‌شوند و اکسیژن موجود در اتمسفر را تأمین می‌کند.



$$۲H_۲O \rightarrow ۴H^+ + ۴e^- + O_۲$$

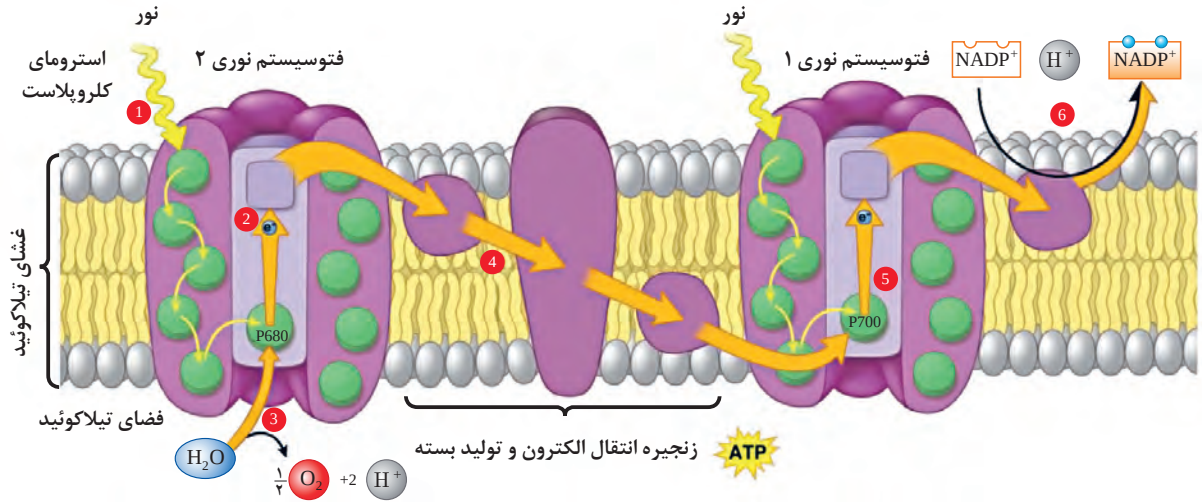
۴ الکترون فعال شده در جریان انتقال توسط مولکول‌های ناقل بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد. در این فرایند یکی از پروتئین‌هایی که به‌وسیله انرژی الکترون فعال شده است (کمپلکس سیتوکروم)، به عنوان کاتالیزور در واکنش میان آدنوزین دی فسفات و یون فسفات معدنی وارد عمل می‌شود و در نتیجه آدنوزین تری فسفات (ATP) تشکیل می‌شود. بنابراین قسمتی از انرژی دریافت شده از فوتون به پیوند پر انرژی فسفات در مولکول ATP منتقل می‌شود.

$$ADP + Pi = ATP$$

۵ به دنبال تشکیل ATP، الکترون به فتوسیستم ۱ منتقل می‌شود و آن را فعال می‌کند. سپس دومین فوتون جذب می‌شود و انرژی الکترون را بالا می‌برد. این الکترون به مولکول‌های پذیرنده و ناقل الکترون انتقال یافته و سرانجام باعث احیای نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (NADP) و تولید $NADPH_۲$ می‌شود (شکل ۱۵).

$$NADP + ۲H^+ + ۲e^- \rightarrow NADPH_۲$$

وقایع بالا را فسفری شدن نوری غیر چرخه‌ای می‌نامند، زیرا الکترون‌های جدا شده از مولکول آب در یک مسیر خطی حرکت کرده و به مولکول NADP می‌رسند و ضمن این انتقال ATP ساخته می‌شود. در شرایطی ممکن است فسفری شدن چرخه‌ای نیز انجام شود، مثلاً با وقوع تنش کم آبی روزنه‌های گیاه بسته شده و ورود دی اکسید کربن متوقف می‌شود که سبب توقف مرحله تاریکی فتوسنتز شده که نتیجه آن عدم نیاز به محصولات مرحله روشنایی فتوسنتز است ($NADPH_۲$ و ATP). در این شرایط ممکن است تجمع الکترون‌های اضافی آسیب زا باشد بنابراین الکترون‌ها به کمپلکس سیتوکروم برگشته و ضمن انتقال چرخه‌ای به فتوسیستم ۱ مقداری ATP تولید می‌کند. این وقایع را فسفری شدن نوری چرخه‌ای می‌نامند که همانند دریچه اطمینان از گیاه در برابر آسیب حفاظت می‌کند.



شکل ۱۵ــ واکنش‌های وابسته به نور در فتوسنتز

واکنش‌های مستقل از نور (واکنش‌های تاریکی) فتوسنتز

واکنش‌هایی که در استرومای کلروپلاست انجام شده و با مصرف نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات ($NADPH_2$) و آدنوزین تری فسفات (ATP) حاصل از مرحله نورانی فتوسنتز باعث احیای دی‌اکسید کربن به کربوهیدرات می‌شوند. این واکنش‌ها به واکنش‌های تاریکی فتوسنتز معروف هستند زیرا مستقیماً به نور نیاز ندارند. مکانیزم انجام این واکنش‌ها در گروه‌های مختلف گیاهی متفاوت است و میزان بازده حاصل هم متفاوت خواهد بود. واکنش‌های نوری و تاریکی فتوسنتز هر دو در روز انجام می‌شوند. گیاهان سبز به سه روش شامل چرخه گیاهان سه کربنه (C_3)، چرخه گیاهان چهار کربنه (C_4) و چرخه گیاهان کم (CAM)، دی اکسیدکربن را به قند تبدیل می‌کنند:

۱ چرخه گیاهان سه کربنه (C_3): گیاهان C_3 گیاهانی هستند که اولین ماده تولیدی در مرحله تاریکی فتوسنتز آنها، یک اسید آلی سه کربنه به‌نام فسفو گلیسریک اسید می‌باشد، به همین علت به این گیاهان سه‌کربنه یا گیاهان C_3 گویند. بیشتر گیاهان زراعی جزو گیاهان سه کربنه می‌باشند. این گیاهان به آب وهوای معتدل و خنک سازگاری دارند. همچنین این گیاهان در حدود یک چهارم شدت نور خورشید به اشباع نوری رسیده و پس از آن نسبت به افزایش نور واکنش نشان نمی‌دهند، بنابراین به شرایط کمبود نور سازگاری بیشتری نسبت به گیاهان چهار کربنه (C_4) دارند. از جمله گیاهان زراعی که مسیر تثبیت Co_2 سه کربنه دارند می‌توان گندم، جو، یولاف، برنج، سیب زمینی، لوبیا، نخود، چغندر قند و غیره را نام برد.

بیشتر بدانید

چرخه احیای کربن گیاهان سه کربنه (C_3) را به احترام دکتر ملوین کالوین که نخستین بار این چرخه را کشف و در سال ۱۹۶۱موفق به دریافت جایزه نوبل گردید، سیکل کالوین می‌گویند. چرخه کالوین دارای سه مرحله کلی است:

گام اول: ابتدا با مصرف یک مولکول ATP که گروه فسفات خود را به ریبولوز ۵- فسفات منتقل می‌کند

ماده ریبولوز ۵- فسفات (Ru۵P) به ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات (RuBP)، تبدیل می‌شود.

گام دوم: سپس با کربوکسیلاسیون (ترکیب گازکربنیک با هر ماده‌ای) ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات (RuBP)، دو مولکول ۳- فسفوگلیسریک اسید (PGA) تشکیل می‌شود. بدین ترتیب که Co_2 از طریق واکنش با ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات (RuBP) وارد چرخه تثبیت کربن شده و به ۲ مولکول ۳- فسفوگلیسریک اسید (PGA) تبدیل می‌شود. این واکنش به‌وسیله آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز (RUBPC) که به اختصار به آن روبیسکو (Rubisco) می‌گویند، کاتالیز می‌شود. به علت اینکه اولین ماده تولیدی در این چرخه یک اسید سه کربنه به نام فسفوگلیسریک اسید (PGA) است این چرخه را چرخه گیاهان سه کربنه (C_3) نیز گویند.

گام سوم: سپس ماده ۳- فسفوگلیسریک اسید(PGA) به گلیسر آلدئید ۳- فسفات(PGAL)احیاء می‌شود. در جریان تبدیل ۳- فسفوگلیسریک اسید(PGA) به گلیسر آلدئید ۳- فسفات(PGAL)، مولکول NADPH و ATP مصرف می‌شوند. برای هر چرخه کلوین و تثبیت یک مولکول Co_2 نیاز به ۳ مولکول ATP و ۲ مولکول NADPH است که از طریق مرحله نورانی فتوسنتز تأمین می‌شوند.

گام چهارم: از هر ۶ مولکول گلیسر آلدئید ۳- فسفات (PGAL)، ۵ مولکول چرخه را ادامه داده و صرف بازسازی ماده اولیه می‌شود و یک مولکول از چرخه خارج شده و ابتدا یک قند سه کربنه (تریوز فسفات) و سپس قند شش کربنه (هگزوز فسفات) و در نهایت نشاسته تولید می‌شود (شکل؟؟).

آزمایش کنید

آیا دی اکسید کربن برای فتوسنتز گیاهان ضروری است؟

روش آزمایش: دوگلدان سالم را که خوب آبیاری کرده‌اید در نظر بگیرید و سپس برگ‌های آن را با کیسه پلاستیکی شفاف بپوشانید. درون یکی از کیسه‌ها آهک سودا (مخلوطی از هیدروکسید کلسیم با هیدرواکسید سدیم یا پتاسیم که به‌عنوان جاذب دی‌اکسید کربن متصاعد شده در هوا به‌کار می‌رود) برای جذب دی اکسیدکربن از هوا قرار دهید (شکل ۱۶) و درون گلدان دوم مقداری محلول بی‌کربنات سدیم درون پتریدیش قرار دهید. سپس دو گلدان را چند ساعت در معرض نور خورشید قرار داده و پس از آن یک برگ از هر گلدان را جدا نموده و آزمون شناسایی نشاسته را انجام دهید.

نتیجه: به نظر شما علت آن چیست؟

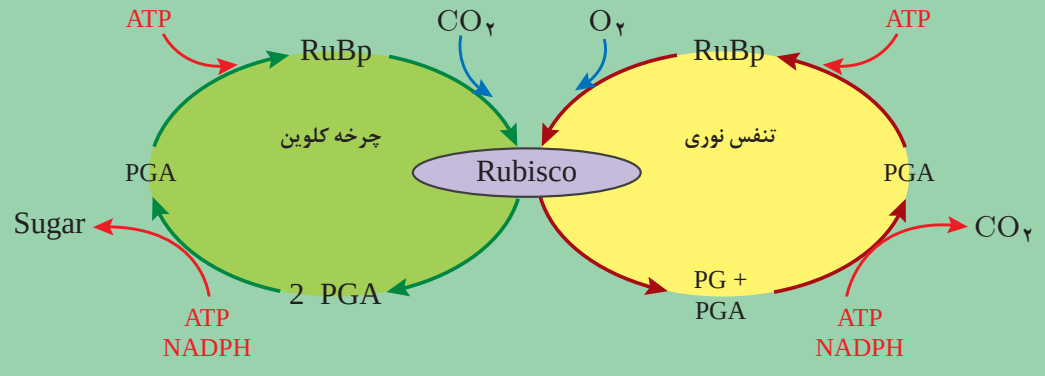
شکل ۱۶

تنفس نوری

تنفس نوری در شرایطی صورت می‌گیرد که مقدارکربن دی اکسید (CO_2) در دسترس گیاه کمتر از حد متعادل است. در این حالت گیاه به‌جای فتوسنتز، تنفس می‌کند تا فتوسنتز یعنی شدت تنفس بیشتر از فتوسنتز است. تنفس نوری فرایندی وابسته به نور است که طی آن اکسیژن جذب و دی اکسیدکربن آزاد می‌شود. این فرایند در برخی گیاهان موسوم به گیاهان سه کربنه همراه با فتوسنتز انجام می‌شود. تنفس نوری مانع از وارد شدن دی اکسیدکربن به چرخه کالوین می‌شود و به همین دلیل به‌عنوان فرایندی مخالف با تولیدکنندگی فتوسنتز در نظر گرفته می‌شود و در واقع باعث هدررفت بخشی از انرژی تثبیت شده در فرایند فتوسنتز می‌شود.

بیشتربدانید

تنفس نوری با همکاری سه اندامک کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم انجام می‌شود. آنزیم روبیسکو (RUBRc) یک آنزیم دو لبه است یعنی علاوه بر کربوکسیله کردن ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات (RUBP) می‌تواند آن را اکسیده کند که این عمل به غلظت نسبی دی اکسید کربن به اکسیژن بستگی دارد. هرگاه این نسبت بالا باشد آنزیم روبیسکو کار کربوکسیله کردن ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات (RUBP) را انجام داده یعنی دی اکسید کربن را با آن ترکیب نموده و باعث انجام سیکل کالوین می‌شود (فتوسنتز). ولی هرگاه این نسبت پایین باشد آنزیم روبیسکو کار اکسیده کردن ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات (RUBP) را انجام داده یعنی اکسیژن را با آن ترکیب نموده و باعث انحراف سیکل کالوین به سیکل تنفس نوری می‌شود. بنابراین فرایند اکسید شدن ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات (RUBP) توسط آنزیم روبیسکو تنفس نوری گویند. در نتیجه تنفس نوری خلاف جهت فتوسنتز باعث اتلاف Co_2 در گیاهان سه کربنه(C_3) می‌شود. (شکل۱۷).



شکل ۱۷ــ تنفس نوری در گیاهان C_3

گفت‌وگو

آیا تنفس نوری برای گیاهان فایده هم دارد؟

۲ چرخه گیاهان چهار کربنه (C_4): گیاهان C_4 گیاهانی هستند که اولین ماده تولیدی آنها در مرحله تاریکی فتوسنتز، یک اسید آلی چهار کربنه به نام اسید اگزالواستیک می باشد، به همین علت به این گیاهان چهار کربنه یا گیاهان C_4 گویند. از جمله گیاهان زراعی که مسیر تثبیت Co_2 چهار کربنه دارند می‌توان ذرت، نیشکر، ذرت خوشه‌ای و ارزن را نام برد. کارایی گیاهان C_4 در آب و هوای گرم، شدت زیاد نور، یا کمبود آب تقریباً دو برابر گیاهان C_3 است. همچنین گیاهان C_4 به علت عدم وجود تنفس نوری و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی عملکرد محصول بالاتری نسبت به گیاهان C_3 دارند.

بیشتربدانید

تا اواسط دهه ۱۹۶۰ چنین تصور می شد که تمام گیاهان مسیر فتوسنتز ۳ کربنه (C_3) دارند. ولی دو دانشمند به نام‌های هاچ و اسلک در سال ۱۹۶۶ ضمن مطالعه روی نیشکر متوجه شدند که اولین ماده‌ای که پس از تثبیت Co_2 در گیاه ساخته می‌شود یک اسید ۴ کربنه به نام اسید اگزالواستیک است. بنابراین به این صورت مسیر دیگری برای تثبیت Co_2 شناخته شد. ساختمان برگ گیاهان C_3 با C_4 متفاوت است. در گیاهان C_4 هر دسته آوندی توسط یک لایه از سلول‌های بزرگ پارانشیمی به نام غلاف آوندی احاطه شده است و این غلاف آوندی هم توسط سلول‌های کوچک‌تر مزوفیل احاطه شده‌اند. به این ساختار برگ گیاهان C_4 آناتومی یا ساختار کرانز (Kranz) می‌گویند.

مسیر تثبیت Co_2 در گیاهان C_4 به این صورت است که در سلول‌های مزوفیل این گیاهان ابتدا فسفوانول پیروات (PEP) با Co_2 ترکیب شده و تولید اسید آلی چهارکربنه مانند اسید اگزالواستیک می نماید که این واکنش تحت تأثیر آنزیم PEP کربوکسیلاز صورت می‌گیرد به همین علت به این گیاهان چهارکربنه یا گیاهان C_4 گویند. سپس این ماده به اسید مالیک یا اسید اسپارژیک تبدیل شده و سپس این اسید ۴ کربنه تولید شده از طریق پلاسمودسماتا به سلول‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود و بلافاصله دکربوکسیله می‌شود، به‌طوری که Co_2 جدا شده صرف تغذیه چرخه کالوین شده و بقیه که یک ماده سه کربنه است صرف بازسازی ماده اولیه می‌شود. چرخه تثبیت Co_2 از این مرحله به بعد مانند گیاهان C_3 است. اسید ۴ کربنه که یک مولکول Co_2 خود را از دست داده به پیروات تبدیل می‌شود که پیروات تولید شده به سلول‌های مزوفیل برگشت داده می‌شود.پیروات در سلول‌های مزوفیل پس از گرفتن یک گروه فسفات تبدیل به فسفو انول پیروات (PEP) شده و مجدداً وارد سیکل تثبیت Co_2 می‌شود. آنزیم PEP کربوکسیلاز که در گیاهان C_4 تثبیت کربن را انجام می‌دهد نسبت به آنزیم RUBP کربوکسیلاز میل ترکیبی بیشتری با Co_2 دارد.بنابراین دراین گیاهان تثبیت Co_2 بهتر صورت می‌گیرد. همچنین در این گیاهان با انتقال Co_2 به سلول‌های غلاف آوندی غلظت Co_2 در این سلول‌ها چندین برابر اتمسفر می‌شود (۲۰ تا ۳۰ برابر). تثبیت Co_2 توسط آنزیم RUBP کربوکسیلاز در محیطی با غلظت Co_2 بالا صورت گرفته بنابراین دیگر اکسیژن نمی تواند با Co_2 برای ترکیب با RUBP کربوکسیلاز رقابت کند در نتیجه تنفس نوری رخ نمی‌دهد و همین عدم وجود تنفس نوری در گیاهان C_4 باعث عملکرد بالای آن می‌شود.

پژوهش

گیاهان زراعی C_3 و C_4 قابل کشت در منطقه خود را شناسایی کنید و در جدولی آنها را از نظر نیاز آبی و عملکرد باهم مقایسه کنید. علت تفاوت این دو گروه از گیاهان زراعی را در گفت‌وگوی کلاسی با راهنمایی هنرآموز خود توضیح دهید.

۳ گیاهان CAM: نوع دیگر تثبیت Co_2 در گیاهان CAM[1] یا دارای متابولیسم کراسولایی است. به‌طور عمده در گیاهان آبدار که دارای برگ‌ها یا ساقه‌های گوشتی هستند (مانند آناناس) صورت می‌گیرد. چنین گیاهانی به شرایط خشک که کمی تعرق لازمه بقاء است سازگار شده‌اند. این دست از گیاهان در مناطق گرم و خشک، بیابانی و کم‌آب امکان انجام فتوسنتز در روز را به دلیل تلفات آب از طریق روزنه‌های خود ندارند به‌طوری که اگر روزنه‌های خود را در روز برای انجام فتوسنتز باز نگه دارند به دلیل تلفات شدید آب از روزنه‌ها به‌صورت تعرق امکان حیات را از دست می‌دهند. بنابراین در این گیاهان برای سازگاری با شرایط بحرانی (از نظر دما و رطوبت) تکاملی در خود ایجاد کرده‌اند که در شرایط بسته بودن روزنه‌ها در روز بتوانند فتوسنتز کرده و به حیات خود ادامه دهند. به این ترتیب گیاهان CAM با انجام تعرق بسیار کم، فتوسنتز می‌کنند و به این صورت به حیات خود ادامه می‌دهند. اپیدرم گیاهان CAM از چند لایه تشکیل شده است و کوتیکول ضخیم دارند. سطح برگ آنها پوشیده از کرک است. در بعضی از گونه‌ها کرک‌ها کاملاً تحلیل رفته و به‌صورت خار درآمده است. همچنین این گیاهان توانایی حفظ بقای خود در گرمای شدید را دارند، اما معمولاً به کندی رشد می‌کنند.

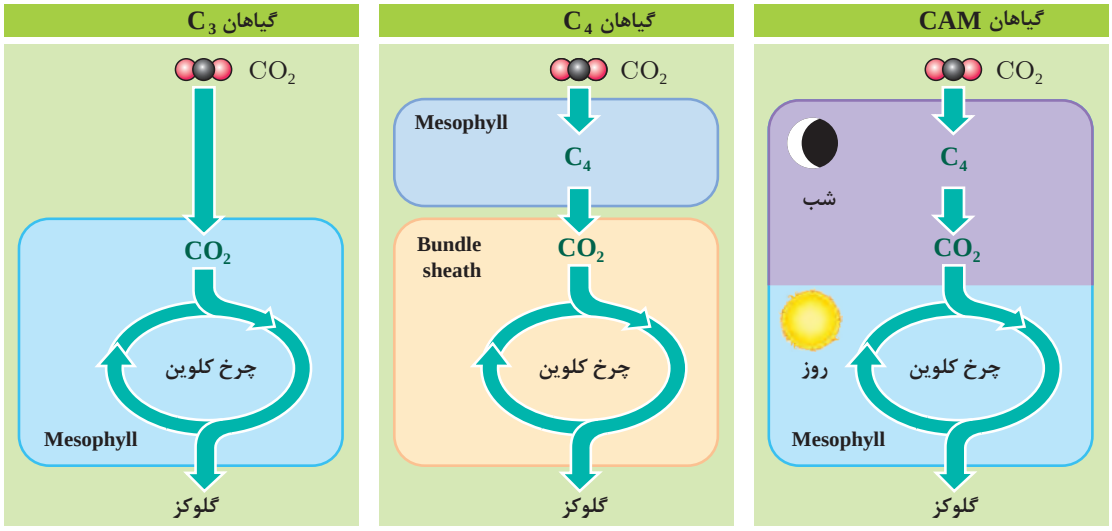
بیشتربدانید

مکانیسم تثبیت Co_2 در گیاهان CAM شبیه گیاهان C_4 است با این تفاوت که در گیاهان C_4 محل فعالیت دو آنزیم PEP کربوکسیلاز و RUBP کربوکسیلاز متفاوت است ولی در گیاهان CAM زمان فعالیت این دو آنزیم فرق می‌کند. گیاهان CAM در شب که دما و تعرق پایین است روزنه‌های خود را باز نموده و Co_2 را به‌صورت اسید مالیک تثبیت کرده و در واکوئل‌های خود ذخیره می‌کنند. سپس در روز اسید مالیک ذخیره شده را به هیدرات‌های کربن تبدیل می‌کنند (مانند گیاهان C_4).

تولید ساکارز

بسیاری از گیاهان زراعی تولیدات فتوسنتزی مازاد را به‌صورت نشاسته در کلروپلاست ذخیره می کنند. ساکارز یک دی ساکارید محلول است که از یک گلوکز و یک فروکتوز تشکیل شده است. ساکارز یکی از فراوان‌ترین فراورده‌های طبیعی است که نه تنها در زندگی گیاه نقش حیاتی دارد، بلکه یک فراوردهٔ مهم تجاری نیز محسوب می‌شود. تولید ساکارز منحصراً در سیتوسول سلول فتوسنتزی صورت می‌گیرد. ساکارز ممکن است مانند آنچه در چغندرقند و نیشکر دیده می‌شود با ذخیره شدن در واکوئل سلول‌های ذخیره‌ای به عنوان یک فراورده فتوسنتزی ذخیره‌ای عمل کند. همچنین ممکن است با انتقال به بافت‌های غیرفتوسنتزی در گیاه به مصرف مستقیم متابولیسم گیاهی یا تبدیل به نشاسته شود (مانند سیب زمینی). ساکارز عمده‌ترین شکل قند در نقل و انتقالات مواد در داخل گیاه محسوب می‌شود.

۱ـ Crassulation acid metabolism



شکل ۱۸ــ مقایسه گیاهان C_3، C_4 و CAM

تولید نشاسته

دانه‌های نشاسته کلروپلاست‌ها از ذخایر موقتی گیاه هستند. زمانی که گیاه فعالانه فتوسنتز می‌کند، نشاسته در کلروپلاست‌ها انباشته می‌شود. در شب این نشاسته‌ها تجزیه شده و به آمیلوپلاست‌ها انتقال و در آنجا ذخیره می‌شود.

پژوهش

- انواع قندهای گیاهی را دسته‌بندی نمایید و در کلاس توضیح دهید.
- تولید این قندها به‌وسیله چه گیاهانی انجام می‌شود؟ محل ذخیره این قندها کجاست؟

واحد یادگیری ۲

تحلیل تنفس گیاهان

تنفس سلولی

تنفس یعنی واکنش‌های شیمیایی اساسی که با شکسته شدن مولکول‌های مواد آلی و رها شدن انرژی آنها پایان می‌یابد. سلول‌های بدن جانداران برای تأمین انرژی لازم برای زندگی، مولکول‌های غذایی را تجزیه می‌کنند و انرژی حاصل از این فرایند را صرف سایر فعالیت‌های حیاتی می‌کنند. گیاهان و سایر جانداران موقعی می‌توانند به زندگی ادامه دهند که قدرت تجزیه مولکول‌های پیچیده مواد آلی و استفاده از انرژی اندوخته شده در آنها را داشته باشند. عمل اکسیداسیون مواد آلی که منتهی به آزاد شدن انرژی می‌شود، مستلزم جذب اکسیژن از راه منافذ روی برگ، ساقه و ریشه گیاه است. بنابراین تنفس عبارت است از: جذب اکسیژن و دفع دی اکسید کربن یعنی مبادلات گازی بین گیاه و محیط.

فرایند فتوسنتز به ساخته شدن مواد آلی منتهی می‌شود، در حالیکه در عمل تنفس مولکول‌های حاصل از عمل فتوسنتز شکسته شده و انرژی حاصل از آنها صرف فعالیت‌های حیاتی مانند ساختن برخی مواد، جذب و شناسایی مواد محلول، جنبش‌های سیتوپلاسمی و جنبش اندام‌های گیاهی، به‌وجود آمدن پتانسیل الکتریکی و به‌طور کلی رشد و نمو می‌شود.

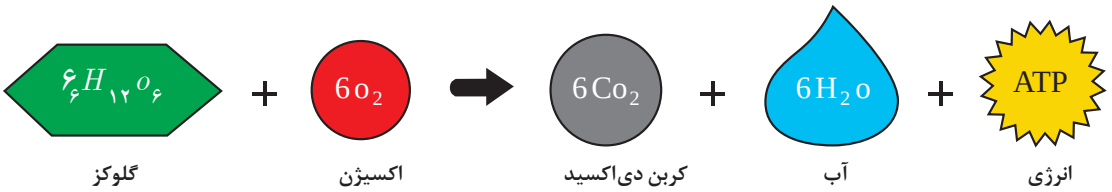
انواع تنفس سلولی

- تنفس هوازی
- تنفس بی‌هوازی

تنفس هوازی چیست؟

تنفس هوازی نوعی تنفس سلولی است که در آن از اکسیژن برای تبدیل گلوکز به ATP استفاده می‌شود. محصول تنفس هوازی، تولید دی اکسید کربن، آب و انرژی برای سلول است. ATP تولید شده صرف فعالیت‌های سلول شده و دی اکسید کربن دفع می‌شود. تنفس هوازی در سیتوپلاسم و اندامک میتوکندری رخ می‌دهد و ATP قابل توجهی تولید می‌کند. میزان تولید ATP به این روش، ۳۸ مولکول آدنوزین تری فسفات از یک مولکول گلوکز است.

تنفس سلولی به شکل هوازی



تنفس بی‌هوازی چیست؟

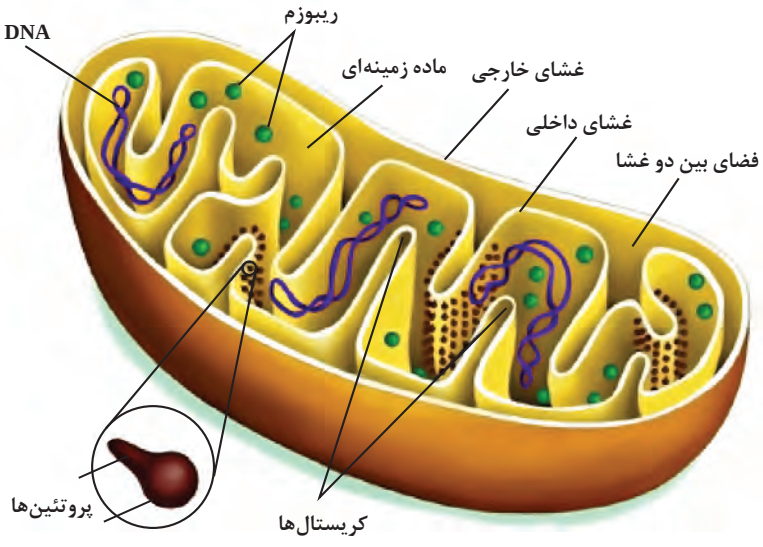
همان‌طور که از نام آن پیداست، تنفس بی‌هوازی نوعی تنفس سلولی است که نیازی به اکسیژن ندارد. این نوع از تنفس درون سیتوپلاسم سلول‌ها رخ می‌دهد. محصول تنفس بی‌هوازی ATP، دی اکسید کربن و اتانول یا اسید لاکتیک است. تنفس بی‌هوازی از یک مولکول گلوکز تنها دو مولکول آدنوزین تری فسفات تولید می‌کند.

گفت‌وگو

تفاوت‌های تنفس هوازی و بی‌هوازی را بیان کنید؟

میتوکندری

میتوکندری اندامکی است که وظیفه آن تنفس سلولی و نوعی دستگاه انتقال انرژی است که موجب می‌شود انرژی شیمیایی موجود در مواد غذایی با عمل فسفوریلاسیون اکسیداتیو، به‌صورت پیوندهای پرانرژی فسفات (آدنوزین تری‌فسفات) ذخیره شود. این اندامک در تمام یاخته‌های دارای تنفس هوازی به جز در باکتری‌ها که آنزیم‌های تنفسی آنها در غشای سیتوپلاسمی جایگزین شده‌اند وجود دارد. میتوکندری نیز همانند کلروپلاست از دو غشای داخلی و خارجی تشکیل شده است با این تفاوت که دو غشای داخلی و خارجی فضای درون میتوکندری را به دو بخش تقسیم می‌کند که عبارت‌اند از: ۱ فضای درون میتوکندری ۲ فضای بین دو غشا. درون میتوکندری مایعی سیّال به نام ماتریکس وجود دارد که واکنش‌های مربوط به فرایند تنفس سلولی در آن انجام می‌شود. تنفس سلولی فرایندی است که طی آن انرژی ذخیره شده در غذاها (قندها) به ATP (مولکول سوختی سلول) تبدیل می‌شود. در غشای داخلی چین‌خوردگی‌هایی وجود دارد که به آن کریستا گویند که باعث افزایش سطح غشا می‌شود. میتوکندری‌ها محل اکسیداسیون سلولی هستند. در طی این عمل، دی‌اکسید کربن تولید می‌گردد و این همان دی‌اکسیدکربنی است که از سلول دفع می‌شود. میتوکندری مانند کارخانه‌ای باعث تولید انرژی سلول می‌شود.



شکل ۱۹ــ میتوکندری

مراحل تنفس هوازی

تنفس هوازی شامل مسیرهایی است که توسط آنها کربوهیدرات‌ها و سایر مولکول‌ها به منظور دسترسی به انرژی ذخیره شده در جریان فتوسنتز و نیز دستیابی به اسکلت کربنی مورد استفاده در رشد و نگهداری سلول، اکسید می‌شوند. به عبارتی تنفس سلولی در گیاهان فرایندی است که منجر به تجزیه و اکسیداسیون مولکول آلی (گلوکز) و تبدیل آن به مولکول‌های کوچک‌تر و سرانجام تولید آب، دی‌اکسید کربن و انرژی به شکل ATP می‌گردد.

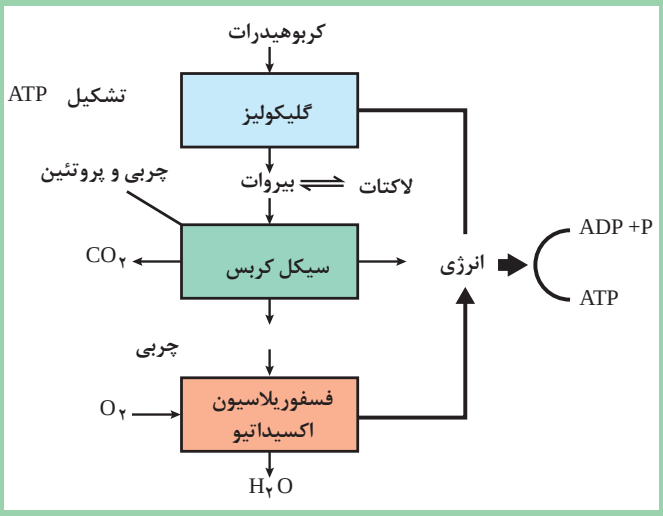
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O : \Delta G = -686\ Kcal \quad \Delta G = -686$$

بیشتر بدانید

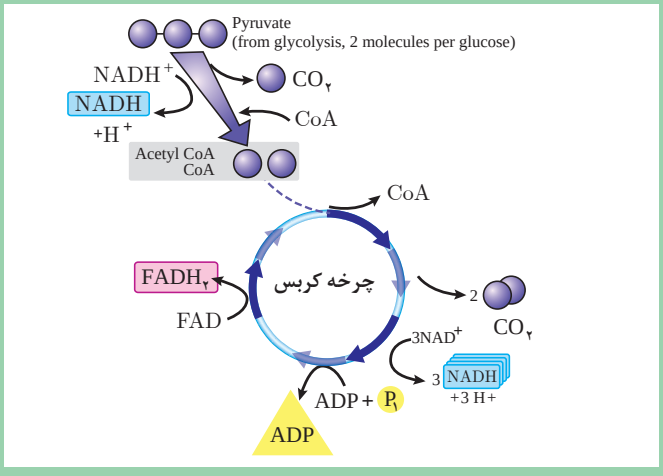
مکانیسم تثبیت Co_2 در گیاهان CAM شبیه گیاهان C_4 است با این تفاوت که در گیاهان C_4 محل تنفس هوازی شامل سه مرحله جداگانه و در مجموع بیش از ۵۰ واکنش جداگانه انجام می‌شود:

۱ مرحله اول تنفس در سیتوپلاسم سلول‌ها صورت می‌گیرد. این مرحله گلیکولیز نامیده می‌شود که طی آن قند ۶ کربنی مانند گلوکز شکسته شده و به دو مولکول ۳ کربنی به‌نام اسید پیرویک تبدیل می‌شود (شکل ۲۰).

۲ کربس در سال ۱۹۱۰ مشخص کرد که مکانیسم تبدیل پیرووات به ترکیبات ساده‌تر طی یک سری واکنش‌های چرخه‌ای صورت می‌گیرد این چرخه به نام چرخه کربس معروف است. کربس این چرخه را چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید (TCA) نامید. مرحله دوم واکنش‌ها در ماتریکس میتوکندری اتفاق می‌افتد که با حضور اسید پیرویک است. این واکنش‌ها به‌صورت چرخه‌ای انجام می‌شوند که چرخه کربس نامیده می‌شود، در هر چرخه یک مولکول اسید پیرویک به ۳ مولکول Co_2 تبدیل شده و انرژی حاصل از شکسته شدن آن در ناقل‌های انرژی مانند $FAOH_2$ و NADH، ذخیره می‌شود (شکل ۲۱).

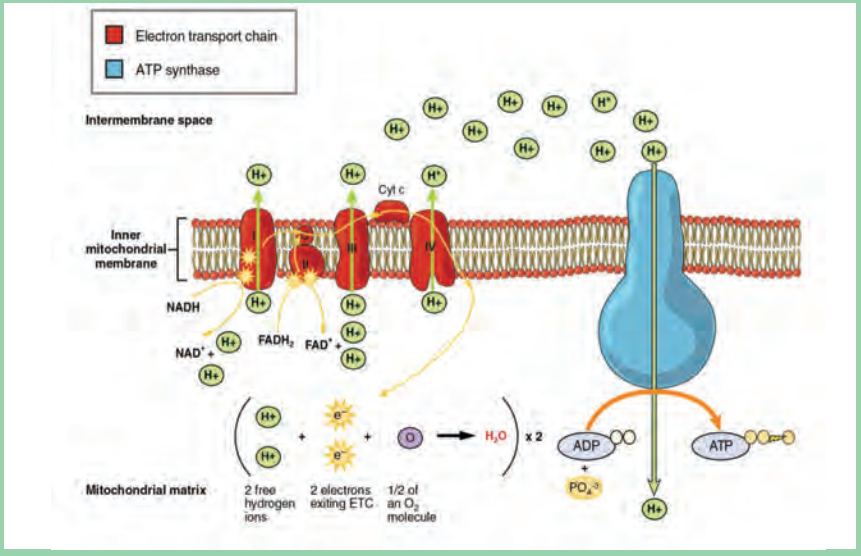


شکل ۲۰



شکل ۲۱

۳ مرحله سوم واکنش‌های تنفس در غشای میتوکندری انجام می‌شود که دارای سیستم ناقل الکترون است. بدین ترتیب که در اول زنجیره ناقل‌های انرژی، الکترون از دست داده و گیرنده نهایی این الکترون‌ها، اکسیژن (O_2) است که در این فرایند انرژی به‌صورت ATP (آدنوزین تری فسفات) در می‌آید که انرژی قابل استفاده برای تمام اعمال سلولی است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲ـ تنفس سلولی

تنفس هوازی شامل سه بخش است

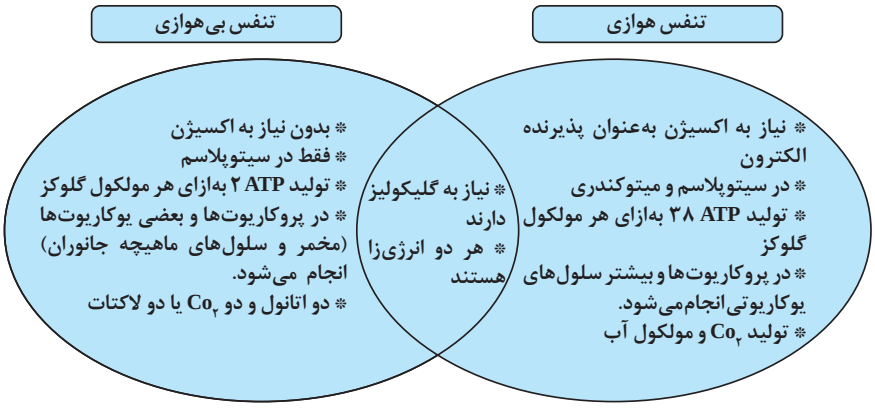
۱ **تنفس رشد** جزئی از تنفس هوازی است که شامل عمل‌آوری کربن احیاء شده به منظور تأمین رشد گیاه جدید می‌باشد.

۲ **تنفس نگهداری** که جزئی از تنفس لازم برای حفظ سلول‌های بالغ در وضعیت حیاتی است. این فرایند بیش از ۵۰ درصد کل جریان تنفسی را به خود اختصاص می‌دهد.

۳ **تنفس شوری** که بخشی از انرژی تنفسی است که صرف مقابله با تنش‌ها مثلاً تنش شوری می‌شود.

تنفس بی‌هوازی (تخمیر)

تخمیر پدیده‌ای است ناشی از مجموعه فعالیت‌های زیستی که در آن ترکیبات آلی دارای مولکول‌های بزرگ به ترکیبات دارای مولکول‌های کوچک‌تر و ساده‌تر شکسته و تجزیه (کاتابولیسم) شده از فرایند آن علاوه بر ایجاد ترکیبات آلی ساده‌تر، گازکربنیک و انرژی نیز آزاد می‌گردد. به بیان دیگر تخمیر تجزیه ناقص بعضی از متابولیت‌ها (ترکیبات آلی) به ترکیبات ساده‌تر همراه با انرژی توسط عامل تخمیری است. بعضی از گیاهان بی‌هوازی هستند یعنی در شرایط نبود O_2 می‌توانند زنده بمانند. ارگانیزم‌هایی هم هستند که در شرایط هوازی و هم بی‌هوازی رشد و نمو می‌کنند.



گفت‌وگو

در چه مواقعی در گیاهان تنفس بی‌هوازی اتفاق می‌افتد؟

بیشتر بدانید

تنفس هوازی و تخمیر در واکنش‌های گلیکولیز مشترک هستند. اسید پیرویک سوبسترای مشترک تخمیر هاست.

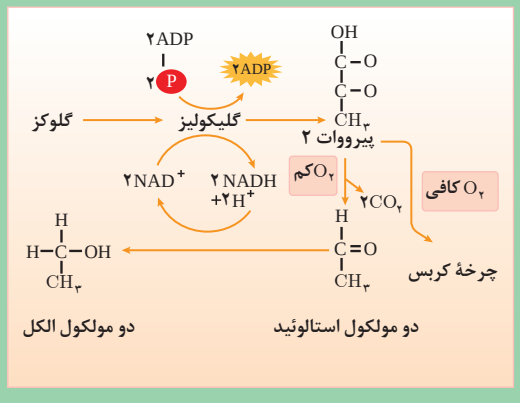
دو نوع تخمیر داریم:

۱ تخمیر الکلی: در تخمیر الکلی اسید پیرویک به کمک آنزیم پیرووات دکربوکسیلاز تبدیل به استالدئید می‌شود. استالدئید به‌وسیله آنزیم الکل دهیدروژناز تبدیل به اتانول می‌شود (شکل ۲۳).

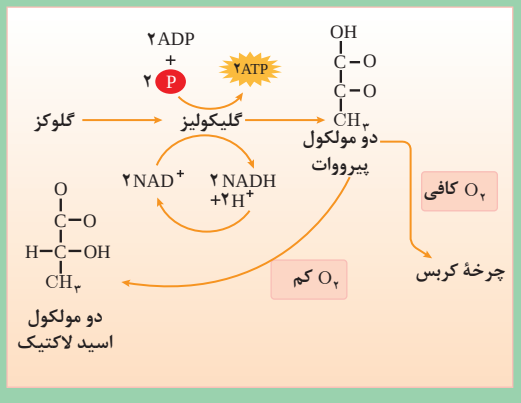
۲ تخمیر اسیدی: در تخمیر اسید لاکتیک، اسید پیرویک به اسید لاکتیک تبدیل می‌شود (شکل ۲۳).

تخمیر $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 : \Delta G = -33\ Kcal$

تجزیه گلوکز در واکنش‌های تخمیری ناقص بوده از آن فقط مولکول ATP حاصل می‌شود درحالی‌که در فرایند تنفس تجزیه گلوکز به‌طور کامل صورت گرفته، ۳۶ مولکول ATP از آن تولید می‌شود (شکل ۲۴).



شکل ۲۳



شکل ۲۴

پژوهش

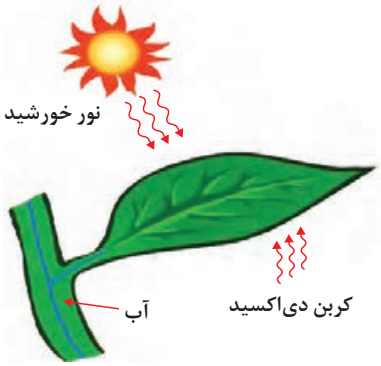
چه موجوداتی در تخمیر مواد غذایی نقش دارند؟ نقش آنها را در تهیه مواد غذایی جست‌وجو کنید.

اثر عوامل درونی و برونی بر فتوسنتز و تنفس

۱ اثر عوامل درونی بر فتوسنتز و تنفس: میزان فتوسنتز و تنفس در کل گیاه بسته به عوامل درونی شامل نوع گیاه، سن، وضعیت متابولیکی، زاویه برگ‌ها، شکل برگ‌ها و... دارد.

۲ عوامل مؤثر برونی(محیطی) بر فتوسنتز و تنفس

آب: آب یکی از مواد اولیه برای انجام فتوسنتز است و بدون وجود آن، فتوسنتز هرگز صورت نمی‌گیرد. بیش از ۹۹ درصد آب جذب شده توسط گیاه صرف تعرق و سایر اعمال بیوشیمیایی گیاه شده و کمتر از یک درصد در فرایند فتوسنتز به‌کار می‌رود و نقش اساسی درآن دارد. اثر اصلی آب در فتوسنتز بر باز و بسته شدن روزنه‌هاست. با کاهش آب به گیاه، حالت پژمردگی دست می‌دهد و روزنه‌های گیاه بسته می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش غلظت Co_2 در داخل برگ و کاهش شدید فتوسنتز می‌شود. بنابراین اثر آب بیشتر یک اثر غیرمستقیم است. افزایش رطوبت به‌ویژه در دانه‌ها، عامل بسیار مهمی در افزایش تنفس و در افزایش فعالیت‌های گیاه است.



شکل ۲۵

گفت‌وگو

آیا نیاز آبی گیاهان زراعی در مراحل مختلف رشد، یکسان است؟ آیا یکی از دلایل تفاوت می‌تواند میزان فتوسنتز گیاه در آن مرحله رشد باشد؟

نور

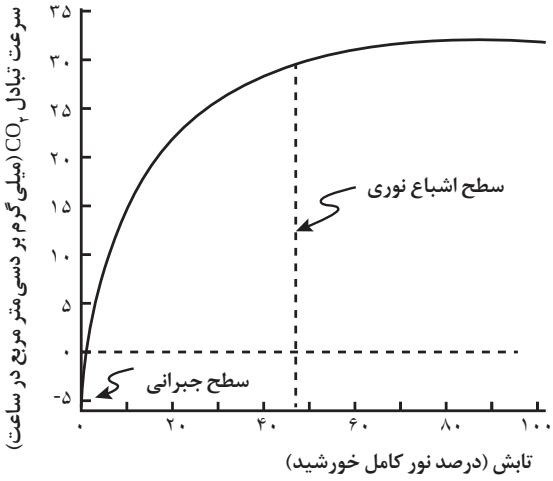
نور خورشید منبع اصلی انرژی گرمایی در کره زمین می‌باشد به‌طوری که بیش از ۹۹ درصد از کل انرژی دنیا از نور خورشید تأمین می‌گردد. عواملی مانند عرض جغرافیایی، فصل، اثر خشکی‌ها و آب‌ها، انحنای زمین و انحراف محور گردش، ضخامت اتمسفر، ذرات معلق در اتمسفر، پستی و بلندی سطح زمین بر روی میزان انرژی تابشی دریافت شده از خورشید تأثیرگذار می باشند. انرژی نورانی خورشید، سرعت فتوسنتز و تنفس و سایر پدیده‌های حیاتی را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. نور خورشید یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر فتوسنتز در گیاهان است.گیاهان، جلبک ها و بعضی باکتری‌ها حدود یک درصد از انرژی نور خورشید را که به زمین می‌رسد، به دام می‌اندازند و آن را در فرایند فتوسنتز به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند.

گفت‌وگو

در کشور ما کاشت گیاهان زراعی در شیب‌های دامنه‌های جنوبی عملکرد بیشتری دارند یا شیب‌های دامنه شمالی؟ چرا؟

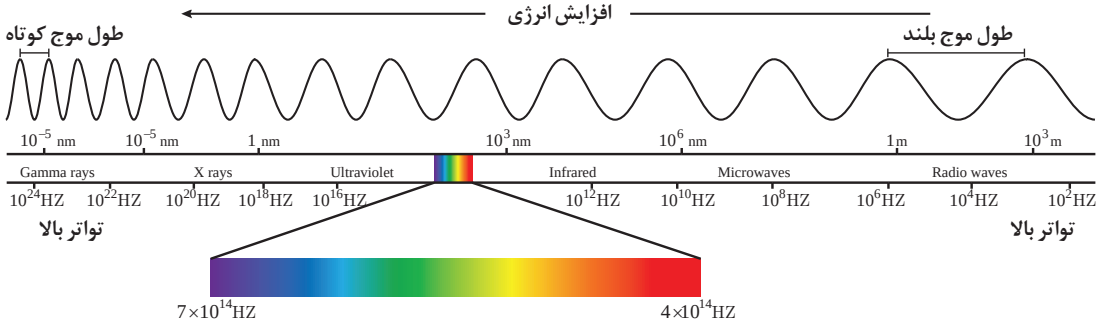
خصوصیات نور

الف) شدت نور: شدت نور مقدار نور تابیده شده در واحد سطح زمین می‌باشد و در حقیقت کمیت نور را بیان می‌کند و مهم‌ترین عامل مؤثر بر فتوسنتز است. میزان تشعشع خورشیدی در مناطق گرمسیری نسبت به نواحی معتدله بیشتر است به همین علت این مناطق تولید بالاتری دارند. به‌طور کلی سرعت فتوسنتز با افزایش شدت نور، تا حدی که همه رنگیزه‌ها مورد استفاده قرار گیرند، زیاد می‌شود اما این افزایش محدودیت نیز دارد؛ زیرا رنگیزه‌ها در این حالت نمی‌توانند نور بیشتری جذب کنند و در این حالت فتوسنتز به نقطه اشباع خود می‌رسد. در شدت‌های نور کم یک رابطه خطی بین شدت نور و سرعت فتوسنتز (در تک برگ) وجود دارد. شدت نوری که در آن، میزان فتوسنتز (Co_2 جذب شده) با میزان تنفس(Co_2 دفع شده) برابر باشد، نقطه جبرانی گفته می‌شود. در شدت‌های پایین‌تر از نقطه جبرانی میزان تنفس از فتوسنتز بیشتر می‌شود و گیاه با گرسنگی روبه‌رو خواهد شد. باید توجه شود که اگرچه گونه‌های C_4 اغلب اشباع نوری نمی‌شوند و در سطوح نوری بالا خیلی بهتر از گونه‌های C_3 عمل می‌کنند؛ نقطه جبران نوری در گیاهان C_4 بالاتر از گیاهان C_3 است. با افزایش شدت نور میزان فتوسنتز به‌صورت خطی افزایش می‌یابد ولی در نهایت به جایی می‌رسد که با افزایش شدت نور دیگر فتوسنتز افزایش نمی‌یابد، به این نقطه، اشباع نوری گفته می‌شود. نقطه اشباع نوری در گیاهان C_3 پایین‌تر از گیاهان C_4 است. در واقع گیاهان C_4 در شدت نورهای طبیعی حتی با شدت‌های بالا به اشباع نوری نمی‌رسند. در کل، گیاهان C_4 در شدت نورهای بالا عملکرد بهتری از گیاهان C_3 دارند ولی گیاهان C_3 در شدت نورهای پایین‌تر عملکرد بهتری دارند.



ب) کیفیت نور: نور خورشید دارای طیفی بین ۰/۰۱ نانومتر (اشعه کیهانی و گاما) تا ۱۰۰/۰۰۰ نانومتر (امواج رادیوئی) می‌باشد. گیاهان طیف مرئی نور (۷۰۰ـ۴۰۰ نانومتر) به ویژه طیف آبی (۴۳۵ نانومتر) و قرمز (۶۶۰ نانومتر) را به شدت جذب می‌کنند و این طیف بیشترین تأثیر را بر فتوسنتز دارد به همین دلیل به آن تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) گویند. طول موج‌های ۴۰۰ـ۲۸۰ نانومتر را فرابنفش (UV) گویند که ۵ درصد نور رسیده به زمین را شامل می‌شود. این طیف نور نقشی در فتوسنتز نداشته و اثرات مخرب بر گیاهان دارد. طول موج‌های فرابنفش (UV) تا حدود زیادی توسط لایه اُزن اتمسفر جذب می‌شود. طول موج‌های بیشتر از ۷۰۰ نانومتر، طیف مادون قرمز (FR) را شامل می‌شود که در واکنش‌های فتوشیمیایی

تأثیری ندارد و سبب گرم‌شدن گیاه و افزایش تعرق می‌شود. همچنین دارای اثرات اندام‌زایی (فتومورفوژنز[۱]) می‌باشد. طیف مادون قرمز در حدود ۵۰ درصد از کل تشعشع خورشیدی را شامل می‌شود.



مدت روشنایی (طول روز)

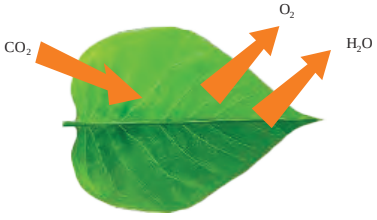
مدت روشنایی به دلیل وجود فتوپریودیسم در گیاهان زراعی از اهمیت خاص برخوردار است. در حقیقت اثر فتوپریودیسم، یعنی تأثیر طول نسبی دوره‌های روشنایی و تاریکی روزانه بر مراحل رشد و نمو رویشی و زایشی گیاهان می باشد. طول روز، زمان بین طلوع تا غروب خورشید است که عواملی مانند فصل سال و عرض جغرافیایی آن را تغییر می‌دهند. در استوا طول روز در تمام فصول سال ثابت و ۱۲/۱ ساعت بوده و در این منطقه کمترین تغییرات فتوپریود دیده می‌شود. گیاهان بر مبنای نیاز به طول روز برای گل آغازی به سه دسته گیاهان روز بلند، روز کوتاه و روز خنثی تقسیم می‌شوند.

فعالیت

بعضی گیاهان در نور کم رشد می کنند، اما بعضی دیگر از آنها به نور شدید نیاز دارند، به نظر شما کدام یک C_3 و C_4 هستند؟چرا؟
در منطقه خود گیاهان روز بلند، روز کوتاه و روز خنثی را تقسیم‌بندی کنید؟

دی‌اکسیدکربن (CO_2)

به‌طور معمول، کربن دی‌اکسید حدود ۰/۰۳ درصد از هواکره زمین را می‌پوشاند. (هوا، شامل حدود ۲۱ درصد اکسیژن و ۷۸ درصد نیتروژن است). اگرچه غلظت دی‌اکسیدکربن کم می‌باشد ولیکن ۸۵ تا ۹۲ وزن خشک گیاه از دی‌اکسیدکربن جذب شده در عمل فتوسنتز تشکیل شده است. دی‌اکسیدکربن یکی از مواد خام اصلی فتوسنتز است و بین غلظت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز یک رابطه مستقیم وجود دارد. مقدار دی‌اکسیدکربن قبل از انقلاب صنعتی در حدود ۲۶۰ تا ۲۹۰ قسمت در میلیون (ppm) بوده است و در اثر افزایش سوخت‌های فسیلی میزان آن افزایش یافته و هم اکنون در حدود



۱ـ کلیه مراحل رشد گیاه از جوانه‌زدن تا گل‌دهی را که تحت تأثیر نور قرار می‌گیرد اصطلاحاً فتومرفوژنز گویند.

ppm ۳۴۰ می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی به حدود ppm ۷۰۰ برسد. کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب کاهش فتوسنتز می‌شود. به غلظتی از دی‌اکسیدکربن که میزان فتوسنتز و تنفس مساوی است اصطلاحاً نقطه جبران دی‌اکسیدکربن گویند. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان و شدت فتوسنتز، مقدار گاز کربن دی‌اکسید است. هرچه میزان دی‌اکسید کربن هوا افزایش یابد، شدت فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد.

پژوهش

تأثیر افزایش غلظت کربن دی اکسید بر فتوسنتز در گیاهان C_3 و C_4 چگونه است؟

فکر کنید

به نظر شما تأثیر باد با توجه میزان کربن دی‌اکسید هوا، بر فتوسنتز چگونه است؟

درجه حرارت

به میزان شدت انرژی گرمایی، درجه حرارت گفته می‌شود. منبع اصلی حرارت در زمین، نور خورشید است ولی سوخت‌های فسیلی و تنفس موجودات نیز در دمای زمین نقش دارند. رشد و نمو گونه‌های مختلف گیاهی از درجه حرارت‌های متفاوتی تأثیرپذیر است. برخی از گونه‌های گیاهی می‌توانند در شرایط دمایی خیلی پایین یا خیلی بالا رشد کنند برای نمونه چاودار زمستانه برای رشد و نمو به درجه حرارت پایین نیاز دارد و می‌تواند در برابر یخبندان مقاومت کند. درحالی‌که محصولات گرمسیری مانند نیشکر و ذرت، نیاز به دمای زیاد دارند. بیشتر گیاهان مناطق معتدله (گیاهان C_3) در دمای ۲۲ـ۱۵ درجه سلسیوس و گیاهان گرمسیری (گیاهان C_4) در دمای بالاتر از ۲۲ درجه سلسیوس بهترین رشد و نمو را انجام می‌دهند. هر جامعه گیاهی برای رشد و نمو به درجه حرارت‌های حداقل، مطلوب و حداکثر خودی نیاز دارد که به آنها دماهای اصلی گفته می‌شود.

برای انجام عمل فتوسنتز، آنزیم‌های متعددی فعالیت می‌کنند که سرعت آن را تا حد زیادی افزایش می‌دهند. کاهش دما تا ۱۵ درجه سلسیوس، سبب می‌شود سرعت واکنش‌های آنزیمی درون سلول‌ها کاهش یابد و در نتیجه، فتوسنتز آهسته‌تر صورت گیرد. در دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس نیز سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد، زیرا آنزیم‌ها در این دما، ساختار سه‌بعدی خود را از دست داده و آسیب می‌بینند. در دمای ۳۵ درجه سلسیوس، شدت فتوسنتز به بیشترین اندازه می‌رسد. تنفس نوری هم با درجه حرارت افزایش می‌یابد زیرا تنفس نوری نیز یک واکنش است که تحت‌تأثیر آنزیم‌ها کنترل می‌شود به همین دلیل میزان فتوسنتز در گونه‌های سه‌کربنه نسبت به گونه‌های چهارکربنه در دماهای بالا کمتر است. فرایند تنفس به شدت، تحت تأثیر دمای محیط است، زیرا در مراحل مختلف تجزیه قند، آنزیم‌هایی دست‌اندرکارند و واکنش‌های شیمیایی متعددی انجام می‌شود که همگی تحت تأثیر دمای محیط قرار دارند. سرعت تنفس هم با افزایش درجه حرارت زیاد خواهد شد.

مواد غذایی گیاه

عامل اصلی که بر شدت پیری اثر می‌گذارد وضعیت عناصر معدنی برگ است. وجود عناصر غذایی به میزان کافی سبب بهبود رشد برگ‌های پیر و جوان می‌شوند. با وجود این، عناصر محدود ترجیحاً بین برگ‌های جوان توزیع می‌گردد بنابراین، شدت فتوسنتز در برگ‌های پیر کاهش می‌یابد. سایر عناصر غذایی که تحرک کمتری در گیاه دارند از قبیل کلسیم و آهن می‌توانند فتوسنتز برگ‌های جوان‌تر را کاهش دهند؛ کاهش میزان عناصر غذایی به‌طور عمده به‌علت تأثیر روی سیستم فتوسنتزی آن را کاهش می‌دهد؛ به‌عنوان مثال کلروفیل دارای ازت و منیزیم است. اگر این عناصر به مقدار کافی موجود نباشند ممکن است کلروفیل تشکیل نشود. مولکول اولیه لازم برای ساختن کلروفیل، آهن می‌باشد و درصورت عدم وجود آهن کلروفیل تشکیل نمی‌گردد.

باوجود این در شرایط کمبود و یا پیری برگ‌های دیگر، عناصر غذایی به برگ‌های جوان منتقل می‌شوند. بنابراین شدت فتوسنتز در برگ‌های پیر کاهش می‌یابد. در گیاهان رشد محدود برگ‌های پایینی ساقه به دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و تنفس بیشتر آنها دچار پیری زودرس می‌شوند و موادغذایی متحرک در این نوع برگ‌ها به برگ‌های جوان منتقل می‌گردند. در شرایط کمبود عناصر غذایی غیرمتحرک برگ‌های جوان زودتر از برگ‌های پیر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. پیری برگ‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که تنفس از فتوسنتز بیشتر باشد و وزن برگ‌ها به‌جای افزایش کاهش یابد. برخی از عناصر مانند آهن، منیزیم و نیتروژن به‌طور مستقیم در ساختمان مولکول کلروفیل به‌کار رفته‌اند و کمبود آنها سبب تشکیل‌نشدن کلروفیل و زردی برگ‌ها می‌شود.

گفت‌وگو

با توجه به مطالب بالا نقش کودها در تغذیه گیاهان را چطور ارزیابی می‌کنید؟ کدام‌یک بر فرایند فتوسنتز تأثیر بیشتری دارند؟ چرا؟

جدول ارزشیابی پودمان					
عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
فتوسنتز و تنفس گیاهان	تحلیل فتوسنتز گیاهان	تشخیص اجزای سلول گیاهی، چگونگی فتوسنتز و تنفس در گیاهان و عوامل مؤثر بر آنها را تحلیل نماید.	بالاتر از حدّ انتظار	معرفی اجزای سلول گیاهی و بیان وظیفه آنها، تحلیل ساختمان برگ و نقش آنها در فتوسنتز، تحلیل چگونگی واکنش‌های روشنایی فتوسنتز، تحلیل واکنش‌های تاریکی فتوسنتز، تحلیل تفاوت چرخه تبدیل کربن‌دی‌اکسید به قند در گیاهان C_3 و C_4، تحلیل و تفسیر تفاوت انواع تنفس سلولی (هوازی و بی‌هوازی)، تحلیل مراحل تنفس هوازی و بی‌هوازی، تحلیل عوامل مؤثر بر فتوسنتز و تنفس در گیاهان	۳
			در حدّ انتظار	معرفی اجزای سلول گیاهی و بیان وظیفه آنها، تحلیل ساختمان برگ و نقش آنها در فتوسنتز، تحلیل چگونگی واکنش‌های روشنایی فتوسنتز، تحلیل واکنش‌های تاریکی فتوسنتز، تحلیل و تفسیر تفاوت انواع تنفس سلولی (هوازی و بی‌هوازی)، تحلیل عوامل مؤثر بر فتوسنتز و تنفس در گیاهان	۲
	تحلیل تنفس گیاهان		پایین‌تر از حدّ انتظار	ناتوانی در معرفی اجزای سلول گیاهی یا ناتوانی در معرفی اجزای تشکیل‌دهنده برگ و تحلیل نقش آنها یا ناتوانی در تحلیل و تفسیر انواع تنفس سلولی یا ناتوانی در تحلیل عوامل مؤثر بر فتوسنتز و تنفس در گیاهان	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان از ۳				
	نمره پودمان از ۲۰				