فصل ۵

متابولیسم

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ فتوسنتز را توضیح دهد.

۲ــ بازده فتوسنتز را توضیح دهد.

۳ــ تنفس را شرح دهد.

سلول‌های بدن جانداران برای تأمین انرژی لازم برای ادامه‌ی زندگی، مولکول‌های غذایی را تجزیه می‌کنند و انرژی حاصل از این تجزیه در مولکول‌های مخصوصی که به‌اختصار ATP نامیده‌ایم اندوخته می‌شود. سپس در موقع نیاز مولکول‌های ATP تجزیه و انرژی اندوخته‌ای را آزاد می‌سازند. به کمک این انرژی مولکول‌های جدید و مورد نیاز در سلول ساخته می‌شوند. این عمل سلول را **ماده‌سازی** می‌گویند که به رشد سلول منجر می‌شود. به مجموعه‌ی واکنش‌های شیمیایی پیوسته‌ای که ضمن آن‌ها انرژی ذخیره، آزاد یا تبدیل می‌گردد، **متابولیسم** می‌گویند. مهم‌ترین فرایند زیستی که ضمن آن انرژی لازم برای اعمال حیاتی همه‌ی جانداران به دام می‌افتد و ذخیره می‌شود **فتوسنتز** نام دارد که موضوع اصلی این فصل است. موضوع دیگری که در این فصل با آن آشنا می‌شوید تنفس است که شامل واکنش‌های انرژی‌زا در درون سلول‌هاست.

فتوسنتز

امروزه حدود ۹۰ درصد از انرژی لازم برای وسایل نقلیه، کارخانه‌ها، هزاران وسیله‌ی الکتریکی، کامپیوتر و وسایل ارتباطی از زغال‌سنگ و نفت و گاز تأمین می‌شود. انرژی موجود در نفت گاز و زغال‌سنگ میلیون‌ها سال پیش به‌وسیله گیاهان اولیه از نور خورشید گرفته شده و طی فرایندهایی به انرژی موجود در سوخت‌های فسیلی تبدیل گردیده است.

انرژی مصرفی در صنایع مختلف یادشده نسبت به انرژی مورد نیاز جانداران روی زمین بسیار کم‌اهمیّت به نظر می‌رسد. هر سلول زنده، برای رشد، تولیدمثل، فعالیت‌های فیزیکی و انجام واکنش‌های شیمیایی به انرژی نیاز دارد و تأمین‌کنندگان این انرژی، جانداران فتوسنتزکننده‌اند. به‌علاوه اکسیژن لازم برای فرایندهای آزاد سازی انرژی در سلول‌ها نیز درنتیجه‌ی فرایند فتوسنتز به وجود می‌آید. بنابراین انرژی و اکسیژن لازم برای فعالیت‌های زیستی جانداران از جمله انسان از راه فتوسنتز تأمین می‌شود.

فتوسنتز فرایند ذخیره انرژی است که در حضور نور در جانداران سبزینه‌دار رخ می‌دهد. ضمن این فرایند انرژی نور خورشید به دام می‌افتد و در مولکول‌های قند، که از ترکیب CO_2 و H_2O حاصل می‌آیند، ذخیره می‌شود. وقتی در کلروپلاست‌ها آب و دی‌اکسید کربن با هم ترکیب می‌شوند، قند حاصل می‌آید و اکسیژن به‌عنوان یک ماده‌ی دفعی آزاد و وارد جو می‌شود. فرایند را می‌توان به اختصار این گونه نشان داد :

$$۶CO_2 + ۶H_2O + \text{انرژی نوری} \xrightarrow[\text{آنزیم}]{\text{کلروفیل}} \underset{\text{قند (گلوکز)}}{C_6H_{12}O_6} + ۶O_2$$

فرایند فتوسنتز در کلروپلاست‌ها صورت می‌گیرد و برای انجام آن دی‌اکسیدکربن، آب و نور مورد نیازند ؛ چنان‌که کلروپلاست‌ها را سالم از درون سلول بیرون آورده و در شرایط مناسب قرار دهند، فرایند فتوسنتز و فراورده‌های حاصل از آن تولید می‌شود.

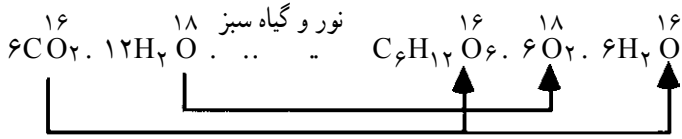
دی‌اکسیدکربن: مقدار این گاز در جو حدود ۰/۰۳ درصد است. این گاز از طریق روزنه‌های هوایی وارد برگ می‌شود، سپس در لایه نازک آبی که دیواره سلول‌های میان‌برگ را فرا گرفته حل و از طریق انتشار وارد سلول‌ها می‌شود و به کلروپلاست‌ها می‌رسد.

مقدار دی‌اکسیدکربنی که به‌طور دایم در طول روز به‌وسیله‌ی همه‌ی گیاهان سبز از جو گرفته می‌شود هنگفت است. برای مثال بوته‌های ذرت (به تعداد ۱۰،۰۰۰) که در یک جریب زمین کاشته شده‌اند در فصل رشد بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم کربن در خود ذخیره می‌کنند. برای تأمین این مقدار کربن حدود ۱۱ تن دی‌اکسیدکربن لازم است.

دی‌اکسیدکربن مصرف شده در فتوسنتز، کربن و اکسیژن موجود در ساختمان قند را تأمین می‌کند.

آب: کمتر از ۱٪ از آبی که گیاه جذب می‌کند در فتوسنتز مصرف می‌شود و بقیه تبخیر و یا در

تورژسانس و فعالیت‌های زیستی دیگر سلول‌ها به‌کار می‌رود با آن‌که در دی‌اکسیدکربن هم اکسیژن وجود دارد، اما اکسیژنی که در فتوسنتز از گیاه دفع می‌شود از تجزیه‌ی آب حاصل می‌آید. این کار به کمک ایزوتوپ سنگین اکسیژن ($^{18}O_2$) به‌عنوان ردیاب نشان داده شد. به این ترتیب که اگر به جای اکسیژن معمولی ($^{16}O_2$) در آب، از ایزوتوپ اکسیژن ($^{18}O_2$) استفاده کنیم. پس از انجام واکنش، اکسیژن سنگین آزاد می‌شود.



هرگاه مقدار آب در محیط کم باشد، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم بر میزان فتوسنتز اثر بگذارد، زیرا در محیط خشک روزنه‌ها بسته می‌شوند و تأمین دی‌اکسیدکربن مختل می‌شود.

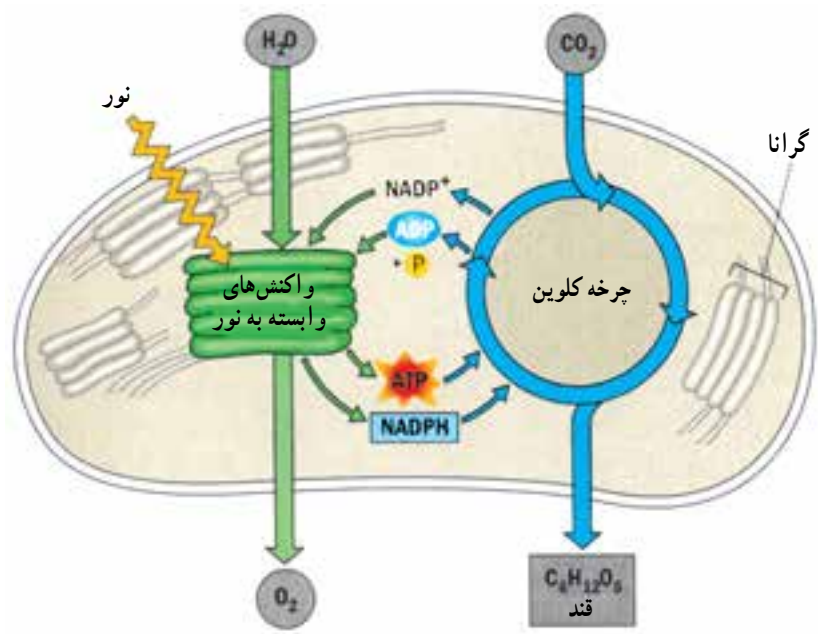
نور: از خورشید طیف وسیعی از پرتوها به فضا منتشر می‌شود. میزان این انرژی را در هر ثانیه معادل یک میلیون برابر تمام ذخایر سوخت‌های فسیلی کره زمین محاسبه کرده‌اند. این پرتوها به‌صورت ذرات کوچکی به نام فوتون یا کوآنتوم متراکم و پراکنده می‌شوند. فوتون‌ها دارای تواتر بوده و انرژی هر فوتون بستگی به میزان تواتر آن دارد. اثرات برخورد یک فوتون به ماده بستگی به انرژی فوتون و نوع ماده دارد. فوتون‌ها یا پرتوهایی که طول موج کم‌تری داشته باشند انرژی و قدرت نفوذ بیشتر و آن‌هایی‌که طول موج بیشتری دارا باشند انرژی و قدرت نفوذ کمتری دارند. در ضمن هر قدر پرتوها دارای انرژی بیشتری باشند نیروی بیشتری را برای جابه‌جاکردن الکترون‌های یک ماده خواهند داشت.

پس از جذب بعضی از پرتوهای نور خورشید به ویژه پرتوهای قرمز به وسیله‌ی رنگیزه‌ی کلروفیل واکنشی در مولکول‌های آن به وجود می‌آید که به آن **واکنش فتوشیمیایی** گویند. بدین معنی که پس از جذب انرژی فوتون‌ها به‌وسیله‌ی کلروفیل یکی از الکترون‌های مولکول آن به مدار بالاتر یعنی به سطح انرژی بالاتری منتقل می‌شود. چنین مولکولی را مولکول تحریک شده می‌گوییم. این مولکول‌ها بسیار ناپایدارند و به سرعت انرژی دستاوردی را از دست می‌دهند و به وضع پایدار اولیه باز می‌گردند. این انرژی ممکن است به‌صورت گرما یا نور و فلوئورسانس، از دست برود ولی در فرایند فتوسنتز این انرژی در واکنش‌های شیمیایی یعنی واکنش‌های نقل و انتقال الکترون شرکت می‌کند و نتیجه‌ی آن ذخیره‌ی این انرژی به‌صورت انرژی شیمیایی در مواد آلی است.

کلروفیل: چند نوع کلروفیل شناخته شده است که در همه آن‌ها یک اتم منیزیوم وجود دارد. ساختمان کلروفیل با بخش آهن‌دار هموگلوبین خون جانوران شباهت دارد. هر مولکول کلروفیل یک سر و یک دم دارد. سر، اتم منیزیوم را دربر دارد و دم از یک زنجیره‌ی ۲۰ کربنی ساخته شده است.

غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست‌های بیشتر گیاهان دو نوع کلروفیل دارد : کلروفیل a و کلروفیل b. کلروفیل a سبز متمایل به آبی و کلروفیل b سبز متمایل به زرد است. به‌طور معمول مقدار کلروفیل a در کلروپلاست، سه برابر مقدار کلروفیل b است. کلروفیل b و رنگیزه‌های دیگر، انرژی نور جذب شده را به کلروفیل a منتقل می‌کنند. این امر سبب می‌شود که فتوسنتز در طیف وسیع‌تری از نور صورت گیرد. در بعضی جلبک‌ها، کلروفیل b وجود ندارد و به عوض آن کلروفیل c یا d دیده می‌شود.

رنگیزه‌های دیگری که همراه کلروفیل یافت می‌شوند عبارتند از **کاروتنوئیدها** و **فیکوبیلین‌ها**. از کاروتنوئیدها، **کاروتن** (به رنگ نارنجی) و **گزانتوفیل** (به رنگ زرد) معروف‌اند. فیکوبیلین‌ها انواع مختلفی دارند و مسئول پیدایش رنگ‌های گوناگون در جلبک‌ها هستند.



شکل ۱ــ۵ــ واکنش‌های نوری فتوسنتز: تولید غیرچرخه‌ای ATP و تولید چرخه‌ای الکترون

تولید ترکیبات آلی در گیاه

از قندهای سه‌کربنی ساده طی فرایندهایی قندهای ۶کربنی حاصل می‌آیند. مهم‌ترین قند ۶کربنی گلوکز است. هرگاه دو مولکول قند ۶کربنی با هم ترکیب شوند، دوقندی‌ها یا **دی‌ساکاریدها** را به‌وجود می‌آورند. ساکاروز و مالتوز دو تا از دی‌ساکاریدهای مهم هستند. هرگاه n مولکول گلوکز با هم ترکیب شوند، قندهای مفصل‌تری به‌وجود می‌آورند که به آن‌ها **پلی‌ساکارید** می‌گویند. نشاسته و سلولز از پلی‌ساکاریدهای عمده‌اند. سلولز در گیاه نقش ساختمانی دارد (آیا می‌دانید چرا؟) و منبع عمده انرژی برای جانوران گیاهخوار در طبیعت است. نشاسته در طول روز در برگ‌ها ساخته می‌شود، به همین جهت برای اثبات انجام فتوسنتز از وجود نشاسته استفاده می‌شود. نشاسته به‌طور عمده در دانه‌ها (گندم، ذرت و برنج) اندوخته می‌شود.

چربی‌ها (لیپیدها) از تغییر شکل قندها حاصل می‌آیند. عناصر سازنده لیپیدها همان عناصر قندهاست تنها نسبت آن‌ها با هم تفاوت دارد. لیپیدها هم بیشتر در دانه‌ها اندوخته می‌شوند.

پروتئین‌ها از لحاظ عناصر سازنده با قندها و چربی‌ها تفاوت دارند. در این ترکیبات علاوه‌بر کربن، اکسیژن و هیدروژن که در چربی‌ها و قندها یافت می‌شوند، نیتروژن (N) نیز وجود دارد. بنابراین قندها نمی‌توانند به‌تنهایی پروتئین‌ها را تولید کنند.

برای تولید پروتئین‌ها گیاه باید به طریقی ترکیبات نیتروژن را به‌دست آورد.

بازده فتوسنتز

بازده یک دستگاه از طریق اندازه‌گیری انرژی مصرف‌شده (مفید) نسبت به انرژی دستگاه، تعیین می‌شود. طبق قانون دوم ترمودینامیک تبدیل انرژی در هیچ دستگاهی صددرصد نیست، یعنی همه انرژی داده شده به یک دستگاه به انرژی قابل استفاده تبدیل نمی‌شود، در واقع هیچ تبدیلی در انرژی صورت نمی‌گیرد مگر این که همراه آن مقداری از انرژی به‌صورت گرما هدر رود. بر این اساس از کل انرژی خورشیدی که به برگ می‌تابد حدود ۰/۵ــ۳/۵ درصد، در انجام فرایند فتوسنتز مصرف و به‌صورت انرژی شیمیایی نهفته در مواد آلی مانند هیدرات‌های کربن اندوخته می‌شود و بقیه آن به‌صورت‌های مختلف مانند بازتابش، گرما، تبخیر و غیره هدر می‌رود. با توجه به میزان استاندارد بازده در موتورهای معمولی، می‌بینیم که این بازده بسیار پایین است اما باید به‌خاطر داشته باشیم که انرژی خورشید مداوم و بسیار عظیم است و در مجموع با همین بازده کم انرژی لازم برای کنش‌های زیستی در روی زمین فراهم می‌شود. به‌علاوه فیزیولوژیست‌ها کوشش دارند که این بازده را از طریق برقراری

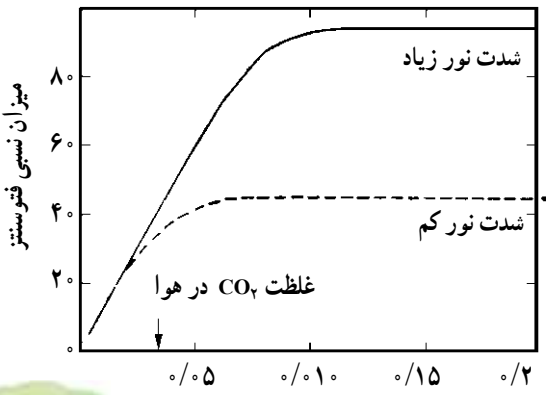
شرایط بهینه برای فتوسنتز بالا ببرند و در این راه موفقیت‌های چشمگیری نیز به‌دست آمده است.

عوامل مؤثر بر شدت فتوسنتز

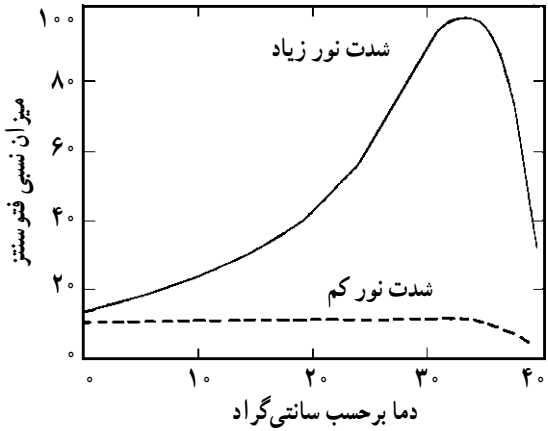
شدت فتوسنتز را از میزان اکسیژنی که در واحد زمان از گیاه متصاعد می‌شود و یا از میزان دی‌اکسیدکربنی که در واحد زمان جذب گیاه می‌شود محاسبه می‌کنند. در شدت فتوسنتز عوامل درونی و عوامل بیرونی مؤثراند.

عوامل درونی: مهم‌ترین عوامل درونی عبارت‌اند از نوع ساختار برگ و محتوی کلروفیلی آن، انباشتگی فراورده‌های فتوسنتزی در درون سلول‌های حاوی کلروفیل، تأثیر سیتوپلاسم از نظر وجود آنزیم‌های ضروری جهت انجام واکنش‌ها، همچنین سن اندام‌های فتوسنتزکننده. به علت تفاوتی که اندام‌های فتوسنتزکننده‌ی گیاهان با یکدیگر دارند، چنان‌چه شرایط خارجی برای آن‌ها کاملاً یکسان باشند، باز هم شدت فتوسنتز متفاوتی خواهند داشت.

عوامل بیرونی : این عوامل عبارت‌اند از غلظت CO_2 که افزایش آن به‌ویژه چنان‌چه شدت نور زیاد باشد بر شدت فتوسنتز می‌افزاید. اثر شدت نور و کیفیت نور بر گیاهان متفاوت است. گیاهان را از نظر بردباری نسبت به کمیّت نور به سه گروه آفتاب‌خواه، سایه خواه و گیاهانی که به حد متوسطی از شدت نور نیازمندند تقسیم می‌کنند. چون در فرایند فتوسنتز آنزیم‌های متعددی شرکت می‌کنند و در اصل، واکنش‌ها از نوع بیوشیمیایی هستند، دما تأثیر عمده‌ای بر شدت فتوسنتز دارد. افزایش دما همراه با افزایش شدت روشنایی بر میزان فتوسنتز می‌افزاید. از عوامل بیرونی دیگر می‌توان از آب و میزان مواد کانی در خاک نام برد زیرا با مطالعه‌ی نقش آب در واکنش‌ها و با توجه به فرمول کلروفیل و عناصر شرکت‌کننده در آن نقش عناصر کانی معلوم می‌شود. برای مثال، گیاهانی که دچار کمبود نیتروژن، منیزیم و آهن هستند، برگ‌های رنگ‌پریده دارند که در این برگ‌ها شدت فتوسنتز پایین است.



شکل ۲ــ۵ــ تأثیر غلظت CO_2 بر میزان فتوسنتز. غلظت طبیعی CO_2 در هوا (۰/۰۳ درصد) حتی در شدت نور زیاد نیز موجب پایین‌بودن میزان فتوسنتز است.



شکل ۳ــ۵ــ تأثیر دما بر میزان فتوسنتز. به‌طوری که ملاحظه می‌شود در شدت‌های نور کم، دما تأثیری بر فتوسنتز ندارد، درصورتی که در شدت‌های نور زیاد میزان فتوسنتز تحت تأثیر شدت گرما است.

تنفس

گیاهان و سایر جانداران موقعی می‌توانند به زندگی ادامه دهند که قدرت تجزیه‌ی مولکول‌های پیچیده‌ی مواد آلی (غذا) و استفاده از انرژی اندوخته شده در آن‌ها را دارا باشند. عمل اکسیداسیون مواد آلی که منتهی به آزادشدن انرژی می‌شود مستلزم جذب اکسیژن از راه منافذ روی برگ، ساقه و ریشه‌ی گیاه است. بنابراین تظاهرات خارجی تنفس عبارت است از جذب O_2 و دفع CO_2، یعنی مبادلات گازی بین گیاه و محیط. ولی به‌طوری‌که در زیست‌شناسی جانوری مطالعه می‌کنید تنفس واقعی یعنی واکنش‌های شیمیایی اساسی که منجر به شکسته‌شدن مولکول‌های مواد آلی و رهاشدن انرژی می‌شود در درون سلول‌ها انجام می‌پذیرد و ما از آن‌ها به‌عنوان تنفس سلولی نام می‌بریم. بنابراین در برابر فرایند فتوسنتز که به ساخته‌شدن مواد آلی منتهی می‌شود، فرایند تنفس قرار دارد که طی آن مولکول‌های حاصل از عمل فتوسنتز شکسته و انرژی آزادشده از آن‌ها صرف فعالیت‌های حیاتی مانند ساختن برخی از مواد، جذب و جابه‌جایی مواد محلول، جنبش‌های سیتوپلاسمی و جنبش اندام‌های گیاه، به‌وجودآمدن پتانسیل الکتریکی و به‌طور کلی رشد و نمو می‌شود. در این بخش، مسائلی از تنفس که ویژه‌ی فرمانروی گیاهان است مورد توجه قرار می‌گیرد. در گیاهان اندام‌های ویژه‌ای جهت رساندن اکسیژن به سلول‌ها و انتقال دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس آن‌ها به خارج، وجود ندارد. تبادل گازها از راه روزن‌ها، روزنه‌ها و عدسک‌ها انجام می‌پذیرد. در بین سلول‌های تشکیل‌دهنده‌ی اندام‌های گیاه وجود حفرات کوچک و بزرگ و اتاقک‌های زیر روزنه‌ای

و سلول‌های کروی با حفرات فراوان در زیر عدسک‌ها موجب می‌شوند که تبادلات گازی در گیاه به سهولت انجام شود. گازهای حاصل از فرایند تنفس و فتوسنتز برحسب قوانین انتشار گازها بین اندام‌های گیاه و محیط خارج مبادله می‌گردد. در ریشه‌ها نیز عمل تنفس با استفاده از هوای موجود بین ذرات خاک انجام می‌شود و چنان‌چه برای مدت طولانی فضاهای موجود بین ذرات خاک از آب پر شود، بسیاری از گیاهان دچار خفگی ریشه شده و آثار آن پس از مدتی در بخش هوایی ظاهر می‌شود. از جمله‌ی این آثار بی‌رنگ‌شدن شاخه و برگ‌های نورسته، ریزش اندام‌های تولیدمثلی و توقف در رشد گیاه است. در عده‌ای از گیاهان مردابی انشعاباتی از ریشه به خارج از آب آمده تشکیل اندام‌های تنفسی به نام شُش ریشه‌ها را می‌دهند که برای تبادل هوا کمک مؤثری به‌شمار می‌آیند.

شدت تنفس

مقدار اکسیژن جذب‌شده و یا دی‌اکسیدکربن دفع‌شده را در واحد زمان، شدت تنفس می‌گویند. اگر تعریف شدت فتوسنتز را به‌خاطر بیاوریم، ملاحظه می‌کنیم که تبادلات گازی در این دو فرایند عکس یکدیگرند. در تنفس اکسیژن و کربوهیدرات به مصرف می‌رسد و آب و CO_2 تولید می‌شود، درصورتی که در فتوسنتز آب و CO_2 به مصرف می‌رسد و اکسیژن و کربوهیدرات‌ها به وجود می‌آیند.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \underset{\text{فتوسنتز}}{\overset{\text{تنفس}}{\rightleftharpoons}} 6CO_2 + 6H_2O$$

شواهد مختلف نشان می‌دهد که بخشی از دی‌اکسیدکربن دفع شده در عمل تنفس در فرایند فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخشی از اکسیژن آزادشده در فتوسنتز، در تنفس استفاده می‌شود. در نور کم شدت این دو فرایند برابر می‌شود و درنتیجه به مقداری که O_2 تشکیل می‌گردد صرف تنفس شده و به مقداری که CO_2 به وجود می‌آید، در فتوسنتز مورد مصرف قرار می‌گیرد. شدت نوری که در آن این چنین موازنه‌ای برقرار می‌شود **نقطه جبران** گویند.

اگر شدت تنفس را در گیاه در تاریکی اندازه گیرند، میزان اکسیژن جذب شده بیانگر شدت تنفس است. حال اگر شدت فتوسنتز همین گیاه در روشنایی را بخواهیم از مقدار اکسیژن آزادشده معلوم کنیم، چون مقداری از آن در تنفس به‌کار رفته، عدد حاصل نمی‌تواند نمایانگر شدت فتوسنتز باشد مگر مقدار اکسیژنی که در تنفس مصرف کرده به آن بیفزاییم. به‌طور کلی باید توجه داشت که گیاهانی که تحت تأثیر روشنایی کافی قرار دارند میزان اکسیژن رهاشده از آن‌ها بین ۵ تا ۱۰ برابر میزان

اکسیژن مصرف‌شده در تنفس است. درنتیجه، گیاهان با وجودی که خود تنفس می‌کنند منبع تولید اکسیژن و کارخانه‌ی بزرگ مصرف CO_2 در طبیعت هستند.

شدت تنفس در گیاهان و در یک گیاه برحسب اندام‌های مختلف متفاوت است ولی در هر حال در مقایسه با تنفس جانوران خونگرم، تنفس در گیاهان بسیار ضعیف است. در اندام‌های در حال رشد و جوان و در دانه‌های در حال رویش میزان تنفس بالا است. همچنین در گل‌های در حال بازشدن و به‌ویژه در اندام‌های تولیدمثلی تنفس شدید است.

اثر عوامل درونی و بیرونی در تنفس

فیزیولوژیست‌ها در پاسخ به این‌که آیا میزان تنفس گیاه در تاریکی و در روشنایی نسبت به هم متفاوت است یا خیر آزمایش‌های متعددی انجام داده‌اند. تا این‌که اخیراً مشخص گردید که در بعضی از گیاهان، روشنایی محرک افزایش تنفس است، به این پدیده **تنفس نوری** گفته می‌شود. فرایند تنفس به شدت، تحت تأثیر دمای محیط است زیرا که در مراحل مختلف تجزیه‌ی قند، آنزیم‌هایی دست‌اندرکارند و واکنش‌های شیمیایی متعددی انجام می‌شود که همگی تحت تأثیر دمای محیط قرار دارند. افزایش اکسیژن محیط نیز موجب افزایش شدت تنفس است. به‌طوری که در صفحات قبل دیدیم شدت تنفس برحسب سن و نوع اندام‌های مختلف گیاه متفاوت است. افزایش رطوبت به ویژه در دانه‌ها عامل بسیار مهمی در افزایش تنفس و در افزایش فعالیت‌های گیاه است.

باید توجه داشت که هریک از عوامل خارجی در درجه‌ی ویژه‌ای شدت تنفس را به بیشترین حد می‌رسانند و این درجه بستگی به نوع گیاه و شرایط محیط دارد.

برای مطالعه

کسر تنفسی

اگر گازهای تنفسی گیاه را به‌طور دقیق بررسی کنیم می‌بینیم که معمولاً حجم دی‌اکسیدکربن دفع شده از گیاه برابر حجم اکسیژن جذب شده نیست. نسبت بین این دو را کسر تنفسی می‌نامیم. این کسر برحسب مراحل مختلف رویش و گل‌دادن گیاه متفاوت بوده و تا حدودی نوع ماده‌ای که در واکنش‌های تنفسی تجزیه می‌شود را مشخص می‌سازد.

در صورت تجزیه هیدرات‌های کربن این کسر برابر یک می‌شود.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$\frac{6CO_2}{6O_2} = 1$$

در تجزیه‌ی مواد لیپیدی کسر تنفسی کمتر از یک می‌شود.

$$C_{57}H_{104}O_6 + 80O_2 \rightarrow 57CO_2 + 52H_2O_2O$$

$$\frac{57CO_2}{80O_2} = 0/7$$

در تجزیه‌ی مواد پروتئینی نیز کسر تنفسی معمولاً کمتر از یک است.

در شکستن مولکول اسید مالیک کسر تنفسی از یک بیشتر خواهد بود.

$$C_4H_6O_5 + 3O_2 \rightarrow 4CO_2 + 3H_2O$$

$$\frac{4CO_2}{3O_2} = 1/33$$

گرما در گیاهان

در فرایند تنفس بخشی از انرژی حاصل صرف کارهای حیاتی گیاه و بخشی در اندام‌های مختلف اندوخته می‌شود (چگونه). همچنین در نتیجه‌ی این واکنش‌ها مقداری از انرژی به‌صورت گرما از گیاه خارج می‌شود. گرمای حاصل برحسب مراحل مختلف رویش گیاه و نوع اندام بسیار متفاوت است. بیشترین حد آن در هنگام جوانه‌زدن و در هنگام تولید اندام‌های زایشی است. هنگامی که دانه‌های در حال جوانه‌زدن و یا گل‌های در حال تشکیل مجتمع باشند، گرمای حاصل محسوس‌تر و مشخص‌تر است. اگر درون گل شیپوری که مجموع گل‌ها بر روی محوری به نام میله‌چه قرار گرفته و به‌وسیله برگه‌ی بزرگی احاطه شده، دماسنجی را وارد کنیم نسبت به دمای خارج چند درجه افزایش نشان می‌دهد. به‌طوری که حتی بدون به کاربردن دماسنج با واردکردن انگشت، بالابودن درجه‌ی دما را می‌توانیم به‌خوبی احساس کنیم.

فعالیت عملی ۱ــ۵:

بررسی تولید مادّه آلی (نشاسته) در فتوسنتز

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ گلدان گل شمعدانی

۲ــ الکل سفید

۳ــ یدیدوره

۴ــ بشر

۵ــ شیشه ساعت یا ظرف پتری

طرز عمل:

۱ــ یک برگ از گل شمعدانی را که مدّت ۲۴ ساعت در برابر نور قرار داشته از شاخه جدا کنید. ابتدا آن را در آب جوش فرو ببرید و بلافاصله از آن خارج سازید سپس آن را در ظرف الکل جوش قرار دهید.

توجّه: برای به‌جوش آوردن الکل، باید آن را در آب‌جوش قرار داد و هرگز نباید الکل را مستقیماً حرارت داد.

۲ــ برگ بیرنگ شده را پس از بیرون آوردن از الکل، در ظرف پتری قرار دهید و کمی آب روی آن بریزید و بعد کمی یدیدوره (تنطور ید) به آن اضافه کنید.

۳ــ به تغییر رنگ حاصل در برگ توجّه کنید. این رنگ، معرّف وجود چه مادّه‌ای در برگ است؟ این مادّه در اثر چه فرایندی در برگ به‌وجود آمده است؟

برای درک کامل مطلب، باید آزمایش‌های دیگر را انجام دهید و نتیجه‌گیری کلّی از آن‌ها شما را به درک فرآیند فتوسنتز راهنمایی خواهد کرد.

تبصره: به خاطر بیاورید که در آزمایش‌های قبل، شناسایی نشاسته را با یدیدوره مشاهده کردید. نشاسته نوعی پلی‌ساکارید است که در اثر فتوسنتز در برگ گیاهان ساخته می‌شود.

فعالیت عملی ۲ــ۵ :

آیا برای انجام فتوسنتز، نور لازم است؟

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ یک گلدان شمعدانی

۲ــبشر در اندازه‌های کوچک و بزرگ

۳ــ الکل اتیلیک (الکل سفید)

۴ــ محلول یدیدوره

۵ــ چراغ الکلی ــ سه پایه با توری نسوز

روش انجام آزمایش:

۱ــگلدان گل شمعدانی را به مدت ۴۸ ساعت در محفظه‌ی تاریکی قرار می‌دهیم.

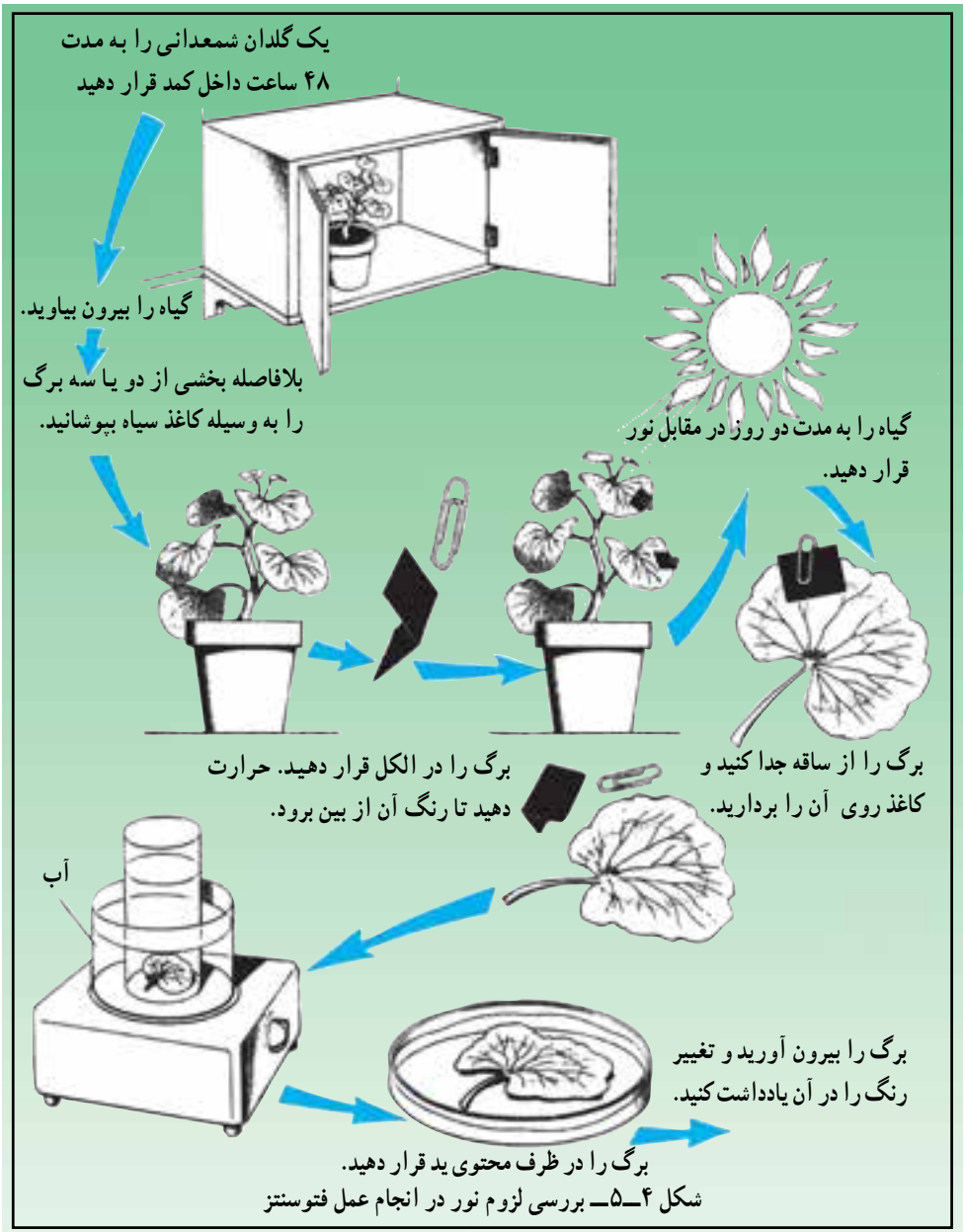
۲ــ سپس قطعه‌ای کاغذ سیاه را (مطابق شکل) روی یکی از برگ‌های آن سنجاق می‌کنیم و بعد آن را به مدت یک یا دو روز در مقابل نور قرار می‌دهیم. (برای این منظور می‌توانید از چراغ مطالعه استفاده کنید.)

۳ــ برگی را که کاغذ سیاه به آن چسبانیده‌ایم از شاخه جدا می‌کنیم و آن را پس از فرو بردن در آب جوش، در الکل بسیار گرم (نزدیک به درجه‌ی جوش) می‌گذاریم تا رنگ برگ کاملاً در الکل حل شده و برگ سفید شود.

توجّه: برای گرم‌کردن الکل، نباید آن را مستقیماً حرارت داد ؛ بلکه ظرف الکل را در ظرف بزرگتری که محتوی آب جوش است قرار می‌دهیم.

۴ــ برگ را پس از بیرون آوردن از الکل، در ظرفی (مثلاً یک شیشه ساعت بزرگ) قرار می‌دهیم و روی آن محلول نسبتاً رقیق یدیدوره می‌ریزیم.

۵ــ تغییر رنگ حاصل در برگ را مشاهده و با محلّی که به وسیله کاغذ سیاه پوشیده شده بود مقایسه کنید و نتایج را بنویسید.



شکل ۴ــ۵ــ بررسی لزوم نور در انجام عمل فتوسنتز

پرسش

۱ــ با توجّه به آنچه در آزمایش قبل آموخته‌اید می‌دانید که ید معرّف نشاسته است، تغییر رنگ حاصل در برگ معرّف وجود چه مادّه‌ای است؟

۲ــ آیا برای تشکیل این مادّه (.....) نور لازم است؟ چرا؟

پرسش

۱ــ کدام بخش برگ، کلروفیل وجود نداشت و در کدام بخش برگ، نشاسته ساخته نشده بود؟

۲ــ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فعالیت عملی ۳ــ۵ :

آیا برای انجام فتوسنتز، وجود کلروفیل لازم است؟

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ گلدان گل حُسن یوسف

۲ــ بشر در اندازه‌های کوچک و بزرگ

۳ــ شیشه ساعت

۴ــ الکل سفید

۵ــ محلول یدیدوره

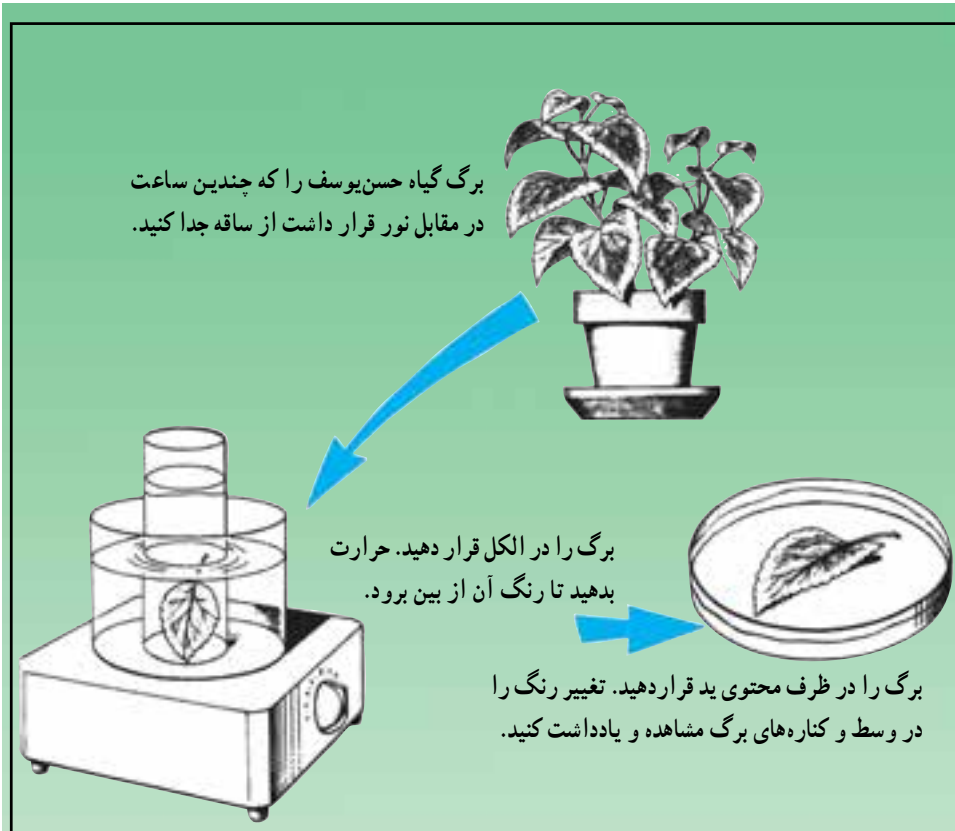
۶ــ چراغ الکلی ــ سه پایه با توری نسوز

روش انجام آزمایش:

۱ــ گلدان گل حسن‌یوسف را که لبه‌ی برگ‌های آن فاید کلروفیل است، به مدت ۲۴ ساعت در مقابل نور شدید می‌گذاریم.

۲ــ یکی از برگ‌های آن را از شاخه جدا می‌کنیم و با آن همانند آزمایش قبلی، عمل می‌کنیم.

۳ــ پس از ریختن یدیدوره به روی برگ بی‌رنگ شده، مشاهده‌ی خود را یادداشت می‌کنیم.



شکل ۵ــ۵ــ بررسی لزوم کلروفیل در عمل فتوسنتز

فعالیت عملی ۴ــ۵ :

آیا در فتوسنتز دی‌اکسید کربن لازم است؟

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ گلدان گل شمعدانی

۲ــ ظرف شیشه‌ای بزرگ با درپوش چوب پنبه‌ای

۳ــ قیف شیشه‌ای

۴ــ KOH و یا NaOH جامد

۵ــ الکل سفید

۶ــ محلول یدیدوره

طرز عمل:

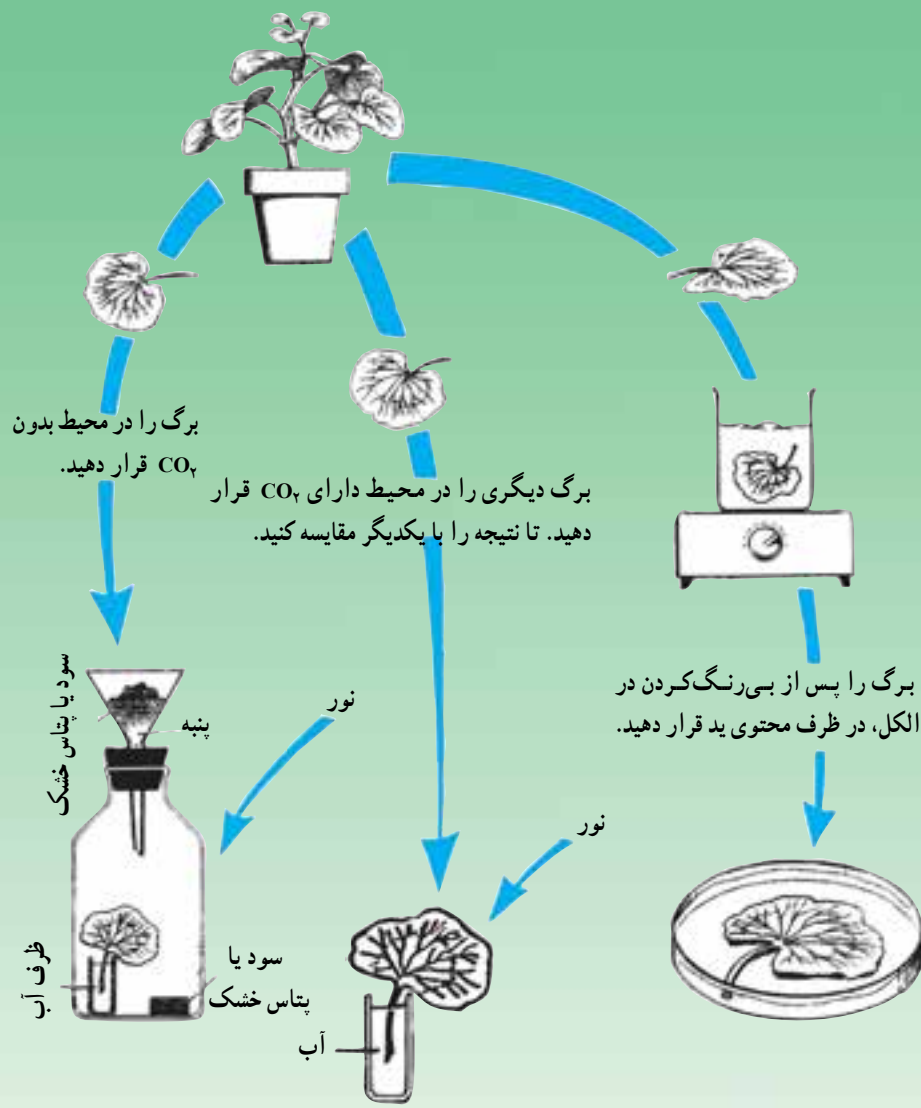
۱ــ سه برگ از گلدان شمعدانی که به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی قرار داشته باشد جدا کنید.

۲ــ بلافاصله برای مشخّص‌کردن وجود یا عدم وجود نشاسته، یکی از برگ‌ها را آزمایش کنید. نتیجه را یادداشت کنید.

۳ــ یکی از برگ‌ها را داخل ظرفی قراد دهید و در درون آن (کنار برگ) سود یا پتاس خشک بگذارید. برای این‌که هوای وارد شده به این ظرف عاری از CO_2 شود، در سر راه ورود هوا به ظرف، سود یا پتاس بگذارید. (به شکل توجه کنید.)

۴ــ برگ دیگر را در لیوان آبی بگذارید.

۵ــ هر دو برگ اخیر را در مقابل نور قرار دهید. پس از ۲۴ ساعت هر دو برگ را برای مشخّص کردن وجود نشاسته در آن‌ها، آزمایش کنید و نتایج را بنویسید.



شکل ۶ــ۵ــ بررسی لزوم CO_2 در انجام عمل فتوسنتز

پرسش

۱ــ در کدام‌یک از سه برگ مورد آزمایش که از یک گیاه کند شده‌اند، نشاسته ساخته شده است؟ چرا؟

۲ــ چرا در ظرف سربسته، همراه با برگ، پتاس یا سود قرار می‌دهیم؟

۳ــ نتیجه‌گیری کلّی شما از این آزمایش چیست؟

فعالیت عملی۵ــ۵:

آیا در فتوسنتز گیاهان، اکسیژن تولید می‌شود؟

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ لوله آزمایش

۲ــ بشر

۳ ــ لوله شیشه‌ای با لوله پلاستیکی که بتوان بر سر لوله شیشه‌ای نصب کرد.

۴ــ گیره برای بستن لوله‌ی پلاستیکی

۵ــ پایه برای نگهداری دستگاه آزمایش

۶ــ الِودآ (گیاه سبز آبزی) Elodea

طرز عمل:

۱ــ شاخه‌ی کوچکی از الِودآ را با تیغ قطع می‌کنیم.

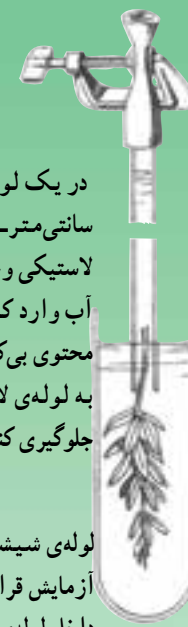
۲ــ شاخه را داخل یک لوله‌ی آزمایش که درون آب است قرار می‌دهیم، به‌طوری‌که سر قطع‌شده‌ی شاخه، درون لوله‌ی شیشه‌ای قرار گیرد. (قبلاًدرون لوله‌ی شیشه‌ای آب ریخته‌ایم.)

۳ــ لوله‌ی آزمایش محتوی الِودآ را در مقابل نور می‌گذاریم. حباب‌هایی از انتهای بریده‌شده‌ی الِودآ خارج می‌شود که در بالای لوله‌ی شیشه‌ای جمع می‌شود. با بستن گیره بر روی بخش پلاستیکی لوله، می‌توان از خروج گاز جلوگیری کرد و آن‌را جمع‌آوری نمود.

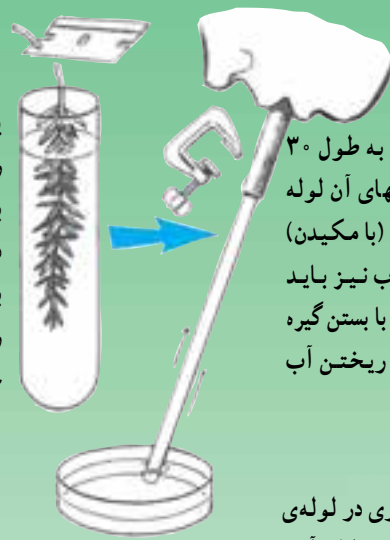
۴ــ به نظر شما گاز خارج‌شده چیست؟

برای تشخیص این‌که گاز حاصل اکسیژن است یا نه می‌توانید آن‌را به روی یک کبریت گداخته منتقل کنید.

می‌دانید که اکسیژن، کبریت گداخته را مشتعل می‌کند.

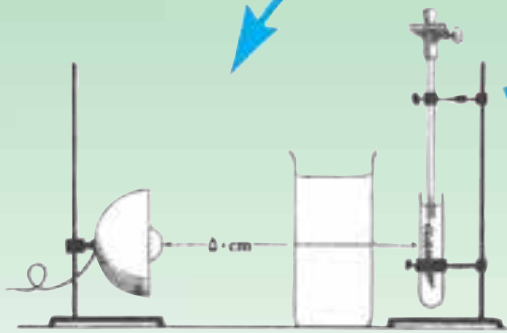


در یک لوله شیشه‌ای به طول ۳۰ سانتی‌متر ــ که در انتهای آن لوله لاستیکی وجود دارد ــ (با مکیدن) آب وارد کنید. (این آب نیز باید محتوی بی‌کربنات باشد) با بستن گیره به لوله‌ی لاستیکی از ریختن آب جلوگیری کنید.



یک شاخه‌ی کوچک الِودآ را در آبی که محتوی بی‌کربنات سدیم ۰/۲۵ درصد است قرار دهید. برگ‌های محل برش ساقه را در طول یک سانتی‌متر جدا کنید.

لوله‌ی شیشه‌ای را طوری در لوله‌ی آزمایش قرار دهید که شاخه الودآ در داخل لوله‌ی شیشه‌ای قرار بگیرد و حتماً شاخه داخل آب باشد.



چراغی را در ۵۰ سانتی‌متری الودآ قرار دهید. بین چراغ و ظرف آزمایش یک ظرف محتوی آب سرد بگذارید (چرا؟) ــ پس از ۵ دقیقه به مشاهده ظرف آزمایش و نتیجه‌گیری از آن بپردازید.

تعداد حباب‌های خارج شده در هر دقیقه را شمارش کنید. با تغییر شدّت نور، چه تغییری در مقدار حباب‌های خارج شده حاصل می‌شود؟

شکل ۷ــ۵ــ بررسی اثر نور در فتوسنتز و مشاهده‌ی خروج گاز اکسیژن از گیاه

پرسش

۱ــ از این آزمایش، چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آورید؟

۲ــ اگر نور را قطع کنید، آیا خروج گاز قطع می‌شود؟ چرا؟

۳ــ آیا می‌توانید همین آزمایش را با گیاه غیر آبزی انجام دهید و نتیجه بگیرید؟ آزمایش کنید.

فعالیت عملی ۶ــ۵:
روش استخراج کلروفیل از برگ

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ برگ‌های اسفناج

۲ــ هاون‌چینی

۳ــ الکل سفید

۴ــ لوله‌ی آزمایش ــ بشر ــ قیف شیشه‌ای ــ پایه

۵ ــ کاغذ صافی

چگونگی انجام آزمایش:

۱ــ چند برگ اسفناج را در هاون چینی به‌همراه الکل سفید، له می‌کنیم.

۲ــ محلول حاصل را به‌وسیله کاغذ صافی که روی یک قیف شیشه‌ای قرار داده‌ایم صاف می‌کنیم و محلول صاف‌شده را در یک لوله‌ی آزمایش جمع‌آوری می‌کنیم.

۳ــ اگر این محلول را که محلول الکل کلروفیل خام نامیده می‌شود به‌روش کروماتوگرافی مورد آزمایش قرار دهیم، وجود کلروفیل و موادّ رنگی دیگر (زرد رنگ و قرمزرنگ) را در آن می‌توانیم مشخّص کنیم.

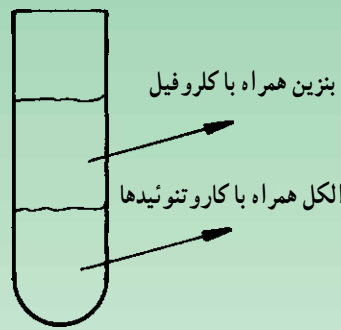
روش ساده جهت کروماتوگرافی

مقداری از مادّه‌ی رنگی مورد نظر (مثلاً کلروفیل خام) را روی نواری از کاغذ صافی می‌گذاریم و بعد آن‌را خشک می‌کنیم (لازم است که این عمل تکرار شود) سپس انتهای این نوار را بدون این‌که لکّه رنگی در حلال قرار گیرد، در حلال (در

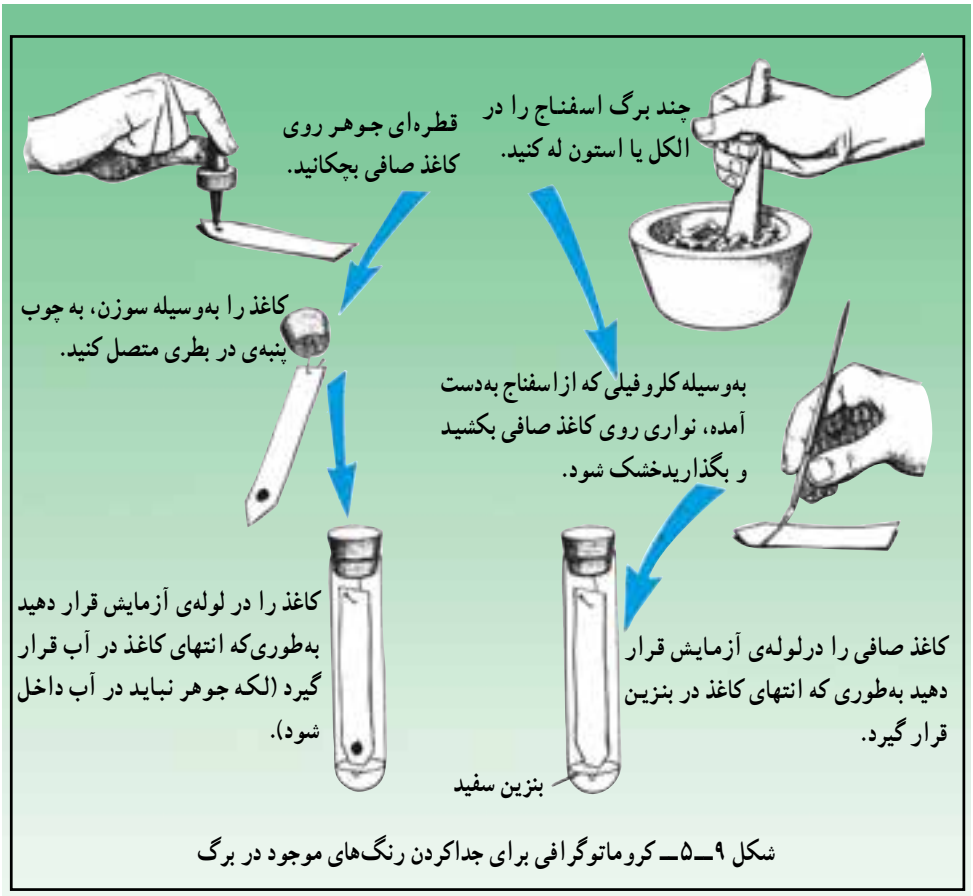
این‌جا الکل سفید است) قرار می‌دهیم. مواد رنگی در کاغذ صافی به همراه حلال بالا می‌روند و هریک برحسب جرم حجمی خود با فاصله از دیگر موادّ رنگی مخلوط در مادّه رنگی اوّلیه قرار می‌گیرند. و به‌این ترتیب از یکدیگر جدا می‌شوند و مشخص می‌گردند.

جداکردن موادّ رنگی به‌وسیله بنزین

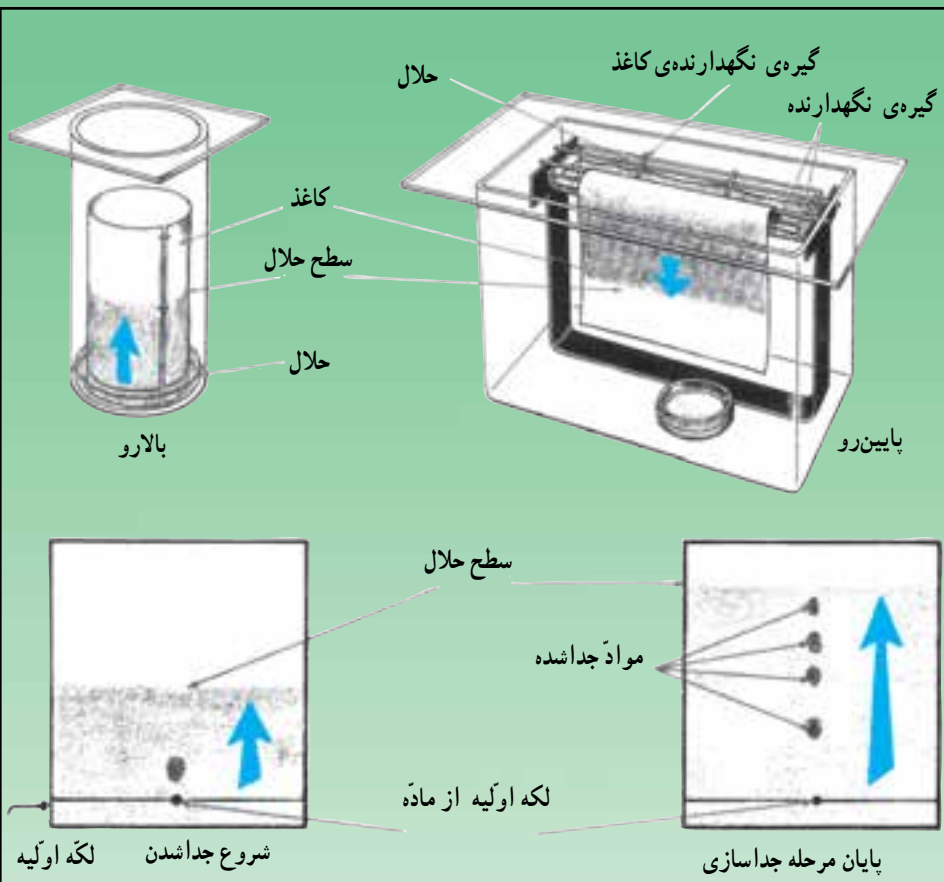
شرح: در یک لوله‌ی آزمایش ۲CC محلول الکلی کلروفیل خام بریزید و ۱ تا ۲CC بنزین سفید به‌آن اضافه کنید و آن را تکان دهید و بی‌حرکت بگذارید. در این‌حالت، محلول مزبور به دو قسمت تقسیم می‌شود : محلول کلروفیل در بنزین در رو قرار می‌گیرد و محلول گزانتوفیل و کاروتن در الکل در زیر قرار خواهد گرفت.



شکل ۸ــ۵ــ جداکردن رنگیزه‌های موجود در برگ



شکل ۹ــ۵ــ کروماتوگرافی برای جداکردن رنگ‌های موجود در برگ



شکل ۱۰ــ۵ــ دو دستگاه کروماتوگرافی که در یک‌نوع آن حرکت حلال از بالا به پایین و در دیگری از پایین به بالاست.

پرسش

۱ــ چند نوع موادّ رنگی دیگری در محلول کلروفیل خام وجود دارد؟

۲ــ آیا روش ساده دیگری می‌شناسید که بتوانید کلروفیل را از سایر مواد رنگی موجود در محلول الکلی کلروفیل خام جدا کنید؟

فعالیت عملی ۷ــ۵:

مشاهده‌ی مصرف اکسیژن در گیاهان

وسایل و موادّ لازم:

۱ــ لوله آزمایش

۲ــ پایه و گیره مخصوص (به شکل توجّه کنید)

۳ــ لوله شیشه‌ای مویین

۴ــ کاغذ مدرّج

۵ــ پنبه

۶ــ بشر

۷ــ لوله لاستیکی و گیره

۸ــ پتاس

۹ــ جوهر

۱۰ــ دانه‌های نخود در حال رویش

توجّه: پتاس، مادّه‌ای است بسیار قلیایی ؛ دقّت کنید که روی پوست دست و یا لباستان نریزد. چنانچه با پوست دست و یا چشمتان تماس پیدا کرد، بلافاصله آن‌را با آب به مدت حداقل ده دقیقه بشویید.

روش انجام آزمایش:

۱ــ نصف یک لوله‌ی آزمایش را از دانه‌های نخود در حال رویش پر کنید.

تبصره: برای رویاندن دانه‌های نخود کافی است آن‌ها را به‌مدت دو روز در ظرفی قرار دهید و پارچه‌ای روی آن‌ها بگذارید و مرتّباً پارچه را مرطوب نگهدارید.

پس از این‌که رویش ریشه دانه‌های نخود آغاز شد، می‌توانید آزمایش را با آن‌ها انجام دهید.

۲ــ در یک لوله‌ی آزمایش دیگر تا نصف آن، دانه‌های در حال رویشی بریزید که قبلاً آن‌ها را جوشانیده‌اید.

سؤال: جوشانیدن چه اثری در دانه‌ها دارد؟

۳ــ بر روی دانه‌ها، در هر دو لوله‌ی آزمایش کمی پنبه بگذارید و روی آن

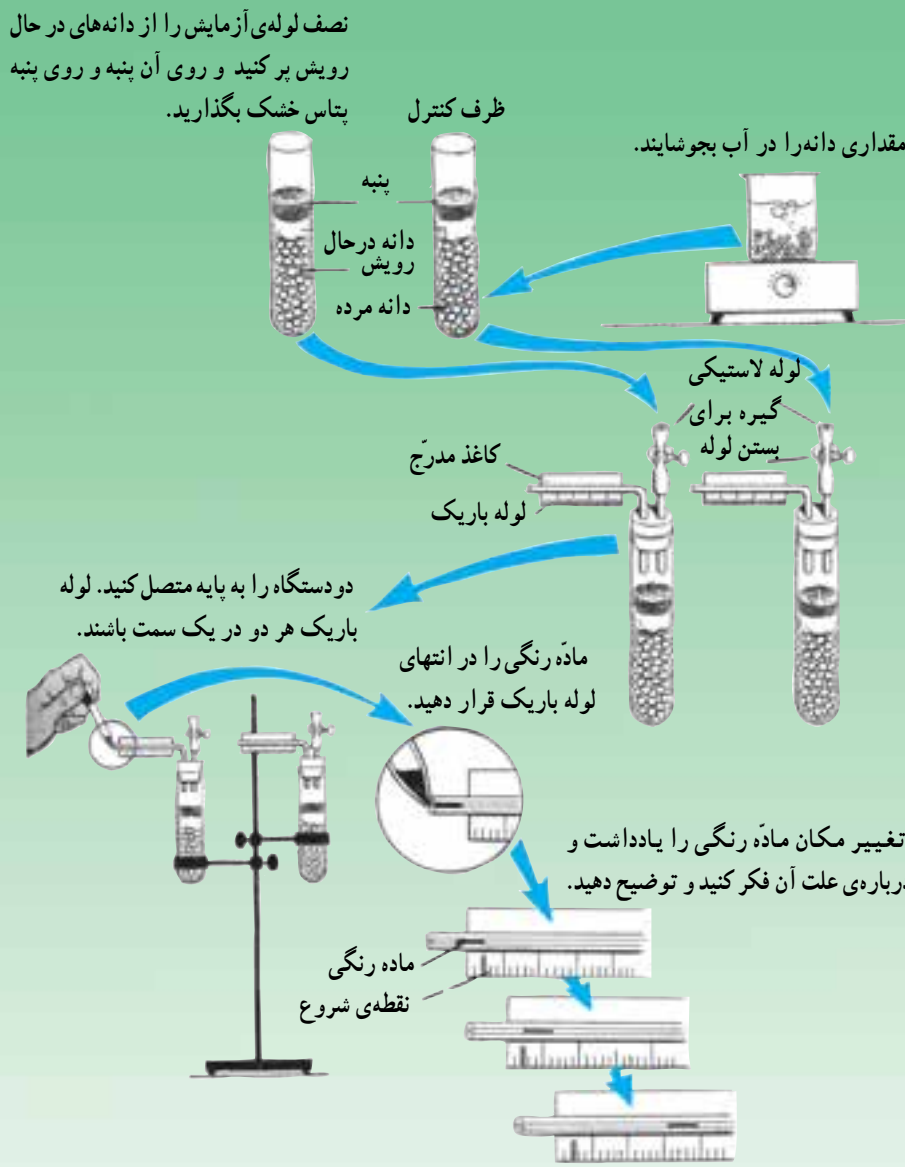
مقداری پتاس خشک بریزید.

۴ــ چوب پنبه‌ای به دهانه‌ی لوله‌های آزمایش بگذارید که از آن دو لوله رد شده و به داخل لوله آزمایش رفته باشد. بر سر یکی از لوله‌ها، قطعه‌ای لوله‌ی لاستیکی متّصل است که می‌توان آن‌را به‌وسیله‌ی گیره‌ای باز و بسته کرد و لوله‌ی دیگر یک لوله به شکل L است که مویین می‌باشد.

۵ــ سر لوله‌ی مویین یک قطره جوهر بگذارید. به شاخه بلند لوله مویین یک ورقه کاغذ مدرّج میلی‌متری متصل کنید.

۶ــ لوله‌های آزمایش را روی پایه‌ای ثابت کنید و پس از مدّتی تغییر محلّ جوهر را در لوله مویین مشاهده و یادداشت‌کنید.

۷ــ نتایج حاصل را در دو لوله با یکدیگر مقایسه کنید. سرعت حرکت قطره‌ی جوهر را در یک دقیقه مشخّص کنید.



شکل ۱۱ــ۵ــ بررسی میزان اکسیژن مصرف شده در هنگام رویش دانه‌های نخود

پرسش

۱ــ چرا از دانه‌های درحال رویش برای آزمایش استفاده می‌کنیم؟

۲ــ پتاس خشک چه نقشی در آزمایش دارد؟

۳ــ علّت حرکت قطره‌ی جوهر چیست؟

۴ــ چرا در لوله‌ی آزمایشی که نخودهای جوشیده شده ریخته شده است تغییر مکانی در قطره جوهر مشاهده نمی‌شود.

۵ــ نتیجه‌گیری کلّی شما از این آزمایش چیست؟

خودآزمایی

۱ــ چرا با مصرف دایمی نیتروژن، مقدار این عنصر در خاک تقریباً ثابت باقی می‌ماند؟

۲ــ چگونه می‌توان بازده‌ی فتوسنتز را افزایش داد؟ (بحث کنید)

۳ــ عوامل درونی مؤثر بر شدت تنفس در گیاه کدام‌اند؟

۴ــ برای نشان‌دادن اثرات مقدار CO_2 بر شدت فتوسنتز کدام پارامترها را باید کنترل کرد؟

۵ــ این اصطلاحات را تعریف کنید : نقطه جبران، شدت تنفس، شش ریشه.

فصل ۶

تنظیم شیمیایی در گیاهان

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :
۱ــ هورمون‌های گیاهی را توضیح دهد.
۲ــ جنبش‌های گیاهی را توضیح دهد.

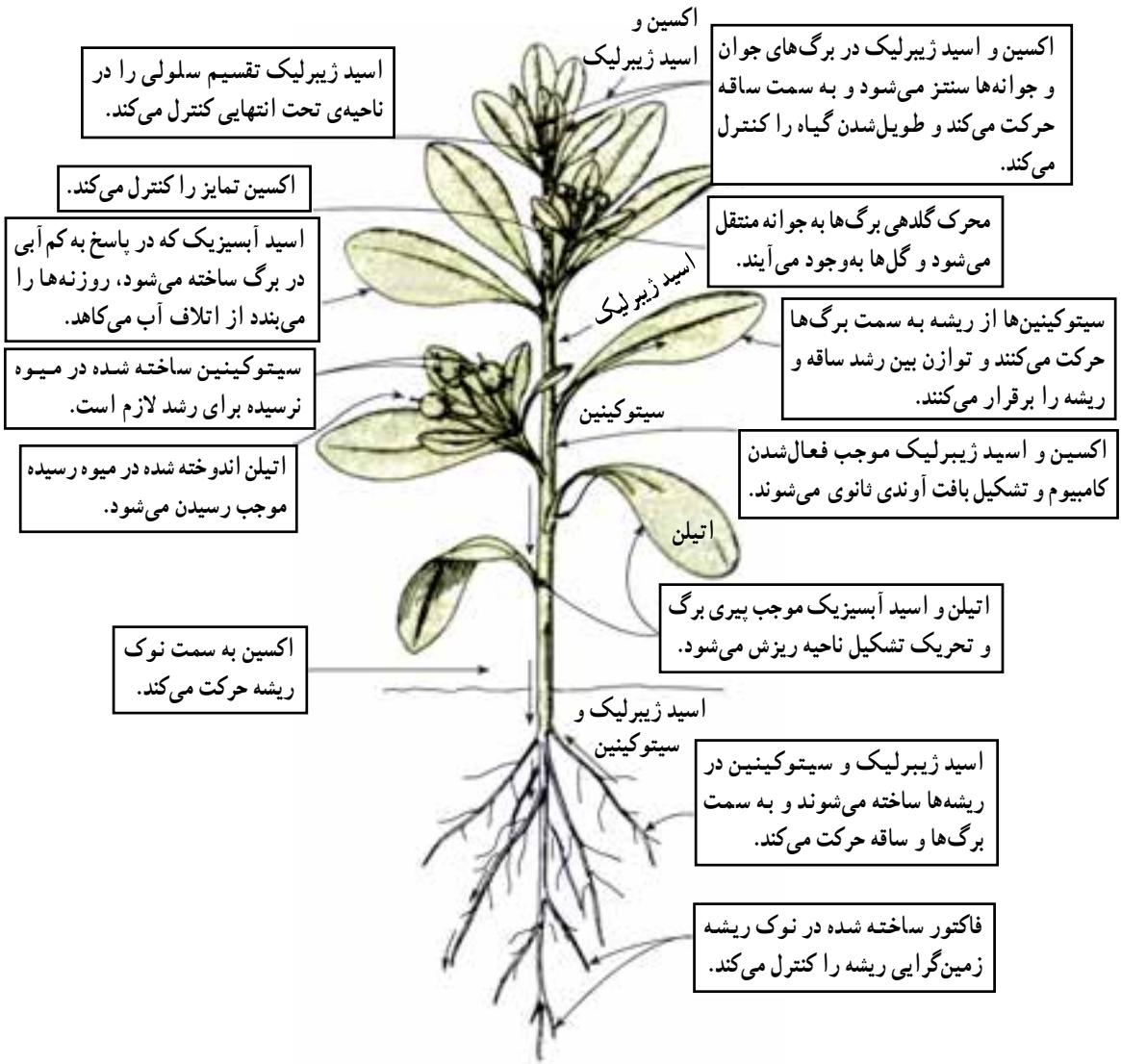
گیاهان علاوه‌بر ساختن مواد غذایی طی فرایند فتوسنتز، کانون ساخت مواد ویژه‌ای هستند که تنظیم‌کننده، ارتباط‌دهنده و هماهنگ‌کننده‌ی فعالیت سلول‌ها در بخش‌های مختلف گیاه هستند.

این مواد موجبات تنظیم رشد ریشه، ساقه، برگ، جوانه‌ها و همچنین زمان گل‌دهی، رویش دانه، افتادن برگ‌ها، میوه‌ها و سایر فعالیت‌های زیستی را فراهم می‌آورند. عمده‌ی این مواد شیمیایی **هورمون‌های گیاهی** نامیده می‌شوند.

هورمون‌های گیاهی شناخته شده با فراوانی بیشتر در بخش‌هایی مانند مریستم‌های نوک ساقه و ریشه، جوانه‌ها، برگ‌های جوان و دانه‌ها یا میوه‌ها که فعالانه در حال رشد هستند، وجود دارند. بافت‌های مریستمی که به‌طور عمده هورمون‌سازی می‌کنند، برای این کار تخصص حاصل کرده‌اند. اما این تخصص یافتگی در حد تخصص‌یافتگی غده‌های هورمون‌ساز جانوران نیست، در واقع در گیاهان غدد ترشحی درون‌ریز با اعمال آن‌چنان اختصاصی مانند آن‌چه در جانوران وجود دارد، دیده نمی‌شود. در مطالعه هورمون‌ها، جایگاه عمل آن‌ها بسیار مورد توجه است. این جایگاه نقاطی در سطح یا درون سلول‌های ویژه‌ی یک گیاه است که سلول‌های هدف گفته می‌شود و موقعی یک هورمون بر سلول مؤثر خواهد بود که جایگاه پذیرشی در آن سلول داشته باشد.

برخی هورمون‌ها بر رشد اثر تحریک‌کننده دارند. عمده‌ترین این‌ها عبارتند از : **اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها** و **ژیبرلین‌ها**. برخی دیگر مانع رشد گیاه می‌شوند مانند آبسیزین (اسیدآبسیزیک) و اتیلن. برهم‌کنش هورمون‌ها موجب متعادل‌شدن رشد اندام‌های گیاه می‌شود. لازم به ذکر است

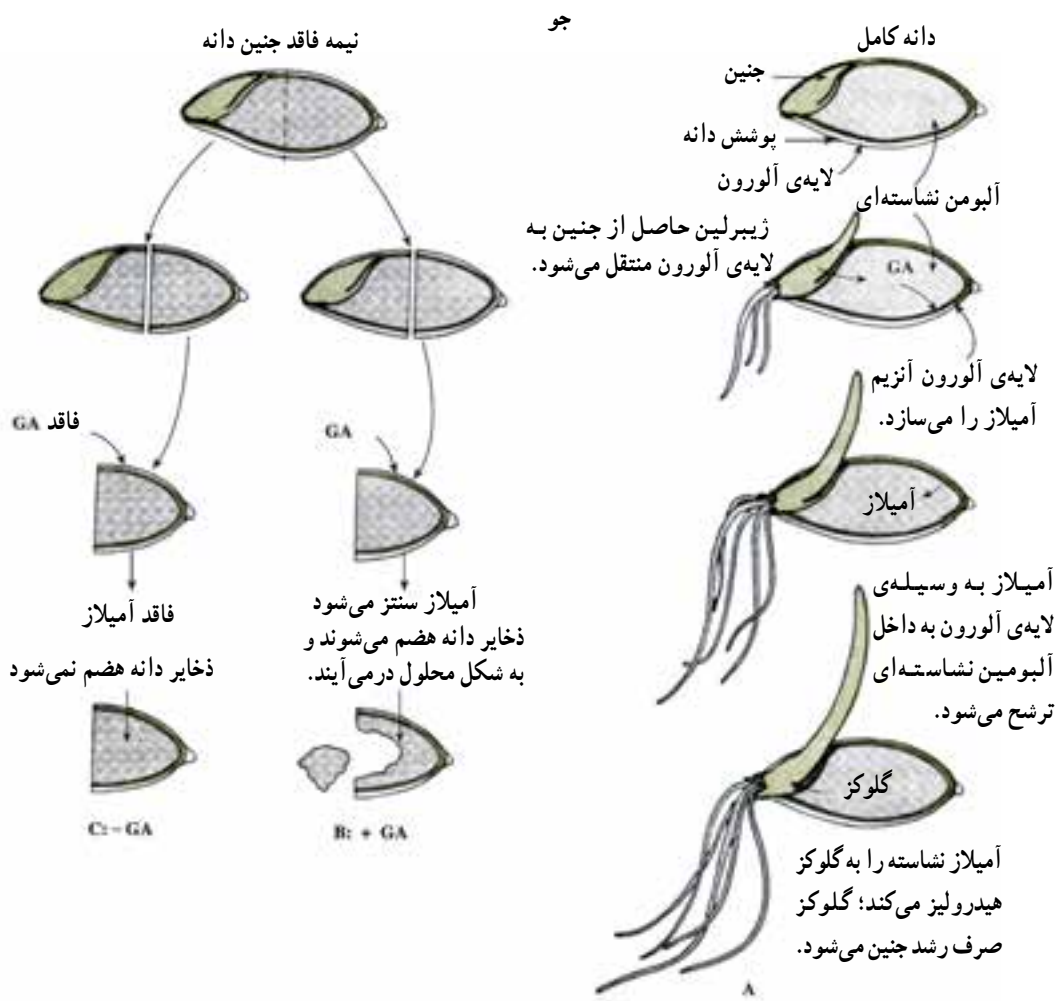
علاوه‌بر هورمون‌های یادشده، ترکیبات شیمیایی دیگری مانند برخی آمینواسیدها و ویتامین‌ها اثراتی مشابه هورمون‌ها دارند.



شکل ۱ــ۶ــ در این طرح برهم‌کنش هورمون‌ها بین قسمت‌های مختلف گیاه مشاهده می‌شود.

برهم‌کُنشِ هورمون‌های گیاهی

از مقایسه اسید ژیبرلیک، اکسین و سیتوکینین با اسیدآبسیزیک و اتیلن نتیجه می‌شود که در بسیاری از موارد این دو گروه عملی مخالف یکدیگر دارند زیرا برای مثال اسید آبسیزیک برخلاف ژیبرلین جلوگیرنده‌ی رشد و جوانه‌زدن و محرک خفتگی جوانه‌ها است. همچنین در برگ‌ها اسیدآبسیزیک موجب ریزش و سیتوکینین موجب دوام آن‌ها می‌شود. در مواردی نشان داده‌اند که فعالیت اسید ژیبرلیک در ارتباط با حضور اکسین است برای مثال در گیاهانی که منابع اکسینی آن را



شکل ۲ــ۶ــ طرح فوق نشان می‌دهد چگونه ژیبرلین حاصل از جنین موجب سنتز آنزیم تجزیه‌کننده‌ی نشاسته، آلفا ــ آمیلاز، در لایه‌ی آلورون می‌شود.

(جوانه‌ی انتهایی و برگ‌های جوان و یا نوک کولئوپتیل) برداشته‌ایم ژیبرلین بر رشد ساقه بی‌تأثیر است. بنابراین نتیجه می‌شود که رشد و نمو در گیاه حاصل وجود تعادل میان هورمون‌هاست.

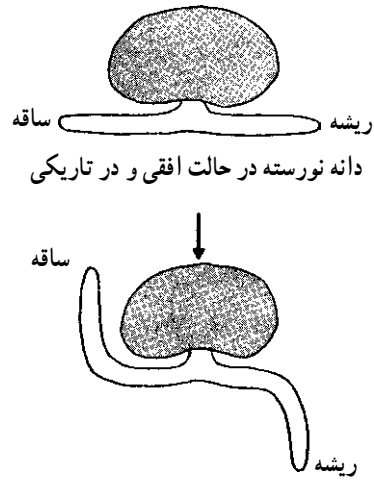
جنبش‌های گیاهی

از گروه خزه‌ها تا گیاهان تکامل‌یافته، همه در زیستگاه خود ثابت هستند و در ظاهر حرکت محسوسی ندارند ولی با توجه بیشتر و به کمک وسایل مختلف حرکاتی را می‌توان در آن‌ها به‌خوبی تشخیص داد. به‌طورکلی جنبش‌های گیاهی به دو گروه فعال و غیرفعال قابل تقسیم هستند. برای مثال، جابه‌جایی سیتوپلاسم و ضمایم درون آن که در سلول همه‌ی جانداران کم و بیش وجود دارد و **سیکلوز** نامیده می‌شود، از نوع فعال بوده و بستگی به حیات سلول‌ها دارد. همچنین حرکت سلول‌های جنسی نر در خزه‌ها، نهانزادان آوندی و گروهی از بازدانگان و جنبش‌هایی مانند خمش ساقه و ریشه، جنبش‌های برگ، باز و بسته‌شدن گل‌ها و حرکات دورانی انتهای بعضی از ساقه‌ها از نوع فعالند. درصورتی که جابه‌جایی دانه‌های گرده، اسپور و بذر اگرچه نقش عمده‌ای در توزیع و گسترش گیاهان دارد از نوع غیرفعال بوده و به توسط عوامل خارجی مانند جانوران، باد، آب و غیره انجام می‌شود. همچنین جنبش‌هایی مانند بازشدن هاگدان‌ها و میوه‌ها و غیره که در اثر تغییرات میزان رطوبت هوا است، مکانیسمی فیزیکی داشته نتیجه‌ی تغییر در وضع دیواره‌ی سلول‌ها می‌باشد و ارتباطی با زنده یا مرده بودن آن‌ها ندارد.

جنبش‌های فعال را می‌توان به دو گروه **خودبه‌خودی** و **القایی** تقسیم کرد. این جنبش‌ها اغلب در نتیجه‌ی رشد نابرابر دو طرف اندام و یا نتیجه‌ی از دست‌دادن و یا گرفتن آب یعنی، تغییر در حجم سلول‌هاست. جنبش‌های خودبه‌خودی درنتیجه‌ی محرک‌های درونی و مستقل از تأثیر عوامل فیزیکی محیط صورت می‌گیرد، درصورتی که گروه دوم یعنی، جنبش‌های القایی همان‌طورکه از نام آن برمی‌آید ناشی از محرک‌های بیرونی مانند نور، گرما، نیروی جاذبه و غیره است.

جنبش‌های خودبه‌خودی: رشد مارپیچی نوک اندام‌هایی مانند ساقه‌ها، پیچک‌ها و غیره که کمابیش در مسیری مدور در فضا صورت می‌گیرد و **پیچش** (نوتاسیون) نامیده می‌شود، جزء این گروه است. باید اضافه کرد که به‌کاربردن یک عامل خارجی مانند اسید ژیبرلیک روی بعضی از اندام‌ها نیز موجب نوتاسیون می‌شود. در نوک ساقه‌ی گیاهان پیچنده و پیچک‌های گیاهان بالارونده نوتاسیون به‌خوبی قابل مشاهده است. جنبش نوتاسیون به این علت به‌وجود می‌آید که در هر زمان سرعت رشد در بخشی از اندام بیشتر از بخش‌های دیگر است و به این ترتیب نوک ساقه در حال رشد، مسیر مارپیچی را طی می‌کند.

وقتی نوک ساقه به جسم باریکی مانند شاخه برخورد کند، حرکت نوسانی به‌صورت پیچش حول شاخه یا در جهت عقربه ساعت یا خلاف جهت آن ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۳ــ۶ــ دلیل ژئوتروپیسم مثبت در ریشه و ژئوتروپیسم منفی را در ساقه بیان کنید.

جنبش‌های القایی: همان‌طورکه گفتیم بروز این جنبش‌ها به محرک‌های خارجی وابسته است تروپیسم‌ها (گرایش‌ها) و ناستی‌ها (تنجش‌ها[1]) از مهم‌ترین این جنبش‌ها هستند.

تروپیسم‌ها (گرایش‌ها): به جهت محرک خارجی وابسته‌اند و برحسب نوع محرک آن‌ها را طبقه‌بندی می‌کنند. **نورگرایی** (فتوتروپیسم) و **زمین‌گرایی** (ژئوتروپیسم) از مهم‌ترین انواع گرایش‌ها به‌شمار می‌آیند.

پاسخ اندام‌های مختلف را نسبت به روشنایی **نورگرایی** می‌نامیم. شما تاکنون با نورگرایی در ساقه آشنا شده‌اید. نورگرایی در ساقه مثبت است، یعنی ساقه به سمت نور خم می‌شود. ریشه‌ها برخلاف ساقه یا به محرک نور پاسخ نمی‌دهند و یا گرایش منفی ظاهر می‌کنند یعنی در جهت مخالف نور خم می‌شوند. اغلب برگ‌ها نسبت به نور طوری قرار می‌گیرند تا پرتوهای روشنایی به‌طور عمودی بر آن‌ها بتابد.

علت گرایش انتهای ساقه به سمت نور، تجمع اکسین بیشتر در سمت نور ندیده‌ی این اندام است. در این صورت چرا فتوتروپیسم در ریشه منفی است؟ دلیلش آن است که ریشه نسبت به مقدار

۱ــ فشرده‌شدن و به‌خودپیچیدن دراثر دست مالیدن و لمس‌کردن

بسیار اندک اکسین واکنش نشان می‌دهد و رشد می‌کند و نسبت به مقدار زیاد این هورمون، رشدش متوقف یا کند می‌شود. درنتیجه تراکم اکسین زیاد در سمت نور ندیده‌ی ریشه، سبب می‌شود که این قسمت نسبت به سمت نور دیده رشد کمتری داشته باشد و ریشه به سمت مخالف نور خم گردد.

زمین‌گرایی (ژئوتروپیسم) واکنش ریشه و ساقه نسبت به نیروی جاذبه‌ی زمین است. هرگاه گیاه نورسته‌ی گندم را به وضع افقی قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم که پس ازمدتی ریشه به سوی زمین خم می‌شود و ساقه در جهت مخالف نیروی جاذبه رویش می‌کند. گفته می‌شود زمین‌گرایی در ریشه مثبت و در ساقه منفی است. در وضعیت افقی، مقدار اکسین در نیمه‌ی پایینی انتهای ریشه و ساقه بیشتر جمع می‌شود. این امر سبب خم‌شدن ساقه به سمت بالا و ریشه به سمت پایین می‌شود.

جنبش‌های تنجشی (ناستی‌ها): تحت تأثیر محرک‌های محیط بروز می‌کند اما جهت مشخص ندارند. برگ‌های یک نوع گیاه به نام گل ابریشم شب‌ها جمع می‌شوند. این گیاه را به این مناسبت گیاه **شب‌خُسب** می‌گویند. برگ‌های گیاه دیگر به نام گیاه حساس (میموزا) در اثر تکان یا ضربه ظرف چند ثانیه جمع می‌شوند. برگ گیاهان گوشتخوار نیز دراثر تماس حشرات جمع شده و حشره را به دام می‌اندازند. این‌ها مثال‌هایی از جنبش‌های تنجشی هستند، آیا شما مثال‌های دیگری سراغ دارید؟ به‌طورکلی مکانیسم این جنبش‌ها را مربوط به جریان یون‌های K^+ ، Cl^- ، Ca^{++} ، H^+ و قندها از خلال سلول‌ها می‌دانند. این امر سبب می‌شود که غلظت درون سلول‌ها در یک سمت اندام بالا می‌رود و سلول‌ها با گرفتن آب تورژسانس کنند. به این ترتیب اندازه سلول‌ها در دو سمت اندام متفاوت می‌شود و خمیدگی را حاصل می‌کند. اکسین، اتیلن و احتمالاً سایر هورمون‌ها در این مکانیسم‌ها نقش دارند. اما به هر حال هنوز نکات مبهمی در مورد حرکات تنجشی وجود دارد.

شکل ۴ــ۶ــ لوزه تنجشی در برگ گیاه حساس در سمت چپ، برگ در وضع عادی. در سمت راست، برگی که تحریک شده است.

خودآزمایی

۱ــ کدام هورمون‌ها بر رشد گیاهان اثر تحریک‌کنندگی دارند؟
۲ــ مثالی برای برهم‌کنش هورمون‌های گیاهی ذکر کنید.
۳ــ جنبش‌های فعال به چند گروه تقسیم می‌شوند؟ آن‌ها را نام ببرید.
۴ــ جنبش‌های تنجشی را با ذکر دو مثال تعریف کنید.
۵ــ کدام یون‌ها در جنبش‌های تنجشی مؤثر هستند؟