

ششم فصل

از انرژی به ماده



درسنامه

در فصل قبل به طور کامل بررسی کردیم که چگونه طی انواع واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، مولکول گلوکز تجزیه می‌شود و انرژی ذخیره شده در پیوندهای کربن - هیدروژن آن صرف تولید ATP می‌شود. جاندار پس از تنفس یاخته‌ای، فعالیت‌های خود را با تجزیه ATP و آزاد کردن انرژی انجام می‌دهد. در این فصل به دنبال پاسخ به این پرسش هستیم که چگونه توسط برخی جانداران، مواد آلی مثل گلوکز تولید می‌شوند و در حقیقت انرژی پیوندهای کربن - هیدروژن آن‌ها در اثر چه واکنش‌هایی و از چه منابعی تأمین شده است؟! در این فصل ابتدا می‌خواهیم بررسی کنیم که جانداران تولیدکننده و مصرف‌کننده چه تفاوت‌هایی با هم دارند و اینکه جانداران تولیدکننده مواد آلی، طی چه واکنش‌هایی و از چه منابعی، انرژی می‌گیرند تا گلوکز و سایر مواد آلی را پرانرژی بسازند که البته ۹۹ درصد جواب این سؤالات به نور خورشید برمی‌گردد که منبع اصلی انرژی در طبیعت است! در ادامه نیز به روش‌های تولید مواد آلی از مواد معدنی در محیط‌های متفاوت و جانداران مختلف می‌پردازیم.

انواع جانداران از نظر سوخت‌وساز مواد آلی

در فصل قبل آموختیم که همه جانداران (باکتری‌ها، قارچ‌ها، آغازیان، گیاهان و جانوران) قادرند طی فرایندهای تنفس یاخته‌ای، مولکول گلوکز را تجزیه کنند و از آن ATP به دست بیاورند. در این فصل به دنبال روش‌های ساخت مواد آلی هستیم!

الف) جانداران مصرف‌کننده

این جانداران که شامل همه جانوران، همه قارچ‌ها، اغلب باکتری‌ها و برخی آغازیان می‌شوند، قدرت تولید مواد آلی را از مواد کانی (معدنی) ندارند. این جانداران از مواد آلی انرژی به دست می‌آورند.

نکته

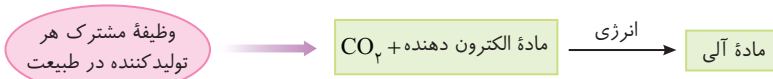
دقت کنید که مصرف‌کننده‌ها، می‌توانند مواد آلی را با تغییر و تبدیل مواد آلی به همدیگر ایجاد کنند ولی نمی‌توانند مواد معدنی را به مواد آلی تبدیل کنند. مثلاً انسان، موجودی مصرف‌کننده می‌باشد که قادر است طی همانندسازی، ماده آلی DNA و طی ترجمه ماده آلی پروتئینی بسازد ولی این مواد را از تبدیل مواد آلی به همدیگر ایجاد می‌کند.

یادآوری

دوستان عزیزم در تست‌ها به یک نکته از کتاب زیست دهم، خیلی دقت کنید. در بدن انسان، کبد توانایی دارد با ترکیب مواد معدنی مثل آمونیاک و CO_2 ، ماده آلی زائد نیتروژن دار اووره تولید کند. این مورد را در تست‌ها در مورد اندام تولیدکننده مواد آلی در جانوران همواره به خاطر داشته باشید!

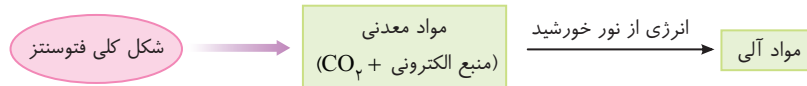
ب) جانداران تولیدکننده یا سنتزکننده

این گروه شامل گیاهان، برخی باکتری‌ها و برخی آغازیان (مثل جلبک‌ها و برخی ارگانه‌ها) می‌باشند که قادرند مواد معدنی را با گرفتن انرژی و الکترون، به مواد آلی پرانرژی تبدیل کنند. جانداران تولیدکننده برحسب منبع انرژی آن‌ها که باعث تبدیل مواد معدنی به آلی می‌شود به دو دسته فتوسنتزکننده و شیمیوسنتزکننده تبدیل می‌شوند که ابتدا به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.



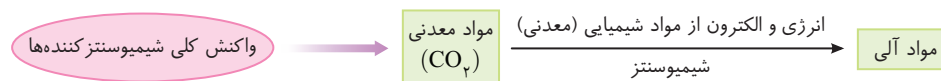
● (A) جانداران فتوسنتز کننده

این گروه شامل گیاهان، برخی آغازیان و برخی باکتری‌ها می‌شود که **انرژی** تبدیل مواد معدنی به آلی را فقط از نور خورشید تأمین می‌کنند. در حقیقت این گروه انرژی نور خورشید را می‌گیرند و طی واکنش‌هایی که به‌طور مفصل در این فصل می‌خوانیم این انرژی را در پیوندهای کربن - هیدروژن گلوکز و سایر مواد آلی ذخیره می‌کنند. در واکنش‌های فتوسنتزی، **همواره** CO_2 مصرف می‌شود و با استفاده از **انرژی نور خورشید**، ماده آلی قندی تولید می‌شود ولی **منبع الکترون** این واکنش می‌تواند متفاوت باشد.



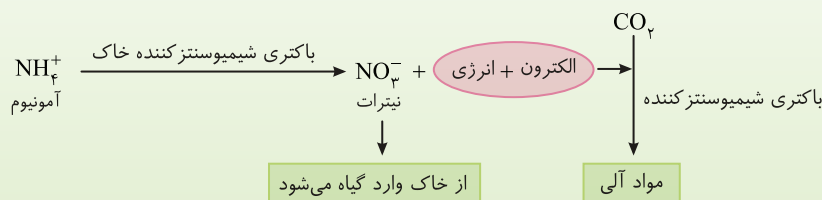
● (B) جانداران شیمیوسنتز کننده

این گروه که در گفتار ۳ همین فصل به آن‌ها اشاره شده است، شامل **برخی باکتری‌ها** می‌باشد که در مناطقی زندگی می‌کنند که **نور به آن‌ها نمی‌رسد (مثلاً در اطراف دهانه آتشفشان‌ها یا اعماق اقیانوس‌ها یا معادن)**. این باکتری‌ها نیز قادرند مواد معدنی را با گرفتن انرژی و استفاده از یک منبع الکترون به ماده آلی تبدیل کنند ولی **انرژی و الکترون** عمل آن‌ها از **اکسایش مواد معدنی (غیرکربن)** مثل H_2S ، NH_3 یا... تأمین می‌شود. در واکنش‌های تولیدکنندگی این گروه نیز همانند فتوسنتزکننده‌ها CO_2 مصرف و مواد آلی قندی تولید می‌شوند با این تفاوت که منبع انرژی آن‌ها به جای نور خورشید از مواد معدنی می‌باشد.

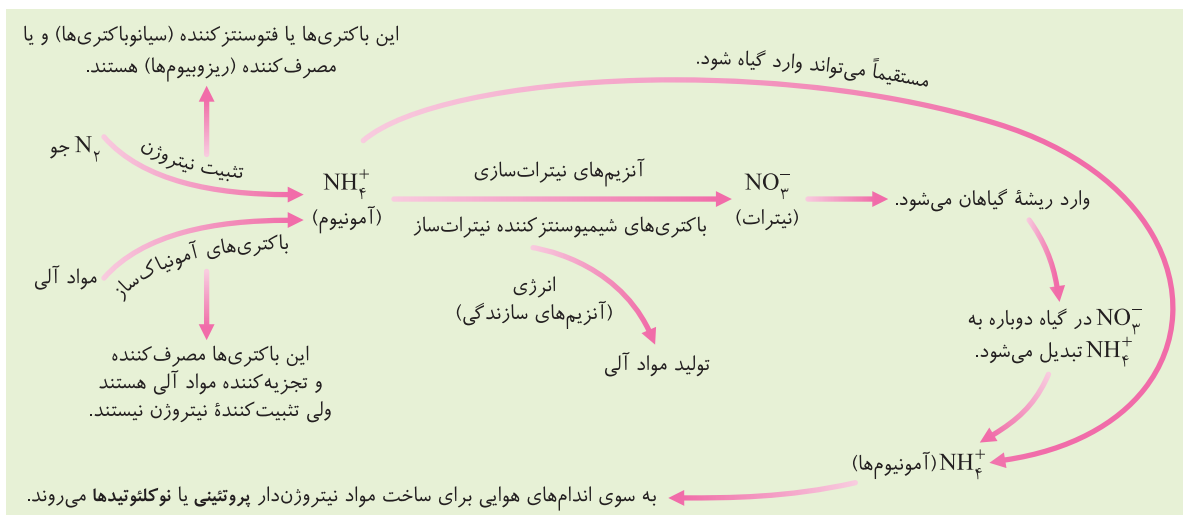


چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

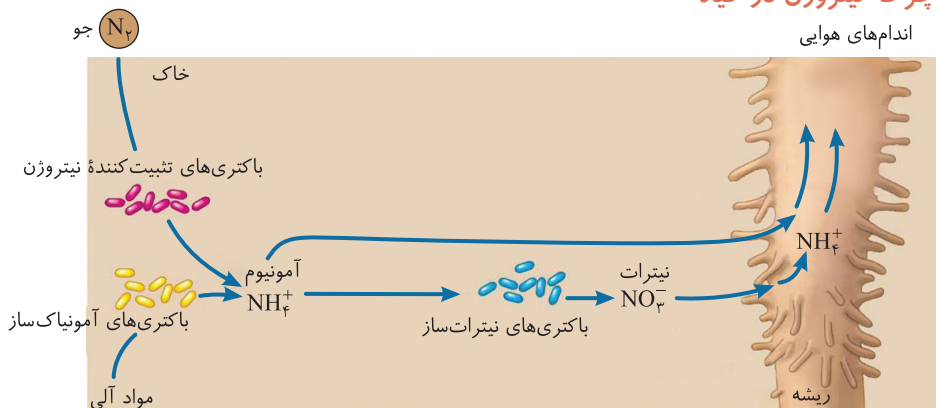
- ۱) باکتری‌هایی که در قسمتی از چرخه نیتروژن خاک، سبب تبدیل آمونیوم (NH_4^+) به نیترات (NO_3^-) می‌شوند، از نوع شیمیوسنتزکننده هستند. این باکتری‌ها، CO_2 را از محیط گرفته و با استفاده از انرژی و الکترون ناشی از اکسایش آمونیوم (مطلوح آمونیاک)، ضمن تولید نیترات، به تولید مواد آلی قندی مورد نیاز خود نیز می‌پردازند.
- ۲) دقت کنید که این باکتری‌ها با فعال کردن سیستم آنزیمی خاصی سبب تبدیل آمونیوم به نیترات می‌شوند. ضمن این عمل انرژی و الکترون‌هایی آزاد می‌شود که توسط مجموعه آنزیمی دیگری گرفته شده و با استفاده از تثبیت کربن موجود در CO_2 به تولید مواد آلی می‌پردازند.



این نمودار در مورد چرخه نیتروژن بوده که بسیار در طرح تست‌های کنکوری کاربرد دارد (تیرت مهم).



نگاهی ساده‌تر به چرخه نیتروژن در گیاه



«تغییرات مواد نیتروژن‌دار و چگونگی جذب آن‌ها از خاک»

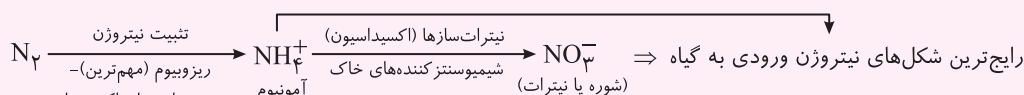
نکته: دوستان عزیز اگر در پاسخ به تست‌های درسنامه دچار مشکل شدید، مهم نیست چون در بخش تست‌های آموزشی به راحتی مطلب برای شما با تدریس QR Code ها باز می‌شود.

تست ۱

برخی شیمیوسنتزکننده‌ها، ریزوبیوم، سبب تبدیل می‌شود.
 (۱) برخلاف - آمونیم به نیترات (۲) همانند - N₂ به آمونیم (۳) برخلاف - CO₂ به قند (۴) همانند - آمونیم به نیترات

پاسخ ۱

نکته: درستی گزینه (۱) و نادرستی گزینه‌های (۲) و (۴) را می‌توانید از روند زیر تشخیص دهید.



نکته: تبدیل CO₂ به قند طی عمل تثبیت کربن و تولیدکنندگی در همه شیمیوسنتزکننده‌ها رخ می‌دهد (نادرستی گزینه (۳)).

تست ۲

باکتری‌هایی که می‌توانند از انرژی هیدروژن سولفید برای تولید مواد آلی استفاده کنند با باکتری‌های در یک گروه قرار می‌گیرند.
 (۱) گوگردی بی‌هوازی (۲) مصرف‌کننده‌های هوازی
 (۳) مصرف‌کننده آمونیم و تولیدکننده نیترات (۴) سازنده آمونیم در چرخه نیتروژن

پاسخ ۲

در صورت سؤال به کلمه انرژی دقت کن! پس فتوسنتزکننده‌ها می‌رن کنار!! چون منبع انرژی فتوسنتزکننده‌ها، نور است. مصرف‌کننده‌ها نیز می‌رن کنار!!
 چون منبع انرژی آن‌ها مواد آلی است. از میان گزینه‌ها دنبال شیمیوسنتزکننده می‌گردیم که فقط گزینه (۳) می‌ماند. گزینه (۱) در مورد فتوسنتزکننده‌ها و گزینه‌های (۲) و (۴) در مورد مصرف‌کننده‌هایی مثل ریزوبیوم می‌باشد.



از زیست دهم الگو به یاد دارید که:

ویژگی	نوع	هسته و اندامک غشادار	تولیدمثل	منبع انرژی	تعداد یاخته	هر ۷ ویژگی حیات
گیاهان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	نور خورشید	پریاخته‌ای	دارند
جانوران	یوکاریوت	دارند	اغلب جنسی	مواد آلی	پریاخته‌ای	دارند
قارچ‌ها	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد آلی	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
آغازیان	یوکاریوت	دارند	جنسی و غیرجنسی	مواد آلی یا نور خورشید	تک‌یاخته‌ای و پریاخته‌ای	دارند
باکتری‌ها	پروکاریوت	ندارند	غیرجنسی	مواد آلی یا معدنی یا نور خورشید	فقط تک‌یاخته‌ای	دارند

کلیات فتوسنتز و عوامل دخالت کننده در آن



فتوسنتز: مهم ترین فرایند ساخت **مواد آلی** در طبیعت می باشد. این واکنش که انرژی خود را از **نور خورشید** تأمین می کند، سبب تبدیل مواد معدنی (مثل CO_2 و آب) به مواد آلی (**گلوکز**) می شود. این فرایند در گیاهان، برخی باکتری ها و برخی آغازیان (**جلبک ها**) رخ می دهد.

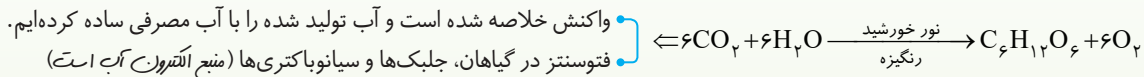
● فرمول کلی فتوسنتز

واکنش های فتوسنتزی، برعکس واکنش های تنفس یاخته ای می باشند و **همواره انرژی خواه می باشند**. این واکنش ها با گرفتن CO_2 و یک ماده الکترون و پروتون دهنده، به سمت تولید ماده آلی قندی حرکت می کنند.



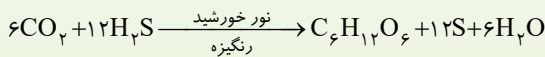
چند نکته بسیار مهم در بررسی تست ها

① با توجه به فرمول قبل مشاهده می کنیم که در هر نوع فتوسنتزی، نور خورشید به عنوان **منبع انرژی** و CO_2 به عنوان ماده کربن دار وجود دارند **ولی منبع ایجادکننده الکترون و پروتون در جانداران مختلف می تواند متفاوت باشد**. البته در ادامه می خوانیم که در گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری ها، منبع الکترون فتوسنتز، **مولکول آب** می باشد که در این واکنش ها که در زیر مشاهده می کنید، **اکسیژن آزاد می شود**.



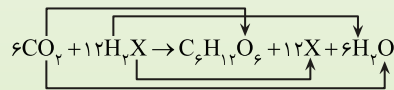
② در این فصل می آموزید، که هر نوع جاننداری که به تولید ماده آلی از مواد معدنی مبادرت می کند، در نهایت فارغ از اینکه منبع الکترون و پروتون آن چه ماده ای است، همواره مقداری آب نیز تولید می کند.

③ در انتهای این فصل می خوانیم که برخی باکتری های فتوسنتزکننده مثل **گوگردی های سیخ یا ارغوانی** وجود دارند که **غیراکسیژن زا** می باشند و منبع الکترون واکنش های فتوسنتزی آن ها به جای آب، **مولکول H_2S** است. این گروه نیز از نور خورشید انرژی می گیرند و CO_2 را به کمک الکترون ها و پروتون های H_2S به گلوکز آلی تبدیل می کنند **ولی به جای آزاد کردن اکسیژن، به تولید گوگرد می پردازند**. فرمول فتوسنتز باکتری های گوگردی به صورت زیر می باشد:

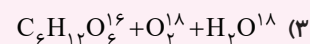
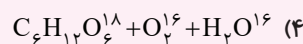
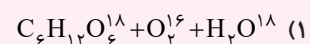
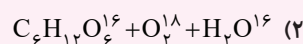
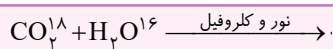


④ با اینکه در کتاب درسی اشاره نشده است ولی به خاطر داشته باشید که باکتری های گوگردی، **بی هوازی** هستند و از راه تخمیر، انرژی به دست می آورند، به همین دلیل قدرت **تولید و مصرف O_2** را ندارند.

⑤ منشأ اکسیژن متصاعد شده یا گوگرد آزاد شده در واکنش های فتوسنتزی از ماده الکترون دهنده (H_2O یا H_2S) می باشد ولی منشأ اتم های اکسیژن در مولکول های قندی و آب تولید شده، اکسیژن موجود در CO_2 می باشد.



تست ۳ حاصل واکنش روبه رو در صورت استفاده از اکسیژن رادیوایزوتوپ در CO_2 کدام است؟



پاسخ ۱

در فتوسنتز گیاهان، فقط منشأ اتم اکسیژن در مولکول O_2 متصاعد شده، از مولکول آب می باشد و منشأ بقیه اکسیژن ها از اکسیژن موجود در مولکول CO_2 است. (در واکنش ها $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ کلی فتوسنتز یوکاریوت ها و سیانوباکتری ها آب هم تولید و هم مصرف می شود ولی مصرف آب مقدار بیشتری دارد.)

در فتوسنتز باکتری های گوگردی، آب فقط تولید می شود.

بررسی فتوسنتز در گیاهان

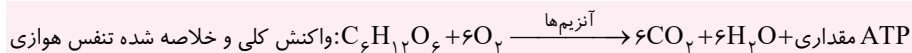
در آخرین گفتار این فصل به طور ویژه به بررسی واکنش های فتوسنتزی در گیاهان مختلف و سازش آن ها در مناطق معتدل و گرم و خشک می پردازیم. باز هم یادآوری می کنم که واکنش های **فتوسنتزی** برخلاف واکنش های تنفس یاخته ای از نوع **انرژی خواه** می باشند و منبع **انرژی** همه آن ها **نور خورشید** می باشد.

پادیده: اگر در سؤالی منبع انرژی جاندار تولیدکننده را خواست، خیلی خیلی دقت کنید! چون اگر منظور باکتری شیمیوسنتزکننده باشد، منبع انرژی آن **مواد شیمیایی (معدنی)** می‌باشد ولی اگر منظور هر جاندار فتوسنتزکننده باشد، منبع انرژی آن‌ها **نور خورشید** می‌باشد.

نوع جانداران	منبع انرژی	منبع الکترون و پروتون	ویژگی
مصرف کننده‌ها (جانوران - قارچ‌ها)	مواد آلی	مواد آلی	مواد آلی را از مواد معدنی نمی‌سازند. (مگر در مواردی مثل کما کبدر در تولید اوره از آمونیاک و CO_2)
فتوسنتز کننده‌ها (گیاه - آغاززی - سیانوباکتری)	نور خورشید	آب $\leftarrow O_2$ تولید می‌کنند.	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.
فتوسنتز کننده‌ها (باکتری لوتروتری)	نور خورشید	$H_2S \leftarrow$ به جای O_2 ، گوگرد تولید می‌کنند.	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.
شیمیوسنتز کننده‌ها (باکتری‌های نیترات‌ساز)	مواد معدنی	مواد معدنی	مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازند.

دوره تنفس هوازی در یک نگاه!

از فصل قبل به یاد دارید در هر واکنش تنفس یاخته‌ای، **گلوکز تجزیه شده، منبع انرژی، الکترون و پروتون** می‌باشد. در طی واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، پیوندهای کربن - هیدروژن قند، شکسته شده و انرژی آن‌ها در مولکول ATP ذخیره می‌شود، **پس تنفس یاخته‌ای، واکنشی انرژی‌زا می‌باشد.** اگر در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای از O_2 استفاده شود، در نهایت آب و تعداد بیشتری ATP اکسایشی تولید می‌شود و طی این واکنش‌ها از هر گلوکز، ۶ مولکول CO_2 نیز تولید می‌شود.

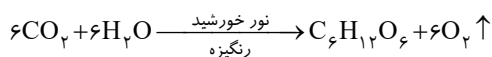


نکته

در واکنش‌های تنفس هوازی و فتوسنتز (به جز در غیر آکسین‌زاهه)، همواره مولکول آب هم تولید و هم مصرف می‌شود ولی اغلب در واکنش‌ها به صورت خلاصه شده می‌نویسند و آب تولیدی را با مولکول‌های آب مصرفی ساده می‌کنند.

فتوسنتز گیاهان در یک نگاه!

واکنش‌های فتوسنتزی در **گیاهان**، دقیقاً برعکس واکنش‌های تنفس هوازی می‌باشند. طی فتوسنتز، گیاه با گرفتن CO_2 های گازی از محیط و ثابت یا تثبیت کردن کربن آن‌ها طی واکنش‌هایی که با آب انجام می‌دهند، مواد آلی می‌سازند. در حقیقت برعکس تنفس که در انتهای آن آب تولید می‌شد در فتوسنتز، پس از جذب انرژی نور خورشید، ابتدا مولکول‌های آب به عنوان منبع اصلی الکترون و پروتون تجزیه می‌شوند و طبق واکنش $(H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-)$ ، O_2 تولید می‌شود. سپس الکترون‌ها و پروتون‌های آب باید طی فرایندهایی در نهایت به گیرنده نهایی آن‌ها یعنی CO_2 برسند تا با ساخت پیوندهای کربن - هیدروژن، مولکول‌های آلی قندی (گلوکز) تشکیل شوند. **این مولکول‌های قندی در همه جانداران برای تنفس یاخته‌ای و تولید دوباره انرژی استفاده می‌شوند و یا به صورت پلی‌ساکاریدهای مختلف در فرایندهای ذخیره‌ای یا ساختاری به کار می‌روند.**



نکته مهم

گیاهان از محصولات قندی فتوسنتز برای ساخت پلی‌ساکاریدهای دیواره یاخته‌ای (سلولز) و همچنین ذخیره نشاسته استفاده می‌کنند. البته گیاهان برای ساخت پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها نیز به قند و مواد آلی حاصل از فتوسنتز نیازمند هستند.

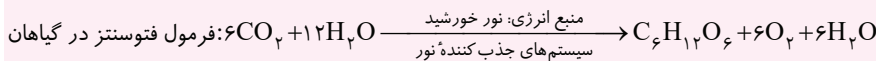
نکته مهم

گیاهان از قند و O_2 تولید شده در فتوسنتز، در واکنش‌های تنفس یاخته‌ای خود نیز استفاده می‌کنند و ATP به دست می‌آورند ولی قند و O_2 حاصل از آن‌ها علاوه بر مصرف خود گیاه به مصرف سایر جانداران نیز می‌رسد.

تفاوت فتوسنتز و تنفس هوازی در گیاهان

فتوسنتز در گیاهان	تنفس هوازی در گیاهان
انرژی خواه می‌باشد و قند را تولید می‌کند	انرژی‌زا می‌باشد و قند را تجزیه می‌کند
در ابتدا، آب را تجزیه می‌کند تا O_2 آزاد کند	در انتهای واکنش O_2 مصرف می‌کند تا آب بسازد
کاملاً در سبزدیسه‌ها رخ می‌دهد	در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و راکیزه‌ها رخ می‌دهد
آخرین گیرنده الکترون و پروتون آن، CO_2 است	آخرین گیرنده الکترون و پروتون آن، اکسیژن است
CO_2 می‌گیرد، O_2 می‌دهد	O_2 می‌گیرد، CO_2 می‌دهد
انرژی نور خورشید را در قند ذخیره می‌کند	انرژی قند را در ATP ذخیره می‌کند
انرژی نوری را به انرژی شیمیایی در قند تبدیل می‌کند	انرژی شیمیایی قند را به نوعی انرژی شیمیایی دیگر در ATP تبدیل می‌کند

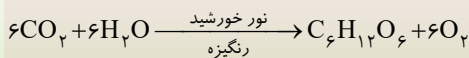
عوامل مورد نیاز برای فتوسنتز بهینه در گیاهان



با توجه به فرمول کلی فتوسنتز در گیاهان، برخی آغازیان و سیانوباکتری‌ها متوجه می‌شویم که برای فتوسنتز بهینه به عوامل بیرونی مثل CO_2 ، آب، دما و نور خورشید و عوامل درونی مثل آنزیم‌ها و سیستم‌های جذب کننده نور خورشید ... نیازمند می‌باشند.

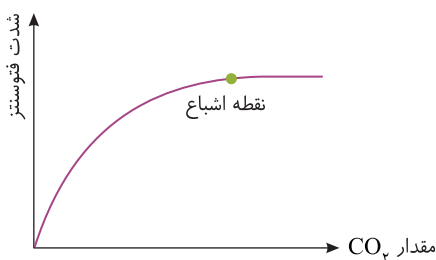
نکته

در هر نوع واکنش فتوسنتزی، مقداری آب تولید می‌شود ولی در اغلب موارد، واکنش را خلاصه می‌کنند و فقط ۶ مولکول آب مصرفی را به صورت زیر در نظر می‌گیرند.



بررسی تأثیر عوامل بیرونی بر فتوسنتز گیاهان

نکته: دوستان عزیزم ممکن است کتاب درسی را که گفتار به گفتار جلو می‌روید این مطالب را به صورت پراکنده ببینید. من برای فهم بهتر شما آن‌ها را متمرکز کرده‌ام.

الف) CO_2 و O_2 محیط

گیاهان، بیشتر CO_2 مورد نیاز فتوسنتز را از محیط اطراف و معمولاً از طریق روزنه‌های هوایی خود به دست می‌آورند (در سال دهه خوانند که کمی CO_2 نیز به صورت محلول بیکربنات از ریشه جذب می‌شود). البته ممکن است طی تنفس هوازی نیز مقداری CO_2 در یاخته ایجاد شود که از آن در فتوسنتز استفاده شود ولی مقدار CO_2 حاصل از تنفس، برای فتوسنتز گیاه بسیار کم می‌باشد. **در فرایندهای فتوسنتزی، مقدار CO_2 با شدت فتوسنتز رابطه مستقیم دارد.** یعنی هرچه مقدار CO_2 بالاتر رود، شدت فتوسنتز و ساخت مواد آلی نیز بیشتر می‌شود. **البته لازم به ذکر است که افزایش CO_2 تا هنگامی بر شدت فتوسنتز می‌افزاید که آنزیم‌های عمل‌کننده دارای جایگاه فعال خالی برای گرفتن CO_2 باشند.** پس هرگاه آنزیم‌ها از CO_2 اشباع شدند، افزایش CO_2 اثری بر شدت و مقدار فتوسنتز ندارد.

نکته



از آنجایی که در فتوسنتز، گیاهان O_2 تولید می‌کنند و این واکنش‌های سوخت‌وسازی جانداران از نوع برگشت‌پذیر می‌باشند، پس مقدار O_2 محیط نیز در شدت فتوسنتز مؤثر است و با آن رابطه عکس دارد (O_2 محیط روی شدت تنفس هوازی اثر مثبت ولی روی شدت فتوسنتز تأثیر منفی دارد. البته در گفتار ۳ این مطلب را دوباره خواهید خواند).

● (ب) آب

گیاه، آب را از خاک و از طریق تارهای کشنده خود جذب می‌کند و از طریق مسیرهای **سیمپلاستی، عرض غشایی و آپوپلاستی** در عرض ریشه عبور می‌دهد تا به آوندهای چوبی برسد و از آنجا به محل فتوسنتز که اغلب برگ‌ها می‌باشد، صعود می‌کند. **آب** در واکنش فتوسنتزی گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری‌ها به عنوان **دهنده اصلی الکترون‌ها و پروتون‌های** واکنش می‌باشد و اکسیژن آزاد شده نیز از تجزیه آب ایجاد می‌شود.

همان‌طور که گفتیم تجزیه آب در فتوسنتز توسط انرژی نور خورشید صورت می‌گیرد و این الکترون‌ها و پروتون‌ها که انرژی نور خورشید را در خود ذخیره کرده‌اند، در نهایت برای تولید قند به مولکول CO_2 می‌رسند. (مثلاً **اکسیرن در مولکول قند یا آب تولید شده در واکنش‌های فتوسنتز از مولکول CO_2 می‌باشد.**)

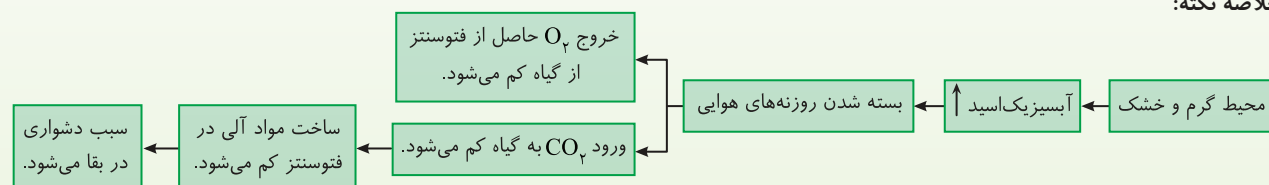
نکته

خزه‌گیان ریشه ندارند و آب و سایر مواد محلول مورد نیاز را با انتشار و اسمز از خاک به دست می‌آورند.

نکته

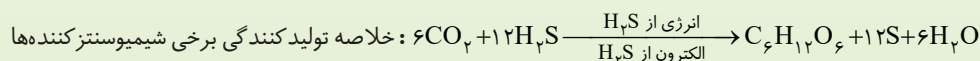
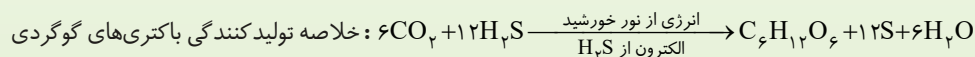
در محیط گرم و خشک (کم‌آب)، به دلیل اینکه جبران آب از دست داده به سختی صورت می‌گیرد، ابتدا تولید هورمون **آبسیزیک اسید** در گیاه بالا رفته، این هورمون با کاهش فشار تورژسانس در یاخته‌های نگهبان روزنه، سبب بسته شدن روزنه‌های هوایی می‌شود تا گیاه آب خود را حفظ کند. وقتی روزنه‌های هوایی مسدود می‌شوند، ورود CO_2 نیز در گیاه کم می‌شود که این حالت سبب کاهش فتوسنتز و ساخت مواد آلی در گیاه می‌شود. **به همین دلیل در محیط گرم و خشک و کم‌آب، تنوع گیاهان نیز کم می‌باشد** و فقط برخی گیاهان که در گفتار ۳ بررسی می‌کنیم به دلیل سازش‌های خود توانایی رشد و تکامل مناسب‌تری دارند.

خلاصه نکته:



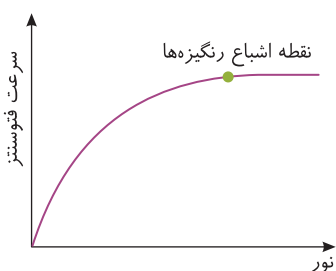
نکته

باکتری‌های گوگردی فتوسنتزکننده و باکتری‌های شیمیوسنتزکننده نیز قادرند CO_2 را از حالت گازی درآوردند و در ماده آلی قندی تثبیت کنند ولی برای تأمین الکترون‌ها و پروتون‌های واکنش خود از آب استفاده نمی‌کنند و O_2 نیز تولید نمی‌کنند بلکه به آزادسازی گوگرد می‌پردازند.



تفاوت این دو گروه قطعاً در **منبع انرژی** آن‌ها است ولی منبع **الکترون** در باکتری‌های گوگردی و برخی شیمیوسنتزکننده‌ها از مولکول معدنی H_2S می‌باشد.

● (ج) نور خورشید (محسوس‌ترین عامل مؤثر در فتوسنتز)

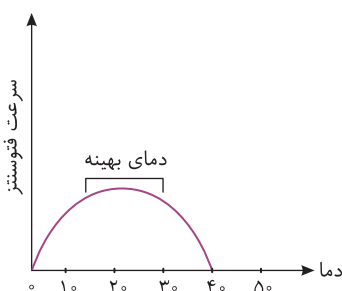


همان‌طور که تا به اینجا بارها ذکر کرده‌ایم، فتوسنتز واکنشی انرژی‌خواه می‌باشد که منبع انرژی آن، نور خورشید می‌باشد. در حقیقت **فتوسنتز فرایندی است که انرژی نور خورشید را در مواد شیمیایی ذخیره می‌کند.** شدت فتوسنتز با **شدت و مدت زمان** تابش خورشید رابطه **مستقیم** دارد. از آنجایی که نور خورشید باید توسط مولکول‌هایی به نام **رنگیزه** جذب شود، پس تا جایی که رنگیزه‌های گیرنده نور، اشباع شوند، شدت فتوسنتز افزایش می‌یابد ولی شدت نور بالاتر از آن حد، بر مقدار فتوسنتز تأثیر محسوسی ندارد.

نکته

همان‌طور که در فیزیک خوانده‌اید، نور **مرئی** خورشید آمیخته‌ای از ۷ رنگ مختلف می‌باشد. همه طول موج‌ها و رنگ‌های نور مرئی خورشید در فتوسنتز مؤثر است ولی بیشترین تأثیر را طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر در رنگ **بنفش و آبی** و طول موج‌های ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در رنگ‌های **نارنجی و قرمز** دارند. این طول موج‌ها از همه بیشتر توسط رنگیزه‌های مختلف فتوسنتزی جذب می‌شوند. (در قسمت رنگیزه‌ها بیشتر به این مطلب می‌پردازیم.)

● (د) دمای محیط



از آنجایی که هر واکنش متابولیسمی درون جانداران، توسط آنزیم‌ها، کاتالیزور انجام می‌شود، فتوسنتز نیز توسط آنزیم‌های متنوعی در درون یاخته انجام می‌شود. ساختار سه‌بعدی این آنزیم‌های پروتئینی نیز مانند سایر پروتئین‌ها در دمای بالا تغییر می‌یابد و غیرفعال می‌شوند. به همین دلیل بهینه‌ترین دما برای انجام فتوسنتز در گستره خاصی که آنزیم‌های جاندار فعالند، صورت می‌گیرد.

بررسی تأثیر عوامل درونی گیاه در فتوسنتز

به طور کلی فتوسنتز در اندام‌های سبز و کلروپلاست‌دار (سبزپرها) گیاه به ویژه در برگ‌ها انجام می‌شود. بدیهی است که هرچه سطح پهنک برگ و مقدار سبزدیسه‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی آن بیشتر باشد، هم تعداد روزنه‌ها برای ورود CO_2 بیشتر می‌شود و هم عمل فتوسنتز و جذب نور با شدت بیشتری صورت می‌گیرد.

الف) برگ گیاهان نهاندانه

برگ در اکثر گیاهان، مناسب‌ترین و تخصصی‌ترین ساختار فتوسنتزی می‌باشد که تعداد فراوانی کلروپلاست (سبزپرها) در اغلب یاخته‌های آن وجود دارد. خزه‌گیان برگ، ریشه و ساقه ندارند و از طرفی گیاهان انگل نیز توانایی فتوسنتز ندارند.

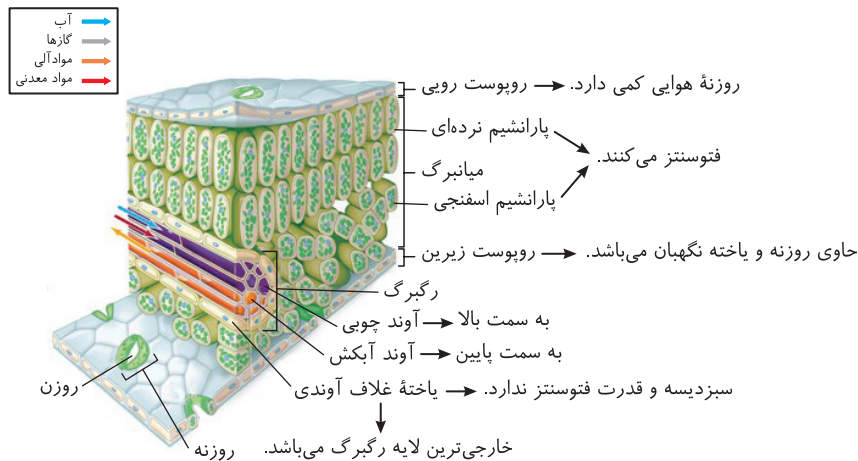
● ساختار برگ در نهاندانگان

در نهاندانگان **دولپه‌ای** برخلاف تک‌لپه‌ای‌ها، برگ دارای **دم‌گ** می‌باشد. در برش عرضی، ساختار برگ در تک‌لپه‌ای و دولپه‌ای‌ها دارای سه قسمت **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی (رگبرگ)** می‌باشد که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم (لازم به توجه است که طبق متن کتاب درسی، ذکر شده که **دولپه‌ای‌ها پهنک و دم‌برگ دارند**).

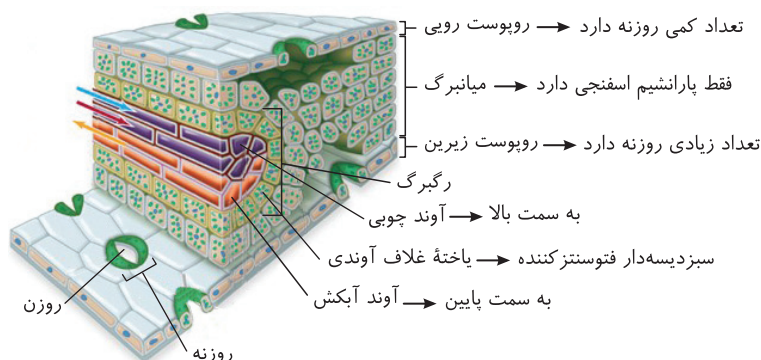
- معمولاً از یک لایه یاخته‌ای در سطح بالایی (روک برگ) و یک لایه یاخته‌ای در سطح زیرین برگ ایجاد شده است.
- تعداد روزنه‌های هوایی در سطح زیرین بیشتر از روپوست فوقانی می‌باشد. (روپوست روپوش در برگ **دولپه‌ای‌ها**، روزنه هوایی کمی دارند).
- در سطح خارجی یاخته‌های روپوستی برگ، پوستکی از مواد لیپیدی نازک یا ضخیم وجود دارد.
- کرک ← سبزدیسه ندارد، با حفظ رطوبت در اطراف روزنه‌ها، سبب ممانعت از بخار آب می‌شود و نقش محافظ را دارد.
- یاخته‌های روپوستی
 - نگهبان‌های دو طرف روزنه هوایی ← سبزدیسه دارند و سبب تنظیم باز و بسته شدن روزنه هوایی می‌شوند.
 - یاخته‌های دیگر ← سبزدیسه ندارند و در اطراف یاخته‌های نگهبان و دیگر یاخته‌ها قرار دارند (مثلاً **تَشَحُّر ترشح دارند**).
- یاخته‌هایی فتوسنتزکننده از بافت پارانشیمی دارد.
- میانبرگ **نرده‌ای** یاخته‌هایی **استوانه‌ای به هم فشرده** می‌باشند که به صورت چند لایه به سمت روپوست رویی دولپه‌ای‌ها قرار گرفته‌اند.
- میانبرگ **اسفنجی** یاخته‌هایی **گروی** با فضای بین‌یاخته‌ای زیاد هستند این یاخته‌ها در میانبرگ دولپه‌ای‌ها به سمت روپوست زیرین قرار گرفته‌اند ولی در برگ تک‌لپه‌ای‌ها، کل فضای میانبرگ آن‌ها را اشغال کرده است.

نکته

فضای بین یاخته‌های اسفنجی میانبرگ‌ها، اشباع شده از بخار آب می‌باشد.



«الف) گیاه دولپه»



«ب) گیاه تک‌لپه»

• به دسته‌های آوندی برگ‌ها، رگبرگ می‌گویند.

- در رگبرگ نهاندانگان، دور آوندهای چوبی و آبکش، **یک لایه** یاخته‌ای محافظ آوندها به نام **غلاف آوندی** وجود دارد.
- رگبرگ آوندهای چوبی رگبرگ در سطح بالاتری از رگبرگ قرار دارند که مسئول انتقال شیره **خام** به بخش فتوسنتزکننده برگ می‌باشند.
- آوندهای آبکش در سطح تحتانی رگبرگ مسئول انتقال شیره **پروبرده** ساخته شده در برگ به همه جای گیاه می‌باشند.
- غلاف آوندی در برگ دولپه‌ای‌ها **فاقد سبزدیسه** بوده ولی در تک‌لپه‌ای‌ها، **سبزدیسه‌دار** و **فتوسنتزکننده** می‌باشد.

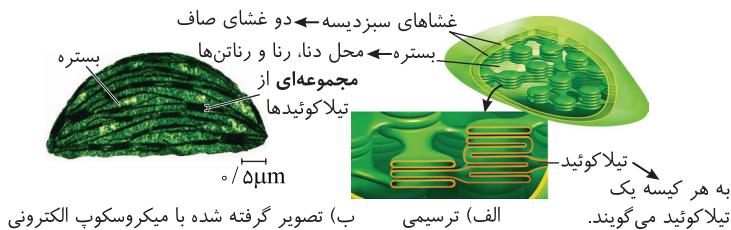
چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

- ۱) رگبرگ، در بین میانبرگ قرار گرفته است، پس در تک‌لپه‌ای‌ها، هر سه بخش برگ، واجد یاخته فتوسنتزکننده می‌باشد.
- ۲) خروج آب به همراه ورود و خروج O_2 و CO_2 از راه روزنه‌های هوایی صورت می‌گیرد.
- ۳) در برگ نهاندانگان، روزنه‌های هوایی در مجاورت فضای بین یاخته‌های اسفنجی میانبرگ می‌باشند تا بخار آب و گازهای تنفسی را از آن‌ها با محیط اطراف مبادله کنند. به دلیل وجود لایه‌های نرده‌ای فشرده در سطح فوقانی میانبرگ دولپه‌ای‌ها، گازهای تنفسی و بخار آب در بین آن‌ها فضایی برای تجمع ندارند و رویوست روی آن‌ها نیز معمولاً روزنه هوایی و یاخته نگهبان کمی دارند.
- ۴) یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی میانبرگ و یاخته نگهبان روزنه، در اغلب گیاهان، سبزدیسه‌دار فتوسنتزکننده می‌باشند ولی غلاف آوندی معمولاً فقط در برگ تک‌لپه‌ای‌ها دارای قدرت فتوسنتز می‌باشد. (در مورد استثنایات گیاهان و یا ضمیمه‌های فتوسنتزکننده در گفتار ۳ در مورد گیاهان C_3 و C_4 می‌خوانیم).

ب) ساختار سبزدیسه (کلروپلاست)

واکنش‌های فتوسنتزی یوکاریوت‌ها، درون اندامکی به نام سبزدیسه (*کلروپلاست*) صورت می‌گیرد. این اندامک در برخی یاخته‌های گیاه مثل غلاف آوندی برگ تک‌لپه‌ای‌ها، یاخته‌های نگهبان روزنه هوایی، میانبرگ نرده‌ای و اسفنجی وجود دارد که با رنگیزه‌های خود نور خورشید را جذب می‌کنند.

- **دو** غشای صاف دارد که کمی از هم فاصله دارند ولی این غشاها در واکنش‌های فتوسنتزی نقشی ندارند.
- غشای بیرونی صاف که از **خارج** در تماس با ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم می‌باشد.
- غشای درونی صاف که از **داخل** در تماس با بستره اندامک می‌باشد.



- ساختارهایی از جنس **غشا** و کیسه مانند می‌باشد.
- فضای **درون** سبزدیسه را به دو بخش درون تیلاکوئید و بستره تبدیل می‌کند.
- هر تیلاکوئید، کیسه‌ای است که به سایر تیلاکوئیدهای **مجاور** خود متصل است.
- سامانه‌های جذب نور خورشید (*فوتوسنتز*) و برخی واکنش‌های فتوسنتزی در آن‌ها قرار دارند.
- نقشه در فتوسنتز ندارند.
- فضای بین دو غشای صاف سبزدیسه
- فضای درون تیلاکوئیدها
- فضای سبزدیسه
- فضاهای ایجاد شده توسط تیلاکوئیدها
- مستقل یا همراه هسته می‌تواند تقسیم شود.
- برخی پروتئین‌های مورد نیاز خود را از سیتوپلاسم و رمزگردانی توسط DNA هسته می‌گیرند.
- همانند راکیره، برخی پروتئین‌های مورد نیاز خود را می‌سازند و تقسیم دوتا شدن بدون چرخه میتوز و نقاط واریسی دارند.
- نقشه در فتوسنتز ندارند.
- فضای بیرون تیلاکوئید
- محل تجمع H^+ در واکنش‌های نوری می‌باشد. (pH پایین دارد).
- درونی‌ترین فضای سبزدیسه می‌باشد.
- حاوی DNA می‌باشد ← همانندسازی و رونویسی دارد.
- RNA دارد ← ۳ نوع RNA در آن ایجاد می‌شود.
- بستره سبزدیسه رناتن مخصوص دارد ← عمل ترجمه یا پروتئین‌سازی دارد.
- واکنش‌های **مستقل** از نور فتوسنتز برای ساخت قند در آن صورت می‌گیرد.

جدول مقایسه میتوکندری (راکیزه) و کلروپلاست (سبزیه):

سبزیسه (کلروپلاست)	راکیزه (میتوکندری)
دو غشای صاف فاصله‌دار از هم دارد.	غشای بیرونی صاف و غشای درونی چین خورده با فاصله از هم دارد.
<p>سه فضا دارد</p> <ul style="list-style-type: none"> بین دو غشا بستره درون تیلکوئید که پر از H^+ می‌باشد. 	<p>دو فضا دارد</p> <ul style="list-style-type: none"> بین دو غشا که پر از H^+ است چین خوردگی غشای درونی به سمت بستره می‌باشد.
مسئول کل واکنش‌های فتوسنتزی در یوکاریوت‌هاست.	مسئول بخش هوازی تنفس یاخته‌ای است.
در بستره، DNA حلقوی، RNA و رنتان دارد.	در بستره، DNA حلقوی، RNA و رنتان دارد.
مستقل از یاخته نیز می‌تواند تقسیم شود.	مستقل از یاخته نیز می‌تواند تقسیم شود.
<ul style="list-style-type: none"> کيسه‌های غشایی متصل به هم به نام تیلکوئید دارد. CO_2 و آب می‌گیرد و O_2 آزاد می‌کند تا مواد آلی بسازد. 	<ul style="list-style-type: none"> O_2 می‌گیرد و ضمن تجزیه مواد آلی به تولید CO_2 و ATP می‌پردازد.

تست ۴ در میانبرگ گیاهی که ساقه آن فقط یک دایره حاوی دستجات آوندی قطعاً پارانشیم‌های در مجاورت اپیدرم (روپوست) قرار گرفته است.

- (۱) دارد - نرده‌ای - یک
 (۲) ندارد - نرده‌ای - یک
 (۳) دارد - اسفنجی - هر دو
 (۴) ندارد - اسفنجی یا نرده‌ای - هر دو

پاسخ ۱ در مورد گیاهان دولپه‌ای دانستن ۸ ویژگی اختصاصی برای کنکور شما لازم است:

- گیاهان دولپه‌ای، دانه بالغ و بدون آندوسپرم دارند (فصل ۸ یازدهم).
- برگ گیاهان دولپه‌ای پهنک و دم‌برگ دارد.
- در ساقه خود فقط یک دایره از دستجات آوندی دارد (فصل ۶ رهم).
- پارانشیم نرده‌ای چندلایه‌ای به هم فشرده در مجاور روپوست روی برگ آن‌ها وجود دارد.
- غلاف آوندی برگ آن‌ها سبزیسه ندارد.
- در برش عرضی ریشه آن‌ها، پوست بیشترین فضا را دارد و آوندهای نخستین آن‌ها به صورت یک در میان قرار گرفته‌اند (فصل ۶ رهم).
- کامبیوم یا همان مریستم پسین برای رشد ثانویه قطری می‌توانند داشته باشند (فصل ۶ رهم).
- روپوست بالایی برگ آن‌ها، روزنه هوایی کمتری به نسبت روپوست زیرین دارد.

تست ۵ محل انجام فتوسنتز در جاندار دارای قطعاً با اسپروژیر است.

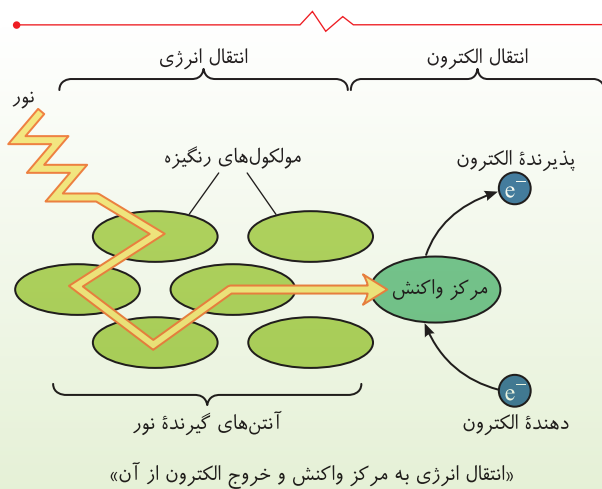
- (۱) آندوسپرم - متفاوت
 (۲) هیستون - متفاوت
 (۳) ژن سازنده پروتئین مهارکننده ژنی - یکسان
 (۴) سه نوع رنابسپاراز - یکسان

پاسخ ۴ اسپروژیر نوعی یوکاریوت آغازی بوده که جلبک سبز پریاخته‌ای است. محل انجام فتوسنتز در آن، اندامک کلروپلاست (سبزیه) است، ولی فتوسنتز پروکاریوت‌ها در غشا و سیتوپلاسم یاخته‌ای انجام می‌شود. یاخته‌ای که سه نوع رنابسپاراز یا هیستون یا آندوسپرم دارد، قطعاً یوکاریوت است که نوع فتوسنتزکننده آن حاوی سبزیسه می‌باشد ولی ژن ساخت پروتئین مهارکننده و فعال‌کننده در پروکاریوت‌ها وجود دارد.

ج) سامانه جذب نور خورشید و تبدیل انرژی (فتوسیستم‌ها)

در غشای تیلکوئیدها، سامانه‌هایی برای تبدیل انرژی به نام **فتوسیستم‌ها** وجود دارند که حاوی **مقداری رنگیزه و انواعی از پروتئین‌ها** می‌باشند. این ساختارها که به دو نوع **فتوسیستم ۱ و ۲** نام‌گذاری شده‌اند، **مسئول جذب نور خورشید و شروع واکنش‌های فتوسنتزی** می‌باشند. هر فتوسیستم شامل **دو قسمت** می‌باشد. **قسمت اول**، آنتن‌های گیرنده نور می‌باشند که **هر آنتن**، رنگیزه‌های **متفاوت** سبزینه‌ای (سبزینه a و b) و کاروتنوئیدی به همراه **انواعی از پروتئین‌ها** دارد. آنتن‌ها توسط **همه** رنگیزه‌های خود و برحسب تمایل آن‌ها به طول موج خاصی، نور مناسب را از خورشید جذب می‌کنند. **قسمت دوم** هر فتوسیستم از یک **مرکز واکنش** تشکیل شده است که **فقط حاوی یک نوع رنگیزه** به نام **سبزینه a** می‌باشد که در **بستری پروتئینی** قرار گرفته است.

آنتن‌های گیرنده نوری در هر فتوسیستم بعد از اینکه با انواع رنگی‌های خود انرژی نور خورشید را گرفتند، این انرژی را همه با هم به رنگی‌ه سبزینه a موجود در بخش **مرکز واکنش** منتقل می‌کنند. (در گفتار بعد به‌طور مفصل درباره نحوه انتقال الکترون و انرژی در فتوسیستم بحث می‌کنیم!)

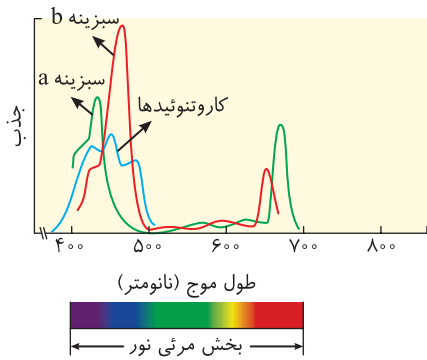


- در یوکاریوت‌ها همگی در فتوسیستم‌های قرار گرفته در غشای تیلاکوئید واقع می‌باشند ولی در پروکاریوت‌ها، در غشای خود یاخته وجود دارند.
- سبزینه‌ها، بیشترین و مؤثرترین رنگی‌ه‌های موجود در سبزی‌دیس‌ها یا کلروپلاست‌ها می‌باشند.
- سبزینه‌ها به همراه کاروتنوئیدها مسئول جذب طول موج‌های مختلفی از نور خورشید هستند.
- رنگی‌ه‌های سبزینه‌ای و کاروتنوئیدی، در بخش آنتن‌های گیرنده نوری فتوسیستم در کنار هم قرار دارند.

بیشترین و مهم‌ترین رنگی‌ه‌های فتوستتزی هستند.

- در مرکز واکنش و آنتن‌های فتوسیستم وجود دارد.
- مهم‌ترین رنگی‌ه فتوستتزی می‌باشد.
- در رنگ **بنفش و قرمز** بیشترین جذب نور را دارند.
- در مرکز واکنش فتوسیستم‌های ۱ و ۲، به P۶۸۰ و P۷۰۰ معروفند.
- فقط در بخش آنتن‌های فتوسیستم قرار دارند.
- بیشترین جذب آن‌ها در **نور آبی** می‌باشد.

در گیاهان دو نوع سبزینه وجود دارد



«طیف جذبی رنگی‌ه‌های فتوستتزی»

بیشترین توانایی جذب نوری آن‌ها در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر (بنفش و آبی) و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (نارنجی و قرمز) می‌باشد.

رنگی‌ه‌های فتوستتزی

• دلیل سبز دیدن برگ درختان، مقدار زیاد سبزینه آن‌هاست که رنگ سبز را منعکس می‌کنند و بازتاب آن توسط رنگی‌ه‌های درون چشم ما جذب می‌شود.

- در **سبزی‌دیس‌ه و رنگ‌دیس‌ه‌های دیگر** وجود دارند.
- جزء مواد **پاداگسند** می‌باشند که قدرت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد سرطان‌زا را راکیزه و سایر قسمت‌ها را دارند.
- بیشترین قدرت جذب نوری را در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و برای رنگ‌های **سبز و آبی** دارند.
- در آنتن‌های گیرنده نور فتوسیستم‌ها در مجاورت سبزینه‌ها قرار دارند.
- در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها وجود **ندارند**.
- به دلیل عدم جذب زیاد رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز، این رنگی‌ه‌ها به این سه رنگ دیده می‌شوند.
- کاروتن‌های نارنجی که در **یاخته‌های ریشه گیاه هویج** فراوان است در **رنگ‌دیس‌ه‌ها** تراکم یافته‌اند.
- در سبزی‌دیس‌ه‌ها، کاروتنوئیدها توسط سبزینه‌ها پوشیده می‌شوند.

• برحسب شرایط محیطی مختلف مثل کاهش طول روز و کم شدن نور در پاییز، **سبزینه** برگ‌ها می‌توانند **تجزیه** شوند و مقدار کاروتنوئیدها در پلاست‌ها زیاد می‌شود.

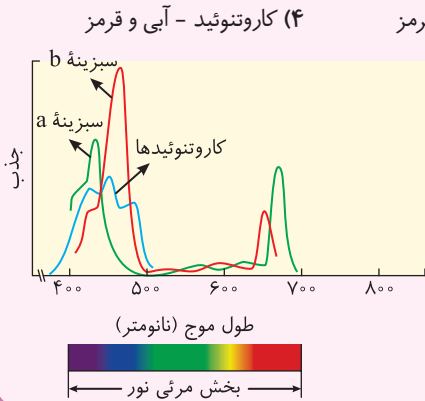
تست ۶

نور آبی و سبز بیشتر توسط جذب می‌شود در حالی که سبزینه b، بیشتر نور را منعکس می‌کند.

پاسخ ۲

۱) سبزینه a - سبز و زرد
 ۲) کاروتنوئید - سبز و زرد
 ۳) سبزینه a - آبی و قرمز
 ۴) کاروتنوئید - آبی و قرمز

نور آبی در حد فاصل طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر قرار دارد که توسط سبزینه‌های a و b و کاروتنوئیدها، جذب مناسبی دارد ولی نور زرد که در حد فاصل ۵۵۰ تا ۶۰۰ نانومتر می‌باشد، توسط هر سه نوع رنگیزه جذب مناسبی نداشته و بیشتر منعکس می‌شود (البته این تست را بدون توجه به نمودار و فقط با بلد بودن متن کتاب درسی نیز می‌شد حل کرد).



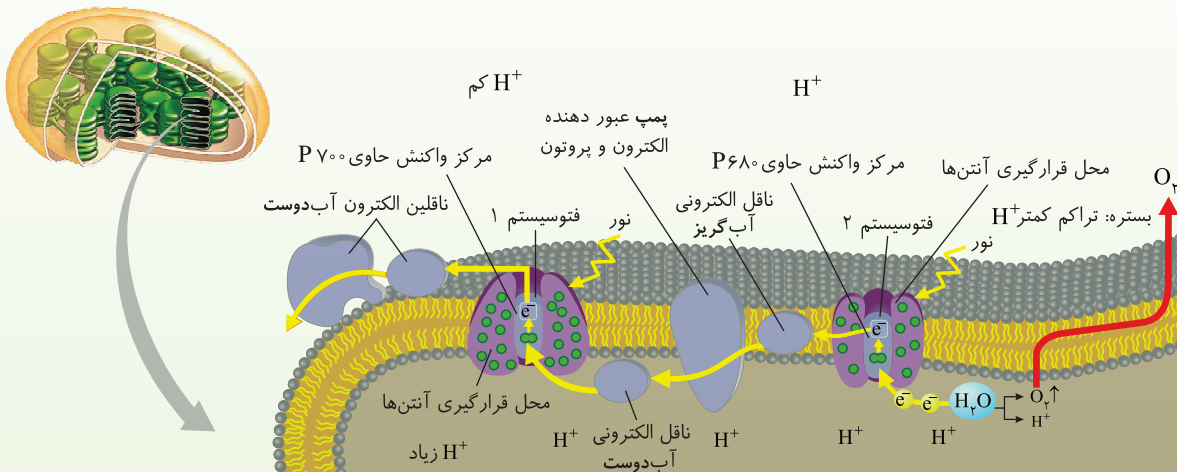
انواع فتوسیستم‌ها

نهایتاً: مقداری از مطالب این قسمت به گفتار ۲ کتاب مربوط است که دوباره توضیح داده خواهند شد.

تفاوت دو نوع فتوسیستم ۱ و ۲ قرار گرفته در غشای تیلاکوئیدها، در نوع سبزینه a موجود در مرکز واکنش آن‌ها می‌باشد. در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، نوعی سبزینه a وجود دارد که در طول موج ۷۰۰ نانومتر (قرمز) حداکثر جذب را دارد به همین دلیل به سبزینه یا کلروفیل a موجود در فتوسیستم ۱، واژه دیگری به نام P۷۰۰ نیز اطلاق می‌شود. در حالی که سبزینه یا کلروفیل a موجود در مرکز واکنش فتوسیستم ۲، نام دیگری نیز به صورت P۶۸۰ دارد که حداکثر جذب انرژی خود را در طول موج ۶۸۰ نانومتر انجام می‌دهد.

چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

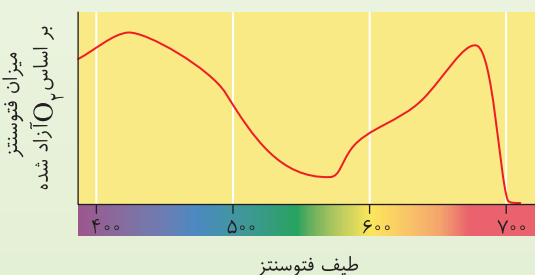
- این دو رنگیزه (سبزینه P۶۸۰ و P۷۰۰) مسئول خروج الکترون‌های پراثری از فتوسیستم‌ها نیز می‌باشند که در گفتار بعدی به‌طور مفصل در مورد کار آن‌ها بحث می‌کنیم. لازم به ذکر است که انرژی لازم برای خروج این الکترون‌ها را همه رنگیزه‌ها فراهم کرده‌اند.
- در غشای تیلاکوئیدها، بین دو فتوسیستم ۱ و ۲، مولکول‌هایی پروتئینی به نام ناقل الکترون نیز وجود دارند که همانند فتوسیستم‌ها می‌توانند الکترون بگیرند یا از دست بدهند (یعنی با گرفتن الکترون، کاهش می‌یابند و با از دست دادن الکترون، اکسید می‌شوند یا آکسید می‌یابند).



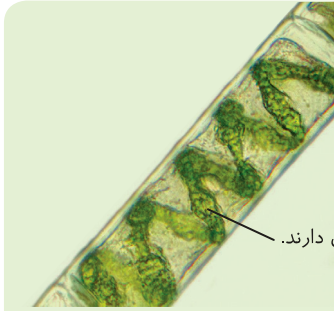
«طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون بین آن‌ها»

۳) امیدوارم به خاطر داشته باشید که منشأ همه پروتون‌ها و الکترون‌های فتوسنتزی، در گیاهان، آغازیان و سیانوباکتری‌ها، مولکول آب می‌باشد.

۴) نمودار روبه‌رو نشان می‌دهد که در هر طیف نور مرئی، گیاه قادر به فتوسنتز و آزاد کردن O_۲ می‌باشد ولی بیشترین شدت فتوسنتز و O_۲ تولیدی در هنگامی صورت می‌گیرد که گیاه رنگ‌های دو انتهای طیف نور مرئی خورشید یعنی از طول موج زیاد در قرمز، نارنجی، آبی و بنفش (اکتدریس طول موج) را جذب کند. (همان‌طور که می‌دانید بخش مرئی نور، فقط بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس می‌باشد).



۵) اسپروژیر، جلبک سبز رشته‌ای پریاخته‌ای می‌باشد که همانند گیاهان، فتوسنتز می‌کند و از آب به عنوان منبع الکترون استفاده می‌کند. این جلبک، سبز دیسه‌های نواری درازی حاوی انواع رنگیزه‌ها را دارد ولی همانند گیاهان در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر قدرت فتوسنتز بیشتری دارد.



سبز دیسه نواری دارند.

«اسپیروژیتر»

۶ طول هر یاخته این جلبک، بیش از ۱۰۰ میکرومتر است ولی اندازه این جلبک که آغازی پریاخته‌ای است، بسیار بیشتر است.

سؤال: چرا اغلب گیاهان را به رنگ سبز می‌بینیم یا میوه گوجه‌فرنگی رسیده را قرمز رنگ می‌بینیم؟

پاسخ: همان‌طور که گفته شد، هر رنگیزه‌ای یک‌سری طول موج‌ها را بیشتر جذب کرده و یک‌سری از طول موج‌ها را نیز بازتاب می‌کند که جذب کمتری برای آن‌ها دارد. رنگیزه‌ها از انرژی طول موج‌های جذب شده، در واکنش‌های خود استفاده می‌کنند. به دلیل اینکه در گیاهان، مقدار رنگیزه **سبزینه** از سایر رنگیزه‌ها بیشتر است. این رنگیزه به‌طور ویژه طول موج‌های مربوط به رنگ‌های **قرمز، نارنجی، آبی، و بنفش** را جذب کرده ولی نور سبز را بیشتر منعکس می‌کند، پس بازتاب زیاد رنگ سبز توسط این رنگیزه‌های گیاهی، سبب جذب نور سبز توسط رنگیزه‌های چشم انسان شده و گیاهان را بیشتر به رنگ سبز مشاهده می‌کنیم.

در مورد میوه گوجه‌فرنگی نیز چون رنگیزه لیکوپن (**قرمز**) زیادی در کروموپلاست (**رنگ‌رسم**) آن‌ها دیده می‌شود، پس انعکاس زیاد رنگ قرمز در مقابل جذب سبز و آبی، سبب دیده شدن آن‌ها به رنگ قرمز می‌شود.

نتیجه: هر جسمی به رنگی دیده می‌شود که اغلب رنگیزه‌های آن جسم، آن رنگ یا طول موج مربوط به آن را منعکس می‌کنند.

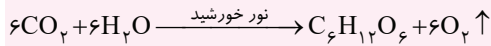


درسنامه

واکنش‌های فتوسنتزی

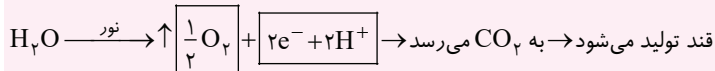
گفتار ۲

در این گفتار می‌خواهیم به بررسی جزئیات واکنش‌های فتوسنتزی گیاهان در هر مرحله آن بپردازیم. در ابتدا باید یادآوری کنیم که هر واکنش فتوسنتزی فقط در حضور نور انجام می‌پذیرد چون انرژی این واکنش‌ها از نور خورشید تأمین می‌شود. حالا که در گفتار اول، عوامل مورد نیاز در فتوسنتز و کلیات واکنش را شناختیم، بهتر است یک‌بار دیگر به فرمول خلاصه شده فتوسنتز در گیاهان بپردازیم:



اگر بخواهیم یک‌بار دیگر واکنش‌های فتوسنتز گیاهان را به‌طور کلی بیان کنیم، باید ذکر شود که در این واکنش ابتدا باید با استفاده از نور خورشید، مولکول‌های آب تحت تجزیه نوری قرار گیرند تا اکسیژن آن‌ها آزاد شود. $(\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+)$

پس باید طی سلسله مراتبی الکترون‌های پرانرژی و پروتون‌های حاصل از تجزیه آب، به مولکول CO_2 رسانده شده تا کاهش یابد (به آن الکترون‌رسانه شورا). در نهایت، این سلسله مراتب سبب تولید مولکول آل‌هیدرات کربنی می‌شود. در این واکنش‌ها، آب در حقیقت دهنده اصلی الکترون و پروتون بوده و CO_2 گیرنده اصلی آن‌ها می‌باشد.



واکنش‌های فتوسنتزی در یوکاریوت‌ها

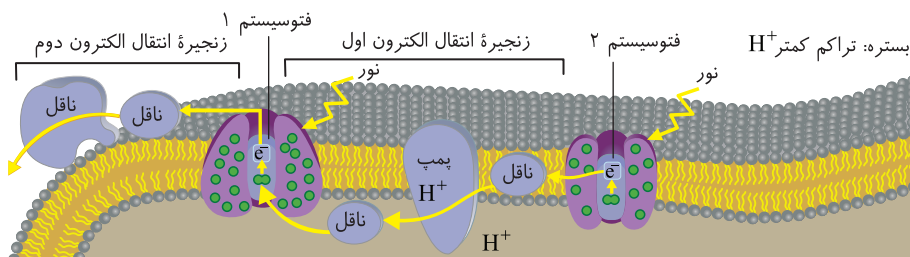
واکنش‌های فتوسنتزی به دو گروه تقسیم می‌شوند، گروه اول واکنش‌های وابسته به نور یا واکنش‌های تیلاکوئیدی می‌باشند که شروع آن‌ها در حضور نور انجام می‌پذیرد و گروه دوم، واکنش‌های مستقل از نور یا تثبیت‌کننده کربن CO_2 می‌باشند که قصد آن‌ها ساخت مواد آلی قندی است چون واکنش‌های مستقل از نور نیز محتاج به مصرف برخی محصولات مرحله نوری می‌باشند، واکنش‌های این مرحله نیز فقط در حضور نور انجام می‌شوند. در ادامه به‌طور دقیق به بررسی این واکنش‌ها، پیش‌ماده‌ها و محصولات آن‌ها می‌پردازیم.

بررسی کلی واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتزی = واکنش‌های تیلاکوئیدی

از آنجایی که نور خورشید، منبع انرژی برای واکنش‌های فتوسنتزی می‌باشد، محققین با بررسی این واکنش‌ها، متوجه شدند که برخی واکنش‌های فتوسنتزی فقط در حضور نور انجام می‌شوند و یا به عبارتی دیگر برای انجام آن محتاج به حضور نور می‌باشند. این واکنش‌ها که به تجزیه آب، آزاد کردن O_2 و فعالیت زنجیره‌های انتقال الکترون می‌انجامند، همگی به کمک عوامل تیلاکوئیدی گیاهان رخ می‌دهند. انجام واکنش‌های نوری (تیلاکوئیدی)، مستقل از CO_2 می‌باشند (یعنی بدون نور CO_2 ، مستقیماً در انجام آن‌ها هیچ تأثیر است).

این واکنش‌ها از یک طرف سبب تولید و آزاد شدن O_2 می‌شوند و از طرف دیگر انرژی نوری خورشید را در مواد شیمیایی مثل ATP نوری و NADPH ذخیره می‌کنند تا از انرژی موجود در الکترون‌های آن‌ها در واکنش‌های قندسازی یا مستقل از نور استفاده شوند.

همان‌طور که در گفتار قبل توضیح دادیم در غشای تیلاکوئیدها، دو نوع سامانه تبدیل انرژی به نام فتوسیستم ۱ و ۲ وجود دارد که تفاوت آن‌ها در نوع سبزینه a مرکز واکنش‌های آن‌ها می‌باشد. (سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱ / P۷۰۰ و در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ / P۶۸۰ می‌باشد). در غشای تیلاکوئیدها، بین دو فتوسیستم ۱ و ۲ یک نوع زنجیره انتقال الکترون، حاوی مولکول‌های مخصوص انتقال الکترون و یک پمپ انتقال دهنده الکترون و پروتون وجود دارد. بعد از فتوسیستم ۱ نیز زنجیره انتقال الکترون دیگری وجود دارد که فقط حاوی یک سری مولکول‌های ناقل الکترون می‌باشد. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید در غشای تیلاکوئیدها، این دو زنجیره انتقال الکترون یکی بین فتوسیستم ۲ و ۱ بوده و دیگری بعد از فتوسیستم ۱ می‌باشد.



«طرحی از فتوسیستم‌ها و دو زنجیره انتقال الکترون در واکنش‌های نوری»

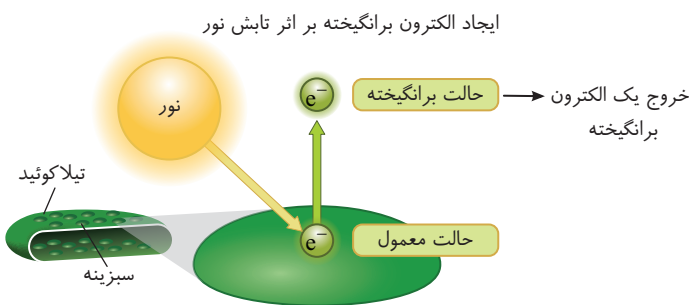
یادآوری ساختار فتوسیستم و بررسی فعالیت آن

در گفتار قبل گفتیم که در غشای تیلاکوئیدها، سامانه جذب انرژی یا فتوسیستم دارای یک بخش به نام **آنتن‌های گیرنده نوری** و یک بخش به عنوان **مرکز واکنش** می‌باشد. در آنتن‌ها، انواعی از رنگیزه‌های سبزینه‌ای و کاروتنوئیدی به همراه انواع پروتئین‌ها وجود دارند ولی در مرکز واکنش هر فتوسیستم، فقط سبزینه a خاص آن در بستری پروتئینی قرار گرفته است.

دقت کنید که همه رنگیزه‌های موجود در آنتن‌های فتوسیستم برحسب توانایی خود، در طول موج‌های خاصی از نور خورشید انرژی جذب می‌کنند. رنگیزه‌ها می‌توانند این انرژی را به همدیگر نیز منتقل کنند ولی همه در نهایت باید **مجموع انرژی‌های جذب شده خود را به سبزینه a** ($P680$ و $P700$) موجود در **مرکز واکنش** بدهند تا با خارج شدن الکترون $P680$ و $P700$ از فتوسیستم‌ها، فرایند زنجیره انتقال الکترون در فتوسنتز آغاز شود.

نکته مهم این است که همه رنگیزه‌ها و مولکول‌های پروتئینی درون آنتن‌ها و سبزینه‌های a که در مرکز واکنش قرار دارند، حاوی **الکترون** می‌باشند. این الکترون‌ها با گرفتن مقدار مشخصی انرژی می‌توانند به صورت **الکترون برانگیخته** از مدار خود خارج شوند و به انجام واکنش‌های نوری فتوسنتزی در غشای تیلاکوئیدها کمک کنند.

بررسی مراحل خروج الکترون‌ها از یک فتوسیستم

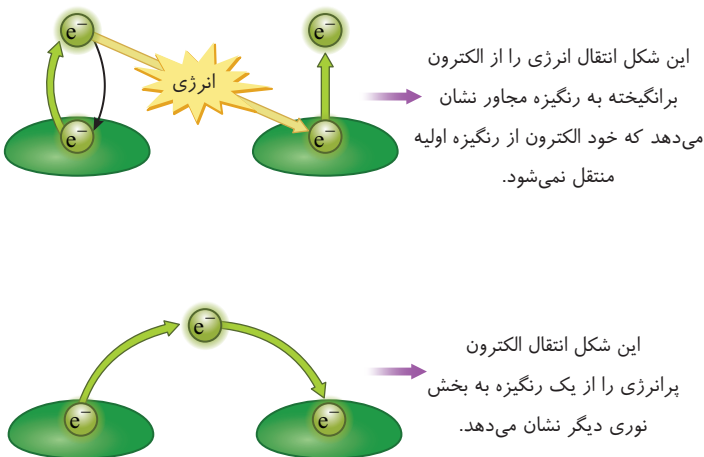


هر روز با طلوع خورشید، نور به رنگیزه‌های درون آنتن‌های هر فتوسیستم برخورد می‌کند. این رنگیزه‌ها، حاوی الکترون‌های ذخیره‌ای از مولکول‌های آب تجزیه شده روز قبل هستند که سطح انرژی آن‌ها با گرفتن طول موج‌هایی از نور، به تدریج بالاتر می‌رود. **اثر این الکترون‌ها انرژی مناسبی ذخیره کنند**، می‌توانند به صورت **الکترون برانگیخته** درآیند و از مدار خود **در آن رنگیزه** خارج شوند (دقت کنید که الکترون آنتن‌ها هیچ‌گاه از یک فتوسیستم خارج نمی‌شود بلکه فقط انرژی آن می‌تواند از آنتن خارج شود). شکل روبه‌رو ایجاد یک الکترون برانگیخته و خارج شده از مدار خود در یک فتوسیستم را نشان می‌دهد.

انواع مقصد الکترون برانگیخته شده

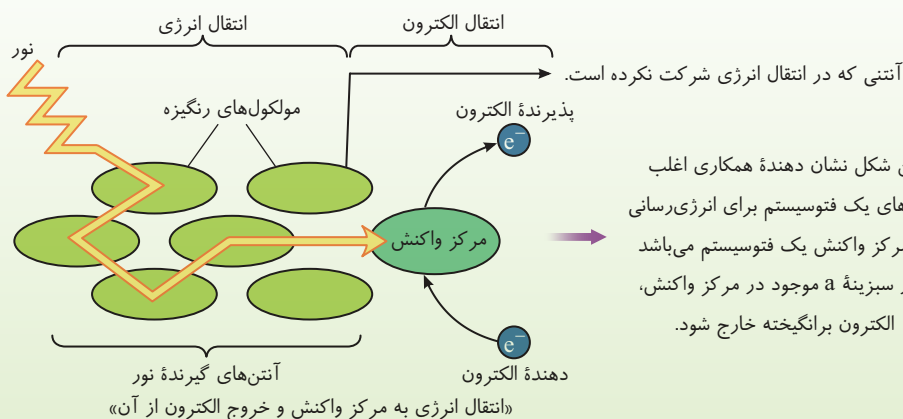
۱) درون فتوسیستم، پس از خروج الکترون‌های برانگیخته ممکن است دو حالت پیش آید. در حالت اول الکترون‌های برانگیخته، **فقط انرژی خود را به مولکول رنگیزه مجاور می‌دهند** و خودشان در همان رنگیزه دوباره با همان سطح انرژی معمولی قرار می‌گیرند. این کار سبب برانگیخته کردن الکترون‌ها در مولکول رنگیزه مجاور می‌شود. (لازم به ذکر است که خود این رنگیزه نیز با گرفتن نور خورشید، قبلاً مقداری انرژی گرفته بوده است و با گرفتن انرژی از مولکول مجاور می‌تواند سریع‌تر الکترون برانگیخته ایجاد کند).

۲) حالت دوم این است که وقتی الکترون برانگیخته از رنگیزه فتوسیستمی خارج می‌شود، کل الکترون به همراه انرژی آن به **مولکول پروتئینی یا رنگیزه مجاور در همان آنتن منتقل می‌شود**.

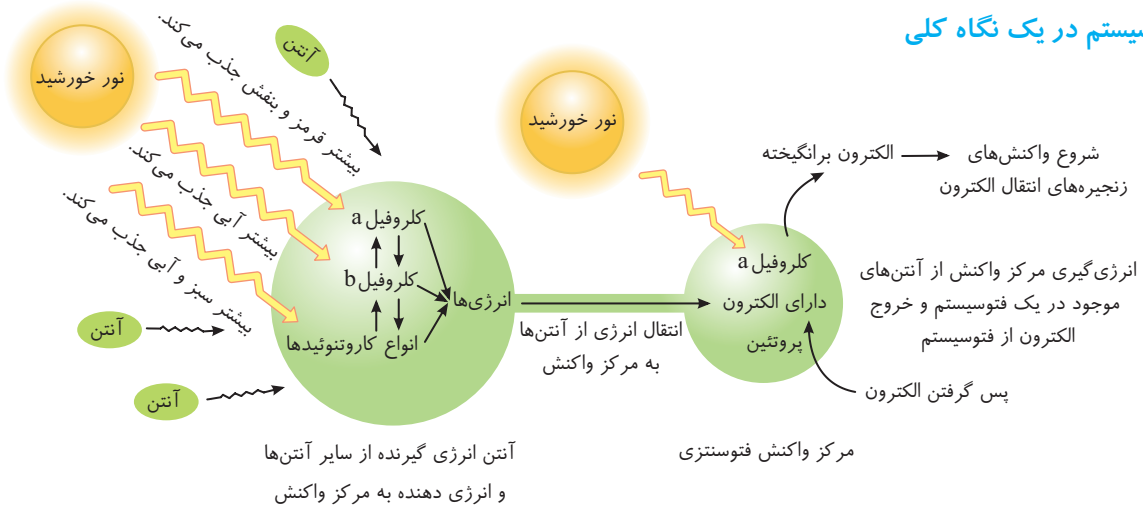


نکته

در هر فتوسیستم، در نهایت بالاخره **انرژی** گرفته شده توسط همه آنتن‌ها به **سبزینه a** واقع در **مرکز واکنش** آن فتوسیستم می‌رسد که سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینه a می‌شود. این الکترون‌ها از فتوسیستم ۱ یا ۲ خارج می‌شوند و واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون را شروع می‌کنند.



فتوسیستم در یک نگاه کلی



آنتن انرژی گیرنده از سایر آنتن‌ها و انرژی دهنده به مرکز واکنش

مرکز واکنش فتوستنتزی

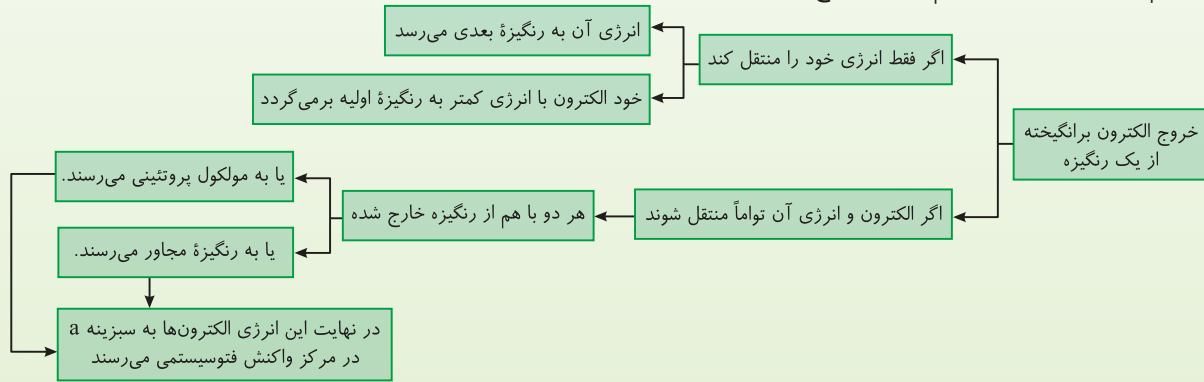
چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

۱ با طلوع خورشید به تدریج طول موج نورهای خورشید از زیاد به کم (در *نظر*) تبدیل می‌شود که با این کار انرژی نورها افزایش می‌یابد و الکترون‌های رنگیزه‌ها سریع‌تر به مدار پرانرژی‌تر و برانگیخته‌تر تبدیل می‌شوند (به همین دلیل گرمای *خورشید در وسط ظهر بیشتر از ابتدای سپیده‌دم حس می‌شود*).

نشیبه کبی: همه رنگیزه‌ها کنند یاری ← تا سبزینه a ول کند باری (e^-)

۲ در واکنش‌های فتوستنتزی هر رنگیزه یا مولکولی که الکترون از دست می‌دهد باید جای آن را با الکترون‌های دیگری پر کند تا این واکنش‌ها دائماً ادامه یابند.
 ۳ اگر الکترونی **فقط انرژی** خود را از دست بدهد و خودش به مدار قبلی در همان رنگیزه برگردد، انرژی خود را فقط به **رنگیزه** مجاور می‌دهد ولی اگر این الکترون برانگیخته دوباره به همان رنگیزه برگردد، می‌تواند توسط **مولکول‌های پروتئینی** درون فتوسیستمی یا **رنگیزه‌ها** گرفته شود. در نهایت **انرژی** مجموعه آنتن‌ها با خروج از یک آنتن به سبزینه a در مرکز واکنش منتقل شود تا الکترون این سبزینه a، ضمن برانگیخته شدن، این بار از کل فتوسیستم ۱ یا ۲ خارج شود و نوعی واکنش زنجیره انتقال الکترون را شروع کند.

۴ همان‌طور که ذکر کردیم در فتوستنتز، دو نوع زنجیره انتقال الکترون وجود دارد. الکترون‌های برانگیخته خارج شده از مرکز واکنش فتوسیستم ۲، سبب شروع زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم ۱ و ۲ می‌شوند ولی الکترون‌های خارج شده از PV_{700} در فتوسیستم ۱، سبب شروع واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون دوم می‌شوند که در فتوسیستم ۱ به بعد واقع شده‌اند.



۵ دقت کنید که بین دو آنتن و بین آنتن‌ها و مرکز واکنش، الکترونی منتقل نمی‌شود، بلکه فقط انرژی آنتن‌ها به یکدیگر و در نهایت به مرکز واکنش هر فتوسیستم منتقل می‌شود.

بررسی جزء به جزء واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون (واکنش‌های وابسته به نور یا تیلاکوئیدی)

در غشای تیلاکوئیدها دو **زنجیره انتقال الکترون** وجود دارد که فعالیت خود را تقریباً هم‌زمان آغاز می‌کنند. زنجیره انتقال الکترون اول بین فتوسیستم ۲ و ۱ قرار دارد که انرژی نوری جذب شده توسط فتوسیستم ۲ را صرف **تولید ATP نوری** پرانرژی می‌کند. زنجیره انتقال الکترون دوم بعد از فتوسیستم ۱ می‌باشد که انرژی نوری جذب شده را صرف **تولید ماده پر الکترون و پر انرژی NADPH** می‌کند که در ادامه به بررسی جزء به جزء آن‌ها می‌پردازیم.

انواع زنجیره انتقال الکترون تیلاکوئیدی

- زنجیره اول ← بین فتوسیستم ۲ و ۱ ← واکنش‌های آن به تولید O_2 و ATP نوری می‌پردازند.
- زنجیره دوم ← از انتهای فتوسیستم ۱ به بعد ← به تولید NADPH می‌پردازد.

در انتهای فتوستنتز، خواهید دید که ATP نوری و NADPH تولید شده در واکنش‌های نوری، سرانجام در واکنش‌های مستقل از نور، به مصرف می‌رسند تا به همراه CO_2 ، در تولید ماده آلی قندی شرکت کنند.

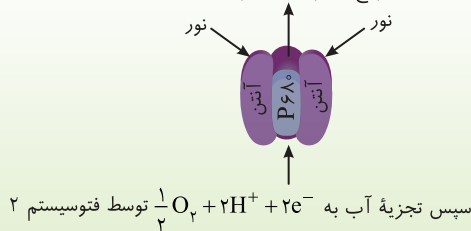
الف) واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون بین فتوسیستم ۲ و ۱ \leq تولید

همان‌طور که گفتیم واکنش‌های فتوسنتزی، از طلوع خورشید تا غروب آفتاب رخ می‌دهند. با طلوع خورشید و برخورد طول موج‌های نور خورشید به رنگیزه‌ها، همه رنگیزه‌های درون فتوسیستم ۲ و ۱ انرژی می‌گیرند. انرژی جذب شده در بین رنگیزه‌های آنتن‌ها، منتقل می‌شود تا در نهایت انرژی آن‌ها به رنگیزه مرکز واکنش فتوسیستم ۲ یعنی به $P680$ (سبزینه) و یا در مرکز واکنش فتوسیستم ۱ به $P700$ (سبزینه) منتقل شود. در این هنگام الکترون‌های برانگیخته پارانرژی از $P680$ و سپس $P700$ ، از فتوسیستم مربوط به آن‌ها خارج می‌شوند. در اثر خروج الکترون‌ها از فتوسیستم ۲، آنزیمی در این فتوسیستم که به سطح داخلی غشای تیلاکوئید نزدیک است، فعال شده و سبب تجزیه آب در فضای درون تیلاکوئید به صورت $(H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-)$ می‌شود. ضمن این عمل مقداری مولکول اکسیژن آزاد شده که با خروج از روزه‌های هوایی، عدسک‌ها و پوستک‌های گیاه وارد جو می‌شود و یا به مصرف تنفس یاخته‌ای خود گیاه می‌رسد. پروتون‌ها (H^+) در فضای درون تیلاکوئید باقی مانده ولی الکترون‌های حاصل از تجزیه آب، به $P680$ در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ می‌روند. در حقیقت الکترون‌های حاصل از تجزیه آب، جای خالی الکترون‌های برانگیخته و خارج شده از $P680$ را پر می‌کنند. در فتوسنتز به واکنش تجزیه آب در اثر نور، تجزیه نوری آب (فتولیز) گفته می‌شود.

نکته

ابتدا خروج الکترون‌های برانگیخته ← ورود به زنجیره انتقال الکترون

در شکل مقابل ابتدا فتوسیستم ۲ توسط $P680$ الکترون از دست می‌دهد، سپس به تجزیه آب می‌پردازد.



ب) اجزای زنجیره انتقال الکترون اول بین دو فتوسیستم ۲ و ۱

بعد از فتوسیستم ۲، در زنجیره انتقال الکترون اول به ترتیب، پروتئین ناقل الکترونی آب‌گریز، پمپ ناقل الکترون و پروتون و در نهایت یک پروتئین ناقل الکترون آب‌دوست وجود دارد تا الکترون به مرکز واکنش فتوسیستم ۱ یعنی به $P700$ برسد. الکترون‌های برانگیخته خارج شده از فتوسیستم ۲، در غشای تیلاکوئید وارد زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم می‌شوند. این الکترون‌ها ضمن عبور از مولکول به مولکول دیگر زنجیره، مقداری از انرژی خود را نیز از دست می‌دهند.

به‌طور مثال و برای راحتی درک مطلب، فرض کنید الکترون برانگیخته $P680$ با 100 انرژی از فتوسیستم ۲ خارج شده است. وقتی این الکترون‌ها به اولین ناقل آب‌گریز در قبل از پمپ H^+ می‌رسند، انرژی آن‌ها مثلاً به 90 رسیده است. این الکترون‌ها حالا باید از پمپی با نقش انتقال دهنده الکترون و پروتون که در سرتاسر عرض غشای تیلاکوئید است، عبور کنند. این پمپ مقدار زیادی انرژی از الکترون‌های عبوری می‌گیرد و مثلاً انرژی آن‌ها از 90 به 20 می‌رسد. این پروتئین سرتاسری نقش پمپ پروتونی H^+ دارد که با انتقال فعال و با استفاده از انرژی الکترون عبوری (نم ATP)! فعال می‌شود و سبب انتقال فعال H^+ از بستره سبزیدسه به فضای درون تیلاکوئید می‌شود. به یاد دارید که در این فضا توسط فتوسیستم ۲، در اثر تجزیه نوری آب نیز مقداری H^+ (پروتون) انباشته می‌شود. سپس با ادامه این روند و در اثر فعالیت چپ‌غشایی H^+ و تجزیه آب، به تدریج تراکم H^+ درون فضای تیلاکوئید، بیشتر و بیشتر می‌شود تا شیب غلظتی برای تراکم H^+ از درون تیلاکوئید به فضای بیرون آن یعنی به سمت بستره سبزیدسه ایجاد شود. این شیب غلظت H^+ ، مجموعه پروتئینی ساز را در غشای تیلاکوئید فعال می‌کند تا بدون صرف انرژی زیستی و با فعالیت کانالی خود با انتشار تسهیل شده (H^+ با انتشار ساده عبور نمی‌کند!!) از درون تیلاکوئید، در جهت شیب غلظت به بستره سبزیدسه برود. هنگامی که از بخش کانالی این مجموعه پروتئینی، H^+ عبور می‌کند، نقش آنزیمی این کانال که درون بستره قرار دارد، فعال می‌شود. این مجموعه پروتئینی به نام آنزیم ساز ATP درون بستره و با صرف انرژی حاصل از عبور پروتون‌ها، با ترکیب کردن ADP و گروه فسفات، یک مولکول ATP نوری طی یک واکنش سنتز آبدی ایجاد می‌کند. این مولکول ATP را به این دلیل ATP نوری می‌نامند که انرژی اولیه برای تشکیل آن را نور تأمین کرده است. (دقت کنید که این ATP یک محصول موقت است که فقط در واکنش‌های مربوط به ساخت قند در بستره سبزیدسه به مصرف می‌رسد، یعنی ATP های نوری تولید شده در سبزیدسه برخلاف ATP های تولید شده در رانیزه، نمی‌توانند به هر مصرفی در یاخته برسند.)

چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

۱) اگر به چند خط بالاتر رجوع کنید، می‌بینید که الکترون‌های برانگیخته فتوسیستم ۲، پس از عبور از پمپ H^+ ، انرژی زیادی را از دست دادند که البته این انرژی به‌طور غیرمستقیم به مصرف تولید ATP در کانال ساز ATP رسید.

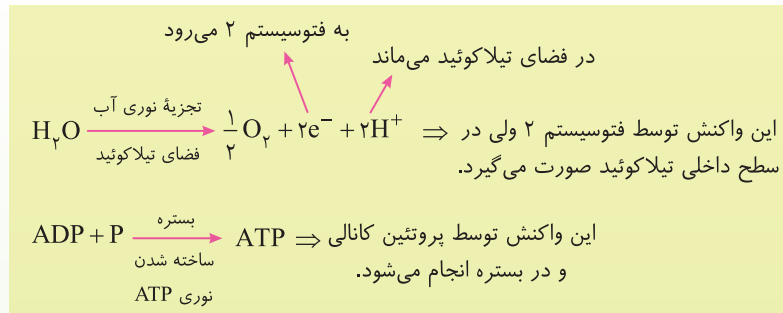
۲) اما سرانجام الکترون‌های برانگیخته خارج شده از فتوسیستم ۲ که از چپ H^+ عبور کرده‌اند چه می‌شود؟

پاسخ ساده است، این الکترون‌ها در غشای تیلاکوئید از مولکول‌های زنجیره انتقال الکترون یکی یکی عبور می‌کنند و با انرژی کمی ابتدا به مولکول ناقل قبل از فتوسیستم ۱ و سپس با کمترین انرژی (مثلاً حدود 10 از 100 اولیه) به $P700$ یا سبزینه a درون مرکز واکنش فتوسیستم ۱ می‌رسند.

۳) در زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم، سبزینه a یا $P680$ درون مرکز واکنش فتوسیستم ۲، کمبود الکترونی خود را توسط الکترون‌های آب جبران می‌کند ولی در ادامه خواهید دید که $P700$ در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، کمبود الکترونی یا الکترون‌های خارج شده خود را توسط الکترون‌های فتوسیستم ۲ جبران می‌کند.

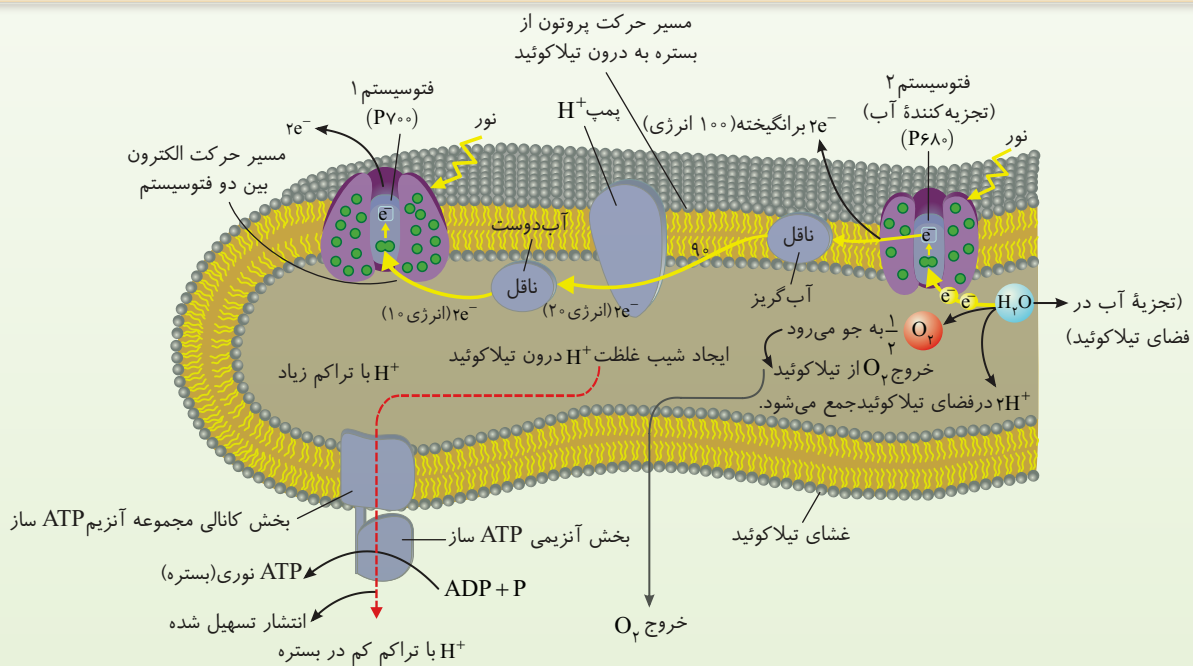
۴) انرژی واکنش‌های انجام شده در زنجیره انتقال الکترون اول که بین دو فتوسیستم واقع شده است، در اصل از نور خورشید تأمین شده است و این انرژی توسط الکترون‌هایی منتقل می‌شود که از فتوسیستم ۲ خارج شده‌اند.

۵ واکنش‌های انجام شده که زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم در آن نقش دارند، به صورت زیر می‌باشند:



۶ مجموعه پروتئینی کانال H^+ (آزیم ATP-ساز)، از اجزای زنجیره انتقال الکترون نمی‌باشد و الکترونی را عبور نمی‌دهد. این مجموعه فعالیت تراپری H^+ را بدون صرف انرژی زیستی ولی نقش آزمیمی ATP-سازی را با صرف انرژی حاصل از شیب غلظت پروتون انجام می‌دهد.

نقشه: عددهای گفته شده برای درک بهتر شما از مقدار انرژی الکترون‌ها در هر منطقه می‌باشد و ارزش علمی ندارند.



۷ پمپ H^+ و کانال H^+ ، هر دو ناقلی برای انتقال پروتون هستند ولی پمپ H^+ به انتقال الکترون نیز می‌پردازد و بخشی از زنجیره اول انتقال الکترون می‌باشد.

۸ عوامل مورد نیاز برای تجزیه آب در سطح تحتانی فتوسیستم ۲ قرار دارد که درون فضای تیلاکوئید (در نزدیکی سطح داخلی تیلاکوئید) سبب تجزیه نوری آب می‌شوند. ضمن تجزیه آب با آزاد کردن O_2 ، مقداری الکترون و پروتون نیز در فضای تیلاکوئید ایجاد می‌شود.

۹ همانند آنچه در زنجیره انتقال الکترون تنفس هوازی راکیزه‌ها آموختید، در سبز دیسه و در غشای تیلاکوئید نیز مجموعه پروتئینی به نام آزمیم ATP-ساز وجود دارد که الکترون‌ها از آن عبور نمی‌کنند و از اجزای زنجیره انتقال الکترون نمی‌باشد ولی هم با انتشار تسهیل شده نقش کانال H^+ دارد و هم نقش آزمیمی برای ساخت ATP دارد.

● (ب) زنجیره انتقال الکترونی که پس از فتوسیستم ۱ قرار دارد < تولید ناقل الکترونی NADPH می‌کند.

همان‌طور که در ابتدای زنجیره قبل گفتیم، هم‌زمان با طلوع خورشید، $\text{P}680$ و $\text{P}700$ در فتوسیستم‌های ۲ و ۱ با فاصله زمانی اندکی الکترون‌های برانگیخته خود را خارج می‌کنند. تکلیف الکترون‌های $\text{P}680$ را یاد گرفتید که در نهایت با انرژی کم به $\text{P}700$ در فتوسیستم ۱ می‌رسند و انرژی آن‌ها در بین دو فتوسیستم صرف تجزیه آب و ساخت ATP نوری می‌شود. اما تکلیف الکترون‌های پرانرژی خارج شده از $\text{P}700$ در فتوسیستم ۱ چه می‌شود؟

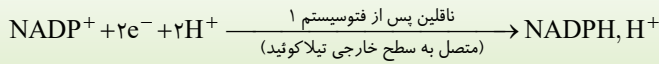
همان‌طور که بررسی کردیم، همه این الکترون‌ها در حقیقت حاصل از تجزیه آب بوده‌اند که به همراه پروتون‌ها ایجاد شده‌اند. اما این الکترون‌ها و پروتون‌ها در نهایت باید در واکنش‌های نهایی، به مولکول CO_2 برسند تا پیوندهای پرانرژی کربن-هیدروژن در مواد آلی ساخته شوند (تایران زکراسه که این پیوندها همان پیوندهای می‌باشند که در تنفس حیوانات می‌شکنند و از آن ATP ایجاد می‌شود!!). در اینجا همانند تنفس یاخته‌ای نیاز به یک گیرنده الکترون و پروتون داریم تا آن‌ها را به مرحله بعد برای تولید ماده آلی منتقل کند. درون سبز دیسه‌ها الکترون‌های خارج شده از فتوسیستم ۱، ابتدا به مولکول‌های ناقل آب‌دوستی که به

سطح خارجی غشای تیلاکوئید متصلند، وارد می‌شوند. گیرنده الکترونی به نام NADP^+ (نیوکلیئیک آمید آدنین ریک نوکلئوتید فسفات) وجود دارد که ابتدا دو الکترون پرانرژی خارج شده از این ناقلین را جذب کرده و به صورت یون منفی NADP^- درمی‌آید ($\text{NADP}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NADP}^-$). سپس NADP^-

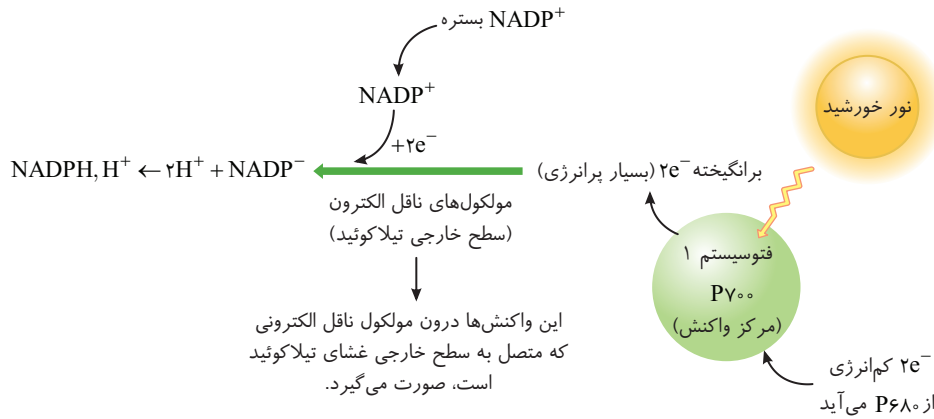
با یک پروتون (H^+) ترکیب شده و به صورت مولکول ناقل الکترونی NADPH درآمده که همواره به همراه یک پروتون دیگر (NADPH, H^+) تولید و

ادامه مسیر می‌دهد. NADPH مولکول ناقل برای الکترون‌های پرانرژی خارج شده از فتوسیستم ۱ می‌باشد که به همراه ATP نوری سبب انتقال انرژی، الکترون و پروتون‌های مورد نیاز برای ساخت ماده آلی قندی در مرحله آخر فتوسنتز یا همان مراحل مستقل از نور می‌شوند.

واکنش تبدیل $NADP^+$ به $NADPH$ توسط ناقل الکترونی متصل به سطح خارجی غشای تیلاکوئید ولی در حقیقت درون بستره سبزیدسه‌ها (نم در غشای تیلاکوئید) انجام می‌شود.



خلاصه واکنش‌های زنجیره دوم الکترونی (پس از فتوسیسستم ۱)

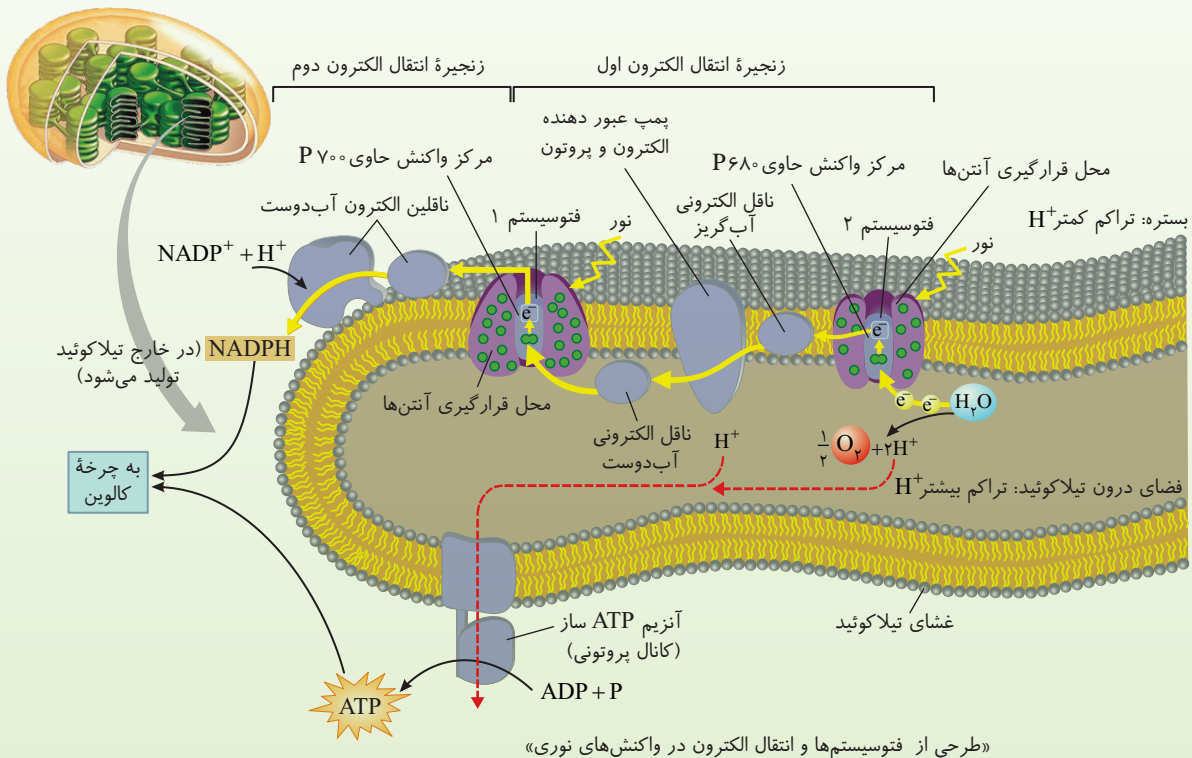


چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

۱) الکترون‌های کم انرژی وارد شده به فتوسیسستم ۱، کمی انرژی باقی مانده از فتوسیسستم ۲ را با خود به همراه دارند و جایگزین الکترون‌های خارج شده از $P700$ می‌شوند. این الکترون‌ها پس از جذب نور توسط رنگیزه‌های فتوسیسستم ۱، با بیشترین انرژی از $P700$ خارج می‌شوند تا از طریق دومین زنجیره انتقال الکترون، در نهایت به $NADP^+$ برسند.

۲) ATP نوری و $NADPH$ که محصول مرحله وابسته به نور فتوسنتز می‌باشند، همگی در بستره سبزیدسه تولید شده و در همان‌جا نیز برای تولید قند در واکنش‌های مستقل از نور (چرخه کالوین) به کربن‌های CO_2 رسیده و مصرف می‌شوند.

۳) در شکل، می‌توانید مشاهده کنید که بین فتوسیسستم ۲ و پمپ H^+ ، یک ناقل الکترونی در بخش آب‌گریز فسفولیپیدها (ممبران اسیدها چربی) وجود دارد ولی بین پمپ H^+ و فتوسیسستم ۱، ناقل الکترونی آب‌دوست به سطح درونی غشای تیلاکوئید متصل است. بعد از فتوسیسستم ۱ نیز چند ناقل الکترونی آب‌دوست در سطح خارجی غشای تیلاکوئید (در تهر-ب تهره) وجود دارند که الکترون‌های فتوسیسستم ۱ را به گیرنده الکترونی $NADP^+$ منتقل می‌کنند.



۴ سؤال: چرا در هنگام غروب، واکنش‌های فتوسنتزی و تولید O_2 ، ATP و NADPH متوقف می‌شوند؟

پاسخ: همان‌طور که انشاءالله کامل متوجه شده‌اید، حضور نور باعث خروج الکترون‌های برانگیخته از دو فتوسیستم ۲ و ۱ شد، پس بدیهی است که طی یک سلسله مراتب خاص، اگر نور کافی وجود نداشته باشد، الکترون‌ها، برانگیخته نشده و آزاد نمی‌شوند و مولکول آبی نیز توسط فتوسیستم ۲ تجزیه نمی‌شود و O_2 ای آزاد نمی‌شود. در ادامه با عدم خروج الکترون از فتوسیستم ۲، زنجیره انتقال الکترون بین دو فتوسیستم و پمپی برای عبور H^+ فعال نمی‌شود. با عدم انجام این واکنش‌ها، تراکم و شیب غلظت H^+ در فضای درون تیلاکوئید ایجاد نمی‌شود، کانال H^+ با نقش ATP‌سازی فعال نمی‌شود و ATP‌ای ساخته نمی‌شود. در نهایت وقتی الکترونی برانگیخته نشود، NADPH نیز تولید نمی‌شود. دقت کنید که واکنش‌های مستقل از نور نیز انرژی خود را برای ساخت قند از ATP و NADPH‌های مرحله نوری می‌گیرند. در نتیجه با غروب آفتاب و با اتمام تولید ATP نوری و NADPH‌ها، واکنش‌های قندسازی یا مستقل از نور فتوسنتز نیز متوقف می‌شوند.

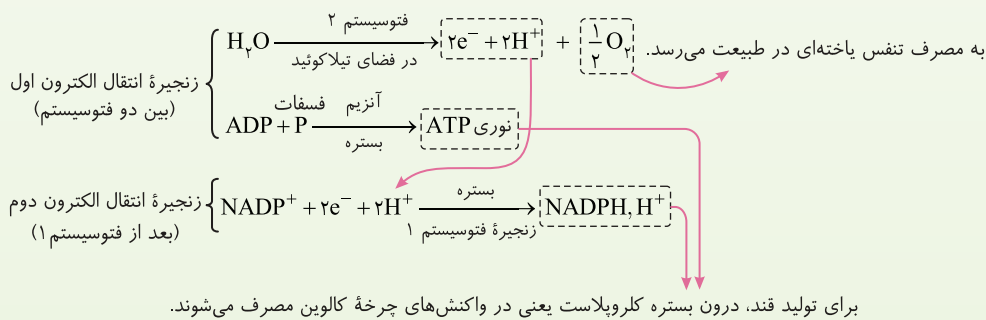
۵ سؤال: چرا از قدیم می‌گفتند، شب زیر درختان بلند نخوابید چون احتمال خفگی وجود دارد؟!

پاسخ: در سؤال قبل گفتیم که از هنگام غروب تا صبح، به دلیل عدم حضور نور خورشید، واکنش‌های فتوسنتز و تولید O_2 در گیاه متوقف می‌شوند. O_2 ‌های حاصل از فتوسنتز گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها، تا هنگام غروب، کمی به مصرف تنفس یاخته‌ای خود جاندار تولیدکننده می‌رسند ولی مقدار اعظم آن از روزنه‌های هوایی خارج شده تا به مصرف تنفس در سایر موجودات زنده برسند.

در شب هنگام، بدیهی است که با متوقف شدن واکنش‌های فتوسنتز، تولید O_2 در گیاه متوقف می‌شود و آزادسازی آن صورت نمی‌گیرد. از طرفی گیاه نیز موجود زنده است و همانند سایر موجودات ۲۴ ساعته در حال تنفس یاخته‌ای می‌باشد. یعنی در شب نیز O_2 محیط را می‌گیرد و با تنفس هوازی به تولید و آزاد کردن CO_2 می‌پردازد. پس اگر شب زیر درختان بلند و عظیم بخوابیم، علاوه بر اینکه از نعمت آزادسازی O_2 توسط گیاه محروم هستیم، این جاندار با تنفس یاخته‌ای در حال آزادسازی CO_2 زیادی به محیط می‌باشد. این CO_2 خروجی از گیاهان، می‌تواند سبب اشکال در تنفس و حتی خفگی برای جاندار شود که در زیر آن به راحتی آرمیده است. حتی ممکن است سبب خواب آخر آن مرحوم شود!!

۶ منشأ تمام الکترون‌های واکنش‌های فتوسنتزی و الکترون‌های ذخیره شده در رنگیزه‌ها و مولکول‌های فتوسنتزی از مولکول‌های آب تجزیه شده می‌باشد.

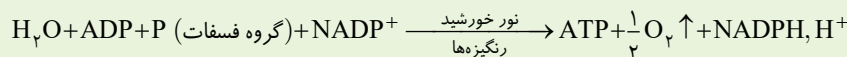
۷ واکنش‌های کلی بخش نوری فتوسنتز در گیاهان به صورت زیر می‌باشند:



۸ در واکنش‌های نوری فتوسنتز، دهنده اصلی الکترون، هیدروژن‌های مولکول آب می‌باشند که به صورت H^+ درمی‌آیند. مولکول O_2 حاصل از تجزیه آب نیز متساعد می‌شود.

۹ در ادامه می‌خوانیم که وجود آب برای فتوسنتز برخی باکتری‌ها الزامی نیست. به‌طور مثال در باکتری‌های گوگردی، به جای آب، مولکول H_2S ، دهنده اصلی الکترون و پروتون می‌باشد. این جانداران غیراکسیژن‌زا بوده و به جای آزاد کردن اکسیژن، سبب تولید گوگرد می‌شوند.

۱۰ خلاصه واکنش‌های نوری فتوسنتز در کل دو زنجیره گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها به صورت زیر می‌باشد:



واکنش‌های نوری فتوسنتز، مستقل از CO_2 می‌باشند و تولید قند نمی‌کنند.

۱۱ کمبود نور و یا طول موج نامناسب نور و افزایش O_2 ، باعث کاهش فرایندهای نوری فتوسنتز و کاهش تولید ATP و NADPH در سبز دیسه‌ها می‌شوند.

۱۲ همه فتوسنتزکنندگان طبیعت، رنگیزه، دمای حلقوی (در زئوم اصلح باکتری‌ها) و در سبز ریه یوکالپتوس (و استفاده از CO_2 برای تولید قند دارند ولی همه آن‌ها برای فتوسنتز، از آب استفاده نمی‌کنند و بدیهی است که همه آن‌ها نیز O_2 تولید نمی‌کنند.

۱۳ در جانداران مختلف هر یاخته رنگیزه‌داری را نمی‌توان فتوسنتزکننده در نظر گرفت، مثلاً بدیهی است که چشم انسان نیز رنگیزه جذب نور دارد ولی توانایی فتوسنتز ندارد. ☹

۱۴ O_2 تولید شده در فتوسنتز برای خروج از یاخته و رسیدن به محیط داخلی یعنی آب سیتوپلاسمی یا میان‌بافتی باید به ترتیب از یک غشای تیلاکوئید، دو غشای صاف سبز دیسه و یک غشای یاخته‌ای عبور کند (مجموعاً باید از ۴ غشای مختلف عبور کند).

- ۱۵) NADP^+ گیرنده نهایی الکترون در واکنش‌های نوری فتوسنتز می‌باشد ولی NADP^- گیرنده نهایی پروتون در این واکنش‌ها می‌باشد. (اگر در سطح، گیرنده نهایی پروتون را در واکنش‌های نوری سؤال کرده بود در بین گزینه‌ها NADP^- نبود. آن موقع NADP^+ را گیرنده نهایی الکترون و پروتون در واکنش‌های نوری فتوسنتز می‌دانیم. در ادامه خواهیم دید که CO_2 یا اسید سه‌کربنه چرخه کالوین، گیرنده نهایی الکترون و پروتون و انرژی برای تولید هند می‌باشد.)
- ۱۶) NADP^+ و مجموعه پروتئینی کانال ATP‌ساز از اجزای زنجیره انتقال الکترون نمی‌باشند ولی در به نتیجه رسیدن هدف واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون برای تولید ATP و NADPH نقش دارند.
- ۱۷) ورود و خروج H^+ در تیلاکوئید بدون صرف ATP انجام می‌شود. لازم به ذکر است که عبور H^+ از بستره به درون تیلاکوئید با صرف انرژی صورت می‌گیرد ولی این انتقال فعال، انرژی خود را از الکترون عبور کرده از پمپ تأمین می‌کند.
- ۱۸) دقت کنید که تولید ATP نوری، واکنشی برای تولید ماده آلی و محتاج انرژی است که توسط نقش آنزیمی کانال H^+ انجام می‌شود. این انرژی در اصل توسط رنگیزه‌های فتوسیستم ۲ به دام انداخته شده است که در الکترون‌های عبوری بین دو زنجیره برای ایجاد شیب غلظت پروتون‌ها مصرف شده است.
- ۱۹) سیانوباکتری‌ها و سایر باکتری‌های فتوسنتزکننده، تیلاکوئید و کلروپلاست (سبزیه) ندارند ولی رنگیزه فتوسنتزی و واکنش‌های نوری و مستقل از نور مربوط به آن را دارند. این واکنش‌ها در بخشی از غشا و سیتوپلاسم پروکاریوت‌ها انجام می‌پذیرند.
- ۲۰) عبور H^+ هیچ‌گاه به طریق انتشار ساده از بین فسفولیپیدها صورت نمی‌گیرد، این یون‌ها برای ورود به تیلاکوئید ضمن انتقال فعال به پمپ غشایی و برای خروج از تیلاکوئید طی انتشار تسهیل شده به کانال ATP‌ساز محتاج می‌باشند.
- ۲۱) در واکنش‌های فتوسنتزی، همانند واکنش‌های زنجیره انتقال الکترون راکتیزه‌ای، تولید ATP در سطح پیش‌ماده صورت نمی‌گیرد.
- ۲۲) ATP‌های حاصل از عمل زنجیره‌های انتقال الکترون را در راکتیزه، ATP اکسایشی می‌نامیم ولی در سبز دیسه ATP نوری نامیده می‌شوند. دقت کنید که برای تولید ATP اکسایشی، ابتدا باید ناقلین الکترونی NADH و FADH_2 ، در زنجیره انتقال الکترون راکتیزه اکسایش شوند ولی تولید ATP نوری سبز دیسه‌ها مستقل از ایجاد ناقل الکترونی NADPH ایجاد می‌شود و نیازی به اکسایش NADPH ندارد.

تست ۷ در سبز دیسه، زنجیره انتقال الکترون در واقع است که مسئول انتقال الکترون از می‌باشد.

- ۱) غشای تیلاکوئید - آب به P_680
- ۲) غشای تیلاکوئید - P_700 به نوعی ماده نوکلئوتیددار
- ۳) غشای داخلی سبز دیسه - P_680 به P_700
- ۴) غشای داخلی سبز دیسه - P_700 به نوعی ماده نوکلئوتیددار
- ۲ زنجیره‌های انتقال الکترون سبز دیسه، در غشای تیلاکوئید رخ می‌دهد که یکی الکترون را از فتوسیستم ۲ به ۱ منتقل می‌کند و همچنین یک زنجیره دیگر الکترون‌های P_700 در فتوسیستم ۱ را به NADP^+ که نوعی دی‌نوکلئوتید است، منتقل می‌کند. (انتقال الکترون از آب به فتوسیستم ۲ جزء مراحل زنجیره انتقال الکترون به حساب نمی‌آید.)

تست ۸ خروج H^+ از محدوده داخل تیلاکوئید به بستره با و ورود آن به داخل تیلاکوئید با همراه است.

- ۱) کم کردن شیب غلظت - مصرف انرژی
- ۲) ایجاد شیب غلظت - فعال شدن ATP‌سازی کانال
- ۳) نقش آنزیمی کانال - فعالیت پمپ
- ۴) فعال شدن نقش آنزیمی کانال - مصرف ATP
- ۱ صرفاً خروج H^+ از محدوده تیلاکوئید به بستره سبز دیسه، توسط کانال پروتونی و بدون نقش آنزیمی کانال انجام می‌شود که به انرژی نیازی ندارد. این فرایند با نقش انتقالی صورت می‌گیرد که از نوع انتشار تسهیل شده می‌باشد. این عمل سبب کاهش تفاوت تراکم H^+ در دو سوی غشای تیلاکوئید می‌شود، اما ورود H^+ به تیلاکوئید، با صرف انرژی از الکترون عبوری و انتقال فعال می‌باشد که به همراه تجزیه آب در ایجاد شیب غلظت پروتون در فضای تیلاکوئید نقش دارد.

تست ۹ چند مورد عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟

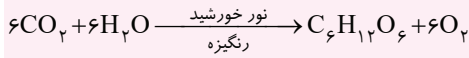
- «در مرحله وابسته به نور فتوسنتز، ضمن تجزیه نوری آب در، اکسیژن تولید می‌شود و طی این واکنش، کمبود الکترون‌های جبران می‌شود.»
- الف) درون تیلاکوئید - نوع خاصی از رنگیزه فاقد عمل پاداکسنده‌ای
- ب) محل شیب غلظت پروتون - آنتن‌های فتوسیستم ۲
- ج) بستره سبز دیسه - P_700 در فتوسیستم ۱
- د) مجاورت P_680 - انواع سبزینه‌های نوعی فتوسیستم
- ۱) ۱ مورد
- ۲) ۲ مورد
- ۳) ۳ مورد
- ۴) ۴ مورد

تست ۳ موارد (ب)، (ج) و (د) نادرست هستند.

تله‌های تستی الف) درست است. عمل تجزیه آب، در فتوسنتز گیاهان درون تیلاکوئید انجام می‌شود که طی آن الکترون‌های P_680 در فتوسیستم ۲ جبران می‌شود. همان‌طور که می‌دانید در مرکز واکنش فتوسیستم، فقط سبزینه a وجود دارد که فاقد قدرت پاداکسنده‌ای می‌باشد. / ب) نادرست است. آنتن‌ها از بیرون الکترون نمی‌گیرند. / ج) نادرست است. تجزیه آب در بستره سبز دیسه نمی‌باشد. / د) نادرست است. آب، فقط کمبود الکترونی، سبزینه a (P_680) موجود در فتوسیستم ۲ را جبران می‌کند.

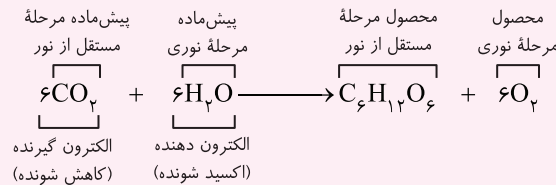
واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز = واکنش‌های تثبیت کربن در ماده آلی

قبل از شروع خواندن این قسمت حالا با خیال راحت و داشتن علم بیشتر از مراحل نوری فتوسنتز یکبار دیگر به فرمول کلی فتوسنتز، نگاهی کنید:



تا اینجا محبت متوجه شدید که در واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز گیاهان، ابتدا باید در اثر انرژی نوری، مولکول آب تجزیه و O_2 ساخته شود. پس آب یکی از پیش‌ماده‌های واکنش‌های نوری و O_2 یکی از محصولات این واکنش‌ها می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه کردید تا پایان مراحل نوری فتوسنتز، صحبتی در مورد استفاده از CO_2 و تولید قند نشده بود، به همین دلیل **واکنش‌های نوری را مستقل از CO_2 و محتاج نور می‌دانیم**. اما در واکنش‌های نوری مشاهده کردید که مقداری از انرژی نوری در الکترون صرف تولید ATP و H^+ ، NADPH می‌شود. این دو محصول یعنی ATP و NADPH ، در حقیقت در اثر تبدیل **انرژی نوری خورشید به انرژی شیمیایی** ایجاد شده‌اند. این دو ماده آلی را **محصولات موقت فتوسنتز** می‌دانیم و به همین دلیل نیز در فرمول کلی فتوسنتز آن‌ها را به حساب نمی‌آوریم. در حقیقت دو ماده ATP نوری و NADPH الکترون‌های پراانرژی و پروتون‌های مرحله آخر فتوسنتز یا واکنش‌های **مستقل از نور** را تأمین می‌کنند تا در بستره سبزیسه و به کمک مولکول CO_2 ، سبب ایجاد پیوند کربن - هیدروژن در ساخت مولکول‌های آلی قندی شوند.

پیش‌ماده‌ها و محصولات فتوسنتز گیاهان همراه با مرحله آن‌ها:



بررسی مرحله به مرحله واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز (واکنش‌های تثبیت کربن)

ملوین ایس کالوین، دانشمندی آمریکایی بود که برای اولین بار واکنش‌های تولید مواد آلی در فتوسنتز را با **ردیابی اتم‌های کربن** در نوعی جلبک سبز تک‌یاخته‌ای پیدا کرد و موفق به دریافت جایزه نوبل شیمی شد. کالوین متوجه شد که واکنش‌های تولید قند از CO_2 در واکنش‌های **چرخه‌ای** و طی ۴ مرحله در بستره سبزیسه یوکاریوت‌ها انجام می‌شود. در این واکنش‌ها، ATP حاصل از مرحله نوری، انرژی فرایند را تأمین می‌کند و NADPH نیز الکترون‌های پراانرژی و پروتون‌های واکنش‌ها را تأمین می‌کند. این واکنش‌ها همگی در **بستره سبزیسه (کلروپلاست) یوکاریوت‌ها** اتفاق می‌افتند که با گرفتن CO_2 و کاهش عدد اکسایش کربن آن (به دلیل **کاهش الکترون**)، صورت می‌گیرد که در نهایت به تولید ماده آلی قندی می‌انجامد. **به واکنش‌های استفاده از CO_2 برای تولید ترکیبات آلی، تثبیت کربن گفته می‌شود.**

نکات مهم در بررسی تست‌ها

- ۱) طی هر نوع واکنش تثبیت کربن، این اتم در مولکول CO_2 در یک **ماده آلی اسیدی** تثبیت می‌شود.
- ۲) واکنش‌های چرخه کالوین، **مستقل از نور** می‌باشند ولی به CO_2 ، انرژی و یک منبع الکترونی محتاج هستند، البته تداوم این واکنش‌ها به وجود ATP و NADPH ‌های مرحله نوری وابسته است، به همین دلیل با غروب خورشید و اتمام تولید این مولکول‌ها در سبزیسه واکنش‌های مستقل از نور نیز متوقف می‌شوند.
- ۳) هر واکنشی در فتوسنتز، چه وابسته به نور (**تیلاکوئید**) و چه مستقل از نور (**تثبیت کربن**)، همواره در روز یا در حضور نور صورت می‌گیرد.

چرخه کالوین

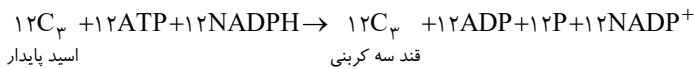
واکنش‌های مستقل از نور یا چرخه کالوین که در **بستره سبزیسه** انجام می‌شوند، همانند واکنش‌های چرخه کربس، از نوع چرخه‌ای می‌باشند. این واکنش‌های چرخه‌ای با یک ماده اولیه شروع شده که باید این ماده در انتهای چرخه **دوباره‌سازی** شود. در چرخه کربس ماده شروع کننده یک **ماده چهارکربنی** بود که در نهایت دوباره‌سازی می‌شد ولی واکنش‌های چرخه کالوین با یک **قند پنج کربنه دوفسفاته** به نام **ریبولوز بیس فسفات** آغاز می‌شوند که این قند باید در مرحله آخر واکنش دوباره‌سازی شود تا همچنان چرخه آن بچرخد و قندسازی در طبیعت ادامه یابد.

نهایی: واکنش‌های قندکافت را زنجیره بدون چرخه‌ای می‌گویند و آن‌ها را با چرخه کالوین و کربس اشتباه نگیرید.

به خاطر داشته باشید که همین الان که در حال خواندن این متن هستید، در حال تجزیه قندهای حاصله از چرخه کالوین و تولید ATP در تنفس یاخته‌ای هستید! (خسته نباشی دلاور!!!)

● مرحله دوم

در این مرحله، درون بسترهٔ سبز دیسه به ازای هر مولکول اسید سه کربنی، ابتدا یک ATP و سپس یک NADPH مصرف می‌شود. اسیدهای سه کربنی طی الکترون‌گیری و کاهش شدن به یک مولکول قند سه کربنی یک فسفات همراه با دوباره‌سازی ADP و NADP^+ تبدیل می‌شوند.

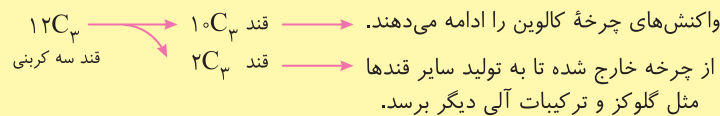


● چند نکته مهم در این مرحله

- هر دو محصول موقت ATP و NADPH، در مرحلهٔ مستقل از نور فتوسنتز برای تبدیل اسید سه کربنی یک فسفات به قند سه کربنی یک فسفات استفاده می‌شود.
- در چرخهٔ کالوین برای تبدیل اسید سه کربنی به قند سه کربنی، ابتدا ATP و سپس NADPH مورد استفاده و تجزیه قرار می‌گیرند (تولید ADP به‌تولید NADP^+ مقدم‌تر می‌باشد).
- در این مرحله آخرین عملی که انجام می‌شود، خروج فسفات حاصل از تجزیهٔ ATP، از واکنش‌دهنده‌ها می‌باشد.
- ADP، گروه‌های فسفات و NADP^+ حاصل از این واکنش‌ها، دوباره در مرحلهٔ نوری فتوسنتز مورد استفاده و واکنش‌های تیلاکوئیدی قرار می‌گیرند. (باز به فصل قبل بگردیم « همه چیز رو طرقت خوب و ادامه‌داره!! »)

● مرحله سوم

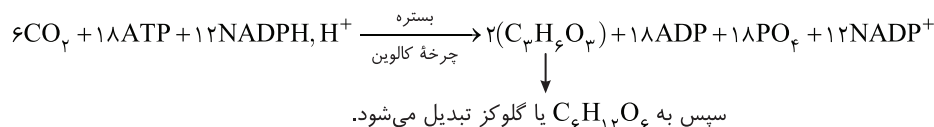
در این مرحله به ازای هر ۶ مولکول قند سه کربنی تولید شده، یکی از آن‌ها از چرخه خارج می‌شود و به مصرف قندسازی (گلوکزسازی...) می‌رسد ولی سایر قندهای سه کربنی ($\frac{5}{6}$ تنده) واکنش‌های چرخهٔ کالوین را ادامه می‌دهند تا به سمت تولید ماده اولیه آن یعنی ریبولوز بیس فسفات برسند.



● مرحله چهارم (آخر)

در این مرحله طی واکنش‌هایی از 10 مولکول قند سه کربنه‌ای که چرخه را ادامه داده‌اند، ابتدا ۶ مولکول قند پنج کربنی یک فسفات به نام ریبولوز مونوفسفات ساخته می‌شود. سپس در ادامه، هر قند پنج کربنی فوق با مصرف یک ATP به یک مولکول قند پنج کربنی دوفسفاته اولیه یا ریبولوز بیس فسفات تبدیل می‌شود تا دوباره توسط آنزیم روبیسکو و CO_2 ، واکنش‌های تولید قند را در چرخهٔ بعدی شروع کنند.

به ازای تولید هر قند شش کربنه، به تعداد کربن‌های آن یعنی شش مولکول CO_2 ، سه برابر تعداد کربن‌های آن یعنی ۱۸ مولکول ATP و دو برابر کربن‌های آن یعنی ۱۲ مولکول NADPH مصرف می‌شود که ۲۴ الکترون و ۲۴ پروتون نیز مورد نیاز است.



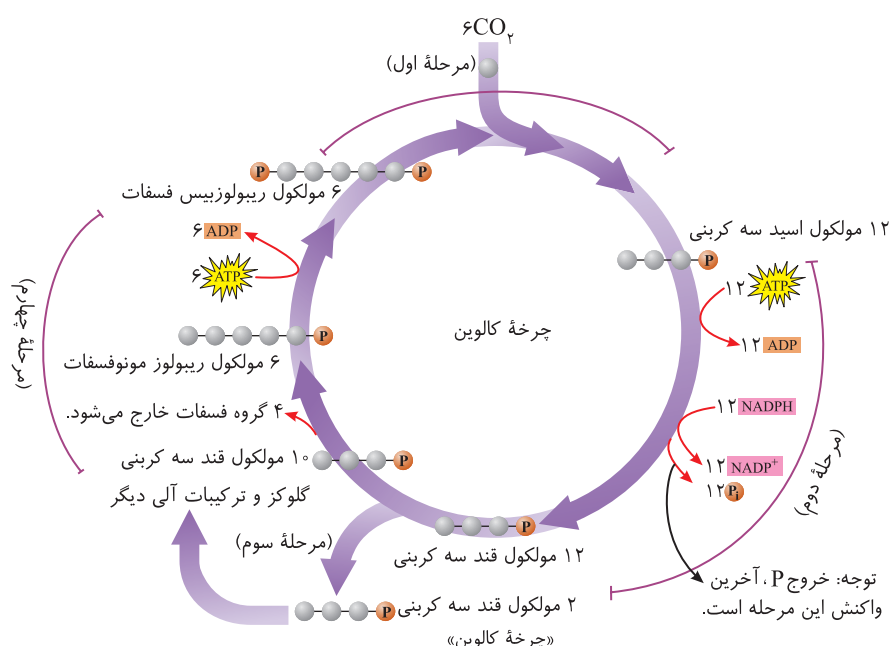
● نکات مهم در بررسی تست‌ها

- اگر به دقت در واکنش‌های تبدیل 10 قند سه کربنی یک فسفات به 6 قند پنج کربنی یک فسفات توجه کنید، خواهید دید که طی این واکنش‌ها، چهار گروه فسفات نیز از چرخه خارج می‌شود.
- قطعاً در کنکور مراحل ۱ تا ۴ چرخهٔ کالوین را برای شما سؤال نمی‌دهند ولی در سؤالات به پیش‌ماده و محصولات هر مرحله اشاره می‌کنند که می‌توانند سؤالات بسیار سخت و ترکیبی از آن‌ها طرح کنند.

جدول پیش‌ماده‌ها و محصولات هر مرحله چرخه کالوین

مرحله‌بندی صورت گرفته در جدول زیر براساس واکنش‌های چرخه کالوین در کتاب درسی است ولی در کتاب مرحله‌بندی نشده‌اند.

مرحله	پیش‌ماده‌ها	محصولات
اول	$\text{CO}_2 +$ قند ریبولوزیسی فسفات	ترکیب شش کربنی پرانرژی ناپایدار و سپس ترکیبات اسیدی سه کربنی پایدار
دوم	اسیدهای سه کربنی پایدار $\text{NADPH} - \text{ATP}$	قندهای سه کربنی پایدار $\text{NADP}^+ + \text{ADP} + \text{P}$
سوم	از هر شش قند سه کربنی	۵ تا از آن‌ها چرخه را ادامه می‌دهند. یکی از آن‌ها از چرخه خارج می‌شوند تا سایر ترکیبات آلی را بسازند.
چهارم	قند سه کربنی و ATP	ریبولوزیسی فسفات اولیه و ADP



تست ۱۰ از الکترون‌های NADPH در کدام واکنش چرخه کالوین و برای الکترون دادن به کدام ماده استفاده می‌کنیم؟

- تولید قند C_3 - اسید سه کربنه
 - دوباره‌سازی ماده شروع‌کننده چرخه - قند سه کربنه
 - تبدیل دو مولکول سه کربنی به هم - قند سه کربنه
 - شکستن ماده پرانرژی ناپایدار - اسید سه کربنه
- در چرخه کالوین، ATP و NADPH مصرف شده و اسید سه کربنی به قند سه کربنی تبدیل می‌شود.

پاسخ ۱ دقت کنید که گیرنده نهایی الکترون و پروتون در واکنش‌های فتوسنتزی، اسید سه کربنه موجود در چرخه کالوین می‌باشد که طی این عمل قند سه کربنه ایجاد می‌شود (در مورد گریپه (۴)، باید بدانید که سنتز ماده پرانرژی، چون ناپایدار است به آنریج نیز ندارد و خودبه‌خود صورت می‌گیرد).

تست ۱۱ در کدام یک از واکنش‌های فتوسنتزی زیر تجزیه مولکول آب نیاز نمی‌باشد؟

- تبدیل اسید سه کربنی به قند سه کربنی
- تشکیل ماده شش کربنی ناپایدار توسط روبیسکو
- تبدیل دو نوع قند پنج کربنی به همدیگر
- جبران الکترون‌های P_680

پاسخ ۲ در واکنش‌های فتوسنتزی، تجزیه آب در دو قسمت انجام می‌شود یکی تجزیه نوری آب در واکنش‌های تیلاکوئیدی می‌باشد که برای جبران الکترون‌های P_680 فتوسیستم ۲ می‌باشد و دیگری در بستره اندامک برای واکنش‌های مستقل از نور صورت می‌گیرد. در چرخه کالوین در هنگام تجزیه ATP به ADP ، مولکول آب نیز تجزیه می‌شود چون این واکنش از نوع هیدرولیزی می‌باشد. تجزیه یا مصرف ATP در مراحل مختلف چرخه کالوین برای تولید قند C_3 و قند ریبولوزیسی فسفات (C_5) انجام می‌شود (رد گریپه (۱)، (۳) و (۴)).

تشکیل ماده C_6 ناپایدار چرخه کالوین در اثر عمل روبیسکو و ترکیب CO_2 با C_5 صورت می‌گیرد.

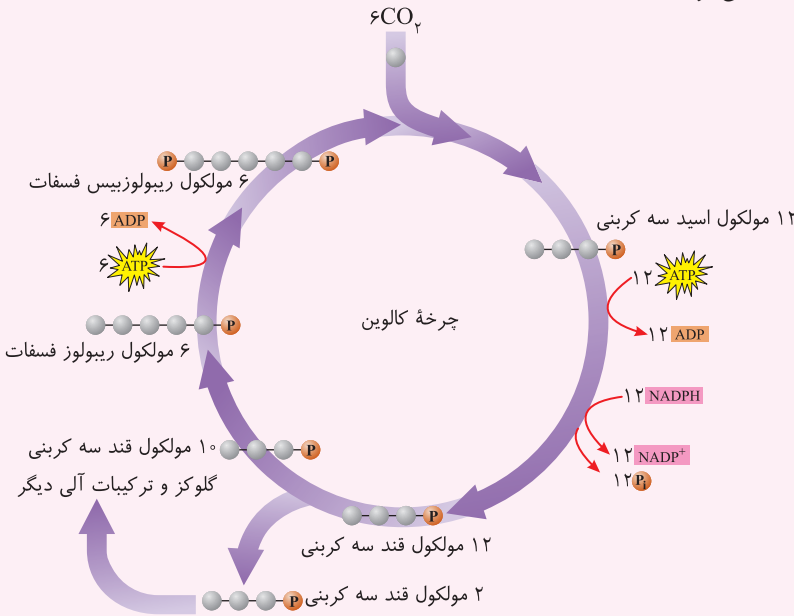
تست ۱۲

در واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز،

- ۱) بیشتر قندهای سه کربنی تولید شده به مصرف ساخت گلوکز و ترکیبات آلی دیگر می‌رسد.
- ۲) بیشتر ATP‌های مصرفی برای دوباره‌سازی ماده شروع کننده چرخه استفاده می‌شود.
- ۳) هر مولکول یک فسفات و واکنش‌ها خاصیت هیدرات کربنی دارد.
- ۴) تعدادی فسفات برای ساخت قندهای پنج کربنی از سه کربنی در بستره آزاد می‌شود.

پاسخ ۴

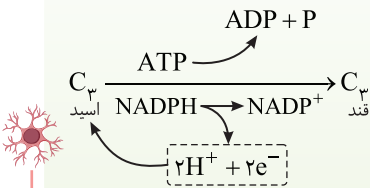
چرخه کالوین مجموعه واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز می‌باشد. اگر به مراحل چرخه کالوین دقت کنید، متوجه می‌شوید که پس از خروج دو قند سه کربنی که هرکدام یک فسفات دارند، ۱۰ قند سه کربنی یک فسفات دیگر دوباره وارد چرخه می‌شوند. پس این ۱۰ قند سه کربنی یک فسفات که مجموعاً ۱۰ گروه فسفات در خود ذخیره دارند، به تولید ۶ مولکول قند پنج کربنی یک فسفات می‌پردازند (مجموعاً ۶ گروه فسفات). یعنی در هنگام تبدیل ۱۰ قند سه کربنی به ۶ قند پنج کربنی، ۴ گروه فسفات آزاد می‌شوند.



تله‌های تستی گزینه (۱): از هر ۶ قند سه کربنی ساخته شده در چرخه کالوین، یکی از آنها از چرخه خارج شده و **۵ تای دیگر** در چرخه شرکت می‌کنند. / گزینه (۲): برای تولید گلوکز، در دو مرحله از چرخه کالوین، ATP مصرف می‌شود، یکی برای تبدیل ۱۲ مولکول اسید سه کربنی به ۱۲ تا قند سه کربنی که در این واکنش‌ها ۱۲ مولکول ATP مصرف می‌شود و دیگری در تبدیل ۶ مولکول قند C_۳ یک فسفات به ۶ مولکول قند C_۶ دوفسفات اولیه که در این واکنش‌ها نیز ۶ مولکول ATP مصرف می‌شود. / گزینه (۳): در بین مولکول‌های سه فسفات چرخه کالوین، اسید سه کربنی هم علاوه بر قند سه کربنی و قند پنج کربنی وجود دارد.

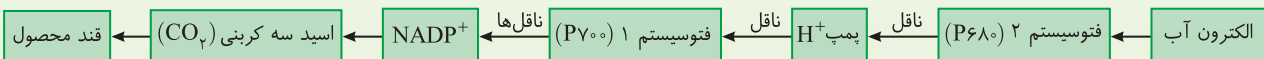
چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

- ① مصرف ATP نوری در مراحل ساخت قند سه کربنی یک فسفات و ریبولوز بیس فسفات پنج کربنی صورت می‌گیرد ولی مصرف NADPH فقط در مرحله ساخت قند سه کربنی از اسید سه کربنی به کار می‌رود.
- ② واکنش‌های چرخه کالوین برخلاف واکنش‌های چرخه کربس، همراه با مصرف ATP بوده و انرژی خواه می‌باشد.
- ③ برای تبدیل هر اسید سه کربنی به یک قند سه کربنی در چرخه کالوین ابتدا به یک مولکول ATP و سپس به یک مولکول NADPH و دو الکترون و دو پروتون نیاز می‌باشد.

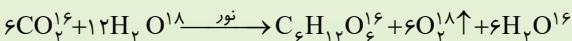


نقشه: طی واکنش‌های فتوسنتزی گیاهان، ابتدا دوازده مولکول آب شکسته می‌شود و ۲۴ الکترون و پروتون آزاد می‌شود ولی در انتها ۶ مولکول آب دوباره‌سازی می‌شود.

- ④ اسید سه کربنی و کربن‌های CO_۲ تثبیت شده در آنها، آخرین موادی هستند که الکترون‌ها و پروتون‌های آب تجزیه شده در واکنش‌های نوری فتوسنتز را جذب می‌کنند تا پیوندهای کربن - هیدروژن را در مواد آلی ایجاد کنند.
- ⑤ مسیر الکترون در واکنش‌های فتوسنتزی (به جز در باکتری‌ها که غیراکسیژن‌زا) به صورت زیر می‌باشد:



⑥ در واکنش‌های فتوسنتزی یوکاریوت‌ها و سیانوباکتری‌ها، فقط منشأ اکسیژن متصاعد شده از آب می‌باشد ولی سایر اتم‌های اکسیژنی که در محصولاتی مثل قند و آب تولیدی یافت می‌شود، از مولکول CO_۲ حاصل شده است. تعدادی آب نیز همواره در واکنش‌های فتوسنتزی تولید می‌شود که حتی منشأ اکسیژن این آب‌های تولیدی نیز از مولکول CO_۲ می‌باشد. در واکنش زیر که از آب سنگین ردیاب با اکسیژن رادیوایزوتوپ ۱۸ استفاده شده است، می‌توانید اتم‌های اکسیژن را در واکنش فتوسنتزی گیاهان ردیابی کنید:



درسنامه

فتوسنتز در شرایط دشوار

نظارت ۳

در این گفتار به دنبال پاسخ به این پرسش هستیم که چرا در شرایط بد محیطی برای رشد گیاهان مثل نور شدید و خشکی زیاد (رطوبت‌نبرد)، برخی از گیاهان رشد می‌کنند و اغلب آن‌ها نه؟! راستی چه چیزی سبب می‌شود که این شرایط مانع رشد اغلب گیاهان شود؟

ویژگی آنزیم روبیسکو

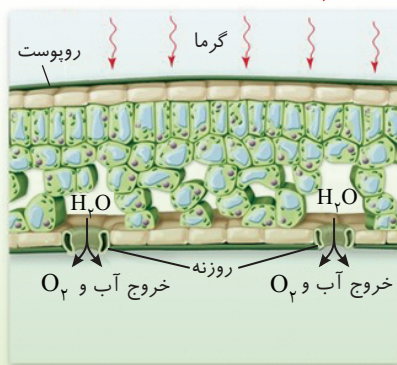
در گفتار قبل و در واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز مشاهده کردید که آنزیمی به نام روبیسکو، شروع‌کننده واکنش‌ها می‌باشد. این آنزیم به اختصار روبیسکو نامیده می‌شود. ولی نام علمی آن **ریبولوزیسی فسفات کربوکسیلاز-اکسیژناز** می‌باشد که بیانگر دو نقش کربوکسیلازی و اکسیژنازی برای این آنزیم است. یکی از پیش‌ماده‌های این آنزیم، همواره قند پنج کربنی دو فسفات‌شروع‌کننده چرخه کالوین یا همان ریبولوزیسی فسفات می‌باشد ولی پیش‌ماده دیگر آن بستگی به نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه دارد. برای سادگی درک آن یاد بگیرید که بین این دو گاز O_2 و CO_2 ، هر کدام که مقدار بیشتری داشت با قند ریبولوزیسی فسفات ترکیب می‌شود.

الف) فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو

هنگامی که در گیاه، میزان CO_2 از O_2 بیشتر باشد (یعنی *وَسْطِ رُوزِنَهَاکِ هَوَايِیِ بَزْ هَتَنَدَا*)، روبیسکو به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی در چرخه کالوین می‌رود و سبب ایجاد مرحله اول چرخه کالوین با ترکیب کردن قند ریبولوزیسی فسفات و CO_2 می‌شود. حاصل این کار شروع واکنش‌های **مستقل از نور** فتوسنتز، مصرف ATP و NADPH و تولید مواد آلی قندی برای رشد مناسب گیاه می‌باشد.

نکته

همان‌طور که در شکل مقابل مشاهده می‌کنید، روپوست فوقانی در برگ‌های دولپه‌ای دارای روزنه هوایی کمی می‌باشد. البته هر دو روپوست فوقانی و تحتانی آن حاوی پوستک کوتینی محافظ می‌باشد ولی حفره‌های دارای بخار آب و گازهای تنفسی، اغلب در مجاور روپوست زیرین قرار گرفته‌اند. در این برگ‌ها چند لایه پارانشیم نرده‌ای به هم فشرده به سمت روپوست رویی وجود دارد.

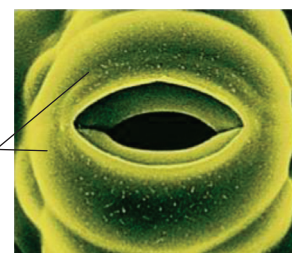


روزنه‌های هوایی باز، سبب ورود CO_2 جو و خروج بخار آب و O_2 می‌شود تا با بیشتر شدن مقدار CO_2 به O_2 ، روبیسکو به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی و شروع چرخه کالوین برود و گیاه با تولید ماده آلی رشد کند.

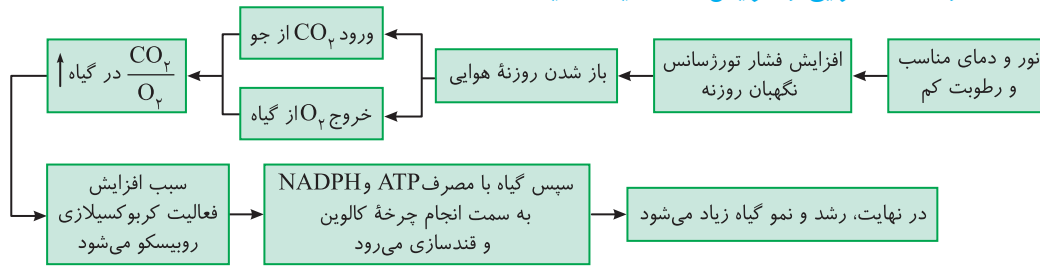
شرایط مناسب برای فتوسنتز و قندسازی

در زیست دهم خواندید که دو طرف روزنه‌های هوایی، **دو یاخته لوبیایی شکل فتوسنتزکننده به نام نگهبان وجود دارد** که دیواره آن‌ها به سمت دهانه روزنه **قطرتر** از سمت مقابل می‌باشد. روزنه‌های هوایی به‌طور معمول در شرایط نور و دمای مناسب و کم بودن رطوبت، باز می‌شوند. مکانیسم باز شدن آن‌ها با **تورژسانس یا آب‌گیری یاخته‌های نگهبان** از یاخته‌های روپوستی مجاور صورت می‌گیرد. این حالت از یک طرف سبب ورود CO_2 مورد نیاز برای فتوسنتز می‌شود و از طرفی دیگر بخار آب موجود در فضای **بین یاخته‌های اسفنجی** در اثر تعرق و O_2 حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز از برگ خارج می‌شوند. ادامه این حالت به تدریج شرایط را در گیاه به سمتی می‌برد که نسبت CO_2 به O_2 در فضاها و یاخته‌های برگ زیاد می‌شود و فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و شروع چرخه کالوین را تحریک کند. در این صورت **قندسازی و رشد گیاه** افزایش می‌یابد.

به انباشت ساکارز تولیدی خود می‌پردازد.
از یاخته‌های مجاور خود یون و سپس آب گرفته است.
قطر آن به دلیل فیبریل‌های سلولزی ثابت می‌ماند.
با دور شدن از همدیگر منفذ روزنه باز می‌شود.
طول هر یاخته در اثر تورژسانس زیاد می‌شود.



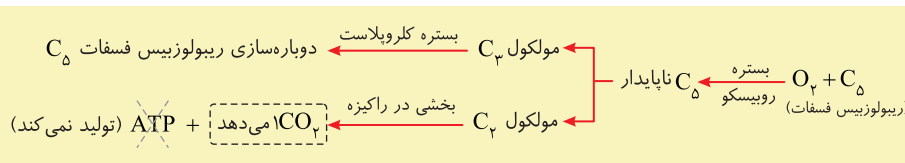
● رابطه باز شدن روزنه‌های هوایی و افزایش رشد گیاه در یک نگاه



● (ب) فعالیت اکسیژنازی رویبسیکو (تنفس نوری)

اگر در محیط عملکرد رویبسیکو یعنی درون یاخته‌های برگ و فضاها بین یاخته‌های آن، نسبت O_2 به CO_2 بالا باشد، در این حالت آنزیم رویبسیکو به سمت فعالیت **اکسیژنازی** بر روی قند ریبولوزیسی فسفات (C_5) می‌رود که این، آغاز فرایند **تنفس نوری** است. در این واکنش‌ها ابتدا در بستره سبز دیسه، رویبسیکو سبب ترکیب C_5 (ریبولوزیسی فسفات) با اکسیژن شده و آن را به ترکیبی **پرانرژی و ناپایدار** تبدیل می‌کند. این مولکول C_5 **ناپایدار** در همان بستره سبز دیسه تجزیه شده و به **یک مولکول سه‌کربنی و یک مولکول دوکربنی** تبدیل می‌شود. ماده **سه‌کربنی** در بستره سبز دیسه باقی می‌ماند تا برای **بازسازی ریبولوزیسی فسفات** استفاده شود ولی ماده دوکربنی از دو غشای سبز دیسه و دو غشای راکیزه آن یاخته گذشته، وارد بستره راکیزه (**میتوکندری**) می‌شود و در واکنش‌هایی که **بخشی از آن‌ها** در **راکیزه** انجام می‌شود سبب تولید **یک مولکول CO_2** می‌شود. این فرایند به تنفس نوری مشهور است ولی چرا؟

واکنش کلی تنفس نوری:



واکنش‌های تنفس نوری، همانند تنفس هوازی O_2 می‌گیرند و ماده آلی قندی را تجزیه می‌کنند تا CO_2 ایجاد کنند. به همین دلیل به واکنش آن‌ها واژه تنفس اطلاق می‌شود ولی برخلاف هر نوع تنفس یاخته‌ای، در واکنش‌های تنفس نوری مولکول ATP تولید نمی‌شود. از طرفی دلیل به کار بردن واژه نوری برای این نوع تنفس، این است که واکنش‌های آن فقط در شرایط سخت محیطی یعنی **دما و نور شدید و خشکی** صورت می‌گیرند که در حقیقت واکنش‌هایی **وابسته به نور** می‌باشند. واکنش‌های تنفس نوری باعث عدم نقش آنزیمی رویبسیکو به واکنش‌های چرخه کالوین می‌شوند و ساخت فرآورده آلی فتوسنتزی و رشد گیاه را کاهش می‌دهند.

نکته مهم

در حقیقت تنفس نوری واکنش‌هایی می‌باشند که مخالف انجام واکنش‌های **مستقل از نور** یا چرخه کالوین در تولید مواد آلی در گیاهان می‌باشند ولی دقت کنید که تنفس نوری، از همان ابتدا سبب کاهش واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز نمی‌شود.

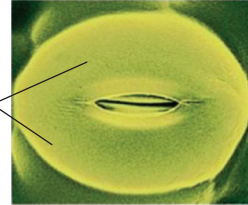
جدول مقایسه تنفس نوری و تنفس هوازی

تنفس نوری گیاهان	تنفس یاخته‌ای هوازی
فقط در یاخته‌های سبز دیسه‌دار گیاهان رخ می‌دهد.	تقریباً در همه جانداران و هر یاخته زنده آن‌ها رخ می‌دهد.
در حالی که نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ گیاه بالاست، رخ می‌دهد.	در هر شرایطی به جز کاهش شدید O_2 رخ می‌دهد.
محتاج عمل اکسیژنازی آنزیم رویبسیکو می‌باشد.	آنزیم رویبسیکو نمی‌خواهد.
قسمتی از آن در سبز دیسه و قسمتی در راکیزه رخ می‌دهد.	قسمتی در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم و قسمتی در راکیزه رخ می‌دهد.
قند C_5 (ریبولوزیسی فسفات) را می‌سوزاند.	قند C_6 (گلوکز) را می‌سوزاند.
O_2 می‌گیرد و CO_2 می‌دهد.	O_2 می‌گیرد و CO_2 می‌دهد.
هیچ‌گاه ATP تولید نمی‌کند.	همواره ATP تولید می‌کند.
فقط در نور و دمای شدید رخ می‌دهد. (وابسته به نور است)	در نور و تاریکی رخ می‌دهد. (مستقل از نور است)

چرا در شرایط دشوار محیطی مثل نور و دمای شدید، نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه بالا می‌رود و تنفس نوری رخ می‌دهد؟

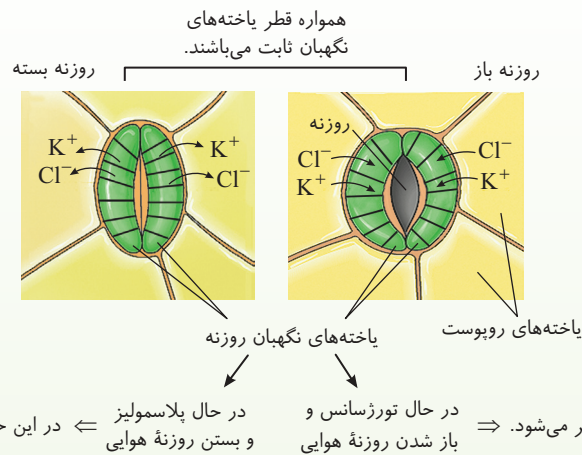
در شرایطی که دما و نور بسیار شدید باشد، مقدار هورمون آبسیزیک اسید در گیاه بالا می‌رود، این هورمون سبب خروج املاح و آب از یاخته‌های نگهبان روزنه به یاخته‌های کناری روپوستی می‌شود تا روزنه‌های هوایی مسدود شود. علت این کار این است که گیاه نمی‌خواهد در شرایط گرم و خشک محیطی، آب خود را با تعرق از دست بدهد و به دلیل حفظ آب، روزنه‌های هوایی خود را تقریباً مسدود می‌کند. در این حالت CO_2 جو وارد گیاه نمی‌شود و از طرفی با انجام فرایندهای وابسته به نور فتوسنتز، آب تجزیه شده و O_2 تولید می‌شود. ادامه بسته بودن روزنه‌های هوایی، به تدریج سبب افزایش نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در فضاها و یاخته‌های گیاهی می‌شود. در نهایت، شرایط برای انجام فرایندهای تنفس نوری و اکسیژنازی روپوستی مهیا می‌شود.

پلاسمولیز یا آب‌دهی انجام داده‌اند.
 به یاخته‌های کناری خود آب و املاح داده‌اند.
 دو یاخته نگهبان، با قطر ثابت به سمت هم آمده‌اند.
 روزنه هوایی را مسدود کرده‌اند.



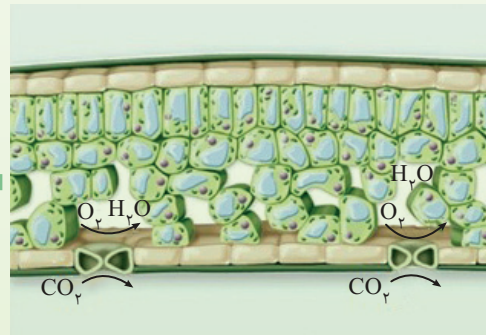
چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

۱ در هر دو حالت باز شدن یا بسته بودن روزنه‌های هوایی، **قطر هر یاخته نگهبان** به دلیل وجود آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی یاخته نگهبان ثابت باقی می‌ماند.



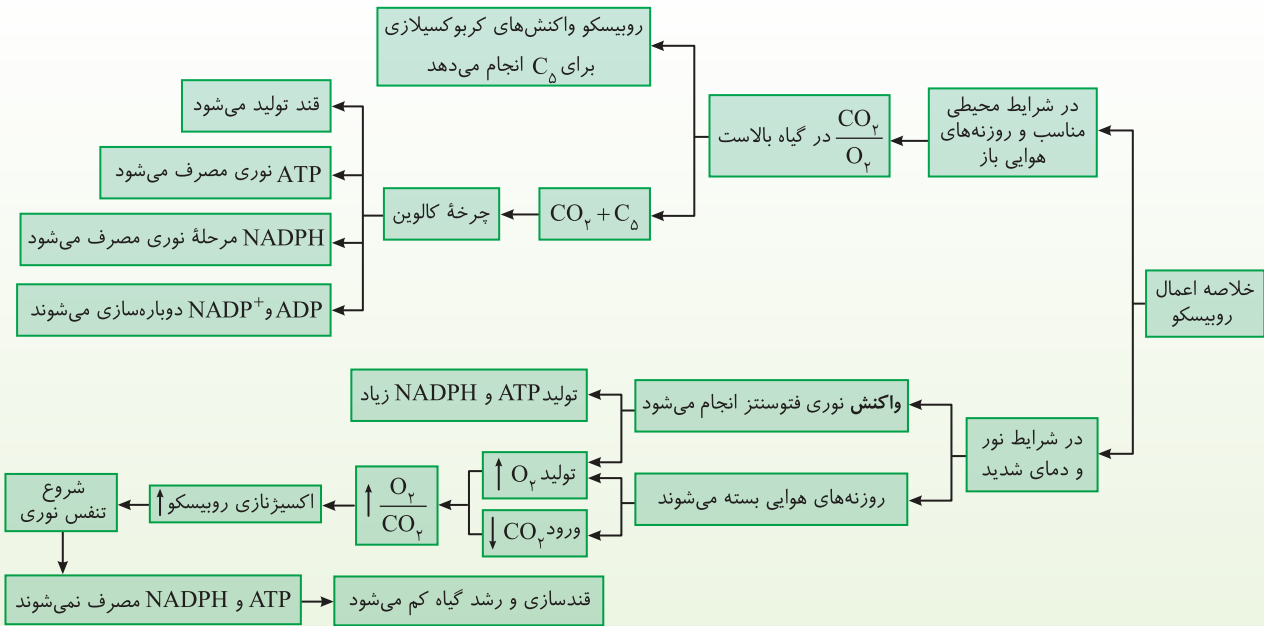
۲ در هنگام نور و دمای شدید محیطی، روزنه‌های هوایی گیاه که اغلب در سطح تحتانی برگ گیاهان وجود دارند، **بسته می‌باشند**. علاوه بر اینکه آب از گیاه خارج نمی‌شود، CO_2 کافی برای فتوسنتز نیز وارد گیاه نمی‌شود ولی یادتان باشد که واکنش‌های نوری فتوسنتز که محتاج نور هستند، در حال برگزاری می‌باشند. به تدریج با وجود واکنش‌های نوری فتوسنتز، مقدار O_2 ، ATP و $NADPH$ در گیاه بالا می‌رود ولی این O_2 به دلیل روزنه‌های بسته نمی‌تواند از گیاه خارج شود. پس از مدتی نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ در گیاه بالا و بالاتر رفته و روپوستی به جای واکنش‌های قندسازی چرخه کالوین، به سمت واکنش‌های اکسیژنازی می‌رود و قند ریبولوز بیس فسفات را در تنفس نوری تجزیه می‌کند. این واکنش سبب عدم ساخت ماده آلی و عدم رشد مناسب گیاهان در این شرایط می‌شود.

با بسته بودن روزنه‌های هوایی، CO_2 جو وارد گیاه نمی‌شود ولی به دلیل انجام مراحل نوری فتوسنتز، تولید O_2 و احتباس آن در گیاه زیاد می‌شود و به تدریج نسبت $\frac{O_2}{CO_2}$ بالا رفته تا واکنش‌های تنفس نوری با نقش اکسیژنازی روپوستی آغاز شوند. (رشد گیاه کم می‌شود.)



روزنه‌های هوایی بسته گیاهان در محیط نور و دمای شدید

۳ از نزدیک‌های غروب خورشید که هوا کمی خنک‌تر می‌شود، تا صبح که نور در اطراف گیاه وجود ندارد و دمای هوا نیز کاهش می‌یابد واکنش‌های تنفس نوری نیز متوقف می‌شوند. از طرفی در این شرایط واکنش‌های نوری فتوسنتز و تولید O_2 در گیاه نیز متوقف می‌شوند ولی با باز شدن تعدادی از روزنه‌ها، با ورود O_2 ، واکنش‌های تنفس یاخته‌ای سبب مصرف O_2 و تولید CO_2 می‌شود. به تدریج در این هنگام نسبت $\frac{CO_2}{O_2}$ در گیاه بالا رفته و واکنش‌های تنفس نوری روپوستی متوقف می‌شود.



۴ همان‌طور که در گفتار قبل آموختید، واکنش‌های فتوسنتزی وابسته به نور نیز برای انجام خود به ADP و NADP^+ محتاج هستند. از طرفی این مواد محصولات فرعی چرخه کالوین می‌باشند. پس با اینکه تنفس نوری سبب توقف چرخه کالوین می‌شود ولی پس از مدتی، با وقفه در ایجاد این چرخه و کم شدن ADP و NADP^+ ، واکنش‌های تیلاکوتیدی وابسته به نور نیز دچار اختلال می‌شوند.

۵ روزنه‌های آبی گیاهان که مخصوص عمل تعریق می‌باشند، همواره باز هستند و نقشی در ایجاد تنفس نوری یا متوقف کردن آن ایفا نمی‌کنند.

۶ آنزیم روبیسکو، در شرایط نور و دمای شدید به سمت فعالیت اکسیژنازی می‌رود ولی دقت کنید که این آنزیم در دمای بالا نسبت به سایر آنزیم‌های سبزیسای مقاومت بیشتری دارد ولی مانند هر آنزیمی در اثر بالاتر رفتن و گذشتن دما از یک گستره دمایی خاص، سبب تغییر ساختار این آنزیم نیز می‌شود که در آن موقع واکنش تنفس نوری نیز متوقف شده و کلاً گیاه به سوی مرگ می‌رود (یک از دلایل عدم رشد تقریباً همه گیاهان در کویرها).

تست ۱۳ در مقایسه «تنفس نوری» و «تنفس یاخته‌ای هوازی» کدام عبارت، درست نیست؟

۱) بخشی از هر دو فرایند در راکیزه صورت می‌گیرد.

۲) در هر دو فرایند CO_2 تولید می‌شود.

۳) هر دو فرایند وابسته به نور می‌باشد.

۴) در هر دو فرایند اکسیژن مصرف می‌شود.

پاسخ ۳ تنفس نوری برخلاف تنفس یاخته‌ای، واکنشی وابسته به نور می‌باشد که همانند تنفس هوازی، بخشی از آن در راکیزه و با تولید CO_2 رخ می‌دهد. در هر دو واکنش نیز مصرف O_2 صورت می‌گیرد.

تست ۱۴ در مقایسه «تنفس نوری» و «چرخه کالوین» کدام عبارت، صحیح است؟

۱) در هر دو واکنش، سطح انرژی قند C_5 بالا می‌رود.

۲) در هر دو، انرژی رایج و قابل استفاده یاخته تولید می‌شود.

۳) انجام شدن آن‌ها با افزایش کربن دی‌اکسید رابطه مستقیم دارد.

۴) تمام مراحل هر دو فرایند در بستره سبزیسای انجام می‌شود.

پاسخ ۱ در شروع هر دو فرایند تنفس نوری و چرخه کالوین، روبیسکو سبب تولید نوعی ماده پارانرژی ناپایدار می‌شود. روبیسکو در چرخه کالوین، واکنش کربوکسیلازی و در تنفس نوری، اکسیژنازی می‌کند (در سطح گزینده (۱)). طی هیچ کدام از واکنش‌ها ATP به عنوان انرژی رایج یاخته‌ای، تولید نمی‌شود (در سطح گزینده (۲)). پر واضح است که بخشی از واکنش‌های تنفس نوری در راکیزه هم انجام می‌شود تا CO_2 ایجاد کند و در آخر دقت کنید که افزایش CO_2 با سرعت انجام چرخه کالوین و غذاسازی گیاه رابطه مستقیم دارد (در سطح گزینده (۳) و (۴)).

تست ۱۵ پس از فعال شدن آنزیم روبیسکو در جهت اکسیژنازی،

۱) مصرف ADP در بستره زیاد می‌شود.

۲) NADPH اکسایش می‌شود.

۳) تولید O_2 در واکنش با ماده C_5 افزایش می‌یابد.

۴) دوباره‌سازی ماده شروع کننده چرخه کالوین متوقف نمی‌شود.

پاسخ ۴ تنفس نوری از شدت مرحله مستقل از نور فتوسنتز می‌کاهد، به دلیل اینکه در تنفس نوری نسبت O_2 به CO_2 بیشتر است. پس آنزیم روبیسکو به طرف واکنش اکسیژناسیون می‌رود یعنی O_2 را با C_5 وارد واکنش می‌کند ولی ATP تولید نمی‌کند و NADPH را نیز مصرف نمی‌کند (در سطح گزینده (۱)، (۲) و (۳)). دقت کنید که ماده سه کربنی حاصله در تنفس نوری، به مصرف دوباره‌سازی ریبولوزبیس فسفات یا قند شروع کننده چرخه کالوین می‌رسد.

انواع گیاهان از نظر سازش در مناطق دارای نور و دمای شدید و خشک

تا اینجای کار به این نتیجه رسیدیم که رویسکو آئزیمی نون به نرخ روز خورا! و بوقلمون صفتِ مَلُون! می‌باشد که با بالا رفتن نسبت CO_2 به O_2 یا O_2 به CO_2 ، مسیر فعالیت خود را به ترتیب به سمت ماده‌سازی (چرخه کالوین) یا ماده‌سوزی (تنفس نوری) می‌برد.

از طرفی دانستیم که واکنش‌های تنفس نوری، فقط در شرایط دشوار محیطی یعنی در محیط گرم و خشک با نور و دمای شدید رخ می‌دهد. ولی چطور برخی گیاهان در این شرایط رشد می‌کنند و حتی برخی رشد خوبی هم دارند؟ در ادامه به بررسی انواع گیاهان C_3 ، C_4 و CAM در مورد سازگاری با شرایط نامساعد می‌پردازیم.

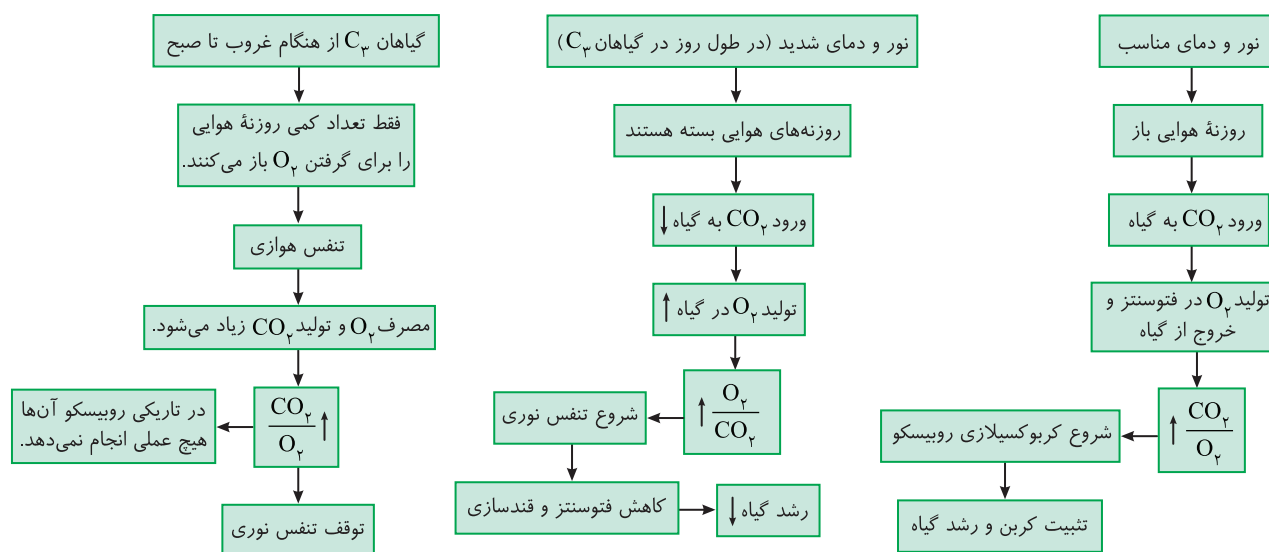
۱) فتوسنتز در گیاهان C_3

این گیاهان که اغلب گیاهان طبیعت را شامل می‌شوند، فقط می‌توانند کربن را در چرخه کالوین و به کمک واکنش‌های کربوکسیلازی رویسکو تثبیت کنند. در نتیجه در دما و نور بسیار شدید، قدرت چندانی برای تولید مواد آلی و رشد مناسب ندارند. این گیاهان نمی‌توانند بر تنفس نوری غلبه کنند و مانع آن شوند. غلاف آوندی برگ‌ها در این گیاهان فاقد سبزدیسه (کلروپلاست) می‌باشد. به همین دلیل، این گیاهان فتوسنتز را فقط در شرایط مساعد و آن هم در باخته‌های نگهدارنده یا میانبرگ‌ها انجام می‌دهند.

نکته

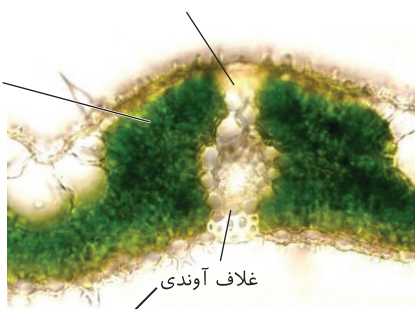
گیاهان C_3 ، اغلب از نوع دولپه‌ای‌ها می‌باشند که غلاف آوندی آن‌ها فاقد سبزدیسه، قدرت فتوسنتز و تثبیت کربن می‌باشد.

● زندگی گیاهان C_3 در شرایط گرم و خشک



غلاف آوندی در گیاهان C_3 سبز و فتوسنتز کننده نمی‌باشد.

باخته‌های میانبرگ نرده‌ای و اسفنجی سبز فتوسنتز کننده ($NADH$ ، $FADH_2$ و $NADPH$ می‌سازند.)



قدرت تولید $NADH$ و $FADH_2$ دارند ولی $NADPH$ نمی‌سازند. «برگ گیاه C_3 »

نکته

واکنش‌های چرخه کالوین و عملکردهای روبیسکو در گیاهان C_3 و سایر گیاهان، فقط در نور انجام و ادامه می‌یابد.

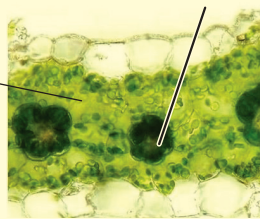
۲) فتوسنتز در گیاهان C_4

این گیاهان با سیستم‌های ژنتیکی متفاوتی که دارند، در محیط گرم و خشک و دارای نور و دمای بالا، قادرند تولید مواد آلی فتوسنتز را توسط یاخته‌های غلاف آوندی در چرخه کالوین به صورت بهینه انجام دهند و تقریباً از انجام تنفس نوری ممانعت به عمل بیاورند. این گیاهان **کربن** را در دو مرحله تثبیت می‌کنند که مرحله اول در یاخته میانبرگی، در مولکول اسیدی چهار کربنی (C_4) و مرحله دوم در چرخه کالوین غلاف آوندی در ترکیب اسید سه کربنی (C_3) تثبیت می‌کنند.

این گیاهان در روز که در معرض نور و دمای شدید محیطی قرار دارند، روزنه‌های هوایی تقریباً بسته‌ای دارند که مانع ورود CO_2 شده و همچنین مانع خروج O_2 حاصل از فتوسنتز می‌شوند. البته هدف این گیاهان از بستن روزنه‌ها، جلوگیری از تبخیر آب در عمل تعرق می‌باشد تا آب گیاه در محیط گرم و خشک حفظ شود. **این گیاهان سازش یافته‌اند که یک کربن را در دو مرحله تثبیت کنند**، بدین صورت که بار اول در یاخته‌های میانبرگ خود که اسید سه کربنه زیادی ذخیره داشته‌اند، آنزیمی مخصوص اتصال با CO_2 ، سبب ترکیب اسید سه کربنه با CO_2 می‌شود و کربن آن را در **اسید چهار کربنه پایداری** تثبیت می‌کنند. دلیل نام‌گذاری این گیاهان به نام C_4 نیز همین موضوع است زیرا اولین ماده پایداری که کربن در آن تثبیت می‌شود یک **مولکول اسیدی چهار کربنی** می‌باشد. یاخته‌های میانبرگ سپس اسیدهای چهار کربنه خود را از طریق **پلاسمودسم‌های** موجود در دیواره یاخته‌ای خارج کرده و به یاخته‌های فتوسنتز کننده در اطراف آوندها به نام یاخته‌های **غلاف آوندی** می‌دهند. در این یاخته‌ها، ابتدای عمل دکربوکسیلاسیون، CO_2 از اسید چهار کربنی **خارج** می‌شود. این عمل بارها تکرار می‌شود و به تدریج مقدار CO_2 درون یاخته غلاف آوندی، بالا می‌رود. این مسیر افزایش CO_2 ، سبب **شروع فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو** در **غلاف آوندی** می‌شود. در نتیجه در غلاف آوندی چرخه کالوین به راه می‌افتد و همان کربن تثبیت شده قبلی، **یک بار دیگر** در اسید سه کربنی چرخه کالوین ترکیب می‌شود. با این عمل واکنش‌های چرخه کالوین و قندسازی در غلاف آوندی گیاهان C_4 شروع می‌شود و در حالی که محیط دارای نور و دمای شدید است و روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند، گیاه رشد مناسبی پیدا می‌کند.

روبیسکو آن‌ها برای کربوکسیلازی فعال است. غلاف آوندی در گیاهان C_4 تمام مراحل فتوسنتز را انجام می‌دهد و تثبیت کربن را هم در چرخه کالوین انجام می‌دهد.

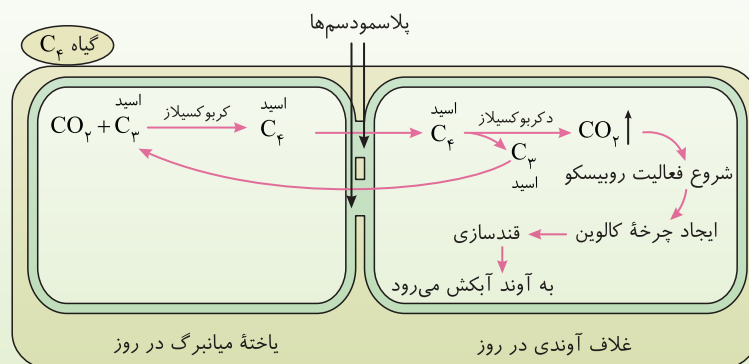
یاخته‌های میانبرگی کلروپلاست‌دار که طی روز کربن را در اسید چهار کربنی تثبیت می‌کنند.



«برگ گیاه C_4 »

نکات مهم در بررسی تست‌ها

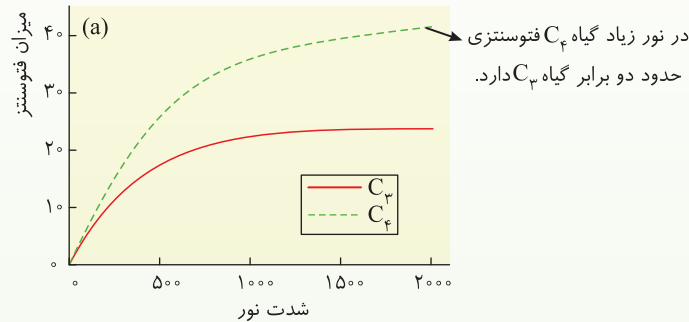
① در گیاهان C_4 ، یک کربن دو بار تثبیت می‌شود، بار اول در یاخته میانبرگ که به صورت اسید چهار کربنی در **روز** تثبیت شده و بار دوم نیز در روز به کمک روبیسکو در واکنش‌های چرخه کالوین به صورت اسید سه کربنی تثبیت می‌شود.



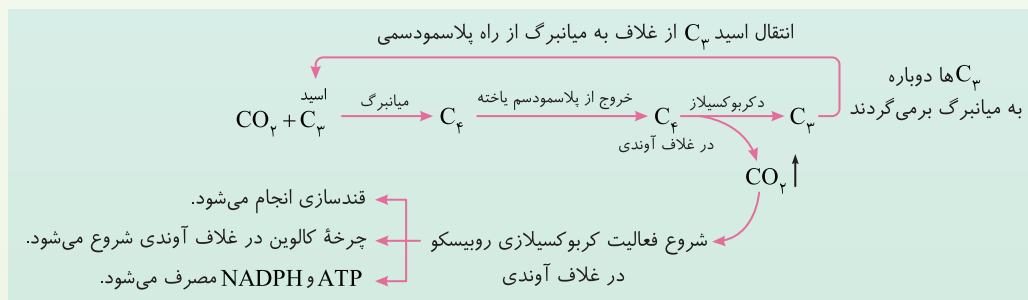
۲) همان‌طور که می‌دانید، رویسکو در غلاف آوندی، هم می‌تواند با O_2 و هم با CO_2 واکنش دهد ولی گیاهان C_3 شرایط را طوری مهیا می‌کنند که همواره مقدار CO_2 در اطراف رویسکو، بیشتر از O_2 باشد و به ندرت تنفس نوری رخ می‌دهد.

۳) آنزیمی که در میانبرگ گیاهان C_4 ، قادر به ترکیب CO_2 با اسید سه کربنی و تثبیت کربن می‌باشد، فقط دارای جایگاه اتصال اختصاصی با CO_2 می‌باشد و هیچ تمایلی به ترکیب با اکسیژن ندارد.

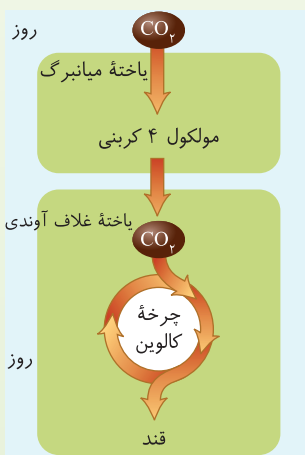
۴) گیاهان C_4 با سازشی که برای غلبه بر تنفس نوری دارند، در شرایط محیطی نامساعد گرم و خشک، مقدار فتوسنتز و رشدی در حدود دو برابر گیاهان C_3 دارند.



۵) در گیاهان C_4 ، اسید چهار کربنی تثبیت کننده اولیه کربن، در یاخته‌های میانبرگ ایجاد می‌شود. این مولکول اسیدی چهار کربنی باید با عبور از سیتوپلاسم و منافذ پلاسمودسمی این یاخته و ورود به یاخته غلاف آوندی، ابتدا CO_2 خود را جدا کند و سپس اسید سه کربنی (C_3) حاصل را از همین راه دوباره به میانبرگ برگرداند. در ادامه این روند مقدار CO_2 در غلاف آوندی زیاد شده و آنزیم رویسکو موجود در غلاف آوندی، به سمت واکنش‌های کربوکسیلازی چرخه کالوین و قندسازی می‌رود (در غلاف آوندی گیاهان C_4 ، همواره غلظت CO_2 در مجاور آنزیم رویسکو، بالا می‌باشد).



۶) در گیاهان C_4 ، یک کربن موجود در CO_2 ، در دو یاخته تثبیت می‌شود یعنی تقسیم بندی مکانی برای تثبیت کربن دارند. اولین تثبیت کربن در میانبرگ به صورت اسید C_4 و دومی در چرخه کالوین غلاف آوندی و به صورت اسید C_3 صورت می‌گیرد. هر دو فرایند در روز (روشنایی) یعنی بدون تقسیم بندی زمانی صورت می‌گیرند.



«ذرت»

۷) به دلیل بالا بودن غلظت CO_2 در اطراف آنزیم رویسکو، واکنش‌های تنفس نوری در گیاهان C_4 ، به ندرت رخ می‌دهد.

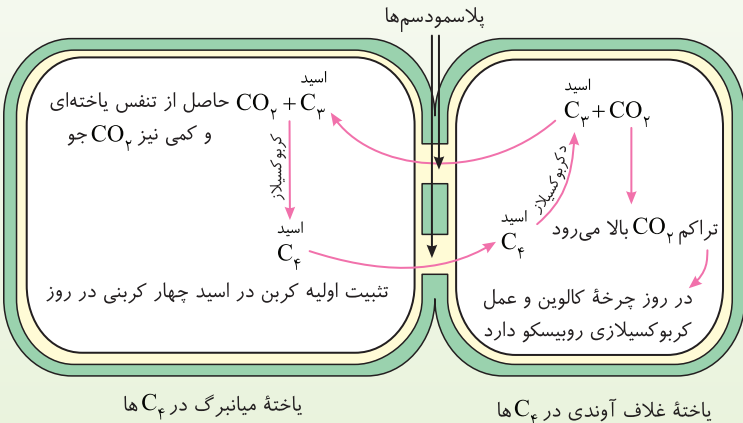
۸) گیاهان C_4 ، در دما و نور بسیار زیاد ولی رطوبت کم (کمپورک)، در حالی که روزنه‌های هوایی آن‌ها بسته‌اند، قادرند ضمن اینکه از تبخیر آب اضافی یاخته جلوگیری کنند، مقدار تراکم CO_2 را نیز در غلاف آوندی سبز دیسه‌دار زیاد کنند و واکنش‌های کربوکسیلازی رویسکو را در بستره سبز دیسه حفظ کنند. قدرت رشد و فتوسنتز این گیاهان در شرایط گرم و خشک، بیش از گیاهان C_3 می‌باشد زیرا گیاهان C_3 ، فقط می‌توانند کربن را به صورت اسید C_3 در چرخه کالوین تثبیت کنند. بدیهی است که در شرایط گرم و خشک، رویسکو گیاهان C_3 به سمت تنفس نوری رفته و فتوسنتز گیاه را متوقف می‌کند.

۹) اغلب گیاهان C_3 ، در شرایط گرم و خشک قادر به ممانعت از واکنش‌های تنفس نوری نمی‌باشند ولی گیاهان C_4 قادرند مقدار تنفس نوری را به حداقل برسانند یا حذف کنند.

۱۰ در گیاهان C_4 ، آنزیم‌های گوناگون تثبیت‌کننده کربن، عمل متفاوتی دارند. در این گیاهان اسید چهار کربنی تولید شده در میانبرگ، ابتدا پس از ورود به غلاف آوندی با دکربوکسیلاسیون، CO_2 خود را از دست می‌دهد و سپس با ایجاد چرخه کالوین و ادامه واکنش‌های فتوسنتزی، ATP و NADPH تولید شده در مراحل قبلی را به مصرف می‌رساند. (در گیاهان C_4 مصرف ATP نوری و NADPH در غلاف آوندی صورت می‌گیرد.)

۱۱ در گیاهان C_4 ، تثبیت هر کربن طی دو مرحله و در دو یاخته مختلف از برگ (تقسیم مکانی) صورت می‌گیرد. اولی در میانبرگ که CO_2 حاصل از تنفس یاخته‌ای و تنفس نوری و کمی CO_2 جو را جمع کرده و طی کربوکسیلاسیون با یک اسید سه کربنی عمل می‌کند. دومی تثبیت همین کربن در غلاف آوندی است که توسط آنزیم روبیسکو و طی کربوکسیلاسیون در چرخه کالوین به صورت اسید سه کربنی صورت می‌گیرد.

۱۲ در گیاهان C_4 ، میزان CO_2 در مجاورت محل عملکرد آنزیم روبیسکو در غلاف آوندی به اندازه‌ای بالا ننگه داشته می‌شود که مانع عمل اکسیژنازی آنزیم روبیسکو در آنها می‌شود و بازدارنده تنفس نوری می‌باشد. به همین دلیل تنفس نوری در این گیاهان، به ندرت رخ می‌دهد.



۱۳ چرخه کالوین در گیاهان C_4 ، فقط در یاخته‌های غلاف آوندی صورت می‌گیرد. یعنی چرخه کالوین در یاخته‌های سبزیسه‌دار میانبرگ نرده‌ای یا اسفنجی آنها رخ نمی‌دهد.

۱۴ هر دو نوع واکنش‌های تثبیت کربن در گیاهان C_4 در روز انجام می‌شود ولی در دو یاخته مختلف از برگ صورت می‌گیرد.

۱۵ انتقال اسید C_4 از میانبرگ به غلاف آوندی و انتقال اسید C_3 از غلاف آوندی به میانبرگ، همگی از راه منافذ دارای سیتوپلاسم به نام پلاسمودسم‌های موجود در دیواره یاخته‌ای صورت می‌گیرد.

۱۶ در گیاهان C_4 ، آنزیمی که بار اول کربن را در میانبرگ و در یک اسید چهار کربنی تثبیت می‌کند، فقط به‌طور اختصاصی وظیفه ترکیب با CO_2 یا کربوکسیلازی ($CO_2 + C_3$) دارد ولی آنزیم روبیسکو که بار دوم این کربن را در غلاف آوندی تثبیت می‌کند، هم فعالیت اکسیژنازی و هم کربوکسیلازی می‌تواند انجام دهد.

● مقایسه اثر شدت نور بر میزان فتوسنتز گیاهان C_4 و C_3

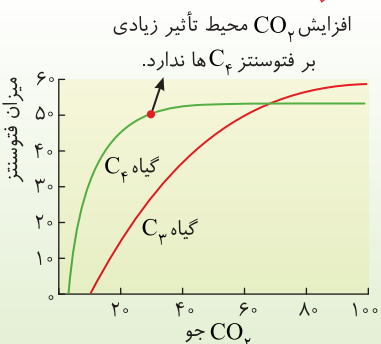
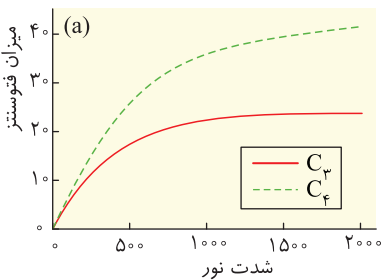
گیاهان C_3 در شرایطی رشد مناسب دارند که شدت نور طبیعی باشد ولی نور و دمای شدید، سبب بستن شدن روزنه‌های هوایی آنها و شروع تنفس نوری می‌شود. در این حالت، میزان فتوسنتز این گیاهان کم می‌شود. در گیاهان C_4 ، چون سازش یافته‌اند، حتی در نور شدید نیز بر تنفس نوری غلبه می‌کنند و با انجام چرخه کالوین در غلاف آوندی به ماده‌سازی می‌پردازند. به همین دلیل همان‌طور که در نمودار روبه‌رو مشاهده می‌کنید، مقدار رشد گیاهان C_4 در نور شدید، تقریباً دو برابر گیاهان C_3 می‌باشد.

● مقایسه اثر میزان CO_2 جو بر میزان فتوسنتز گیاهان C_4 و C_3

گیاهان C_4 برای فتوسنتز، بیشتر وابسته به CO_2 های تولید خود در تنفس یاخته‌ای یا کمی در تنفس نوری می‌باشند و کمی نیز CO_2 جو را قادرند جذب کنند. به همین دلیل زیاد متکی و وابسته به CO_2 جو نمی‌باشند. در این گیاهان وجود CO_2 اندکی در جو سبب شروع سریع واکنش‌های چرخه کالوین در غلاف آوندی می‌شود ولی افزایش بیشتر CO_2 جو سبب افزایش شدت فتوسنتز در آنها نمی‌شود. در گیاهان C_3 مقدار CO_2 جو و شدت فتوسنتز تا هنگام اشباع آنزیم‌ها از CO_2 ، رابطه مستقیم دارند.

نکته

نمودار روبه‌رو تأثیر میزان CO_2 جو را بر میزان فتوسنتز در گیاهان C_3 و C_4 نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، در گیاهان C_4 ، وجود مقدار کمی CO_2 جو، سریعاً سبب افزایش میزان فتوسنتز می‌شود ولی پس از اینکه میزان CO_2 کمی بیشتر شد (بالا تر از ۲۰)، میزان فتوسنتز ثابت می‌شود. ولی در گیاهان C_3 افزایش میزان CO_2 جو، همواره تا اشباع آنزیم‌ها و تا حد بالاتر از ۸۰ نیز بر شدت فتوسنتز اثر مثبت دارد.

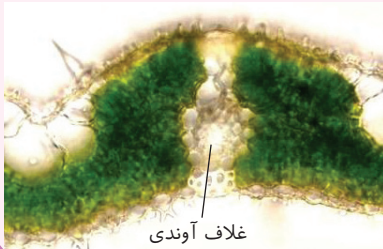


تست ۱۶ کدامیک، در رابطه با «گیاهان C_۴» درست است؟

- ۱) همانند اغلب گیاهان، یاخته‌هایی به هم فشرده با قدرت تثبیت کربن در اطراف بافت آوندی دارند.
- ۲) یک کربن در این گیاهان توسط دو نوع سیستم آنزیمی تثبیت می‌شود.
- ۳) در روز CO_۲ های فراوانی را از جو گرفته و طی دو مرحله در یاخته‌های سبز دیسه‌دار تثبیت می‌کنند.
- ۴) CO_۲ خارج شده از اسید چهار کربنی آن‌ها از طریق پلاسمودسم وارد غلاف آوندی می‌شود.

پاسخ ۲

نکته: در گیاهان C_۴، کربن یک مولکول CO_۲، دو بار در روز ولی در دو یاختهٔ مختلف به ترتیب در میانبرگ و غلاف آوندی تثبیت می‌شود.



غلاف آوندی

تله‌های تستی (گزینهٔ ۱): در اغلب گیاهان که C_۳ و دولپه‌ای هستند، غلاف آوندی سبز دیسه و قدرت فتوسنتز ندارد (شکل مقابل). / گزینهٔ (۳): روزنه‌های هوایی گیاهان C_۴، C_۳ و CAM در روزهای گرم و خشک، معمولاً بسته هستند و قدرت زیادی برای جذب CO_۲ جو ندارند. / گزینهٔ (۴): در گیاهان C_۴، اسید چهار کربنی میانبرگ که برای اولین بار کربن CO_۲ در آن تثبیت شده است از راه پلاسمودسم به غلاف آوندی می‌رود و در آنجا ضمن تجزیه، CO_۲ آن آزاد می‌شود.

۳ فتوسنتز در گیاهان CAM

این گیاهان در محیط‌هایی با نور شدید و دمای بالا همراه با خشکی و کم‌آبی زندگی می‌کنند. آب و هوای محیط این گیاهان روزهای بسیار گرم و شب‌های سرد است و غالباً بیابانی هستند. این گیاهان همواره به دلیل کم‌آبی محیط خود، مشکل گرفتن آب دارند. **به همین دلیل در طول روز برای توقف در عمل تعرق، روزنه‌های هوایی خود را می‌بندند و CO_۲ ای از جو جذب نمی‌کنند.** روزنه‌های هوایی برگ و ساقه این گیاهان در شب با افزایش فشار تورژسانس یاخته‌های نگهبان، باز می‌شوند و مقدار زیادی CO_۲ جو را جذب گیاه می‌کنند. آناناس و کاکتوس از جمله گیاهان CAM هستند که دارای برگ یا ساقه یا هر دو این اندام‌ها به صورت گوشتی پر آب می‌باشند. **واکنش‌های این گیاهان حاوی ترکیباتی برای نگهداری آب هستند.** (در هر دو اندام برگ و ساقه آن‌ها نیز می‌توان حفظ آب و گوشتی بودن را مشاهده کرد).

نکته

گیاهان CAM نیز همانند C_۴ ها، تثبیت یک کربن را دوبار و طی دو مرحله در اسید C_۴ و C_۳ (کالوین) انجام می‌دهند و واکنش‌هایی مشابه هم دارند ولی به دلیل کمبود وسعت برگ و ذخیرهٔ سبزینه‌ای، مقدار فتوسنتز در گیاهان CAM (کم) از C_۳ و C_۴ کمتر می‌باشد. این گیاهان، با اینکه به تنفس نوری غلبه می‌کنند ولی در شرایط نور و دمای شدید برخلاف گیاهان C_۴ رشد قابل توجهی ندارند (چرخهٔ زیست در حین فتوسنتز نمی‌توانند CO_۲ جذب کنند).

● مراحل تثبیت کربن در گیاهان CAM

در این گیاهان شب هنگام روزنه‌های هوایی باز هستند و CO_۲ زیادی را از جو جذب می‌کنند. این CO_۲ ها در شب توسط آنزیمی با اسید سه کربنی ترکیب می‌شوند و کربن آن‌ها در اسید C_۴ تثبیت می‌شود. با طلوع خورشید و شروع شرایط نور و دمای بسیار شدید و بسته شدن روزنه‌های هوایی، در همان یاخته‌ای که اسید چهار کربنی را شب قبل ساخته است، عمل آزادسازی CO_۲ صورت می‌گیرد. این CO_۲ ها در روز وارد سبز دیسهٔ یاختهٔ میانبرگی شده و سبب افزایش تراکم CO_۲ می‌شوند تا فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو آغاز شود و چرخهٔ کالوین همراه با قندسازی به کار بیفتد. باید دقت کنید که مقدار فتوسنتز این گیاهان، به دلیل مقدار کم رنگیزه‌های فتوسنتزی و کمبود میزان CO_۲، اندک می‌باشد. این گیاهان مثل آناناس یا کاکتوس رشد کمی دارند (CAM کم).

- ◀ دو نوع تثبیت کربن
 - در گیاهان C_۴
 - تقسیم‌بندی مکانی دارد ← در میانبرگ و غلاف صورت می‌گیرد.
 - تقسیم‌بندی زمانی ندارد ← فقط در روز صورت می‌گیرد.
 - در گیاهان CAM
 - تقسیم‌بندی مکانی ندارد ← در یاختهٔ میانبرگی رخ می‌دهد.
 - تقسیم‌بندی زمانی دارد ← یک‌بار در شب (C_۴) و یک‌بار در روز به صورت (C_۳) انجام می‌شود.



روز

(آناناس)

تست ۱۷

کدام گزینه نمی‌تواند تکمیل‌کننده عبارت زیر باشد؟

«در گیاه آناناس، زمانی که روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند،»

- (۱) از اسید آلی چهارکربنی، کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.
 - (۲) کربن دی‌اکسید برای تثبیت توسط آنزیم روبیسکو نیاز به عبور از دو غشای سبز دیسه را دارد.
 - (۳) تراکم کربن دی‌اکسید درون اندامک دارای قدرت تولید ATP نوری، به تدریج افزایش می‌یابد.
 - (۴) در دو اندامک به‌طور هم‌زمان ولی توسط سیستم آنزیمی متفاوت، تثبیت کربن رخ می‌دهد.
- دقت کنید که گیاهان CAM (C₄-C₃) روزنه‌های هوایی خود را در هنگام روز می‌بندند. این گیاهان در روز از ترکیب اسیدی C₄ ذخیره شده در شب، دی‌اکسید کربن آزاد می‌کنند که از دو غشای سبز دیسه عبور کرده و وارد سبز دیسه می‌شود. در هنگام روز دی‌اکسید کربن به سمت سبز دیسه می‌رود یعنی تراکم CO₂ در اندامک دارای قدرت تولید ATP نوری، افزایش می‌یابد.

پاسخ ۴

بررسی نادرستی گزینه (۴): نکته شایان توجه این است که سیستم‌های آنزیمی برای تثبیت دو مرحله‌ای کربن، در واکوئول و سبز دیسه، متفاوت است. آنزیم روبیسکو در جریان تثبیت دوم کربن در سبز دیسه، نقش ایفا می‌کند، به بیان دیگر آنزیم روبیسکو تنها درون سبز دیسه دیده می‌شود و از طرفی تثبیت اولیه کربن هنگام شب و تثبیت دوم کربن هنگام روز انجام می‌شود (نه هم‌زمان).

تست ۱۸

کدام گزینه درست است؟

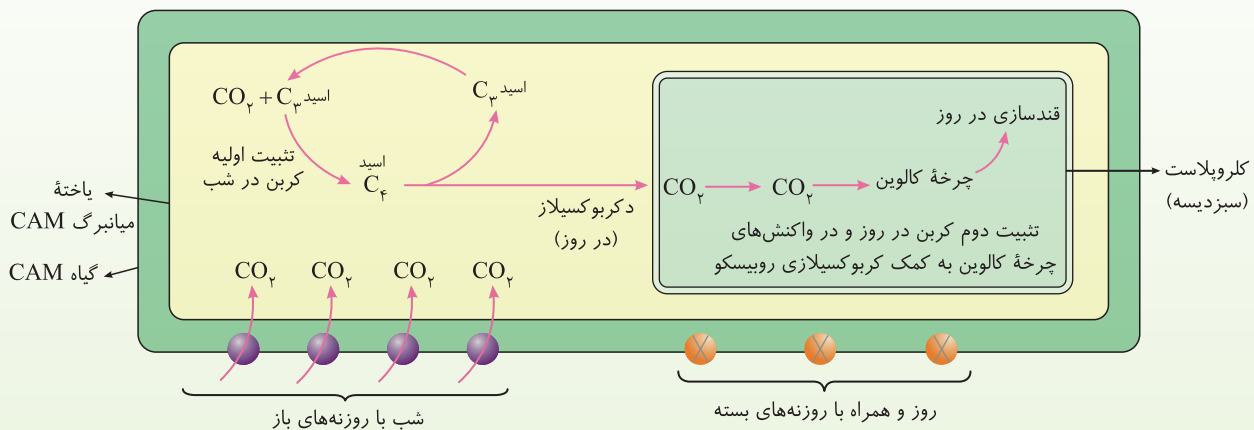
- (۱) در گیاه C₄ برخلاف گیاهان C₃، دوباره‌سازی NADP⁺ در روز رخ می‌دهد.
- (۲) در گیاه C₃ برخلاف گیاهان دیگر، اولین مولکول پایدار حاصل از تثبیت کربن، قند سه‌کربنی است.
- (۳) در گیاه آناناس برخلاف C₄ها، دو نوع تثبیت کربن در زمان‌های متفاوت ولی در یک واحد زیستی رخ می‌دهد.
- (۴) دو نوع تثبیت کربن در گیاهان مقاوم به نور و دمای بالا، همواره زمان و مکان جداگانه‌ای دارند.

پاسخ ۳

هر دو تثبیت کربن در گیاهان CAM در یک یاخته ولی یکی در شب و دیگری در روز رخ می‌دهد ولی در گیاهان C₄ هر دو تثبیت در روز ولی در دو یاخته مختلف صورت می‌گیرد (درست‌ترین (۳) و نادرست‌ترین (۴)). دوباره‌سازی NADP⁺ در چرخه کالوین هر گیاهی در روز صورت می‌گیرد (نادرست‌ترین (۱)). اولین مولکول تثبیت شده در چرخه کالوین اسید سه‌کربنه است نه قند سه‌کربنه! (نادرست‌ترین (۲)).

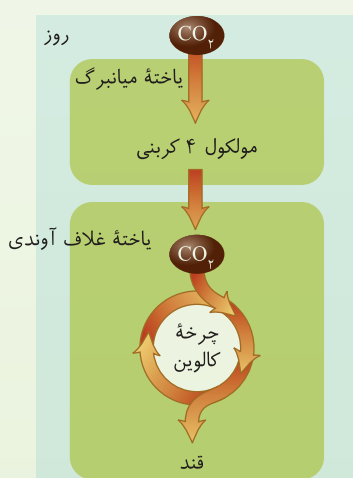
چند نکته مهم در بررسی تست‌ها

- (۱) عمل تثبیت برای هر کربن در گیاهان CAM، دوبار و در یک یاخته (به‌یون تقسیم‌بندی مکانی) رخ می‌دهد. این تثبیت‌ها یک‌بار در شب به صورت تولید اسید C₄ و بار دیگر در روز و در بستره سبز دیسه همان یاخته به صورت اسید C₃ در چرخه کالوین انجام می‌شود.
- (۲) گیاهان CAM برخلاف گیاهان C₄ و C₃ در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز به تثبیت کربن می‌پردازند.



- (۳) در هر سه نوع گیاهان C₃، C₄ و CAM، واکنش‌های تثبیت کربن به صورت اسید سه‌کربنی در چرخه کالوین، فقط در روز و همراه با واکنش‌های نوری فتوسنتز صورت می‌گیرد که منجر به مصرف ATP و NADPH و تولید قند با فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو می‌شود.
- (۴) در شروع روز و با آغاز واکنش‌های فتوسنتزی مقدار اسیدی در گیاهان CAM از سایر گیاهان بیشتر می‌باشد چون کربن در شب در اسید چهارکربنی تثبیت شده است. به همین دلیل pH عصاره گیاهان CAM در ابتدای روز از سایر گیاهان اسیدی‌تر و پایین‌تر می‌باشد.
- (۵) تثبیت کربن در شب، مخصوص گیاهان CAM می‌باشد که به صورت اسید چهارکربنی آن را تثبیت و ذخیره می‌کنند (البته در ارامه‌مح‌خوانیم که با آنزیم‌های شیمیوسنتزکننده نیز در هر شرایطی توانایی تثبیت کربن دارند).

گیاهان CAM	گیاهان C_4	گیاهان C_3
تعداد کمی مثل آناناس هستند.	اغلب تک‌په‌ای هستند.	اغلب گیاهان هستند.
دو نوع تثبیت کربن به صورت C_3 و C_4 (کالوین) دارند.	دو نوع تثبیت کربن به صورت C_3 و C_4 (کالوین) دارند.	فقط در چرخه کالوین تثبیت کربن دارند.
تثبیت کربن به صورت C_4 در شب و به صورت C_3 در روز دارند.	فقط در روز و به دو صورت C_3 و C_4 تثبیت کربن دارند.	فقط در روز و به صورت C_3 تثبیت کربن دارند.
بر تنفس نوری غلبه دارند.	بر تنفس نوری غلبه دارند.	بر تنفس نوری غلبه‌ای ندارند.
تثبیت یک کربن را در یک یاخته میانبرگی ولی در دو زمان مختلف انجام می‌دهند. شب ← تثبیت کربن به صورت C_4 روز ← تثبیت کربن در کالوین به صورت C_3	یک کربن را طی دو مرحله و در دو یاخته مختلف میانبرگ (تثبیت C_4) و غلاف آوندی (تثبیت C_3) ولی فقط در روز انجام می‌دهند.	تثبیت یک کربن را فقط در سبزدیسه یک یاخته و در یک مرحله انجام می‌دهند.
همواره رشد کمی دارند و در محیط خشک زندگی می‌کنند.	در شرایط دما و نور شدید، رشد مناسبی دارند.	در شرایط نور و دمای شدید، رشد کمی دارند.
در روز روزنه‌های هوایی بسته دارند ولی در شب جذب CO_2 جو از روزنه‌های باز دارند.	در روز گرم، روزنه‌های هوایی تقریباً بسته‌ای دارند و فتوسنتز آن‌ها با مقدار اندک CO_2 جو رابطه مستقیمی دارد و سپس ثابت می‌ماند.	در روز معمولی روزنه‌های هوایی باز دارند و مقدار CO_2 جو در فتوسنتز آن‌ها اثر مستقیم دارد.



۷ از غروب خورشید تا طلوع صبح بعد، واکنش‌های تنفس نوری و واکنش‌های فتوسنتزی در هیچ گیاهی انجام نمی‌شود ولی تنفس یاخته‌ای همه جانداران طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز رخ می‌دهد.

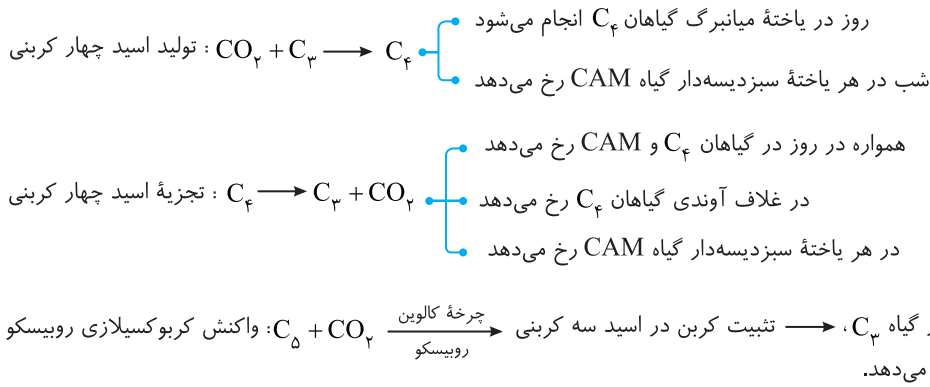
۸ یاخته‌هایی که در گیاهان C_4 مخصوص فتوسنتز و چرخه کالوین می‌باشند، همان غلاف آوندی هستند که یاخته‌هایی به هم فشرده در اطراف آوندها در رگبرگ می‌باشند (مصرف ATP نور و NADPH فقط در غلاف آوندی آن‌ها رخ می‌دهد) ولی در گیاهان C_3 و CAM هر یاخته سبزدیسه‌داری در صورت وجود شرایط مناسب و CO_2 و نور مناسب، فتوسنتز می‌کند و چرخه کالوین را به راه می‌اندازد.

۹ در گیاهان C_4 ، واکنش تثبیت کربن طی روز ابتدا در یاخته‌های میانبرگ در مولکول اسید چهار کربنی انجام می‌شود ولی در گیاهان CAM، واکنش اولیه تثبیت کربن در شب و در هر یاخته سبزدیسه‌داری انجام می‌شود. دقت کنید که تثبیت دوم کربن در هر دو نوع گیاه C_4 و CAM فقط در روز و به صورت چرخه کالوین رخ می‌دهد.

۱۰ در نور شدید و هنگام انجام چرخه کالوین در گیاهان C_4 و CAM، با افزایش هورمون آبسزیک اسید، روزنه‌های هوایی بسته می‌باشند تا تعرق سبب مرگ گیاه نشود.

۱۱ تجزیه اسید چهار کربنی تثبیت کننده کربن طی واکنش‌های جدا کردن CO_2 (رگرگولیز) رخ می‌دهد ($C_4 \leftarrow C_3 + CO_2$). این واکنش در گیاهان C_4 ، درون غلاف آوندی و در روز صورت می‌گیرد و سبب افزایش تراکم CO_2 در غلاف آوندی می‌شود. در CAM‌ها نیز این واکنش در روز انجام می‌شود ولی سبب افزایش تراکم CO_2 در سبزدیسه همان یاخته میانبرگی اولیه می‌شود.

انواع واکنش‌های تثبیت کربن در گیاهان



نکته

در گیاهان CAM انتقال اسید چهار کربنی تثبیت‌کنندهٔ کربن از طریق **پلاستودسم‌ها** صورت نمی‌گیرد، چون برخلاف گیاهان C_4 همهٔ واکنش‌های تثبیت اولیه و ثانویه کربن، در یک یاخته و بدون تقسیم‌بندی مکانی انجام می‌شود. دقت کنید که در گیاهان CAM، دو نوع تثبیت کربن در دو قسمت مختلف یک یاخته صورت می‌گیرد ولی در گیاهان C_4 این دو نوع تثبیت کربن، در یک زمان (روز) ولی در دو یاختهٔ مختلف رخ می‌دهد.

نکته

به دلیل اینکه روزنهٔ هوایی گیاهان CAM فقط در شب باز می‌باشند، این گیاهان، تثبیت کربن را در شب برای CO_2 جو انجام می‌دهند ولی در روز، عمل تثبیت کربن را برای همان اتم تثبیت شده در شب قبل انجام می‌دهند. یعنی گیاهان CAM در روز، عمل تثبیت کربن را برای CO_2 جو انجام نمی‌دهند.

نکته

چون گیاهان CAM، در شب به ذخیرهٔ اسید چهار کربنی می‌پردازند، به همین دلیل در ابتدای صبح، pH این گیاهان از سایر گیاهان کمتر می‌باشد.

تست ۱۹ کدام گزینه، برای تکمیل عبارت زیر مناسب است؟

«در همهٔ گیاهانی که تولید قند سه کربنی حاصل از فتوسنتز در آن‌ها، فقط به هنگام روز صورت می‌گیرد، به‌طور حتم آنزیمی باعث می‌شود.»

(۱) ترکیب شدن O_2 با مولکولی پنج کربنی

(۲) افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی دوفسفاته

(۳) ترکیب شدن CO_2 با اسید سه کربنی و تشکیل اسید چهار کربنی

(۴) تجزیه شدن مولکول پنج کربنی به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی

ابتدا باید توجه داشته باشید که در تمام گیاهان فتوسنتزکننده، تولید قند سه کربنی حاصل از فتوسنتز تنها در روز صورت می‌گیرد پس باید به دنبال گزینه‌ای بود که در هر سه نوع گیاه C_3 ، C_4 و CAM صدق کند. می‌دانیم که هر نوع گیاهی، برای فتوسنتز باید توسط فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو، CO_2 را به مولکول ربیولوز بیس فسفات که مولکولی پنج کربنی و دوفسفاته است اضافه کند (در سطح گزینۀ (۲)).

پاسخ ۲

تله‌های تستی گزینۀ (۱): ترکیب شدن مولکول اکسیژن با ربیولوز بیس فسفات در شرایط نور شدید و بیشتر در گیاهان C_3 صورت می‌گیرد. هر چند به ندرت در گیاهان C_4 هم شاهد آن هستیم (۱) *نه به‌طور حتم*. / گزینۀ (۳): ساخته شدن اسید چهار کربنی از اسید سه کربنی در گیاهان C_3 رخ نمی‌دهد. / گزینۀ (۴): تجزیهٔ مولکول پنج کربنی ناپایدار به ترکیبات دو و سه کربنی طی تنفس نوری رخ می‌دهد که به ندرت در گیاهان C_4 دیده می‌شود.

تست ۲۰ کدام عبارت، در مورد پاسخ گیاهان C_4 به آب و هوای گرم و خشک صادق است؟

(سراسری خارج از کشور - ۹۷)

(۱) همانند گیاهان CAM، آنزیم تثبیت‌کنندهٔ کربن آن‌ها، به میزان زیاد فعالیت اکسیژنازی هم انجام می‌دهد.

(۲) برخلاف گیاهان C_3 ، اسیدهای آلی حاصل از تثبیت کربن جو را در واکوئول‌های خود برای حفظ آب نگه می‌دارند.

(۳) برخلاف گیاهان C_3 ، با تجزیهٔ یک ترکیب دو کربنی در خارج از سبزدیسه، CO_2 تولید می‌کنند.

(۴) همانند گیاهان CAM، توانایی انجام واکنش‌های مستقل از نور فتوسنتز را دارند.

پاسخ ۴

تله‌های تستی گزینۀ (۱): در گیاهان C_4 و CAM به دلیل سازش با گرمای شدید، واکنش‌های تنفس نوری و اکسیژنازی روبیسکو، به ندرت رخ می‌دهد. / گزینۀ (۲): ذخیرهٔ ترکیباتی در واکوئول برای حفظ آب از ویژگی‌های گیاهان CAM می‌باشد. / گزینۀ (۳): تولید CO_2 از ترکیب دو کربنی، ویژهٔ مرحلهٔ آخر تنفس نوری در راکیزه می‌باشد که به ندرت در گیاه C_4 رخ می‌دهد ولی در گیاه C_3 و در شرایط گرم و خشک به مقدار زیادی رخ می‌دهد.



اغلب فتوسنتز طبیعت توسط انواعی از جانداران آغازی و باکتری رخ می‌دهد که خشکی‌زی نیستند. همگی از نور خورشید انرژی می‌گیرند.

- از نور خورشید انرژی می‌گیرند و همواره از آب الکترون گرفته و O_2 آزاد می‌کنند.
- گیاهان** بخش عمده فتوسنتز طبیعت را انجام می‌دهند (گیاهان اقل فتوسنتز ندارند).
- انواع C_3 ، C_4 و CAM دارند.

انواع فتوسنتزکننده مثل جلبک‌ها (پری‌کامپلکس و تک‌یاخته‌ای) و برخی تک‌یاخته‌ای‌ها مثل اوگلنا می‌باشند.

- نقش مهمی در تولید مواد آلی از مواد معدنی دارند.
- همگی از نور خورشید، انرژی می‌گیرند و از آب الکترون گرفته و O_2 می‌سازند.

برخی آغازیان

- انواعی از آغازیان خشکی‌زی یا آبی فتوسنتزکننده وجود دارد.
- جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای فتوسنتزکننده وجود دارد (گولر رنگ از آنها را نخورید!).
- اسپیروژیر ← جلبک سبز رشته‌ای پری‌یاخته‌ای با سبز دیسه نواری دراز می‌باشد.



- آغازی تک‌یاخته فتوسنتزکننده می‌باشند.
- در حضور نور، فتوسنتز می‌کند و مواد آلی را از مواد معدنی می‌سازد.
- اوگلنا**

- در عدم حضور نور، فتوسنتز می‌کند و مواد آلی را از سبز دیسه‌های خود را از دست می‌دهند.
- در صورت جاندار مصرف‌کننده از مواد آلی محیط، انرژی می‌گیرند و تغذیه می‌کنند.

یوکاریوت‌های فتوسنتزکننده (گیاهان و آغازیان)، انواع سبزینه، کاروتنوئید و فتوسیستم دارند.

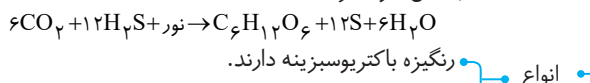
- باکتری‌ها فاقد اندامک غشاداری مثل سبز دیسه و راکیزه هستند.
- همگی رنگیزه‌های جذب کننده نور خورشید دارند و از نور خورشید انرژی می‌گیرند.
- برخی باکتری‌های فتوسنتزکننده، سبزینه دارند.

الف) فتوسنتزکننده‌ها

- در غشای خود، سبزینه نوع **a** برای جذب نور خورشید دارند.
- با استفاده از CO_2 ، آب و نور خورشید، فتوسنتز می‌کنند.
- مواد آلی می‌سازند و O_2 تولید می‌کنند.
- سیانوباکتری‌ها (فتوسنتزکننده اکسیژن‌زا)
- باکتری‌های فتوسنتزکننده و اکسیژن‌زا می‌باشند.
- برخی** قدرت تثبیت نیتروژن ($N_2 \rightarrow NH_4^+$) دارند.
- با تثبیت نیتروژن می‌توانند با گیاهانی مثل آژولا یا گونا هم‌زیستی کنند.
- این باکتری‌ها با اینکه تولیدکننده اولی در هم‌زیستی با گیاهان می‌توانند مقداری مواد آلی به دست بیاورند.

برخی باکتری‌ها

- از نور خورشید برای تبدیل مواد معدنی به آلی استفاده می‌کنند.
- رنگیزه باکتریوسبزینه (مقاومت با سبزینه) در غشای خود دارند.
- گوگردی ارغوانی و سبز دارند.
- رنگیزه‌های فتوسنتزی به نام باکتریوسبزینه دارند.
- CO_2 را تثبیت کرده و مواد آلی می‌سازند.
- آب به عنوان منبع الکترون فتوسنتز آنها نمی‌باشد.
- از H_2S به عنوان منبع الکترون در فتوسنتز استفاده می‌کنند.
- در فتوسنتز به جای O_2 ، به تولید گوگرد می‌پردازند.
- از آنها در تصفیه فاضلاب‌ها برای حذف H_2S (هیدروژن سولفید) استفاده می‌کنند.
- قدرت تولید و مصرف O_2 ندارند.
- H_2S گازی بی‌رنگ می‌باشد که بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.
- واکنش فتوسنتزی آنها:



انواع غیر گوگردی خارج از مبحث کتاب درسی است ولی منبع الکترون آنها نه آب است و نه H_2S !!! ولی منبع انرژی آنها نیز نور خورشید می‌باشد و تثبیت CO_2 می‌کنند.

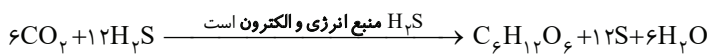
هر جاندار فتوسنتزکننده‌ای، حاوی رنگیزه جذب کننده نور و دمای حلقوی می‌باشد.

ب) شیمیوسنتزکننده‌ها

همگی ضمن جذب انرژی، طی تثبیت کربن سبب تبدیل مواد معدنی به مواد آلی می‌شوند.

انواع جانداران تولید کننده مواد آلی از مواد معدنی

- انواعی از باکتری‌های تولیدکننده می‌باشند که در محیط فاقد نور نیز تولیدکنندگی را ادامه می‌دهند.
- به جای نور، از مواد معدنی انرژی می‌گیرند (توانایی فتوسنتز ندارند).
- با استفاده از انرژی و الکترون مواد معدنی، به ساخت مواد آلی می‌پردازند.
- در معادن، اعمال اقیانوس‌ها و اطراف دهانه آتشفشان‌های زیر آب وجود دارند.
- بدون نیاز به نور، مواد معدنی (CO_۲ و منبع انرژی) را به مواد آلی تبدیل می‌کنند.
- محل زیست آن‌ها برای زندگی بسیاری از جانداران غیرممکن است.
- محققین معتقدند که از قدیمی‌ترین جانداران روی زمین هستند.
- انرژی واکنش ساخت مواد آلی را از اکسایش ترکیبات معدنی به دست می‌آورند.
- باکتری‌های نیترات‌ساز خاک که آمونیوم (NH_۴⁺) را به نیترات (NO_۳⁻) تبدیل می‌کنند نمونه‌ای از این گروه هستند.
- هم منبع الکترون و هم منبع انرژی آن‌ها یک نوع ماده معدنی (غیرآل) می‌باشد.
- واکنش نمونه از عمل یک شیمیوسنتزکننده:



• باکتری‌های شیمیوسنتزکننده و گوگردی ضمن عمل تولیدکنندگی خود، آب تولید می‌کنند ولی در این واکنش‌ها، از آب استفاده نمی‌کنند.

تست ۲۱

چند مورد زیر در مورد باکتری‌های دارای سبزینه a نادرست می‌باشد؟

- (الف) از نوع اکسیژن‌زا هستند که فاقد باکتریوسبزینه می‌باشند.
 - (ب) فقط واجد آنزیم‌هایی برای تثبیت یک نوع عنصر می‌باشند.
 - (ج) طی هم‌زیستی، از مواد آلی برخی گیاهان نیز استفاده می‌کنند.
 - (د) منبع انرژی و الکترون آن‌ها با انواع جلبک‌های آغازی مشابه می‌باشند.
- (۱) ۲ مورد
(۲) ۱ مورد
(۳) ۳ مورد
(۴) صفر مورد

پاسخ ۲

فقط مورد (ب) نادرست می‌باشد.

◀ سبزینه a در بین باکتری‌ها فقط در سیانوباکتری‌ها دیده می‌شود.

تله‌های تستی (الف) درست است. سیانوباکتری‌ها، تولید O_۲ می‌کنند ولی باکتریوسبزینه رنگیره موجود در غشا باکتری‌های فتوسنتزکننده غیراکسیژن‌زا می‌باشد. / (ب) نادرست و (ج) درست است. برخی سیانوباکتری‌ها علاوه بر تثبیت کربن قدرت تثبیت نیتروژن نیز در خاک‌های دارای نیتروژن کم دارند و با گیاهانی مثل آذول یا گونرا هم‌زیستی می‌کنند و از مواد آلی آن‌ها استفاده می‌کنند (ریست‌رهم). / (د) درست است. گیاهان، جلبک‌ها، برخی اوگلناها و سیانوباکتری‌ها، از نور خورشید، انرژی می‌گیرند و از آب نیز تأمین الکترون می‌کنند.

تست ۲۲

کدام، در مورد همه جانداران تولیدکننده صدق نمی‌کند؟

- (۱) واکنش‌هایی مستقل از نور برای تولید ATP دارند.
- (۲) مواد معدنی را به ترکیبات آلی تبدیل می‌کنند.
- (۳) CO_۲ را توسط واکنش‌های چرخه کالوین تثبیت می‌کنند.
- (۴) از ترکیبات آلی یا معدنی، پروتون و الکترون دریافت می‌کنند.

پاسخ ۳

تثبیت کربن توسط چرخه کالوین ویژه اغلب فتوسنتزکنندگان می‌باشد ولی در شیمیوسنتزکننده‌ها، واکنش‌های چرخه کالوین وجود ندارد.

تله‌های تستی گزینه (۱): واکنش‌های تنفس یاخته‌ای، از واکنش‌های مستقل از نور می‌باشند که به تولید ATP می‌پردازند. (دقت کنید که در تست‌ها واکنش‌ها کربن‌دایک‌ساید به نور یا مستقل از نور تبدیل می‌شود. نباید فقط به فتوسنتز فکر کنید!) / گزینه (۲): هر تولیدکننده‌ای، می‌تواند مواد آلی را از مواد معدنی بسازد. / گزینه (۳): در تنفس یاخته‌ای، گرفتن الکترون و پروتون از مواد آلی (گلوکز) گرفته می‌شود ولی در فتوسنتز ماده معدنی مثل آب یا H_۲S، دهنده پروتون و الکترون می‌باشند.

تست ۲۳

هر باکتری می‌تواند

- (۱) فتوسنتزکننده - از میزان سولفید هیدروژن محیط بکاهد.
- (۲) نیترات‌ساز - بنیان پیروویک‌اسید را تولید و مصرف نماید.
- (۳) مصرف‌کننده - از طریق زنجیره انتقال الکترون، NAD⁺ را بازسازی نماید.
- (۴) تثبیت‌کننده نیتروژن - با استفاده از کربن غیرآلی، ترکیبات آلی متنوعی بسازد.

(سراسری خارج از کشور - ۹۳)

پاسخ ۲

باکتری‌های مختلف می‌توانند به دلیل واکنش‌های قندکافت، پیرووات (بنیاد پیرووات اسید) بسازند و با تنفس هوازی یا بی‌هوازی آن را مصرف کنند.

تله‌های تستی

گزینه (۱): فقط باکتری‌های گوگردی از H_2S محیط استفاده کرده و ضمن تجزیه آن‌ها از مقدار آن‌ها می‌کاهند که در تصفیه فاضلاب‌ها از آن‌ها استفاده می‌شوند. / گزینه (۳): باکتری‌های مصرف کننده بی‌هوازی NAD^+ را در تخمیر بازسازی می‌کنند و قدرت بازسازی آن را در زنجیره انتقال الکترونی ندارند. / گزینه (۴): ریزوبیوم‌ها، تولیدکننده نیستند ولی تثبیت کننده نیتروژن می‌باشند.

تست ۲۴

(سراسری - ۹۴)

هر باکتری که بتواند برای ساختن ترکیبات آلی خود، از به عنوان منبع الکترون استفاده کند،

(۱) ترکیبات غیرگوگردی - در پی تولید NAD^+ ، به‌طور مداوم ATP می‌سازد.

(۲) آب - انرژی زیستی قابل استفاده خود را تنها در حضور اکسیژن به دست می‌آورد.

(۳) ترکیبات گوگردی - برای بازسازی NAD^+ به یک ترکیب غیرآلی نیاز دارد.

(۴) ترکیبات غیرآلی - در غشای خود فاقد رنگی‌های فتوسنتزی است.

پاسخ ۱

نکته: هر باکتری اعم از هوازی یا بی‌هوازی اگر NAD^+ را دوباره‌سازی کند، می‌تواند به‌طور مداوم در اثر قندکافت ATP سازی خود را ادامه دهد (در سطح گزینه (۱)).

نکته: سیانوباکتری از آب الکترون می‌گیرد و قادر به انجام قندکافت بدون نیاز به O_2 می‌باشد (در سطح گزینه (۲)).

نکته: باکتری‌های گوگردی، بی‌هوازی هستند و طی مرحله دوم تخمیر، با استفاده از ترکیبات آلی، دوباره‌سازی NAD^+ را در سیتوپلاسم انجام می‌دهند (در سطح گزینه (۳)).

نکته: باکتری‌های گوگردی، سیانوباکتری و شیمیوسنتزکننده‌ها، از ترکیبات معدنی، الکترون می‌گیرند ولی فقط انواع شیمیوسنتزکننده‌اند که در غشای خود رنگی‌ها جذب نور خورشید ندارند.

توسط ماده معدنی (O_2) ← نشان دهنده تنفس هوازی و زنجیره انتقال الکترون است.

نکته: دوباره‌سازی NAD^+ ← توسط ماده آلی ← منظور مرحله دوم تخمیر می‌باشد (تنفس بی‌هوازی).

تست ۲۵

در ، هم واکنش‌های چرخه کالوین و هم چرخه کربس انجام می‌شود.

(۱) اوگلنایی که مدت‌هاست در معرض نور قرار ندارد

(۲) باکتری گوگردی

(۳) جلبک قهوه‌ای

(۴) قارچ مخمر نان

پاسخ ۳

جلبک‌های مختلف سبز، قرمز و قهوه‌ای همانند گیاهان و باکتری‌های هوازی فتوسنتزکننده، هم توانایی انجام تنفس هوازی (چرخه کربس)، آکسیداسیون پیرووات و... و هم توانایی انجام چرخه کالوین دارند.

برخی اوگلناها از آغازیان فتوسنتزکننده‌هایی هستند که اگر به مدت طولانی در محیط فاقد نور قرار بگیرند، سبز دیسه‌های خود و واکنش‌های فتوسنتزی خود را از دست می‌دهند (در سطح گزینه (۱)).

باکتری‌های گوگردی، قدرت تولید و مصرف O_2 ندارند، پس تنفس بی‌هوازی دارند و فاقد چرخه کربس می‌باشند و از طرفی قارچ مخمر نان نیز فاقد قدرت تولیدکنندگی و انجام چرخه کالوین می‌باشند (در سطح گزینه‌های (۲) و (۴)).

سوخت‌وساز جانداران در یک نگاه

تولید ATP در سطح پیش ماده تنفسی (ویژگی مشترک همه جانداران)	تولید ATP در سطح	تولید ATP به کمک زنجیره انتقال الکترون	تولید ATP	منبع انرژی	منبع انرژی	نوع تنفس باخته‌های	تولید کننده یا مصرف کننده	فرمانرو
تولید ATP در سطح پیش ماده تنفسی (ویژگی مشترک همه جانداران)	تولید ATP در سطح	تولید ATP به کمک زنجیره انتقال الکترون	تولید ATP نوری	منبع الکترونی در فتوسنتز	منبع انرژی	نوع تنفس باخته‌های	تولید کننده یا مصرف کننده	فرمانرو
دارند	دارند	دارند	ندارند	ندارند	تجزیه مواد آلی	▶ هواری ▶ در ماهیچه‌های اسکلتی، نوع بی‌هواری هم دیده می‌شود.	همگی مصرف کننده‌اند	جانوران
ندارند	دارند	دارند	ندارند	ندارند	تجزیه مواد آلی	▶ هواری ▶ برخی بی‌هواری هم دارند (مخمرها)	همگی مصرف کننده‌اند	قارچ‌ها
دارند	دارند	دارند	دارند	آب تولید می‌کنند (O _۲)	نور خورشید	▶ هواری ▶ برخی توانایی تخمیر بی‌هواری دارند	به‌جز برخی انواع انگل (سبب و گل جالبی) سایر گیاهان تولیدکننده و فتوسنتزکننده‌اند	گیاهان
ندارند	دارند	دارند	ندارند	مواد آلی	تجزیه مواد آلی	اغلب هواری	مصرف کننده‌اند (آمیب - پارامسی - عامل مالاریا)	آغازیان مصرف کننده
دارند	دارند	دارند	دارند	آب تولید می‌کنند (O _۲)	نور خورشید	هواری	تولیدکننده اسپیرولیزر - اوگانا - جلبک‌های قرمز - سبز و قهوه‌ای	آغازیان فتوسنتزکننده

سوخت‌وساز جانداران در یک نگاه

تثبیت کربن CO_2	تولید ATP به کمک زنجیره انتقال الکترون	تولید ATP در سطح پیش‌ماده تنفسی (ویژگی مشترک همه جانداران)	تولید ATP نوری	منبع الکترونی در فتوسنتز	منبع انرژی	نوع تنفس یا اختتامی (البته در کتاب اشاره مستقیم در مورد باکتری‌ها نداریم)	تولید یا مصرف‌کننده	فرمانرو
ندارند	هوازی دارند (ATP آن‌بیش) بی‌هوازی‌ها ندارند	دارند	ندارند	فتوسنتز ندارند	مواد آلی	هوازی با بی‌هوازی	مصرف‌کنند	اغلب باکتری‌ها
دارند	در تنفس هوازی و مراحل نوری فتوسنتز دارند (ATP آن‌بیش و ATP نوری)	دارند	دارند	آب (حررت تولید O_2 دارند)	نور خورشید	هوازی	تولید کنند تولید کنندگان (برخی سپروتوتروک‌ها حررت مثبت نشووناد و هم‌زیستی با یه‌صالح دارند)	باکتری‌های فتوسنتز کننده اکسیژن‌زا
دارند	در مراحل نوری فتوسنتز دارند (ATP نوری دارند)	دارند	دارند	نوع گوگردی سبز و ارغوانی آن‌ها از H_2S الکترون می‌گیرند. (O_2 تولید نمی‌کنند)	نور خورشید	بی‌هوازی	تولید کننده	باکتری‌های فتوسنتز کننده غیر اکسیژن‌زا
دارند	در تنفس هوازی دارند (ATP آن‌بیش)	دارند	ندارند	تولید کنندگان و اکسایش مواد معدنی الکترون می‌گیرند (برای فتوسنتز ندارند).	اکسایش مواد معدنی	هوازی با بی‌هوازی	تولید کننده	باکتری‌های شیمیوسنتز کننده

مقایسه انواع تنفس در طبیعت

نکات	نوع تنفس	تنفس دارای بخش هوازی	تخمیر الکلی	تخمیر لاکتیکی	تنفس نوری
قدرت تجزیه ماده آلی (قند)	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
اولین ماده تجزیه شونده	قند شش کربنی (گلوکز)	قند شش کربنی (گلوکز)	قند شش کربنی (گلوکز)	قند شش کربنی (گلوکز)	قند پنج کربنی ریبولوز بیس فسفات
جانداران انجام دهنده	هر نوع جاننداری	قارچ مخمر نان و برخی گیاهان	ماهیچه اسکلتی جانوران در ورزش شدید. باکتری‌های تولید کننده خیار شور و محصولات لبنی و ترش کننده شیر (برخی گیاهان نیز این نوع تنفس را دارند)	در اغلب گیاهان مخصوصاً C_3 ها صورت می‌گیرد. البته کتب در مورد تنفس نوری باکتری‌ها بحث نکرده است	
شرایط انجام	در شب و روز در صورت وجود O_2 کافی	در شب و روز در موارد کمبود یا فقدان O_2	در شب و روز و در موارد کمبود یا فقدان O_2	در شب و روز و در موارد کمبود یا فقدان O_2	در نور و دمای بسیار شدید و محیط خشک
مصرف اکسیژن	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد
تولید CO_2	دارد	دارد	دارد	ندارد	دارد
تولید ATP در سطح پیش ماده	دارند (تندکافت)	دارند (تندکافت)	دارند (تندکافت)	دارند (تندکافت)	ندارد
تولید ATP نوری	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
تولید ATP اکسایشی	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
محل انجام واکنش	ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم + راکیزه (بخش هوازی)	ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم	ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم	ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم	بستره سبز دیسه، به کمک آنزیم روبیسکو و بخشی در راکیزه
مرحله نیاز به مصرف ATP	مرحله اول قندکافت	مرحله اول قندکافت	مرحله اول قندکافت	مرحله اول قندکافت	ندارد

