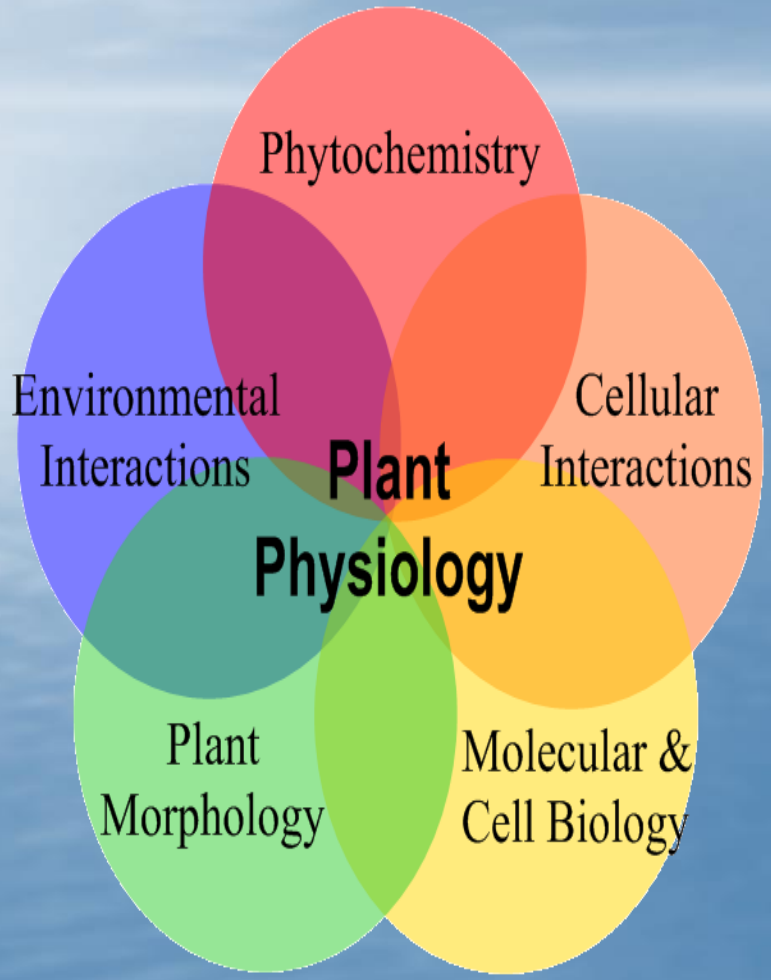
بسم الله الرحمن الرحيم

مبانی فیزیولوژی گیاهی

دانشکده کشاورزی سمنگان

محمد مؤمنی

تعریف و هدف فیزیولوژی گیاهی



- فیزیولوژی دانشی است که وظیفه‌اش بررسی عملکرد موجودات زنده است. ماهیت بررسی در این علم ، وظیفه و کارکرد اندام‌هاست.
- فیزیولوژی گیاهی، مطالعه اعمال حیاتی گیاه، فرایندهای رشد و نمو، متابولیزم و تولید مثل گیاهان را توضیح می‌دهد.
- در هیچ علمی، نحوه پیشرفت واضح‌تر از زمینه فیزیولوژی گیاهی نیست.

مباحثی که در فیزیولوژی گیاهی بحث می‌شود :

- ✓ تغذیه و جذب در گیاهان
- ✓ احتیاجات گیاهان نسبت به انرژی
- ✓ احتیاجات گیاهان نسبت به مواد
- ✓ فتوسنتز و تنفس گیاهی
- ✓ رشد و نمو گیاهی
- ✓ ارتباط فیزیولوژی گیاهی با سایر علوم

تغذیه و جذب در گیاهان

- انجام صحیح فرایندهای متابولیزمی مستلزم وجود عناصری است که باید به صورت اکسید شده یا احیا شده، معدنی و یا آلی جذب سلول‌ها شده، احتیاجات آنها را از نظر ماده و انرژی تامین کنند.
- مقدار و نوع این احتیاجات تابعی از شدت و نوع واکنش‌های متابولیزمی بوده و به همین مناسبت هر موجودی از نظر قدرت سنتز و طریقه تحصیل انرژی با موجود دیگر متفاوت است.

موجودات زنده را از نظر قدرت سنتز و همانندسازی به دو دسته تقسیم می‌کنند :

- ✓ اتوتروف
- ✓ هتروتروف

تغذیه و جذب در گیاهان

۱- احتیاجات گیاهان نسبت به انرژی :

سلول‌های گیاهی انرژی موجود در مواد تشکیل دهنده خود را به صورت‌های مختلف از دست می‌دهند :

- انرژی حرارتی
- انرژی نورانی مانند فلورسانس کلروفیل
- انرژی مکانیکی مانند سیکلوز در سیتوپلاسم
- انرژی الکتریکی که نتیجه آن برقراری اختلاف پتانسیل بین اعضای مختلف گیاهان است

تغذیه و جذب در گیاهان

۲- احتیاجات گیاهان نسبت به مواد :

میزان احتیاجات به مواد در نمونه‌های مختلف گیاهی، متفاوت است. رفع احتیاجات یک گیاه بالغ معمولاً به دو دلیل انجام می‌شود :

- در درجه اول به منظور جبران موادی است که این گیاه در طول حیات از دست می‌دهد.
- در درجه دوم، رشد و نمو یک گیاه احتیاجات دیگری را بوجود می‌آورد.

کلیه این احتیاجات بوسیله منابع طبیعی مختلفی تامین می‌شوند که عبارتند از :

خاک، هوا، آب و محیط‌های آلی

فتوسنتز

- زندگی در روی کره زمین به انرژی حاصل از خورشید وابسته است.
- فتوسنتز از نظر لغوی به معنی تولید با استفاده از نور خورشید است.
- در فتوسنتز، انرژی خورشیدی برای اکسید کردن آب، آزاد شدن اکسیژن و نیز احیا کردن به ترکیبات آلی و در نهایت قند بکار می‌رود.

فتوسنتز شامل دو دسته از واکنش‌هاست :

- ✓ واکنش‌های نوری
- ✓ واکنش‌های تاریکی

فتوسنتز

بطور کلی در بخش فتوسنتز مباحث مختلفی بحث می شود :

- **مفاهیم کلی در مورد فتوسنتز، عملکرد کوانتومی نور، ساختمان دستگاه فتوسنتزی**
- **ساختار تیلاکوئیدها در کلروپلاست، گیرنده‌های نوری، فتوسیستم‌های I و II، مکانیزم انتقال الکترون و پروتون در کلروپلاست‌ها، ژنوم کلروپلاست**
- **چرخه احیای فتوسنتزی C3، تنفس نوری، چرخه احیای فتوسنتزی C4، چرخه احیای کربن در گیاهان CAM یا کراسولاسه**
- **سنتز نشاسته و ساکارز در گیاهان و ... .**

تنفس

- تنفس فرایندی است که انرژی ذخیره شده در مواد انرژی‌زا مانند کربوهیدراتها را به شیوه‌ای کنترل شده، آزاد می‌کند.
- در طی تنفس انرژی آزاد، رها شده و به شکل ATP در می‌آید که این شکل از انرژی می‌تواند به سهولت برای نگهداری و رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد.

مباحثی که در مورد تنفس در فیزیولوژی گیاهی، بحث می‌شود شامل :

تنفس هوازی و بی‌هوازی، ساختمان میتوکندری‌ها، گلیکولیز و چرخه کربس، زنجیره انتقال الکترون در میتوکندری، مسیر پنتوز فسفات و ... می‌باشد.

رشد و نمو گیاهی

- رشد و نمو تحت تاثیر عوامل متعدد محیطی و ژنتیکی قرار دارد. البته عامل مهم تعیین کننده الگوهای رشد و نمو عمدتا پایگاه ژنتیکی دارد.
- رشد عبارت از تغییرات کمی و افزایش غیر قابل برگشت در ابعاد یک موجود یا یک اندام می‌باشد.
- نمو به مجموعه تغییراتی که ماهیت کیفی دارند، به اضافه تغییرات کمی (رشد)، اطلاق می‌شود.

مباحثی که در رشد و نمو گیاهی بحث می‌شود شامل :

سینتیک رشد، تروپیسم‌ها یا گرایش‌ها در گیاهان، جنبش‌های گیاهان، تنظیم‌کننده‌ها یا هورمون‌های رشد در گیاه مانند اکسین، جیبرلین و ... ، مکانیزم تشکیل گل و فتوپریودیسم، فیتوکروم‌ها و دیگر پذیرنده‌های نوری و ... است.

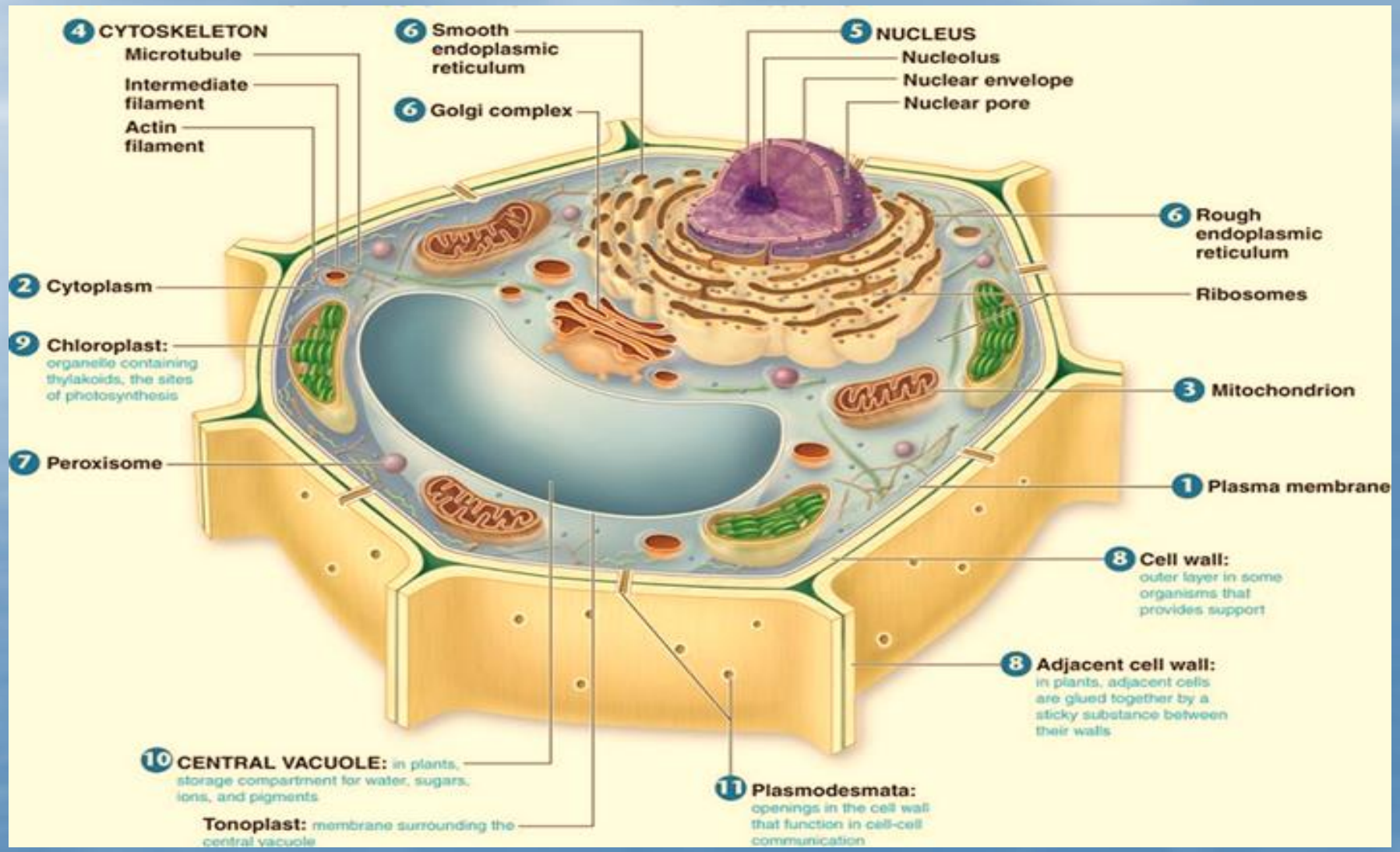
ارتباط فیزیولوژی گیاهی با سایر علوم

- فیزیولوژی گیاهی با بسیاری از علوم، مانند بیوشیمی، بیوفیزیک و بیولوژی مولکولی ارتباط دارد.
- البته فیزیولوژیست‌ها از نتایج تحقیقات بیوشیمیست‌ها و متخصصان بیوفیزیک و بیولوژی مولکولی استفاده می‌کنند و متقابلا دانشمندان رشته‌های دیگر نیز از نتایج آزمایشات فیزیولوژی گیاهی، بهره‌مند می‌شوند.

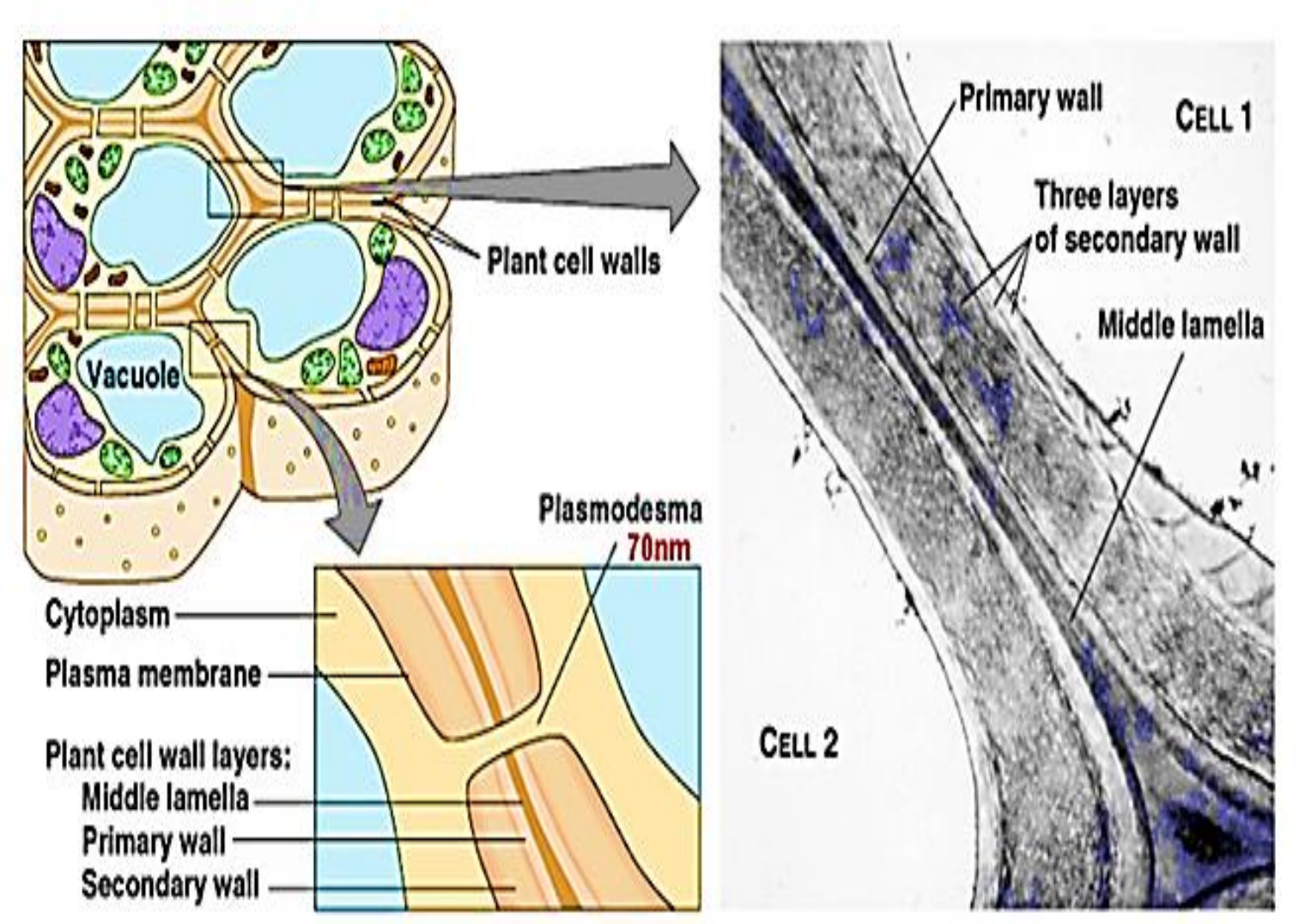
فصل اول

تغذیه و جذب در گیاهان

ساختار سلول‌های گیاهی



دیواره سلولی



در پیرامون اغلب سلول‌های گیاهی، دیواره‌ای به نام دیواره سلولی وجود دارد. دیواره سلولی در یاخته‌های گیاهان ساختار نسبتا سخت سلولزی دارد و نوعی اسکلت بیرونی را ایجاد می‌کند که به این یاخته‌ها شکل هندسی و نسبتا ثابتی می‌دهد. این دیواره که دیواره نخستین نامیده می‌شود، بوسیله پروتوپلاسم زنده یاخته ایجاد می‌شود و وجود آن اساسی‌ترین وجه تمایز بین گیاهان و جانوران است.

دیواره سلولی

دیواره بین دو یاخته شامل سه بخش است :

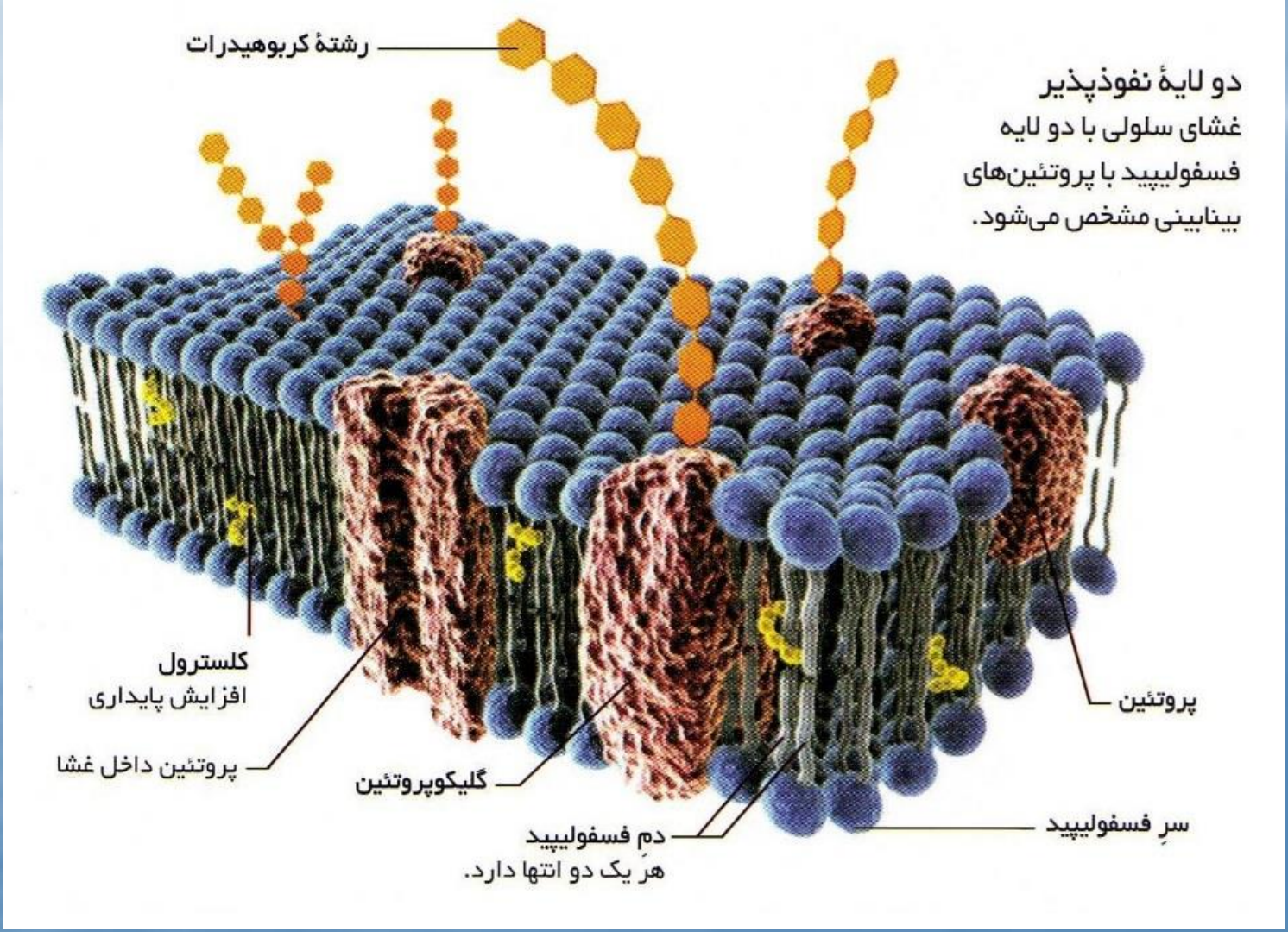
1) هر یک از دو یاخته مجاور هم، دیواره نخستین را تولید می‌کند.

2) بین آن دو، لایه بین یاخته‌ای به نام تیغه میانی مشترک بین دو یاخته وجود دارد. جنس تیغه میانی از ترکیبات پکتینی است.

3) در نتیجه افزایش سن یاخته، ممکن است مواد دیگری ساخته شوند و از سمت داخل یاخته به صورت لایه‌ای روی دیواره نخستین قرار بگیرند که دیواره دومین یا پسین نام دارد.

❖ ارتباط بین دو یاخته از راه پلاسمودسم‌ها صورت می‌گیرد.

غشای سلولی



- غشای سیتوپلاسمی از یک لایه دو مولکولی (دو ردیفی) فسفولیپید ساخته شده که هر مولکول آن شامل یک سر آب دوست و یک دم آب‌گریز است.
- مولکول‌های پروتئین در سطح بیرونی یا درونی و یا در تمام غشاء وجود دارند.
- نقش غشای سیتوپلاسمی حفظ تراوایی انتخابی است. این غشاء چون سدی نیمه تروا عمل می‌کند، نیمه تراوا بودن غشاء عامل اصلی در نقش آن است.

سیتوپلاسم

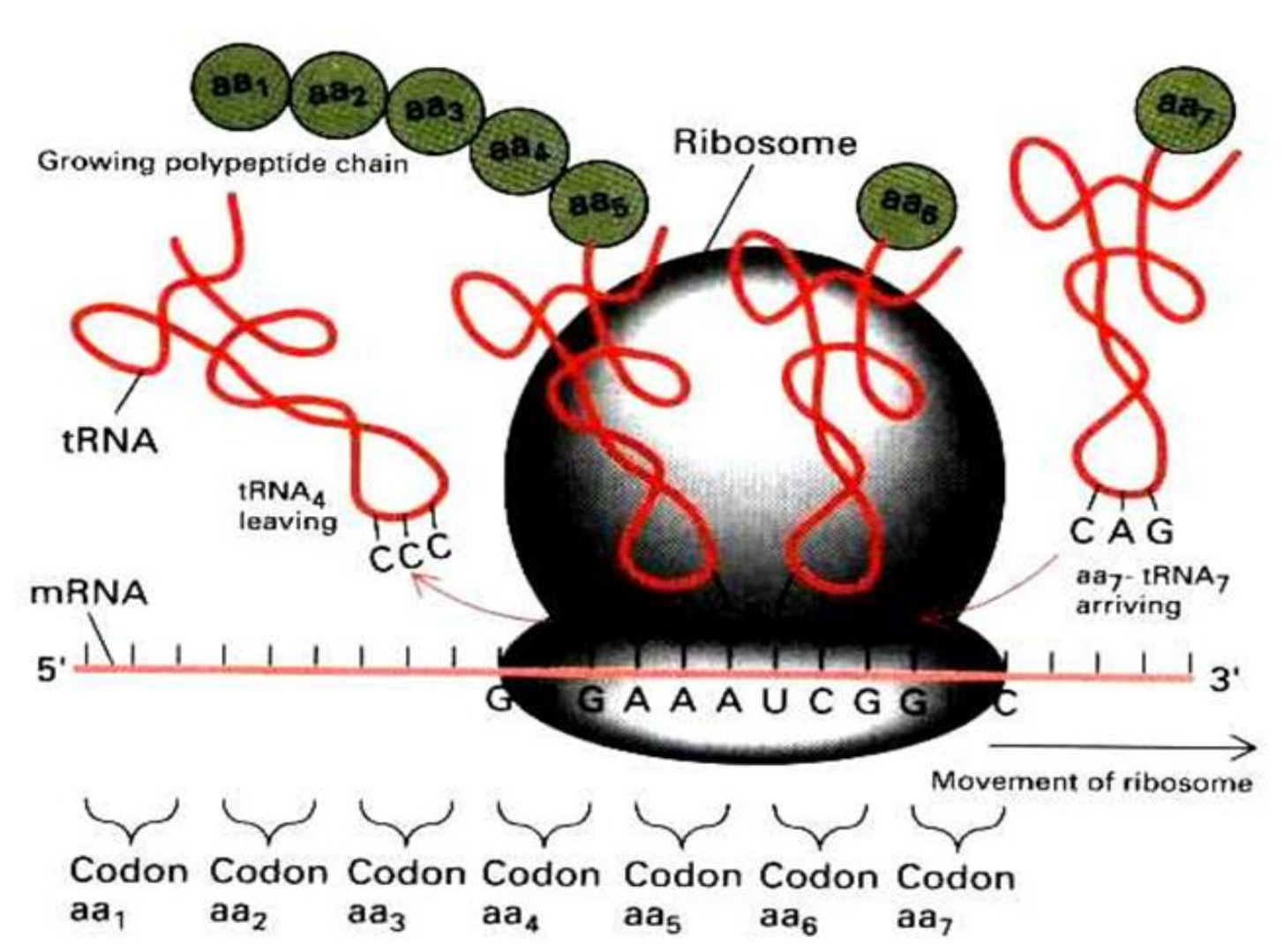
- سیتوپلاسم شامل تشکیلات یاخته‌ای است که ساختاری نیمه‌شفاف، بی‌شکل و تقریباً یکنواخت دارد و خاصیت شکست نور در آن کمی بیش از آب است.
- زمینه سیتوپلاسم را هیالوپلاسم گویند. در هیالوپلاسم دو دسته عناصر به حالت شناور وجود دارند :

1) دسته ضمایم دائمی مانند میتوکندری‌ها، پلاست‌ها، دستگاه گلژی و غیره که اندامک نامیده می‌شوند.

2) دسته دیگر مواد غیر دائمی حاصل از اعمال زیست شیمیایی داخل هیالوپلاسم به نام اجسام ضمیمه هستند.

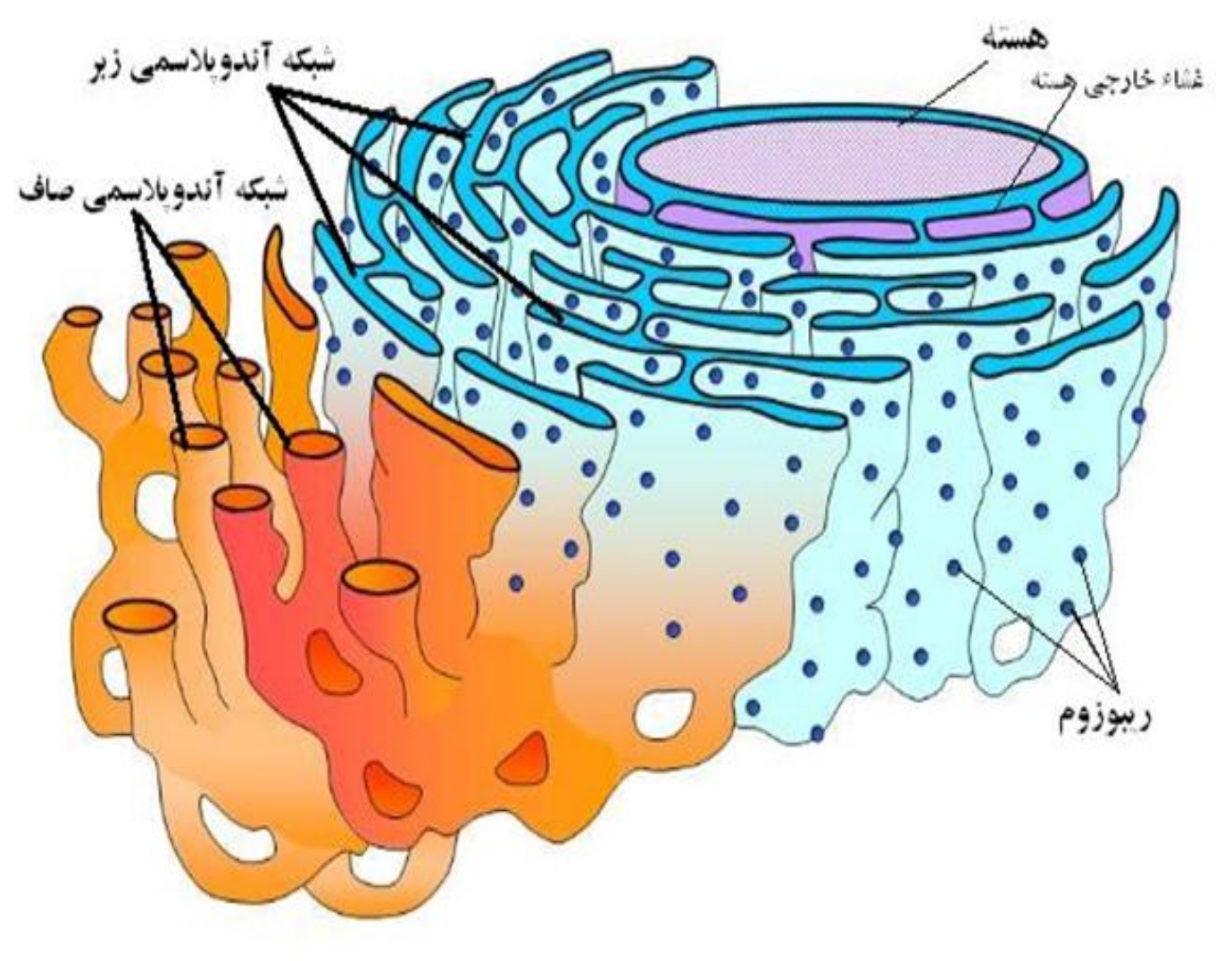
- محدوده هیالوپلاسم از طرف داخل، غشای هسته و از طرف خارج، غشای سیتوپلاسمی یاخته است.
- سیتوپلاسم در تبادلات یاخته، مراحل مختلف سوخت و ساز و همچنین جنبش‌های سیتوپلاسمی که ممکن است چرخشی و یا موضعی باشد، نقش دارد.

ریبوزوم‌ها



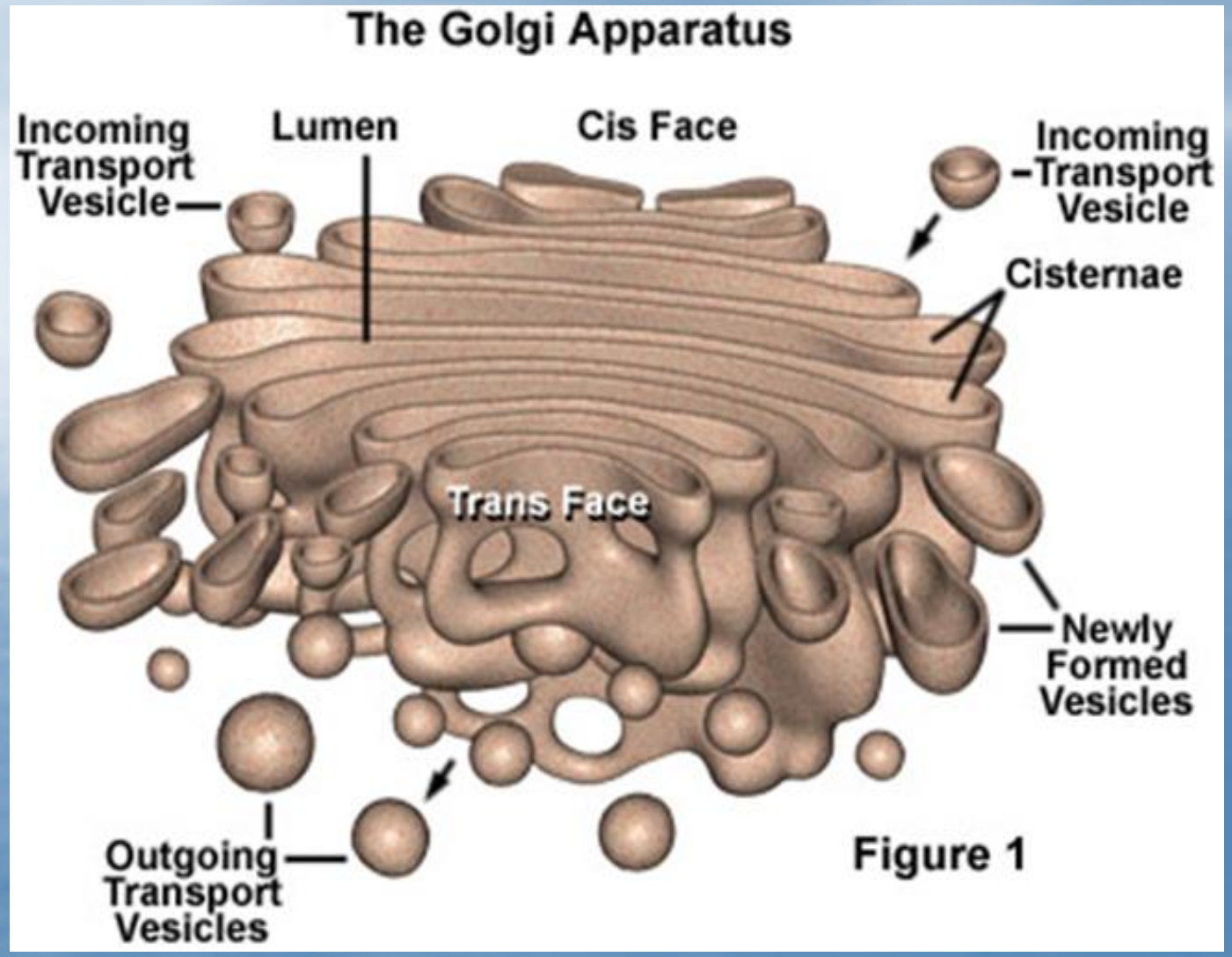
- ریبوزوم‌ها ذرات کروی کوچکی هستند که به صورت آزاد و یا بر روی شبکه آندوپلاسمی درون سیتوپلاسم دیده می‌شوند.
- نقش اصلی ریبوزوم‌ها، جایگاه ساخت پروتئین‌ها هستند.

شبکه آندوپلاسمی



- شبکه آندوپلاسمی متشکل از لوله‌های توخالی است. در برش به صورت مجاری ظریف غشایی توخالی، با شاخه‌های فراوان و مرتبط با یکدیگر و یا به شکل مخازن پهن، متراکم و پراکنده در تمام سیتوپلاسم مشاهده می‌شود.
- به بسیاری از نقاط دیواره بیرونی شبکه آندوپلاسمی، تعداد فراوانی دانه‌های ریبوزوم متصل‌اند و به همین دلیل به دو صورت دانه‌دار و بدون دانه یافت می‌شوند.
- نقش شبکه آندوپلاسمی، ذخیره و هدایت بعضی مواد درون یاخته‌ای و شرکت در تشکیل دیواره سلولزی یاخته و ایجاد ارتباط بین یاخته‌ها است.

دستگاه گلژی



- دستگاه گلژی از واحدهایی به نام دیکتیوزوم‌ها تشکیل شده است.
- دیکتیوزوم‌ها سیستم‌های غشایی ویژه‌ای هستند که از روی هم قرار گرفتن ۵ تا ۱۵ کیسه گرد و تخت با وزیکول‌هایی در لبه آنها تشکیل شده‌اند. هر کیسه را سیستما می‌نامند.
- دیکتیوزوم‌ها دربسته‌بندی پروتئین نقش دارند.

میکروبادی‌ها

میکروبادی‌ها، وزیکول‌هایی هستند که از دیکتیوزوم‌ها جدا می‌شوند و خود اندامک‌های ویژه‌ای را پدید می‌آورند. ذرات کروی کوچکی هستند که در پیرامون آنها فقط یک غشا وجود دارد.

- میکروبادی‌ها شامل پراکسی‌زوم و گلی‌اکسی‌زوم هستند.
- حاوی آنزیم‌های هیدروکسی اسید اکسیداز، O-آمینو اکسیداز و کاتالاز می‌باشند که دو آنزیم اولی در تولید پراکسید هیدروژن H202 دخیلند و آنزیم کاتالاز سبب تجزیه آن به آب و اکسیژن می‌شود.
- با توجه به فراوانی آنزیم کاتالاز در پراکسی‌زوم‌ها، عقیده بر این است که سلول‌ها را از اثرات سمی H2O2 حفظ می‌کنند.
- منشا این ارگانل به عقیده بعضی، شبکه آندوپلاسمی دانه‌دار و به عقیده برخی دیگر شبکه آندوپلاسمی صاف می‌باشد.

لیزوزوم‌ها

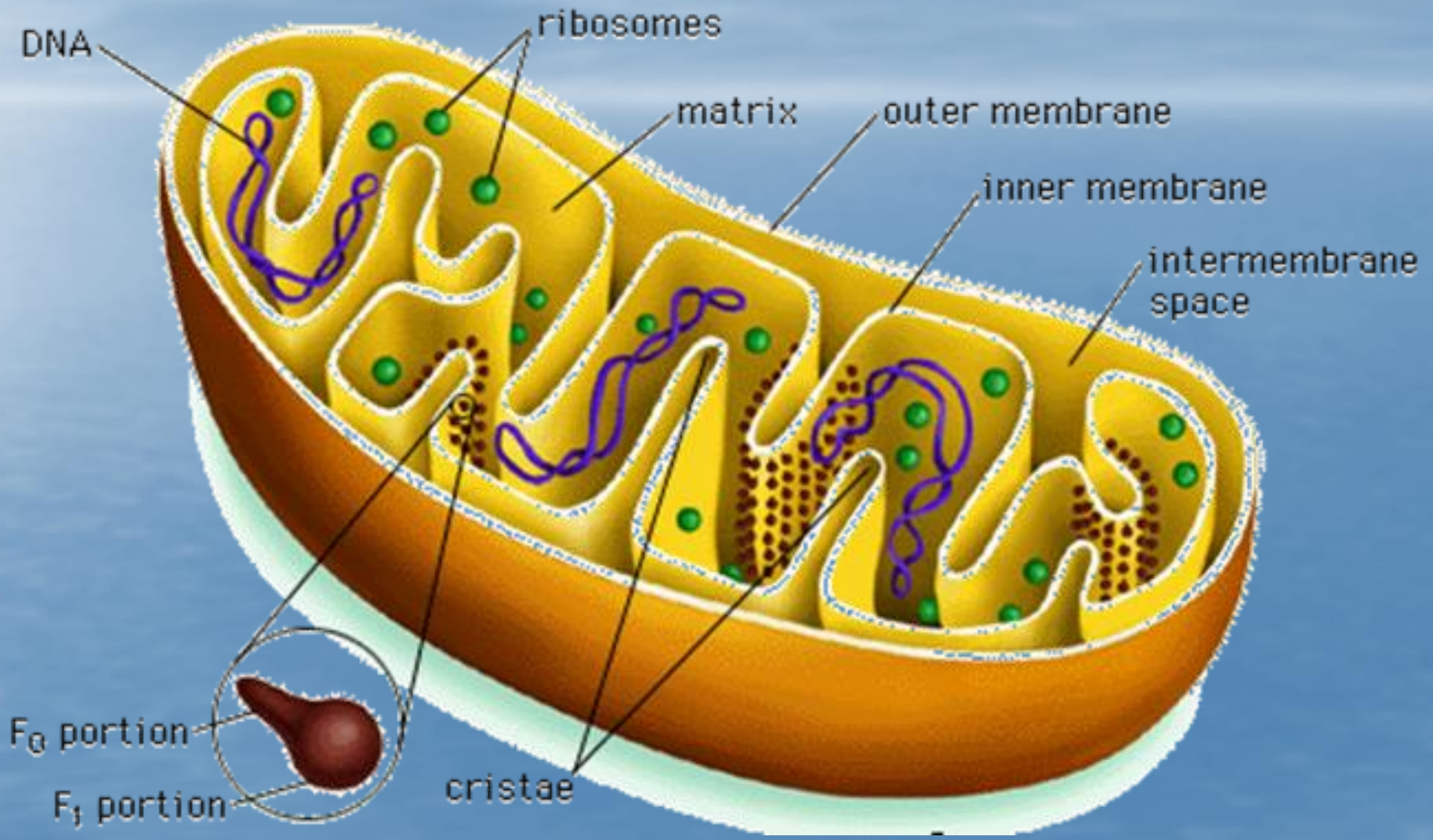
- لیزوزوم‌ها نیز از دیکتیوزوم‌ها جدا شده و خود اندامک‌های ویژه‌ای را پدید می‌آورند که به اندازه میتوکندری‌ها و یا کوچکتر از آنها هستند.
- حاوی آنزیم‌های گوناگون می‌باشند
- نقش آنها تجزیه سریع مولکول‌های درشت و گوارش مواد هنگام تمایز یاخته‌ای است.

واکوئل‌ها

- واکوئل بخش اعظم فضای یاخته‌های بالغ را اشغال می‌کند که به صورت حفره یا کیسه‌ای است که غشایی به نام تونوپلاست آن را از سیتوپلاسم جدا می‌کند.
- درون واکوئل را مایعی به نام شیره واکوئلی پرکرده است.
- واکوئل‌ها محل ذخیره آب و مواد آلی و کانی و همچنین تجمع مواد زاید سیتوپلاسم هستند.

واکوئل‌ها

میتوکندری

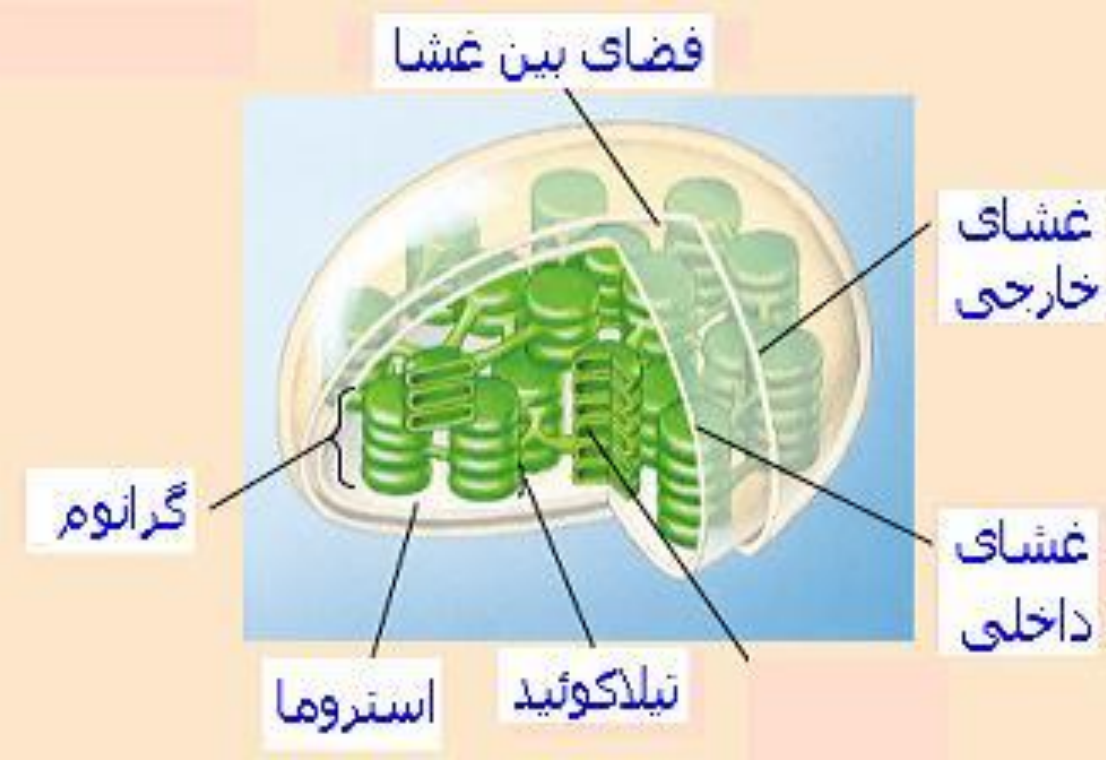

DNA
ribosomes
matrix
outer membrane
inner membrane
intermembrane space
F_0 portion
F_1 portion
cristae

میتوکندری

- میتوکندری‌ها ذرات ریزی هستند که به شکل کروی، میله‌ای و یا رشته‌ای دیده می‌شوند.
- دارای دو غشا هستند : غشای بیرونی آنها صاف و غشای درونی به صورت چین خورده است که کریستا نامیده می‌شود و فضای بین دو غشا را فضای بین غشایی و فضای محدود شده بوسیله غشای درونی را ماتریکس میتوکندری می‌نامند که محتوی پروتئین، DNA، گرانول‌های ریز و متراکمی مملو از کلسیم، منزیم، فسفات و ساختمان‌های ریبوزوم مانند می‌باشد.
- نقش میتوکندری در تنفس بوده و همچنین منبع انرژی می‌باشد. آنزیم‌های تنفسی موجود در سطح غشای درونی آنها موجب شکستن مولکول‌های گلوکز و اسیدهای آمینه و چربی‌ها می‌شود و در نتیجه انرژی آزاد می‌گردد.

پلاست‌ها

کلروپلاست‌ها :



کلروپلاست‌ها عموما قرصی شکل بوده و به علت دارا بودن کلروفیل، سبز رنگ هستند. این اندامک غشای دو لایه‌ای دارد. بخش درونی کلروپلاست شامل دو سیستم لایه‌ای و ماده در برگیرنده این دو سیستم یعنی ماده زمینه‌ای یا دانه‌دار است. خود سیستم لایه‌ای دارای دو بخش است، بخشی که گرانوم‌ها را تشکیل می‌دهد و بخش دیگری که آنها را بهم متصل می‌کند. بخش درونی گرانوم به صورت کیسه‌های پهن شده‌ای مرتب شده‌اند و تیلاکوئید نام دارند و محل کلروفیل‌ها هستند. نقش کلروپلاست‌ها فتوسنتز است.

پلاست‌ها

لوکوپلاست‌ها :

- لوکوپلاست‌ها پلاستهای بی‌رنگی هستند که معمولا در اندام‌های زیرزمینی که دور از نور هستند، در یاخته‌های بشره و دیگر بافت‌های بی‌رنگ وجود دارند.
- بعضی از آنها نشاسته ذخیره کرده و آمیلوپلاست نام دارند.
- در سنتز مشارکت ندارند بلکه وظیفه آنها ذخیره است.
- انواع دیگر آن پروتئینوپلاست‌ها (حاوی پروتئین) و اولئوپلاست‌ها (حاوی روغن) می‌باشند.

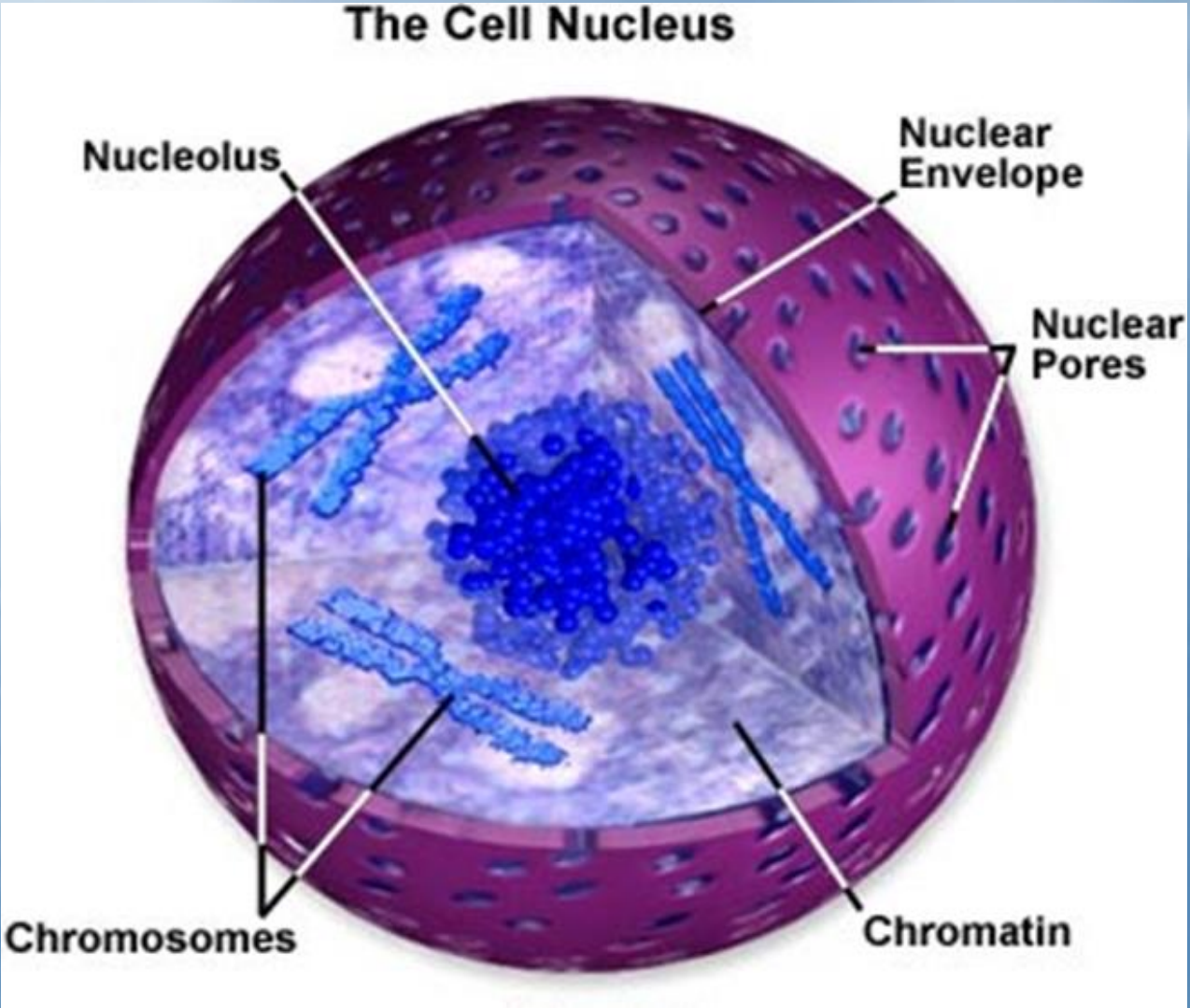
در لپه‌های دانه گیاه آمیلوپلاست، پروتئینوپلاست و هم اولئوپلاست یافت می‌شوند. در آلبومن دانه گیاه پروتئینوپلاست و اولئوپلاست وجود دارد که پروتئین و روغن موجود در این پلاست‌ها به محصولات ساده (اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب) تجزیه شده و به هنگام رویش دانه برای نمو گیاهک بکار می‌رود.

پلاست‌ها

کروموپلاست‌ها :

- کروموپلاست‌ها، دارای رنگدانه‌های زرد یا قرمز بوده و به اشکال مختلف دیده می‌شوند که فاقد کلروفیل و دارای کاروتنوئیدها هستند.
- کاروتنوئیدها مسئول رنگ زرد و نارنجی و قرمز در گلبرگ‌ها، میوه‌ها و برخی ریشه‌ها می‌باشند (مثل هویج).
- در بیشتر موارد کروموپلاست‌ها از کلروپلاست‌ها بوجود می‌آیند. کروموپلاست‌ها شکل منظمی ندارند.
- وظیفه آنها جلب حشرات، پرندگان و پروانه‌ها برای انتشار دانه‌های گرده و.... است.

هسته



- هسته، از غشاء، شیره هسته، دانه‌های کروماتین و یک یا دو هستک تشکیل شده است.
- DNA و RNA در هسته و میتوکندری و پلاست وجود دارند.
- هسته بزرگترین اندامک ساختار درونی یاخته‌های یوکاریوت است.
- اندازه نسبی هسته بر حسب سن و نوع یاخته فرق می‌کند.

هسته

- در زیست‌شناسی سلولی، هسته یک اندامک سلولی است که توسط دو لایه از غشاء فسفولیپیدی احاطه شده است.
- این اندامک بیشتر محتوای ژنومی یک سلول را در بر گرفته که شامل DNA خطی طولانی است. این ساختارهای طویل توسط ترکیبات پروتئینی متعدد به نام هیستون‌ها پیچیده و فشرده می‌شوند و کروموزوم‌های یوکاریوتی را بوجود می‌آورند.
- ژن‌های آرایش یافته روی این کروموزوم‌ها، ژن‌های هسته‌ای هستند (در مقایسه با ژن‌های موجود بر روی کروموزوم‌های اندامکی مانند میتوکندری).

هسته

هسته مرکز کنترل سلول است، بدین معنی که این اندامک مسئول حفظ تمامیت ماده ژنتیکی هسته است و با کنترل تنظیم بیان ژن، باعث تنظیم فعالیت‌های سلولی می‌شود.

ساختارهای اصلی که باعث تشکیل هسته می‌شوند بدین شرح می‌باشند :

1) غشاء دو لایه که هر لایه از دو لایه فسفولیپیدی ساخته شده است.
2) ساختار لامینا
3) ماده زمینه یا شیره هسته
4) سوراخ‌های غشای هسته
5) هستک

آماس و اسمز

- فیزیولوژیست‌های گیاهی بین دو مرحله حرکت آب به داخل سلول‌های گیاهی که عبارتند از مرحله آماس(تورم) و مرحله اسمز تمایز قایل می‌شوند.
- هردو مرحله مثال‌هایی از انتقال غیر فعال هستند.
- در برخی موارد اشاره شده است که حداقل قسمتی از مرحله حرکت آب به داخل سلول‌های گیاهی، انتقال فعال می‌باشد.

۱- آماس

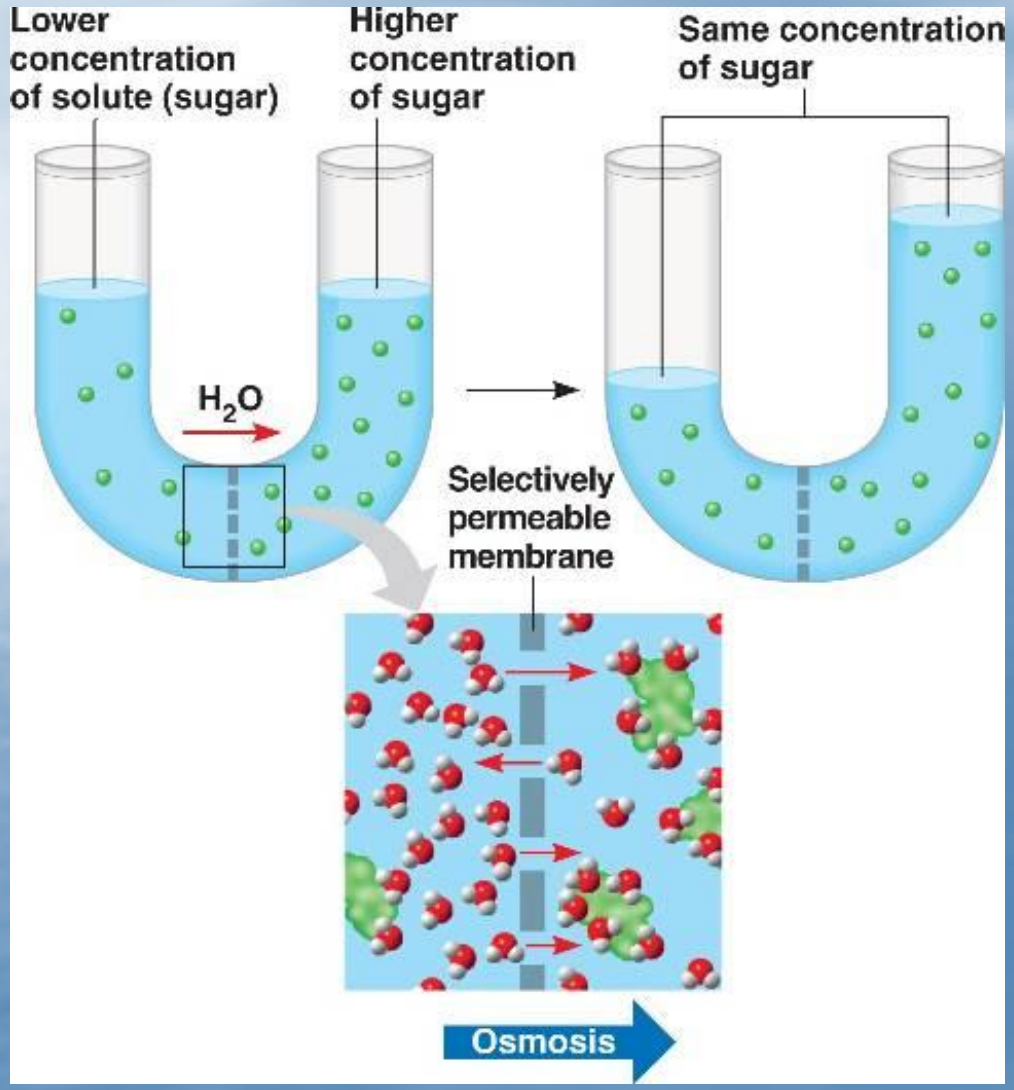
- آماس یا تورم به جذب عمقی و سطحی آب به وسیله اجزا و مواد غیر محلول جامد و آب‌دوست تشکیل دهنده پروتوپلاسم و دیواره سلولی گفته می‌شود.
- آب بر اثر انتشار و عمل لوله‌های مویینه، به مواد مزبور نفوذ می‌کند.
- جهت حرکت آب از یک ناحیه با پتانسیل آب بیشتر به ناحیه با پتانسیل آب کمتر است.

آماس تنها هنگامی انجام می‌شود که مواد جامد گیاهی (مانند چوب خشک، دانه‌های خشک شده زنده یا مرده) با آب تماس حاصل کنند. در مورد دانه‌های خشک زنده، هنگامی که دانه‌ها را به منظور رویش با آب مرطوب کنند، عمل آماس بر اثر جذب آب در طی چند ساعت اولیه انجام می‌شود و سپس آب از طریق عمل اسمز جذب می‌گردد.

۲- اسمز

- عمل اسمز به حرکت و عبور آب از یک غشای نیمه نفوذپذیر که دو محلول را جدا می‌کند گفته می شود.
- در اسمز نیز جهت حرکت آب از ناحیه با پتانسیل آب بیشتر به ناحیه دیگر با پتانسیل آب کمتر است.
- یک غشای نیمه نفوذپذیر که نسبت به عبور مواد مختلف از آن قابلیت نفوذ نسبی دارد به مولکول‌های آب اجازه می‌دهد که از آن عبور کنند ولی برای عبور مواد محلول غیر قابل نفوذ است.
- همه غشاهای پروتوپلاسمی دارای قابلیت نفوذ نسبی هستند.

۲- اسمز



برای نشان دادن اسمز، در یک آزمایش آب خالص را درون یک ظرف ریخته و یک محلول غلیظ مانند محلول ساکارز را در داخل یک کیسه که دارای غشا نیمه نفوذپذیر است می‌ریزیم، غشا مزبور نسبت به آب نفوذ پذیر و نسبت به ساکارز غیر قابل نفوذ است. از یک ورقه سلوفان می‌توان به عنوان غشا استفاده کرد. در شروع آزمایش محلول داخل غشای سلوفان در داخل آب ظرف فرو برده می‌شود (سیستم اسمومتر). چون پتانسیل شیمیایی آب در آب خالص درون ظرف بیشتر از پتانسیل شیمیایی آب در محلول ساکارز است، درنتیجه آب به طور خودبخود از غشا (که دارای قابلیت نفوذ نسبی است) عبور می‌کند و وارد محلول ساکارز می‌شود.

۲- اسمز

هنگامی که فشارهیدرواستاتیک در لوله اسمومتر به اندازه‌ای افزایش یابد که پتانسیل شیمیایی آب در محلول ساکارز برابر با پتانسیل شیمیایی آب در آب خالص شود در این صورت حرکت و عبور آب از غشا و وارد شدن آن به محلول ساکارز متوقف می‌شود و این حالت تعادل است.

- فشار هیدرواستاتیک معادل، پتانسیل اسمزی محلول نامیده می‌شود.
- حرکت آب از طریق اسمز در عرض همه غشاهای پروتوپلاسمی انجام می‌گردد (خواه این غشا عبارت از یک لایه پروتوپلاسم باشد که بین دیواره سلولی و واکوئل یک سلول گیاهی قرار دارد و خواه یک غشای پروتوپلاسمی مانند غشای پلاسما یا تونوپلاست باشد).
- لازم به ذکر است که آب سریع‌تر از هر ماده دیگری از غشاهای پروتوپلاسمی عبور می‌کند.

۲- اسمز

اهمیت عمل اسمز در جذب آب به وسیله سلول‌های گیاهان آلی :

- عبور آب به وسیله عمل اسمز از غشای پلاسما و غشای واکوئل(تونوپلاست) و لایه پروتوپلاسم موجود بین دو غشای مزبور
- پدیده پلاسمولیز وابسته به اسمز می‌باشد
- عمل اسمز اهمیت ویژه‌ای در برخی آزمایشهای تجربی فیزیولوژی گیاهی دارد. مانند استخراج اندامک‌های سلولی (از قبیل میتوکندری‌ها) از سلول‌های گیاهی بستگی به حذف و توقف عمل اسمز دارد.

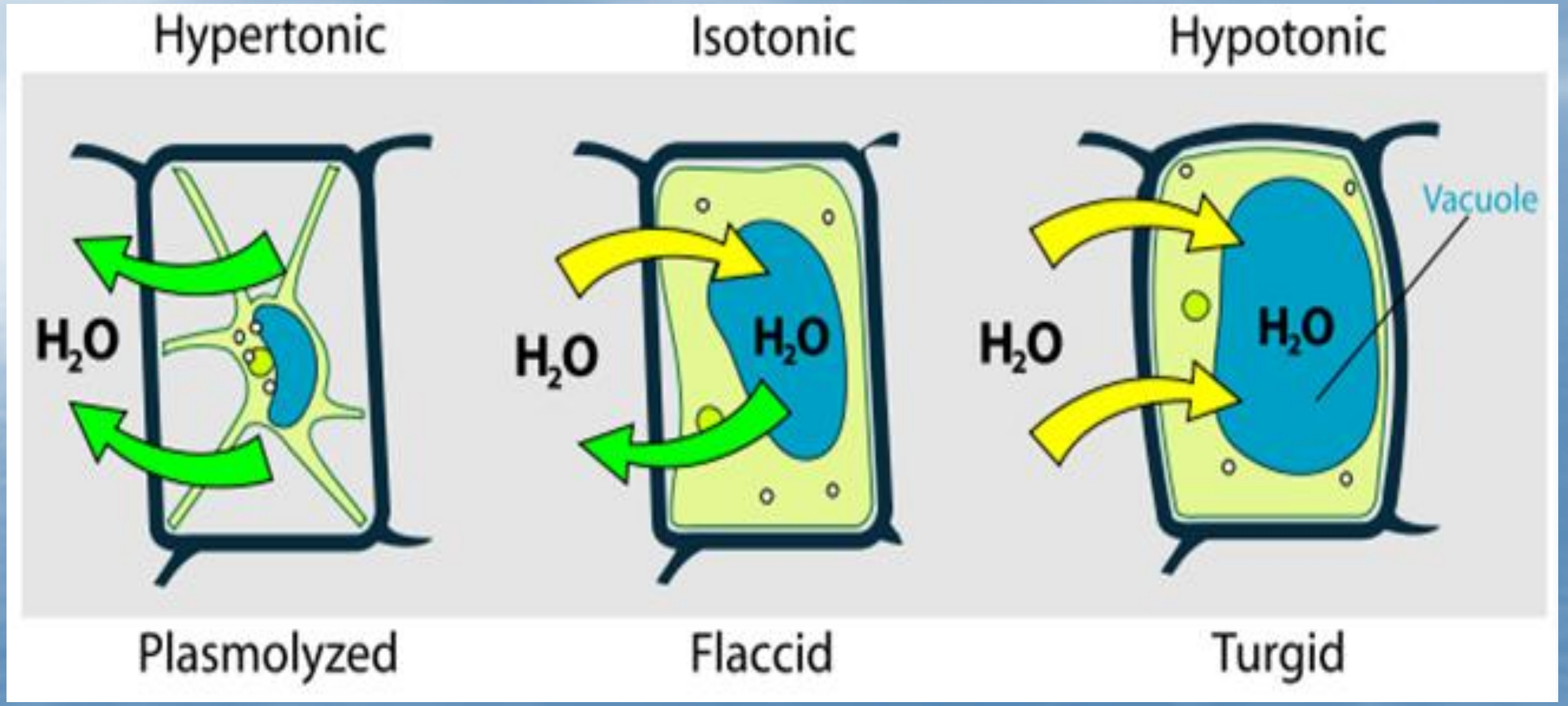
عمل اسمز دارای اثر مهمتری در جذب آب به وسیله سلول‌های گیاهی نسبت به عمل آماس دارد.

پلاسمولیز و تورژسانس در سلول گیاهی

۱- پلاسمولیز :

- هنگامی که واکوئل‌ها آب خود را از دست می‌دهند و فشار آماسیدگی کاهش می‌یابد، سلول‌ها انبساط خود را از دست داده و دیگر قادر به وارد کردن فشار بر روی یکدیگر نیستند. در نتیجه، بخش‌های نرم گیاه، سفتی خود را از دست داده و پژمرده یا خم می‌شوند.
- هنگامی که سلول گیاهی در محلول‌های غلیظ قندی قرار می‌گیرند از طریق فرایند اسمز آب از دست می‌دهند و چروکیده می‌شوند. اگر سلول‌های گیاهی در محلول‌های غلیظ قرار داده و زیر میکروسکوپ دیده شوند، مشاهده خواهد گردید که اندازه سلول‌ها کوچک شده و از دیواره سلولی فاصله می‌گیرند که گفته می‌شود آنها پلاسمولیزه هستند. پلاسمولیز فقط در شرایط استثنایی رخ می‌دهد.

پلاسمولیز و تورژسانس در سلول گیاهی



پلاسمولیز و تورژسانس در سلول گیاهی

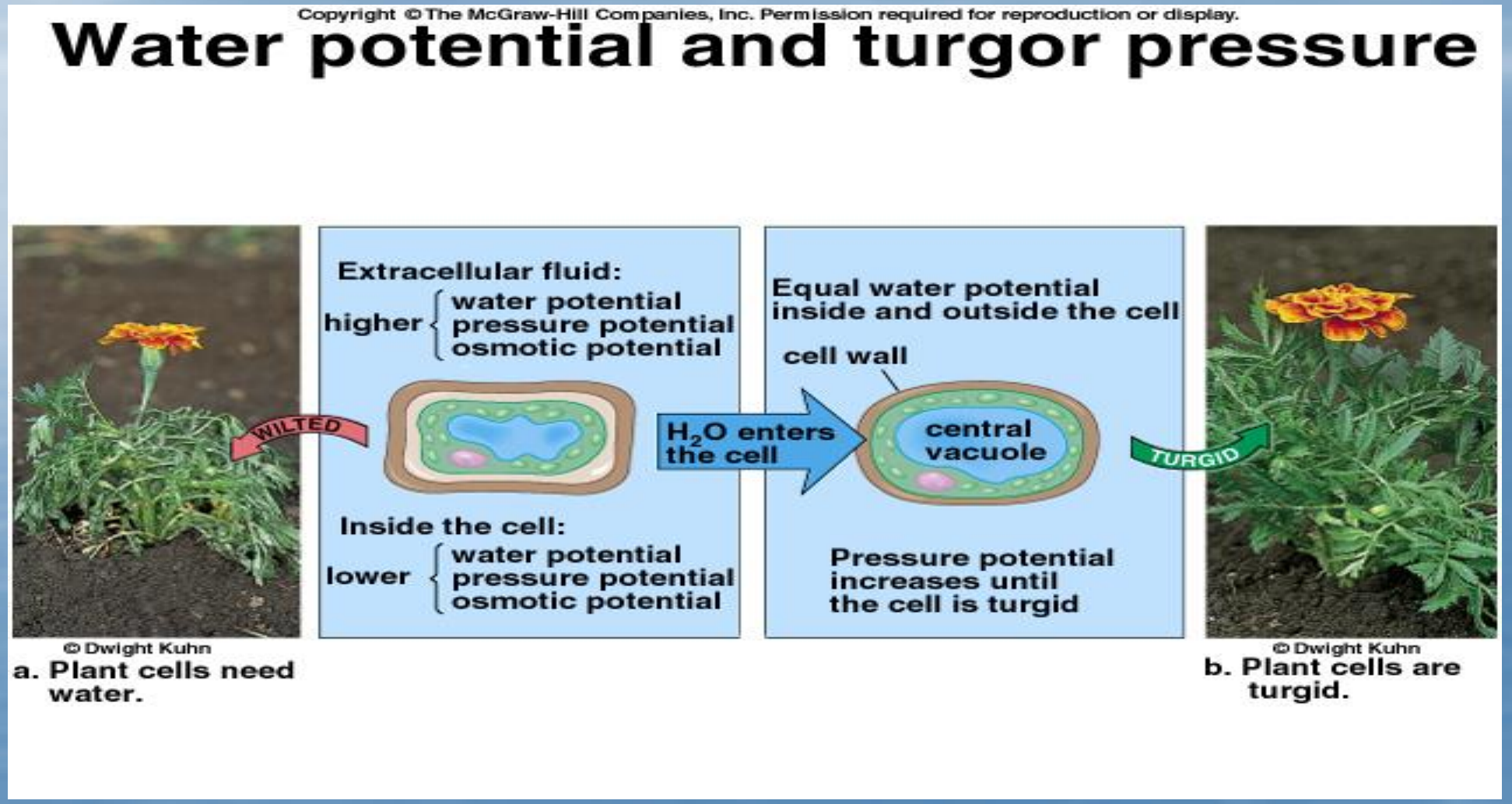
۲- تورژسانس :

- ورود آب به درون سلول به علت پدیده گذرندگی (اسمز) اتفاق می‌افتد.
- هنگامی که غلظت نمک‌های درون سیتوپلاسم سلول از غلظت آنها در مایع میان بافتی بیشتر است، آب از طریق دیواره سلولی (که کاملاً تراوا است) و غشای سلولی (که دارای نفوذپذیری انتخابی است) به درون سلول و واکوئل آن جریان می‌یابد.
- در این حالت، واکوئل پر شده و بزرگ می‌شود و بر روی غشا و دیواره سلولی فشار وارد می‌کند. این پدیده را آماسیدگی می‌گویند.

پلاسمولیز و تورژسانس در سلول گیاهی

- فشاری که از طریق واکوئل بر روی غشا و دیواره سلولی و در نهایت بر روی فضای خارج از سلول وارد می‌شود، فشار آماسیدگی نام دارد.
- هرچه تفاوت غلظت خارج و داخل یاخته بیشتر باشد، فشار آماسیدگی افزایش می‌یابد.
- اهمیت فشار آماسیدگی در این است که موجب سفت و متورم شدن بخش‌های نرم گیاه، همچون برگ‌ها و ساقه می‌شود و گیاه را استوار و راست می‌دارد و از سوی دیگر بخش‌های سبز گیاه را در برابر نور خورشید مقاوم می‌سازد.

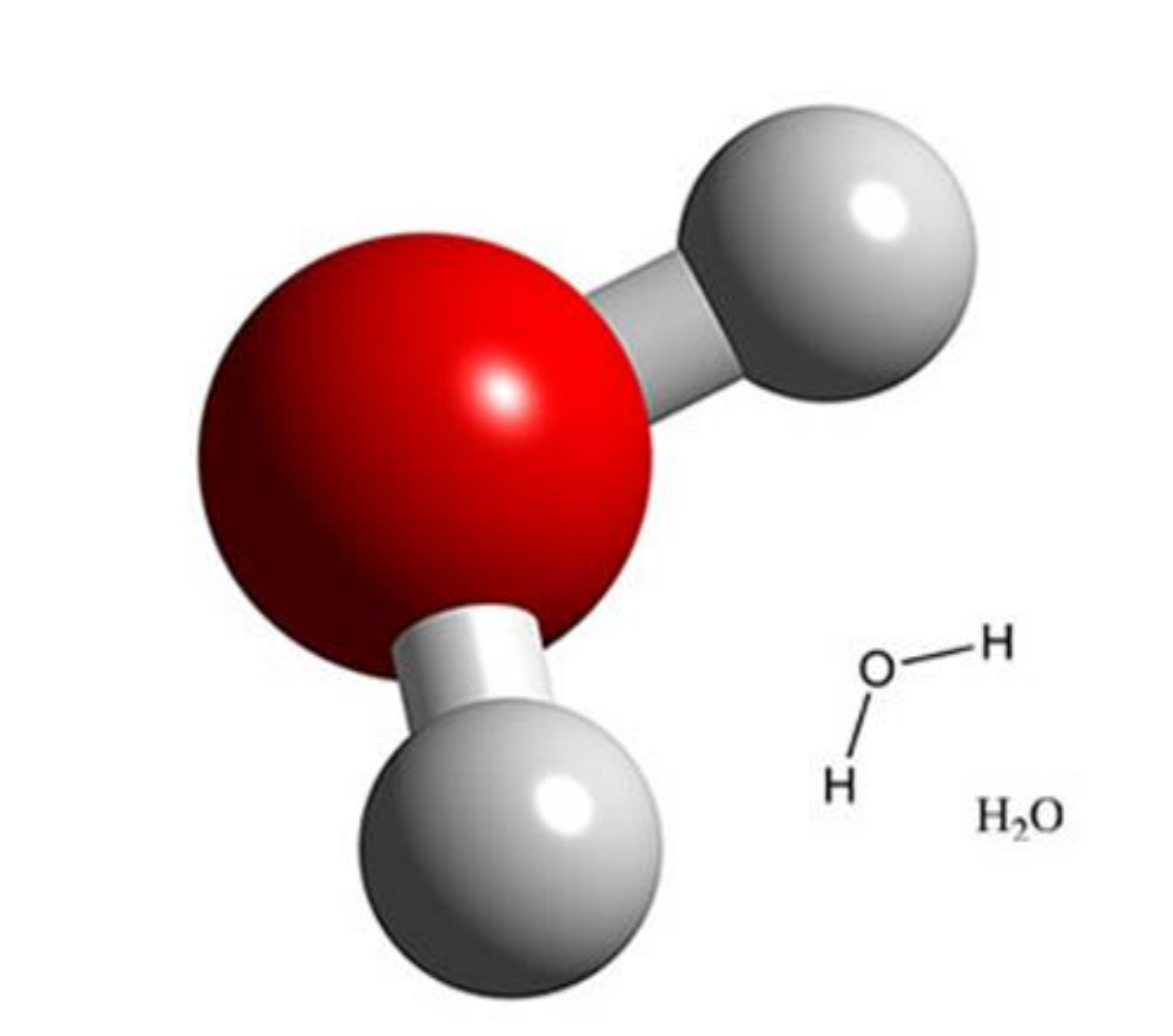
پلاسمولیز و تورژسانس در سلول گیاهی



خواص فیزیکی و شیمیایی آب

- در بین همه موادی که برای ادامه حیات گیاهان ضروری هستند، آب از نظر مقدار بیش از سایر مواد مورد احتیاج گیاهان است.
- مقدار آب قابل استفاده برای ریشه گیاهان و نیز مقدار بخار آب موجود در هوا، از مهمترین عوامل اکولوژیکی هستند که در توزیع و پراکندگی گونه‌های مختلف گیاهان آلی در سطح کره زمین تاثیر دارند.
- مقدار آب اکثر سلول‌ها و بافت‌های گیاهان آلی بیش از ۸۰ درصد وزن تر آنها است. مقدار آب موجود در برخی سلول‌های درحال رشد ممکن است تا حدود ۹۰ درصد و بیشتر نیز برسد.
- در دانه‌های در حال خواب (دورمانت) و نیز شکوفه، مقدار آب ممکن است ۱۰ درصد و یا کمتر باشد.

خواص فیزیکی و شیمیایی آب



- خاصیت قطبی بودن مولکول‌های آب، باعث به وجود آمدن جاذبه قوی بین مولکولی می‌گردد که پیوند هیدروژنی نامیده می‌شود.
- مولکول آب دارای یک اتم اکسیژن است که با دو اتم هیدروژن پیوند کووالانسی دارد.
- دو پیوند H-O با هم یک زاویه ۱۰۵ درجه تشکیل می‌دهند.

خواص فیزیکی و شیمیایی آب

- آب یک حلال عالی است که در مقایسه با سایر حلال‌ها مقدار و طیف وسیع‌تری از مواد را در خود حل می‌کند. این خصوصیت، تا حدی به کوچک بودن اندازه مولکول آب و نیز ماهیت قطبی آن مربوط می‌شود.
- پیوند قوی هیدروژنی بین مولکول‌های آب باعث به وجود آمدن خصوصیات ویژه‌ای مانند گرمای ویژه زیاد و گرمای نهان تبخیر بالا می‌شود.
- یک نتیجه گرمای تبخیر زیاد آب، اثر سردکنندگی آن به هنگام تبخیر آب است. هنگامی که آب بر اثر تعرق از سطح یک برگ تبخیر می‌شود، مقداری انرژی گرمایی از سطح برگ می‌گیرد و در نتیجه درجه حرارت برگ مقداری کاهش می‌یابد.

خواص فیزیکی و شیمیایی آب

- آب مایع، ماده‌ای بی رنگ، بی بو، بی‌مزه و شدیدا غیر قابل تراکم و فشردگی است.
- یکی از خواص آب، نحوه یخ زدن آن است که هنگامی یخ زندن منبسط می‌شود، در حالی که تقریبا همه مواد دیگر به هنگام سرد شدن و یخ زدن منقبض می‌شوند.
- حجم یک قطعه یخ به وزن معین، حدود ۹ درصد بیشتر از حجم آب مایع هم وزن آن است. بنابراین یخ تراکم کمتری نسبت به آب مایع دارد و در نتیجه در آب به حالت شناور قرار می‌گیرد. این پدیده به علت آن است که مولکول‌های آب تا اندازه‌ای متلاشی شده و قسمتی از فضاهای خالی را اشغال می‌کنند.
- گرمای ویژه آب حدود چهار مرتبه از گرمای ویژه هوا بیشتر است. گرمای ویژه زیاد آب سبب می‌شود که درجه حرارت داخلی گیاهان نسبتا ثابت باقی بماند.

خواص فیزیکی و شیمیایی آب

- توانایی چسبندگی مولکول‌های آب در حالت مایع به یکدیگر، که به آن خاصیت کوهیژن گفته می‌شود، مبین کشش سطحی مولکول‌های آب است.
- مولکول‌های آب در سطح آب مایع با شدت بیشتری توسط مولکول‌های دیگرآب در داخل مایع نسبت به مولکول‌هایی که در هوای بالایی آب وجود دارند، جذب می‌شوند. به این خاصیت، کشش سطحی گفته می‌شود. چون مولکول‌های آب توسط پیوندهای هیدروژنی به یکدیگر جذب می‌شوند، لذا آب دارای کشش سطحی زیادتری نسبت به اکثر مایعات است.
- کشش سطحی زیاد آب و نیز توانایی آب در چسبیدن به برخی مواد دیگر سبب عمل و حرکت آب در لوله‌های مویین می‌شود و تا زمانی که وزن ستون آب در داخل لوله برابر با نیروی کشش سطحی شود، حرکت صعود مؤیینه‌ای آب در لوله ادامه دارد. این پدیده سبب انتشار مولکول‌های آب به هنگام تماس با موادی مانند کاغذ، خاک و یا دیواره سلولزی سلول‌های گیاهان می‌گردد.

خواص فیزیکی و شیمیایی آب

- آب می‌تواند با مواد متابولیکی مختلف (مانند استرهای آلی، پپتیدها، پلی‌ساکاریدها) فعل و انفعال کند و محصولات حاصل از واکنش‌های هیدرولیز مواد آزاد شوند.
- همچنین آب به یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل تجزیه می‌شود.
- یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل به وسیله فعل و انفعالات شیمیایی مولکول‌های آب با یون‌های هیدروژن ممکن است اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی بسیاری از واکنش‌هایی که در سلول‌های زنده انجام می‌شوند، داشته باشد.

پتانسیل آب

- فیزیولوژیست‌های گیاهی از اصطلاح " پتانسیل آب" به جای "پتانسیل شیمیایی آب" استفاده می‌کنند.
- حرف یونانی سای (Ψ) نشان دهنده پتانسیل آب در یک سیستم (مانند یک سلول یا بافت گیاهی، یا یک نمونه خاک که گیاهان در آن رشد می‌کنند و یا یک محلول در داخل یک ظرف) است. پتانسیل آب یا برحسب بار و یا برحسب مگا پاسکال اندازه‌گیری می‌شود.
- هرچه پتانسیل آب یک سلول یا یک بافت کمتر باشد توانایی جذب آب در آن سلول یا بافت بیشتر خواهد بود و برعکس هرچه پتانسیل آب یک بافت بیشتر باشد توانایی آن بافت در تامین آب برای سلول‌ها و بافت‌های مجاور بیشتر است. به این ترتیب پتانسیل آب برای اندازه‌گیری مقدار کمبود آب و تشنگی بافت‌ها و سلول‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پتانسیل آب

- مقدار پتانسیل آب خالص در شرایط مذکور به طور قراردادی برابر صفر بار است.
- پتانسیل آب در یک بافت گیاهی همیشه کمتر از صفر و بنابراین همیشه یک عدد منفی است.
- به عنوان یک قانون کلی، برگ‌های اکثر گیاهانی که ریشه‌های آنها در خاک‌های دارای آب کافی قرار دارند، دارای پتانسیل آب بین ۲- تا ۸- بار هستند. با کاهش مقدار آب و رطوبت خاک، پتانسیل آب برگ‌ها منفی‌تر از ۸- بار می‌شود و سرعت رشد برگ‌ها کاهش خواهد یافت.
- اغلب بافت‌های گیاهان هنگامی که پتانسیل آب آنها به حدود ۱۵- بار کاهش یابد رشدشان کاملا متوقف می‌شود.

پتانسیل آب

- در زمان کاهش شدید پتانسیل آب برگ‌های گیاهان علفی ممکن است مدت نسبتا کوتاهی زنده باقی بمانند ولی رشد نخواهند کرد (هنگامی که پتانسیل آب آنها کمتر از ۱۵- بار شود).
- بطورکلی، اگر پتانسیل آب برگ‌های گیاهان علفی به ۲۰- تا۳۰- کاهش یابد، در این صورت بعید به نظر می‌رسد که این برگ‌ها بتوانند دوباره به حالت طبیعی اولیه بازگردند.
- برخلاف برگ‌های گیاهان علفی، برگ‌های بوته‌های بیابانی، در شرایطی که پتانسیل آب آنها کاهش یابد باز دارای توانایی بیشتری در ادامه حیات به مدت طولانی‌تری هستند.

روابط آب و خاک

- مکانیزم‌های مختلفی برای جذب آب از خاک توسط گیاه و حرکت آب از خاک به سمت ریشه گیاه وجود دارد.
- اغلب عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان به صورت محلول از خاک جذب میشوند.
- شرایط جذب عنصر در محیط خاک مهم است که شامل شکل قابل جذب عنصر، محلول خاک و .... می‌باشد.
- بنابراین شرط اساسی برای گیاه که با مشکل جذب عناصر مواجه نگردد وجود خود عنصر و وجود آب جهت محلول خاک است.

۱- حرکت و انتقال یون‌ها در خاک و رسیدن به مجاورت ریشه گیاه

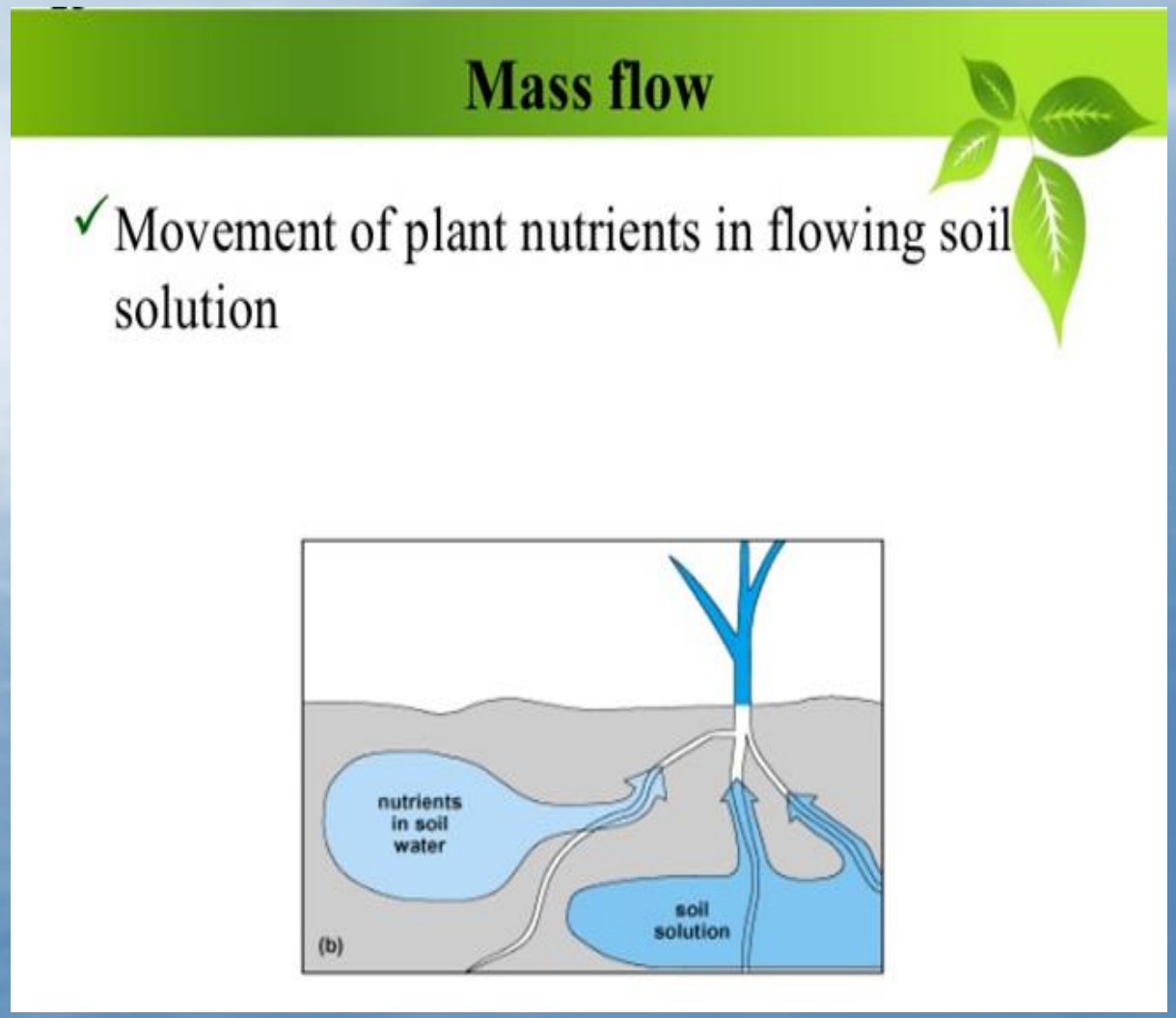
حرکت و انتقال عناصر به سمت ریشه به سه طریق صورت می‌گیرد :

۱-۱- جریان توده‌ای

۱-۲- پخشیدگی عناصر

۱-۳- توسعه ریشه‌ای (فضای بین ریشه‌ای)

۱-۱- جریان توده‌ای

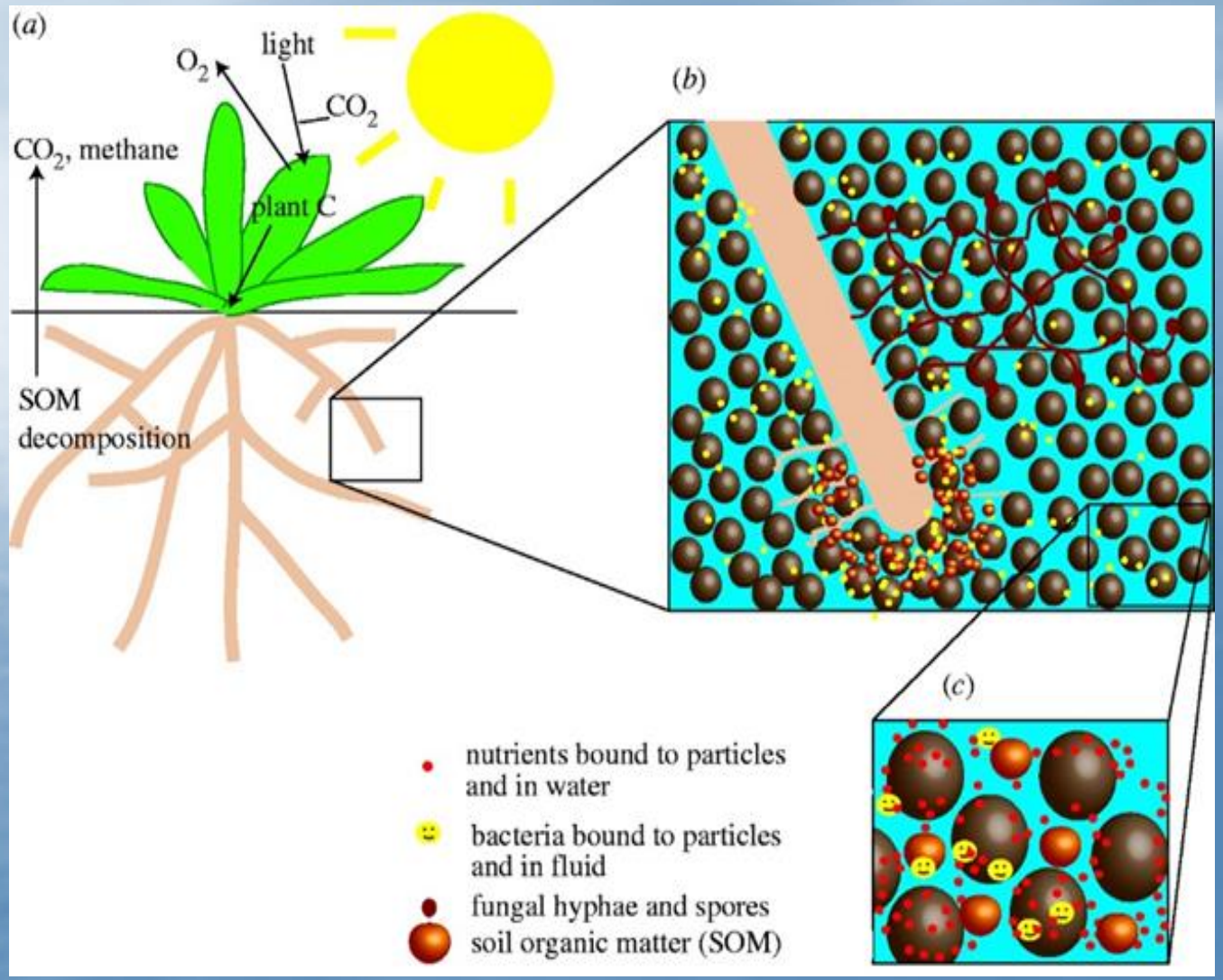


- عناصر غذایی در این حالت با جابجایی آب در دسترس ریشه قرار می‌گیرند که بستگی به مقدار آب و سرعت حرکت آب در خاک دارد.
- هر چه خاک خشک‌تر باشد، سرعت انتقال عناصر کمتر است مثل کلسیم و سولفات.
- در خاک‌های شنی مقدار آب کم است ولی سرعت حرکت آب بالا می‌باشد و در خاک‌های رسی مقدار آب زیاد و سرعت حرکت آب کم است.

۱-۲- پخشیدگی عناصر

- پخشیدگی عملی است که به وسیله آن ماده از یک قسمت یک محیط به قسمت دیگر تحت تأثیر حرکت حرارتی یون‌ها (T.M) جابجا می‌شود.
- یون‌ها در اثر جنبش خود مقداری انرژی تولید می‌کنند که باعث حرکت یون می‌گردد و نیازی به آب در داخل خاک نمی‌باشد.
- عناصر در این حالت تحت تأثیر شیب غلظت از محیط غلیظ‌تر به محیط رقیق‌تر حرکت می‌کنند و پس از رسیدن به حالت تعادل دو محیط این حرکت متوقف میگردد.
- معمولاً فسفر در خاک از این طریق منتقل می‌شود. در این حالت مساحتی را که در یک زمان معین عنصر طی می‌کند را ضریب پخشیدگی آن عنصر گویند.

۱-۲- پخشیدگی عناصر



$$dq / dt = - DA (dc / dx)$$

در رابطه بالا :

- ✓ D ضریب پخشیدگی عنصر در آب مقطر در دمای ۲۵ درجه
- ✓ A مساحت
- ✓ C غلظت عنصر
- ✓ q میزان عنصر پخشیده شده
- ✓ x مسافت طی شده
- ✓ t زمان

عناصری مثل پتاسیم، نیترات، منیزیوم با هر دو روش پخشیدگی و جریان توده‌ای قابل جابجایی هستند.

۱-۳- توسعه ریشه‌ای (فضای بین ریشه‌ای)

❖ حرکت ریشه به سمت عناصر غذایی را توسعه ریشه‌ای گویند.

آب در خاک و رابطه آن با گیاه :

۱) اشباع خاک : اولین حالت میزان آب در خاک که درصد آب موجود در خاک حدود ۵۰ درصد است.

۲) تخلخل تهویه‌ای : حالتی است که آب در اثر نیروی ثقل زمین به سمت پایین حرکت نموده و ابتدا خلل و فرج درشت خاک از آب تخلیه می‌شوند. در این حالت میزان آب موجود در خاک حدود ۴۵ درصد می‌باشد.

۳) ظرفیت زراعی مزرعه (FC) : این مرحله با ادامه حرکت آب در اثر نیروی ثقل بوجود می‌آید. در ظرفیت زراعی، آب بیشتر در اثر تعرق گیاه (۹۹٪) و تبخیر از سطح خاک (۱٪) از خاک خارج می‌شود. مقدار آب موجود در خاک در ظرفیت زراعی حدود ۲۵ درصد می‌باشد.

۴) نقطه پژمردگی موقت : عمل تبخیر و تعرق باعث خشک شدن تدریجی خاک می‌شود و در اثر عدم آبیاری گیاه در ساعات اولیه و انتهایی روز در اثر بالا بودن رطوبت نسبی شاداب است ولی در ساعات میانی روز که میزان رطوبت نسبی هوا پایین می‌آید علائم پژمردگی را نشان می‌دهد که این پژمردگی برگشت‌پذیر می‌باشد. درصد آب موجود در خاک در این شرایط حدود ۲۰٪ است.

۵) پژمردگی دائم : با ادامه روند پژمردگی موقت و عدم آبیاری، گیاه از بین رفته و دیگر حتی نسبت به آبیاری نیز اقدام شود ولی به دلیل مرگ، گیاه قادر به جذب آب نخواهد بود. درصد آب موجود در خاک در این شرایط حدود ۱۲/۵٪ می‌باشد.

- آب قابل دسترس گیاه (Availble water)، مقدار آب بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است.
- هر چه به سمت نقطه پژمردگی دائم پیش برویم سهولت دریافت آب کم می‌شود.
- آب سهل‌الوصول بین ظرفیت زراعی تا نقطه پژمردگی موقت است.
- شروع فاز تنش از انتهای مرحله ظرفیت زراعی می‌باشد ولی علائم تنش در این زمان دیده نمی‌شود.

۲- جذب و عبور از عرض غشاء سلولی (جذب توسط ریشه)

- برای این که عناصر از عرض غشاء سلولی عبور کنند دو روش متفاوت انتقال فعال (Active transport) و انتقال غیرفعال (Passive transport) عناصر وجود دارد.
- در انتقال غیرفعال نیازی به صرف انرژی نیست و نیروهای فیزیکی و شیمیایی دخیل هستند. برای انتقال غیرفعال چهار فرضیه وجود دارد : انتشار، تبادل یونی، تئوری تبادل یا موازنه دونن و تئوری جریان توده‌ای.
- در انتقال فعال که به دو قسمت اولیه و ثانویه تقسیم می‌گردد نیاز به صرف انرژی است.

۲-۱- انتقال غیرفعال

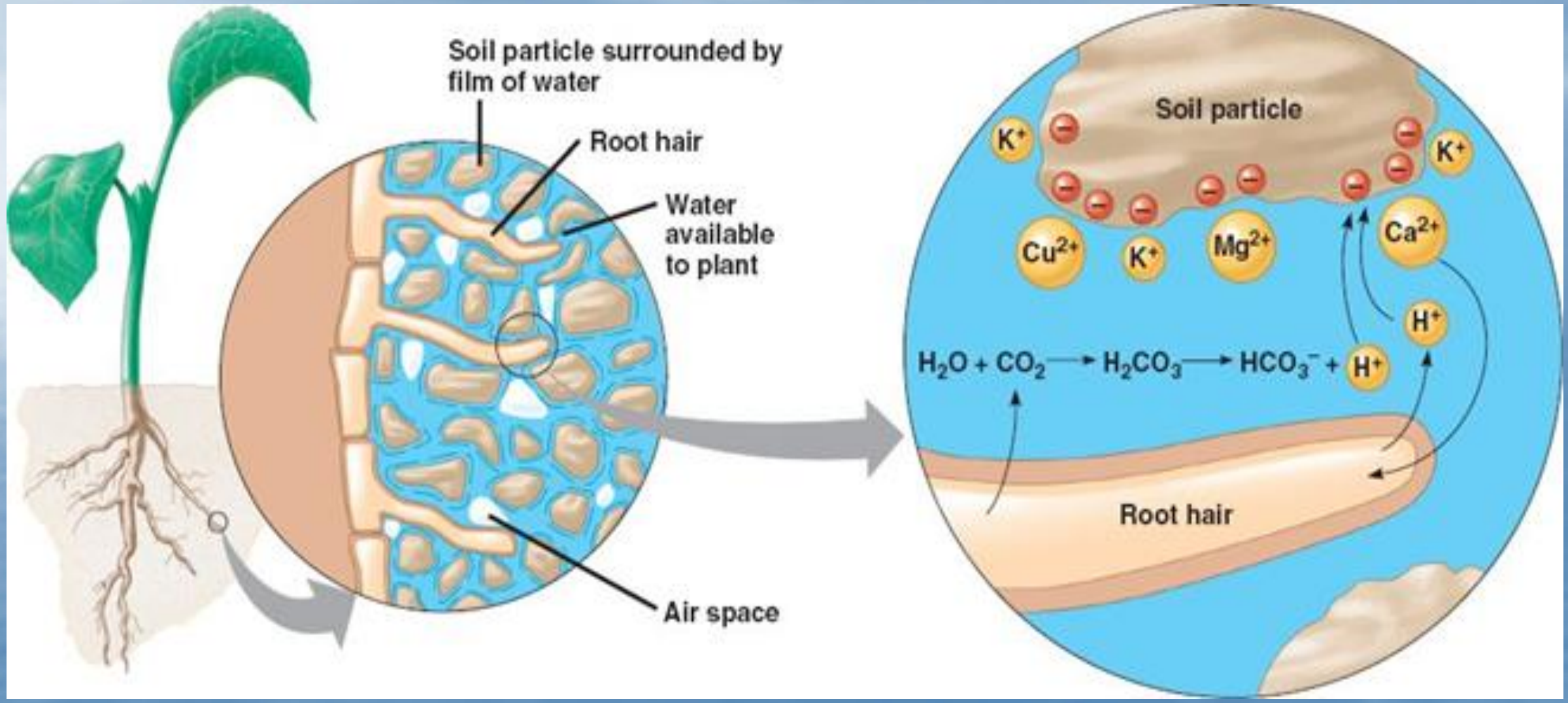
۱) انتشار :

زمانی که شیب غلظت (شیمیایی) در دو طرف غشاء سلول وجود داشته باشد از این طریق عنصر منتقل می‌گردد. به طور کلی همه عناصر از این طریق قابلیت انتقال دارند.

۲) تبادل یونی :

عناصر موجود در محلول خاک (سطح ریشه) با عناصر موجود در سلولهای ریشه قادرند از طریق تبادل عمل جابجایی و تعویض را انجام دهند (البته عناصر جذب سطحی شده نه عناصر تثبیت شده). این تبادل به دو طریق انجام میشود : تبادل تماسی (فیزیکی) ، تبادل اسیدکربنیک (انحلال CO_2)

۲-۱- انتقال غیرفعال



۲-۱- انتقال غیرفعال

به عنوان مثال جابجایی دو عنصر پتاسیم و هیدروژن به دو روش فوق به شرح ذیل است :

- در تبادل تماسی، پتاسیم جذب سطحی ذره خاک بوده و ریشه نیز در تماس با ذره خاک میباشد که پتاسیم و هیدروژن به وسیله جریان تحرک‌پذیری عناصر حرکت نموده و جابجایی صورت میگیرد.
- در انحلال اسیدکربنیک، ریشه گیاه با تنفس خود CO_2 تولید می‌کند که با ترکیب شدن با آب اسیدکربنیک تشکیل می‌شود. اسیدکربنیک یونیزه شده در نتیجه هیدروژن به ذره خاک منتقل و پتاسیم با ترکیب با یون بی‌کربنات به درون ریشه منتقل می‌شود.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$

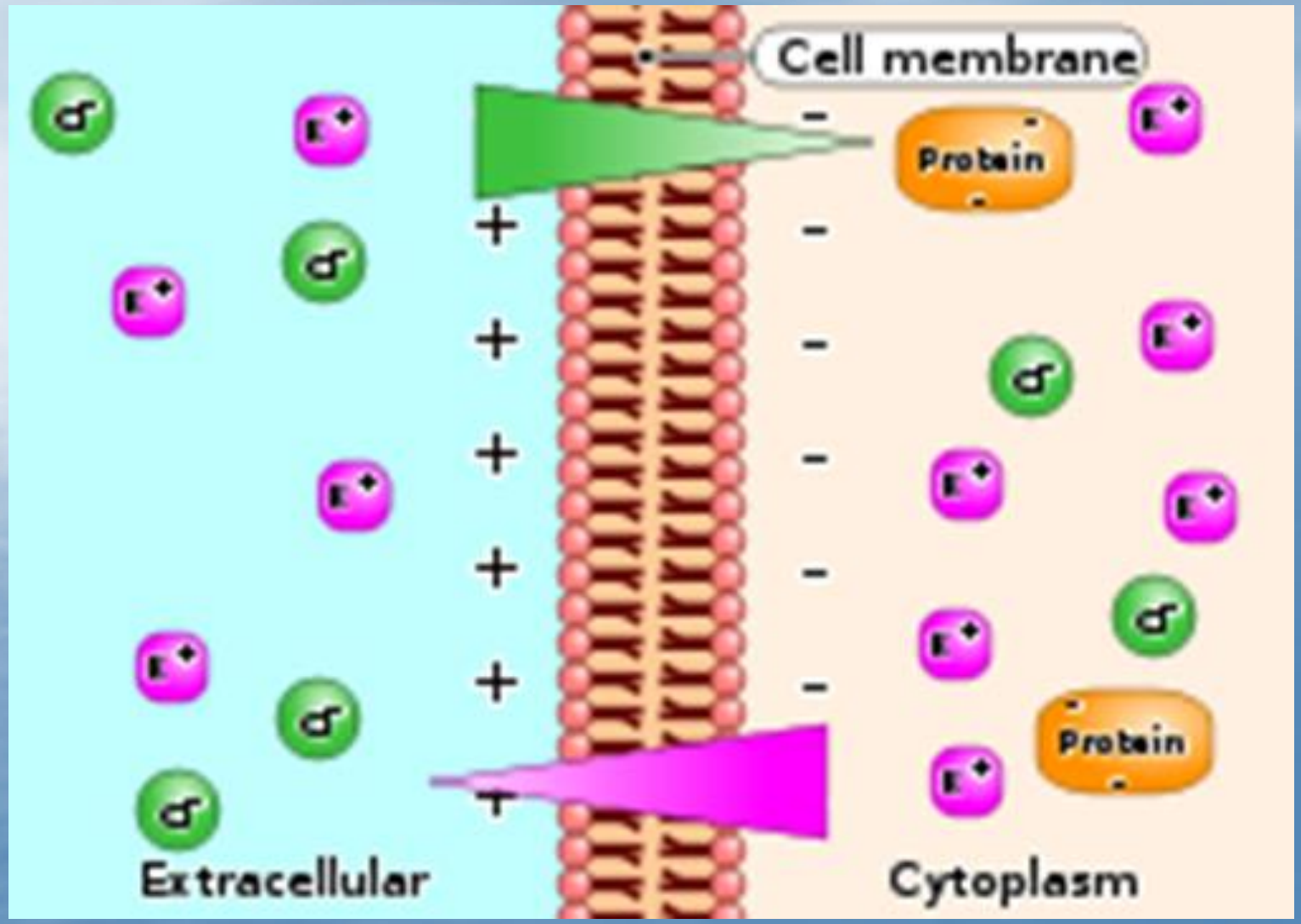
معمولاً یون‌های یک ظرفیتی سریع‌تر جابجا می‌شوند.

۲-۱- انتقال غیرفعال

۳) تئوری تبادل یا موازنه دونن (Donnan Equilibrium theory) :

- یک تبادل الکتریکی در سطح درونی و بیرونی غشاء سلولی است.
- نیروی اسمزی در این تئوری مستتر است.
- در این روش عنصر یک ظرفیتی از عنصر دو ظرفیتی سریع‌تر جذب می‌شود.
- فضای دونن (محل تعادل الکتریکی) ناحیه‌ای است که در آن یون‌های غیر قابل تحرک یا تثبیت شده مانند پروتئین‌ها، DNA، RNA، گروه‌های فسفات و کربوکسید وجود دارد. این یون‌ها غالباً دارای بار الکتریکی منفی هستند در نتیجه کاتیون‌ها بیشتر جذب می‌شوند.

۲-۱- انتقال غیرفعال



- در این حالت تعداد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در داخل و بیرون غشاء سلولی بایستی متعادل باشند یعنی تعداد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در هر طرف غشاء باهم برابرند ولی لازم نیست حتماً در دو طرف با هم برابر باشند).

۲-۱- انتقال غیرفعال

۴) تئوری جریان توده‌ای :

- آب از عرض غشاء سلول عبور می‌کند و همراه خود عناصر غذایی را عبور میدهد.
- هر چه میزان جذب آب توسط گیاه بیشتر باشد، میزان جذب عناصر بیشتر خواهد بود.
- در این حالت نیاز به شیب غلظت نمی‌باشد.

۲-۲- انتقال فعال

- پروتئین‌های انتقال دهنده غشاءسلولی به سه دسته پمپ‌ها، کانال‌ها و پورترها تقسیم می‌شوند.
- وظیفه این پروتئین‌های انتقال دهنده غشایی، انتقال عناصر از غشاءسلولی به درون سلول و بازگشت مجدد به خارج سلول جهت انتقال عناصر دیگر است.

۱) انتقال فعال اولیه :

برای انتقال عناصر از طریق پمپ‌ها نیاز به هیدرولیز ATP می‌باشد و عناصر در خلاف جهت شیب شیمیایی حرکت میکنند که به این فعل و انفعال انتقال فعال اولیه می‌گویند.

بنابراین پمپ‌ها وظیفه‌شان انتقال فعال اولیه است.

۲-۲- انتقال فعال

۲) انتقال فعال ثانویه :

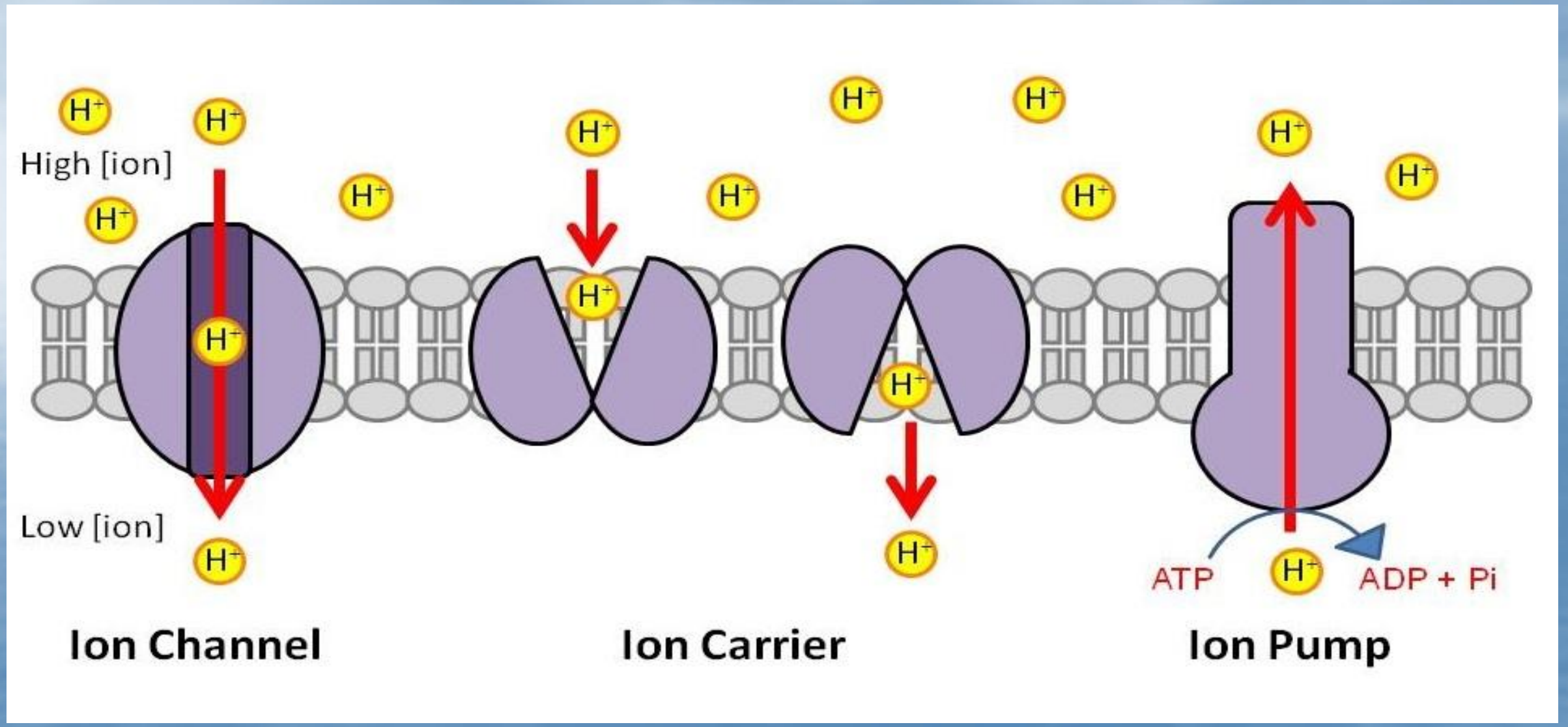
کانال‌ها و پورترها عبور بعضی از عناصر مانند قندها، آمینواسیدها را تسهیل می‌کنند که به آن انتشار تسهیل شده می‌گویند. بنابراین وظیفه کانال‌ها و پورترها انتشار تسهیل شده است.

پورترها به سه دسته یونی‌پورتر، آنتی‌پورتر، سیم‌پورتر تقسیم می‌شوند :

- یونی‌پورترها انتقال یک ماده را در جهت شیب نزولی
- آنتی‌پورترها دو ماده را در دو جهت شیب یا خلاف جهت شیب شیمیایی
- سیم‌پورترها دو ماده را در یک جهت شیب یا خلاف جهت شیب شیمیایی

کاتالیز نموده و حرکت می‌دهند.

۲-۲- انتقال فعال



۳- حرکت و انتقال یون‌ها و عناصر غذایی در داخل گیاه

- یون‌ها و عناصر غذایی پس از عبور از ریشه‌ها و سلول‌های آن و ورود به درون گیاه لازم است که منتقل شوند که این انتقال عناصر درون گیاه دارای مکانیسم‌هایی است تا عناصر از طریق آوندهای چوب به سمت بالا برده شده و توسط آوندهای آبکش مواد ساخته شده به سمت پایین انتقال یابند.
- انتقال عناصر و مواد در درون گیاه با صرف انرژی همراه است.

نیروهای مؤثر بر جابجایی و انتقال عناصر در داخل گیاه :

1) تعرق (Transpiration)
2) فشار ریشه‌ای (Root pressure)
3) پدیده منبع – مخزن (Sink - Source)

۳-۱- تعرق

- خروج آب از قسمت‌های هوایی گیاه به صورت بخار آب تعرق نامیده می‌شود.
- تعرق گیاه باعث جذب آب و به همراه آن مواد معدنی و عناصر محلول در آب (محلول خاک حاوی عناصر غذایی) می‌شود.
- هر چه سرعت تعرق بیشتر باشد در نتیجه سرعت جذب عناصر غذایی نیز بیشتر خواهد بود.
- عمل تعرق در انتقال عناصری مانند کلسیم و بر که در داخل گیاه قدرت جابجایی و حرکت را ندارند مهم است.
- برگ اندام اصلی و عمده تعرق است و قسمت اعظم تعرق از میان روزنه‌های (stomata) آن انجام می‌شود، لذا این نوع تعرق را تعرق روزنه‌ای می‌نامند.

۳-۱- تعرق

- مقدار کمی بخار آب از برگ‌ها و ساقه‌ها بوسیله تبخیر مستقیم از طریق یاخته‌های اپیدرمی و از میان کوتیکول خیلی نازک آنها خارج می‌شود که این پدیده را تعرق کوتیکولی گویند. همچنین خروج بخار آب می‌تواند از طریق عدسک‌های ساقه‌های چوبی یا عدسک‌های میوه انجام شود که تعرق عدسکی نامیده می‌شود.

گیاه معمولاً به منظور عوامل زیر تعرق انجام می‌دهد :

1) خنک کردن خود
2) دسترسی به عناصر خاک
3) ورود دی‌اکسید کربن به گیاه
4) جذب آب

۳-۱- تعرق

۱) نقش تعرق در جذب آب از ریشه :

- تعرق باعث می‌شود که پتانسیل آب برگ به پتانسیل آب ریشه کاهش یابد.
- حوالی ظهر اختلاف پتانسیل آب برگ نسبت به ریشه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این هنگام سرعت و شدت جذب آب توسط ریشه نیز بیشترین مقدار را دارا است.
- اگر منحنی تعرق و منحنی جذب آب در ساعات مختلف شبانه روز را با هم مقایسه کنیم خواهیم دید که تغییرات هماهنگی را نشان می‌دهد. یعنی هر چقدر تعرق بالاتر باشد به همان اندازه هم شدت جذب آب نیز بالاتر است.
- زمانی که تعرق صورت می‌گیرد، پتانسیل آب ریشه منفی‌تر از خاک و پتانسیل برگ منفی‌تر از ریشه و پتانسیل جو منفی‌تر از برگ است که باعث ایجاد یک جریان آب از خاک به اتمسفر می‌گردد.

۳-۱- تعرق

۲) عوامل موثر بر تعرق :

❖ رطوبت نسبی :

هر چه رطوبت نسبی جو بیشتر باشد، میزان تعرق کمتر خواهد بود. زیرا پتانسیل آب جو در این حالت افزایش می یابد. اگر رطوبت نسبی جو به حالت اشباع برسد، تعرق متوقف می‌شود. رطوبت نسبی جو به شدت از دمای محیط متاثر است.

❖ دما :

دما علاوه بر اثری که روی رطوبت نسبی دارد در شرایط طبیعی افزایش دما تا ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش شدت تعرق شده و از این درجه به بعد باعث کاهش تعرق می‌شود. علت این پدیده آن است که افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بعضی از گونه‌ها مانند پنبه، توتون و قهوه باعث باز شدن روزنه‌ها و پس از آن باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. در شمعدانی حتی در ۳۵ درجه سانتیگراد نیز روزنه باز باقی مانده، در نتیجه تعرق ادامه می‌یابد.

۳-۱- تعرق

❖ باد و جریان هوا :

باد باعث تجدید هوا در مجاورت بافت‌ها شده و شدت تعرق را افزایش می‌دهد. ولی شدید بودن آن باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌گردد. از طرف دیگر باد با به حرکت در آوردن برگ‌ها، خروج بخار آب از برگ‌ها را آسان می‌کند.

❖ روشنایی :

در بسیاری از گیاهان شدت تعرق در تاریکی تقریبا صفر است و روشنایی باعث افزایش شدت تعرق می‌شود. علت آن باز شدن روزنه‌ها در روشنایی است. در بعضی از گیاهان مانند گیاهان گوشتی (تیره کاکتوس) روزنه‌ها در روز بسته و در شب باز می‌شوند، به همین دلیل میزان تعرق این گیاهان در شب بیشتر از روز است.

۳-۱- تعرق

❖ سطح اندام هوایی :

سطح اندام، بویژه برگ‌ها در تعرق اهمیت فوق‌العاده دارد. ریزش برگ‌ها هنگام پاییز و زمستان در درختان خزان شونده مناطق معتدل و به هنگام تابستان در گیاهان مناطق نیمه خشک، بطور قابل ملاحظه‌ای از شدت تعرق می‌کاهد. همچنین وجود خار یا برگ‌های بسیار کاهش یافته در گیاهان مناطق خشک موجب کاهش شدت تعرق می‌شود.

❖ آرایش بافت‌های برگ :

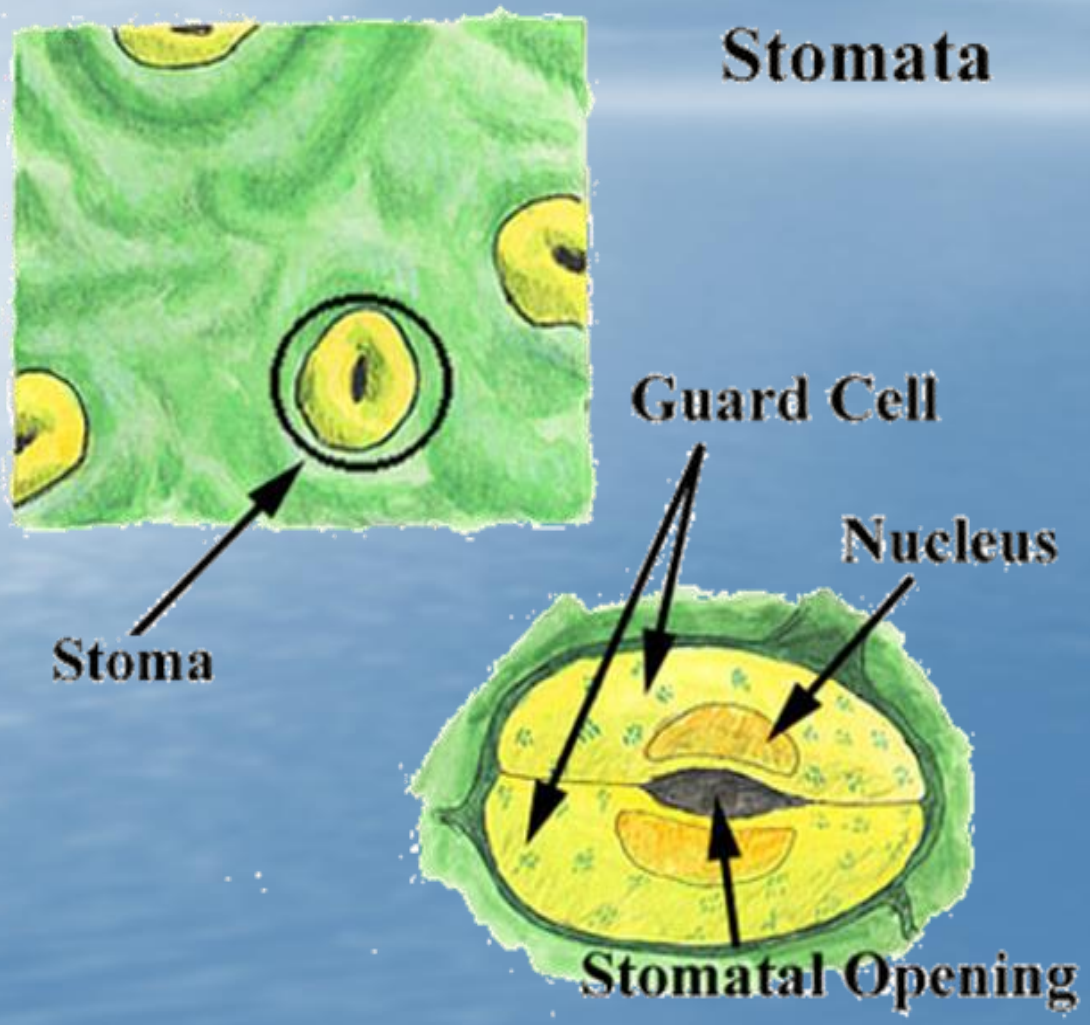
آرایش بافت‌های برگ در تعرق موثرند. بافت نرده‌ای برگ در گیاهان مناطق خشک همیشه فشرده‌تر از بافت نرده‌ای گیاهان مناطق مرطوب است و کوتیکول آنها ضخیم می‌باشد. حتی گاهی بافت‌های بیرونی آنها چوب پنبه‌ای و یا چوبی می‌شود که این امر به مقدار زیاد از میزان تعرق می‌کاهد.

۳-۱- تعرق

❖ تعداد و وضع روزنه‌ها :

تعداد و وضع روزنه‌ها از عوامل اصلی تعرق به شمار می‌آید. همیشه نوعی رابطه مثبت بین تعداد روزنه‌ها و شدت تعرق وجود دارد. در بعضی گیاهان ساختار تشریحی خاص روزنه‌ها باعث کاهش شدت تعرق می‌شود. مانند کریپت روزنه‌ای در گیاه خرزهره که فرورفتگی‌های پر از کرک در سطح زیرین برگ هستند و روزنه‌ها در ته آنها قرار دارند.

۳-۱- تعرق

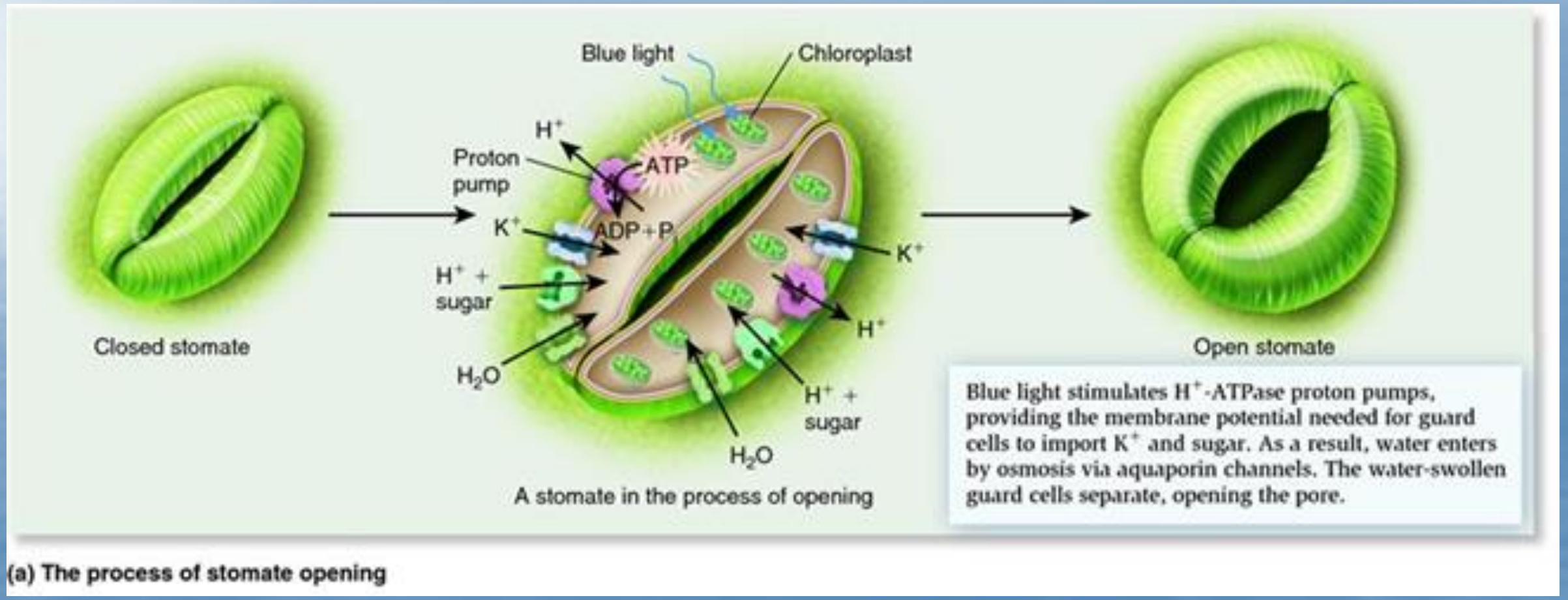


۳) روزنه‌ها و مکانیسم عمل آنها :

- ✓ یکی از عوامل مؤثر در تعرق هدایت روزنه‌ای است. یعنی هر چه روزنه‌ها بیشتر باز باشند میزان جذب عناصر بیشتر خواهد بود.
- ✓ هر روزنه از دو سلول تخصصی، به نام سلول‌های محافظ (guard cells) تشکیل شده است.
- ✓ گیاهان دارای روزنه‌های زیادی (تا ۴۰۰ روزنه در هر میلی‌متر مربع) در سطح برگ می‌باشند که معمولا در سطح پایینی برگ برای به حداقل رساندن از دست دادن آب قرار دارند.

۳-۱- تعرق

a) مکانیسم باز شدن روزنه‌ها :



(a) The process of stomate opening

۳-۱- تعرق

a) مکانیسم باز شدن روزنه‌ها :

باز شدن روزنه با حس یک نشانه زیست محیطی مانند نور، آغاز می‌شود. این نشانه‌ها یک سری از واکنش‌هایی را که باعث ورود آب به سلول‌های محافظ می‌شود را موجب می‌گردد. باز شدن روزنه‌ها طی مراحل ذیل صورت می‌گیرد :

- دریافت سیگنال : نور آبی در سپیده‌دم سیگنالی است که توسط یک گیرنده در سلول‌های محافظ دریافت می‌شود.
- گیرنده سیگنال H^+-ATPases در غشاء سلول‌های محافظ باعث شروع پمپ شدن H^+ به خارج از سلول‌های محافظ می‌شود. این از دست رفتن بار مثبت باعث ایجاد بار منفی در سلول می‌گردد.

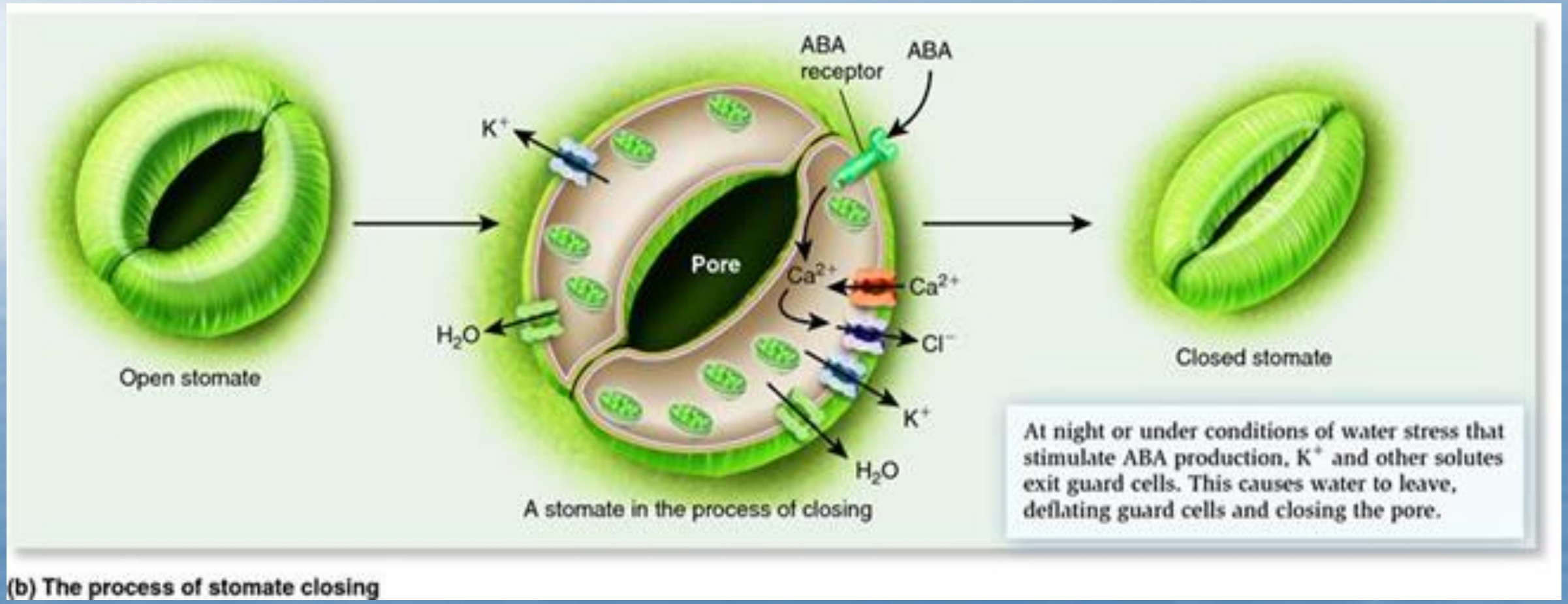
۳-۱- تعرق

a) مکانیسم باز شدن روزنه‌ها :

- یون‌های پتاسیم (K^+) وارد سلول‌های محافظ از طریق کانال‌های غشاء می‌شوند که بار داخلی آنها منفی‌تر است.
- همانطور که یون‌های پتاسیم در سلول‌های محافظ تجمع می‌یابند، پتانسیل محلول کاهش می‌یابد.
- یک پتانسیل محلول کمتر باعث جذب آب برای ورود به سلول می‌شود.
- همانطور که آب وارد سلول‌های محافظ می‌شود، فشار هیدرواستاتیک این سلول‌ها افزایش می‌یابد.
- فشار هیدرواستاتیک باعث تغییر شکل سلول‌های محافظ و در نتیجه باز شدن روزنه و تبادل گازی از طریق آن می‌گردد.

۳-۱- تعرق

b) مکانیسم بسته شدن روزنه‌ها :



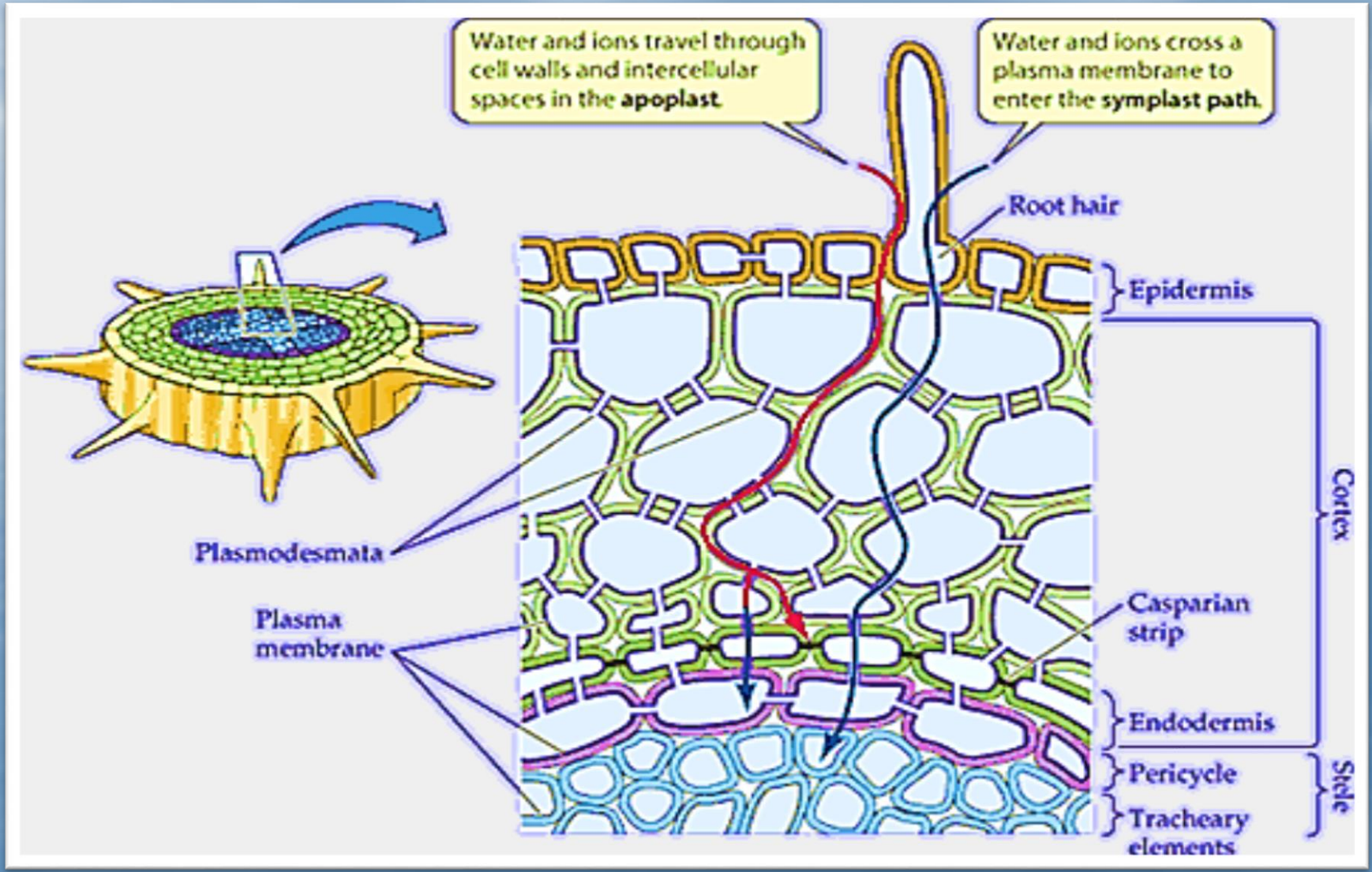
(b) The process of stomate closing

۳-۱- تعرق

b) مکانیسم بسته شدن روزنه‌ها :

- بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به عواملی مانند تنش، اسیدآبسزیک و ... است.
- با دریافت سیگنال‌هایی توسط گیرنده‌های مربوطه باعث خروج آب، K^+، Cl^- و جایگزینی Ca^+ در سلول‌های محافظ و در نتیجه کاهش فشار و شل شدن این سلول‌ها و بسته شدن روزنه می‌شود.

۳-۲- فشار ریشه‌ای



۳-۲- فشار ریشه‌ای

- مواد معدنی موجود در سلول‌های ریشه که توسط انتقال فعال وارد شده‌اند، باعث افزایش غلظت املاح درون سلولی می‌شود.
- در نتیجه آب به واسطه اسمز با فشار از دو مسیر آپوپلاست (فضای بین سلولی) و سیم‌پلاست (فضای درون سلولی) وارد آوندهای چوب می‌شود و در نتیجه ریشه گیاه فشاری را برای صعود آب در گیاه وارد می‌کند.
- گاهی این فشار به ۸ اتمسفر می‌رسد یعنی این فشار میتواند آب را در آوندها تا ۸۰ متر بالا بفرستد.

۳-۳- پدیده منبع و مخزن

- عناصر غذایی از منبع (ریشه) به سمت مخزن (اندام‌های در حال رشد گیاه) می‌روند.
- البته همیشه منبع ریشه نبوده و گاهی منبع برگ می‌باشد مانند چغندرقند که منبع برگ و مخزن ریشه است.
- جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاه تابع زمان بوده و ثابت نیست.
- در طی دوره رویشی گیاه، جذب بیشتر صورت می‌گیرد ولی در دوره زایشی انتقال مجدد بیشتر بوده و جذب کمتر است. یعنی عناصر در محل‌هایی که ذخیره شده‌اند به محل‌های در حال رشد حرکت می‌کنند. اما سرعت انتقال عناصر یکسان نیست. عناصری که سرعت آنها بیشتر باشد انتقال آنها سریع‌تر خواهد بود. بر این اساس عناصر به دسته‌های ذیل تقسیم می‌شوند :

۳-۳- پدیده منبع و مخزن

در گیاهان سرعت انتقال عناصر یکسان نیست و عناصری که سرعت آنها بیشتر باشد، انتقال آنها سریع‌تر خواهد بود. بر این اساس عناصر به دسته‌های ذیل تقسیم می‌شوند :

1) عناصر متحرک : این عناصر شامل N، P، K، Mg، Mo می‌باشند. علائم کمبود آنها به استثناء Mo در برگ‌های مسن دیده می‌شود.

2) عناصر نسبتاً متحرک : عنصر گوگرد S در این گروه قرار دارد.

3) عناصر کم تحرک : این عناصر شامل Fe، Zn، Cu، Mn می‌باشند. علائم کمبود آنها به استثناء Zn در برگ‌های جوان دیده می‌شود.

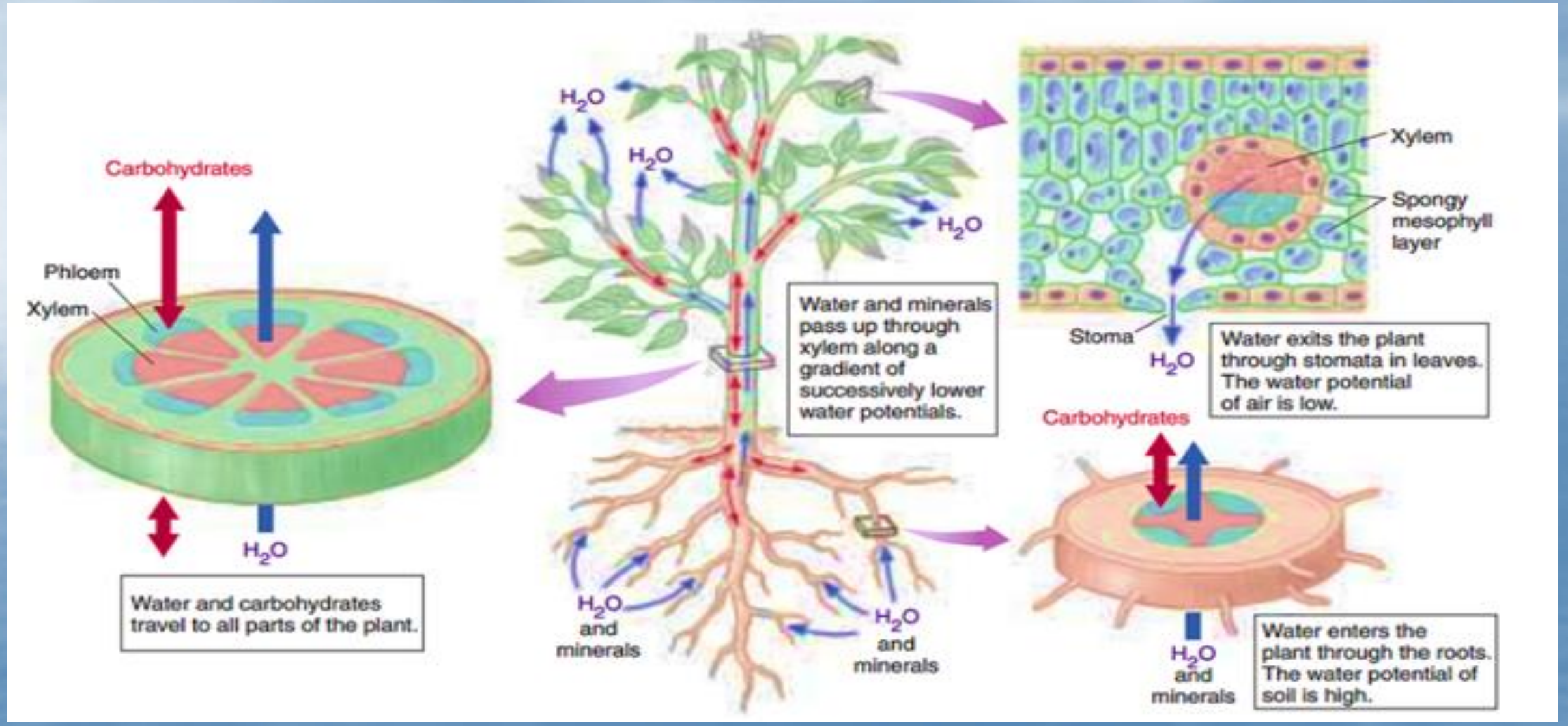
4) عناصر غیرمتحرک : این عناصر شامل Ca، B می‌باشند. علائم کمبود آنها علائم فیزیولوژی پس از برداشت را نشان می‌دهد.

سیستم آوندی

۱- آوند چوب

- حرکت آب و مواد معدنی از طریق آوندهای چوبی (xylem) و به صورت یک طرفه از سمت ریشه به سمت اندام‌های هوایی است.
- نیروی کششی ذاتی که بین مولکول‌های آب وجود دارد باعث حرکت آب به همراه مواد معدنی در درون آوندهای چوب می‌گردد.
- بین نیروی کششی ذاتی مولکول‌های آب و قطر آوند رابطه معکوس وجود دارد، یعنی هر چه قطر آوند کمتر باشد میزان این نیرو بیشتر خواهد بود.
- همچنین مولکول‌های آب به منظور ثبات بیشتر در طول ستون آوندی به دیواره تراکئید (tracheids) و یا عروق آوندی (vessels) می‌چسبند.

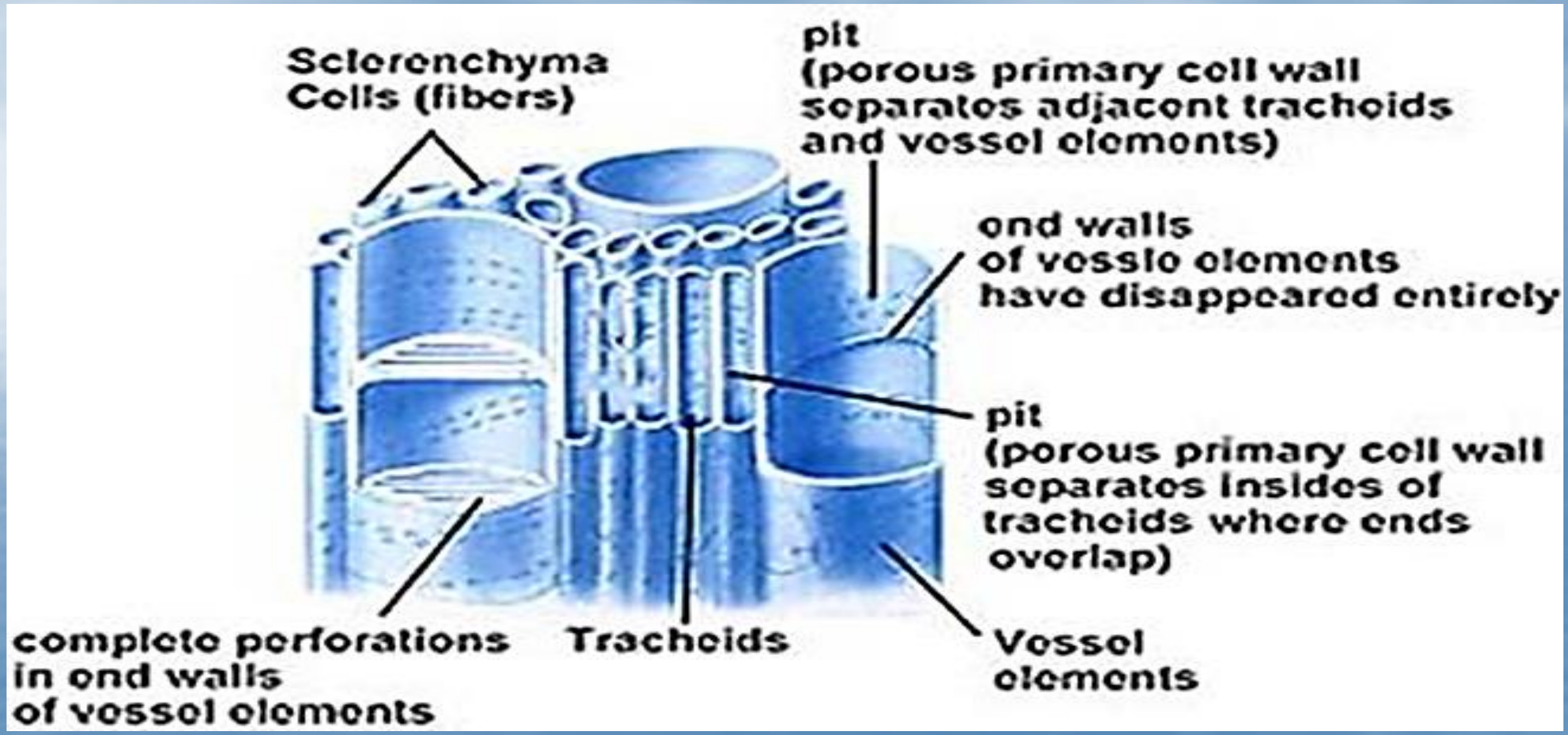
۱- آوند چوب


Carbohydrates
Phloem
Xylem
H_2O
Water and carbohydrates travel to all parts of the plant.
H_2O
H_2O
H_2O
Water and minerals pass up through xylem along a gradient of successively lower water potentials.
H_2O and minerals
H_2O and minerals
Xylem
Spongy mesophyll layer
Stoma
H_2O
Water exits the plant through stomata in leaves. The water potential of air is low.
Carbohydrates
H_2O and minerals
Water enters the plant through the roots. The water potential of soil is high.

۱- آوند چوب

- وجود هر گونه حباب هوا در ستون آب درون آوند باعث از بین رفتن نیروی کششی مولکول‌های آب و چسبندگی در آوند چوب شده و در نتیجه انتقال آب و مواد معدنی صورت نخواهد گرفت.
- یک سازگاری آناتومیکی احتمال حضور حباب‌های هوا را کاهش می‌دهد. این سازگاری بدین شکل است که تراکئیدهای انفرادی و اعضای عروقی آوند چوب به وسیله یک یا چند چاله یا حفره به هم متصل می‌شوند. حباب‌های هوا عموماً بزرگتر از این دهانه‌ها بوده و بنابراین قادر به عبور از آنها نیستند.
- علاوه بر این، انسجام نیروی آب آن قدر زیاد است که حباب قادر به ورود به این حوزه‌های سفت و سخت که هیچ انعطاف‌پذیری ندارد، نمی‌تواند وارد شده و فشاری را به این حفره‌ها وارد کند.

۱- آوند چوب


Sclerenchyma
Cells (fibers)
pit
(porous primary cell wall
separates adjacent tracheids
and vessel elements)
ond walls
of vessle elements
have disappeared entirely
pit
(porous primary cell wall
separates insides of
tracheids where ends
overlap)
complete perforations
in ond walls
of vessel elements
Tracheids
Vessel
elements

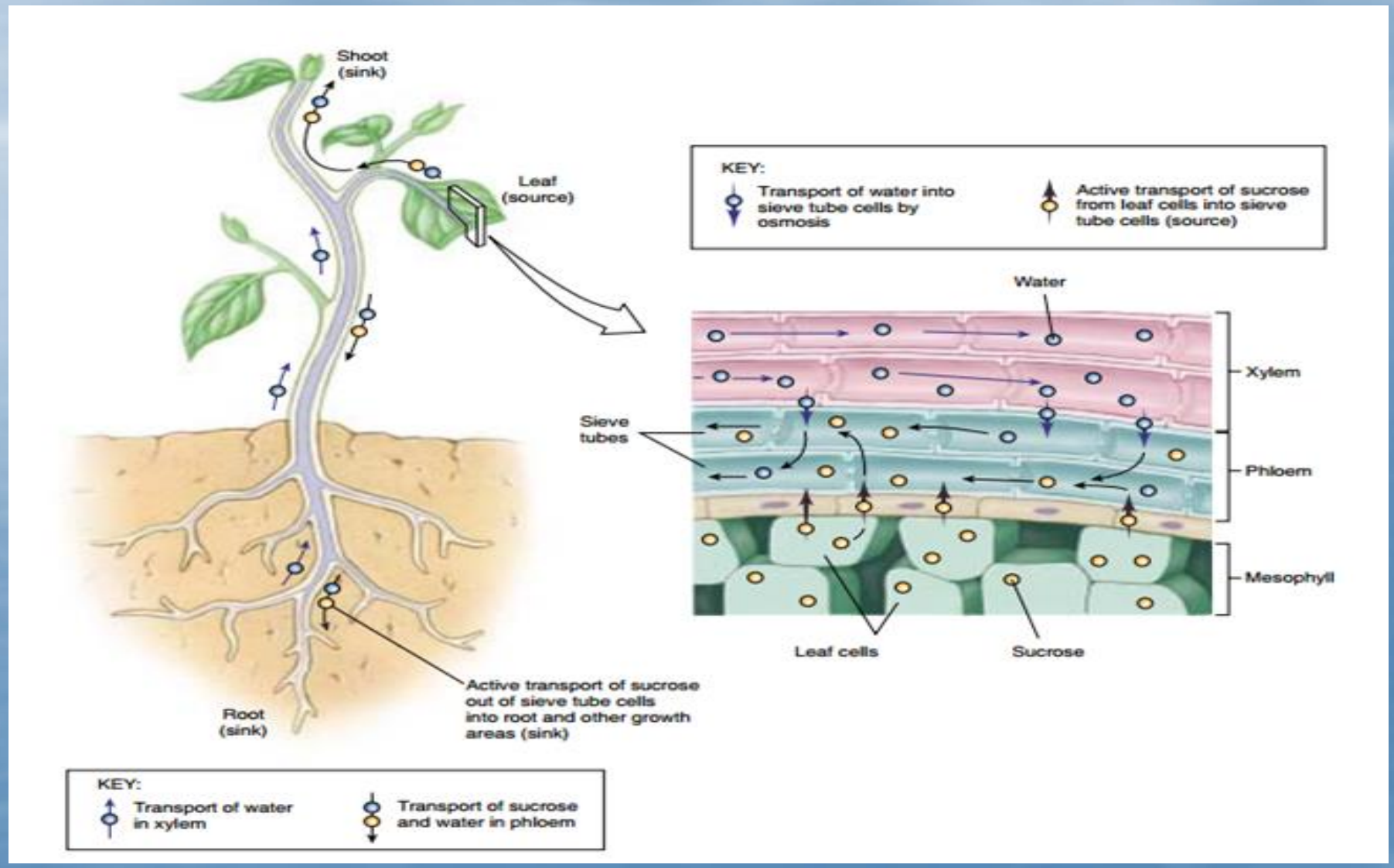
۲- آوند آبکش

- آوند آبکش (Phloem) یک جریان دو طرفه که بیشتر کربوهیدرات‌های ساخته شده در برگ و سایر قسمت‌های سبز گیاه است را ایجاد می‌کند. مایع در آوند آبکش شامل ۱۰ تا ۲۵ درصد ماده خشک، تقریبا همه آن از ساکارز است.
- با استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو، مشخص شده است که حرکت مواد در آوند آبکش می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای سریع باشد که اندازه آن ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در ساعت سنجش شده است.
- مدل انتقال در آوند آبکش با عنوان فرضیه جریان جرمی (mass-flow hypothesis) و یا فرضیه جریان فشار نامیده می‌شود.
- کربوهیدرات محلول از یک منبع جریان یافته و به یک سینک یا مخزن برای استفاده منتشر می‌شوند.
- منابع کربوهیدرات شامل بافت فتوسنتزی، از جمله مزوفیل برگ، و بافت‌های ذخیره‌سازی غذایی مانند کورتکس ریشه می‌باشند. سینک‌ها در درجه اول رئوس در حال رشد بخش‌هایی مانند ریشه، ساقه و میوه‌های در حال توسعه هستند.

۲- آوند آبکش

- بارگذاری کربوهیدرات‌ها (عمدتا ساکارز) در لوله‌های غربال (sieve tubes) آوند آبکش، کوچکترین رگچه‌ها در منبع، یک مرحله‌ای است که انرژی نیاز دارد.
- سلول‌های همنشین (Companion cells) و سلول‌های پارانشیم (parenchyma cells) مجاور لوله غربال، انرژی ATP لازم برای این مرحله انتقال را فراهم می‌کنند.
- پس از آن، به دلیل تفاوت بین پتانسیل آب در لوله‌های غربال و در سلول‌های آوند چوبی نزدیکتر، آب به داخل لوله‌های غربال به روش اسمز جریان می‌یابد و باعث افزایش فشار تورژسانس در لوله‌های غربال می‌شود. این افزایش فشار تورژسانس موجب حرکت سیال در سراسر سیستم گیاه در لوله‌های غربال می‌گردد.
- در مخزن، کربوهیدرات‌ها به طور فعال حذف و حرکت آب در لوله‌های غربال به روش اسمز و فشار تورژسانسی که وجود دارد، باعث ایجاد یک جریان توده‌ای از فشار بالاتر در منبع به فشار پایین‌تر در مخزن می‌گردد.

۲- آوند آبکش


Shoot
(sink)
Leaf
(source)
Root
(sink)
Active transport of sucrose
out of sieve tube cells
into root and other growth
areas (sink)
KEY:
Transport of water
in xylem
Transport of sucrose
and water in phloem
KEY:
Transport of water into
sieve tube cells by
osmosis
Active transport of sucrose
from leaf cells into sieve
tube cells (source)
Water
Sieve
tubes
Xylem
Phloem
Mesophyll
Leaf cells
Sucrose

اندام‌های ذخیره‌ای

- یک عضو ذخیره‌سازی هر بخشی از گیاه می‌تواند باشد که در آن مازاد انرژی (عموما به شکل نشاسته، قند، چربی یا پروتئین)، مواد مغذی و یا آب برای رشد آینده (معمولا در گیاهان دو ساله یا چند ساله) ذخیره و مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- در سال اول بیوماس به اندام‌های ذخیره‌سازی اضافه می‌شود و پس از آن برخی از بیوماس از اندام‌های ذخیره‌سازی به بقیه اعضای گیاه بازگشت می‌کنند.
- اندام‌های ذخیره‌سازی اغلب در زیر زمین رشد می‌کنند، جایی که آنها بهتر از حمله گیاه‌خواران محافظت می‌شوند، که اغلب یک ویژگی ژنوتیپی در گیاه است. آنها به عنوان یک مکانیسم برای بقای گیاه در شرایط نامناسب اقلیمی تکامل یافته‌اند که در زیستگاه‌های طبیعی خود قادر به چرخه زندگی چند ساله هستند.

اندام‌های ذخیره‌ای

- در ژئوفیت‌ها (geophyte)، به خصوص در درجه حرارت‌های زیاد و خشکسالی طولانی مدت که قسمت‌های هوایی گیاه از بین می‌روند، اندام‌های ذخیره‌سازی درون خاک تا زمان مناسب شدن درجه حرارت و یا در دسترس بودن آب برای رشد بالای سطح زمین زنده می‌مانند. این مرحله در توسعه ژئوفیت‌ها اغلب به عنوان یک دوره خواب و یا مرحله استراحت، اشاره شده است.
- اندام‌های ذخیره‌سازی هرگز به خواب فیزیولوژیکی حتی زمانی که رشد هوایی متوقف می‌شود، نمی‌روند و همچنان به تغییر و به طور مداوم حس محیط زیست اطراف خود مانند یک بیوکامپیوتر ادامه می‌دهند.

اندام‌های ذخیره‌ای

در اصطلاح رایج، اندام‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی ممکن است ریشه، غده و یا پیاز نامیده شوند، اما گیاهشناسان اصطلاحات فنی را برای این اندام‌ها بکار می‌برند که عبارتند از :

۱) ریشه‌های واقعی :

- ✓ ریشه‌های غده‌ای ناهنجار (Tuberous roots) مانند کاساو یا مانیوک
- ✓ ریشه‌های ذخیره‌سازی عمودی (Storage taproot) مانند هویج و چغندر قند

۲) ساقه‌های تغییر یافته :

- ✓ کورم (Corm) مانند موز و گلایول که شبیه پیاز بوده ولی سفت و بدون لایه‌بندی هستند
- ✓ غده (Tuber) مانند سیب‌زمینی و یام

اندام‌های ذخیره‌ای

- ✓ ریزوم (Rhizome) مانند مارچوبه، زنجبیل، برخی ارکیده‌ها، زردچوبه
- ✓ شبه پیاز (Pseudobulb) یا پیاز دروغین در بسیاری از ارکیده‌های اپیفیت و زمینی دیده می‌شود
- ✓ ساقه‌های آبدار (Succulent stems) مانند افوربیا

۳) برگ‌های تغییریافته :

- ✓ پیاز (Bulb) مانند نرگس، لاله، سوسن
- ✓ برگ‌های آبدار (Succulent leafs) مانند آلوئه‌ورا و خانواده کراسولا
- ✓ دمبرگ برگ (Leaf petioles) مانند کرفس و پیاز خوراکی

اندام‌های ذخیره‌ای

۴) بذرها (Seeds)

۵) سایر :

- ✓ جوانه‌ها (Axillary buds) در کلم بروکسل
- ✓ گل‌آذین (Inflorescences) مانند کلم بروکلی و گل کلم

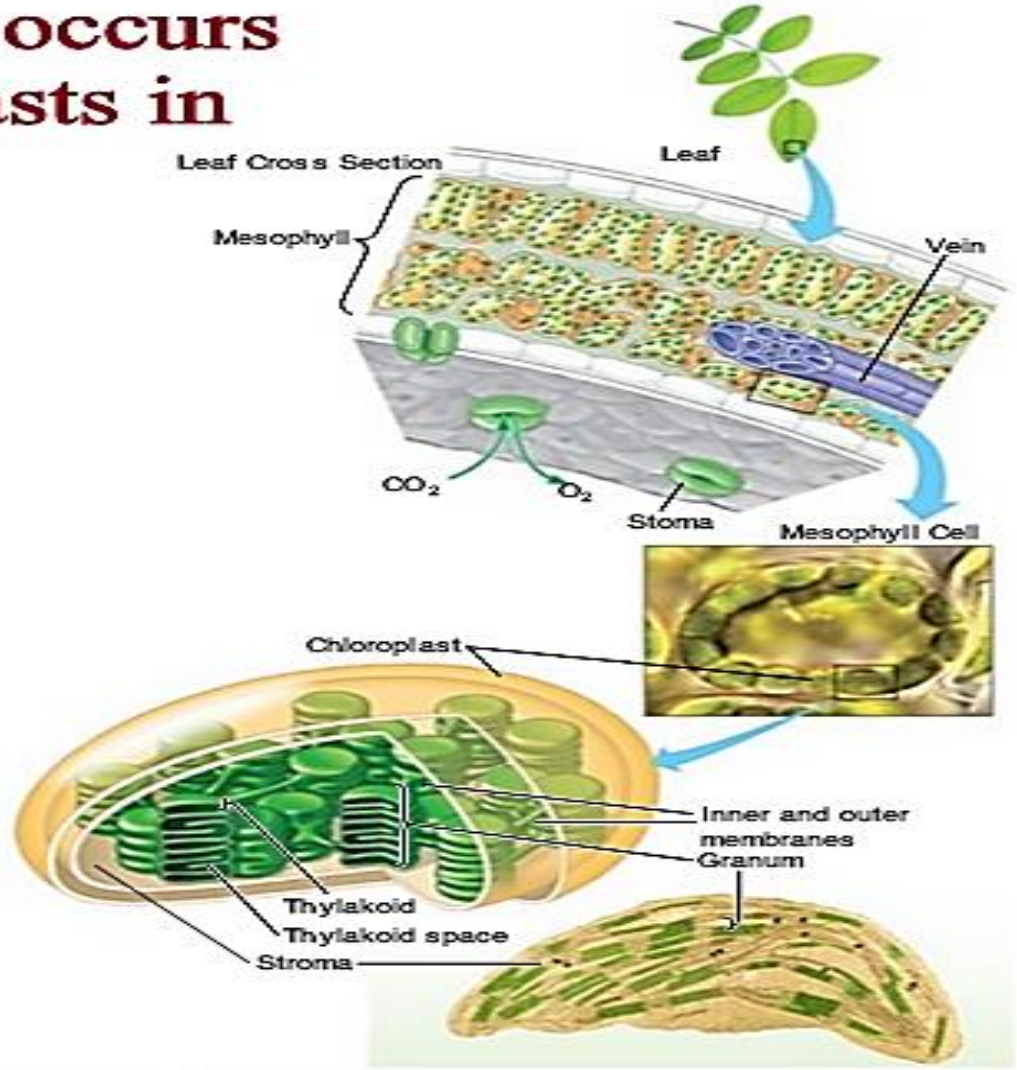
فصل دوم
فتوسنتز در گیاهان

مقدمه

- فتوسنتز فرایندی فیزیکی و شیمیایی است که توسط آن گیاهان، جلبک‌ها و باکتری‌های فتوسنتزکننده از انرژی نور برای سنتز ترکیبات آلی استفاده می‌کنند.
- در گیاهان، جلبک و انواع خاصی از باکتری‌ها، نتایج فرآیند فتوسنتز در انتشار اکسیژن مولکولی و حذف دی اکسید کربن از جو است که برای سنتز کربوهیدرات‌ها استفاده می‌شود (فتوسنتز اکسیژنی).
- انواع دیگر باکتری‌ها از انرژی نور برای ایجاد ترکیبات آلی استفاده می‌کنند اما اکسیژن تولید نمی‌کنند (فتوسنتز غیر اکسیژنی).
- فتوسنتز باعث تأمین انرژی مورد نیاز برای بقای تقریبا تمام زندگی در سیاره ما و کاهش کربن شده و همچنین مولکول اکسیژن مورد نیاز برای مصرف موجودات را فراهم می‌کند.

مقدمه

Photosynthesis occurs in chloroplasts in plant cells



اساس فتوسنتز

- فتوسنتز یک پدیده ذخیره انرژی است که در حضور نور در برگ‌ها و سایر بخش‌های سبز گیاه روی می‌دهد.
- انرژی نورانی در ملکول‌های قند ساده، که از دی اکسیدکربن موجود در هوا و آب جذب شده به وسیله گیاه ساخته می‌شوند، ذخیره می‌گردد.
- هنگامی که دی اکسید کربن و آب با هم ترکیب شده و تشکیل یک مولکول قند $C_6H_{12}O_6$ را در کلروپلاست می‌دهند، گاز اکسیژن به عنوان یک محصول فرعی آزاد و به درون اتمسفر رها می‌گردد.
- فتوسنتز به طور خلاصه به صورت معادله زیر نوشته می‌شود :

$$6CO_2 + 12H_2O + \text{Light \& Energy} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

- فتوسنتز ۳ مرحله اساسی دارد :

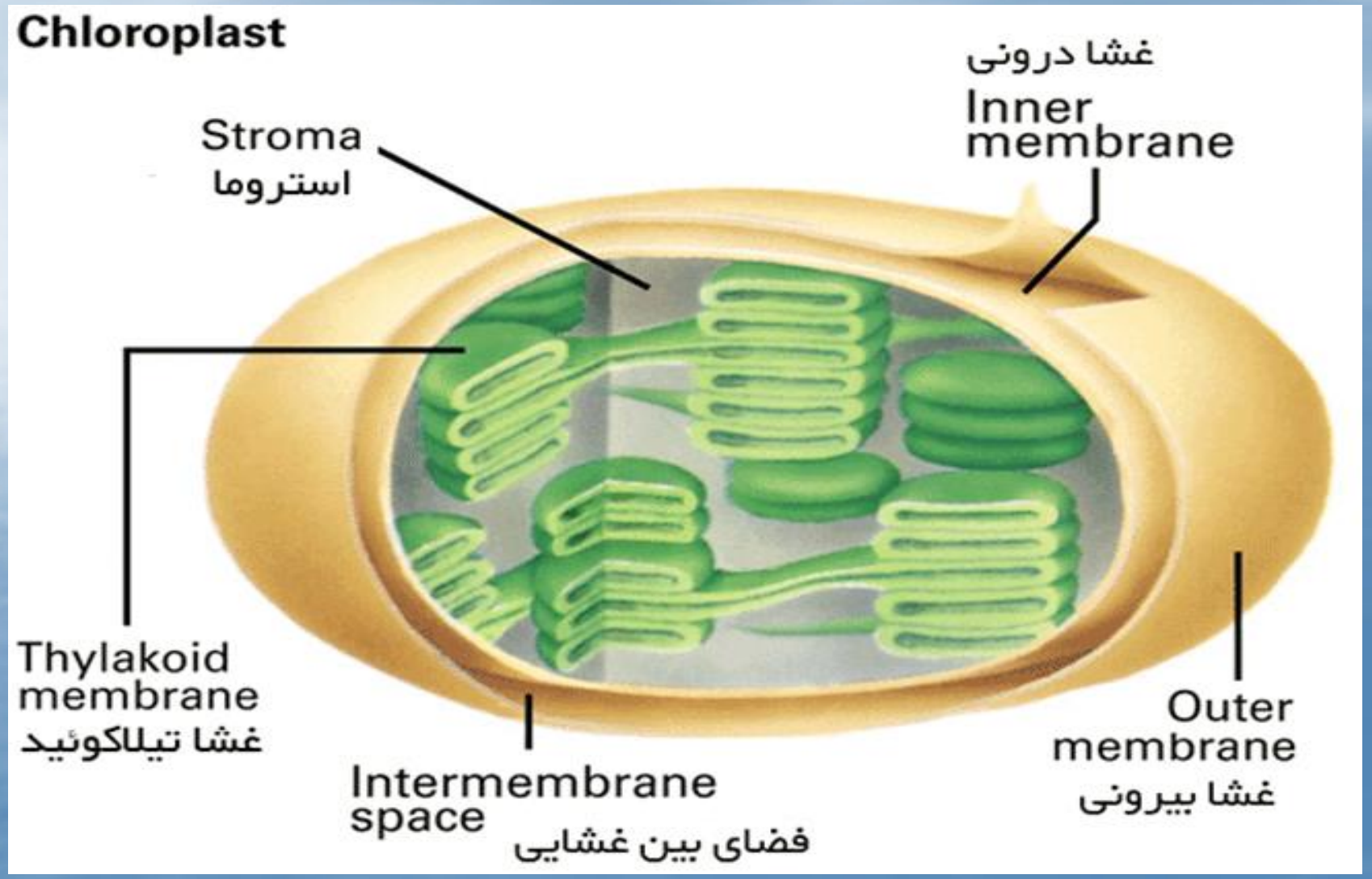
مرحله ۱ : دریافت انرژی نور خورشید (جذب نور)

مرحله ۲ : تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی و به ذخیره موقتی در ATP و NADPH

مرحله ۳ : انرژی شیمیایی ذخیره شده در ATP و NADPH تشکیل ترکیب‌های آلی را از CO_2 ممکن می‌سازد

- مجموع مراحل ۱ و ۲ واکنش‌های نوری و مرحله ۳ واکنش تاریکی نام دارند.
- فتوسنتز درون کلروپلاست رخ می‌دهد. لازمه این فرآیند دی اکسید کربن، آب، نور و مولکول کلروفیل می باشد.

۱- کلروپلاست، ساختار و سازمان



در گیاهان فرآیند فتوسنتز در داخل کلروپلاست، که اندامک موجود در سلول‌های خاصی هستند، رخ می‌دهد. بیشتر کلروپلاست‌ها در سلول‌های تخصصی برگ واقع شده‌اند که اغلب حاوی تعداد ۵۰ یا بیشتر کلروپلاست در هر سلول است.

ساختمان کلروپلاست

۱– غشای خارجی :

غشای خارجی کلروپلاست متوسط ضخامتی حدود ۶۰ آنگستروم دارد و از نوع غشاهای زیستی واحد است. این غشا صاف است، ریبوزوم ندارد و سد بین سیتوزول و درون پلاست است.

۲– اطاق خارجی :

اطاق خارجی یا فضای بین دو غشا وسعت متوسط حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ آنگستروم دارد و از مایعی دارای آب، ترکیبات مختلف آلی، مقدار کمی نمک‌های کانی و یون‌های حاصل از آنها پر شده است.

ساختمان کلروپلاست

۳– غشای داخلی :

- این غشا ویژگی‌های عمومی شبیه غشای خارجی دارد. ضخامت متوسط آن حدود ۶۰ آنگستروم است. گرچه غشای داخلی می‌تواند چین خوردگیهایی را به درون پلاست داشته باشد.
- اما نظریه کنونی بر این است که سیستم‌های غشایی درونی کلروپلاست اساسا مستقل از غشای داخلی است.
- این غشاء به عنوان یک مانع و کنترل جریانی از مولکول‌های آلی و باردار به داخل و خارج کلروپلاست عمل می‌کند. آب آزادانه از غشاء عبور می‌کند که با سایر مولکول‌های کوچک خنثی مانند CO_2 و O_2 واکنش‌های لازم را انجام دهد.

ساختمان کلروپلاست

۴– اطاق داخلی :

- ماده زمینه‌ای یا استروما اطاق داخلی کلروپلاست را پر کرده است.
- در استروما اجزای قابل رویت با میکروسکوپ الکترونی مانند سیستم غشاهای درونی، مولکول‌های DNA مشابه با پروکاریوتها، ریبوزوم‌های از نوع70Sبه حالت منفرد یا پلی‌زوم می‌باشند.
- در استروما اغلب ذرات نشاسته نیز وجود دارد.
- استروما دارای آنزیم‌های مختلف از جمله آنزیم‌های واکنش‌های مرحله تاریکی فتوسنتز و آنزیم‌های لازم برای بیوسنتز پروتئین‌ها است.

ساختمان کلروپلاست

۵– سیستم غشایی درون کلروپلاست :

در استرومای کلروپلاست‌ها ساختمان‌های غشایی زیادی وجود دارند که مقدار آنها و نوع آرایش‌شان بر حسب نوع گیاه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی یاخته‌ها متفاوت است. این ساختمان‌ها تیلاکوئید نام دارند.

- ❖ این غشاها با سازمان یافتگی بسیار ویژه خود جایگاه انجام واکنش‌های مرحله نوری فتوسنتز هستند.
- ❖ در روی این غشاها رنگیزه‌های نوری یافت می‌شود.
- ❖ مجموعه چند غشاء تیلاکوئید، دانه گرانوم نام دارد.

ساختمان کلروپلاست

۶– ژنوم کلروپلاست :

کلروپلاست مانند میتوکندری DNA دارد و در آن همانندسازی، رونویسی و پروتئین‌سازی مستقل از هسته صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد DNA کلروپلاست‌ها مانند DNA میتوکندری‌ها به غشای داخلی کلروپلاست چسبیده‌اند.

- اندازه ژنوم کلروپلاست در تمام گیاهان مشابه است. DNA کلروپلاست‌ها ملکول‌هایی حلقوی هستند.
- ژنوم کلروپلاست ۱۲۰ ژن دارد و محصولات شناخته شده آنها شامل RNAهای ریبوزومی، tRNAها، برخی زیر واحدهای RNAپلی‌مراز، برخی از پروتئین‌های ریبوزومی و تعدادی از آنزیم‌هایی است که در فتوسنتز نقش دارند.

اندازه و رنگ کلروپلاست

- کلروپلاست‌ها اندازه بسیار متفاوتی دارند. طول آنها از حدود ۲ تا بیش از ۳۰ میکرون می‌رسد.
- در گیاهان پیشرفته طول کلروپلاست‌ها ۳ تا ۱۰ میکرومتر، عرض آنها ۱ تا ۳ و ضخامتشان ۱ تا ۲ میکرومتر است.
- اندازه کلروپلاست به ویژگی‌های وراثتی، سن یاخته و دیگر ویژگیهای فیزیولوژیکی یاخته وابسته است.
- یاخته‌های پلی‌پلوئید کلروپلاست‌های درشت‌تری از یاخته‌های دیپلوئید دارند.
- کلروپلاست‌ها به دلیل داشتن کلروفیل اغلب سبز رنگ هستند اما در برخی شرایط فیزیولوژیکی یا بر حسب نوع یاخته و میزان نسبی رنگیزه‌های غیرکلروفیلی ممکن است به رنگ‌های دیگری دیده شوند.
- در جلبک‌های قهوه‌ای و قرمز، رنگ سبز کلروفیل بوسیله سایر رنگیزه‌ها پوشیده شده است.

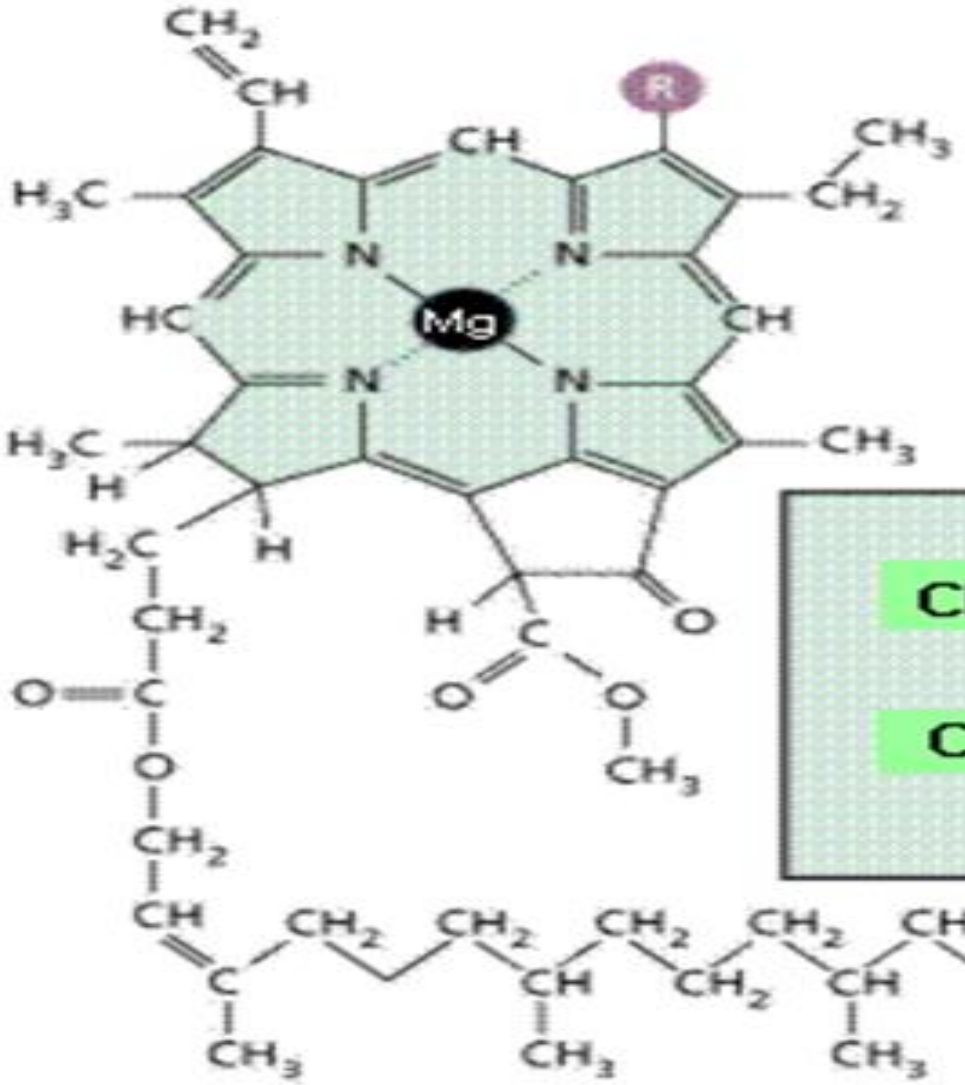
۲- کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی

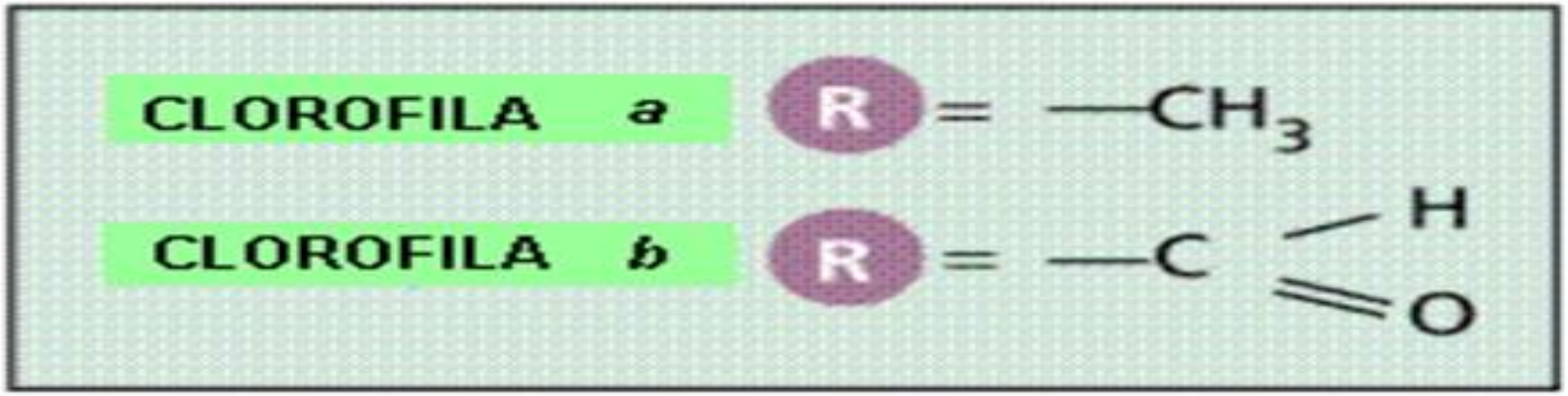
کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی

چندین نوع مولکول کلروفیل وجود دارد و تمام آنها یک اتم منیزیم دارند. کلروفیل از نظر ساختمانی به مولکول هم (Heme) در هموگلوبین خیلی شبیه است. رنگدانه قرمز هموگلوبین دارای آهن است که اکسیژن را در خون انتقال می‌دهد.

- هر مولکول کلروفیل دارای یک دنباله لیپیدی است که آن را در لایه‌های لیپیدی غشای تیلاکوئیدی استوار می‌کند.

کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی





کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی

کلروپلاست‌های بیشتر گیاهان در غشاهای تیلاکوئیدی دارای ۲ نوع کلروفیل هستند :

1) کلروفیل a به رنگ سبز متمایل به آبی بوده و فرمول آن $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ می‌باشد.

2) کلروفیل b دارای رنگ سبز متمایل به زرد با فرمول $C_{55}H_{70}MgN_4O_6$ است.

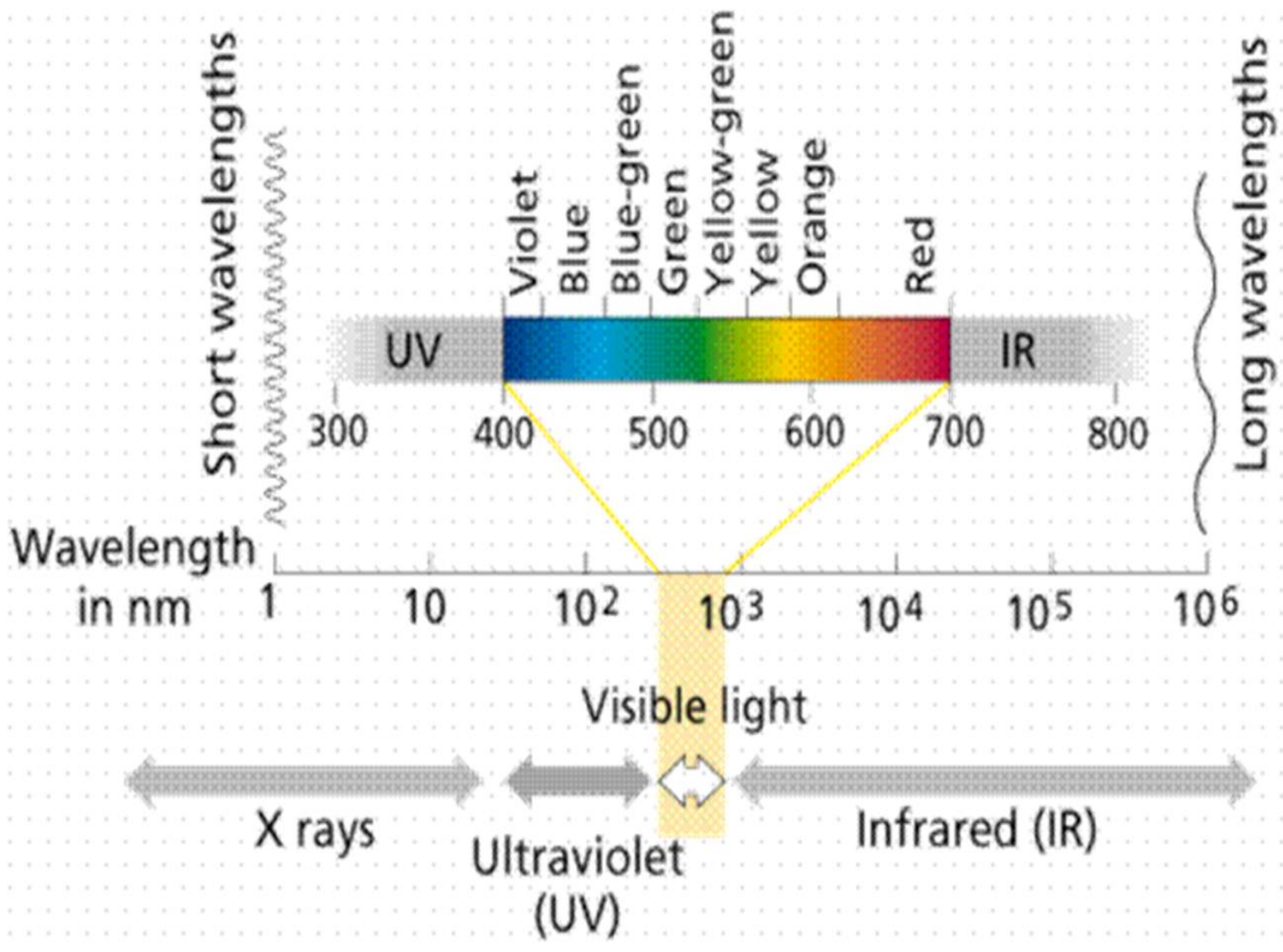
- وقتی مولکول کلروفیل b نور را جذب می‌کند، انرژی را به مولکول کلروفیل a انتقال می‌دهد.
- کلروفیل b به گیاه این امکان را می‌دهد تا از طیف نوری وسیع‌تری نسبت به حالتی که کلروفیل a تنها وجود دارد، استفاده کرده و فتوسنتز نماید.

کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی

- دیگر رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل **کاروتنوئیدها** (رنگدانه‌های زرد تا نارنجی که در تمام گیاهان یافت می‌شوند)، **فیکوبیلین‌ها** (رنگدانه آبی یا قرمز موجود در باکتری‌های سبز- آبی و جلبک‌های قرمز) و چند نوع دیگر کلروفیل می‌باشند.
- کلروفیل‌های c و d و به ندرت e در بعضی از جلبک‌های خاص به جای کلروفیل b وجود دارند و رنگدانه‌های فتوسنتزی دیگری در باکتری‌ها دیده می‌شود. کلروفیل‌های مختلف به هم نزدیک هستند لیکن در ساختمان مولکولی آنها کمی اختلاف وجود دارد.
- همه جانداران فتوسنتزکننده، کلروفیل a دارند. وجود کلروفیل a در بدن جانداران فتوسنتزکننده که یافته‌های تجربی نیز تاییدکننده آن است، نشان می‌دهد که این رنگیزه مستقیماً در تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی دخالت دارد.

۳- نور در فتوسنتز

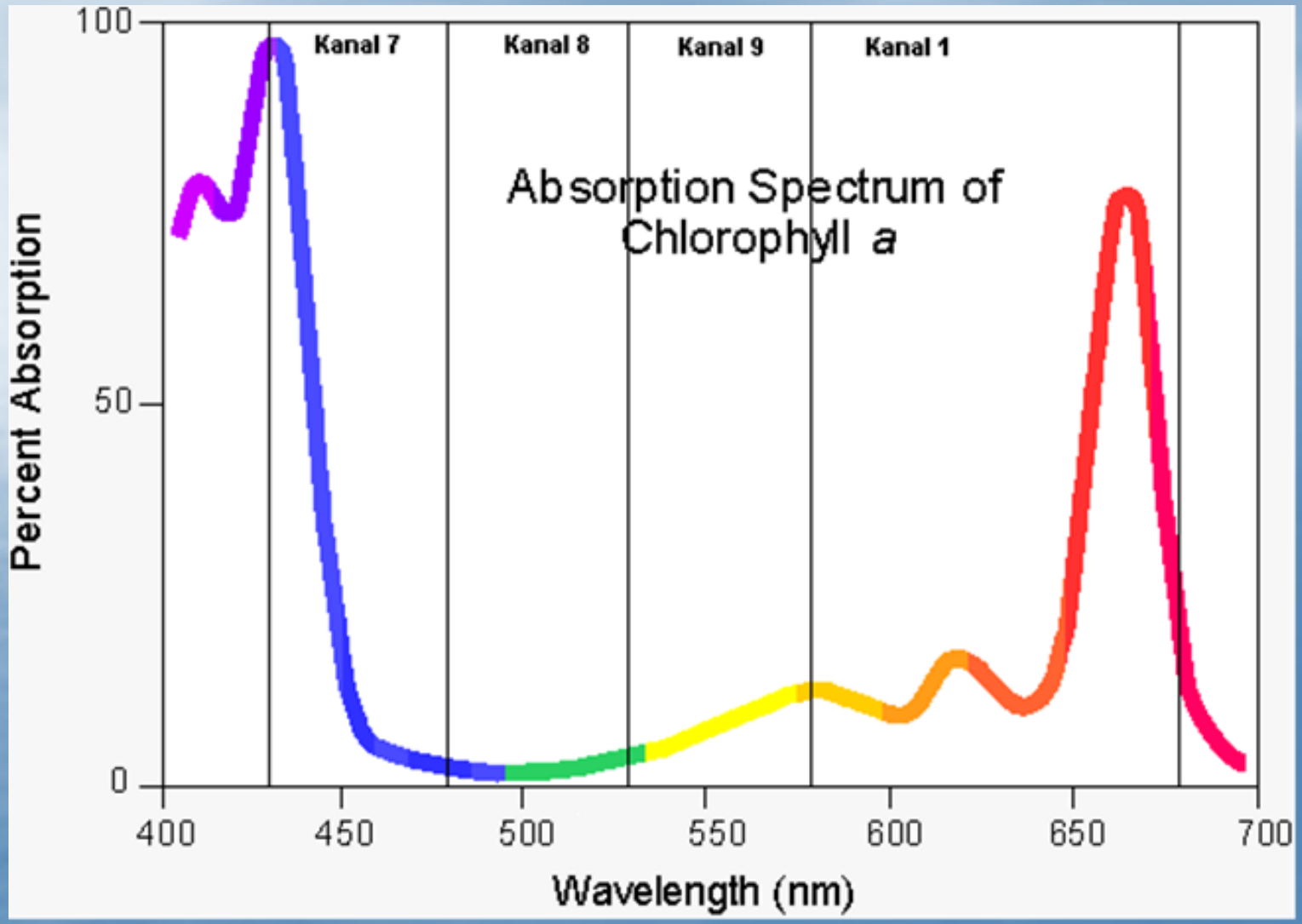
نور در فتوسنتز



نور مرئی معمولی مخلوطی از طول موج‌های مختلفی است که در هنگام تجزیه به صورت رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی و بنفش پدیدار می‌شود. این امواج نوری، دارای مقادیر متفاوتی از انرژی هستند.

- نور قرمز، طولانی‌ترین موجی است که ما قادر به دیدن آن هستیم که کمترین مقدار انرژی را دارد.
- نور بنفش کوتاه‌ترین طول موج و محتوی بیشترین مقدار انرژی است.

نور در فتوسنتز



- مولکول کلروفیل، طول موج‌های قرمز و بنفش را به شدت و طول موج‌های نارنجی، زرد و آبی را با شدت کمتری جذب می‌کند.
- در مقابل، طول موج سبز اصلاً جذب نمی‌شود، بلکه از کلروپلاست عبور داده یا از آن منعکس می‌شود. به همین سبب برگ در روشنایی، سبز دیده می‌شود.

نور در فتوسنتز

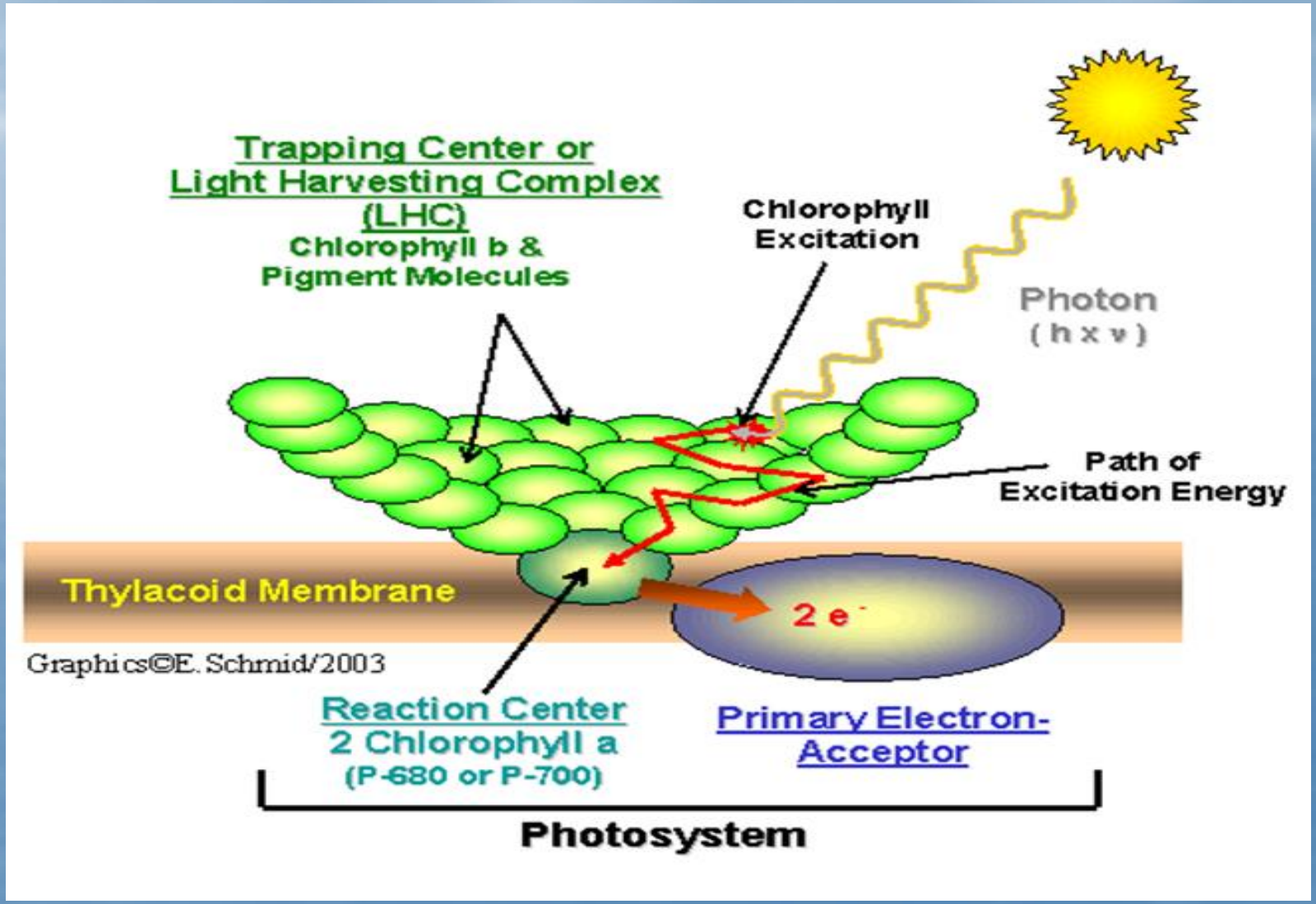
- چون کلروفیل همه طول موج‌های نور، به جز طول موج سبز را جذب می‌کند. رنگیزه‌های کمکی موجود در تیلاکوئید، انرژی همه طول موج‌هایی را که کلروفیل جذب نکرده است به خود می‌گیرند و سپس این انرژی را مستقیماً به کلروفیل انتقال می‌دهند. در واقع، این رنگیزه‌ها به عنوان گیرنده‌های تکمیلی نور محسوب می‌شوند و دامنه نور در دسترس برای استفاده در فتوسنتز را افزایش می‌دهند.
- جذب نور توسط کلروفیل سبب می‌شود که بعضی از الکترون‌ها آن چنان پر انرژی شوند که از مولکول فاصله بگیرند و تا حدی به سفینه‌ای شبیه شوند که به علت سرعت حرکت زیاد از مدار زمین خارج و به فضا پرتاب می‌شود. مولکول کلروفیل با از دست دادن الکترون یونیزه می‌شود و مولکول کلروفیل یونیزه شده هر الکترونی را که بتواند به دام اندازد، به آسانی می‌پذیرد.

٤- جذب نور

جذب نور - سیستم آنتنی

- فتوسنتز گیاه در درجه اول توسط نور مرئی (طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) است که توسط مولکول‌های رنگدانه (عمدتا کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها) جذب می‌شود.
- نور توسط ۲۰۰-۳۰۰ مولکول رنگدانه‌ای اطراف کمپلکس‌های پروتئینی برداشت نور واقع در غشاء فتوسنتزی جمع‌آوری می‌شود. این کمپلکس‌های برداشت نور که مراکز واکنش فتوسنتزی را احاطه کرده‌اند، به عنوان یک آنتن عمل می‌کنند.

جذب نور - سیستم آنتنی

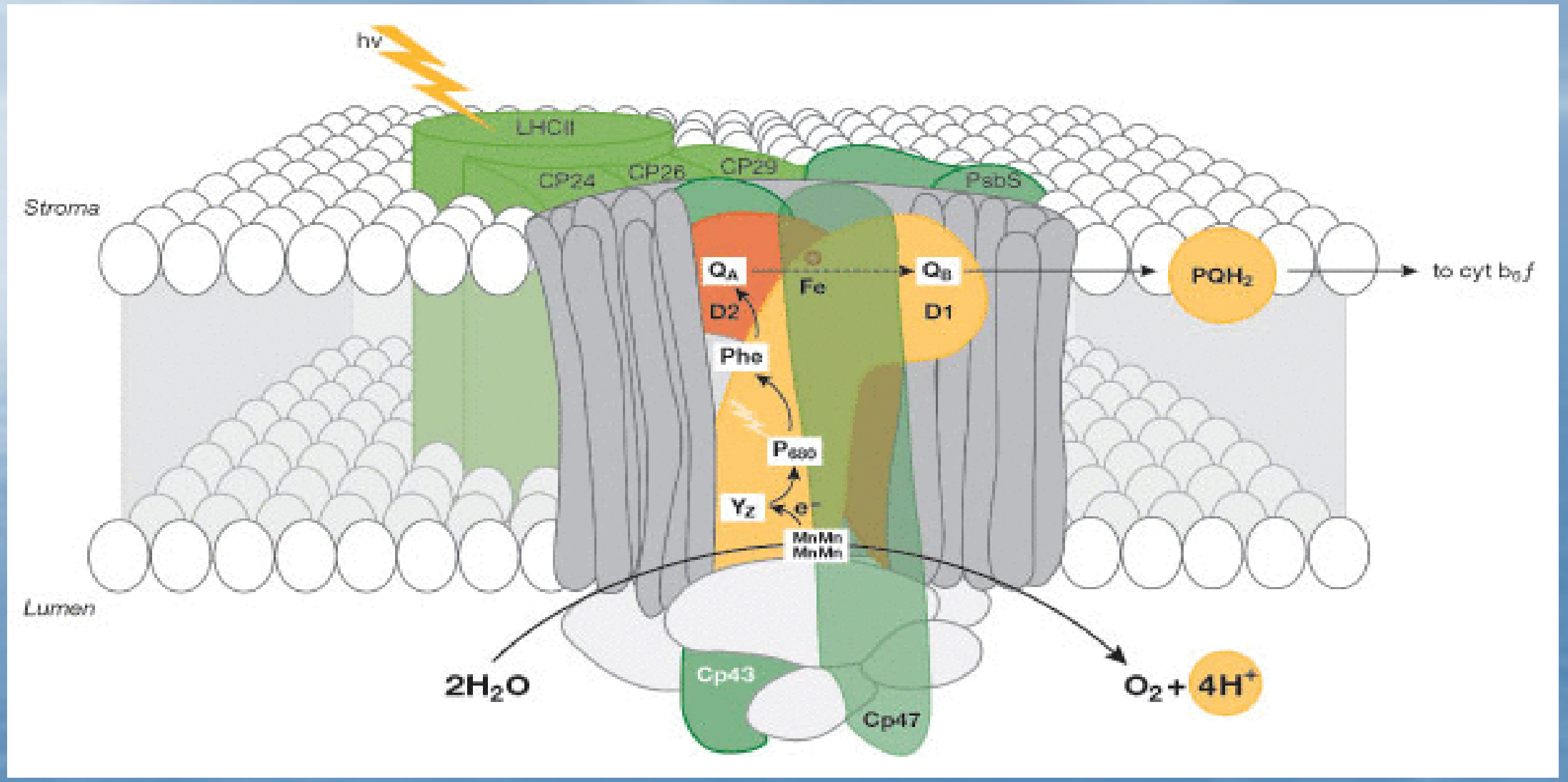


۵- فتوسیستم II

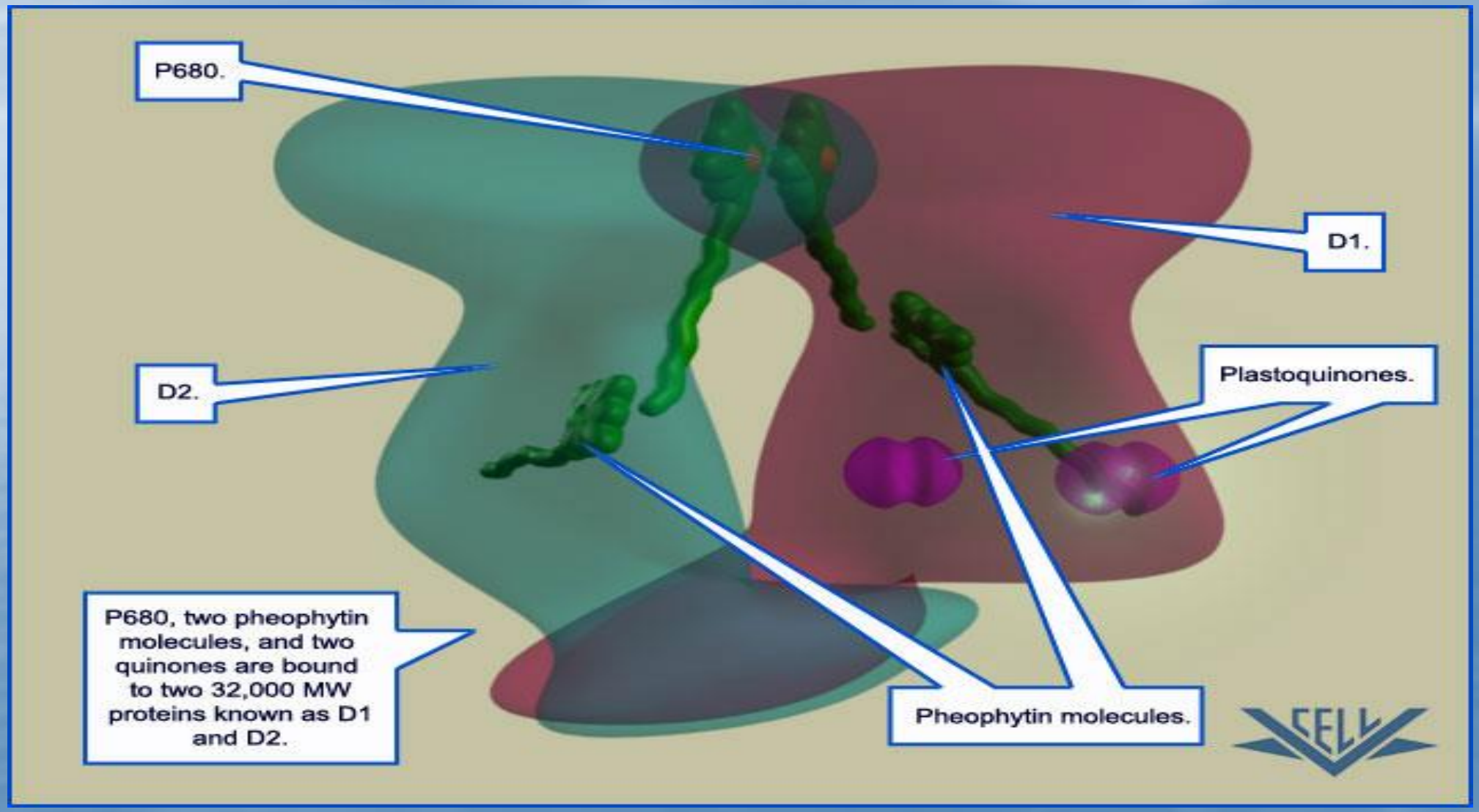
فتوسیستم II

- فتوسیستم II از انرژی نور برای تحریک دو واکنش شیمیایی، اکسیداسیون آب و احیای پلاستوکینون (PQ) استفاده می‌کند.
- کمپلکس فتوسیستم II از بیش از پانزده پلی‌پپتید و حداقل نه جزء اکسید و احیای مختلف (کلروفیل، فئوفیتین، پلاستوکینون، تیروزین ، منگنز، آهن، سیتوکروم b559، کاروتینوئید و هیستیدین) تشکیل شده است که برای انتقال الکترون ناشی از نور بکار می‌روند.
- با این حال، تنها پنج مورد از این اجزای اکسیداسیون و احیاء که شناخته شده‌اند در انتقال الکترون‌ها از آب به مخزن پلاستوکینون درگیر هستند که شامل خوشه منگنز ، اسیدآمینه تیروزین، کلروفیل مرکزی P680، فئوفیتین، و مولکول پلاستوکینون QA و QB می‌باشند.

فتوسیستم II


hv
LHCII
CP24
CP26
CP29
PsbS
Stroma
Q_A
Fe
Q_B
PQH_2
to cyt b_6f
D2
D1
Phe
P_{680}
Y_Z
e^-
MnMn
MnMn
Lumen
$2H_2O$
Cp43
Cp47
$O_2 + 4H^+$

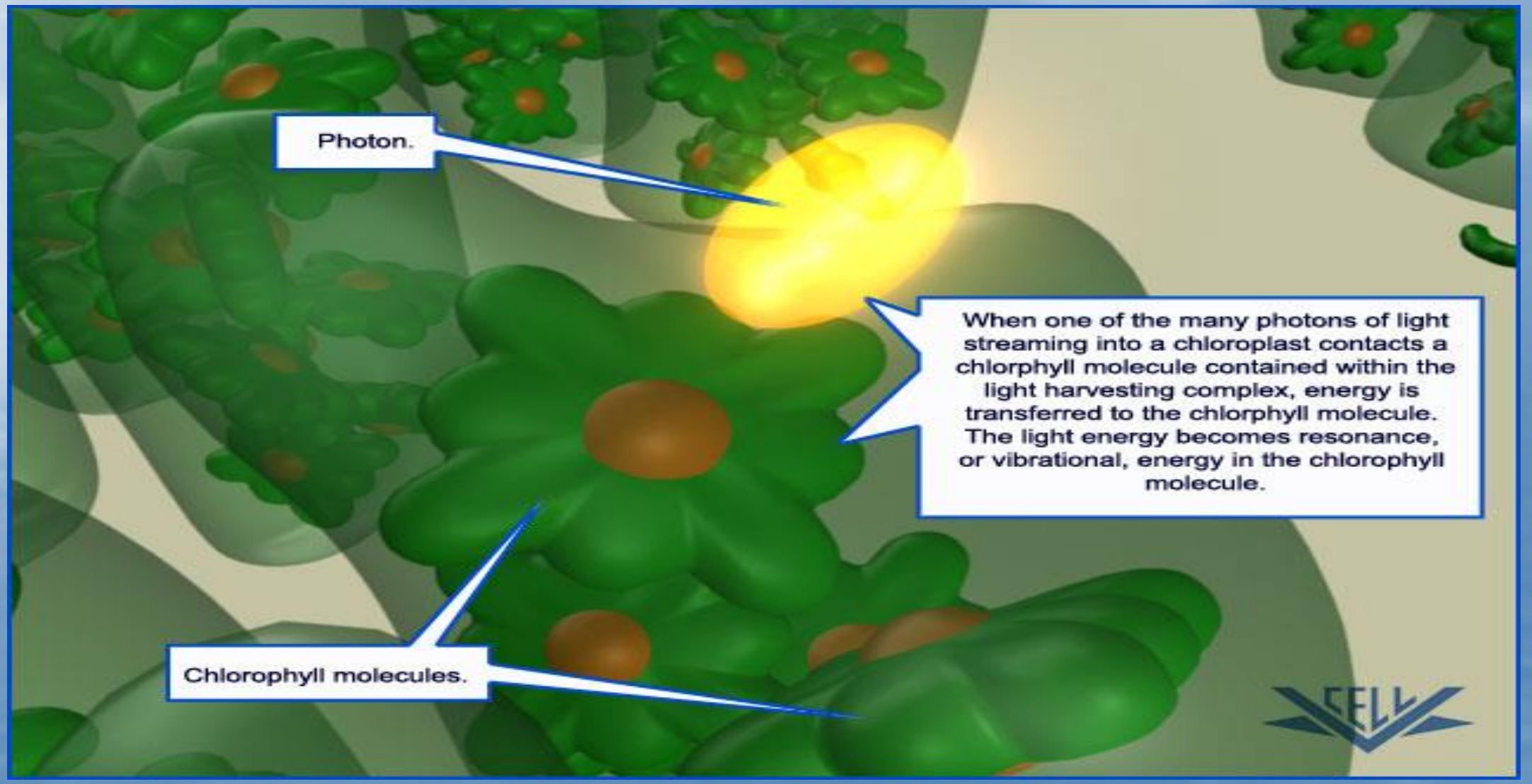
فتوسیستم II


P680.
D1.
D2.
Plastoquinones.
P680, two pheophytin molecules, and two quinones are bound to two 32,000 MW proteins known as D1 and D2.
Pheophytin molecules.

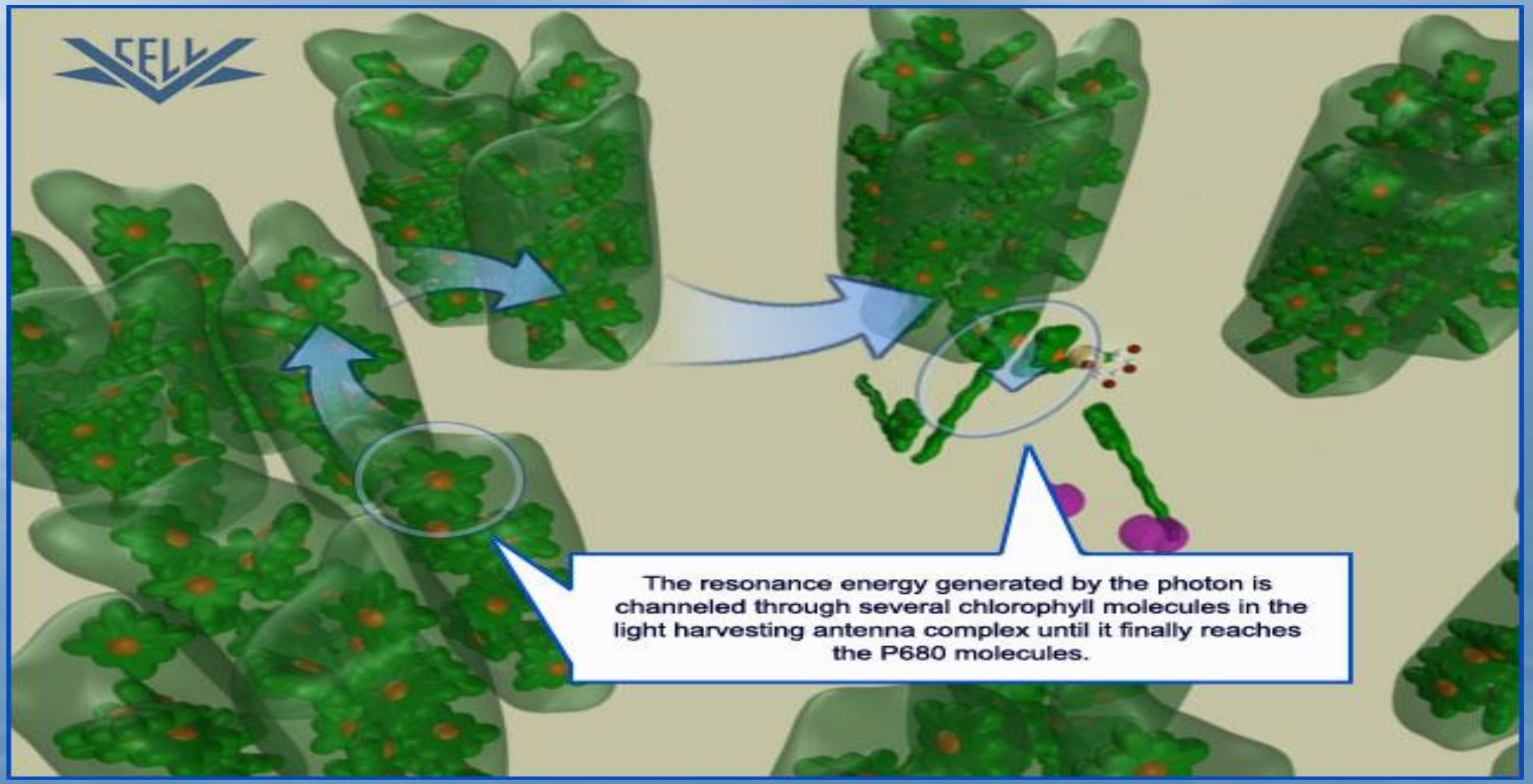
فتوسیستم II

- واکنش‌های فوتوشیمی در فتوسیستم II توسط تفکیک بار بین P680 و فئوفیتین آغاز شده و ایجاد $P680^{+}$ / $Pheo^{-}$ می‌کند.
- پس از آن مراحل انتقال الکترون به منظور جلوگیری از ترکیب تفکیک بار اولیه ، طراحی می‌شود و انتقال الکترون در ۲۰۰ پیکوثانیه از فئوفیتین به یک مولکول پلاستوکینون QA که به طور دائم به فتوسیستم II محدود است، انجام می‌شود.
- اگر چه پلاستوکینون به طور معمول به عنوان یک پذیرنده دو الکترونی عمل می‌کند، ولی در سایت QA پذیرنده یک الکترون است و الکترون روی QA سپس به مولکول پلاستوکینون دیگری که اتصال سستی در سایت QB دارد، منتقل می‌شود.

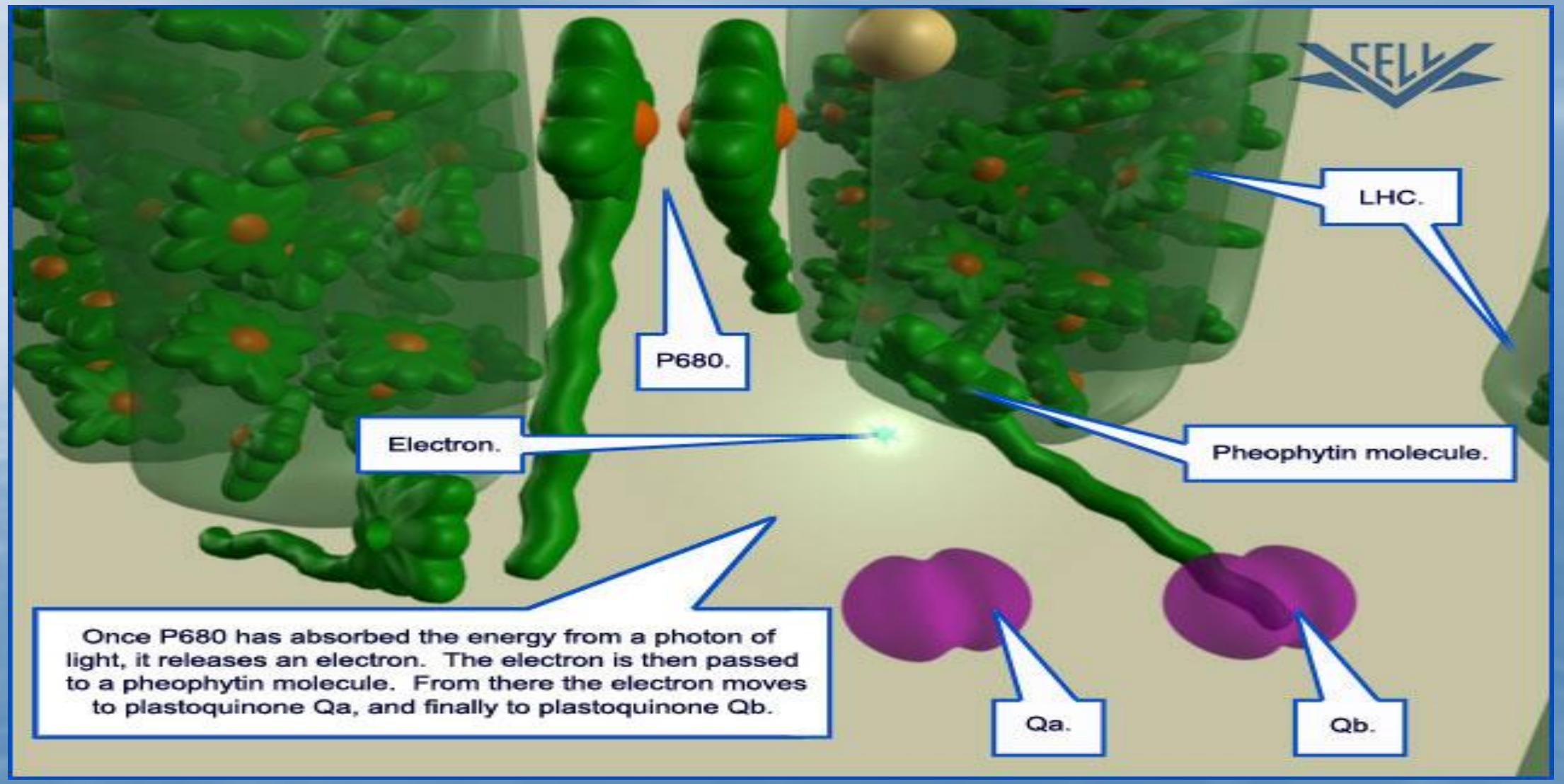
فتوسیستم II


Photon.
When one of the many photons of light streaming into a chloroplast contacts a chlorphyll molecule contained within the light harvesting complex, energy is transferred to the chlorphyll molecule. The light energy becomes resonance, or vibrational, energy in the chlorophyll molecule.
Chlorophyll molecules.

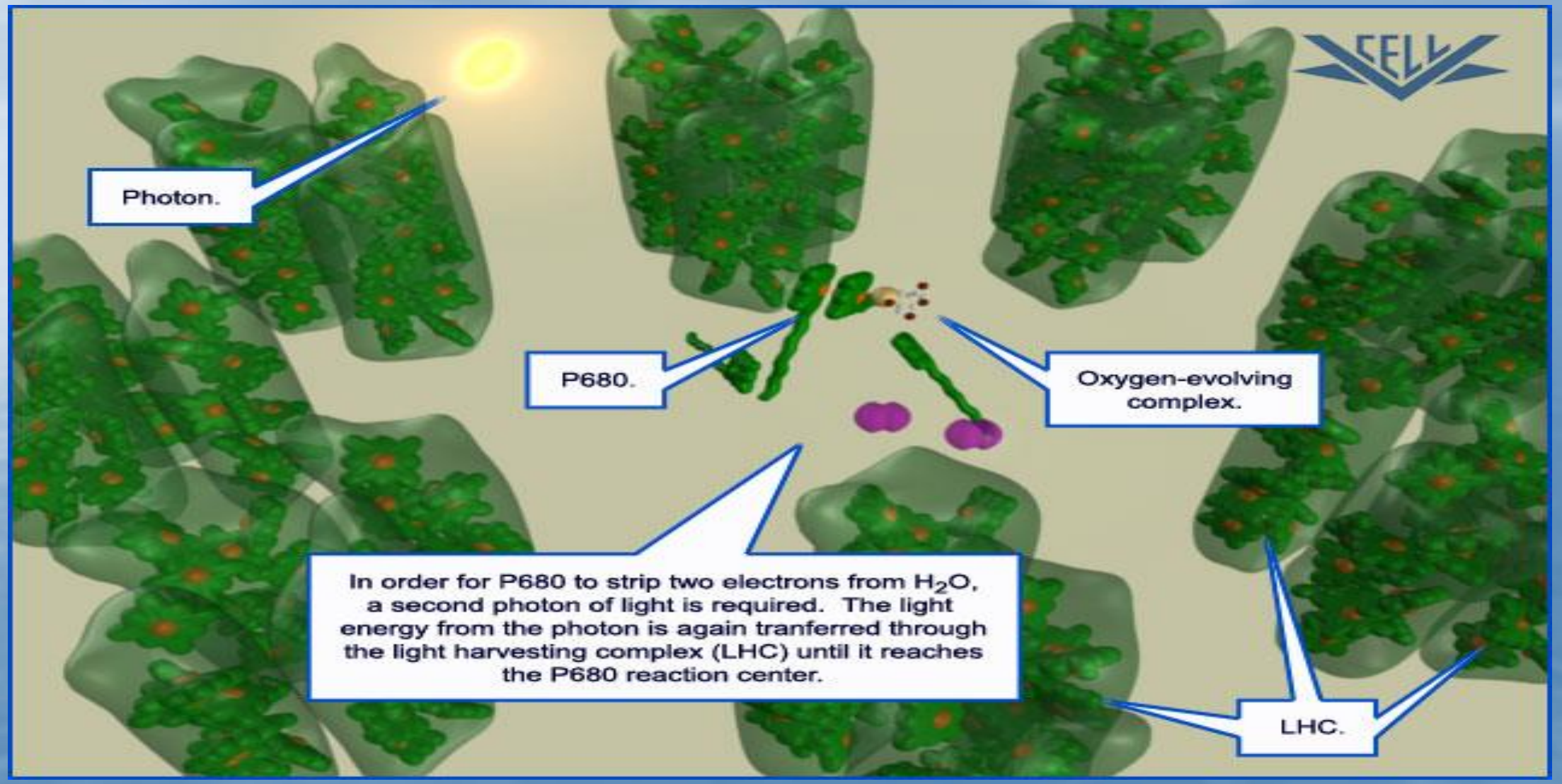
فتوسیستم II


The resonance energy generated by the photon is channeled through several chlorophyll molecules in the light harvesting antenna complex until it finally reaches the P680 molecules.

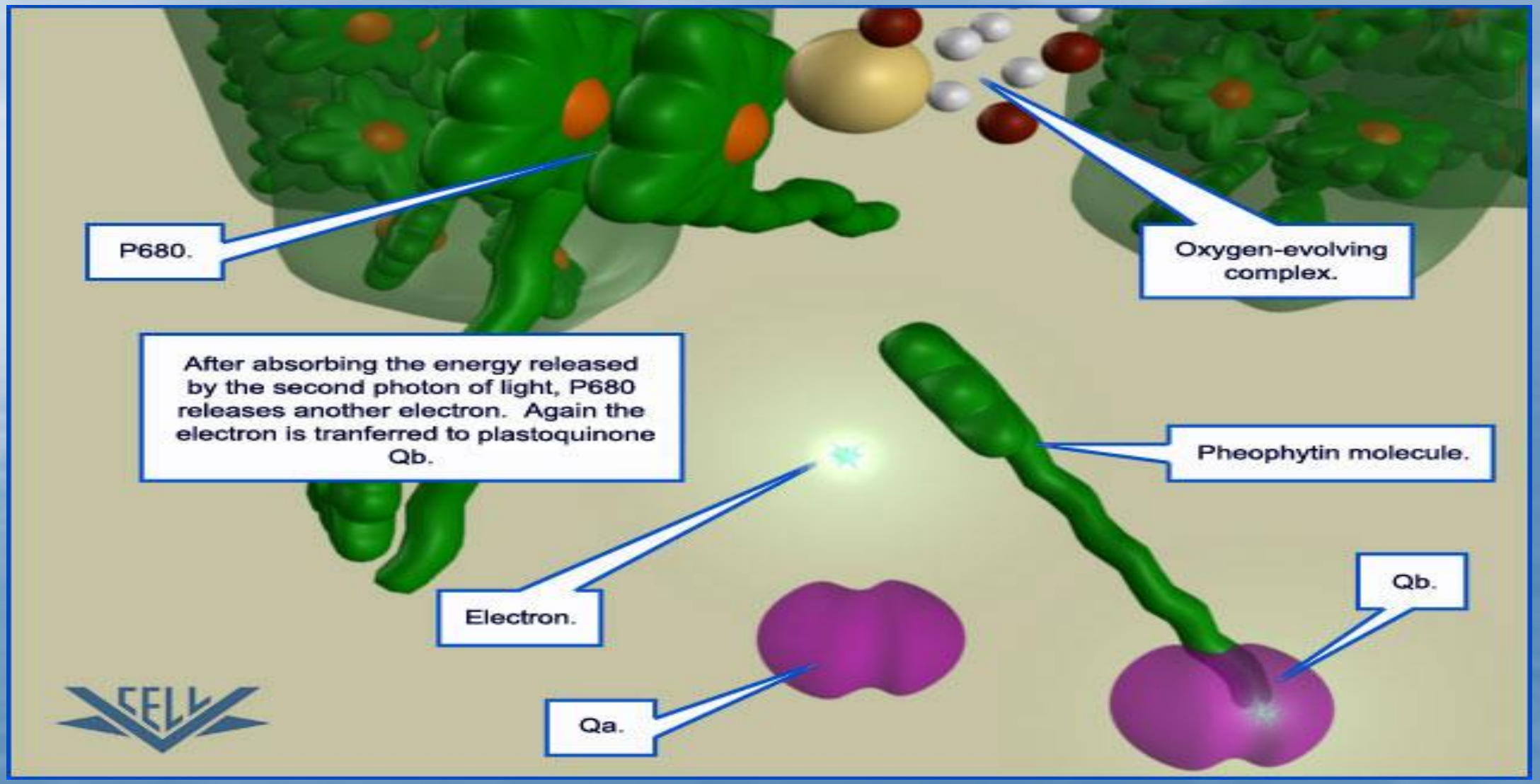
فتوسیستم II


LHC.
P680.
Electron.
Pheophytin molecule.
Once P680 has absorbed the energy from a photon of light, it releases an electron. The electron is then passed to a pheophytin molecule. From there the electron moves to plastoquinone Qa, and finally to plastoquinone Qb.
Qa.
Qb.

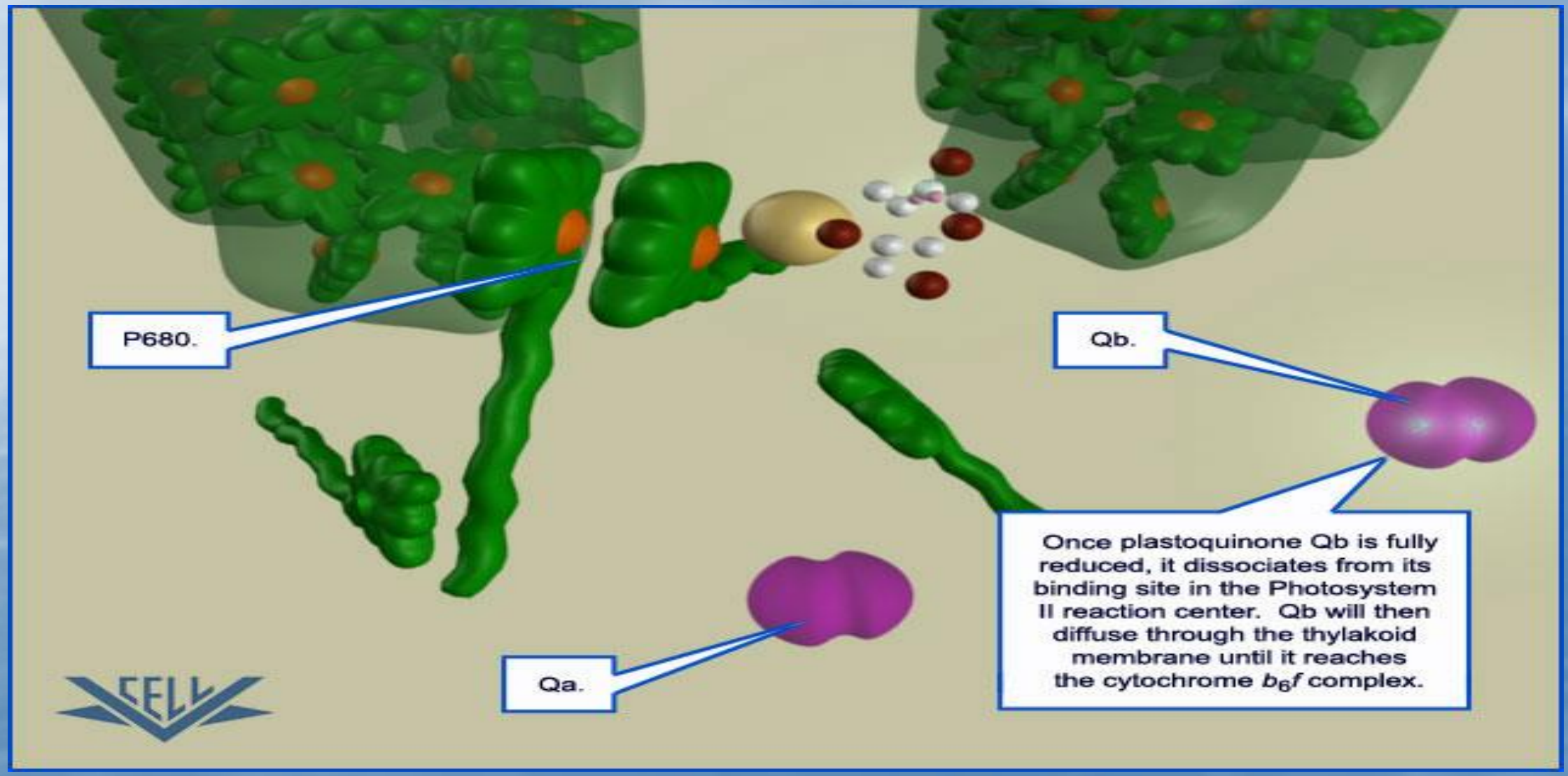
فتوسیستم II


Photon.
P680.
Oxygen-evolving complex.
In order for P680 to strip two electrons from H_2O, a second photon of light is required. The light energy from the photon is again tranferred through the light harvesting complex (LHC) until it reaches the P680 reaction center.
LHC.

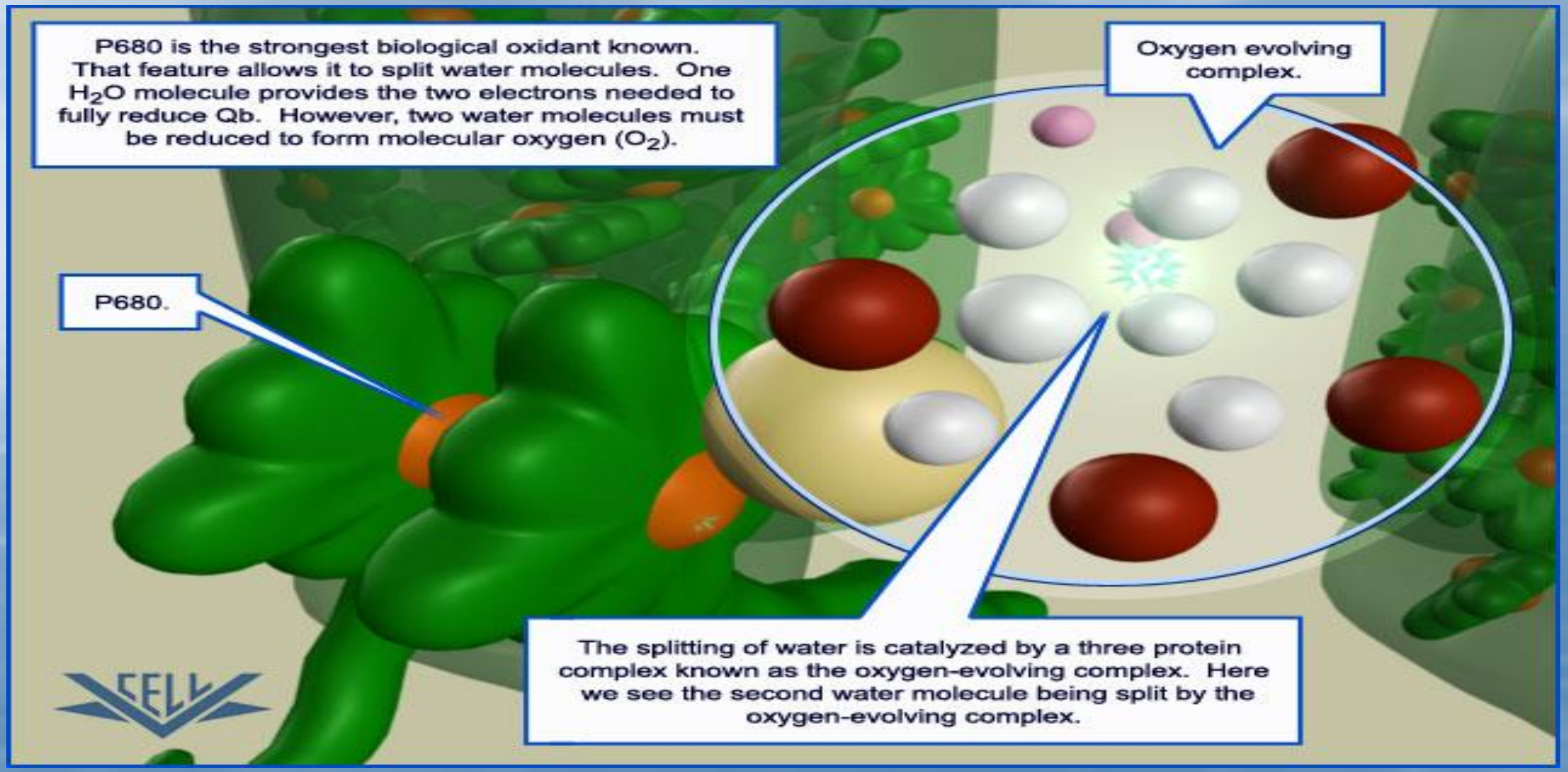
فتوسیستم II


P680.
Oxygen-evolving complex.
After absorbing the energy released by the second photon of light, P680 releases another electron. Again the electron is tranferred to plastoquinone Qb.
Pheophytin molecule.
Electron.
Qb.
Qa.

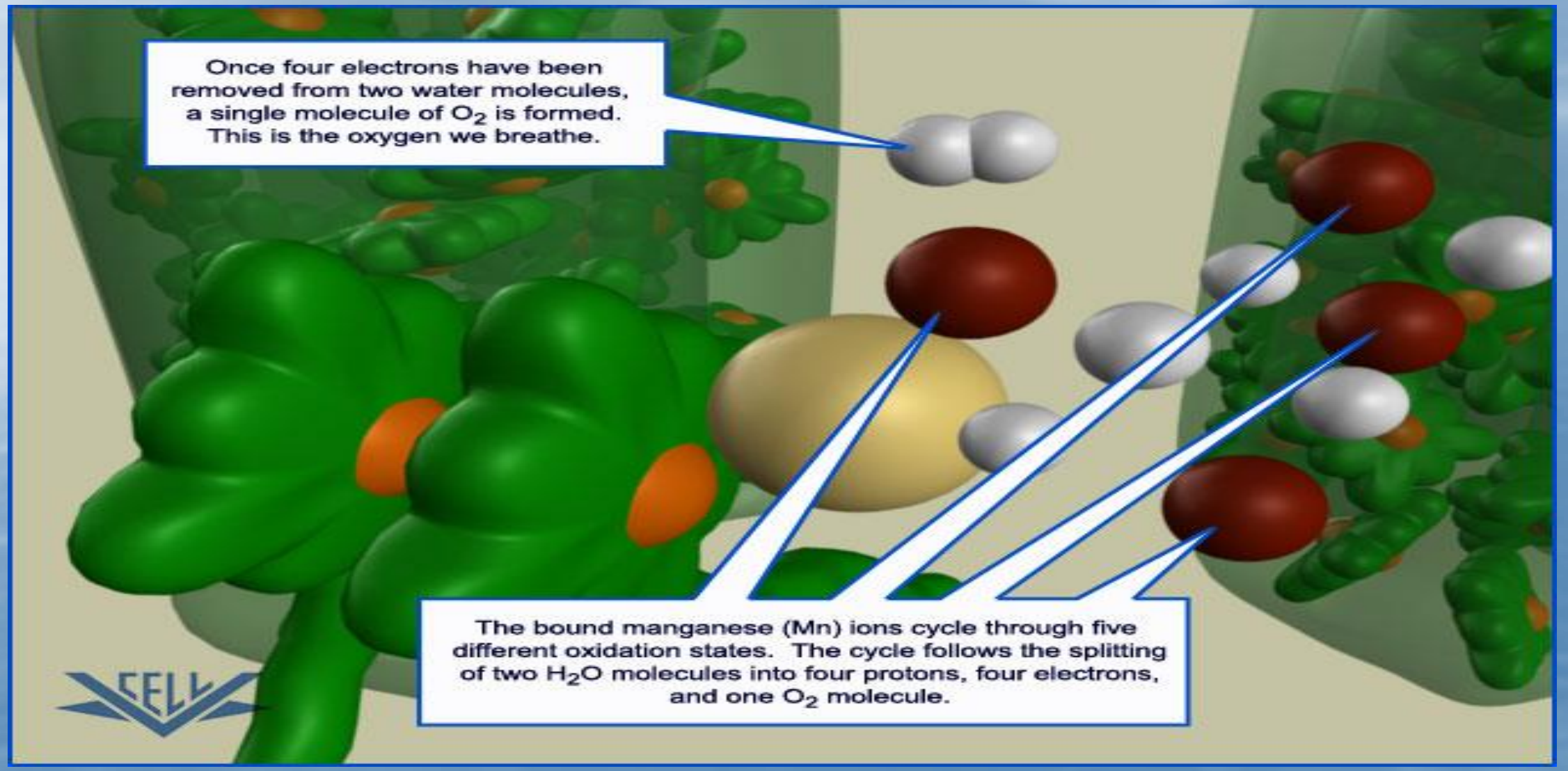
فتوسیستم II


P680.
Qb.
Once plastoquinone Qb is fully reduced, it dissociates from its binding site in the Photosystem II reaction center. Qb will then diffuse through the thylakoid membrane until it reaches the cytochrome b_6f complex.
Qa.

فتوسیستم II


P680 is the strongest biological oxidant known. That feature allows it to split water molecules. One H_2O molecule provides the two electrons needed to fully reduce Qb. However, two water molecules must be reduced to form molecular oxygen (O_2).
Oxygen evolving complex.
P680.
The splitting of water is catalyzed by a three protein complex known as the oxygen-evolving complex. Here we see the second water molecule being split by the oxygen-evolving complex.

فتوسیستم II


Once four electrons have been removed from two water molecules, a single molecule of O_2 is formed. This is the oxygen we breathe.
The bound manganese (Mn) ions cycle through five different oxidation states. The cycle follows the splitting of two H_2O molecules into four protons, four electrons, and one O_2 molecule.

فتوسیستم II

- فتوسیستم II تنها کمپلکس پروتئینی شناخته شده است که می‌تواند آب را اکسید نموده و در نتیجه O2 در داخل جو انتشار یابد.
- اکسیداسیون آب نیاز به دو مولکول آب و چهار گردش متوالی در مرکز واکنش دارد. هر واکنش فتوشیمیایی یک عامل اکسید کننده ایجاد می‌کند که با حذف یک الکترون همراه است.
- نتایج نشان داده است که با انتشار یک مولکول O2، چهار پروتون در فاز آبی داخلی مصرف شده و چهار الکترون به سایت QB انتقال می‌یابد (تولید دو مولکول پلاستوکینون احیایی).
- با این حال با وجود سال‌ها تحقیق، اطلاعات کمی در مورد رویدادهای مولکولی منجر به اکسیداسیون آب و چگونگی انتقال الکترون‌ها از آب به P680 وجود دارد.

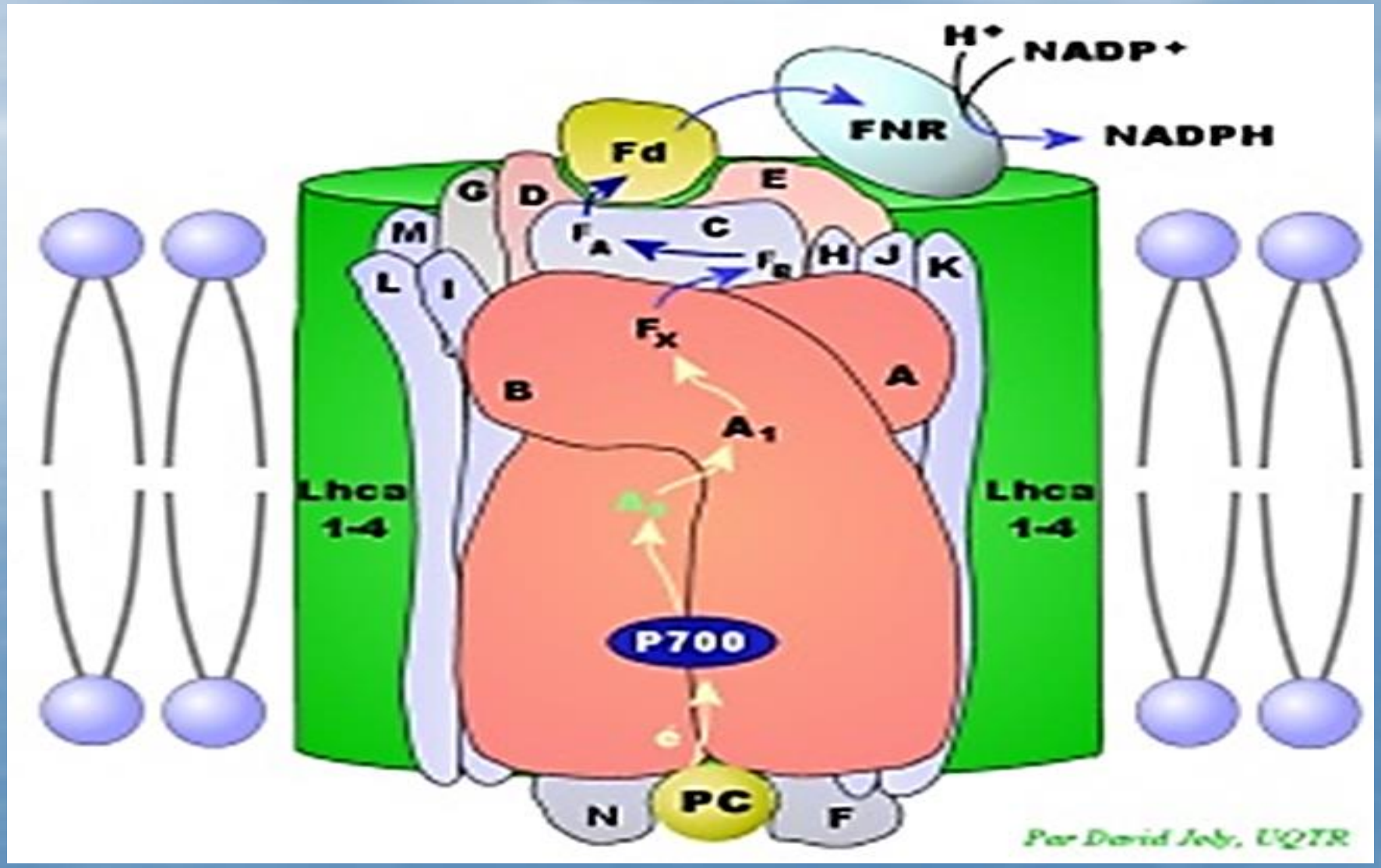
فتوسیستم II

٦- فتوسيستم I

فتوسیستم I

- کمپلکس فتوسیستمI، اکسیداسیون پلاستوسیانین به یک پروتئین محلول کوچک مسی و احیای فردوکسین به یک پروتئین سولفور آهن کوچک را کاتالیز می‌کند.
- هر واحد فتوسیستم I از پروتئین‌های هترودایمر تشکیل شده است که به عنوان لیگاند برای بیشتر حامل‌های الکترون عمل می‌کنند.
- دارای بیش از ۲۰۰ مولکول کلروفیل a، مقدار کمی کلروفیل b و رنگدانه کارتنوئید با پروتئین‌های متصل به آن و یک مولکول عمل کننده مرکزی کلروفیل a به نام P700 می‌باشد.

فتوسیستم I

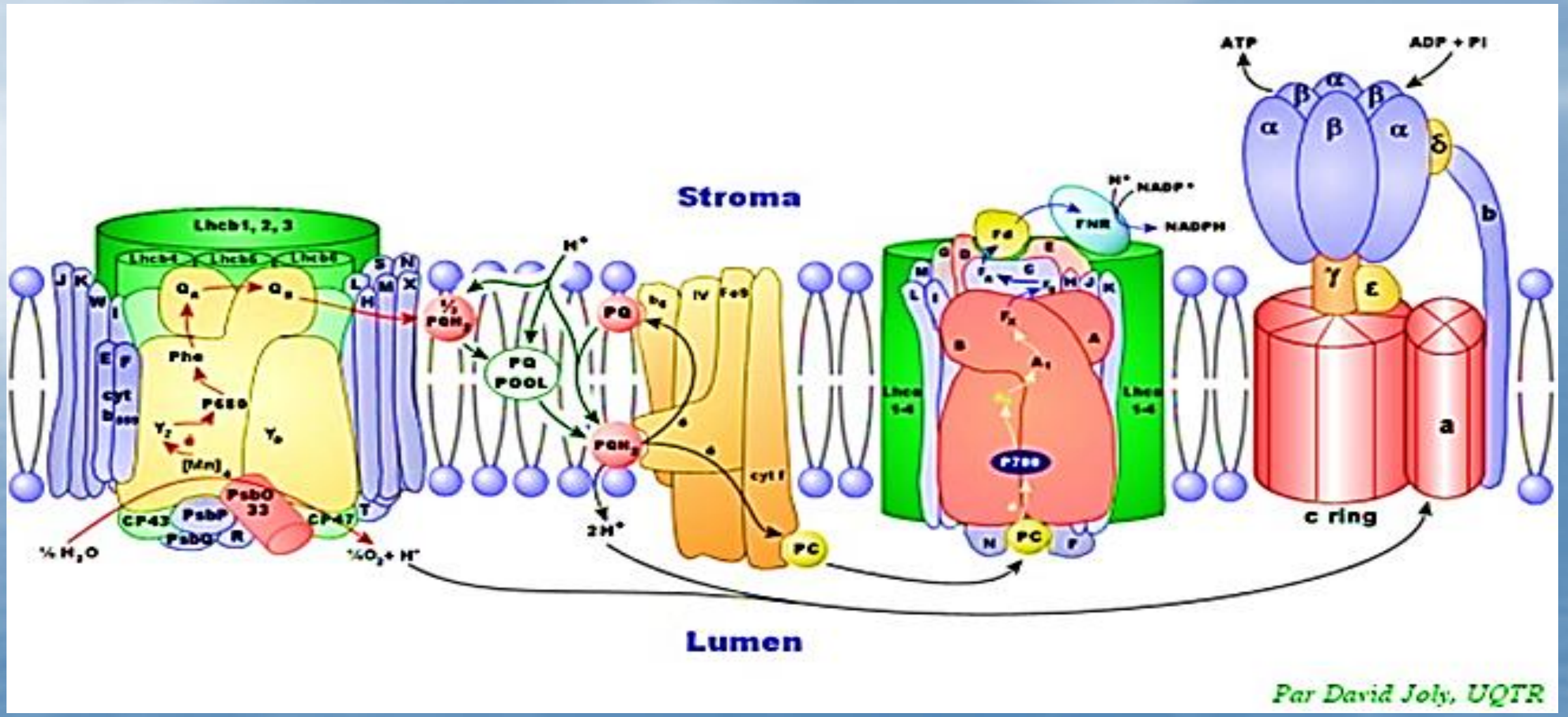

H+
NADP+
FNR
NADPH
Fd
E
G
D
C
M
L
I
H
J
K
A
B
A1
Lhca
1-4
Lhca
1-4
P700
PC
N
F
Per David Joly, UQTR

فتوسیستم I

- اگرچه همه رنگدانه‌ها در فتوسیستم قادر به جذب فوتون هستند ولی تنها، مولکول عمل کننده مرکزی کلروفیل می‌تواند، انرژی نوری را مورد استفاده قرار دهد.
- بقیه رنگدانه‌های فتوسیستم همان گونه که ذکر گردید، رنگدانه‌های آنتنی نامیده می‌شوند.
- به علاوه پروتئین‌های سولفور آهن وجود دارد که برای فتوسیستم I به عنوان گیرنده‌های الکترون اولیه عمل می‌کنند. به این معنی که این پروتئین‌ها ابتدا، الکترون را از P700 می‌گیرند.

٧- انتقال الكترون

انتقال الكترون



انتقال الکترون

- با برخورد فوتون‌های نور به برگ گیاه، ابتدا نخستین تله گیرنده نور یعنی مولکول P680 که در مرکز فتوسیستم II برانگیخته شده، الکترون خود را از دست می‌دهد و به صورت یونی مثبت درمی‌آید.
- این الکترون‌های آزاد شده از P680 که انرژی زیادی دارند بلافاصله بوسیله یک سری از مواد انتقال دهنده مانند سیتوکروم‌ها و کینون‌ها که در مجاورت کلروفیل و در غشای تیلاکوئیدی زنجیروار به دنبال هم قرار گرفته‌اند منتقل می‌شود.
- الکترون‌های آزاد شده از مولکول برانگیخته، انرژی زیادی دارند و به تدریج با احیا و اکسید شدن مواد ناقل زنجیره الکترون انرژی خود را از دست می‌دهند و سرانجام به مولکول پلاستوسیانین (PC) که پتانسیل اکسیداسیون و احیای خیلی کمتری دارد، می‌رسند.

انتقال الکترون

- چون این پتانسیل به پتانسیل اکسیداسیون و احیای فتوسیستم I یا P700 بسیار نزدیک است از این رو الکترون‌ها به آسانی جذب این سیستم می‌شوند.
- الکترون‌ها ضمن عبور از زنجیره انتقال الکترون در نقطه‌ای بین پلاستوکینون و سیتوکروم که سقوط یا افت پتانسیل در آنجا زیاد است انرژی خود را از دست می‌دهند این انرژی صرف فسفریله کردن ADP و در نتیجه ایجاد ATP در حضور نور (فسفریلاسیون نوری) می شود.
- این فسفریلاسیون با فسفریلاسیونی که در طی فرآیند تنفس صورت می‌گیرد تفاوت دارد. زیرا مستقل از اکسیژن مولکولی بوده و بدون نیاز به آن در داخل کلروپلاست‌ها رخ می‌دهد.

انتقال الکترون

- برای آنکه مولکول‌های یونی شده کلروفیل که الکترون‌های خود را از دست داده‌اند بتوانند کمبود الکترونی را جبران کنند، اجبارا باید الکترون بگیرند. برای این منظور مولکول‌های یونی شده مثبت P680 این کمبود الکترونی را با جذب الکترون‌هایی که از اکسایش آب آزاد می‌شوند برطرف می‌سازند.
- از اکسایش آب علاوه بر الکترون، یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل نیز آزاد می‌شود. که یون‌های هیدروکسیل به H و O_2 تجزیه می‌شوند و بدین ترتیب اکسیژن فتوسنتزی متصاعد می‌گردد.
- یون‌های پروتون نیز همراه با الکترون‌هایی که پس از فعالیت فتوسیستم I به انتهای زنجیره متصل شده‌اند صرف احیای $NADP^+$ و تشکیل NADPH می‌شوند.

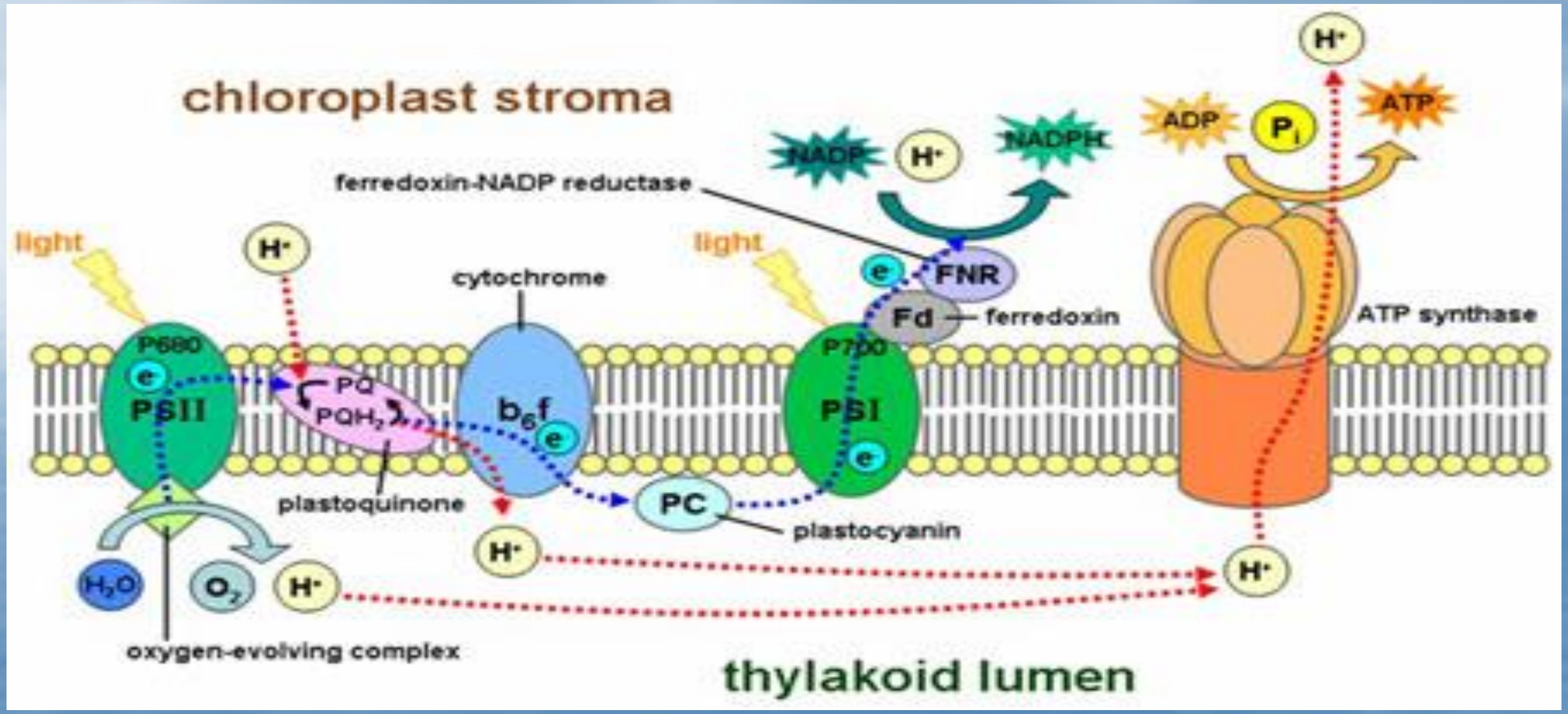
انتقال الکترون

- تجزیه مولکول‌های آب که به اتم‌های منگنز نیاز دارد و به کمک یک آنزیم موجود درون غشای تیلاکوئید صورت می‌گیرد، فتولیز نامیده می شود.

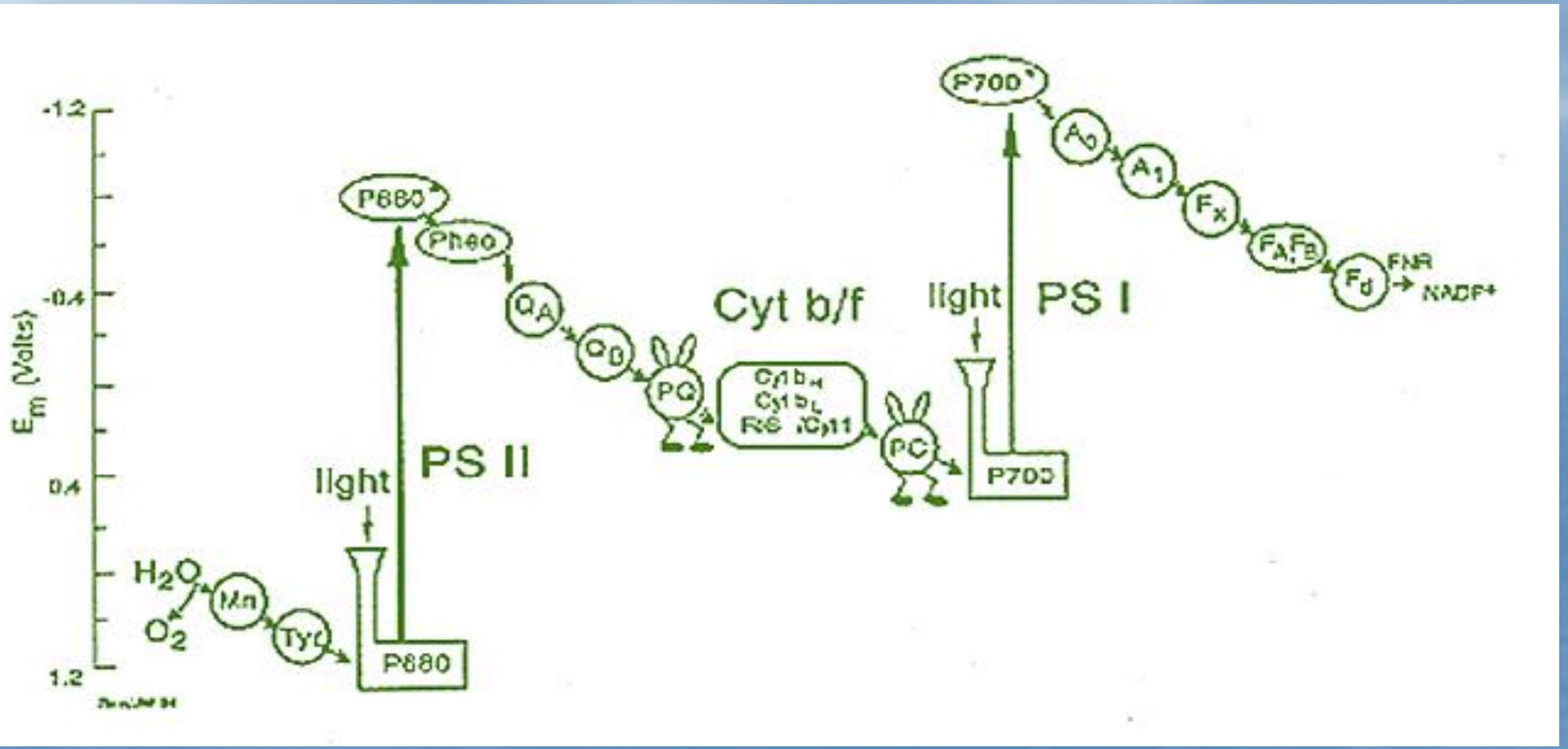
- در فتوسیستم‌I، مرکز فعال مولکول P700 است که با دریافت الکترون‌های منتقل شده از سیستم نوری II برانگیخته می‌شود و سپس الکترون‌ها را از طریق زنجیره‌ای از مواد ناقل الکترونی خاص که پتانسیل اکسیداسیون و احیای خیلی پایینی دارند انتقال می‌دهد تا به $NADP^+$ در انتهای زنجیره برسد.

- الکترون‌ها ابتدا جذب ماده‌ای ناشناخته به نام X می‌شوند که پتانسیل اکسیداسیون و احیای ضعیفی دارد و سپس از طریق ناقلین بعدی زنجیره که به ترتیب عبارتند از: فردوکسین (Fd)، فلاوپروتئین و $NADP^+$ منتقل می‌شوند. در انتهای این زنجیره $NADP^+$ بوسیله الکترون‌های انتقال یافته و به همراه یون‌های پروتون حاصل از تجزیه آب احیا شده و به NADPH تبدیل می‌شود.

انتقال الكترون

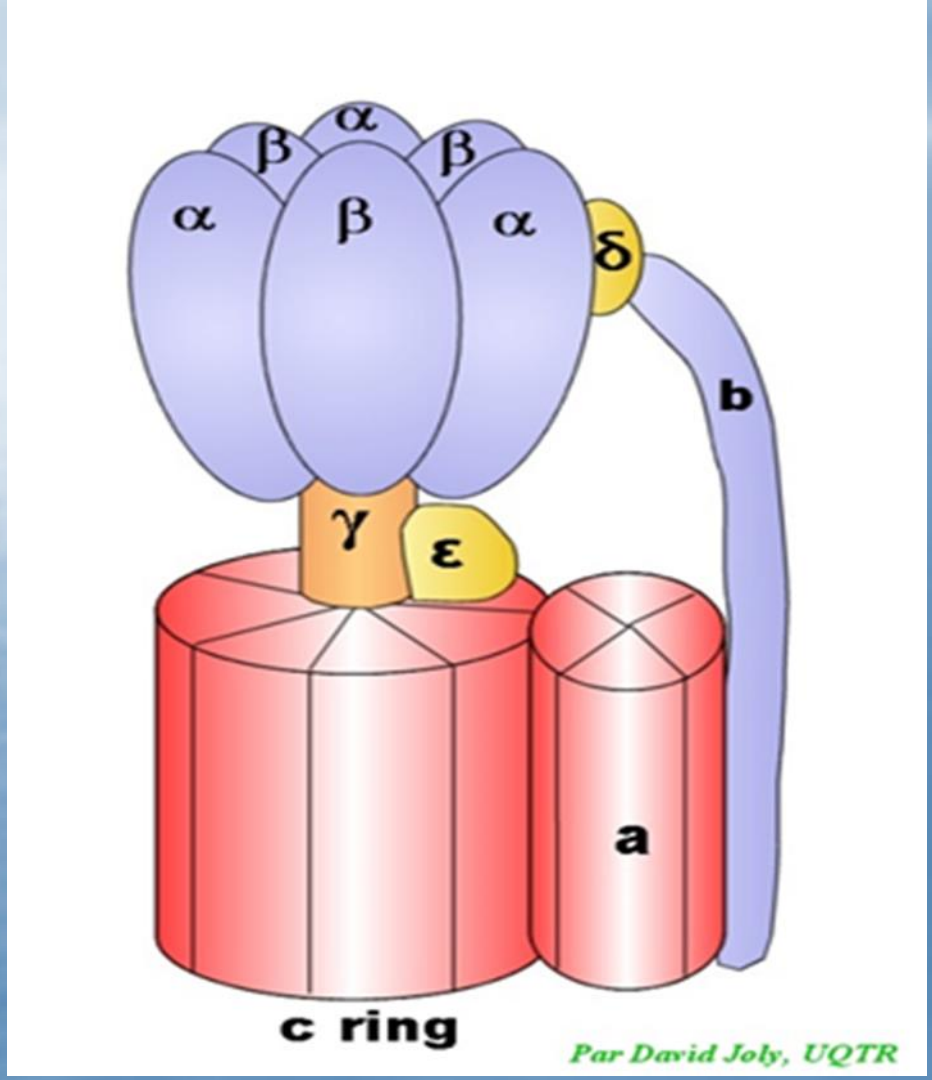


انتقال الكترون



۸- سنتز ATP توسط ATPسینتاز (فسفریلاسیون نوری)

سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز



- تبدیل انرژی الکتروشیمیایی پروتون به انرژی شیمیایی آزاد توسط یک کمپلکس پروتئین تکی شناخته شده به نام ATPسینتاز انجام می‌شود. این آنزیم واکنش فسفوریلاسیون را کاتالیز می‌کند که باعث تشکیل ATP از طریق اضافه کردن یک فسفات معدنی (Pi) به ADP می‌شود.
- کمپلکس ATPسینتاز از دو زیر واحد اصلی، CF0 و CF1 تشکیل شده است.
- زیر واحد CF0 در غشای فتوسنتزی و یک کانال پروتونی در غشا تشکیل داده است.
- زیر واحد CF1 در بالای CF0 و خارج از غشای و در فضای آبی واقع شده است. CF1 از چند زیر واحد پروتئینی مختلف شامل a، b، g، d و e تشکیل شده است. قسمت بالای زیرواحد CF1 از سه ab-dimers تشکیل شده که حاوی سایت‌های کاتالیزوری برای سنتز ATP هستند.

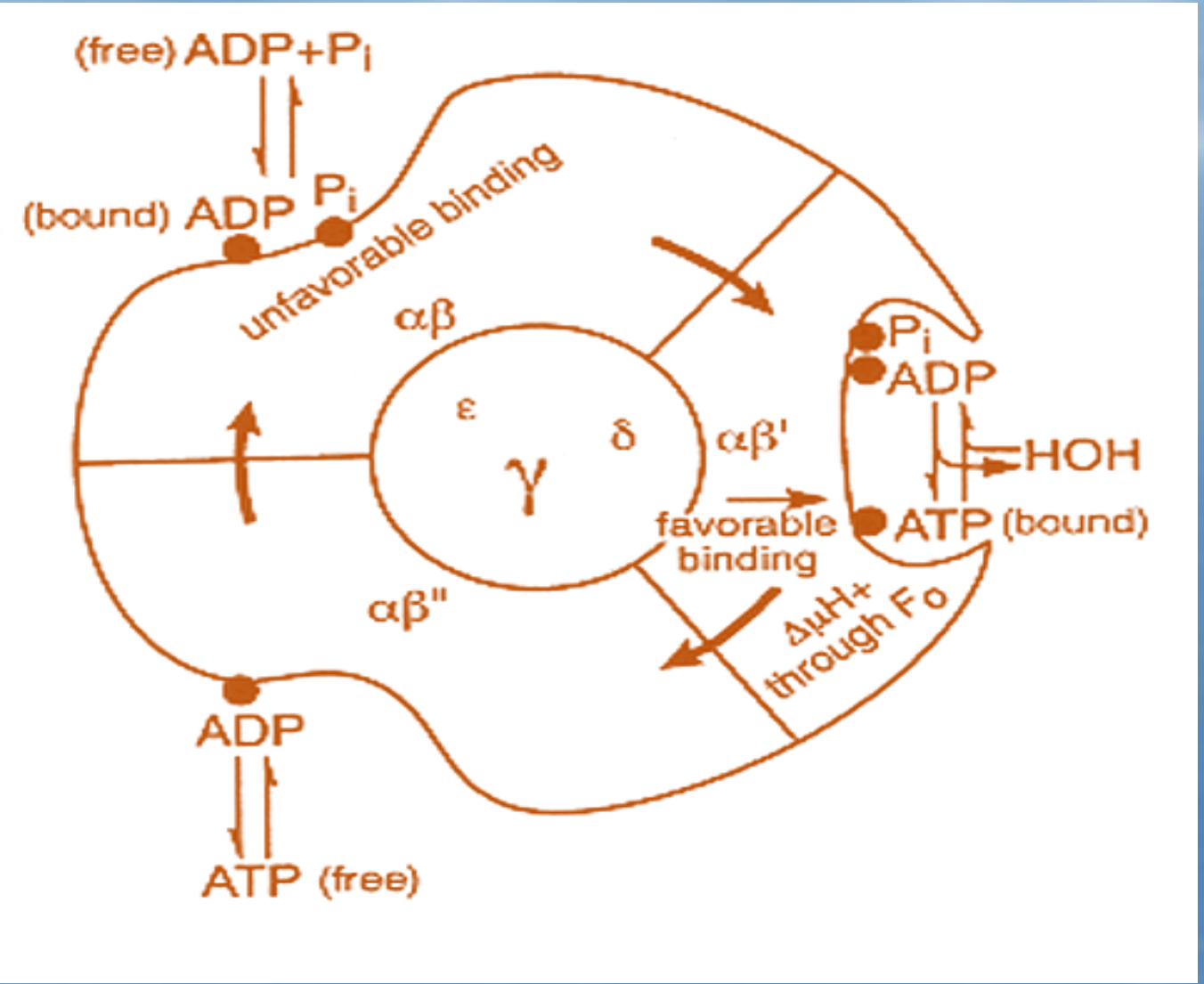
سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز

- در سال ۱۹۵۴ آرنون و همکارانش نشان دادند که کلروپلاست‌ها آنزیم‌های لازم جهت سنتز ATP را دارا هستند، بطوری که می‌توانند در حضور نور ATP بسازند.
- این ATP بوجود آمده به همراه یک ماده احیا کننده، موجب احیا و تثبیت Co_2 فتوسنتزی و بالاخره تولید کربوهیدرات در گیاه می‌شود. آرنون این فرایند ساخته شدن ATP در کلروپلاست‌ها را فسفریلاسیون فتوسنتزی یا فسفریلاسیون نوری نامید.
- مشخص شده است که فسفوریلاسیون می‌تواند به وسیله شیب pH محلول، میدان الکتریکی غشاء گذرنده، و یا ترکیبی از این دو هدایت می شود.

سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز

- آزمایش نشان داده‌اند که سه پروتون باید از طریق کمپلکس ATPسینتاز برای سنتز یک مولکول ATP منتقل شوند. با این حال، پروتون‌ها در اضافه کردن فسفات به ADP درگیر نیستند.
- پل بویر و همکارانش در سال ۱۹۹۳ یک مکانیسم برای سایت اتصال جهت سنتز ATP پیشنهاد کردند. مدل آنها مبتنی بر این است که سه سایت کاتالیزوری در هرCF1 سه حالت چرخه‌ای مختلف دارند که تفاوت‌شان در تمایل آنها برای ADP، Pi و ATP است که در یک زمان، هر سایت در یک حالت متفاوت است.
- در ابتدا، یک سایت کاتالیزوری در CF1 یک ADP و یک مولکول فسفات معدنی را متصل می‌کند و به دلیل یک تغییر ساختاری پروتئین، یک سایت با اتصال محکم و در نتیجه ATP باثبات تشکیل می‌شود.

سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز



سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز

- در مرحله بعد، انتقال پروتون‌ها باعث تغییر در ساختار پروتئینی شده که باعث انتشار سایت و به تبع آن مولکول ATP به فاز آبی می‌شود. در این مدل، از انرژی الکتروشیمیایی پروتون‌ها برای کاهش میل سایت به ATP و اجازه انتشار آن به فاز آبی استفاده می‌شود.
- چون در فتوسنتز علاوه بر ATP، وجود ماده احیا کننده‌ای جهت تامین هیدروژن یا الکترون‌ها نیز لازم است تا Co_2 احیا شده و کربوهیدرات تشکیل شود از این رو فسفریلاسیون نوری یا واکنش تشکیل ATP فتوسنتزی اجبارا با یک واکنش آنزیمی جفت می‌شود که در کلروپلاست‌ها انجام گرفته و موجب احیای $NADP^+$ می‌گردد. در این واکنش‌های جفت شده یا زوجی نوکلئوتید $NADP^+$ در حضور نور و آب همراه با ADP و یک مولکول فسفات، احیا شده و به NADPH تبدیل می‌شود و همزمان با آن ATP نیز ساخته و اکسیژن خارج می‌شود.

سنتز ATP توسط آنزیم ATPسینتاز

$$2ADP + 2Pi + 2NADP^{+} + 4H_2O \rightarrow 2ATP + O_2 + 2NADPH + 2H_2O$$

- خروج یک مولکول O_2 با احیای دو مول از NADPH و استریفیه شدن دو مول از فسفات معدنی (Pi) همراه است.
- در فتوسنتز باکتری‌ها به جای NADPH نوکلئوتید NADH می‌سازند.

فسفوریلاسیون نوری به دو نوع تقسیم می‌شود :

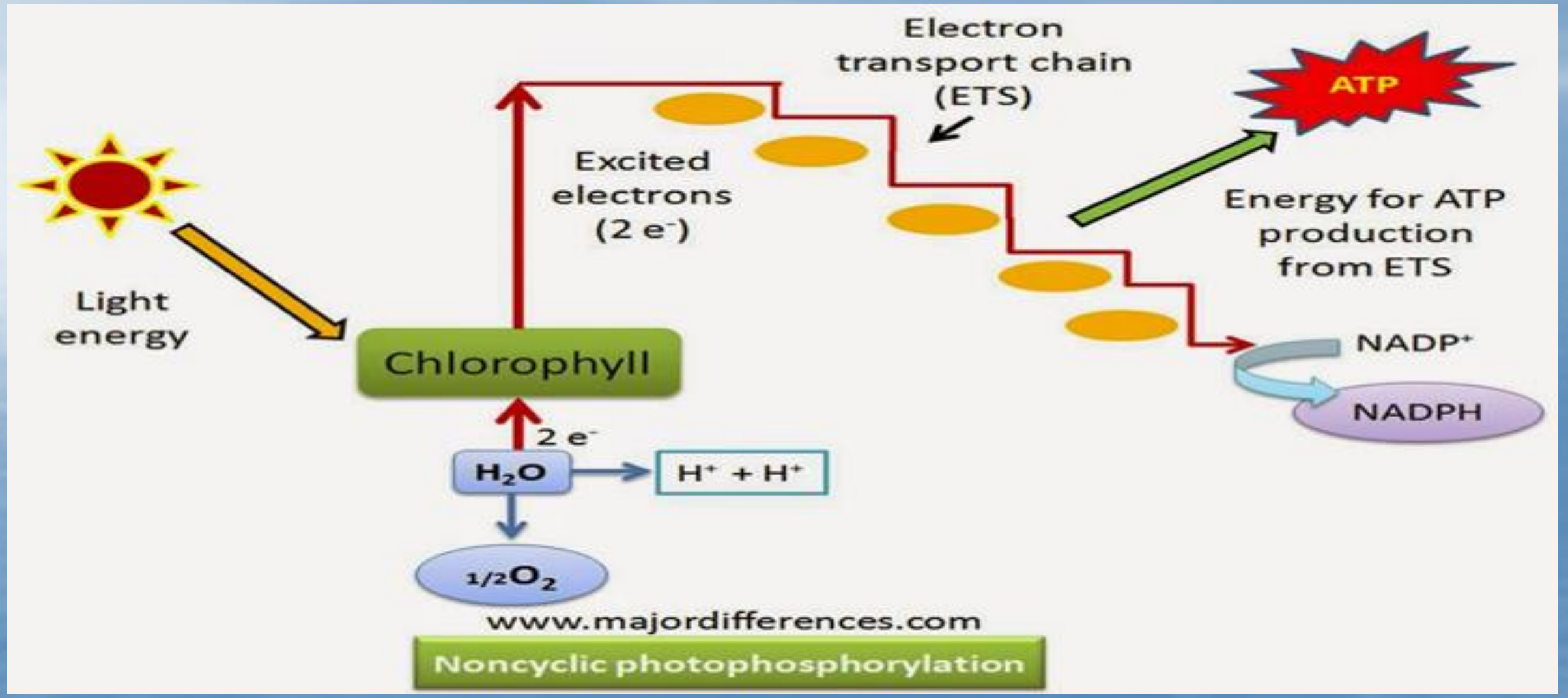
1) فسفریلاسیون نوری غیر چرخه‌ای (Non-cyclic photophosphorylation)
2) فسفریلاسیون نوری چرخه‌ای (Cyclic photophosphorylation)

فسفوریلاسیون نوری

۱) فسفریلاسیون نوری غیر چرخه‌ای :

هنگامی که دو سیستم نوری I , II همزمان با هم و با دخالت آب همکاری می‌کنند، انتقال الکترون‌های پر انرژی آزاد شده از کلروفیل برانگیخته توسط فوتون‌های نور که با تشکیل NADPH , ATP همراه است، مسیری غیر چرخه‌ای را به شکل حرف Z طی می‌کنند به نحوی که الکترون‌ها پس از عبور از زنجیره انتقال الکترون دیگر به مولکول کلروفیل باز نمی‌گردند و کمبود یا خلا الکترونی از تجزیه آب جبران می‌شود. این فرآیند انتقال غیر چرخه‌ای الکترون‌ها که بر اثر همکاری هر دو سیستم I,II صورت می‌گیرد و به ساخته شدن NADPH , ATP می‌انجامد.

فسفوریلاسیون نوری



فسفوریلاسیون نوری

۲) فسفریلاسیون نوری چرخه‌ای :

در این فسفریلاسیون که بدون دخالت سیستم II و تصاعد اکسیژن انجام می‌گیرد فقط سیستم نوری I برانگیخته می‌شود.

- الکترون‌های برانگیخته از کلروفیل P700 پس از عبور از زنجیره انتقال الکترون همین سیستم با مسیری دایره وار چرخه، دوباره به کلروفیل P700 برمی‌گردند.
- ضمن این بازگشت، انرژی خود را از دست می‌دهند که صرف ساختن ATP می‌شود.
- این نوع فسفریلاسیون اغلب در باکتری‌ها رخ می‌دهد.

فسفوریلاسیون نوری

این نوع فسفریلاسیون هنگامی صورت می‌گیرد که واکنش‌های مرحله نوری فتوسنتز به دلایلی مانند مسائل زیر متوقف شوند :

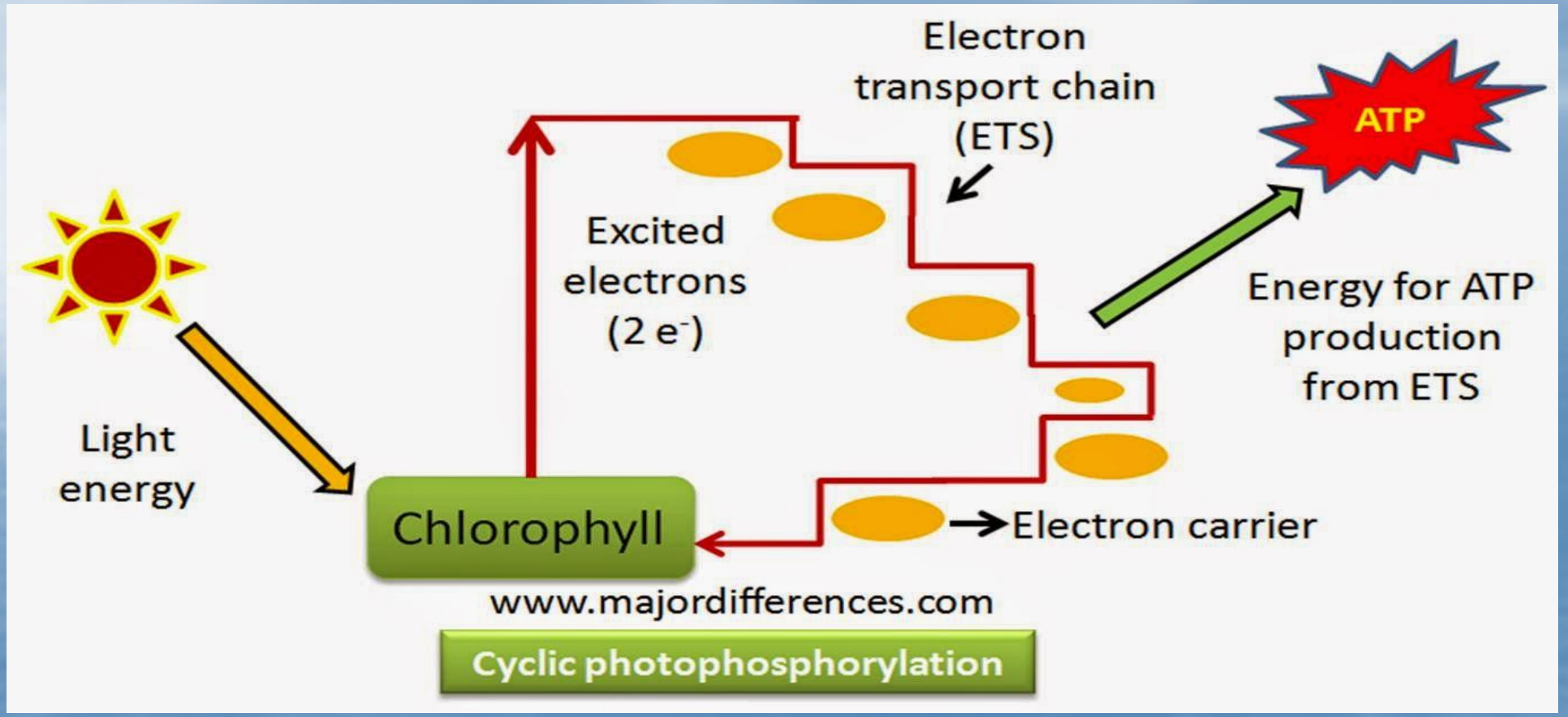
1) نرخ پایین Co_2

2) عدم خروج فراورده‌های نهایی فتوسنتز از یاخته‌های فتوسنتزکننده و در نتیجه عدم مصرف NADPH

3) کافی نبودن ATP حاصل از فسفریلاسیون غیر چرخه‌ای

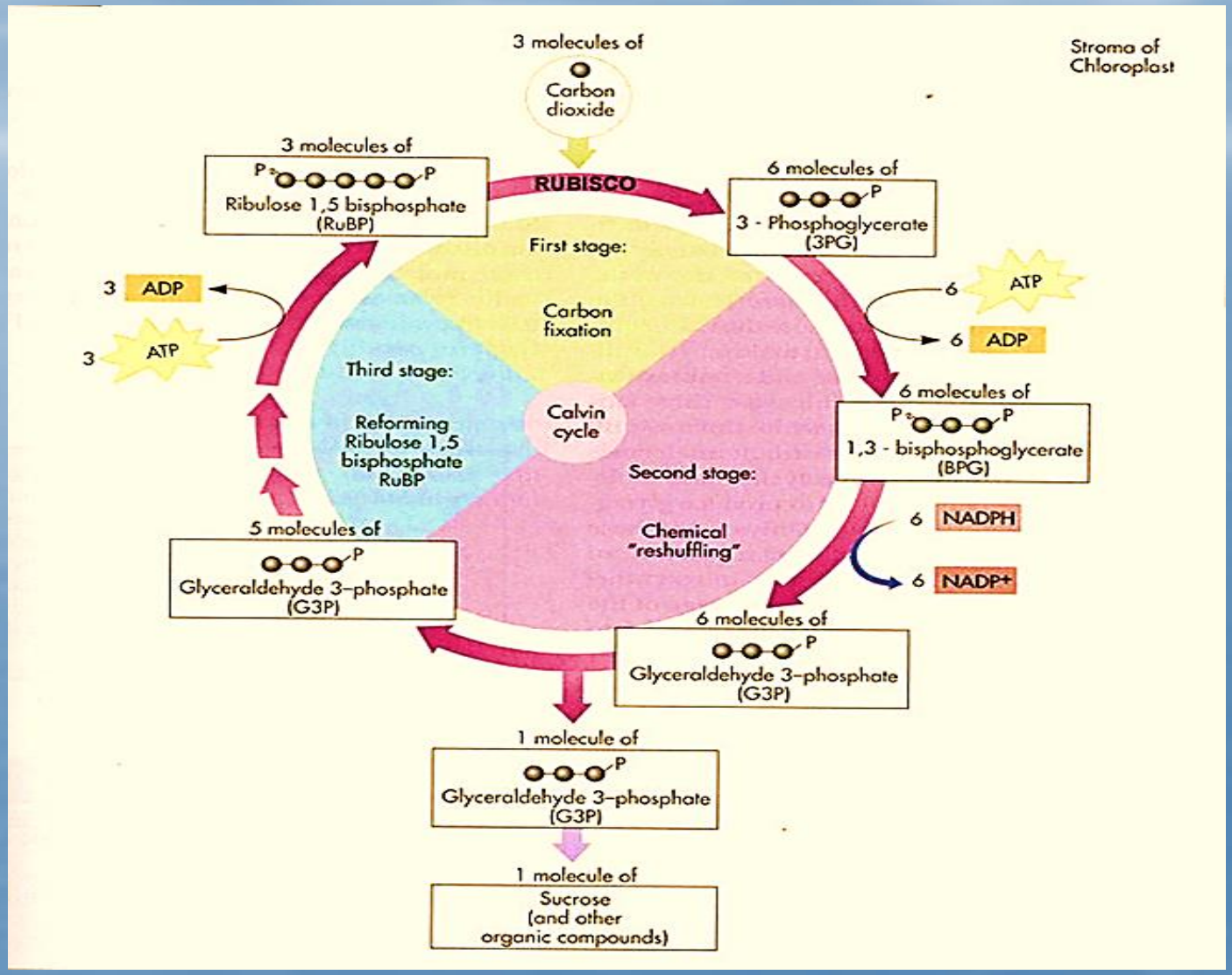
❖ این نوع فسفریلاسیون توسط طول موج‌های بلند، شدیدتر می‌شود.

فسفوریلاسیون نوری



۹- سنتز کربوهیدرات‌ها

سنتز کربوهیدرات‌ها



سنتز کربوهیدرات‌ها

- چرخه کالوین بدین منظور به نام ملوین کالوین نامگذاری شد که او از یک ایزوتوپ رادیواکتیو کربن برای ردیابی واکنش استفاده نمود.

چرخه کالوین شامل مراحل ذیل است :

1) تثبیت دی اکسید کربن (Carbon dioxide fixation)
2) احیای دی اکسید کربن (Carbon dioxide reduction)
3) بازسازی ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات (Regeneration of RuBP)

سنتز کربوهیدرات‌ها

در چرخه کالوین که در استرومای کلروپلاست رخ می‌دهد، مولکول‌های ورودی دی اکسید کربن، ATP و NADPH و مولکول‌های خروجی کربوهیدرات، ADP، $NADP^+$ و فسفات معدنی می‌باشند که براساس معادله زیر خواهد بود :

$$6\ CO_2 + 12\ NADPH + 11\ H_2O + 18\ ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ NADP^+ + 18\ ADP + 17\ Pi + 6\ H^+$$

- چرخه احیای کربن فتوسنتزی در اصل برای گونه‌های C3 توصیف می‌شود که شامل چرخه کالوین، و یا چرخه احیای پنتوز فسفات (RPP) است.
- دیگر مسیرهای متابولیکی در ارتباط با فتوسنتز و تثبیت CO_2 مانند چرخه جذب کربن فتوسنتزی C4 و چرخه اکسیداسیون کربن تنفس نوری، یا به صورت کمکی و یا وابسته به چرخه کالوین هستند.

سنتز کربوهیدرات‌ها

TABLE 8.1
Reactions of the Calvin cycle

Enzyme	Reaction
1. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase	6 Ribulose-1,5-bisphosphate + 6 CO_2 + 6 H_2O → 12 (3-phosphoglycerate) + 12 H^+
2. 3-Phosphoglycerate kinase	12 (3-Phosphoglycerate) + 12 ATP → 12 (1,3-bisphosphoglycerate) + 12 ADP
3. NADP:glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	12 (1,3-Bisphosphoglycerate) + 12 NADPH + 12 H^+ → 12 glyceraldehye-3-phosphate + 12 $NADP^+$ + 12 P_i
4. Triose phosphate isomerase	5 Glyceraldehyde-3-phosphate → 5 dihydroxyacetone-3-phosphate
5. Aldolase	3 Glyceraldehyde-3-phosphate + 3 dihydroxyacetone-3-phosphate → 3 fructose-1,6-bisphosphate
6. Fructose-1,6-bisphosphatase	3 Fructose-1,6-bisphosphate + 3 H_2O → 3 fructose-6-phosphate + 3 P_i
7. Transketolase	2 Fructose-6-phosphate + 2 glyceraldehyde-3-phosphate → 2 erythrose-4-phosphate + 2 xylulose-5-phosphate
8. Aldolase	2 Erythrose-4-phosphate + 2 dihydroxyacetone-3-phosphate → 2 sedoheptulose-1,7-bisphosphate
9. Sedoheptulose-1,7,bisphosphatase	2 Sedoheptulose-1,7-bisphosphate + 2 H_2O → 2 sedoheptulose-7-phosphate + 2 P_i
10. Transketolase	2 Sedoheptulose-7-phosphate + 2 glyceraldehyde-3-phosphate → 2 ribose-5-phosphate + 2 xylulose-5-phosphate
11a. Ribulose-5-phosphate epimerase	4 Xylulose-5-phosphate → 4 ribulose-5-phosphate
11b. Ribose-5-phosphate isomerase	2 Ribose-5-phosphate → 2 ribulose-5-phosphate
12. Ribulose-5-phosphate kinase	6 Ribulose-5-phosphate + 6 ATP → 6 ribulose-1,5-bisphosphate + 6 ADP + 6 H^+
Net: 6 CO_2 + 11 H_2O + 12 NADPH + 18 ATP → Fructose-6-phosphate + 12 $NADP^+$ + 6 H^+ + 18 ADP + 17 P_i	

سنتز کربوهیدرات‌ها

۱) تثبیت دی اکسید کربن :

- تثبیت دی اکسید کربن عبارت از ضمیمه شدن CO2 به یک ترکیب آلی پنج کربنی به نام ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات (RuBP) است.
- آنزیم RuBPکربوکسیلاز/اکسیژناز (روبیسکو) که در استرومای کلروپلاست قرار دارد به این واکنش سرعت می‌بخشد. این آنزیم حدود ۲۰-۵۰ درصد از پروتئین‌های کلروپلاست را شامل می‌شود.
- نکته مهم این است که برای تولید و خروج یک مولکول کربوهیدرات از چرخه، لازم است ۳ مولکول Co_2 با ۳ مولکول ریبولوز ۱- ۵ بیس فسفات (RuBP) کندانسه شود که در این صورت ۶ مولکول ۳-فسفوگلیسرات (3PG) طی سه دور ایجاد می‌شود (واکنش ۱ جدول ۲-۱).

سنتز کربوهیدرات‌ها

دو ویژگی در واکنش کربوکسیلاز اهمیت خاصی دارد :

- تغییر منفی در انرژی آزاد در ارتباط با کربوکسیلاسیون مولکول ریبولوز ۱- ۵ بیس فسفات بزرگ است، در نتیجه واکنش به شدت رو به جلو پیش خواهد رفت.
- میل روبیسکو به Co_2 به اندازه کافی بالا است بنابراین اطمینان از کربوکسیلاسیون سریع در غلظت‌های پایین Co_2 در سلول‌های فتوسنتزی وجود دارد.

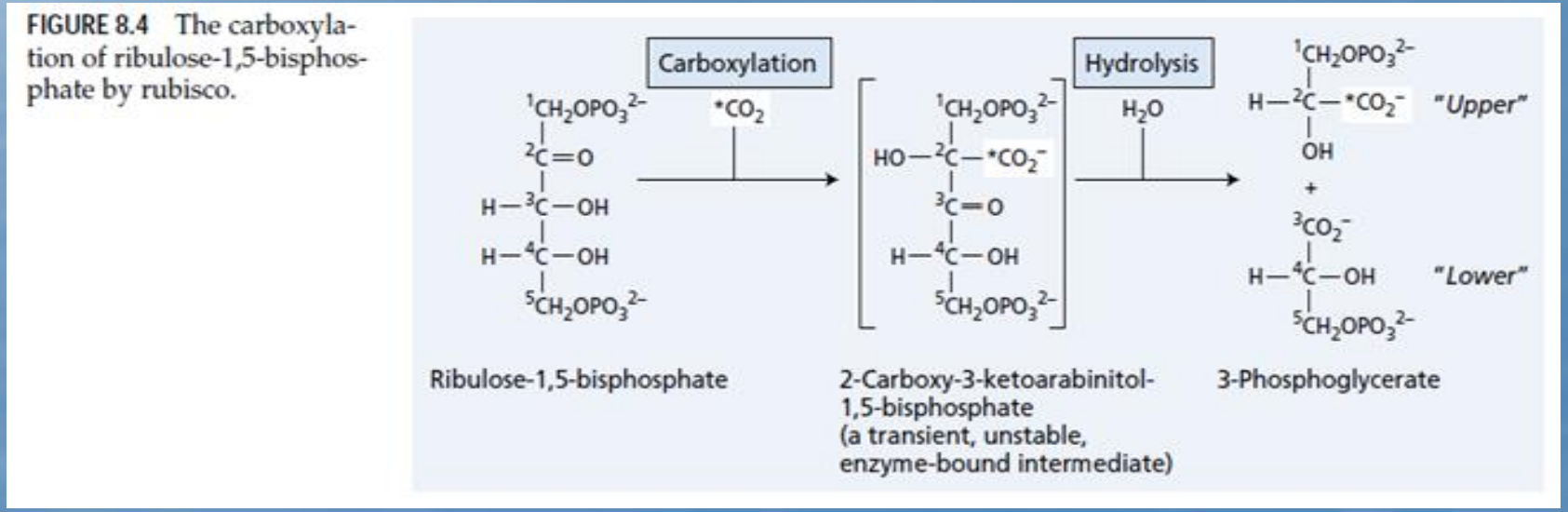


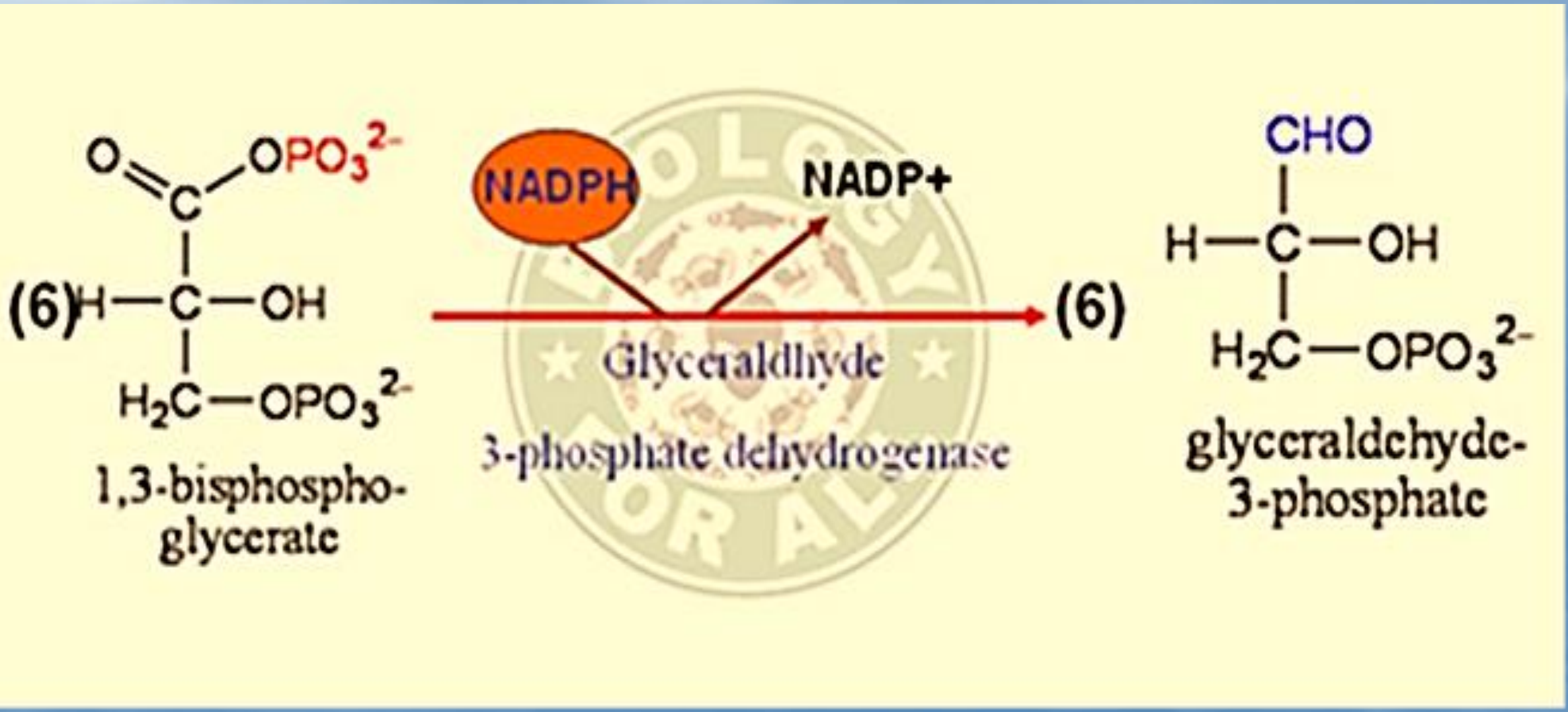
FIGURE 8.4 The carboxylation of ribulose-1,5-bisphosphate by rubisco.

سنتز کربوهیدرات‌ها

۲) احیای دی اکسید کربن :

- در این مرحله آنزیم دیگری به نام ۳-فسفوگلیسرات کیناز که مانند روبیسکو آنزیم استرومایی است با مصرف ATP، ۳-فسفوگلیسرات (3PG) را تبدیل به ۱-۳ بیس فسفوگلیسرات (BPG) می‌کند (واکنش ۲ جدول ۲-۱).
- این آنزیم یک گروه فسفریل را از ATP به کربن شماره یک مولکول ۳- فسفوگلیسرات منتقل می‌کند.
- سپس در مرحله آنزیمی دیگری ۶ ملکول ۱-۳ بیس فسفوگلیسرات (BPG) تولیدی در مرحله قبل توسط آنزیم گلیسرآلدئید۳-فسفات دهیدروژناز با مصرف ۶ مولکول NADPH تبدیل به ۶ مولکول گلیسرآلدئید ۳- فسفات (G3P)می‌شوند (واکنش ۳ جدول ۲-۱).

سنتز کربوهیدرات‌ها



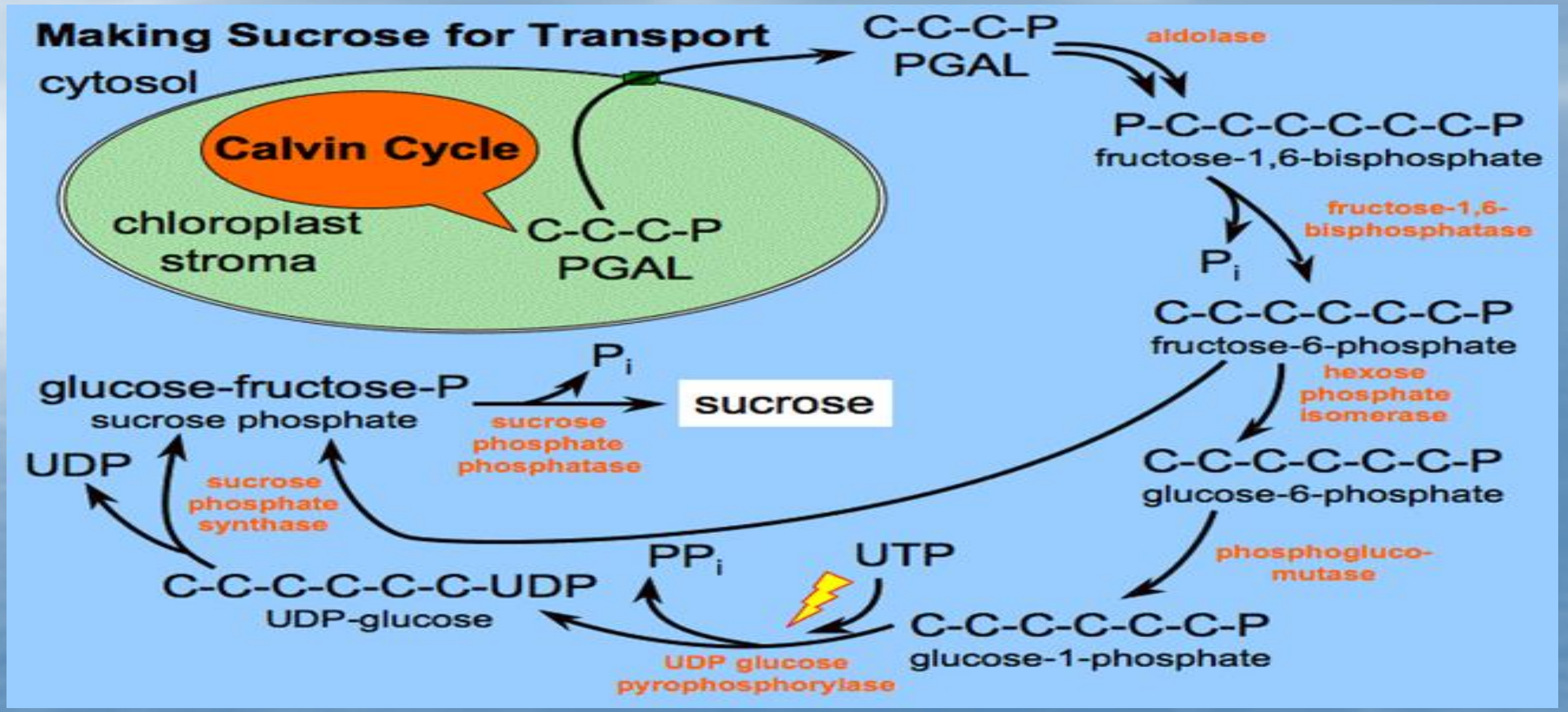
سنتز کربوهیدرات‌ها

۳) بازسازی ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات و تولید کربوهیدرات :

ادامه جذب Co_2 مستلزم آن است که پذیرنده Co_2 (ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات)، به طور مداوم بازتولید شود. در این مرحله ۹ واکنش صورت می‌گیرد تا علاوه بر تولید کربوهیدرات و سایر ترکیبات، ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات نیز بازتولید شود که این واکنش‌ها به شرح ذیل می‌باشند :

۱) یک مولکول از ۶ مولکول گلیسر آلدئید ۳ فسفات توسط تریوز فسفات ایزومراز به دی هیدروکسی استن ۳ فسفات تبدیل شده (واکنش ۴ جدول ۲-۱) و توسط آنتی‌پورتر Pi/تریوزفسفات به سیتوزول صادر شده و در جهت سنتز گلوکز و سایر ترکیبات به مصرف می‌رسد.

سنتز کربوهیدرات‌ها



سنتز کربوهیدرات‌ها

- آنچه که در سنتز ساکارز متفاوت است این است که، UDP-گلوکزپیروفسفوریلاز ، موجود است و یک UMP به فسفات، گلوکز ۱ فسفات متصل می‌کند که تولید UDP-گلوکز می‌کند که با فروکتوز ۶ فسفات توسط آنزیم ساکارز فسفات سینتاز ترکیب می‌شود و تولید گلوکز فروکتوز فسفات می‌نماید.
- در نهایت در اثر آنزیم ساکارز فسفات فسفاتاز گروه فسفات از گلوکز فروکتوز فسفات جدا و ساکارز تولید می‌شود که می‌تواند به آبکش برای حمل و نقل لود شده و یا در برخی موارد (ساقه نیشکر ، ریشه چغندر قند) به واکوئل برای ذخیره‌سازی لود گردد.

سنتز کربوهیدرات‌ها

۲) دی هیدروکسی استن ۳ فسفات، سپس دستخوش چگالش و یا تغلیظ با مولکول دوم گلیسرآلدئید ۳ فسفات می‌شود که این واکنش توسط آلدولاز کاتالیز شده و باعث تولید فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات می‌گردد (واکنش ۵ جدول ۲-۱).

۳) فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات یک موقعیت کلیدی در چرخه دارد و به فروکتوز۶ فسفات هیدرولیز می‌شود (واکنش ۶ جدول ۲-۱)، که پس از آن با آنزیم ترنس کیتولاز واکنش نشان می‌دهد.

۴) یک واحد دو کربنه (C-1 و C-2 فروکتوز ۶ فسفات) از طریق ترنس کیتولاز به سومین مولکول گلیسرآلدئید ۳ فسفات منتقل شده و به اریتروز ۴ فسفات و گزیلولز ۵ فسفات تبدیل می‌شود (واکنش ۷ جدول ۲-۱).

سنتز کربوهیدرات‌ها

۵) اریتروز ۴ فسفات سپس از طریق آلدولاز با یک مولکول چهارم از تریوز فسفات (دی هیدروکسی استون ۳ فسفات) برای تولید قند هفت کربنه سدوهپتولوز ۱ و ۷ بیس فسفات ترکیب می‌شود (واکنش ۸ جدول ۲-۱).

۶) این بیس فسفات هفت کربنه سپس از طریق یک فسفاتاز خاص به سدوهپتولوز ۷ فسفات هیدرولیز می‌شود (واکنش ۹ جدول ۲-۱).

۷) سدوهپتولوز ۷ فسفات یک واحد دو کربنه به مولکول پنجم (و آخرین) گلیسرآلدئید ۳ فسفات از طریق ترنس کیتولاز اهدا نموده و ریبوز ۵ فسفات و گزیلولز ۵ فسفات تولید می‌کند (واکنش ۱۰ جدول ۲-۱).

سنتز کربوهیدرات‌ها

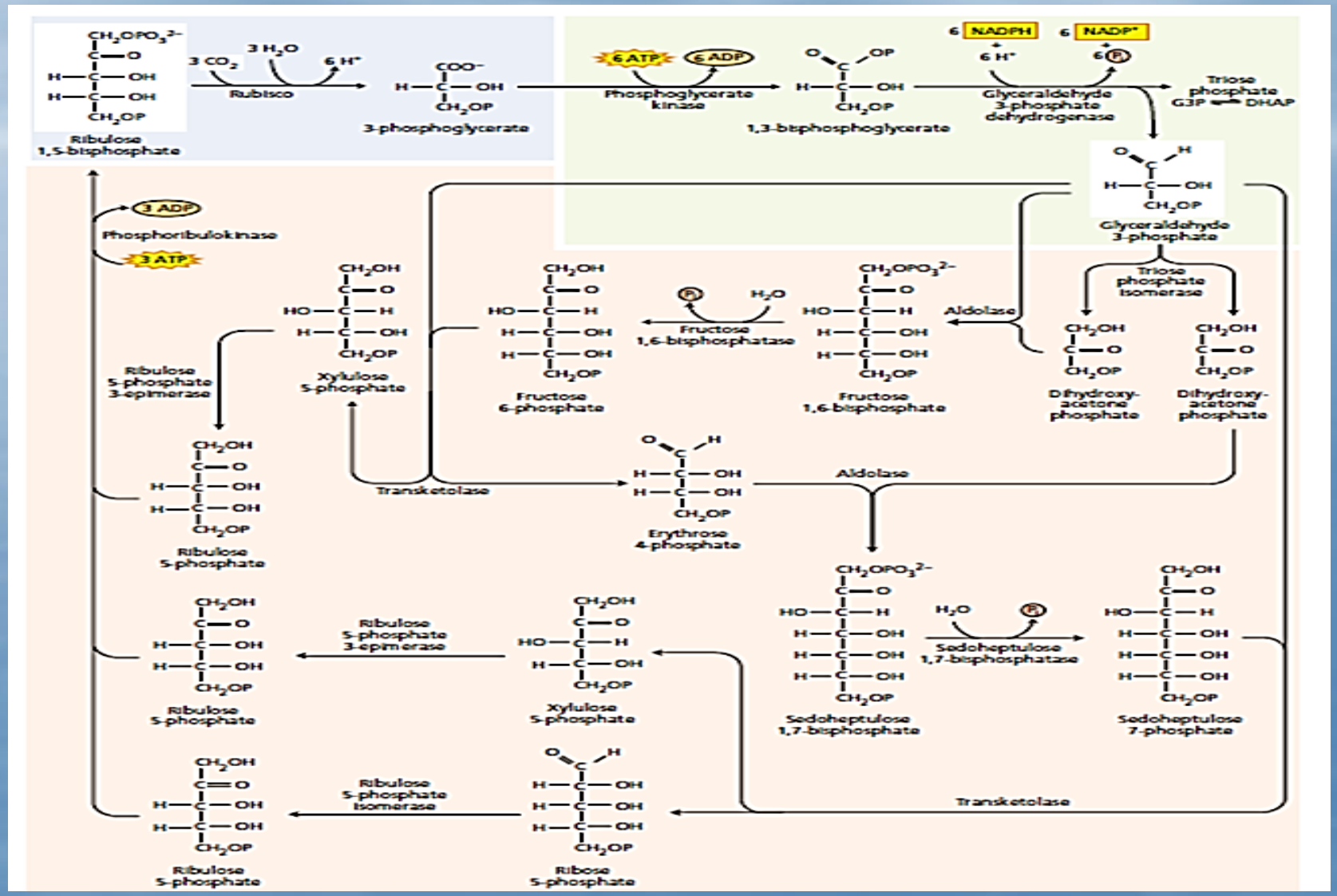
۸) دو مولکول گزیلولز ۵ فسفات به دو مولکول قند ریبولوز ۵ فسفات توسط یک ریبولوز ۵ فسفات اپیمراز تبدیل می‌شوند (واکنش 11a جدول ۲-۱). مولکول سوم ریبولوز ۵ فسفات از ریبوز ۵ فسفات توسط آنزیم ریبوز ۵ فسفات ایزومراز تشکیل می‌شود (واکنش 11bجدول ۲-۱).

۹) در نهایت، آنزیم ریبولوز ۵ فسفات کیناز فسفوریلاسیون ریبولوز ۵ فسفات با ATP، را کاتالیز نموده و در نتیجه بازسازی سه مولکول پذیرنده CO_2 اولیه مورد نیاز، یعنی ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات تولید می‌شود (واکنش ۱۲ جدول ۲-۱).

سنتز کربوهیدرات‌ها

- استوکیومتری چرخه کالوین نشان می‌دهد که تنها یک ششم از تریوز فسفات برای ساکارز و نشاسته استفاده می‌شود. سنتز هر قند سه کربنه از CO_2 (گلیسرآلدئید۳ فسفات) نیاز به ۶ مولکول NADPH و ۹ مولکول ATP دارد که از واکنش‌های نوری فتوسنتزی تامین می‌گردند.
- در این چرخه، یکی از ۹ مولکول ATP تبدیل به ADP و فسفات شده که این فسفات در داخل تریوز فسفات قرار داده می‌شود. اما ۸ مولکول ATP تبدیل به ۸ ملکول ADP و پیروفسفات می شوند که ۸ پیروفسفات می‌توانند مجددا با ۸ ADP کندانسه شده و ۸ مولکول ATP دیگر بسازند که در این شرایط یک ADP باقی می‌ماند، که یک گروه Pi از طریق انتی پورتر Pi/تریوز فسفات به داخل کلروپلاست منتقل گردد و به این ترتیب تعادل بین محصولات چرخه و ATP مصرف شده فراهم می‌شود.
- سرعت واکنش‌ها در چرخه کالوین همراه با دما افزایش می یابد که تا ۲۵ درجه سانتیگراد مطلوب است و هنگامی که دما به ۳۷ درجه می‌رسد، سرعت واکنش کاهش می‌یابد.

سنتز کربوهیدرات‌ها



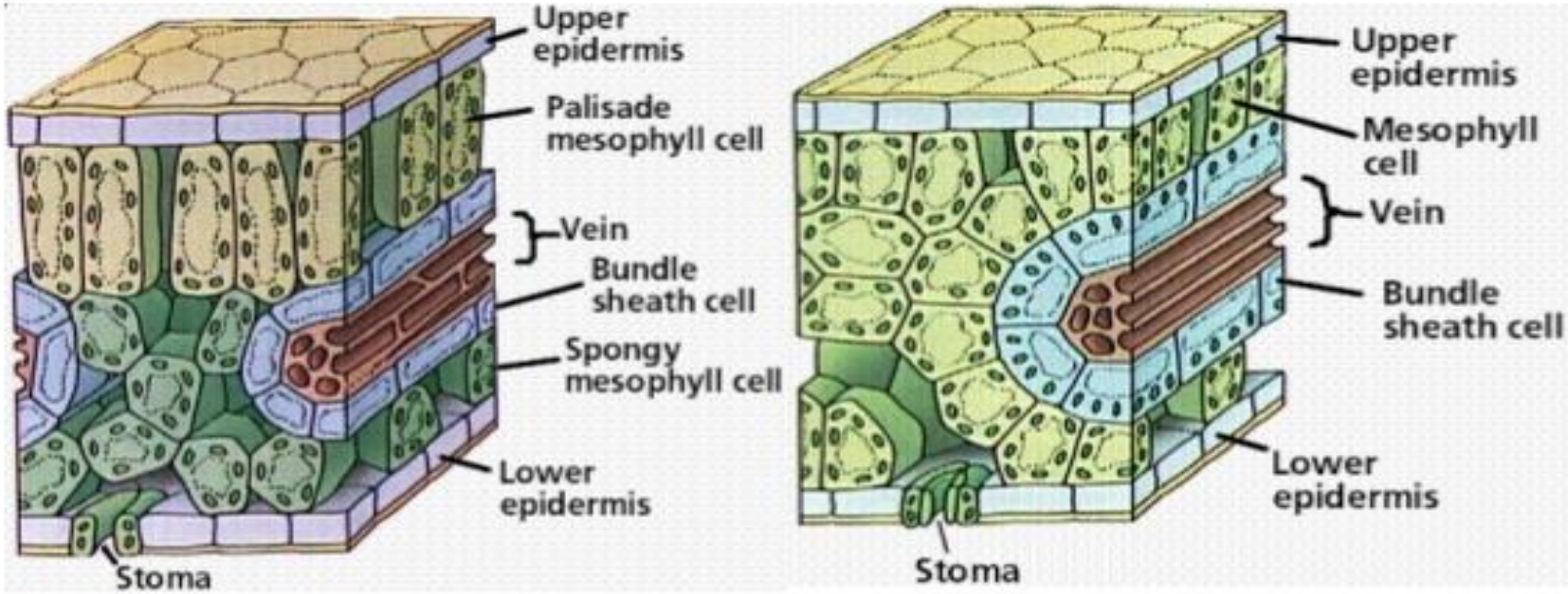
گیاهان C3. C4 و CAM

چرخه C4

تا اواسط دهه ۱۹۶۰ چنین تصور می‌شد که تمام گیاهان مسیر فتوسنتز سه کربنه (C3) دارند، ولی هاچ و اسلک در سال ۱۹۶۶ ضمن مطالعه روی نیشکر متوجه شدند که اولین ماده‌ای که پس از تثبیت CO_2 در گیاه ساخته می‌شود یک اسید چهار کربنه به نام اسید اگزاالواستیک است. بنابراین به این صورت مسیر دیگری برای تثبیت CO_2 شناخته شد.

ساختمان برگ گیاهان C3 با C4 متفاوت است. در گیاهان C4 هر دسته آوندی توسط یک لایه از سلول‌های بزرگ پارانشیمی به نام غلاف آوندی احاطه شده است و این غلاف آوندی هم توسط سلول‌های کوچکتر مزوفیل احاطه شده‌اند. به این ساختار برگ گیاهان C4 آناتومی یا ساختار کرانز می‌گویند.

چرخه C4



Comparison between C_3 and C_4 Leaf

C_3 dan C_4

چرخه C4

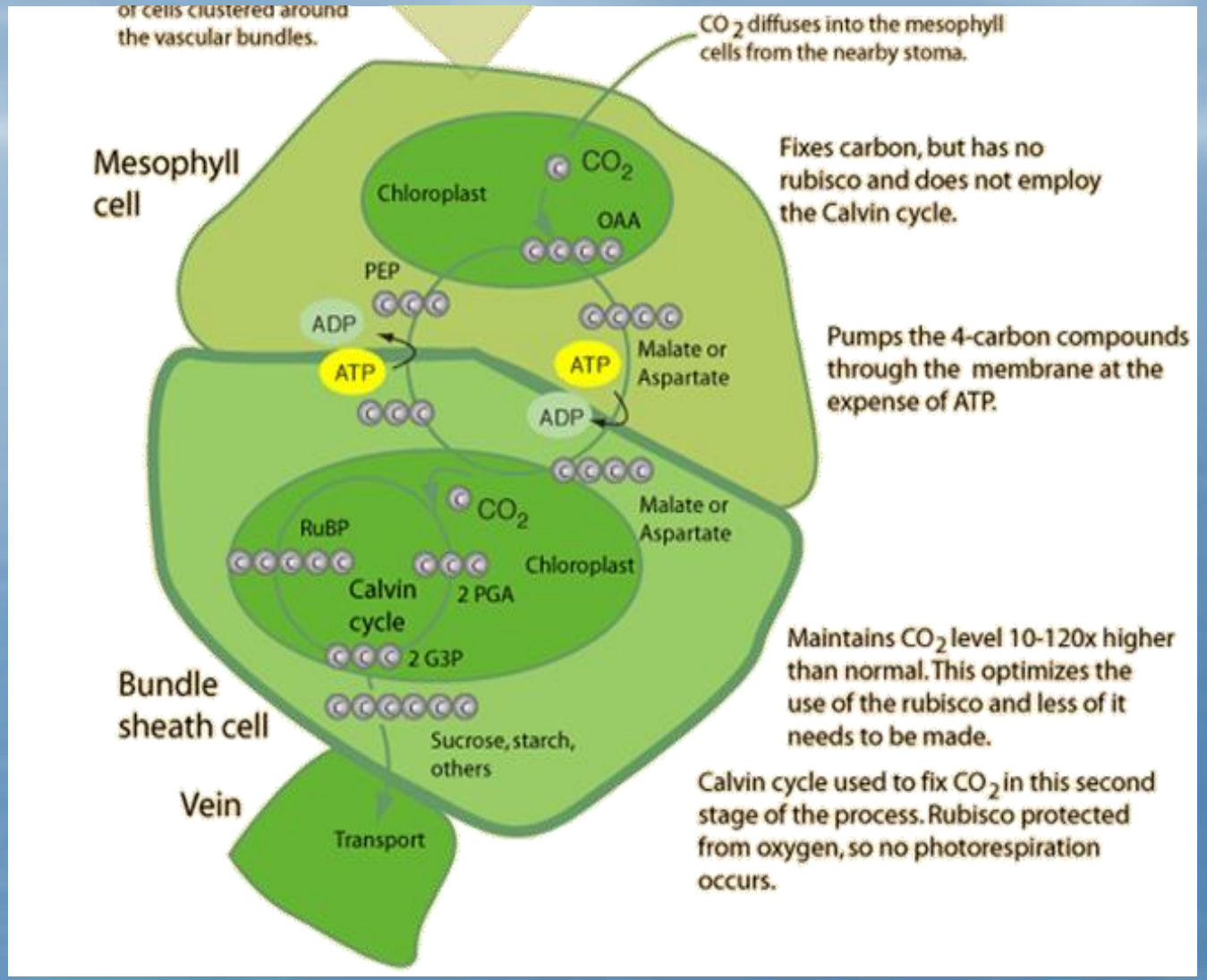
مسیر تثبیت CO_2 در گیاهان C4 به این صورت است که :

- در سلول‌های مزوفیل این گیاهان ابتدا فسفواینول پیروات (PEP) با CO_2 ترکیب شده و تولید اسید آلی چهار کربنه مانند اسید اگزالواستیک، اسید مالیک، اسید اسپارژیک می‌کند که این واکنش تحت تأثیر آنزیم PEPکربوکسیلاز صورت می‌گیرد.
- سپس این اسید ۴ کربنه تولید شده از طریق پلاسمودسماتاها به سلول‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود.
- در سلول‌های غلاف آوندی این اسید ۴ کربنه CO_2 خود را آزاد می‌کند و این CO_2 وارد چرخه کلوین می‌شود.

چرخه C4

- چرخه تثبیت CO_2 از این مرحله به بعد مانند گیاهان C3 است.
- اسید ۴ کربنه که یک مولکول CO_2 خود را از دست داده به پیروات تبدیل می‌شود که پیروات تولید شده به سلول‌های مزوفیل برگشت داده می‌شود.
- پیروات در سلول‌های مزوفیل پس از گرفتن یک گروه فسفات تبدیل به فسفو اینول پیروات (PEP) شده و مجدداً وارد سیکل تثبیت CO_2 (هاچ واسلک) می‌شود.

چرخه C4


of cells clustered around the vascular bundles.
CO_2 diffuses into the mesophyll cells from the nearby stoma.
Mesophyll cell
Chloroplast
CO_2
OAA
PEP
ADP
ATP
Malate or Aspartate
ATP
ADP
Fixes carbon, but has no rubisco and does not employ the Calvin cycle.
Pumps the 4-carbon compounds through the membrane at the expense of ATP.
Malate or Aspartate
CO_2
RuBP
Chloroplast
Calvin cycle
2 PGA
2 G3P
Bundle sheath cell
Sucrose, starch, others
Vein
Transport
Maintains CO_2 level 10-120x higher than normal. This optimizes the use of the rubisco and less of it needs to be made.
Calvin cycle used to fix CO_2 in this second stage of the process. Rubisco protected from oxygen, so no photorespiration occurs.

چرخه C4

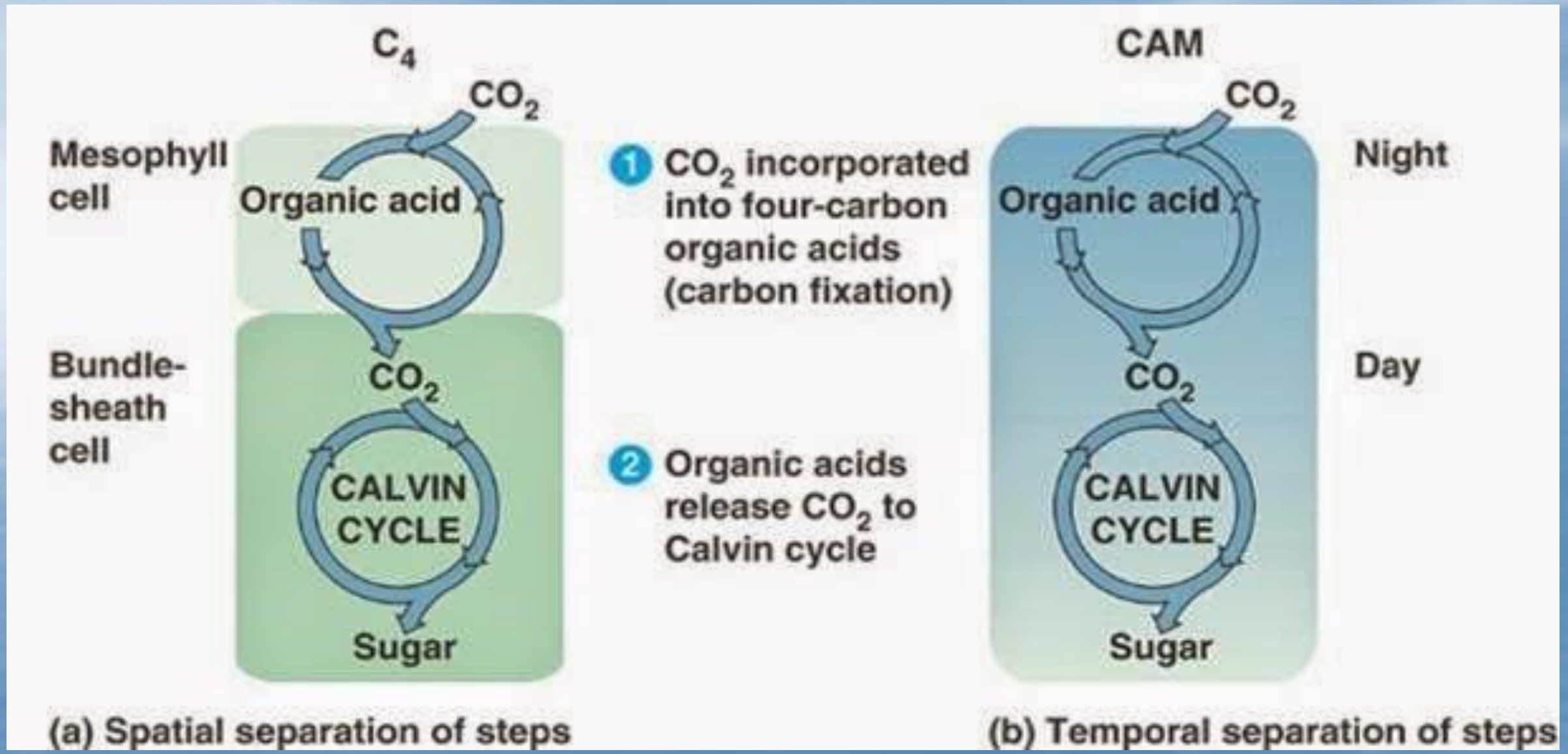
- آنزیم PEPکربوکسیلاز که در گیاهان C4 تثبیت کربن را انجام می‌دهد نسبت به آنزیم RUBP کربوکسیلاز میل ترکیبی بیشتری با CO_2 دارد. بنابراین در این گیاهان تثبیت CO_2بهتر صورت می‌گیرد.
- همچنین در این گیاهان با انتقال CO_2 به سلول‌های غلاف آوندی غلظت CO_2 در این سلول‌ها چندین برابر اتمسفر می‌شود(۲۰ تا ۳۰ برابر).
- تثبیت CO_2 توسط آنزیم RUBPکربوکسیلاز در محیطی با غلظت CO_2 بالا صورت گرفته بنابراین دیگر اکسیژن نمی‌تواند با CO_2 برای ترکیب با RUBPکربوکسیلاز رقابت کند در نتیجه تنفس نوری رخ نمی‌دهد، همین عدم وجود تنفس نوری در این گیاهان باعث عملکرد بالای آنها می‌شود.

چرخه CAM

نوع دیگر تثبیت CO_2 که CAM یا متابولیسم کراسولاسیون نامیده می‌شود، به طور عمده در گیاهان آبدار که دارای برگ‌ها یا ساقه‌های گوشتی هستند (نظیر آناناس، آگاو و کاکتوس) صورت می‌گیرد. چنین گیاهانی به شرایط خشک که کمی تعرق لازمه بقا است سازگار شده‌اند.

- در شرایط رطوبت کم، روزنه‌ها در شب باز شده و CO_2 جذب می‌کنند و در روز بسته می‌شوند. لذا شدت تعرق گیاه خیلی کم می‌شود.
- گونه‌های دارای چرخه CAM مانند گونه‌های C4، CO_2 را به صورت اسیدهای چهارکربنه با PEP کربوکسیلاز تثبیت می‌کنند و تفاوت آنها با گیاهان C4 در این است که این عمل در شب هنگامی‌که روزنه‌ها باز هستند درون واکوئل‌ها انجام می‌گیرد.

چرخه CAM


C4
CO2
Mesophyll cell
Organic acid
Bundle-sheath cell
CO2
CALVIN CYCLE
Sugar
1 CO2 incorporated into four-carbon organic acids (carbon fixation)
2 Organic acids release CO2 to Calvin cycle
CAM
CO2
Organic acid
Night
CO2
CALVIN CYCLE
Sugar
Day
(a) Spatial separation of steps
(b) Temporal separation of steps

چرخه CAM

- انرژی لازم برای این عمل را گلیکولیز تأمین می‌نماید.
- در روز تشعشع خورشید سبب بسته شدن شکاف روزنه‌های برگ‌ها می‌شود، لیکن این انرژی نوری جهت ادامه چرخه کالوین در کلروپلاست به کار می‌رود و CO_2 از اسید چهارکربنه آزاد می‌گردد، نظیر آنچه که در سلول‌های غلاف آوندی در گونه‌های C4 صورت می‌پذیرد.
- کلروپلاست گونه‌های CAM شباهت زیادی به کلروپلاست گونه‌های C3 دارد.
- فعالیت روزنه‌ها و عمل کربوکسیلاسیون گونه‌های CAM در شرایط مرطوب و مساعد ممکن است به‌صورت گونه‌های C3 تغییر پیدا کند.

تفاوت گیاهان C3 و C4

۱) اولین ماده ساخته شده در C3 یک ماده سه کربنه است در صورتی که اولین ماده تولیدی در گیاهان C4 یک ماده چهارکربنه می‌باشد.

۲) در سلول‌های مزوفیل (میان‌برگ) گیاهان C3 نشاسته ساخته و ذخیره می‌شود ولی در C4 در مزوفیل برگ فقط اسیدهای چهار کربنه تشکیل و سپس به سلول‌های غلاف آوندی (باندل شیت) منتقل و در آنجا نشاسته ساخته و ذخیره می‌شود.

۳) کلروپلاست‌های غلاف آوندی بزرگتر و گرانل‌های تکامل نیافته‌تری نسبت به کلروپلاست سلول‌های مزوفیل برگ دارند. کلروپلاست غلاف آوندی نسبت کلروفیل a به b بیشتری هم دارند و به دیواره غشاء سلول نزدیکتر هستند.

تفاوت گیاهان C3 و C4

۴) گیاهان C4 آناتومی کرانز دارند ولی گیاهان C3 ندارند.

۵) در گیاهان C4 آنزیم های PEPc و RUBPc فعال هستند ولی در گیاهان C3 فقط RUBPc وجود دارد.

۶) در گیاهان C4 آنزیم روبیسکو (در سیکل کلوین) در غلاف آوندی و آنزیم PEPc (در سیکل هاش واسلک) در مزوفیل برگ در صورتی که در C3 آنزیم روبیسکو در مزوفیل برگ فعالیت می‌کند.

۷) میل ترکیبی آنزیم PEPc نسبت به CO_2 چند برابر آنزیم روبیسکو می‌باشد. به همین دلیل در گیاهان C4 که آنزیم PEPc وجود دارد در غلظت های بسیار پایین CO_2 بازده بیشتری داشته، قادر به انجام فتوسنتز هستند. PEPc برخلاف RUBPc حساسیتی به O_2 ندارد.

تفاوت گیاهان C3 و C4

۸) سرعت فتوسنتز به خصوص در شدت نورهای بالا در گیاهان C4 به مراتب بالاتر از گیاهان C3 است. سرعت فتوسنتز در شدت نور کم در گیاهان C3 بالاتر است در صورتی که در گیاهان C3 یک سوم طبیعی نور خورشید کافی است.

۹) در گیاهان C4 برای فعال شدن آنزیم PEPc و تثبیت CO_2 نسبت به گیاهان C3 دو مولکول ATP بیشتر نیاز دارند بنابراین عملکرد انرژی در گیاهان C4 کمتر است. گیاهان C3 برای تثبیت هر مولکول CO_2 نیاز به ۳ مولکول ATP و ۲ مولکول NADPHدارند ولی گیاهان C4 علاوه بر آنها، ۲ مولکول ATP دیگر هم نیاز دارند.

۱۰) میزان آنزیم روبیسکو در گیاهان C4 کمتر از C3 است (حدود ۱۰٪).

تفاوت گیاهان C3 و C4

۱۱) گیاهان C4 به شرایط گرم و خشک تا گرم و مرطوب سازگاری دارند ولی گیاهان C3 به مناطق سرد و مرطوب تا گرم و مرطوب نیاز دارند. در دمای کمتر از ۲۰ درجه فتوسنتز گیاهان C4 کمتر از C3 است.

۱۲) فتوسنتز در گیاهان C4 به میزان اکسیژن حساسیت ندارد.

۱۳) در گیاهان C4 تنفس نوری یا وجود نداشته یا بسیار محدود است ولی در گیاهان C3 بخشی از مواد فتوسنتزی از طریق این فرآیند هدر می‌رود. یکی از دلایل بالاتر بودن بازده فتوسنتزی C4 نسبت به C3 این مورد است. نقطه جبران CO_2 در گیاهان C4 خیلی پائین‌تر است (حدود ۵ – ۱ PPM).

تفاوت گیاهان C3 و C4

۱۴) نسبت کلروفیل a در C4 بیشتر از C3 است.

۱۵) اشباع سرعت تثبیت CO_2 در گیاهان C3 در غلظت PPM 500 ولی در گیاهان C4 در غلظت خیلی پائین‌تر حدود PPM150 روی می‌دهد.

۱۶) راندمان مصرف نور گیاهان C4 بیشتر از گیاهان C3 است.

فصل سوم
تنفس در گیاهان

مقدمه

- تمام موجودات زنده برای انجام فعالیت‌های زندگی روزمره خود مانند جذب، انتقال، حرکت، تولید مثل و یا حتی تنفس نیاز به انرژی دارند.

سئوال این است که این همه انرژی از کجا می‌آید؟

ما می‌دانیم که خوردن موادغذایی برای دریافت انرژی است.

- اما چگونه این انرژی از موادغذایی گرفته می‌شود؟
- چگونه این انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- آیا همه موادغذایی مقدار انرژی یکسانی دارند؟
- گیاهان چه می‌خورند و از کجا انرژی خود را تأمین می‌کنند؟
- میکرو ارگانیسم‌ها برای انرژی مورد نیاز خود چکار می‌کنند؟

مقدمه

- تمام انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای زندگی توسط اکسیداسیون برخی از ماکرومولکول‌ها که ما آنان را غذا می‌نامیم، بدست می‌آید.
- فقط گیاهان سبز و سیانوباکترها هستند که می‌توانند موادغذایی خود را آماده کنند.
- حتی در گیاهان سبز، اندام‌ها، بافت‌ها و سلول‌های غیر سبز، نیاز به موادغذایی برای اکسیداسیون دارند. از این رو، مواد غذایی به تمام نقاط غیر سبز گیاه منتقل می‌شود.
- حیوانات هتروتروف هستند و آنها موادغذایی خودشان را از گیاهان به طور مستقیم (گیاه‌خوار) و یا غیر مستقیم (گوشت‌خوار) به دست می‌آورند.
- ساپروفیت‌ها مانند قارچ وابسته به ماده مرده و پوسیدگی می‌باشند.

بخش ۱ :

مفهوم و نقش فیزیولوژیکی تنفس در گیاهان

مفهوم تنفس

تجزیه مولکول‌های پیچیده و شکستن پیوندهای کربنی این ترکیبات از طریق اکسیداسیون که در سیتوپلاسم و در میتوکندری (در یوکاریوت‌ها) رخ می‌دهد و منجر به انتشار مقدار قابل توجهی از انرژی می‌شود را تنفس (Respiration) گویند.

سوبستراهای تنفسی :

- ترکیباتی که در طول فرآیند تنفس اکسیده می‌شوند به عنوان سوبستراهای تنفسی شناخته می‌شوند که معمولا شامل کربوهیدرات‌ها، پروتئین، چربی و حتی اسیدهای آلی می‌باشند.
- در طول اکسیداسیون در درون یک سلول، همه انرژی موجود در سوبستراهای تنفسی که ATP است، طی یک سری از واکنش‌های کند و گام به گام که تحت کنترل آنزیمی است، منتشر می‌شود.

مفهوم تنفس

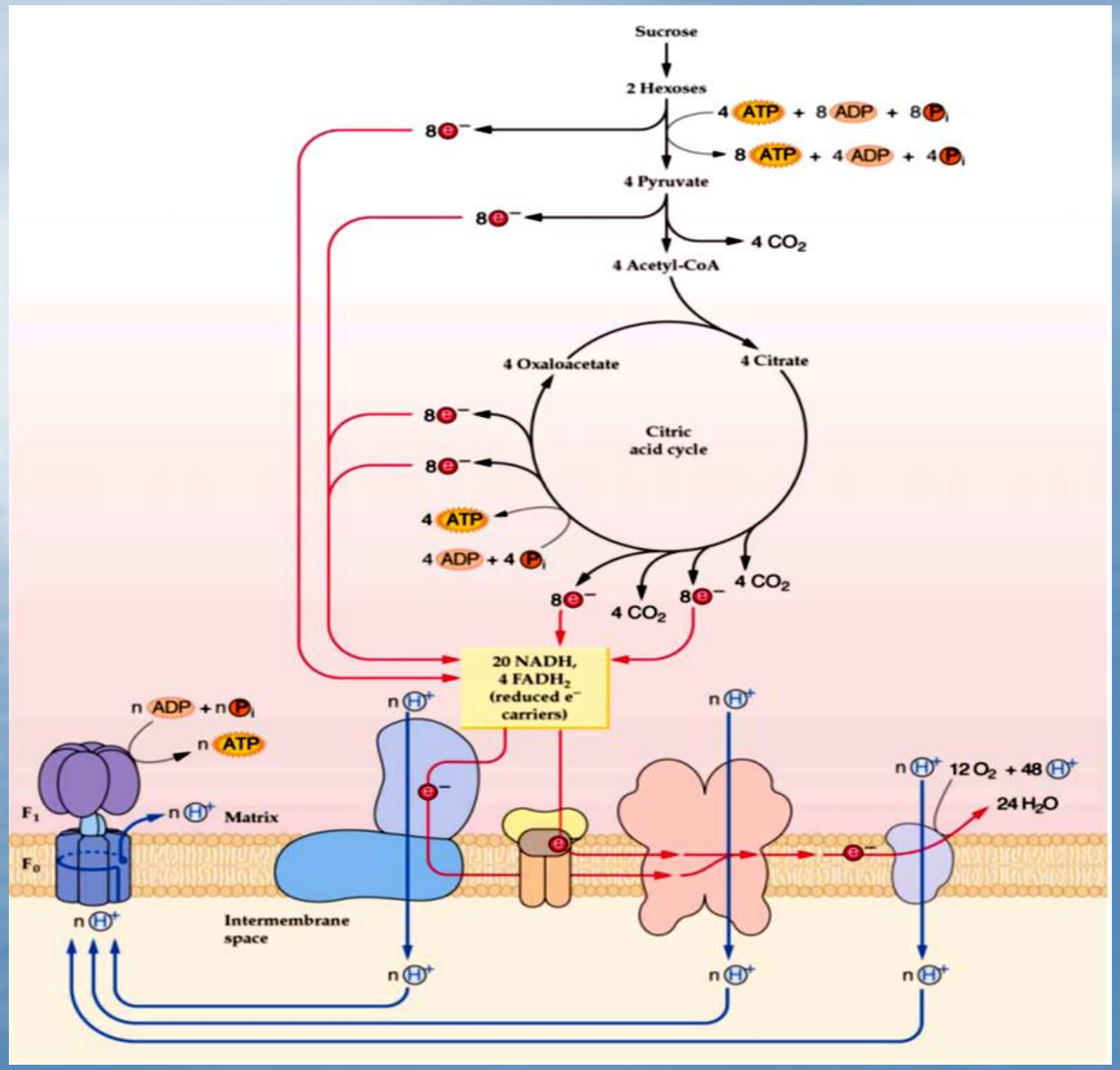
- باید بدانیم انرژی که توسط اکسیداسیون در تنفس، آزاد می‌شود، نمی‌تواند به طور مستقیم استفاده شود. بلکه در سنتز ATP، که شکسته می‌شود هر زمان و هر کجا که انرژی لازم است، استفاده می‌شود.
- بنابراین، ATP به عنوان انرژی رایج سلول عمل می‌کند.
- انرژی به دام افتاده در ATP در فرآیندهای مختلف نیازمند انرژی موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- چارچوب‌های کربنی تولید شده در طی تنفس به عنوان پیش‌سازهای بیوسنتز مولکول‌های دیگر در سلول استفاده می‌شود.

مفهوم تنفس

- گیاهان نیازمند اکسیژن برای تنفس هستند، ولی برخلاف حیوانات دارای هیچ ارگان تخصصی برای تنفس نیستند. تبادلات گازی آنها از طریق روزنه‌ها و عدسک‌ها انجام می‌شود.
- سوخت و ساز کامل گلوکز، که منجر به تولید CO_2 و H_2O به عنوان محصولات نهایی می‌گردد، بازده انرژی آن بیشتر به صورت حرارت بیرون داده می‌شود.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energy } (\Delta G')$$

مفهوم تنفس



تنفس فرآیندی است که شامل چند مرحله متمایز است و هر کدام از این مراحل در قسمتی از سلول اتفاق می‌افتد که شامل :

1. **گلیکولیز در سیتوزول**
2. **چرخه اسید سیتریک (چرخه کربس)**
3. **انتقال الکترون تنفسی**

مفهوم تنفس

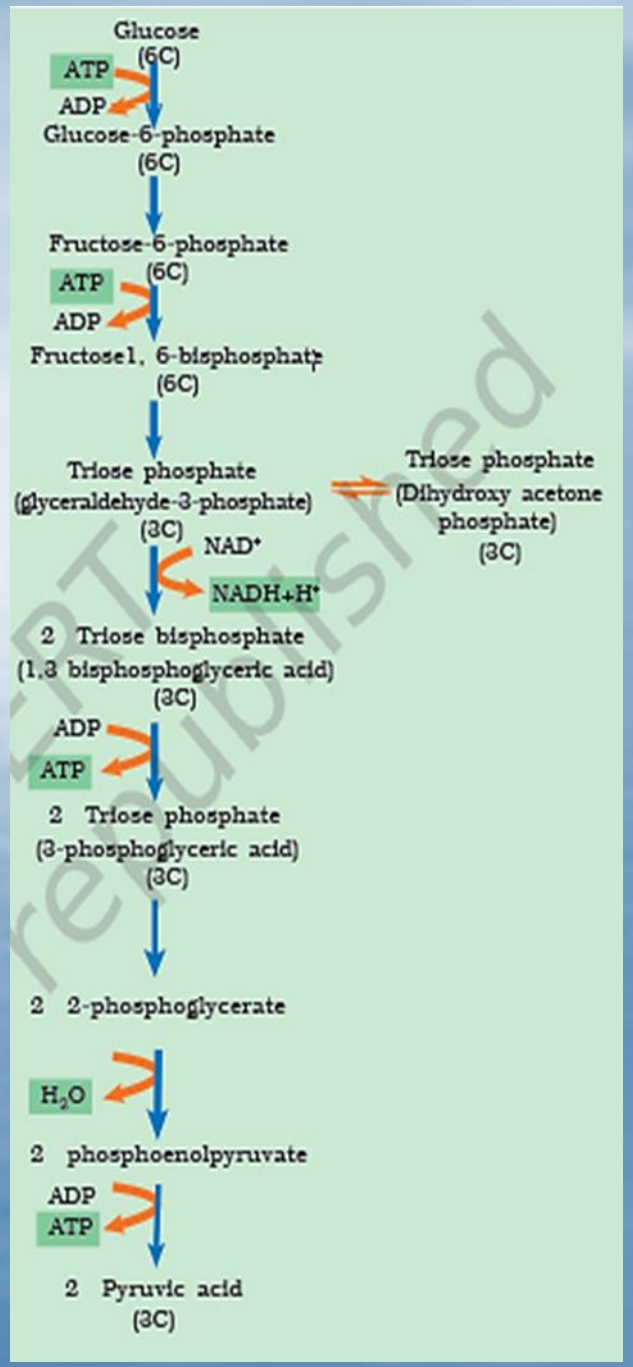
نقش‌های فیزیولوژیکی تنفس :

1. فراهم نمودن انرژی برای فعالیت‌های زندگی، ۳۶-۳۸ ATP
2. ارائه محصولات میانی برای بیوسنتزهای دیگر، اسید کتو و NADPH

گلیکولیز

- گلیکولیز از کلمات یونانی، گلیکوز یعنی قند و لیز یعنی تقسیم ،نشات گرفته است.
- در ارگانیسم‌های غیر هوازی، گلیکولیز تنها فرآیند تنفس می‌باشد.
- گلیکولیز در سیتوپلاسم سلول و در تمام زندگی موجودات زنده رخ می‌دهد.
- در این فرایند، گلوکز تحت اکسیداسیون جزئی به شکل دو مولکول اسید پیرویک درمی‌آید.
- در گیاهان، این قند از ساکارز که محصول نهایی فتوسنتز می‌باشد و یا از کربوهیدرات‌های ذخیره‌سازی شده مشتق شده است.
- ساکارز توسط آنزیم انورتاز به گلوکز و فروکتوز تبدیل شده، و این دو مونوساکارید به آسانی وارد مسیر گلیکولیتیک می‌شوند.

گلیکولیز



- در گلیکولیز، زنجیره‌ای از ۱۰ واکنش تحت کنترل آنزیم‌های مختلف، باعث تولید پیروات از گلوکز می‌شود، که در برخی مراحل با استفاده از مصرف ATP و همچنین تولید $NADH + H^+$ است که در برخی واکنش‌ها منجر به تولید انرژی (ATP) می‌گردد.

۱- گلوکز و فروکتوز توسط آنزیم هگزوکیناز به گلوکز ۶ فسفات فسفریله می‌شوند.

۲- گلوکز ۶ فسفات به فروکتوز ۶ فسفات ایزومره می‌شود.

- مراحل بعدی متابولیسم گلوکز و فروکتوز مشابه هستند.

گلیکولیز

۳- تبدیل فروکتوز ۶ فسفات به فروکتوز ۱، ۶ بیس فسفات

۴- فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات به دی هیدروکسی استون فسفات و ۳ فسفو گلیسر آلدئید (PGAL) تقسیم می‌شود.

۵- در اثر دو واکنش اکسیداسیون و احیا که باعث انتقال دو اتم H^+ از ۳ فسفو گلیسر آلدئید به NAD^+ و تبدیل به $NADH + H^+$ می‌شود، ۱ و ۳ بیس فسفو گلیسرات (BPGA) تولید می‌گردد.

۶- تبدیل BPGA به ۳ فسفو گلیسریک اسید (PGA) با آزادسازی انرژی همراه است.

- ATP دیگر در طول تبدیل PEP به اسید پیرویک سنتز می‌شود.

گلیکولیز

در گلیکولیز ATP در دو مرحله استفاده می‌شود :

1. در تبدیل گلوکز به گلوکز ۶ فسفات
2. در تبدیل فروکتوز ۶ فسفات به فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفات

❖ اسید پیرویک محصول کلیدی گلیکولیز است.

گلیکولیز

سرنوشت متابولیک پیروات چیست؟

این سرنوشت بستگی به نیازهای سلولی دارد که در سه مسیر عمده، سلول‌های مختلف اسید پیرویک تولید شده توسط گلیکولیز را اداره می‌کنند :

1. تخمیر اسید لاکتیک
2. تخمیر الکلی
3. تنفس هوازی

تخمیر

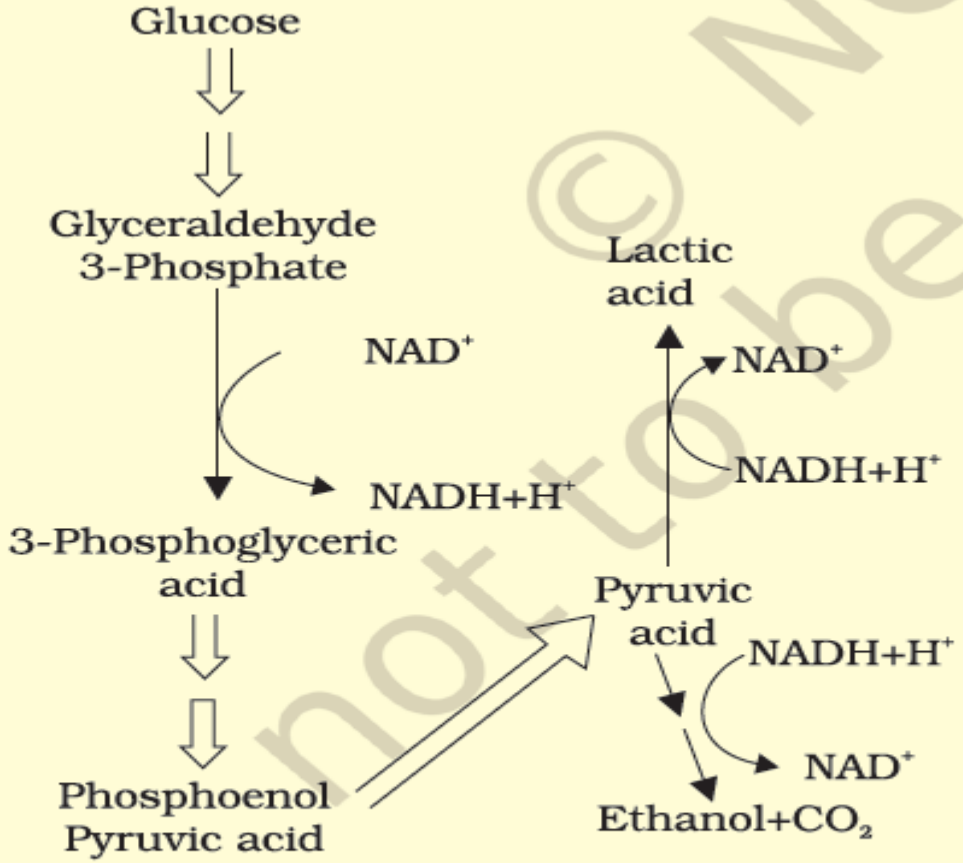


Figure 14.2 Major pathways of anaerobic respiration

- در تخمیر که به وسیله مخمرها صورت می‌گیرد، در اثر اکسیداسیون ناقص گلوکز تحت شرایط بی‌هوازی اسید پیرویک به CO_2 و اتانول تبدیل می‌شود. آنزیم‌های، اسید پیرویک دکربوکسیلاز و الکل دهیدروژناز این واکنش‌ها را کاتالیز می‌کنند.
- در سلول‌های حیوانی، مانند عضلات در طی ورزش هنگامی که اکسیژن برای تنفس سلولی ناکافی است، اسید پیرویک به اسید لاکتیک طی فرآیند دهیدروژناز لاکتات تبدیل می‌شود.

تخمیر

- در هر دو تخمیر اسید لاکتیک و الکل، انرژی ناچیزی آزاد می‌شود که کمتر از هفت درصد از انرژی نهفته در گلوکز می‌باشد.
- همچنین فرآیندهای تولید اسید یا الکل خطرناک است.

تنفس هوازی

- تنفس هوازی در میتوکندری صورت می‌گیرد.
- برای تنفس هوازی محصول نهایی گلیکولیز یعنی پیروات از سیتوپلاسم به داخل میتوکندری منتقل می‌شود.

رویدادهای حیاتی در تنفس هوازی عبارتند از:

1. اکسیداسیون کامل پیروات توسط حذف گام به گام همه اتم‌های هیدروژن و آزاد شدن سه مولکول CO_2
2. عبور الکترون‌های برداشته شده به عنوان بخشی از اتم‌های هیدروژن به مولکولی O_2 همزمان با سنتز ATP

- اولین فرایند در ماتریس میتوکندری و روند دوم در واقع در غشای داخلی میتوکندری انجام می‌گیرد.

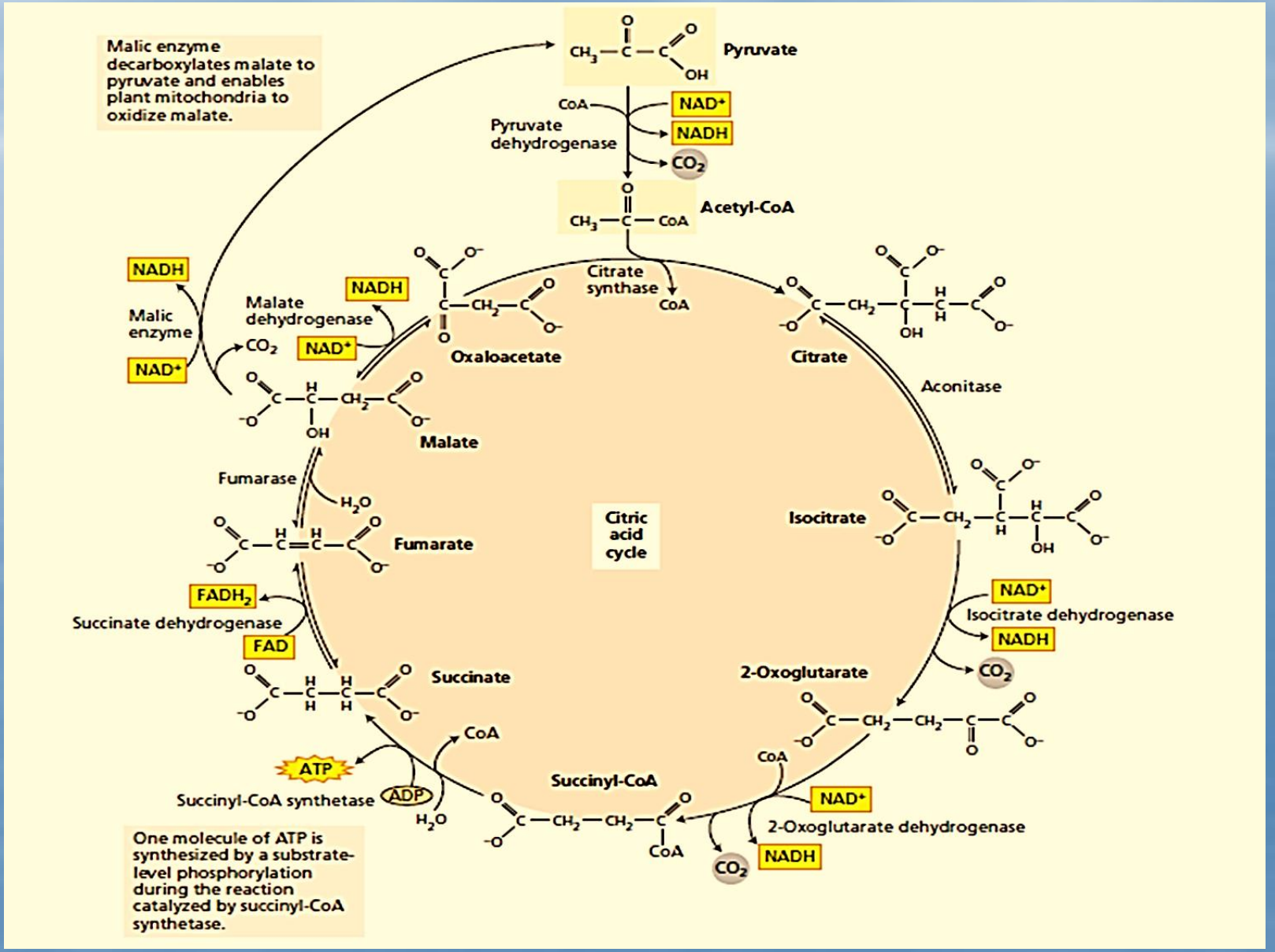
تنفس هوازی

- دکربوکسیلاسیون اکسیداتیو پیروات در ماتریس میتوکندری توسط مجموعه‌ای از واکنش‌های کاتالیز شده توسط آنزیم پیرویک دهیدروژناز انجام می‌گردد.
- واکنش‌های کاتالیز شده توسط پیرویک دهیدروژناز نیازمند مشارکت چند کوآنزیم، از جمله NAD^+ و کوآنزیم A است.

$$\text{Pyruvic acid} + \text{CoA} + \text{NAD}^+ \xrightarrow[\text{Pyruvate dehydrogenase}]{Mg^{2+}} \text{Acetyl CoA} + CO_2 + \text{NADH} + H^+$$

- سپس استیل کوآنزیم A وارد یک مسیر حلقوی به نام چرخه تری کربوکسیلیک اسید، که معمولا به عنوان چرخه کربس نامیده می‌شود، می‌گردد.

چرخه TCA


Malic enzyme decarboxylates malate to pyruvate and enables plant mitochondria to oxidize malate.
Pyruvate
CoA
NAD+
NADH
CO2
Pyruvate dehydrogenase
Acetyl-CoA
Citrate synthase
CoA
Oxaloacetate
Citrate
Aconitase
Isocitrate
NAD+
Isocitrate dehydrogenase
NADH
CO2
2-Oxoglutarate
CoA
NAD+
2-Oxoglutarate dehydrogenase
NADH
CO2
Succinyl-CoA
CoA
ATP
ADP
Succinyl-CoA synthetase
H2O
Succinate
FADH2
Succinate dehydrogenase
FAD
Fumarate
Fumarase
H2O
Malate
Malate dehydrogenase
NADH
NAD+
CO2
Malic enzyme
NADH
NAD+
Citric acid cycle
One molecule of ATP is synthesized by a substrate-level phosphorylation during the reaction catalyzed by succinyl-CoA synthetase.

چرخه TCA

- چرخه TCA با تغلیظ گروه استیل توسط اسید اگزالو استیک (OAA) و آب و تولید اسید سیتریک شروع می‌شود. این واکنش توسط آنزیم سیترات سنتاز و یک مولکول کوآنزیم A کاتالیز می‌شود.
- سیترات سپس به ایزوسیترات ایزومره می‌شود.
- طی دو مرحله پی در پی دکربوکسیلاسیون ابتدا آلفا کتوگلوتاریک اسید و سپس سوکسینیل کوآنزیم A تشکیل می‌گردد.
- در طول تبدیل شدن سوکسینیل کوآنزیم A به اسید سوکسینیک یک مولکول GTP سنتز می‌شود که یک زیر سطح فسفوریلاسیون است.
- در یک واکنش توأمان، GTP به GDP با سنتز همزمان ATP از ADP تبدیل می‌شود.

چرخه TCA

- در چرخه TCA در سه نقطه NAD^+ به $NADH + H^+$ و در یک نقطه از آن FAD^+ به $FADH_2$ احیا شده است.
- ادامه اکسیداسیون استیل کوآنزیم A از طریق چرخه TCA نیازمند دوباره پر کردن مداوم اسید اگزالو استیک است.
- علاوه بر آن نیز نیاز به بازسازی NAD^+ و FAD^+ به ترتیب از NADH و $FADH_2$ است.
- خلاصه معادله این مرحله از تنفس به شرح زیر است :

$$\text{Pyruvic acid} + 4NAD^+ + FAD^+ + 2H_2O + ADP + Pi \xrightarrow{\text{Mitochondrial Matrix}} 3CO_2 + 4NADH + 4H^+ + FADH_2 + ATP$$

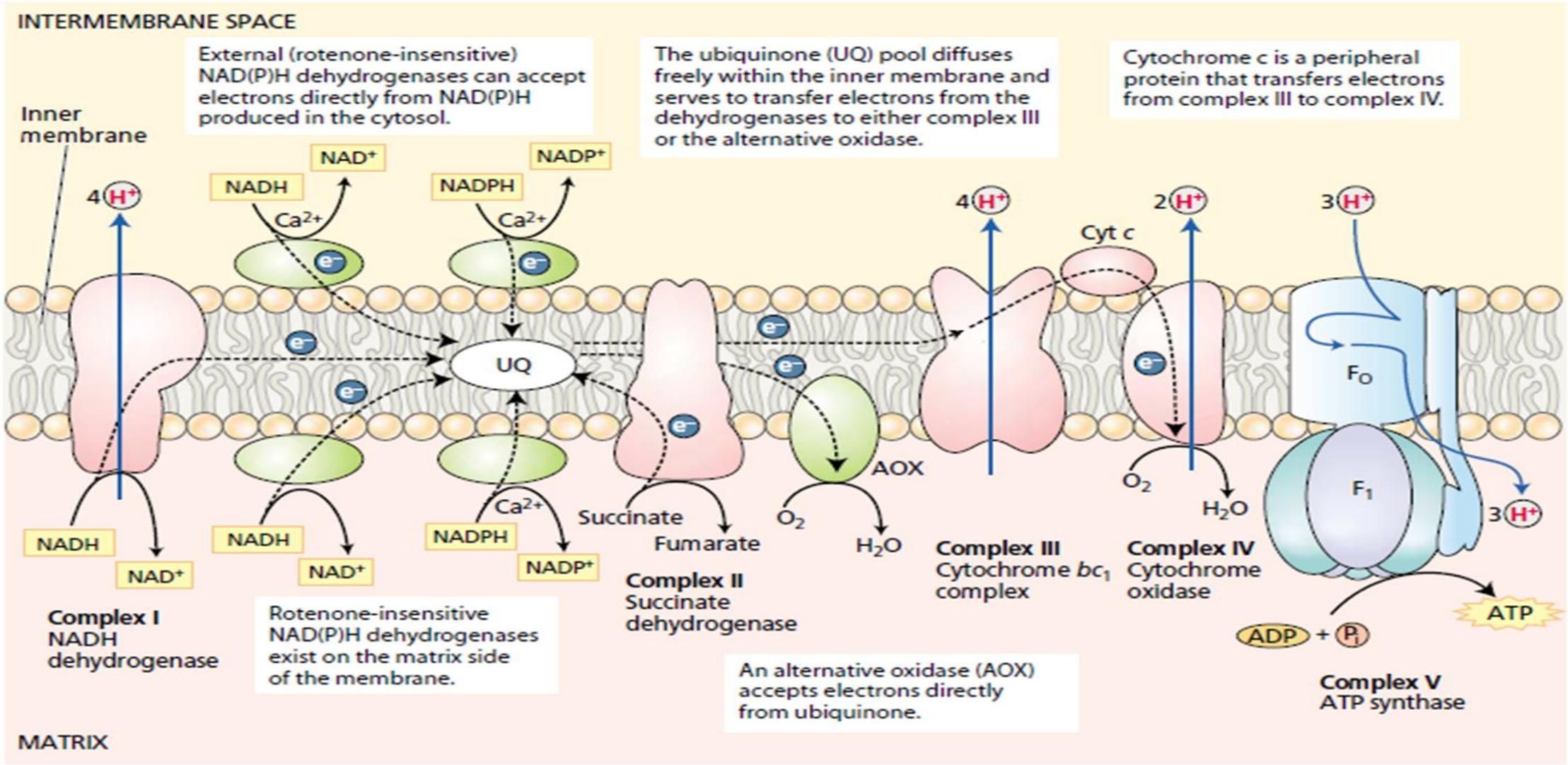
سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو

- سیستم انتقال الکترون که سیستم اکسیداسیون NADH و $FADH_2$ است باعث انتقال الکترون به O_2 و در نتیجه شکل‌گیری H_2O می‌شود.
- این سیستم در فرآیند تنفسی موجب انتشار و استفاده از انرژی ذخیره شده در $NADH + H^+$ و $FADH_2$ می‌گردد.
- الکترون‌ها از NADH تولید شده در ماتریس میتوکندری در طول چرخه اسید سیتریک توسط یک NADHدهیدروژناز اکسید شده (کمپلکس I) سپس الکترون‌ها به یوبی‌کیونن واقع در غشای داخلی منتقل می‌شود.

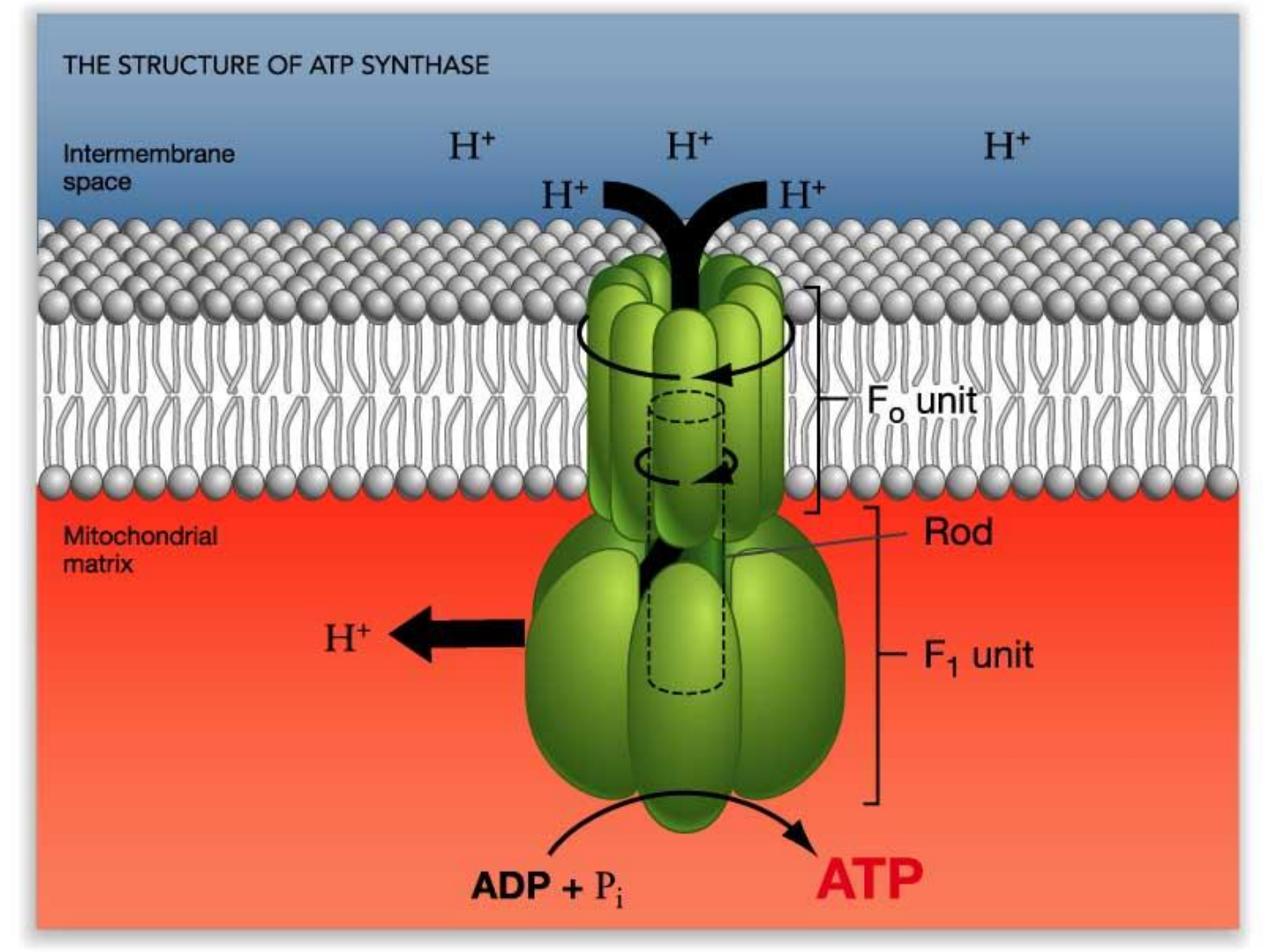
سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو

- همچنین یوبی‌کیونن معادل‌های احیا شده از طریق $FADH_2$ (کمپلکس II) که در طول اکسیداسیون سوکسینات در چرخه اسید سیتریک تولید شده‌اند را دریافت می‌کند.
- پس از آن یوبی‌کیونن احیا شده (ubiquinol) با انتقال الکترون‌ها به سیتوکروم C از طریق کمپلکس سیتوکروم bc_1 (کمپلکس III) اکسید می‌شود.
- سیتوکروم c یک پروتئین کوچک متصل به سطح خارجی غشای داخلی است و به عنوان یک حامل متحرک برای انتقال الکترون‌ها بین کمپلکس III و IV عمل می‌کند.
- کمپلکس IV اشاره به کمپلکس سیتوکروم اکسیداز حاوی سیتوکروم‌های a و a_3، و دو مرکز مس دارد.

سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو



سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو



- هنگامی که الکترون‌ها از یک حامل به حامل دیگر در زنجیره انتقال الکترون از طریق کمپلکس I تا IV عبور می‌کنند، آنها به ATPسنتاز (کمپلکس V) برای تولید ATP از ADP و فسفات معدنی، متصل می‌گردند.

سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو

- تعداد مولکول‌های ATP سنتز شده، بستگی به ماهیت دهنده‌های الکترون دارد.
- اکسیداسیون یک مولکول NADH، ۳ مولکول ATP و در حالی که یک مولکول $FADH_2$، ۲ مولکول ATP تولید می‌کند.
- اگرچه فرایند هوازی تنفس تنها در حضور اکسیژن صورت می‌گیرد، ولی نقش اکسیژن محدود به مرحله پایانی این فرایند است.
- حضور اکسیژن در فرایند تنفس هوازی حیاتی است، چرا که باعث پیشرفت کل فرایند از طریق حذف هیدروژن از سیستم می‌شود.

سیستم انتقال الکترون و فسفوریلاسیون اکسیداتیو

- اکسیژن به عنوان پذیرنده نهایی هیدروژن عمل می‌کند.
- بر خلاف فسفوریلاسیون نوری که در آن انرژی نور برای تولید شیب پروتون مورد نیاز است، در تنفس انرژی اکسیداسیون و احیا برای فرایند مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- به همین دلیل این فرآیند فسفوریلاسیون اکسیداتیو نامیده می‌شود.

مقایسه تخمیر و تنفس هوازی

1. در تخمیر تنها تفکیک جزئی گلوکز صورت می‌گیرد، در حالی که در تنفس هوازی گلوکز به طور کامل به CO_2 و H_2O تخریب می‌شود.
2. در تخمیر تنها دو مولکول ATP از هر مولکول گلوکز تولید می‌گردد، در حالی که تخریب اسید پیرویک تحت شرایط هوازی باعث تولید مولکول‌های بسیاری از ATP می‌شود.
3. اکسیداسیون NADH به NAD^+ در تخمیر نسبتاً به آرامی صورت می‌گیرد، در حالی که این واکنش در مورد تنفس هوازی بسیار شدید است.

مسیرهای متابولیکی تنفس

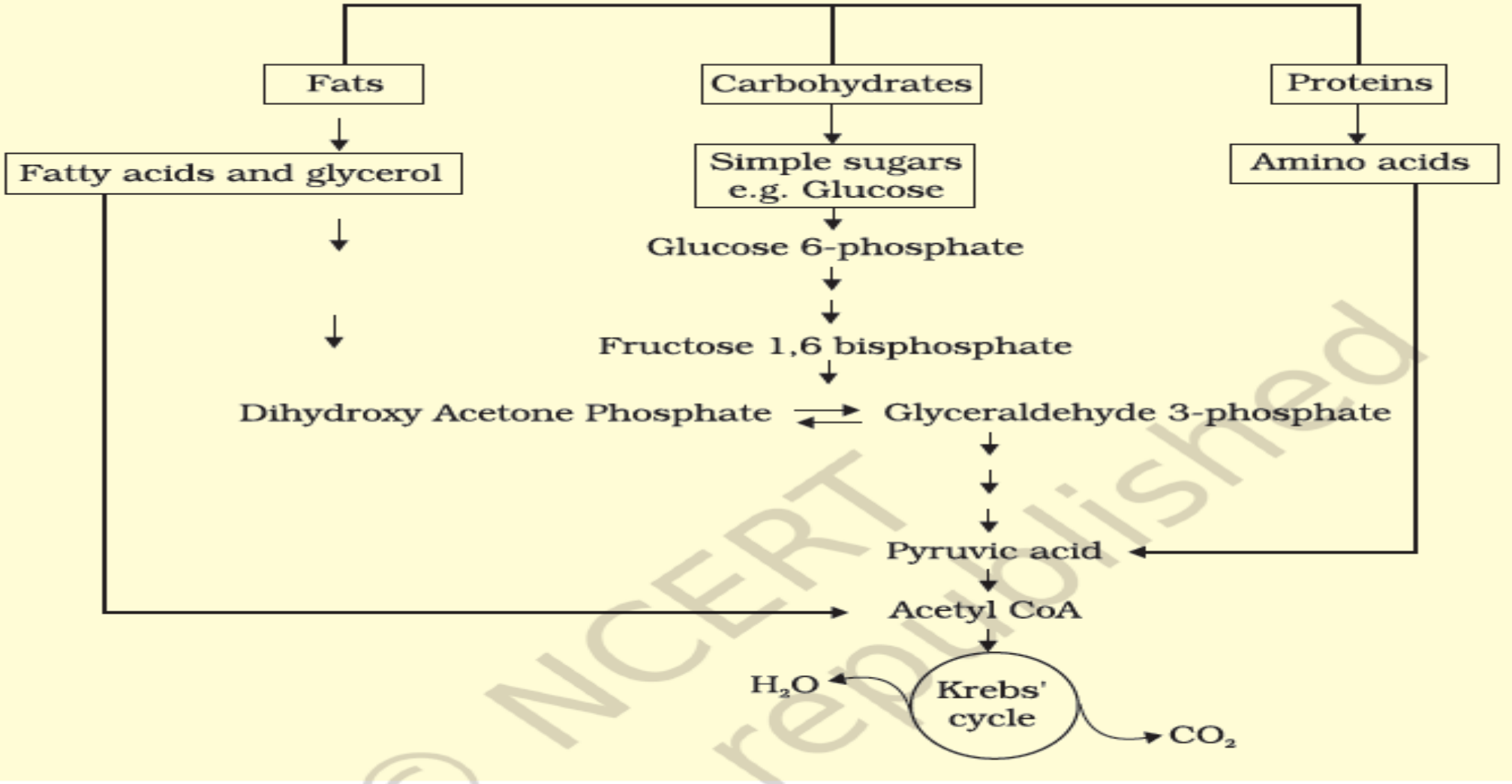


Figure 14.6 Interrelationship among metabolic pathways showing respiration mediated breakdown of different organic molecules to CO_2 and H_2O

© NCERT not to be republished

کسر تنفسی

- همانطور که می دانیم در طول تنفس هوازی، O_2 مصرف و CO_2 منتشر می‌شود.
- نسبت حجم CO_2 منتشر شده به حجم O_2 مصرفی در تنفس را کسر تنفسی (RQ) و یا نسبت تنفسی گویند.

$$RQ = \frac{\text{volume of } CO_2 \text{ evolved}}{\text{volume of } O_2 \text{ consumed}}$$

- خارج قسمت یا کسر تنفسی بستگی به نوع بستر تنفسی مورد استفاده در طول تنفس دارد.

کسر تنفسی

1. هنگامی که کربوهیدرات‌ها به عنوان سوبسترا استفاده می‌شوند، به طور کامل اکسیده شده و در نتیجه RQ = 1 خواهد بود.

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

$$RQ = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

2. هنگامی که چربی‌ها در تنفس استفاده می‌شوند در نتیجه RQ < 1 خواهد بود.

$$2(C_{51}H_{98}O_6) + 145O_2 \longrightarrow 102CO_2 + 98H_2O + energy$$

Tripalmitin

$$RQ = \frac{102CO_2}{145O_2} = 0.7$$

3. کسر تنفسی بسترهای پروتئینی حدود 0.9 است.

فصل چهارم
رشد و نمو گیاهی

مقدمه

- رشد و نمو از ویژگی‌های موجودات زنده است و وجه تمایز جاندارن از موجودات بی‌جان شمرده شده است.
- این فرایند موجب بقاء و توالی موجود زنده می‌گردد. تغییرات رشد و نمو در موجودات زنده از الگوهای ویژه‌ای پیروی می‌کنند.

الگوهای رشد و نموی در گیاهان تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار می گیرند :

1. عوامل درونی
2. عوامل بیرونی

رشد و نمو

۱- رشد (Growth) :

رشد عبارت است از افزایش وزن و یا حجم که به صورت برگشت‌ناپذیر همراه با ماده‌سازی در موجود زنده روی می‌دهد.

- **در طول زمان رشد گیاه از یک تخم بارور(زیگوت) پیکره گیاه پرسلولی که از قسمت‌های مختلف ریشه، برگ و ساقه تشکیل شده، تغییر می‌کند.**
- **در حقیقت رشد مجموعه‌ای از تغییرات کمی است نظیر افزایش ابعاد و تعداد سلول‌ها، طویل شدن میان گره‌ها، بزرگ شدن برگ‌ها و تشکیل برگ‌های جدید.**

رشد و نمو

رشد گیاهان در دو مرحله صورت می‌گیرد :

1. تقسیم سلولی (Cell division) : ایجاد سلول‌های همسان از سلول‌های تخم اولیه
2. افزایش ابعاد (Auxesis) : بزرگ شدن سلول‌های حاصل از تقسیم

- فرآیند رشد باعث افزایش ارتفاع، حجم و یا افزایش ماده خشک می‌گردد و می‌توان رشد را به هر کدام از این صفات مرتبط دانست.
- در حقیقت هرگونه تغییر کمی که در وزن و حجم موجود زنده می‌بینیم را رشد می‌گوییم.

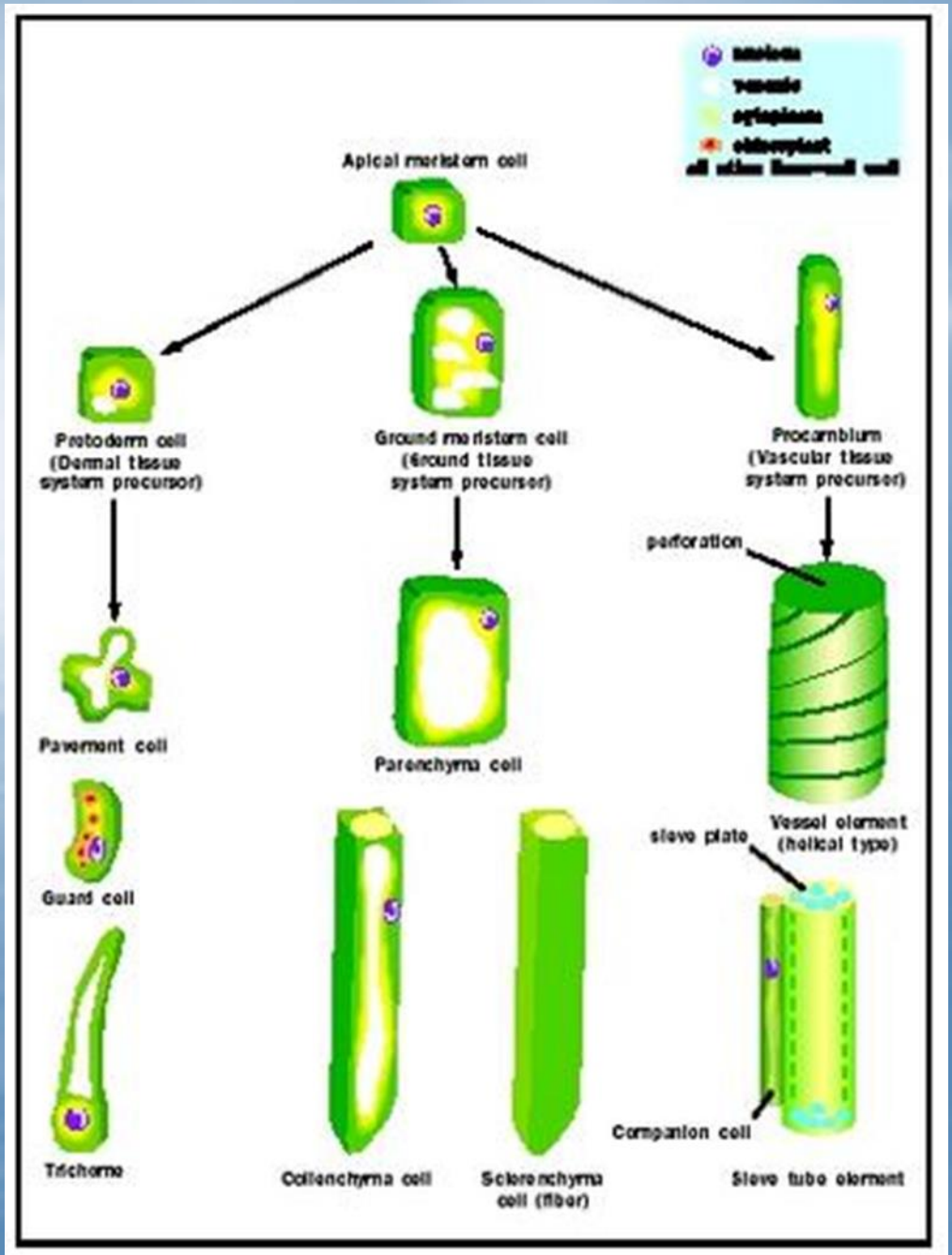
رشد و نمو

۲- نمو (Development) :

مجموعه تغییرات کیفی که منجر به عبور از یک مرحله زیستی به مرحله دیگر می‌شود را نمو گویند.

- **برای رسیدن به مرحله نمو وجود رشد ضروری است.**
- **منظور از نمو پیدایش بخش‌های جدید در گیاه است مثلا ورود گیاه از فاز رویشی به فاز زایشی.**

رشد و نمو



۳- تمایز (Differention) :

تمایز به تخصص یافتن سلول‌ها، بافت‌ها یا اعضا اطلاق می‌شود.

- چنین تخصصی ممکن است مورفولوژیکی یا وظیفه‌ای باشد و بعد از تقسیم سلولی آغاز می‌شود.
- عمل تمایزیابی مثلا درست بعد از آن که سلول به حداکثر اندازه خود رسید خاتمه می‌یابد.
- پدیده تمایز در شرایط رشد و نمو گیاه اتفاق می‌افتد.

رشد و نمو

❖ مهمترین عامل در بروز تمایز ایجاد تقسیم نامتقارن اولیه در سلول‌ها است که دلیل آن وجود قطبیت (Polarity) در محتویات سلولی است.

انواع تمایز :

1. تمایز درون سلولی (Intera Celluar) : تغییراتی که در یک سلول واحد اتفاق می‌افتد. مانند تغییر ترکیبات و ساختار دیواره، افزایش تعداد میتوکندری‌ها و پلاست‌ها، کاهش ریبوزوم‌ها و مقدار RNA و ..
2. تمایز بین سلولی (Inter Celluar) : سلول تخم ابتدا به دو سلول قاعده‌ای و انتهایی تقسیم شده که سپس هر یک از آنها به دو بخش جنین و بند از یکدیگر متمایز می‌گردند و در نهایت در داخل جنین دستجات مختلف سلول از یکدیگر متمایز شده که نتیجه آن بوجود آمدن لپه‌ها، ساقه و ریشه‌چه است.

رشد و نمو

- رشد و تمایز در طول زمان منجر به تشکیل یک موجود زنده با پیچیدگی ساختمانی و متابولیکی می‌شود.
- واژه نمو برای بیان فعالیت‌های ناشی از رشد و تمایز بکار برده می‌شود.

از مرحله رویش دانه و تبدیل تخم به موجود کامل ۳ فرآیند رخ می‌دهد :

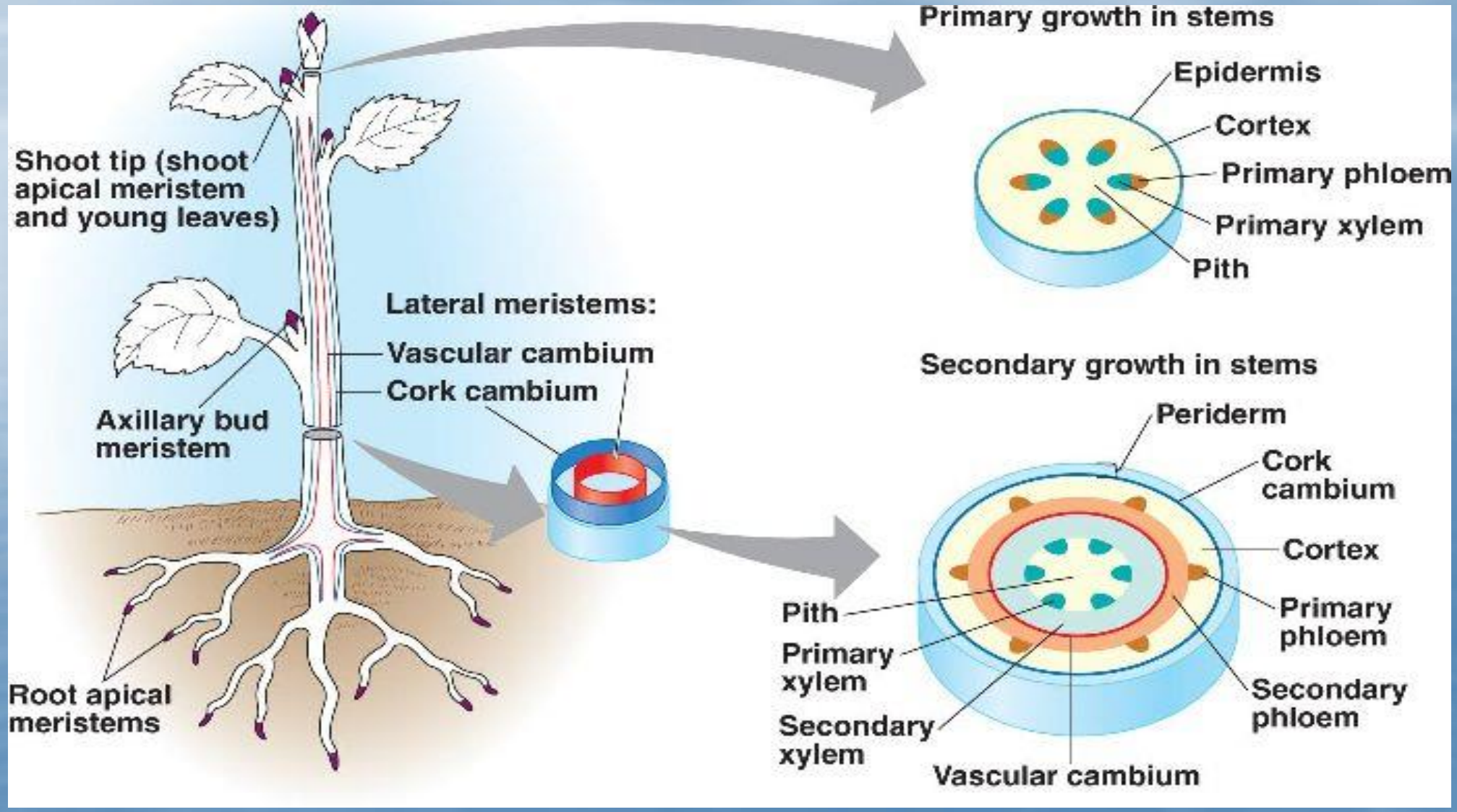
1. رشد (Growth)
2. تمایز سلولی (Cell differentiation)
3. ریخت‌زایی (Morphoyenesis)

رشد و نمو

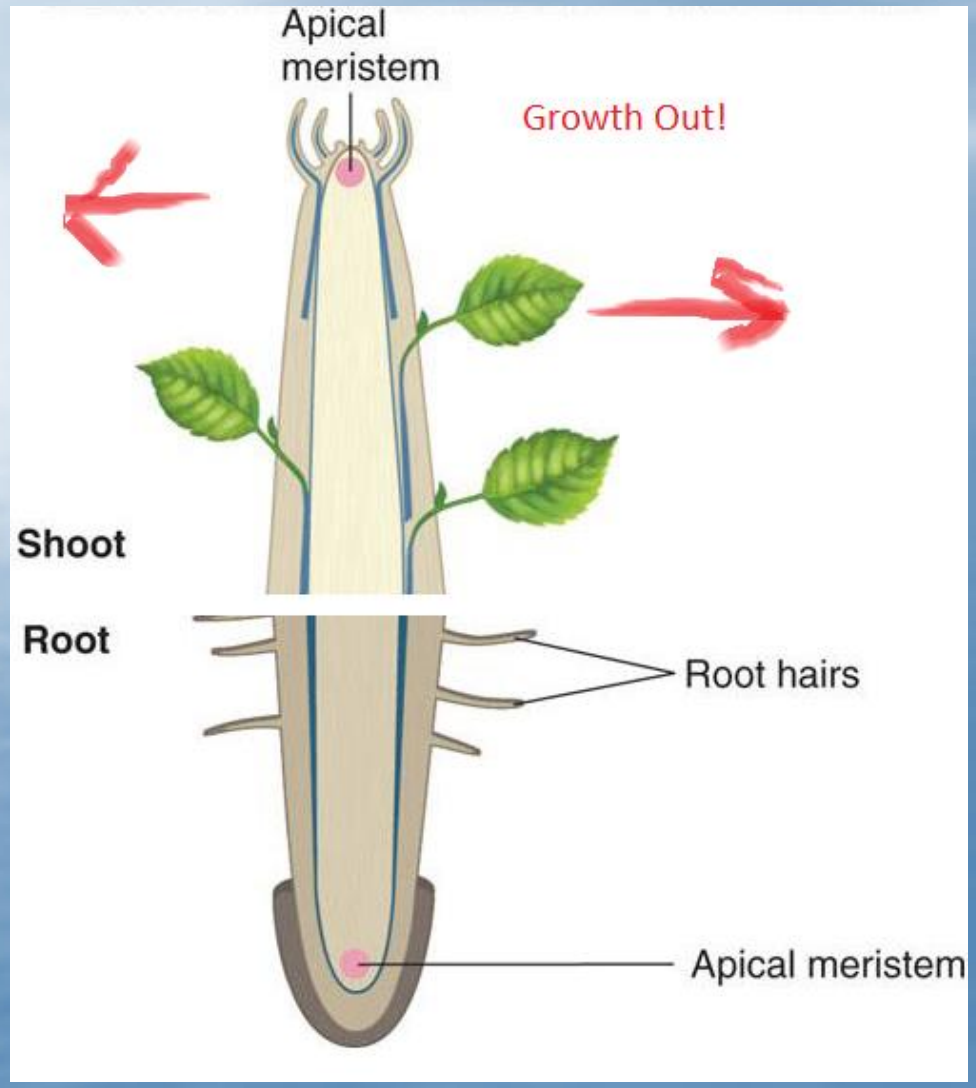
- معمولا رشد گیاهان در همه مراحل دوره زندگی ادامه می‌یابد و گیاه با ساختن اندام‌های جدید به رشد خود ادامه می‌دهد. این اعمال توسط مریستم‌ها انجام می‌شود که دو نوع رشد را حاصل می‌کنند :

1. رشد اولیه (Primary growth) : گسترش طولی یک گیاه در هر دو سمت سطح و زیر زمین که توسط مریستم انتهایی (Apical meristem) ریشه و ساقه صورت می‌گیرد.
2. رشد ثانویه (Secondary growth) : رشد عرضی و یا افزایش قطر یک گیاه است و توسط مریستم جانبی در ساقه و ریشه صورت می‌گیرد.

رشد و نمو


Primary growth in stems
Epidermis
Cortex
Primary phloem
Primary xylem
Pith
Shoot tip (shoot apical meristem and young leaves)
Lateral meristems:
Vascular cambium
Cork cambium
Axillary bud meristem
Root apical meristems
Secondary growth in stems
Periderm
Cork cambium
Cortex
Primary phloem
Secondary phloem
Pith
Primary xylem
Secondary xylem
Vascular cambium

مریستم‌ها



مریستم‌ها مناطقی هستند که تقسیم سلولی در آنها صورت می‌گیرد و همواره با مناطق توسعه و تمایز سلولی مرتبط می‌باشند. این سلولها دارای :

I. هسته درشت

II. میتوکندری‌های مشابه

III. واکوئل‌های بسیار کوچک

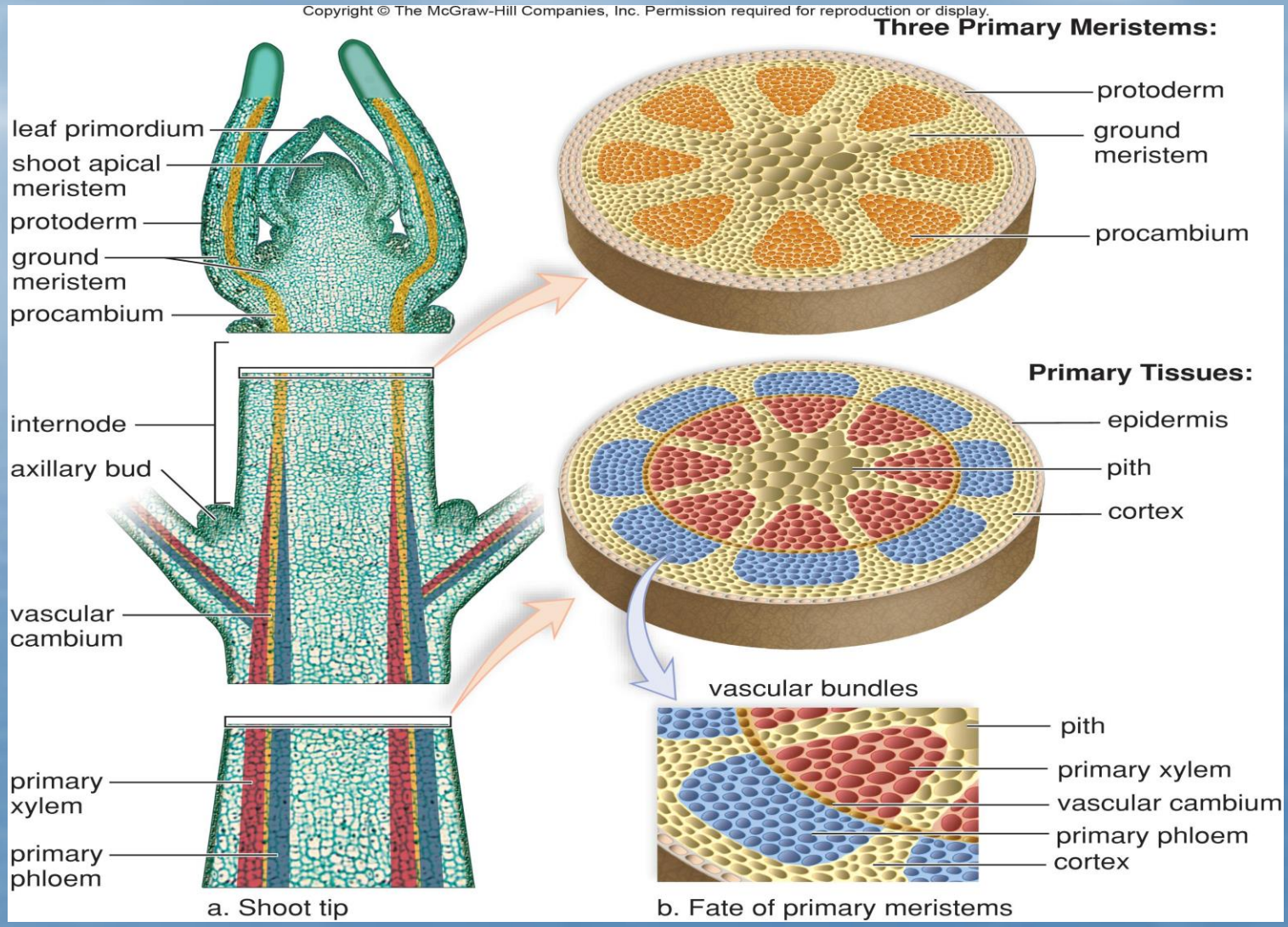
IV. دیواره اسکلتی نازک پکتوسلولزی

مریستم‌ها

۱) مریستم‌های اولیه (نخستین) :

- در بخش‌های انتهایی ساقه و ریشه وجود دارند.
- براثر تقسیم سلولی این مناطق توده‌های سلولی بوجود می‌آید که این توده‌ها طرح اولیه ریشه و ساقه را بوجود می‌آورند.
- این مریستم‌ها اندام‌زا (Organogen) هستند و مسئول رشد طولی ساقه و ریشه می‌باشند.
- ساختمان حاصل از این مریستم‌ها را ساختمان اولیه (Primary structure) می‌نامند.

مریستم‌ها

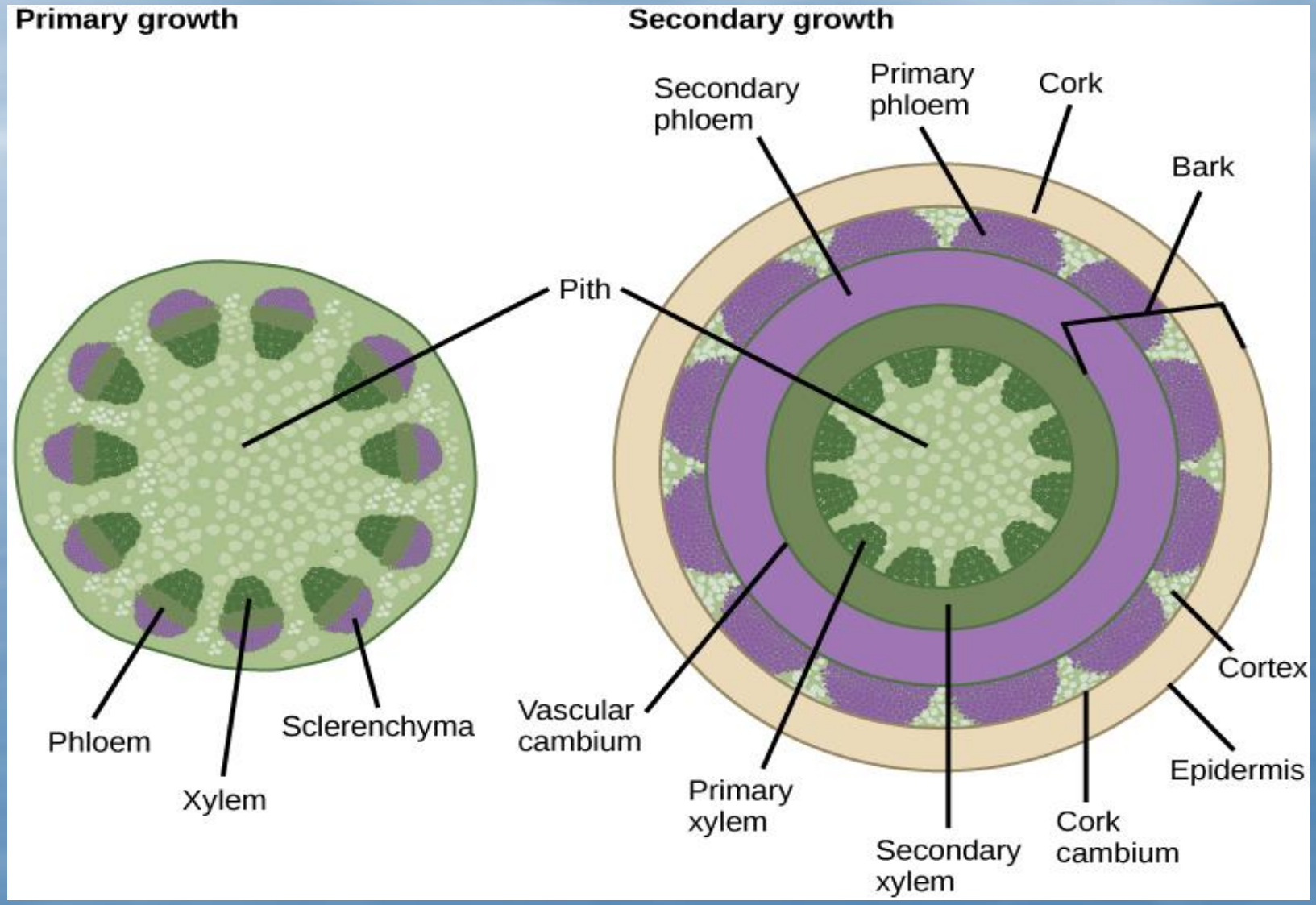

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.
leaf primordium
shoot apical meristem
protoderm
ground meristem
procambium
internode
axillary bud
vascular cambium
primary xylem
primary phloem
a. Shoot tip
Three Primary Meristems:
protoderm
ground meristem
procambium
Primary Tissues:
epidermis
pith
cortex
vascular bundles
pith
primary xylem
vascular cambium
primary phloem
cortex
b. Fate of primary meristems

مریستم‌ها

۲) مریستم‌های ثانویه (پسین) :

- باعث رشد قطری گیاه می‌شوند و کامبیوم (Cambium) نام دارند.
- بر اثر تقسیم این سلول‌های مریستمی، مناطق توده‌ای سلولی حاصل می‌شود که مستقیما می‌توانند به بافت‌های مختلف متمایز شوند.
- این مریستم‌ها بافت‌زا (Histogen) هستند.
- کامبیوم آوندها تولید آوندهای چوب و آبکش جدید را باعث می‌شود و کامبیوم چوب پنبه‌زا، چوب پنبه تولید می‌کند.

مریستم‌ها


Primary growth
Secondary growth
Secondary phloem
Primary phloem
Cork
Bark
Pith
Phloem
Xylem
Sclerenchyma
Vascular cambium
Primary xylem
Secondary xylem
Cork cambium
Cortex
Epidermis

بذر

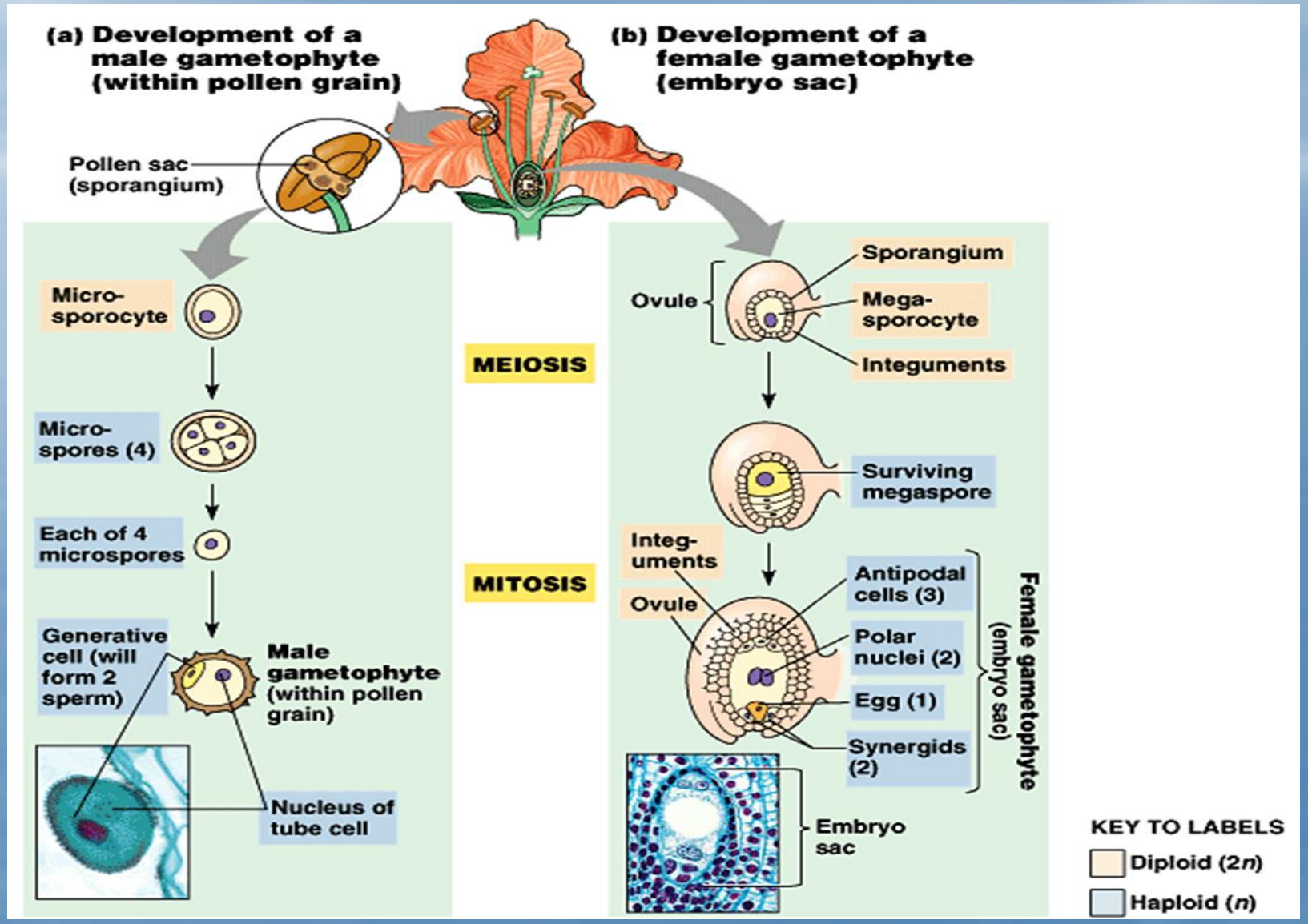
- **بذر**، جنینی محصور در یک پوشش حفاظتی بیرونی به نام پوسته بذر است.
- بذر یک ویژگی در گیاهان اسپرماتوفیت‌ها (spermatophytes) (بازدانگان و نهاندانگان) است.
- بذر محصول تخمک رسیده است که پس از لقاح و رشد در گیاه مادر رخ می‌دهد.
- تشکیل بذر، طی فرآیند تولیدمثل در گیاهان دانه‌دار که با توسعه گل و گرده‌افشانی آغاز می‌شود، و با تشکیل جنین از زیگوت و پوشش بذر کامل می‌شود.

تشکیل گامت‌ها

a) در داخل هر کیسه بساک سلولهای دیپلوئید (2n) به نام سلولهای مادر میکروسپور یا مادر دانه گرده وجود دارند . هر کدام از این سلولها با تقسیم میوزی ، چهار سلول هاپلوئید (n) به نام میکروسپور بوجود می‌آورد . سپس هسته هر میکروسپور به طریق میتوز تقسیم می‌شود و دو هسته پدید می‌آورد یکی از این هسته‌ها با مقداری سیتوپلاسم سلول زایشی را بوجود می‌آورد و هسته دیگر با بقیه سیتوپلاسم به سلول رویشی تبدیل می‌شود .

b) سلول مادر مگاسپور که نزدیک سفت است (2n) با تقسیم میوزی چهار مگاسپور هاپلوئید (n) تولید می‌کند. سه مگاسپور که به سفت نزدیکترند عموما متلاشی می‌شوند، اما چهارمین مگاسپور که از سفت دورتر است بزرگتر می‌شود و با انجام سه بار تقسیم میتوزی هشت هسته هاپلوئید تولید می‌کند. شش هسته با مقداری از سیتوپلاسم به ۶ سلول کامل و مجزا و دو هسته قطبی نیز یک یاخته دو هسته‌ای (2n) را تشکیل می‌دهند. در کیسه جنینی مجاور سفت یک یاخته تخمزا همراه با دو یاخته قرینه و در مرکز یاخته‌های مادر آندوسپرم و دورتر از سفت یاخته‌های متقاطر قرار دارند. کیسه جنینی در این مرحله از رشد آماده لقاح است .

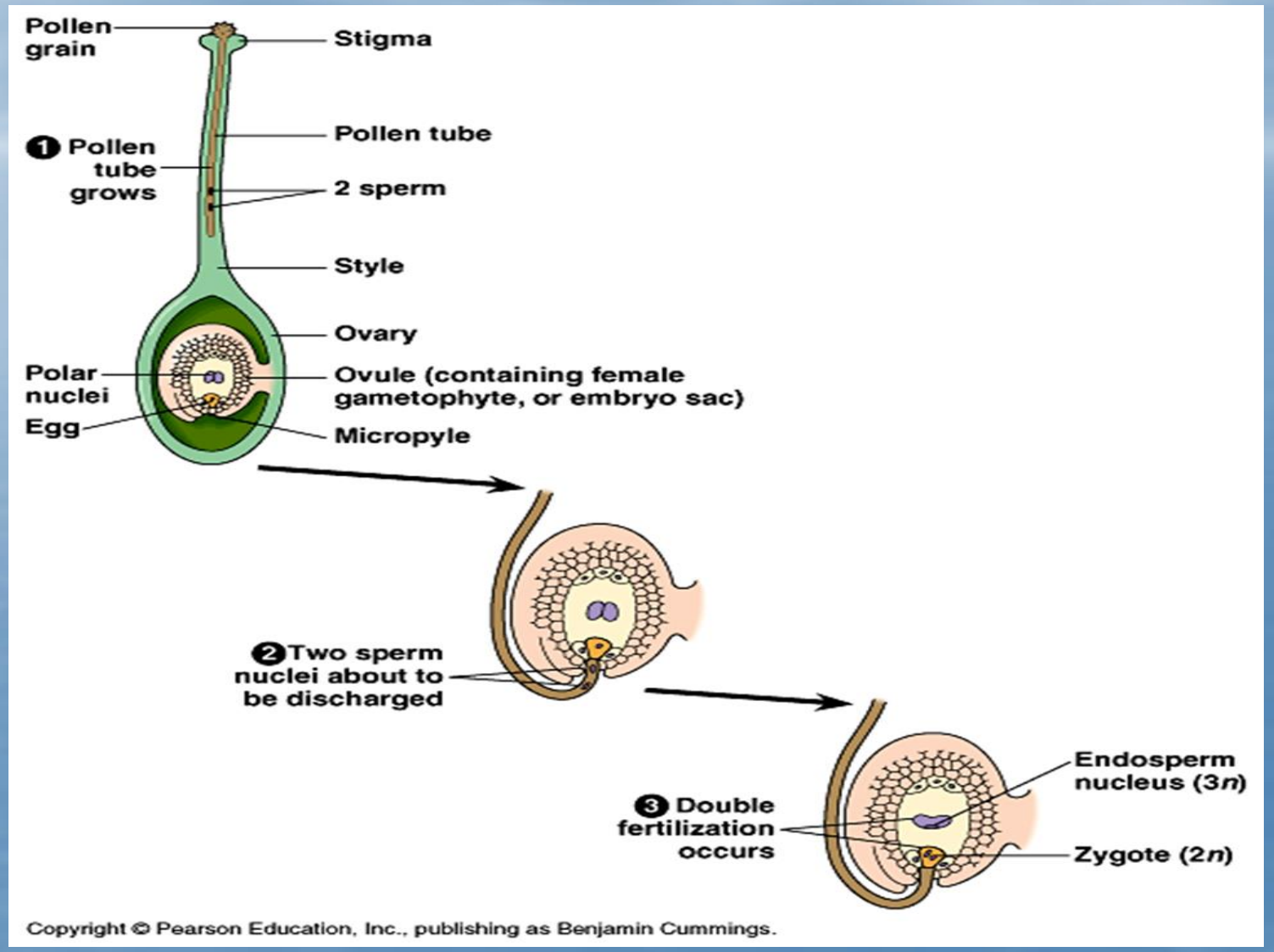
تشکیل گامت‌ها



لقاح

- لقاح به معنی ترکیب گامت‌های نر با گامت‌های ماده و تشکیل میوه و بذر است.
- پس از نشستن دانه گرده بر روی کلاله جوانه زده و لوله گرده ایجاد می‌گردد تا پس از طی مسیر خامه وارد تخمدان شده و به تخمک برسد.
- از ترکیب هسته هاپلوئید اسپرم با هسته هاپلوئید تخمزا یک هسته دیپلوئید به نام سلول تخم بوجود می‌آید. دومین اسپرم با هسته ثانویه (یاخته مادر آندوسپرم) ترکیب و آندوسپرم نخستین را تشکیل می‌دهد. که 3n کروموزومی است.
- ترکیب همزمان دو یاخته نر، یکی با تخمزا و دومی با یاخته مادر آندوسپرم را لقاح مضاعف می‌گویند.
- دیواره تخمدان (فرابر) به بخش گوشتی میوه تبدیل شده و از بذر حفاظت می‌کند.

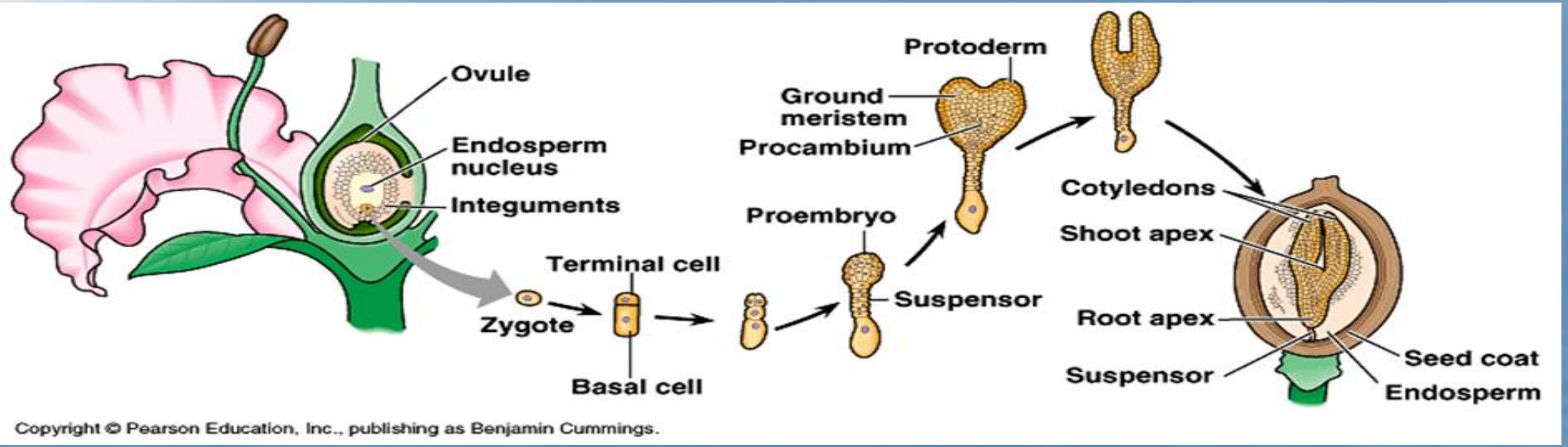
لقاح



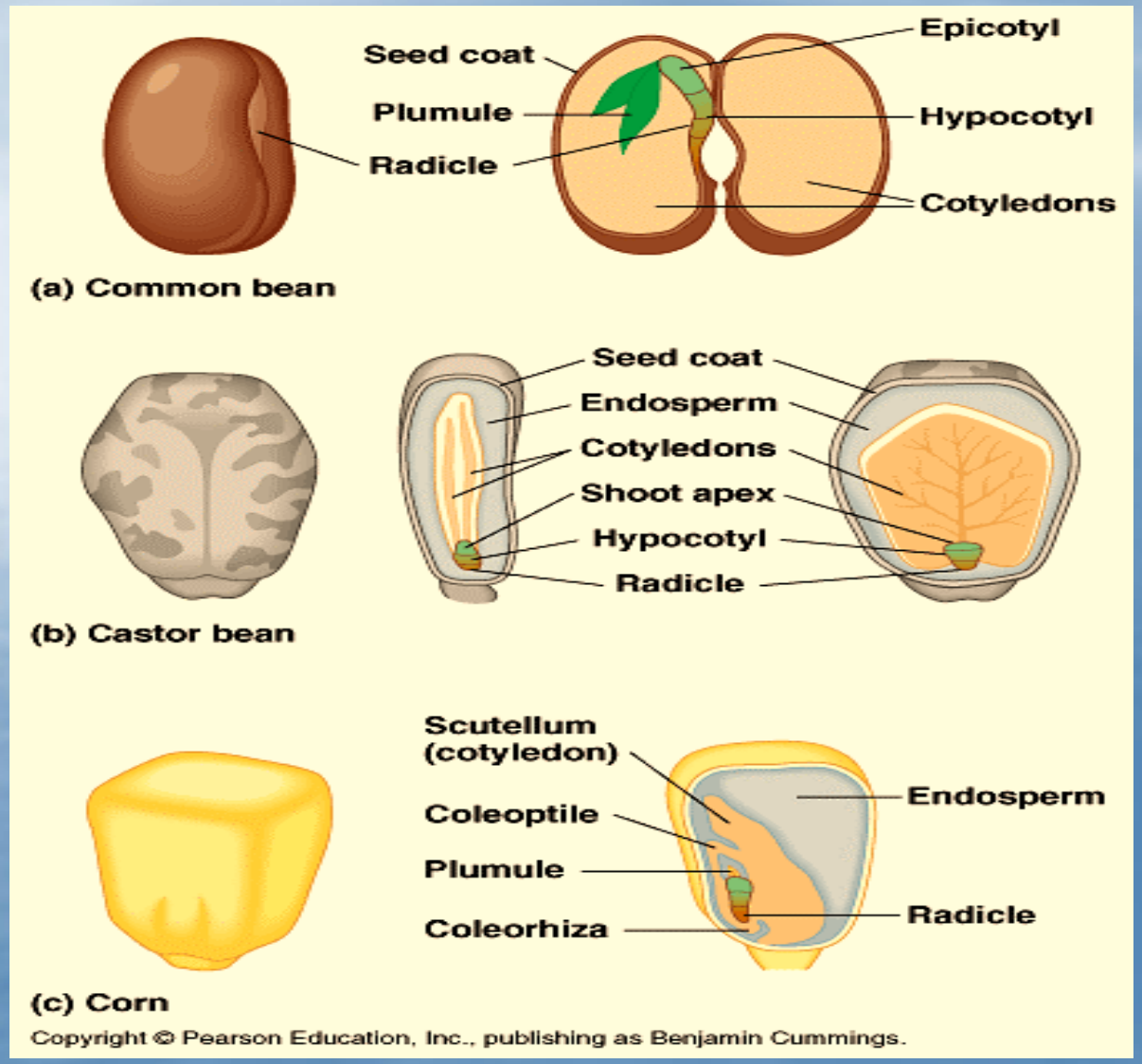
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

لقاح

با بوجود آمدن زیگوت (سلول تخم)، تقسیم‌های متوالی در آن صورت می‌گیرد که ابتدا به صورت میله‌ای دو قسمتی بوده سپس یک قسمت قلبی و در ادامه اژدری می‌شود و به گیاهچه که شامل ریشه‌چه و ساقه‌چه است تبدیل و توسط آندوسپرم محافظت می‌گردد.



بذر



اجزای اصلی بذرها عبارتند از :

1. رویان
2. بافت‌های ذخیره‌ای
3. پوشش‌های بذر

برای شروع جوانه‌زنی بذر سه شرط لازم است :

1) بذر زنده باشد و قوه نامیه داشته باشد.
2) بذر در شرایط محیطی مناسب قرار گیرد.
3) هر نوع رکود اولیه بذر شکسته شود.

جوانه‌زنی بذر

عوامل محیطی موثر در جوانه‌زنی بذر :

۱)رطوبت : رطوبت برای جوانه زدن بذر باید به مقداری باشد که بذر را کاملا اشباع کرده و پوسته داخلی بذر را نرم کند.

۲) دما : درجه حرارت مهمترین عامل محیطی تنظیم کننده جوانه‌زنی و رشد بعدی گیاه حاصله از بذر است. زیرا بر روی میزان جذب آب و سرعت اعمال متابولیکی داخل بذر اثر می‌گذارد. دامنه دمایی برای جوانه زدن بذر در گیاهان به گونه گیاه و حتی رقم بستگی دارد. بسیاری از بذور در دمایی بین ۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد جوانه می‌زنند.

جوانه‌زنی بذر

۳) اکسیژن : برای جوانه زدن سریع و یکنواخت تبادل خوب گازها میان جنین و محیط جوانه‌زنی از اهمیت خاصی برخوردار است. موقعی که اکسیژن در دسترس بذر قرار نگیرد مقدار زیادی الکل و اسید لاکتیک در آن جمع می‌شود و باعث مرگ بذر می‌گردد.

۴) نور : نور ممکن است جوانه زدن بذر را تسریع کرده یا از جوانه زدن بذر جلوگیری کند. بذرهای حساس به نور غالبا ریز هستند و قرار دادن آنها نزدیک سطح خاک از نظر جوانه زدن مناسبتر است.

در داخل گیاهان یک رنگیزه پروتئینی به نام فیتوکروم وجود دارد که طول روز و جوانه زنی بذر را کنترل می‌کند. فیتوکروم در دو شکل مختلف یعنی در اول صبح فیتوکروم قرمز (R) و در شب فیتوکروم قرمز دور (FR) خواهیم داشت. نور قرمز باعث تحریک ولی نور قرمز دور مانع جوانه‌زنی می‌شود.

همیشه آخرین نوری که روی بذر تابیده می‌شود اهمیت بیشتری دارد.

جوانه‌زنی بذر

خفتگی یا رکود اولیه بذور :

هنگامی که یک بذر از گیاه جدا می‌شود عاملی به نام خفتگی اولیه از جوانه زدن فوری بذر جلوگیری می‌کند.

در طبیعت انواع مختلفی از خفتگی اولیه وجود دارد که عبارتند از :

۱- خفتگی فیزیکی (خفتگی پوسته بذر) : پوسته بعضی از بذرها نسبت به آب غیر قابل نفوذ هستند. مانند پیچک، سیب‌زمینی، پنیرک.

۲- خفتگی مکانیکی (پوسته های سخت بذر) : در بعضی بذرها ممکن است آب نفوذ کند ولی اجازه خروج گیاهچه از داخل بذر را نمی‌دهد. مثل میوه‌های هسته‌دار، گردو، زیتون.

جوانه‌زنی بذر

۳- خفتگی شیمیایی (خفتگی بازدارندگی) : در این نوع بذرها علت خواب بدلیل وجود مواد بازدارنده در پوسته و یا قسمت‌های دیگر بذر است که با شستن بذر و یا برداشتن پوسته تا حدودی برطرف می‌شود. مثل خرفه، خردل، بنفشه، نعناع، کتان.

۴- خفتگی مرفولوژیکی (رویان نابالیده و رویان توسعه نیافته) : در بعضی از گیاهان در موقع چیدن میوه جنین هنوز کامل نیست و اصطلاحاً یک دوره پس‌رسی After ripening لازم دارد تا جنین کامل شود. مثل تیره آلاله، شقایق، آرالیاسه.

۵- خفتگی فیزیولوژیکی : یکی از متداولترین رکودها است که در بذرهای تازه برداشت شده مشاهده می‌شود. این رکود به وسیله مواد تنظیم کننده رشد داخلی و شرایط محیطی و نور کنترل می‌شود.

جوانه‌زنی بذر

- برای شکستن رکود فیزیولوژیکی بذر باید آن را مدتی در معرض دمای پایین و یا دماهای متناوب قرار داد همچنین استفاده از موادی مثل نیترات پتاسیم و اسید جیبرلیک در شکستن خواب این بذرها مؤثر است. بذر بسیاری از درختان و درختچه‌های مناطق معتدله این نوع خواب را دارند.

۶- رکود مضاعف (دوگانه) : زمانی که خواب بذر مربوط به دو یا چند نوع رکود، مثلاً هم مربوط به پوسته بذر و هم جنین باشد. این حالت در بذر درختان و درختچه‌های مناطق معتدله وجود دارد.

رکود ثانویه بذر :

رکودی است که بعد از رفع رکود اولیه بذر، در مواجهه با شرایط نامساعدی چون تاریکی، دمای زیاد یا کم، نور مداوم، کمبود آب و .... بذر دوباره به خواب می‌رود. این رکود بقای بذر در شرایط نامساعد را تضمین می‌کند.

جوانه‌زنی بذر

مراحل جوانه‌زنی :

۱) جذب آب :

جذب آب در بذرها از یک الگوی سه مرحله‌ای پیروی می‌کند :

I. در مرحله اول جذب آب به خاطر پتانسیل ماتریکس است. یعنی قسمت‌هایی مثل دیواره سلولی، نشاسته، میتوکندی و ... آب جذب می‌کنند.

II. در مرحله دوم جذب آب کند می‌شود ولی همچنان ادامه دارد که این مرحله به خاطر پتانسیل اسمزی منفی در سلول‌های زنده بذر و پتانسیل فشاری مثبت در دیواره سلول است.

III. در مرحله سوم جذب آب شدت پیدا می‌کند که بخاطر ظهور ریشه‌چه و طویل شدن آن است در این مرحله انبساط وتقسیم سلولی سریع است .

جوانه‌زنی بذر

جوانه‌زنی بذر

۲) تغییرات تنفس :

اولین تغییر متابولیکی که بعد از جذب آب در بذر صورت می‌گیرد افزایش سریع تنفس است که یک الگوی چهار مرحله‌ای دارد :

I. مرحله اول علت افزایش تنفس فعالیت و هیدراته شدن آنزیم‌هایی است که از قبل در میتوکندری وجود دارند و همچنین مربوط به فعال شدن چرخه اسیدسیتریک و انتقال الکترون است.

II. مرحله دوم علت کند شدن تنفس کاهش میزان اکسیژن یا محدود شدن حرکت هوا از بیرون به داخل بذر است.

III. مرحله سوم افزایش شدید تنفس دیده می شود که علت آن افزایش میزان اکسیژن در محیط و سنتز آنزیم‌های جدید در میتوکندری می‌باشد و در این مرحله تنفس هوازی صورت می‌گیرد.

IV. مرحله چهار کاهش شدید در تنفس وجود دارد که ناشی از خروج گیاهچه از خاک و شروع فتوسنتز است.

جوانه‌زنی بذر

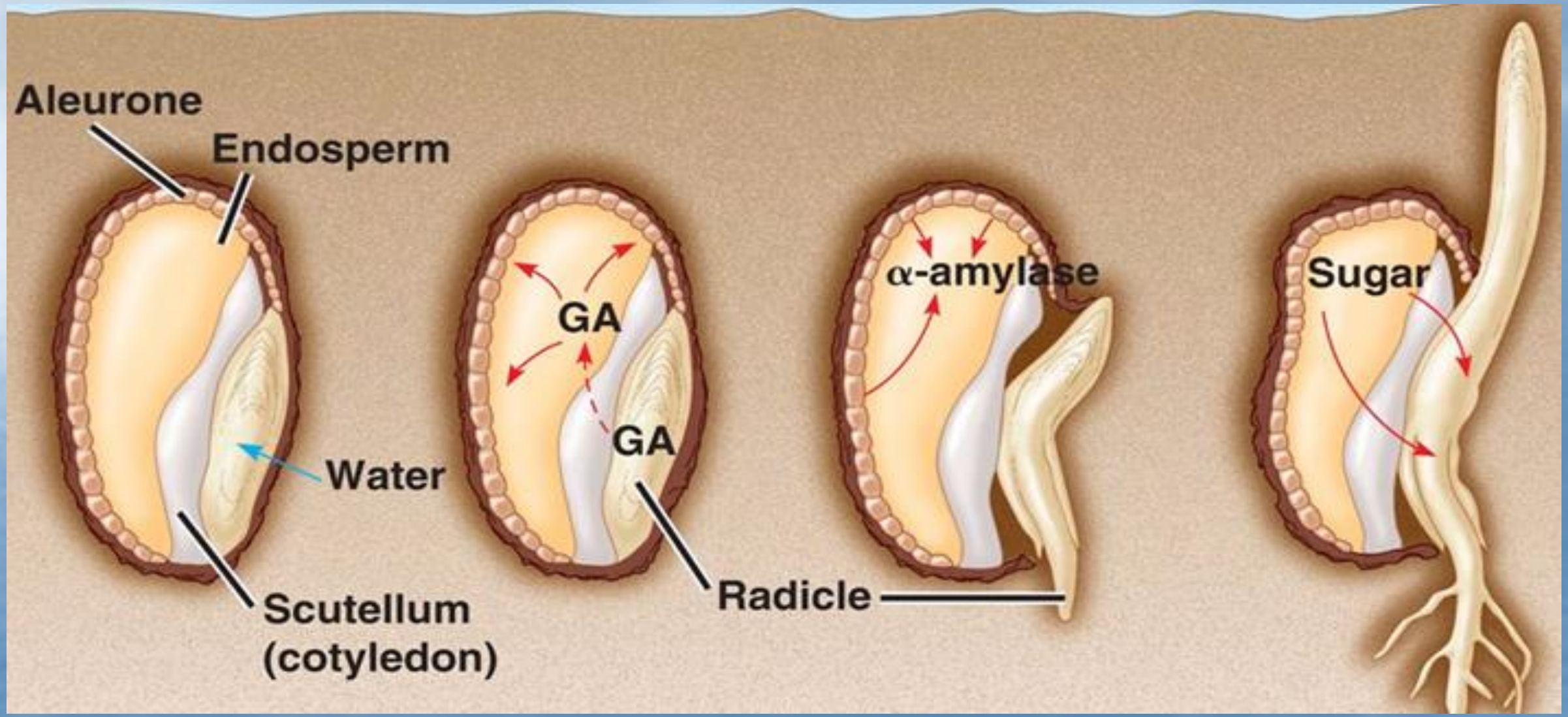
جوانه‌زنی بذر

۳) متابولیسم مواد ذخیره‌ای و انتقال مواد :

زمانی بذر می‌تواند از مواد ذخیره‌ای جهت جوانه‌زنی استفاده نماید که نشاسته به قند، چربی به اسیدهای چرب، پروتئین به اسیدهای آمینه و ... تبدیل شوند. آنزیم‌ها وظیفه تجزیه هر یک از مواد ذخیره‌ای را بر عهده دارند. به عنوان نمونه گروه آمیلازها (آلفا و بتا آمیلاز) وظیفه‌شان تجزیه نشاسته به قند است.

- به عنوان مثال در غلات (گندم، جو، برنج) با در معرض سرما قرار دادن بذر، جنین جیبرلین تولید کرده و با ورود جیبرلین به لایه آلورون، آنزیم‌های آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز را فعال می‌کند. این آنزیم‌ها وارد آندوسپرم شده و نشاسته را به قند تجزیه می‌کنند و قند تولیدی، جذب جنین شده و جنین جوانه می‌زند و ریشه چه و ساقه چه را بوجود می آورد .

جوانه‌زنی بذر



جوانه‌زنی بذر

۴) انتقال مواد ذخیره‌ای هضم شده و سنتز مواد جدید :

بعد از این که موادی مثل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و ... به مواد ساده‌تر شکسته شدند، از آنها آنزیم‌های جدید، مواد ساختمانی، مواد تنظیم کننده رشد و ... ساخته می‌شوند.

۵) ظهور ریشه‌چه و رشد گیاهچه :

بعد از اینکه گیاهچه آب و مواد ساده مثل قندها و اسیدهای آمینه و ... را دریافت کرد تقسیم سلولی در نقاط مرسیتمی آن (نوک ریشه‌چه و نوک ساقه‌چه) زیاد شده و در نتیجه گیاهچه بزرگتر و از بذر خارج می‌شود.

جوانه‌زنی بذر

نقش مواد رشد گیاهی در کنترل جوانه‌زنی :

- استفاده از جیبرلین خارجی باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شود .
- افزایش اسیدآبسزیک در واکنش گیاه به کمبود آب صورت می‌گیرد که در این حالت قدرت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد.
- سایتوکنین‌ها در موارد معدودی باعث تحریک جوانه‌زنی می‌شوند مخصوصاً در مواقعی که گیاه برای جوانه‌زنی نیاز به نور قرمز دارد می‌تواند جایگزین نور قرمز شود.
- اتیلن در مواردی باعث تحریک جوانه‌زنی می‌شوند، در عین حال حساسیت به اتیلن هم مهم است و گیاهانی که نسبت به اتیلن حساس نیستند درصد جوانه‌زنی کمتری دارند.

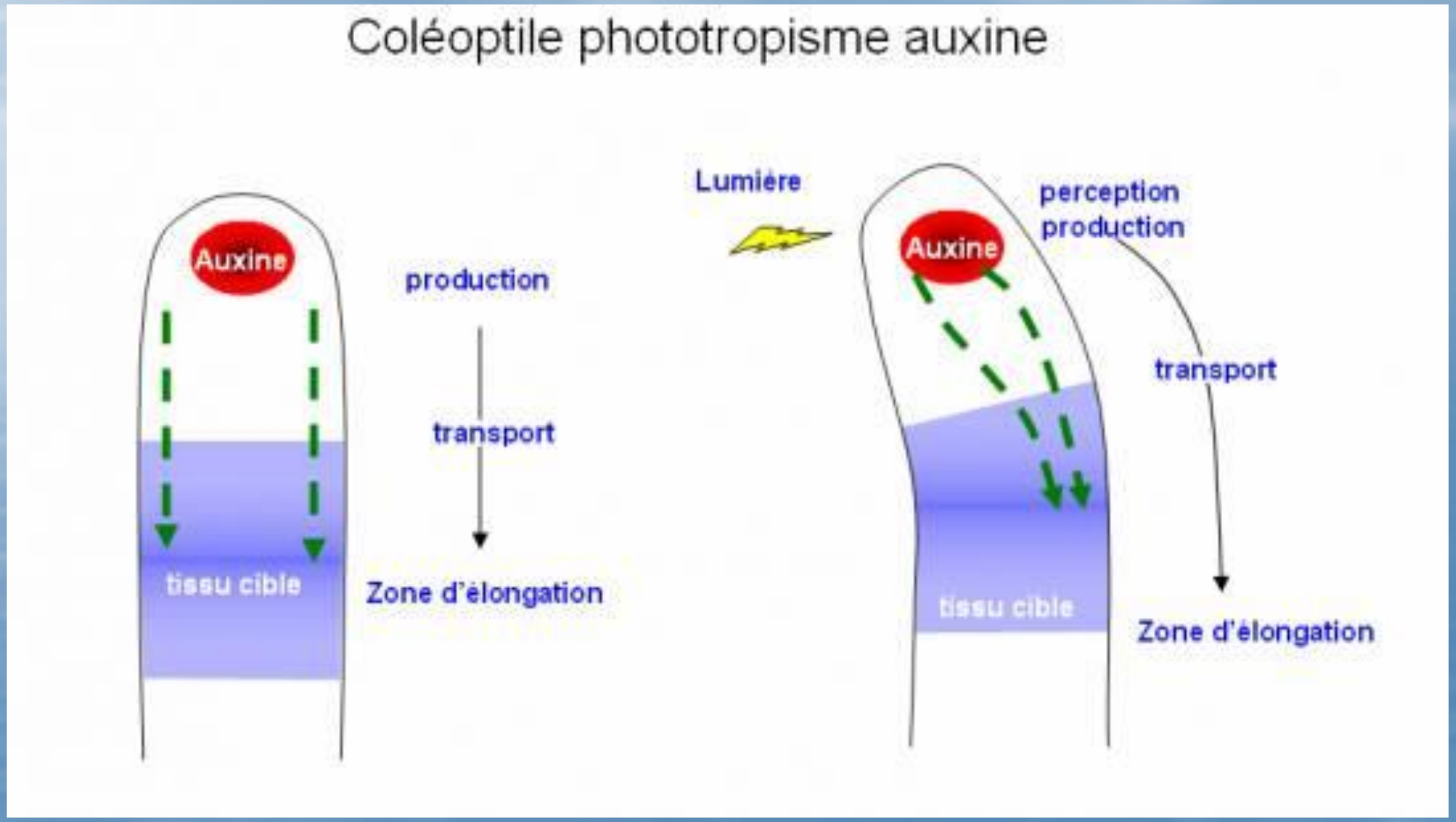
تأثیر نور بر گیاه

نور تأثیرات زیادی در گیاهان دارد مانند : فتوسنتز، فتوتروپیسم، فتومورفوژنز، فتوپریودیسم و ... .

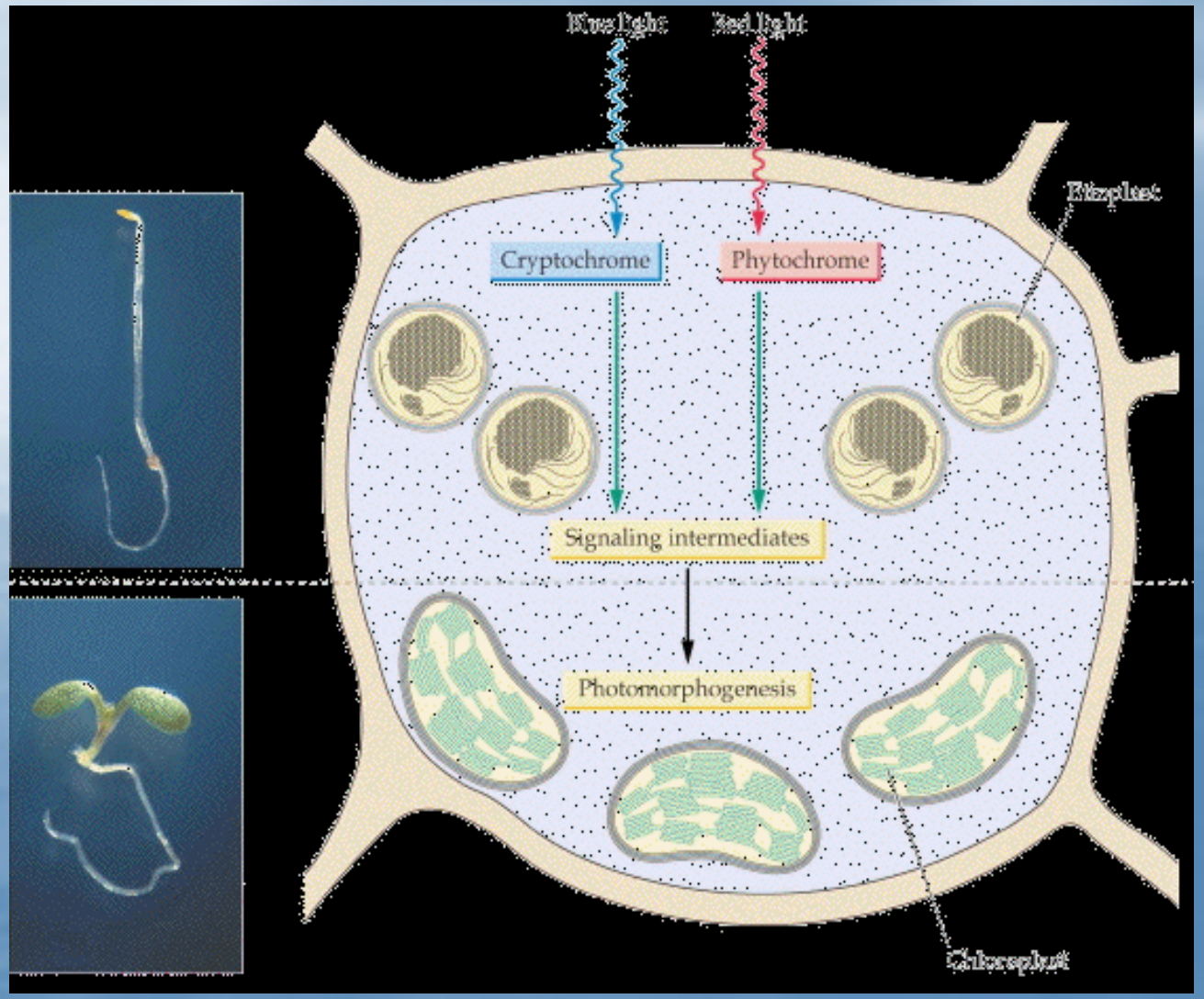
۱- فتوتروپیسم :

- فتوتروپیسم واکنش گیاه به سمت نور است مانند آفتابگردان.
- نورگرایی در ساقه مثبت است یعنی ساقه به سمت نور خم می‌شود.
- ریشه‌ها برخلاف ساقه یا به محرک نور پاسخ نمی‌دهند و یا نسبت به آن گرایش منفی دارند یعنی در جهت مخالف نور خم می‌شوند.

تأثیر نور بر گیاه



تأثیر نور بر گیاه



۲- فتومورفوژنز :

- فتومورفوژنزیس فرایندی است که در آن گیاهان در پاسخ به سیگنال‌های نور رشد و توسعه دارند، مانند جوانه‌زنی، از دست دادن رنگ، اجتناب از سایه، ریتم شبانه‌روزی و گلدهی.
- در این فرآیند، شبکه پیچیده‌ای از گیرنده‌های نوری از جمله فیتوکروم‌ها نقش کلیدی دارند.

تأثیر نور بر گیاه

۲- فتوپریودیسم :

واکنش گیاه به مدت زمان تابش نور را فتوپریودیسم می‌گویند.

I. گیاهان روز کوتاه : زمانی گل می‌دهند که طول دوره تاریکی از یک حد بحرانی بیشتر باشد.

II. گیاهان روز بلند : زمانی به گل می‌روند که طول دوره تاریکی از یک حد بحرانی کمتر باشد.

III. گیاهان روز بلند – روز کوتاه : این گیاهان در ابتدای گلدهی نیاز به روزهای بلند و سپس روزهای کوتاه دارند.

IV. گیاهان روز کوتاه – روز بلند : این گیاهان در ابتدای گلدهی نیاز به روزهای کوتاه و سپس روزهای بلند دارند.

V. گیاهان روز خنثی : در این حالت طول روز بر گلدهی گیاه تأثیری نخواهد داشت مانند سیب‌زمینی.

هورمون‌ها و تنظیم کننده‌های رشد

تعریف

هورمون‌های گیاهی (Phytohormones) :

هورمون یک ماده آلی است که در مقادیر بسیار کم می‌تواند واکنش‌های گیاهی را کنترل نماید.

تنظیم کننده‌های رشد گیاهی (Plant Growth Regulators = PGR) :

تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به موادی که ساخته دست بشر بوده و نقش هورمون‌ها را دارند (هورمون‌های دست ساز) گویند.

- عکس‌العمل‌ها و کارکردهای گیاهی مانند گرایش به نور، گلدهی، جوانه‌زنی بذر و سایر واکنش‌های گیاهی توسط هورمون‌های گیاهی کنترل می‌گردند.

اکسین

اثرات اکسین‌ها :

- بارزترین اثر اکسین‌ها اثر بر رشد طولی سلول‌ها است که خود سبب بروز علائمی همچون نورگرایی، زمین گرایی می‌شود.
- از اثرات بسیار مهم دیگر اکسین‌ها :
  - ✓ نقش آنها در تقسیم سلولی
  - ✓ تولید ریشه
  - ✓ ایجاد لایه جدا گر. لایه ای که سبب جدایی دمبرگ و دمگل و دم میوه از محل اتصال می‌شود.
  - ✓ گل انگیزی

اکسین

- ✓ تولید و رسیدن میوه
- ✓ ایجاد چیرگی جوانه انتهایی
- ✓ بکرزایی یا پارتنوکارپی
- ✓ جلوگیری از رشد شاخه‌های جانبی (غالبیت انتهایی)

- ❖ معمول‌ترین نوع اکسین که در پیکره گیاهان یافت می‌شود ایندول استیک اسید است.
- ❖ عامل مهم در چگونگی اثر اکسین‌ها وابسته به غلظت آن و بافت هدف است. برخی اندام‌ها مثل ریشه به مقادیر کم اکسین، سریع واکنش نشان می‌دهند ولی ساقه‌ها برعکس این حالت را دارند.

اکسین

کاربرد اکسین‌ها در باغبانی :

1) تنک کردن و جلوگیری از ریزش گل و میوه
2) ریشه‌دار کردن قلمه‌ها
3) جلوگیری از رشد نرک‌ها و پاجوش‌ها
4) گل‌انگیزی و تولید میوه
5) کشت بافت

جیبرلین

- امروزه بیش از ۹۰ نوع جیبرلین شناسایی شده که در کل به دو گروه ۲۰ کربنی و ۱۹ کربنی تقسیم شده‌اند.
- از آنجا که فرمول جیبرلین‌ها بسیار پیچیده است هنوز به طور مصنوعی تولید نشده‌اند و از عصاره نوعی قارچ به نام جیبرلا حاصل می‌شوند.
- مراکز ساخت جیبرلین در درون گیاهان عبارتند از: انتهای ساقه، قسمت فعال ریشه، برگ‌های جوان و میوه‌های در حال رشد و به ویژه بذور نارس در حال رشد و نمو.
- جیبرلین‌ها در داخل گیاه به صورت غیر قطبی حرکت می‌کنند و به راحتی از طریق آوندهای چوبی به بخش‌های بالایی گیاه منتقل می‌شوند.

جیبرلین

اثرات جیبرلین‌ها :

- بارزترین اثر جیبرلین، تحریک تقسیم و انبساط سلولی است ولی تأثیر بیشتر آن در انبساط سلولی می‌باشد. جیبرلین بیشتر روی رشد سلول‌های کمی پایین‌تر از نوک جوانه (مریستم) تأثیر دارد که باعث افزایش فاصله میان گره‌ها می‌شود. به طوری که با پاشش مصنوعی آن می‌توان شاهد رشد طولی گیاهان پاکوتاه بود.
- اثر مهم دیگر آن تولید ساقه گل دهنده و گلدهی است که در گیاهان علفی و به خصوص گیاهان دوساله جیبرلین هورمون اصلی محرک گلدهی است (در صورتی که در درختان مانع گلدهی می‌باشد). در بسیاری از گیاهان جیبرلین می‌تواند جایگزین روز بلندی و سرما (بهاره سازی) باشد.

جیبرلین

کاربرد جیبرلین‌ها در باغبانی :

۱) طویل شدن ساقه : جیبرلین در طویل شدن ساقه در امر درخت آرایی بنت القنسول، شمعدانی، فوشیا بکار می‌رود.

۲) جایگزینی نیاز سرمایی جهت گلدهی : جیبرلین‌ها قادرند بسیاری از گیاهان دو ساله بدون ساقه (رزت) را که جهت گلدهی نیازمند سرما هستند را وادار به تولید ساقه گل‌دهنده کنند.

۳) شکستن دوره استراحت : در بذرهای بسیاری از گونه‌های گیاهی که معمولاً نیازمند یک دوره سرما جهت جوانه‌زنی هستند. سرعت جوانه زدن بذر بسته به نوع گیاه و اندازه بذر متفاوت است.

جیبرلین

۴) اثر بر رشد میوه‌ها و تأخیر در پیری اندام‌ها : ولی در برخی گیاهان مثل لوبیا پیری را تسریع می‌کند.

۵) تغییر در جنسیت : بطور مثال می‌توان در خیار اشاره کرد.

۶) جایگزینی روزهای بلند : جیبرلین می‌تواند گیاهی را که تحت روزهای کوتاه رشد کرده وادار به گلدهی کند.

در نهایت می‌توان چنین گفت که معمول‌ترین کاربرد جیبرلین‌ها، استفاده آنها در افزایش طول ساقه و وادار کردن گل‌ها به رشد می‌باشد.

سایتوکنین

- امروزه سیتوکنین‌ها هم به صورت مصنوعی و هم طبیعی وجود دارند.
- سیتوکنین در تمام مراحل زندگی گیاه مانند رویش و تشکیل دانه، متابولیسم عمومی گیاه به ویژه فعالیت آنزیم‌ها و کوآنزیم‌ها، در پیدایش اندامک‌های درون سلولی و نقل و انتقال مواد در درون سلول، سنتز RNA و DNA و پروتئین و به طور کلی تمام گیاه مؤثرند.
- تولید سیتوکنین‌ها در نقاطی از گیاه انجام می‌شود که تقسیم سلولی در حال انجام باشد. این نقاط شامل جوانه‌ها، برگ‌های جوان و میوه‌های در حال رشد می‌باشند. علاوه بر این در شیره خام بسیاری از گیاهان نیز مقادیر زیادی سیتوکنین یافت می‌شود.
- بررسی‌ها نشان می‌دهد ساخته شدن این مواد در نوک ریشه‌ها و انتقال آنها از طریق آوندهای چوبی به سایر اندام‌های گیاه می‌باشد.

سایتوکنین

اثرات سیتوکنین‌ها :

1) تقسیم سلولی و اندام‌زایی
2) جوانه زنی بذر، طویل شدن سلول و اندام آنها
3) رشد و نمو جوانه‌ها
4) تأخیردر پیری اندام‌ها و گل‌ها

سایتوکنین

کاربرد سیتوکنین‌ها در باغبانی :

1) طولانی کردن عمر گل‌های شاخه بریده و سبزی‌های برگی در مراحل بعد از برداشت. به عنوان مثال قرار دادن ساقه گل‌های بریده شب‌بو در محلول 25-50 ppm سیتوکنین.

2) در حال حاضر در باغبانی در کشت بافت گل‌هایی مثل داوودی و میخک استفاده از سیتوکنین‌ها امری عادی است که به طور تجاری کاربرد دارد.

3) استفاده از سیتوکنین‌ها در خنثی کردن غالبیت انتهایی در حسن یوسف، فلفل زینتی و ... در کل تولید بوته‌هایی با شاخساره‌های منشعب و متراکم که بازار پسندی خوبی داشته باشد.

اتیلن

❖ اتیلن در شرایط عادی به صورت گاز می‌باشد.

تولید و حرکت اتیلن در گیاه در مقایسه با سایر هورمون‌ها سه تفاوت عمده دارد :

1. بر خلاف بقیه که در نقاط خاصی از گیاه تولید می‌شوند اتیلن در هر موضعی که شرایط باشد تولید می‌شود.
2. حرکت اتیلن در گیاه به صورت پخشیدگی گازی در فضای بین سلولی است.
3. در هورمون‌های دیگر بالا رفتن غلظت هورمون سبب کند ساخته شدن آن هورمون می‌شود درحالی که اتیلن اتوکاتالیزور بوده یعنی اگر بافتی در برابر مقدار کمی اتیلن قرار گیرد شروع به تولید مقدار بیشتر ماده می کند.

اتیلن

اثرات اتیلن :

1. شکستن رکود بذرها، جوانه‌ها و غده‌های در حال رکود که آنها را وادار به جوانه‌زنی و رشد می‌کند. در گلدهی گیاهانی مانند آناناس و انبه و بروز جنسیت گل در گیاهانی مانند خیار، اتیلن اثرات بارز دارد.
2. مهمترین اثر اتیلن که امروزه بیشترین مقدار مصرف اتفن را به خود اختصاص داده تسریع در رسیدن میوه‌های روی درخت و درون انبار، صرفه‌جویی در نیروی لازم برای جداسازی میوه‌ها از درخت و سهولت برداشت مکانیکی است. برای رساندن میوه هایی مانند موز، مرکبات و گوجه فرنگی در انبار هم استفاده می‌شود.

اتیلن

کاربرد اتیلن در باغبانی :

1. در بخش گلکاری از اتیلن به صورت تجاری برای کنترل ارتفاع، گل انگیزی و کنترل ریزش گل و میوه و برگ و یا جلوگیری از گلدهی استفاده می‌شود.
2. ریشه گیاهچه : اتیلن باعث کاهش رشد طولی، افزایش رشد قطری و باعث رشد افقی ساقه می‌شود که این واکنش‌ها باعث بقاء گیاه در شرایط سخت مثل مواجه شدن گیاهچه با سله خاک، سنگ و یا هر مانع دیگر می‌شود.

اسید آبسزیک

اثرات اسید آبسزیک :

۱) بسته شدن روزنه‌ها :

وقتی گیاهی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، ریشه‌های آن اسید آبسزیک تولید نموده که می‌تواند به تمام قسمت‌های گیاه و برگ‌ها منتقل شده و باعث بسته شدن روزنه‌ها شود.

۲) دفاع در برابر تنش شوری و حرارت :

هر گونه تنش شوری و حرارتی که به گیاه وارد می‌شود مقدار تولید اسید آبسزیک زیاد شده و باعث تغییر و تحولاتی در ظهور ژن‌های مقاومت به این تنش‌ها می‌گردد.

اسید آبسزیک

۳) رکود (خواب) :

در خواب و بیداری گیاه دو هورمون تأثیرگذارند، اسید آبسزیک باعث ایجاد خواب و جیبرلین باعث بیداری گیاه می‌شود.

۴) ریزش، جوانه‌زنی و رشد بذر :

اسید آبسزیک عامل تحریک ریزش (abscission) در گیاه است. ولی در تحقیقات صورت گرفته ثابت شده است که اسید آبسزیک به طور مستقیم در ریزش تأثیر ندارد بلکه از طریق تحریک تولید اتیلن باعث تحریک ریزش از طریق جلو انداختن پیری می‌گردد.

در خیلی از بذرها وقتی که اسید آبسزیک اضافه شود نتیجه آن عدم جوانه‌زنی است .

براسینواستروئیدها

اثرات براسینواستروئیدها :

۱) تحریک بیوسنتز اتیلن و اپی ناستی

۲) طویل شدن ساقه :

آزمایشات نشان داده که براسینواستروئیدها در طیف وسیعی از گیاهان در غلظت‌های پایین باعث طویل شدن بافت‌های رویشی می‌شوند. این عمل از طریق افزایش سستی دیواره سلولی و بدون تغییرخصوصیات مکانیکی صورت می‌گیرد.

۳) رشد و نمو ریشه :

بازدارنده قوی رشد و نمو ریشه هستند و در این رابطه اثرشان مشابه اکسین‌ها است و اثر تشدید کنندگی دارند. در ریشه‌زایی بر عکس اکسین هستند که بازدارنده ریشه‌زایی است.

براسینواستروئیدها

۴) کشت بافت گیاهی :

براسینواستروئیدها تا حدودی باعث تحریک تشکیل کالوس در برخی از گیاهان مانند هویج می‌شوند.

۵) اثر آنتی اکدی استروئیدی (Anti ocdystroied) :

اکدی استرئیدها در بدن حشرات وجود دارند و باعث پوست‌اندازی می‌شوند و براسنواستروئیدها خیلی شبیه این مواد هستند.

۶) اثر براسینواستروئیدها بر سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین :

ثابت شده این مواد باعث افزایش فعالیت RNAپلیمراز و DNAپلیمراز و سنتز RNA و DNA پروتئین می‌شود.

سالی‌سیلادها

اثرات فیزیولوژیکی اسید سالیسیلیک :

۱) اثر بر گلدهی : گزارش‌های محدودی است که اسیدسالیسیلیک می‌تواند گلدهی را در تعدادی از گیاهان تحریک کند ولی اثر قطعی آن هنوز به اثبات نرسیده است .

۲) رابطه بین اسید سالیسیلیک و تولید گرما در گیاهان : گزارشاتی وجود دارد که در برخی گیاهان اسیدسالیسیلیک باعث تولید گرما (ترموژنسیتی) می‌شود. مثلاً نوعی زنبق در گل‌آذین آن یا بعضی از سیکادها گزارش شده است.

۳) رابطه بین اسیدسالیسیلیک و مقاومت به بیماری‌ها در گیاهان : گزارش شده است که بعضی از گیاهان در موقع مواجه شدن با بیماری‌ها یا شیوع یک عفونت یک واکنش فوق حساسیت نشان می‌دهند که این عمل از طریق خودکشی تعدادی از سلولها انجام می‌گیرد.

جاسموناتها

اثرات جاسموناتها در گیاهان :

جاسموناتها اثرات بازدارنده یا تحریک کننده در فیزیولوژی گیاهی دارند. برخی از اثراتشان شبیه اتیلن یا اسیدآبسزیک است، از جمله :

1. اثر بازدارندگی در رشد طولی گیاهچه
2. رشد طولی ریشه
3. کشت بافت
4. جوانه‌زنی

مهارکننده‌های رشد

- مهارکننده‌های رشد به صورت معمول و رایج بکار می‌رود و مواد مهم شیمیایی در تنظیم رشد گیاهان در گلکاری می‌باشند.
- از جمله این مواد سایکوسل است که ماده تولید شده به شکل کریستال بوده و در آب قابل حل می‌باشد.
- سایکوسل جهت کاهش خوابیدگی و کنترل رشد رویشی گیاهان (به ویژه غلات) کاربرد فراوانی پیدا کرده است. بر طبق نتایج پژوهشگران سایکوسل باعث کاهش ارتفاع ساقه، افزایش تعداد پنجه در هر بوته، افزایش تعداد دانه در سنبله، افزایش مقاومت به سرما، شوری، قارچ‌ها و حشرات می‌شود.
- سایکوسل با اختلال در مسیر چرخه بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم انت‌کائورن سنتتاز شده و ارتفاع گیاهان را کاهش می دهد.

فیزیولوژی رشد و نمو میوه

- تشکیل میوه در درختان نیازمند گرده‌افشانی و لقاح بین گامت‌های نر و با سلول تخمزا و هسته قطبی است و میوه حقیقی در گیاهان در واقع **تخمدان رشد یافته** است.
- به دنبال گرده‌افشانی و لقاح دیواره تخمدان شروع به رشد سریع نموده و باعث تشکیل قسمت گوشتی میوه‌ها می‌شود.
- گاهی میوه‌ها بدون گرده‌افشانی و لقاح هم تشکیل می‌شوند که به آن **پارتنوکارپی** یا بکرزایی می‌گویند.
- الگوی رشد میوه‌ها از دو نوع منحنی شامل **سیگموئید ساده** و **سیگموئید مضاعف** پیروی می‌کنند. در میوه‌هایی مثل سیب،گلابی، گوجه فرنگی، خیار و توت فرنگی منحنی از نوع سیگموئید ساده و در بیشتر میوه‌های هسته‌دار، انگور، انجیر و... منحنی رشد از نوع سیگموئید مضاعف است.

فیزیولوژی رشد و نمو میوه

در دوره اول رشد سریع، رشد سریع مربوط به تخمدان و محتویات آن است و جنین و آندوسپرم رشدی ندارد.

در دوره کندی رشد، رشد جنین و آندوسپرم و سخت شدن پوست دانه انجام می‌شود.

درمرحله دوم رشد سریع، رشد مزوکارپ (قسمت خوراکی میوه) می‌باشد.

فیزیولوژی رشد و نمو میوه

رسیدن میوه :

- اتیلن مهمترین هورمون در رسیدن میوه‌ها است. البته تأثیر اتیلن بیشتر در میوه‌های فرازگرا بوده و میوه‌های نافرازگرا حساسیت کمی به اتیلن نشان می‌دهند.
- در بسیاری از اوقات باغداران دوست دارند میوه‌ها سریع‌تر و یکنواخت‌تر برسند که استفاده از اتیلن این امر را میسر می‌کند.
- میوه‌های فرازگرا (کلیماکتریک) : میوه‌هایی هستند که پس از چیده شدن نیز در اثر هورمون اتیلن رسیدگی میوه صورت می‌گیرد مانند موز، گلابی، گوجه فرنگی.

فیزیولوژی رشد و نمو میوه

اثرات مواد رشد گیاهی بر رشد و نمو میوه :

- اکسین‌ها در رشد میوه نقش اساسی دارند. اکسین‌ها در مراحل رشد و تشکیل میوه تأثیر دارند.
- جیبرلین باعث تحریک تشکیل میوه‌های بکرزا در تعدادی از میوه‌ها می‌شود و در مواردی استفاده از جیبرلین باعث تحریک تشکیل اکسین می‌شود. جیبرلین‌ها در مرحله رشد میوه تأثیر دارند.
- سایتوکنین بیشتر در تقسیم سلولی نقش دارد. البته در همه میوه‌ها مؤثر نیستند و در برخی میوه‌ها مانند انگورهای دانه‌دار ممکن است باعث کاهش اندازه میوه نیز شود. سایتوکنین‌ها بیشترین تأثیر خود را در زمان تشکیل میوه دارند.
-

پیری در گیاهان

پیری، دوره زوال سلول‌ها، بافت‌ها، اندام‌ها و موجود زنده است. با این حال پیری فرآیند تکمیل کننده طبیعی زندگی گیاه (تمایز نهایی) است.

تغییراتی که پیری باعث آن در گیاه می‌شود :

I. کاهش میزان کلروفیل، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و ... .

II. کاهش میزان فتوسنتز به ویژه آنزیمهای مؤثر در فتوسنتز مانند فسفو اینول پیروات و آنزیم روبیسکو.

III. تغییر در نسبت هورمون‌های گیاهی و کاهش محرک‌ها و افزایش بازدارنده‌ها.

IV. افزایش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی و تحریک ریزش برگ‌ها، گل‌ها، میوه‌ها و ... .

پیری در گیاهان

اثرات مواد رشد گیاهی بر فرآیند پیری :

- سایتوکنین‌ها از طریق حفظ کلروفیل، پروتئین، مقدار RNA و ... فرآیند پیری را کاهش می‌دهد.
- اکسین‌ها در فرآیند پیری تأثیر پیچیده‌ای دارند. در موارد زیادی استفاده از اکسین‌ها فرآیند پیری را به تأخیر می‌اندازد و از سوی دیگر گزارش‌های زیادی وجود دارد که استفاده از اکسین از طریق تحریک تولید اتیلن باعث تحریک پیری می‌شود.
- جیبرلین یکی از مهمترین هورمون‌های ضدپیری است. باعث کاهش تجزیه کلروفیل، RNA، پروتئین شده و رسیدن میوه را به تأخیر می‌اندازد.

پیری در گیاهان

- اتیلن مؤثرترین هورمون در تحریک پیری است. اتیلن سرعت تجزیه کلروفیل، پروتئین، RNA را افزایش می‌دهد.
- اسیدآبسزیک اثرش در فرآیند پیری به صورت غیرمستقیم است و از طریق تحریک تولید اتیلن باعث پیری می‌شود.
- متیل جاسمونات به طور غیرمستقیم باعث پیری می‌شود و از طریق تحریک فعالیت آنزیم ACCاکسیداز باعث تحریک تولید اتیلن و پیری می‌شود.
-

ریزش

ریزش پدیده‌ای است که در میوه‌ها، برگ‌ها، شاخه‌ها و ... در تمام گیاهان صورت می‌گیرد که الگوی آن در بین گیاهان مختلف متفاوت است :

I. درختان و درختچه‌های خزان‌دار مناطق معتدله : در بسیاری از آنها ریزش در واکنش به عوامل محیطی مثل کوتاه شدن طول روز و یا پایین آمدن دما صورت می‌گیرد.

II. درختان و درختچه‌های خزان‌دار مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری : برگها در این گیاهان در واکنش به تغییرات رشد و قدرت گیاه (به خاطر وجود دوره‌های خشکی، کم آبی و ...) ریزش کرده ولی زمانی که آب کافی دریافت کنند برگ‌هایشان مجدداً رشد می‌کنند.

III. درختان و درختچه‌های همیشه سبز : در این درختان برگ‌ها به تدریج می‌ریزند و با تشکیل برگهای جدید در بهار در واقع ریزش بیشتری در همین زمان صورت می‌گیرد.

ریزش

چگونگی ریزش :

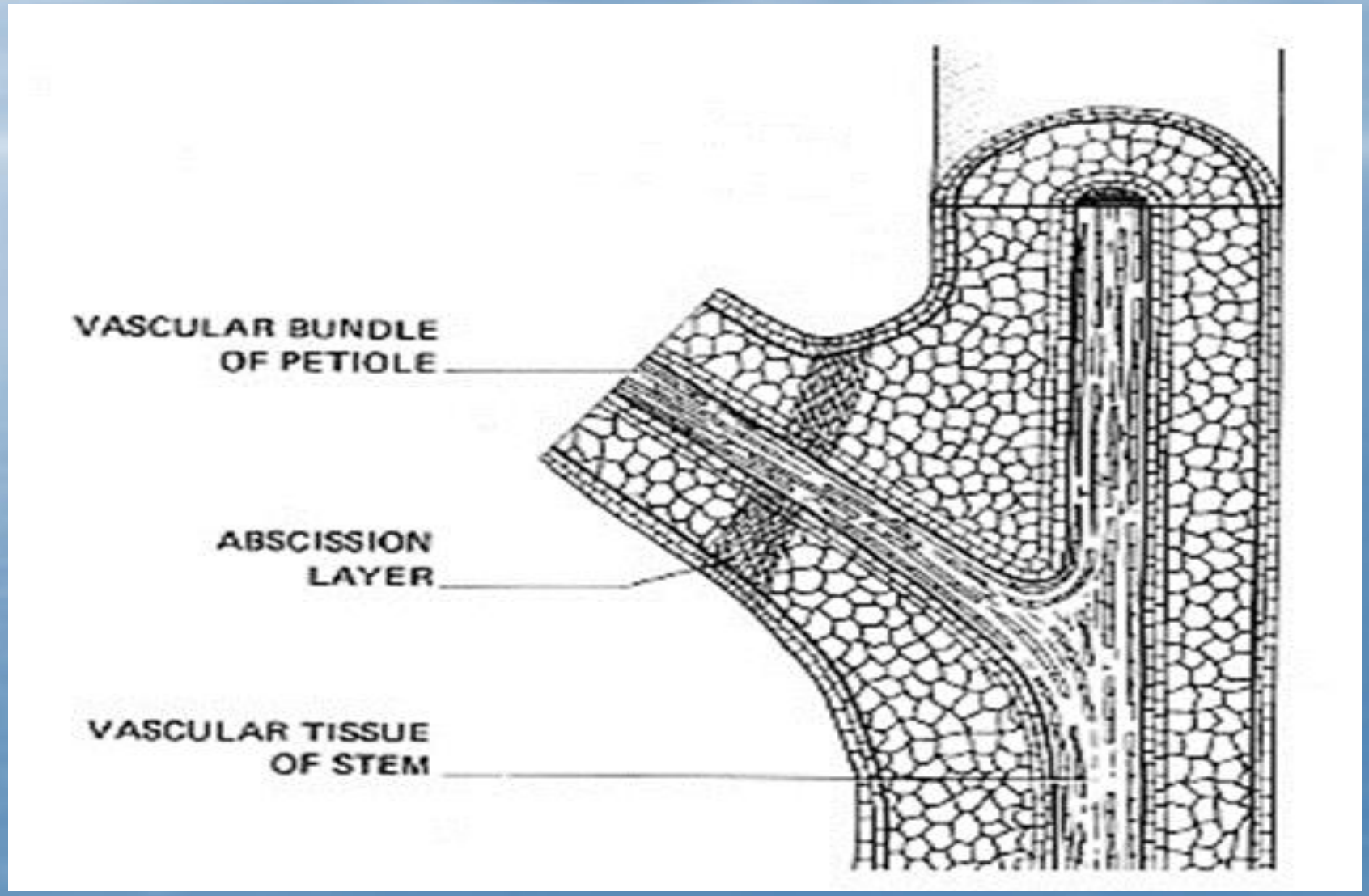
I. ابتدا در ناحیه دمبرگ یا دم میوه چند لایه سلول پارانشیمی با دیواره نازک تشکیل می‌شود که این سلول‌ها در تمام قسمت‌های دمبرگ به جز ناحیه آوندها تشکیل می‌شود.

II. سپس یک سری آنزیم‌های هیدرولیزکننده پلی ساکاریدها مانند سلولاز و پکتیناز فعال می‌شوند و از سیتوپلاسم به دیواره سلولی ترشح شده و باعث هضم دیواره‌های سلولی، افزایش تنفس و افزایش تولید اتیلن می‌شوند.

III. سلول‌های ناحیه ریزش نیز از نظر طول و حجم افزایش پیدا می‌کنند که باعث می‌شود برگ‌ها یا میوه‌ها به سمت پایین آویزان شده و فقط از طریق آوندهایشان به گیاه متصل باقی بمانند.

IV. نیروهای مکانیکی مانند باد می‌تواند در این حالت باعث جداشدن و ریزش برگ یا میوه گردند.

ریزش


VASCULAR BUNDLE
OF PETIOLE
ABSCISSION
LAYER
VASCULAR TISSUE
OF STEM

ریزش

تأثیر عوامل محیطی بر ریزش :

1. اثر دما : با افزایش دما سرعت ریزش بیشتر می‌شود ولی برای حداکثر ریزش در هر گیاه یک دمای خاص وجود دارد مثلاً در لوبیا دمای ۲۵ ، در پنبه ۳۰ درجه.
2. اثر اکسیژن : تولید اتیلن که باعث ریزش می‌شود نیازمند اکسیژن است و مقادیر زیاد اکسیژن باعث افزایش فعالیت IAAاکسیداز و کاهش مقدار اکسین و در نتیجه تحریک ریزش می‌شود.
3. اثرات مواد غذایی مثل کربوهیدرات‌ها، ازت و موادمعدنی : زمانی که فتوسنتز به قدر کافی انجام شود، باعث تولید مواد کربوهیدراتی بیشتر و در نتیجه باعث توقف ریزش در بسیاری از گیاهان می‌شود.

ریزش

اثرات مواد رشد گیاهی در ریزش :

- اکسین معمولاً از ریزش جلوگیری می‌کند ولی زمانی که باعث تحریک تولید اتیلن می‌شود ریزش را تحریک می‌کند.
- اتیلن هورمونی اصلی تحریک کننده ریزش است.
- اسیدآبسزیک به طور غیرمستقیم باعث ریزش می‌شود. یعنی در شرایط تنش مقدار اسیدآبسزیک افزایش پیدا کرده و باعث پیری زودرس شده و از این طریق می‌تواند باعث تحریک تولید اتیلن و در نتیجه تحریک ریزش شود.

ریزش

- جیبرلین‌ها در مواردی به دلیل تحریک تولید اتیلن در ریزش مؤثر هستند ولی معمولاً از طریق افزایش قدرت مخزن sinck ریزش را به تأخیر می‌اندازند.
- سایتوکنین‌ها تأثیرشان در ریزش بستگی به غلظت و زمان استفاده از آنها دارد. در بسیاری از گیاهان پیری را به تأخیر انداخته و در نتیجه بطور غیرمستقیم باعث تأخیر در ریزش می‌شوند. ضمناً باعث افزایش قدرت جذب موادغذایی در برگ‌ها و جلوگیری از ریزش می‌شوند. زمانی که غلظت سایتوکنین‌ها در ناحیه پهنک برگ بیشتر از ناحیه دمبرگ باشد باعث افزایش ریزش شده ولی استفاده از آنها در ناحیه ریزش باعث جلوگیری از ریزش می‌شود.
- جاسمونات‌ها باعث تجزیه کلروفیل و جلو انداختن روند پیری شده و در نتیجه بطور غیرمستقیم باعث تحریک ریزش می‌شوند. همچنین بیوسنتز اتیلن را هم تحریک می‌کنند.

ریزش

جلوگیری از ریزش :

برای کنترل ریزش مهمترین عمل کنترل اتیلن است که می‌تواند به طرق مختلف صورت گیرد :

1. مانع تولید اتیلن شویم (دمای بالا، کاهش اکسیژن)
2. تخلیه کردن محیط از اتیلن
3. استفاده از موادی مثل AVG و AOA، کبالت و ... که از بیوسنتز اتیلن جلوگیری می‌کنند
4. توقف عمل اتیلن : اتیلن با ترکیب با یون مس فعال می‌شود که با استفاده از یون نقره، نوربورنادینها که با یون مس رقابت کرده و مانع اتصال مس به اتیلن شده و اتیلن فعال نمی‌شود
5. اکسید کردن اتیلن در محیط با موادی مثل پرمنگنات پتاسیم

ریزش

- گاهی برای جلوگیری از ریزش میوه از هورمون‌ها به خصوص نفتالین استیک اسید استفاده می‌شود که با نام‌های تجاری مختلف مانند فروتفیکس، فروتین و تری کلروفنوکسی پروپانوئیک اسید با نام تجاری سیلوکس یا فنوتروپ که ۲ هفته قبل از برداشت باعث جلوگیری از ریزش می‌شود، استفاده می‌گردد.
- آلار علاوه بر جلوگیری از ریزش میوه از آبگز شدن و سوختگی میوه نیز جلوگیری می‌کند.

موفق باشید