فصل اول

«فتوسنتز»

درسنامه (۱): مفاهیم اولیه نور در فتوسنتز

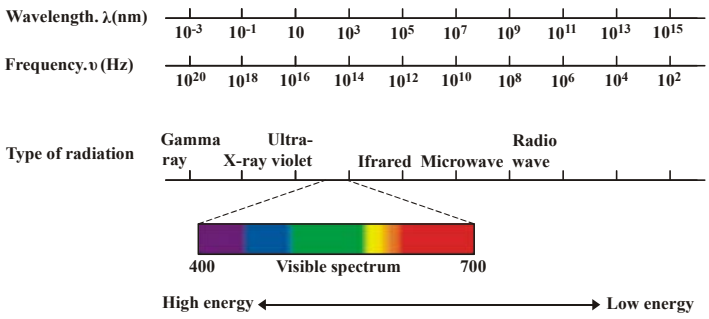
فتوسنتز از نظر لغوی به معنی تولید با استفاده از نور خورشید است و تنها فرایند مهم بیولوژیکی است که قادر به ذخیره انرژی خورشید می‌باشد؛ به عبارت دیگر در فرایند فتوسنتز، انرژی نور خورشید سنتز کربوهیدرات‌ها از آب و دی‌اکسید کربن را همراه با تولید اکسیژن پیش می‌راند.

$$۶CO_۲ + ۶H_۲O \rightarrow C_۶H_{۱۲}O_۶ + ۶O_۲ \qquad (۱)$$

موجودات زنده فتوسنتزکننده (مانند گیاهان عالی و برخی باکتری‌ها) از انرژی خورشید برای تولید ترکیبات آلی که ساخت آن‌ها مستلزم صرف انرژی می باشد، استفاده می‌کنند. انرژی ذخیره‌شده در این ترکیبات بعداً می‌تواند در فرایندهای سلولی در گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌تواند به عنوان منبعی از انرژی برای تمام اشکال حیات ذخیره گردد. در این فصل ماهیت نور، رنگدانه‌ها و نقش آن‌ها، ساختار و عمل دستگاه فتوسنتزی و همچنین عوامل اکولوژیکی و فیزیولوژیکی مؤثر بر انجام این فرایند مورد بحث قرار خواهد گرفت.

نور

نور از طریق فتوسنتز توسط گیاه گرفته شده و انرژی آن در پیوندهای شیمیایی اجزای آلی ذخیره می‌شود. انرژی دریافتی زمین از خورشید به صورت امواج الکترومغناطیس با طول موج‌های کمتر از ۱×۱۰^{-۳} نانومتر تا بیشتر از ۱×۱۰^{۹} نانومتر است. این انرژی تحت عنوان «طیف الکترومغناطیس» شناخته شده است. قسمتی از طیف الکترومغناطیس که حدوداً بین ۱ تا ۱×۱۰^{۶} نانومتر است، به عنوان نور در نظر گرفته می‌شود که همه آن قابل رؤیت نیست. نور با طول موجی بین ۱ تا ۳۹۰ نانومتر نور فرابنفش، با طول موجی بین ۴۰۰ تا ۷۶۰ نانومتر نور مرئی و با طول موجی بلندتر از ۷۶۰ و کوتاه‌تر از ۱×۱۰^{۶} نانومتر به عنوان نور مادون قرمز شناخته می‌شود. نور فرابنفش و مادون قرمز برای انسان قابل رؤیت نیست (شکل مقابل).



طیف الکترومغناطیس. طول موج و تواتر با یکدیگر نسبت عکس دارند. چشم انسان تنها به محدوده باریکی از طول موج‌ها (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) حساس است. امواج با طول موج بلند (تواتر کمتر)، انرژی کمتر و امواج با طول موج کوتاه (تواتر بیشتر)، انرژی بالاتری دارند.

چنانچه طول موج نور مادون قرمز بالاتر از ۳۰۰۰ نانومتر باشد، به صورت گرما احساس می‌شود. انرژی خورشید دارای خصوصیاتی است که توسط دو تئوری مربوط به هم بیان می‌شود:

تئوری امواج الکترومانیتیک: این تئوری بیان می‌کند که نور در فضا به صورت موج حرکت می‌کند. فاصله بین دو قله متوالی موج، طول موج (λ) و تعداد امواجی که در یک زمان خاص از یک نقطه معین عبور می‌کنند، تواتر (υ) (Frequency) نامیده می‌شود.

با یک معادله ساده می‌توان بین طول موج، تواتر و سرعت هر موج ارتباط برقرار نمود:

$$C = \lambda\upsilon \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، C سرعت نور و برابر با ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه، λ طول موج و υ تواتر است.

تئوری کوانتوم: بر اساس این تئوری نور در فضا به صورت جریانی از ذرات به نام فوتون (Photon) حرکت می‌کند. انرژی موجود در یک فوتون، یک کوانتوم (Quantum) نام دارد. **انرژی نور پیوسته نیست و به صورت بسته‌های مجزای کوانتوم آزاد می‌شود.** بر اساس قانون پلانک (Planck's law)، انرژی (E) موجود در هر فوتون به تواتر نور بستگی دارد:

$$E = hv = h(\frac{C}{\lambda}) \qquad (۳)$$

www.modaresanesharif.ac.ir

در رابطه (۳)، h ثابت پلانک ($۶/۶۲۶\times۱۰^{-۳۴}$ Js) می‌باشد. بر اساس این رابطه انرژی موجود در هر فوتون با طول موج آن نسبت عکس دارد، به طوری که طول موج‌های کوتاه (با تواتر زیاد) نور دارای انرژی زیاد هستند و طول موج‌های بلند (تواتر کم) نور دارای انرژی کمتری می‌باشند (شکل طیف الکترومغناطیس). تمام فوتون‌ها دارای مقدار انرژی لازم برای تحریک رنگیزه‌های برگ نمی‌باشند. تنها فوتون‌های بین طول موج های ۷۶۰–۳۹۰ نانومتر (محدوده طیف نور مرئی) دارای انرژی مناسب برای فتوسنتز هستند. با توجه به اینکه تحریک رنگیزه‌ها نتیجه واکنش مستقیم بین یک فوتون و رنگیزه است؛ لذا میزان نور مصرف‌شده در فتوسنتز اغلب بر اساس غلظت جریان فوتون (نه انرژی فوتون‌ها) (Photon Flux Density) بیان می‌شود.

غلظت جریان فوتون (PFD) عبارت است از: تعداد فوتون‌هایی که در واحد زمان از یک سطح معین عبور می‌کنند. فتوسنتز در محدوده طول موج های ۷۰۰ – ۴۰۰ نانومتر، دارای بیشترین بازده هستند؛ بنابراین اندازه‌گیری مقدار نور مورد استفاده در فتوسنتز بر اساس غلظت جریان فوتون در این طول موج‌ها انجام می‌گیرد. مقدار نوری که به این طریق اندازه‌گیری می‌شود، تشعشعات فعال فتوسنتزی ((Photosynthetically Active Radiation (PAR) یا غلظت جریان فوتون فتوسنتزی((Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) نامیده می‌شود و اغلب به صورت میکرواینشتین بر مترمربع در ثانیه $\mu E.m^{۲}s^{-۱}$ یا میکرومول بر مترمربع در ثانیه $\mu mol.m^{۲}s^{-۱}$ بیان می‌شود. امرسون در سال ۱۹۹۰ نشان داد که انرژی نورانی در فرایند فتوسنتز موجب ایجاد عملکردی تحت عنوان «عملکرد کوانتوم» (Quantum yield) می‌گردد و آن را به‌صورت زیر تعریف کرد:

$Q=$ تعداد مول فوتون جذب‌شده/ تعداد مول $O_۲$ آزادشده (۴)

در فرایند فتوسنتز، حداکثر عملکرد کوانتوم برای تولید $O_۲$ تقریباً برابر ۰/۱ است؛ به این معنی که برای آزاد شدن هر مولکول $O_۲$ در حدود ۱۰ کوانتوم جذب می‌شود. همچنین عملکرد کوانتوم در فرایند فتوسنتز را می‌توان به‌صورت تعداد مول‌های $CO_۲$ احیاشده توسط هر مول فوتون جذب‌شده بیان داشت؛ بنابراین: (۵) $Q=$ تعداد مول فوتون جذب‌شده/تعداد مول $CO_۲$ جذب‌شده یا تعداد مول $O_۲$ آزادشده

اصطلاح دیگری که به جای عملکرد کوانتوم به کار می‌رود، بازدهی کوانتوم (Quantum efficiency) است. امرسون در آزمایشات خود عملکرد کوانتومی فتوسنتز را به‌عنوان تابعی از طول موج اندازه‌گیری نمود و اثری را که به‌عنوان افت قرمز (Red drop) شناخته شد، نشان داد. اگر عملکرد کوانتوم برای طول موج‌هایی که کلروفیل آن‌ها را جذب می‌کند، اندازه‌گیری شود، مقادیر به‌دست آمده برای سراسر این محدوده به‌طور قابل ملاحظه‌ای ثابت است. این مسئله نشان می‌دهد که هر فوتون جذب‌شده توسط کلروفیل یا سایر رنگیزه‌ها به اندازه دیگر فوتون‌ها در تحریک فتوسنتز مؤثر است. البته در مرز انتهایی نور قرمز ($>۶۸۰\,nm$) عملکرد شدیداً افت می‌کند. این افت به کاهش جذب مربوط نمی‌شود؛ زیرا عملکرد کوانتوم فقط برای نوری که کاملاً جذب شده است، اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین نوری با طول موج بلندتر از ۶۸۰ nm نسبت به نورهای با طول موج‌های کوتاه‌تر، کارایی کمتری دارد.

مثال۱: در فرایند فتوسنتز برای آزاد شدن هر $O_۲$ چقدر نور جذب می‌شود؟

۱) ۱۰ کوانتوم ۲) ۱۰ میکروژول ۳) ۲۵۰۰ کوانتوم ۴) ۲۵۰۰ میکروژول

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» در فرایند فتوسنتز برای آزاد شدن هر $O_۲$، ۱۰ کوانتوم نور جذب می‌شود.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۲: به طور میانگین جهت احیای یک مولکول $CO_۲$ در فرآیند فتوسنتز به چه میزان فوتون نیاز است؟ (سراسری ۸۱)

۱) ۸ ۲) ۱۰ ۳) ۱۶ ۴) ۳۸

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» فتوسنتز فرایندی است که طی آن آب و دی اکسید کربن مصرف شده و قند و اکسیژن تولید می‌شود. انرژی لازم برای فتوسنتز از نور تأمین می‌شود. برای تثبیت هر مولکول $CO_۲$ در حدود ۹ تا ۱۰ فوتون نور لازم است. در نتیجه عملکرد کوانتومی برای تثبیت یک مولکول $CO_۲$ در حدود ۰/۱ و نیاز کوانتومی آن ۱۰ می‌باشد.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۳: عملکرد کوانتوم در فتوسنتز عبارت است از: (سراسری ۸۴ و۸۷)

۱) $\frac{\text{مول } CO_۲ \text{ جذب‌شده یا مول } O_۲ \text{ تولیدشده}}{\text{مول فوتون جذب‌شده}}$

۲) $\frac{\text{مول } CO_۲ \text{ جذب‌شده + مول } O_۲ \text{ تولیدشده}}{\text{مول فوتون جذب‌شده}}$

۳) $\frac{\text{مول } CO_۲ \text{ تولیدشده یا مول } O_۲ \text{ جذب‌شده}}{\text{مول فوتون جذب‌شده}}$

۴) $\frac{\text{مول فوتون جذب‌شده}}{\text{مول } CO_۲ \text{ جذب‌شده یا مول } O_۲ \text{ تولیدشده}}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» بازده کوانتوم یا عملکرد کوانتومی عبارت است از: میزان $CO_۲$ تثبیت شده به ازای فوتون مصرف شده که این بازده کوانتومی فتوسنتزی می‌باشد. عملکرد کوانتومی می‌تواند بین صفر (هنگامی‌که یک فرآیند به انرژی نورانی نیاز ندارد) تا یک (وقتی تمام نور جذب شده مورد استفاده قرار می‌گیرد) باشد. در هوای معمولی عملکرد کوانتومی‌گیاهان $C_۳$ کمتر از گیاهان $C_۴$ می‌باشد. عملکرد کوانتومی بسته به درجه حرارت و غلظت $CO_۲$ تغییر می‌کند زیرا این دو عامل بر سرعت واکنش کربوکسیلاز و اکسیژناز رابیسکو مؤثر هستند.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۴: بازدهی کوانتوم چیست؟ (سراسری ۸۱ ـ دکتری ۹۱)

۱) تعداد مول NADP احیاشده توسط هر مول فوتون
۲) تعداد مول CO_2 احیاشده توسط هر مول فوتون
۳) تعداد مول NADP احیاشده توسط هر میکرومول فوتون
۴) تعداد مول CO_2 احیاشده توسط هر میکرومول فوتون

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» عملکرد کوانتوم در فرایند فتوسنتز را می‌توان به صورت تعداد مول‌های CO_2 احیاشده توسط هر مول فوتون جذب‌شده بیان داشت؛ بنابراین:

$$Q = \text{تعداد مول } O_2 \text{ آزادشده یا تعداد مول } CO_2 \text{ جذب‌شده / تعداد مول فوتون جذب‌شده}$$

اصطلاح دیگری که به جای عملکرد کوانتوم به کار می‌رود، بازدهی کوانتوم (Quantum efficiency) است.

◆ ◆ ◆ ◆

نور بر خلاف سایر عوامل محیطی (مانند رطوبت، درجه حرارت و ...) از سه بُعد زیر دارای اطلاعات است:

الف) کیفیت نور: مقادیر نسبی رنگ‌های تشکیل‌دهنده نور معرف کیفیت نور می‌باشد. با توجه به اینکه بخش‌های مختلف نور مرئی می‌توانند در فتوسنتز کارایی متفاوتی داشته باشد؛ بنابراین کیفیت نور در این مورد نقش مهمی را ایفا می‌کند. گیاه نور سبز را از خود عبور داده و در نور آبی و قرمز حداکثر عمل فتوسنتز صورت می‌گیرد؛ بنابراین کیفیت نور تحت تأثیر عوامل مختلف می‌تواند تغییر کند؛ به عنوان مثال، در بخش‌های داخلی برخی از سیستم‌های کشت (در داخل کانوپی گونه‌ها) بخش اعظم نور آبی و قرمز جذب شده و قسمت عمده نور سبز و قرمز دور باقی می‌ماند؛ بنابراین کیفیت نور می‌تواند یک عامل محدودکننده فتوسنتز برای گیاهان واقع در زیر کانوپی باشد.

ب) کمیّت یا شدت نور: مقدار کل انرژی موجود در نور طیف PAR که به سطح برگ می‌رسد، شدت نور نامیده می‌شود. شدت نور را می‌توان بر حسب واحدهای مختلف انرژی بیان کرد اما معمول‌ترین آن‌ها لانگلی (کالری بر سانتی‌مترمربع)، وات (ژول بر ثانیه) و انیشتین (فوتون ۶×۱۰^{۲۳}) می‌باشد. در شدت‌های بالای نور رنگیزه‌های فتوسنتزی اشباع می‌گردند، این سطح از شدت نور را نقطه اشباع نوری (Light saturation point) می‌نامند. در این حالت، نور اضافی به طور مؤثری موجب افزایش فتوسنتز نمی‌شود و می‌تواند موجب تجزیه رنگیزه‌ها گردیده و به بافت‌های گیاهی صدمه رساند. از سوی دیگر مقادیر کم نور می‌تواند گیاه را به نقطه جبران نوری (Light compensation point) (سطحی از شدت نور که در آن میزان فتوسنتز و تنفس با هم برابر است) برساند. هنگامی که شدت نور به پایین‌تر از نقطه جبرانی نزول کند، تعادل انرژی برای گیاه منفی است. اگر این تعادل منفی از طریق فتوسنتز فعال شود و دریافت انرژی متوازن نگردد، گیاه از بین می‌رود.

نکته۱: از کل تشعشع جذب‌شده توسط بیوسفر، ۸۵-۷۵ % در روز صرف تبخیر آب، ۱۰ – ۵% در روز صرف گرم کردن خاک، ۱۰ – ۵% در روز صرف گرم کردن اتمسفر شده و تنها ۵-۱ % برای فتوسنتز به کار گرفته می‌شود.

ج) مدت نور: طول مدت مواجه شدن با نور به عنوان یک عامل مهم در چگونگی تأثیر شدت و کیفیت نور بر گیاه محسوب می‌شود. مقادیر شدید نور در مدت زمان کوتاه برای گیاه قابل تحمل است اما مدت طولانی می‌تواند موجب آسیب رساندن به بافت‌های گیاهی گردد. فتوپریود (تعداد کل ساعات روز) جنبه مهم دیگری از در معرض نور قرار گرفتن است. واکنش‌های مختلف در گیاهان دارای گیرنده‌های شیمیایی خاص یا مکانیزم‌های کنترلی هستند که با توجه به تعداد ساعات روشنایی یا در برخی مواقع تعداد ساعات تاریکی می‌توانند فعال یا غیرفعال شوند.

مثال۵: چند درصد از کل انرژی رسیده به سطح کانوپی گیاه از کارایی لازم برای فتوسنتز برخوردار است؟

۱) ۷۵ ۲) ۹۰ ۳) ۹۵ ۴) ۵

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» از کل تشعشع جذب شده توسط بیوسفر، تنها ۵-۱ % برای فتوسنتز به کار گرفته می‌شود.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۶: نقطه جبران فتوسنتزی نقطه‌ای که ..... (سراسری ۹۱)

۱) تنفس گیاه صفر است. ۲) فتوسنتز گیاه صفر است. ۳) فتوسنتز و تنفس برابر هستند. ۴) تنفس از فتوسنتز بیشتر است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» نقطه جبران فتوسنتزی نقطه‌ای است که همان مقدار ماده خشکی که در فتوسنتز ساخته می‌شود عیناً در تنفس نیز به مصرف می‌رسد بنابراین انباشت و ذخیره موادی نداریم و فتوسنتز و تنفس هیچ‌کدام از هم پیشی نمی‌گیرند بلکه با هم برابر هستند.

عوامل مؤثر در تنوع نور

کمیّت (شدت) و کیفیت نور دریافتی توسط گیاه در یک مکان معین و نیز طول مدت زمان قرارگرفتن در معرض نور تابع عواملی نظیر: عرض جغرافیایی، فصل، ارتفاع، پستی و بلندی، کیفیت هوا و ساختار کانوپی می‌باشد.

الف) عرض جغرافیایی: با توجه به اینکه محور حرکت وضعی زمین نسبت به سطح مدار حرکت به دور خورشید مایل است؛ بنابراین پیدایش فصول و اختلاف شب و روز اصولاً توسط عرض جغرافیایی مشخص می‌شود. در استوا، ثبات طول روز به مدت ۱۲ ساعت در تمام ایام سال محیط نوری مناسبی را فراهم ساخته به طوری که چند نوبت کشت و برداشت در طول سال امکان‌پذیر می‌گردد اما با نزدیک شدن به هر یک از قطب‌ها، تغییرات فصلی در طول روز بیشتر می‌شود.

نکته۲: در بالای مدار رأس‌السرطان طول مدت ۲۴ ساعته روز در تابستان با مدت ۲۴ ساعته شب در زمستان برابر می‌گردد.

www.modaresanesharif.ac.ir

ب) فصل: شدت و دوام نور تحت تأثیر فصل قرار دارد، به طوری که هرچه از استوا به سمت قطبین پیش می‌رویم تعداد ساعات روشنایی در تابستان بیشتر و در زمستان کمتر شده و به‌ترتیب در اول تابستان و زمستان به حد نهایی خود می‌رسد؛ زیرا در زمستان زاویه تابش خورشید نسبت به قطبین تمایل بیشتری داشته و با زاویه‌ای کمتر از ۹۰ درجه به سطح زمین می‌تابد. در این حالت نور خورشید قبل از رسیدن به گیاه از ضخامت بیشتری از اتمسفر عبور کرده و در منطقه وسیع‌تری از زمین پراکنده می‌شود؛ در نتیجه میزان نور در هر واحد سطح زمین کاهش یافته و از شدت کمتری برخوردار می‌باشد.

ج) ارتفاع: مقدار انرژی که توسط شعاع عمودی خورشید به سطح خارجی اتمسفر برخورد می‌کند برابر با ۲ کالری بر سانتی‌مترمربع در دقیقه (۱۳۹۵ وات بر مترمربع) است که «ثابت خورشیدی» نامیده می‌شود. تشعشع خورشیدی که از خلال اتمسفر عبور می‌کند، شدت آن به دلیل جذب و پخش توسط اتمسفر کاهش می‌یابد؛ بنابراین چنانچه در یک روز آفتابی ثابت خورشیدی در سطح عمود بر تابش در بالای اتمسفر ۲ باشد، هنگام رسیدن به سطح زمین از ۲ به ۱/۷-۱/۴ کالری در سانتی‌مترمربع در دقیقه کاهش می‌یابد. ضخامت اتمسفر با افزایش ارتفاع از سطح دریا، کمتر شده و در نتیجه شدت نور به دلیل جذب و پراکندگی کمتر توسط اتمسفر افزایش می‌یابد؛ بنابراین گیاهانی که در مناطق مرتفع رشد می‌کنند نسبت به گیاهان کشت‌شده در ارتفاع هم‌سطح دریا، بیشتر در شرایط اشباع نوری قرار دارند و با خطراتی نظیر تخریب کلروفیل مواجه‌اند. اغلب گیاهانی که در مناطق مرتفع رشد و نمو می‌کنند، دارای رنگ‌های منعکس‌کننده نور یا کرک‌ها و فلس‌های محافظ روی کوتیکول برگ خود هستند و به این طریق میزان نفوذ نور به برگ کاهش می‌یابد.

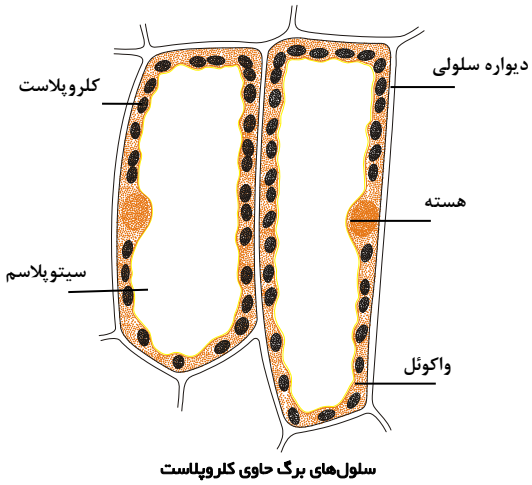
د) پستی و بلندی: شدت و مدت قرار گرفتن در معرض نور خورشید می‌تواند تحت تأثیر شیب و جهت آن تغییر کند. شیب‌های تند در جهت شمال به طور معنی‌داری نور مستقیم کمتری از سایر جهات دریافت می‌کنند. معمولاً جهت شیب در خلال ماه زمستان اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. به ویژه در مواردی که پستی و بلندی موجب سایه‌افکنی روی گیاهان مجاور شود.

هـ) کیفیت هوا: مواد معلق (گرد و غبار، دود، ذرات متراکم آب مانند ابر و مه) موجود در اتمسفر می‌توانند اثرات مهمی از نظر عبور نور داشته باشند. این ذرات معلق از طریق کاهش میزان انرژی نورانی دریافتی توسط برگ تا حد زیادی مانع فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شوند. مشکلات کیفی هوا معمولاً در داخل و اطراف شهرها یا مناطق صنعتی شایع است.

و) ساختار کانوپی گیاه: بسته به ساختمان کانوپی، پوشش گیاهی برگ‌ها کم و بیش هم‌پوشانی خواهند داشت. این هم‌پوشانی موجب کاهش کیفیت و کمیّت نوری که در نهایت به سطح خاک می‌رسد، خواهد شد؛ بنابراین تغییر در کمیّت و کیفیت نور نفوذی به تراکم شاخ و برگ و زاویه قرار گرفتن برگ‌ها بستگی دارد. از دیدگاه کشاورزی درک چگونگی تغییرات نور در داخل کانوپی گیاهی، به ویژه هنگام بررسی نظام‌های گوناگون کشت مخلوط، سیستم‌های جنگل زراعی و حتی مدیریت گونه‌های غیرزراعی در داخل یک نظام کشت اهمیت دارد؛ به عنوان مثال نور سایه موجود در زیر کانوپی گیاهان همیشه‌سبز پهن‌برگ، حاوی مقدار کمی از نور قرمز و آبی و دارای مقدار نسبتاً زیادی نور سبز و مادون قرمز است. بهترین ساختار کانوپی گیاه حالتی است که برگ‌های بالایی عمودی‌تر باشند و با حرکت به سمت قسمت‌های پایین‌تر گیاه برگ‌ها افقی‌تر گردند.

ساختمان دستگاه فتوسنتزی (کلروپلاست)

کلروپلاست (Chloroplast) محل انجام فتوسنتز در یوکاریوت‌های فتوسنتزکننده است. این اندامک سلولی از نظر شکل ظاهری شبیه عدسی به عرض ۱۰–۱ میلی میکرون است (شکل مقابل).



سلول‌های برگ حاوی کلروپلاست

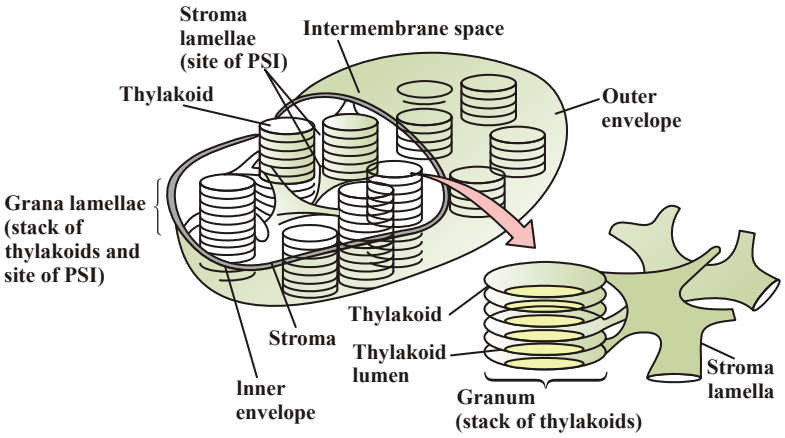
کلروپلاست از سه بخش اصلی تشکیل شده که عبارت‌اند از (شکل ساختمان کلروپلاست در گیاهان عالی):

الف) غشای دو لایه لیپوپروتئینی که کلروپلاست را احاطه می‌کند.

ب) ماده زمینه‌ای موجود در داخل کلروپلاست که استروما (Stroma) نامیده می‌شود و محل انجام واکنش‌های احیای کربن (واکنش‌های تاریکی فتوسنتز) است. استروما حاوی DNA، RNA، ریبوزوم، انواع آنزیم‌های کاتالیزکننده تثبیت کربن، مواد معدنی مختلف و ... است.

ج) سیستم فشرده غشاهای درونی به تیلاکوئید (Thylakoid) معروفند. تیلاکوئیدها خیلی نزدیک به هم و روی یکدیگر قرار دارند. به مجموعه تیلاکوئیدهایی که روی یکدیگر قرار دارند، گرانوم (Granum) و به مجموعه گرانوم‌ها، گرانا (Grana) گویند. درون غشای تیلاکوئید مجرایی به نام لومن (Lumen) قرار دارد که حاوی آب، ترکیبات پروتئینی و عناصری نظیر Mn و Cl است.

www.modaresanesharif.ac.ir



ساختمان کلروپلاست در گیاهان عالی

مثال۷: واکنش تاریکی در فتوسنتز در کجا انجام می‌شود؟ (آزاد ۸۵)

۱) تاج میتوکندری ۲) گرانوم‌ها ۳) استرومای دانه‌ای کلروپلاست ۴) تیلاکوئیدها

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» واکنش تاریکی در فتوسنتز در استرومای دانه‌ای کلروپلاست انجام می‌شود.

غشای تیلاکوئید با سایر غشاها تفاوت‌هایی دارد؛ از جمله:

ـ کلروفیل‌ها و سایر رنگدانه‌های کمکی گیرنده نور که در واکنش‌های نوری فتوسنتز نقش دارند، در غشای تیلاکوئید یافت می‌شوند.

ـ درصد اسیدهای چرب غشای تیلاکوئید بسیار بالاست و چربی این غشا خیلی سیال بوده به طوری که ترکیبات مختلف در داخل آن به راحتی حرکت می‌کنند. غشای تیلاکوئید مانند سایر غشاها از جنس لیپوپروتئین است اما درصد پروتئین بیشتری نسبت به چربی دارد.

اثر غربالی(Sieve effect): مورفولوژی و آناتومی برگ‌ها طوری طراحی شده است که نور را به طور کارآمدی جذب و آن را به کلروپلاست‌ها که فتوسنتز در آن صورت می‌گیرد، هدایت می‌کند. معماری برگ در گیاهان عالی به ویژه برای جذب مؤثر نور طراحی شده است. برگ دارای لایه‌ای از اپیدرم‌های فوقانی و تحتانی است. سطوح سلول‌های اپیدرمی که در معرض اتمسفر قرار دارند با کوتیکول پوشانده شده است. بافت‌های فتوسنتزی بین این دو لایه اپیدرمی قرار گرفته‌اند. از این رو به آنها مزوفیل گفته می‌شود. قسمت فوقانی بافت فتوسنتزی از یک تا سه لایه از سلول‌های مزوفیل نردبانی تشکیل شده است که به صورت سلول‌های استوانه‌ای و طویل‌شده هستند. به طوری که محور طولی آنها عمود بر سطح برگ است. در قسمت تحتانی بافت فتوسنتزی، مزوفیل اسفنجی که دلیل وجود فضاهای خالی فراوان بین سلول‌ها بدین نام خوانده می‌شود، قرار گرفته است. اما اغلب آنها ابعاد نسبتاً برابری دارند. طرح برگ تک‌لپه‌ای نیز به همین صورت است. با این تفاوت که در آنها بین سلول‌های مزوفیلی نردبانی و اسفنجی تفاوت چندانی وجود ندارد. سلول‌های نردبانی تعداد کلروفیل بیشتری نسبت به سلول‌های اسفنجی دارند که نشان‌دهنده سازگاری آنها برای استفاده از مقادیر بیشتر نور فتوسنتزی است که معمولاً به سطوح بالایی برگ می‌رسد. با توجه به تعداد نسبتاً زیاد کلروپلاست در لایه سلول‌های نردبانی برگ دولپه‌ای بخش قابل توجهی از حجم این سلول‌ها فاقد کلروپلاست است. بدین ترتیب چون رنگدانه‌های جذب‌کننده نور فقط در کلروپلاست وجود دارند، مقدار قابل توجهی از نور ممکن است از خلال لایه سلولی اول بدون این که جذب شود، عبور کند، این پدیده به «اثر غربالی» معروف است. برخورداری از چندین لایه از سلول‌های فتوسنتزی یکی از راه‌های ممکن برای افزایش جذب فوتون‌هایی است که احتمالاً از لایه سلولی بالایی عبور کرده‌اند.

مثال۸: منظور از اثر غربالی (Sieve effect) در بحث جذب نور توسط گیاه ..... (سراسری ۸۲)

۱) عبور نور از اپیدرم برگ می‌باشد.

۲) انعکاس نور در اثر برخورد با سطح برگ می‌باشد.

۳) عبور نور از برگ‌های فوقانی کانوپی و رسیدن آن به عمق کانوپی می‌باشد.

۴) کم بودن تعداد کلروپلاست در قسمت‌هایی از سلول‌های مزوفیلی نردبانی برگ و در نتیجه عبور قابل توجه نور از این لایه سلولی به طرف لایه‌های تحتانی می‌باشد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» ساختمان برگ به صورت کاملاً اختصاصی برای جذب نور تکامل یافته و لایه‌های بالایی سلول‌های فتوسنتز کننده که در زیر اپیدرم هستند (سلول‌های نردبانی) سبب افزایش راندمان جذب نور می‌شوند زیرا ممکن است به دلیل اثرات غربالی و هدایت نوری، نور بیشتر از حد مورد انتظار از لایه‌های اولیه سلول‌های نردبانی عبور کند. اثر غربالی به این دلیل است که توزیع کلروفیل‌ها در سلول یکنواخت نیست و متکی به کلروپلاست‌ها می‌باشد. اثر غربالی در طول موج‌های جذب شده قرمز و آبی در حداکثر مقدار خود می‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۹: در بحث خصوصیاتی فتوسنتزی برگ اثر غربالی به ..... گفته می‌شود. (سراسری ۸۷)

۱) خصوصیت تنظیم دهانه روزنه‌های برگ
۲) خصوصیت تراکم پایین کلروپلاست در مزوفیل اسفنجی
۳) قابلیت عبور CO_2 از قسمت‌های فاقد کلروپلاست مزوفیلی نردبانی
۴) قابلیت عبور نور از قسمت‌های فاقد کلروپلاست مزوفیل نردبانی

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» اثر غربالی به این دلیل است که توزیع کلروفیل‌ها در سلول یکنواخت نیست و متکی به کلروپلاست‌ها می‌باشد. اثر غربالی در طول موج‌های جذب شده قرمز و آبی در حداکثر مقدار خود می‌باشد. ساختمان برگ به صورت کاملاً اختصاصی برای جذب نور تکامل یافته و لایه‌های بالایی سلول‌های فتوسنتز کننده که در زیر اپیدرم هستند (سلول‌های نردبانی) سبب افزایش راندمان جذب نور می‌شوند زیرا ممکن است به دلیل اثرات غربالی و هدایت نوری، نور بیشتر از حد مورد انتظار از لایه‌های اولیه سلول‌های نردبانی عبور کند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۰: پدیده غربالی (Sieve effect) در ساختار برگ به کدام مورد مربوط است؟ (دکتری ۹۶)

۱) رابطه و تداوم سیتوسولی در سلول‌های برگ
۲) حرکت و عبور مواد پرورده در عناصر غربالی
۳) هدایت و توزیع کارآمد تابش وارده به درون برگ
۴) حرکت و هدایت آب به طرف سلول‌های روزنه جهت تعرق

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» پدیده غربالی (Sieve effect) در ساختار برگ مربوط به هدایت و توزیع کارآمد تابش وارده به درون برگ است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تمامی رنگیزه‌هایی که در فتوسنتز نقش دارند، در کلروپلاست و در غشای تیلاکوئید وجود دارند. رنگیزه‌های موجود در غشای تیلاکوئید عمدتاً شامل: دو نوع کلروفیل (a وb) و کاروتنوئیدها (کاروتن و گزانتوفیل) می‌باشند.

نکته۳: تمامی رنگیزه‌ها به استثنای کلروفیل a، اصطلاحاً به رنگیزه‌های کمکی یا کلروفیل b معروفند.

انرژی نوری جذب‌شده توسط رنگیزه‌های کمکی سریعاً به کلروفیل a منتقل می‌شود. به طورکلی رنگیزه‌های کمکی نقش مهمی را در حفاظت نوری (Photoprotection) کلروفیل a بر عهده دارند. غشای فتوسنتزی می‌تواند از طریق جذب مقادیر زیاد انرژی توسط رنگیزه‌ها آسیب ببیند.

اگر وضعیت برانگیخته کلروفیل a سریعاً توسط انتقال برانگیختگی یا ذخیره انرژی اضافی به صورت فتوشیمیایی فروکش نشود، در این وضعیت واکنشی بین مولکول برانگیخته کلروفیل و اکسیژن مولکولی اتفاق می‌افتد که منجر به تشکیل رادیکال آزاد اکسیژن می‌گردد. رادیکال آزاد اکسیژن واکنش‌پذیری بسیار بالایی دارد که منجر به ایجاد واکنش یا خسارت به تعدادی از ترکیبات مولکولی، به ویژه چربی‌ها می‌شود. این پدیده آفتاب‌سوختگی(Solarization) نامیده می‌شود. رنگیزه‌های کمکی (شامل کلروفیل گروه b و کاروتنوئیدها) از طریق فروکش کردن سریع وضعیت برانگیخته کلروفیل a، محافظت نوری را انجام می‌دهند. وضعیت برانگیخته رنگیزه‌های کمکی فاقد انرژی لازم برای تشکیل رادیکال آزاد اکسیژن می‌باشند؛ بنابراین ضمن از دست دادن انرژی اضافی به صورت گرما، به حالت پایدار اولیه خود (حالت بنیادی) باز می‌گردند.

نکته۴: رنگیزه‌های کمکی انرژی نورانی با توان بالا (امواج با طول موج کوتاه) را جذب کرده و به کلروفیل a منتقل می‌کنند (این رنگیزه‌ها قادر به انتقال انرژی به مرکز واکنش نیستند)؛ بنابراین در تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی تنها کلروفیل a نقش دارد.

مثال۱۱: کدام رنگیزه‌ها انرژی نورانی را جذب و به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند؟ (آزاد ۸۵)

۱) کلروفیل b و کاروتنوئیدها
۲) کاروتنوئیدها
۳) آنتوسیانین
۴) کلروفیل a

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی تنها کلروفیل a نقش دارد. رنگیزه‌های کمکی که شامل کلروفیل b و کاروتنوئیدها هستند، قادر به انتقال انرژی به مرکز واکنش نبوده و فقط می‌توانند انرژی نورانی با توان بالا را جذب کرده و به کلروفیل a انتقال دهند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۲: در کمپلکس‌های کلروپلاستی دریافت‌کننده نور فتوسنتزی کدام مورد درست است؟ (سراسری ۹۷)

۱) تعداد مولکول‌های کلروفیل در قسمت آنتن و قسمت مرکز واکنش برابر است.
۲) تعداد مولکول‌های کلروفیل در قسمت آنتن به‌وضوح بیشتر از قسمت مرکز واکنش است.
۳) تعداد مولکول‌های کلروفیل در قسمت مرکز واکنش به‌وضوح بیشتر از قسمت آنتن است.
۴) یک مولکول کلروفیل وظیفه آنتن و یک مولکول کلروفیل دیگر وظیفه مرکز واکنش را انجام می‌هد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» تمام واکنش‌های فتوسنتزی در اندامک‌هایی (حاوی کلروفیل، کاروتن و زانتوفیل) به‌نام کلروپلاست انجام می‌گیرد. در کمپلکس‌های کلروپلاستی دریافت‌کننده نور فتوسنتزی تعداد مولکول‌های کلروفیل در قسمت آنتن بیشتر از قسمت مرکز واکنش است.

مکانیسم‌های جذب انرژی نورانی توسط کلروفیل

طیف جذبی (Absorption spectrum) میزان انرژی نوری جذب‌شده توسط یک مولکول یا ماده را به عنوان تابعی از طول موج نشان می‌دهد. طیف جذبی کلروفیل a، به طور تقریبی نشان‌دهنده بخشی از نور خورشید است که مورد استفاده گیاه واقع می‌شود. کلروفیل به‌طور عمده نور را در ناحیه طول موج‌های قرمز و آبی جذب و نورهایی با طول موج سبز را منعکس می‌کند؛ بنابراین کلروفیل به رنگ سبز دیده می‌شود. جذب نور توسط رابطه (۶) نشان داده می‌شود. در این رابطه کلروفیل (chl) در پایین‌ترین سطح انرژی خود یا در حالت پایدار، یک فوتون نور (hv) را جذب کرده و به حالت برانگیخته (ناپایدار) با سطح انرژی بالاتر (chl*) تبدیل می‌شود.

$$chl + hv \rightarrow chl^* \qquad (۶)$$

www.modaresanesharif.ac.ir

فصل چهارم

«هورمون‌های گیاهی»

درسنامه (۱): انواع هورمون‌های گیاهی

در گیاهان عالی، رشد و تکامل توسط مواد شیمیایی با غلظت‌های بسیار کم کنترل می‌شود. این مواد به نام‌های «مواد رشددهنده گیاه» (Plant growth substances)، «هورمون‌های گیاهی» (Plant hormones)، «فیتوهورمون» (Phytohormones) یا «تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه» (PGR) (Plant growth regulators) خوانده می‌شوند.

اصطلاح تنظیم‌کننده‌های رشد، دسته وسیعی از مواد آلی (به استثنای ویتامین‌ها و عناصر کم‌مصرف) را شامل می‌شود. این مواد در مقادیر ناچیز، فرایندهای فیزیولوژیک را پیش برده یا از انجام آن‌ها جلوگیری می‌کنند یا اینکه سایر فرایندها را تغییر می‌دهند. مواد تنظیم‌کننده رشد چه در داخل گیاه تولید شوند و چه منشأ خارجی داشته باشند، الزاماً عکس‌العمل‌های مشابه‌ای در گیاه به‌وجود می‌آورند.

رشد و نمو گیاه به‌وسیله پنج نوع هورمون مختلف: اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکنین‌ها، اتیلن و آبسیزیک‌اسید تنظیم می‌شود.

نکته۱: در بین اندام‌های گیاه ریشه از دوره طولانی‌تری از رشد برخوردار می‌باشد.

مثال۱: کدام‌یک از اندام‌های گیاه دوره طولانی‌تری از رشد را شامل می‌شود؟ (سراسری ۸۲)

۱) برگ ۲) ریشه ۳) ساقه ۴) میوه

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» زیرا ریشه اولین اندامی است که پس از جوانه زنی بذر از آن خارج شده و سبب جذب آب و املاح مورد نیاز برای گیاه می‌گردد و رشد آن در تمام طول دوره رشد گیاه ادامه دارد. بعد از ریشه در جوانه‌زنی بذر، ساقه و برگ‌ها تشکیل می‌شوند و در انتها نیز گیاه وارد فاز زایشی شده و تولید گل و میوه می‌کند.

◆ ◆ ◆ ◆

از بیشتر هورمون‌هایی که در این پنج گروه قرار دارند، مشتقات بسیاری تولید شده است و بسیاری از آن‌ها کاربردهای مهمی در کشاورزی دارند.

برای اینکه یک ترکیب به‌عنوان هورمون گیاهی شناخته شود، خواص مشخصی را لازم دارد که عبارتند از:

۱ـ محل ساخته شدن با محل اثر آن‌ها در گیاه فرق کند (برای مثال ساختن این مواد در جوانه‌ها و برگ‌های جوان صورت گیرد اما عکس‌العمل آن‌ها در ساقه‌ها، ریشه‌ها یا اعضای دیگر انجام شود). با این حال این امر همیشه صادق نیست و ممکن است هورمون‌های گیاهی در همان بافت یا حتی همان سلول که تولید می‌شوند اثر خود را بر جای بگذارند.

۲ـ با مقادیر بسیار کم عکس‌العمل انجام شود (برای نمونه غلظت پایینی در حد 10^{-9} M).

۳ـ برعکس ویتامین‌ها و آنزیم‌ها، عکس‌العمل‌ها ممکن است تغییر شکل‌دهنده و پلاستیک (غیرقابل‌برگشت) باشد؛ به عنوان مثال «عکس‌العمل‌های گرایشی» (Tropic responses).

۴ـ شدت انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی بستگی به غلظت هورمون و حساسیت‌های سلول‌های مورد نظر به هورمون دارد.

۵ـ بین هورمون‌ها ممکن است اثر متقابل وجود داشته باشد و برخی از هورمون‌ها متابولیسم هورمون‌های دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مثال۲: تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ترکیباتی هستند که:

۱) فقط سبب واکنش گیاه به تشعشع خورشیدی می‌شوند.

۲) اغلب در برگ گیاهان تولید شده و به سایر اندام‌های گیاه منتقل می‌شوند.

۳) قابلیت افزایش سرعت بسیاری از فرایندها و مراحل نمو گیاه را دارند.

۴) قابلیت افزایش و کاهش بسیاری از فرایندها و مراحل رشد و نمو گیاه را دارند.

www.modaresanesharif.ac.ir

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» ارتباط بین سلولی در گیاهان عالی (همانند جانوران) به وسیله عمل پیام‌آورهای شیمیایی به نام هورمون انجام می‌شود. در سلول، هورمون‌ها با پروتئین‌های مخصوصی به نام گیرنده وارد واکنش می‌شوند.

کمپلکس هورمون ـ گیرنده شکل فعال هورمون می‌باشد. هورمون‌ها بسته به نوع خود در قسمت‌های مختلفی از گیاه ساخته می‌شوند و اعمال گوناگونی را انجام می‌دهند. برخی از هورمون‌ها تحریک‌کننده رشد و برخی بازدارنده هستند؛ مانند اتیلن و اسیدآبسیزیک.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۳: ..... نام مناسبی برای ترکیباتی نظیر اکسین، جیبرلین و اتیلن است. (دکتری ۹۳)

۱) هورمون ۲) بازدارنده رشد ۳) تحریک‌کننده رشد ۴) تنظیم‌کننده رشد

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» گیاهان عالی موجودات زنده پیچیده‌ای‌اند؛ از این‌رو نمو منظم و حساب‌شده آن‌ها نیازمند سازوکاری است که بتواند بین سلول‌های ایجادکننده این گیاهان هماهنگی برقرار کند. برای ایجاد هماهنگی در فعالیت سلول‌ها، ایجاد نوعی ارتباط بین این سلول‌ها که اغلب موارد در مجاورت همدیگر نیستند ضروری است. مواد تنظیم‌کننده رشد عوامل اصلی ارتباطات بین سلولی‌اند.

مواد تنظیم‌کننده رشد پیام‌رسان‌های شیمیایی‌اند که کار انتقال و تبادل اطلاعات بین سلول‌ها و در نتیجه تنظیم و هماهنگی رشد و نمو آن‌ها را انجام می‌دهند. از حدود سال ۱۹۲۵ میلادی که هورمون‌های گیاهی برای اولین بار کشف شدند تاکنون تحقیقات فراوان و گاه جنجال‌برانگیزی روی آن‌ها صورت گرفته است.

واژه تنظیم‌کننده رشد به مواد معینی اطلاق می‌شود که در بخشی از موجود زنده ساخته شده و پس از انتقال اثرات فیزیولوژیکی محسوسی در دیگر قسمت های آن به جا می‌گذارد و در تراکم‌های بسیار کم فعالند. این تصور کلی در اصل در قلمرو فیزیولوژیکی حیوانی به وجود آمده است.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۴: نحوه تأثیر هورمون‌های گیاهی چگونه است؟ (دکتری ۹۴)

۱) همواره متناسب با غلظت آن‌ها است و این تأثیر در بافت مولد هورمون هم رخ می‌دهد.

۲) ضرورتاً متناسب با غلظت آن‌ها نیست و هیچ‌گاه این تأثیر در بافت مولد هورمون رخ نمی‌دهد.

۳) همواره متناسب با غلظت آن‌ها است و این تأثیر هیچ‌گاه در بافت مولد هورمون رخ نمی‌دهد.

۴) ضرورتاً متناسب با غلظت آن‌ها نیست و این تأثیر در بافت مولد هورمون هم رخ می‌دهد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» شدت انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی بستگی به غلظت هورمون و حساسیت‌های سلول‌های مورد نظر به هورمون دارد. محل ساخته شدن با محل اثر آن‌ها در گیاه فرق کند با این حال این امر همیشه صادق نیست و ممکن است هورمون‌های گیاهی در همان بافت یا حتی همان سلول که تولید می‌شوند اثر خود را بر جای بگذارند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۵: کدام مورد، وجه اشتراک تمام هورمون‌های گیاهی است؟ (سراسری ۹۶)

۱) همراه شیره آوند آبکش منتقل می‌شوند. ۲) ماهیت کربوهیدراتی دارند.

۳) در افزایش رشد گیاه نقش دارند. ۴) در تنظیم رشد گیاه نقش دارند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در گیاهان عالی رشد و تکامل توسط مواد شیمیایی با غلظت‌های بسیار کم کنترل می‌شود. این مواد به نام‌های مواد رشددهنده گیاه، هورمون‌های گیاهی، فیتوهورمون و یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه خوانده می‌شوند.

اصطلاح تنظیم‌کننده‌های رشته دسته وسیعی از مواد آلی (به استثنای ویتامین‌ها و عناصر کم‌مصرف) را شامل می‌شود. این مواد در مقادیر ناچیز فرایندهای فیزیولوژیک را پیش برده یا از انجام آن‌ها جلوگیری می‌کنند و یا این که سایر فرایندها را تغییر می‌دهند. مواد تنظیم‌کننده رشد چه در داخل گیاه تولید شوند و چه منشأ خارجی داشته باشند الزاماً عکس‌العمل‌های مشابهی در گیاه به‌وجود می‌آورند.

www.modaresanesharif.ac.ir

درسنامه (۲): اکسین‌ها

اکسین‌ها اولین هورمون کشف‌شده و شناخته‌شده‌ترین هورمون در بین هورمون‌های گیاهی می‌باشند که طیف وسیعی از عکس‌العمل‌های رشد را موجب می گردند. چندین ترکیب طبیعی در گیاهان عالی وجود دارد که همان فعالیت اکسین را ارائه می‌دهند اما اسید ایندول استیک (IAA) مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد که به‌عنوان اکسین اصلی شناخته شده است. اسید ایندول استیک (IAA) معمولاً در حالت طبیعی به شکل آزاد وجود ندارد بلکه بیشتر به حالت متصل با اسید اسکوربیک، قند، اسیدآمینه و ترکیبات آلی دیگر موجود است. شکل‌های پیوسته به آسانی توسط هیدرولیز آنزیمی تبدیل به IAA آزاد می‌گردند. واژه «اکسین» برای مواد شیمیایی طبیعی و مصنوعی که رشد کولئوپتیل و ساقه را موجب می‌گردند، به‌کار می‌رود. چنانچه نوک کولئوپتیل به طول چند میلی-متر برداشته شود، رشد آن به‌سرعت کند می‌گردد.

قرار دادن نوک بریده‌شده بر روی کولئوپتیل موجب افزایش سرعت رشد آن و گاهی رسیدن به سرعت رشد اولیه می‌گردد، در حالی‌که اگر به‌جای نوک کولئوپتیل، قطعه‌ای از قسمت پایین‌تر آن بریده شود و جای نوک بریده‌شده قرار داده شود، افزایشی در سرعت طویل شدن قسمت باقی‌مانده به‌وجود نمی‌آید یا مقدار آن ناچیز است. این موضوع نشان می‌دهد، طویل شدن کولئوپتیل که از قسمت‌های پایین صورت می‌گیرد به دلیل تولید نوعی محرک است که در نوک کولئوپتیل ساخته شده و به قسمت‌های پایینی منتقل می‌گردد. این ماده همان اکسین است.

انتقال اکسین‌ها در گیاه

ـ جهت حرکت اکسین‌ها، به طرف قاعده و عمدتاً از بالا به پایین است.

ـ سرعت انتقال اکسین به‌صورت خطی و معادل ۶ میلی‌متر در ساعت می‌باشد.

ـ انتقال اکسین عموماً به‌صورت سیمپلاست (درون سلولی) است که از طریق آوند آبکش و به‌صورت فعال انجام می‌گیرد؛ زیرا سرعت انتقال آن در غیاب O_2 یا در حضور CO_2 کاهش می‌یابد. سطوح بالاتر از حد مطلوب اکسین نیز ممکن است علاوه بر حرکت درون سلولی موجب حرکت آپوپلاستیک (حرکت بین‌سلولی) آن توسط آوند چوبی نیز شود.

ـ سیتوکنین و به‌ویژه جیبرلین‌ها موجب افزایش سرعت انتقال اکسین می‌گردند، درحالی‌که بازدارنده‌های رشد از انتقال اکسین جلوگیری می‌کنند. فلوئورسدیم و اسید تری‌یدوبنزوئیک از بازدارنده‌های انتقال اکسین هستند.

محل تولید اکسین در گیاهان

اکسین‌ها در بافت‌های مریستمی فعال (نظیر: جوانه‌ها، برگ‌های جوان و میوه‌ها) تولید می‌شوند.

مثال۶: هورمون ..... تولید و در ..... عمل می‌کند. (دکتری ۹۳)

۱) اکسین در رأس ساقه ـ ریشه
۲) اکسین در ریشه ـ اندام‌های هوایی
۳) اکسین در رأس ریشه ـ ریشه
۴) اکسین در رأس ساقه ـ اندام‌های هوایی و ریشه

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» اکسین (IAA) در نواحی رشد فعال گیاهان از اسیدآمینه تریپتوفان ساخته می‌شود. انتقال IAA قطبی است و جهت آن عمدتاً از بالا به پایین (Basipetal) است. IAA به سادگی به فرم‌های غیرفعال اکسید می‌شود.

اکسین IAA عموماً در همه قسمت‌های گیاه وجود دارد. بالاترین غلظت‌های هورمون در نواحی مریستمی و اندام‌های فعال رشدی مانند انتهای کلئوپتیل، نوک ریشه‌ها، جوانه‌های انتهای ساقه‌های در حال رشد و بذور در حال جوانه‌زنی قابل تشخیص است، همچنین برگ‌های جوان و در حال رشد سریع، گل آذین جوان و جنین‌های حاصل بعد از گرده‌افشانی و باروری مکان‌های عمده سنتز IAA هستند. سلول‌های برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های مسن‌تر مقادیر قابل توجهی IAA تولید نمی‌کنند.

عوامل جلوگیری‌کننده از تولید و فعالیت اکسین

ـ اکسیداسیون آنزیمی (IAA- اکسیداز) که در سرتاسر گیاه به‌ویژه در بافت‌های مسن‌تر اتفاق می‌افتد از تولید اکسین جلوگیری می‌کند.

ـ پراکسیداسیون (H_2O_2) در حضور اکسیژن برای کاهش عمل اکسین در سرتاسر گیاه اتفاق می‌افتد.

ـ اتصال اکسین به ترکیبات آلی دیگر (نظیر: اسید اسکوربیک، قندها و اسیدهای آمینه) موجب کاهش فعالیت آن می‌شود.

اثرات فیزیولوژیکی اکسین‌ها

اکسین اثرات متنوعی بر روی رشد و ریخت‌زایی گیاه دارد که بستگی به عواملی نظیر: مرحله نموی بافت یا اندام، غلظت اکسین، نوع اکسین (طبیعی یا مصنوعی) و حضور سایر هورمون‌های گیاهی دارد.

اثرات سلولی اکسین عبارتند از: ۱ـ افزایش در نوکلئوتیدهای DNA و RNA و ساخت پروتئین و آنزیم؛ ۲ـ افزایش در تبادل پروتون، بار غشایی و جذب پتاسیم؛ ۳ـ تأثیر روی عمل فیتوکروم با نورهای قرمز.

www.modaresanesharif.ac.ir

به‌طورکلی نقش‌های مهم اکسین‌ها در گیاهان شامل موارد زیر می‌باشد:

ـ طویل شدن سلول‌ها و اندام‌ها: ساقه‌ها به طیف وسیعی از غلظت اکسین عکس‌العمل نشان می‌دهند، درحالی‌که رشد ریشه در قسمت اعظمی از دامنه غلظت این هورمون بازداشته می‌شود. اکسین در همان غلظتی که سبب تشدید طویل شدن کولئوپتیل و سایر اندام‌های هوایی می‌گردد، طویل شدن ریشه را کند می‌کند.

ـ غالبیت انتهایی: اکسین‌ها موجب تشدید اثر بازدارندگی جوانه‌های انتهایی روی جوانه‌های جانبی می‌شوند.

ـ بکرزایی (پارتنوکارپی): اکسین‌ها بکرزایی (بی‌دانگی) را در میوه‌ها تحریک می‌کنند؛ به‌عنوان مثال، در برخی از گونه‌ها نظیر توت فرنگی می‌توان با کاربرد اکسین موجب تولید میوه بدون دانه گردید.

ـ ریزش: اکسین‌ها افتادن میوه و برگ را به تأخیر می‌اندازند.

ـ تشکیل ریشه‌های نابه‌جا: اکسین‌ها موجب ریشه‌دار شدن قلمه‌ها می‌گردند. در گونه‌ها یا ارقامی که به سختی به ریشه می‌روند، لازم است که از منابع اکسین خارج از گیاه استفاده شود. محدوده غلظت اکسین برای تشکیل ریشه‌های نابه‌جا بیشتر از غلظت اکسین برای رشد ریشه است. این ترکیبات موجب تسریع تشکیل کال و ریشه و بهبود استقرار گیاه پس از قلمه‌زنی می‌گردند.

ـ نورگرایی (فتوتروپیسم) و زمین‌گرایی (ژئوتروپیسم): اکسین موجب نورگرایی و زمین‌گرایی در گیاهان می‌گردد. هورمون اکسین در برابر نور تجزیه می‌شود؛ بنابراین این هورمون از نور گریزان است. هنگامی‌که ساقه در معرض نور قرار می‌گیرد، اکسین از سمتی که نور می‌تابد به سمتی که سایه است، حرکت می‌کند و موجب رشد یک‌طرفه ساقه در آن قسمت می‌گردد و این امر سبب انحنای ساقه به طرف بالا می‌شود. در حالی که اگر ریشه در معرض نور یک‌سویه قرار گیرد، اکسین از قسمت فوقانی ریشه به قسمت تحتانی انتقال یافته و سبب متوقف شدن رشد آن قسمت می‌گردد؛ بنابراین رشد یک‌جانبه قسمت فوقانی ریشه که در معرض نور قرار دارد، موجب خم شدن ریشه به طرف پایین می‌گردد؛ از این رو ساقه و کلئوپتیل دارای زمین‌گرایی منفی و نورگرایی مثبت (رو به بالا) هستند، در حالی‌که ریشه دارای زمین‌گرایی مثبت و نورگرایی منفی (رو به پایین) می‌باشد.

ـ گل‌دهی: اکسین گل‌دادن برخی از گیاهان روزبلند را در روزهای بلند زیاد می‌کند اما گل‌دهی گیاهان روزکوتاه را در روزهای کوتاه متوقف می‌نماید.

نکته۲: عنصر کلسیم نقش بسزایی در تقسیم سلولی گیاهان دارد. همچنین این عنصر در ژئوتروپیسم یا زمین‌گرایی گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کند.

مثال۷: ژئوتروپیسم مثبت ریشه تحت تأثیر کدام هورمون ایجاد می‌شود؟

۱) اتیلن ۲) اکسین ۳) سیتوکنین ۴) جیبرلین

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» اکسین از جمله هورمون‌های مهم گیاهی است که نقش‌های بسیار مهمی را در گیاه بر عهده دارد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱ـ طویل شدن سلول‌ها و اندام‌ها، ۲ـ تشکیل ریشه، ۳ـ غالبیت انتهایی، ۴ـ پارتنوکارپی، ۵ـ ایجاد گل‌ها، ۶ـ ژئوتروپیسم (زمین‌گرایی) و فتوتروپیسم (نورگرایی).

ساقه و کلوئپتیل دارای زمین‌گرایی منفی و نورگرایی مثبت (رو به بالا) هستند، درحالی که ریشه دارای زمین‌گرایی مثبت و نورگرایی منفی (رو به پایین) است. مکانیسم این گرایش‌ها بدین صورت می‌باشد که هورمون اکسین از نور فرار می‌کند.

بنابراین وقتی ساقه در معرض نور قرار می‌گیرد، اکسین از طرفی که نور می‌تابد به طرفی که سایه است حرکت می‌نماید و باعث رشد یک‌طرفه آن قسمت از ساقه می‌گردد و این امر سبب انحنای ساقه به طرف بالا می‌شود، زیرا وقتی ساقه به طور افقی قرار می‌گیرد، غلظت اکسین در قسمت تحتانی آن زیاد شده و باعث رشد آن قسمت می‌گردد، در نتیجه ساقه به طرف بالا انحنا پیدا می‌کند. درحالی که اگر ریشه در معرض نور یک سویه قرار گیرد، اکسین از قسمت فوقانی ریشه به قسمت تحتانی انتقال یافته و سبب متوقف شدن رشد آن قسمت می‌گردد. بنابراین رشد یک جانبه قسمت فوقانی ریشه که در معرض نور قرار دارد باعث خم شدن ریشه به طرف پایین می‌شود.

مثال۸: نقش کلاهک ریشه بر روی رشد ریشه چیست و این نقش از طریق کدام هورمون ایفا می‌گردد؟ (دکتری ۹۴)

۱) بازدارندگی رشد ریشه ـ ABA ۲) تحریک رشد ریشه ـ سیتوکینین ۳) بازدارندگی رشد ریشه ـ IAA ۴) تحریک رشد ریشه ـ IAA

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در منطقه مریستمی، سلول‌ها هم در جهت قاعده ریشه برای ایجاد سلول‌هایی که به بافت‌های کارکردی ریشه تمایز می‌یابند و هم در جهت نوک ریشه، برای تشکیل کلاهک ریشه تقسیم می‌شوند. کلاهک ریشه وظیفه حفاظت از سلول‌های ظریف مریستمی را در حین توسعه ریشه به درون خاک بر عهده دارد. کلاهک همچنین یک ماده ژلاتینی به نام موسیژل ترشح می‌کند که معمولاً نوک ریشه را در برمی‌گیرد.

این ماده ممکن است وظیفه تسهیل نفوذ ریشه در خاک، حفاظت نوک ریشه از آبکشیدگی، افزایش انتقال عناصر غذایی به ریشه یا تأثیر روی برهمکنش بین ریشه و ریز موجودات خاک را به عهده داشته باشد.

کلاهک ریشه مرکز درک جاذبه بوده و این پیام ریشه‌ها را به سمت پایین هدایت می‌نماید. این فرایند به نام پاسخ زمین‌گرایی نامیده می‌شود. ترکیبات تجاری ریشه‌زا در بازار وجود دارند. این ترکیبات تشکیل کال و ریشه را جلو می‌اندازد که این امر می‌تواند استقرار گیاه پس از قلمه‌زنی را بهبود بخشد. گونه‌ها و ارقامی را که به سختی ریشه می‌دهند، با فرو بردن سطح قلمه در یک ترکیب ریشه‌زا تکثیر می‌نمایند.

خزانه‌داران (صاحبان قلمستان) تجاری نیز اهمیت قلمه‌های انتخابی را که دارای مقداری جوانه فعال هستند از جهت تولید اکسین‌های داخلی می‌دانند. اکسین‌ها همچنین در جلوگیری از جوانه‌زنی سیب‌زمینی‌هایی که انبار می‌شوند مؤثر هستند. سیب‌زمینی ممکن است در محلول اکسین آغشته شود (مثل NAA) یا اینکه با پودر تالک یا خاک فولر که دارای یک اکسین است، اکسین‌پاشی شود. همچنین می‌توان سیب‌زمینی را در ورقه‌های کاغذی آغشته به محلول اکسین نیز انبار نمود. در حال حاضر مواد تنظیم‌کننده رشد جدیدتر و مؤثرتری برای دستیابی به این اهداف وجود دارند.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۹: کدام عنصر، در ژئوتروپیسم و تقسیم سلولی نقش دارد؟ (دکتری ۹۴)

۱) کلسیم ۲) فسفر ۳) گوگرد ۴) پتاسیم

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» به‌طور کلی، خمیدگی یا سمت‌گیری اندام‌های گیاهی در برابر شرایط محیطی ناهمسان سبب عدم تساوی سرعت رشد بین سطوح می‌شود که به آن تروپیسم یا گرایش گفته می‌شود. تروپیسم‌ها یا گرایش‌ها برحسب عامل خارجی به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. شامل: فتوتروپیسم، هلیوتروپیسم، ژئوتروپیسم، هیگروتروپیسم، هیدروتروپیسم، شیمیوتروپیسم، و تیگموتروپیسم.

عنصر کلسیم نقش بسزایی در تقسیم سلولی گیاهان دارد. همچنین این عنصر در ژئوتروپیسم یا زمین‌گرایی گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۰: کدام مورد در ارتباط با جاذبه‌گرایی ریشه می‌باشد؟ (دکتری ۹۳)

۱) اکسین و GA ۲) اکسین و فیتوکروم ۳) کلسیم و پولوینی ۴) کلسیم و استاتولیت

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» زمین‌گرایی یا رشد در واکنش به نیروی جاذبه که ریشه‌ها را قادر به رشد به سمت پایین در خاک و اندام‌های هوایی را قادر به رشد رو به بالا و دور از خاک می‌کند به ویژه طی مراحل اولیه جوانه‌زنی اهمیت دارد. در عکس‌العمل زمین‌گرا یا جاذبه‌ای، اکسین به سلول‌هایی که در لبه پایینی یک اندام افقی قرار دارند حرکت می‌کند و موجب انحنای نامتقارن سلول‌ها می‌گردد. نورگرایی یا رشد با توجه به نور در تمام اندام‌های هوایی و برخی ریشه‌ها دیده می‌شود. نورگرایی یعنی حرکت به سمت نور، نورگرایی موجب اطمینان از دریافت نور خورشید کافی برای تمام برگ‌ها جهت فتوسنتز می‌شود. کلسیم به عنوان یک عامل اصلی در خمیدگی کلئوپتیل ریشه مطرح می‌باشد. در غلات پولوینی در برگ‌ها مطرح است و در شرایط خاصی مثل تنش خشکی برگ‌ها جمع می‌شود که جاذبه‌گرایی نیز مطرح است.

موارد استفاده اکسین‌ها در کشاورزی

مهم‌ترین موارد استفاده اکسین‌ها در کشاورزی عبارتند از: ۱ـ کاربرد اکسین‌ها به‌عنوان علف‌کش در کنترل علف‌های هرز (نظیر: DMCPA – ۲,۴، T – ۲,۴,۵ و MCPA)؛ ۲ـ استفاده از اکسین‌ها برای جلوگیری از تشکیل لایه جداکننده و در نتیجه ممانعت از ریزش میوه در سیب و گلابی (مانند D – ۲,۴ یا NAA)؛ ۳ـ استفاده از اکسین‌هایی مانند D – ۲,۴ برای تحریک سنتز اتیلن و تشکیل میوه در آناناس؛ ۴ـ کاربرد اکسین‌ها (مانند NAA) به منظور جلوگیری از جوانه‌زنی سیب‌زمینی در انبار؛ ۵ـ کاربرد اکسین‌ها به‌عنوان ترکیبات ریشه‌زا.

مثال۱۱: از کدام هورمون به‌عنوان علف‌کش در کنترل علف‌های هرز استفاده می‌گردد؟

۱) اکسین ۲) جیبرلین ۳) سیتوکنین ۴) اسید آبسیزیک

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» اکسین‌ها در ترکیب علف‌کش‌هایی نظیر: D – ۲,۴، T – ۲,۴,۵ و MCPA وجود دارند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۲: بسیاری از اثرات بازدارندگی اکسین در غلظت‌های بالا ناشی از ..... می‌باشد. (سراسری ۹۲)

۱) تولید اتیلن ۲) تولید اسید آبسیزیک ۳) از بین بردن شیب الکتروشیمیایی ۴) اسیدی شدن شدید سیتوپلاسم

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» اثرات بازدارندگی اکسین‌ها در غلظت‌های بالا از طریق تولید اتیلن زیاد اعمال می‌شود. از طرف دیگر نقش تسریع‌کنندگی در رسیدن میوه‌ها به اتیلن نسبت داده می‌شود که این حالت می‌تواند توسط اکسین تسریع شود.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۳: در فرایند جوانه‌زنی بذر یک غله کدام‌یک از هورمون‌های زیر کمتر نقش دارد؟ (دکتری۹۲)

۱) جیبرلین ۲) اکسین ۳) سیتوکینین ۴) اتیلن

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» اکسین کمترین نقش را در جوانه‌زنی ایفا می‌کند.

جیبرلین: بعضی بذور به ویژه بذور گیاهان وحشی برای القای جوانه‌زنی به تیمار نور یا سرما نیاز دارند. در اغلب موارد می‌توان این نیاز را در چنین نورهایی با کاربرد GA فعال زیستی برطرف کرد. از آنجا که اغلب ولی نه همیشه، تغییر مقدار GA در بذرهای سرمادیده مشاهده می‌شود، ممکن است GA یکی از تنظیم‌کننده‌های طبیعی یک فرایند دخیل در جوانه‌زنی باشد. کاربرد جیبرلین موجب تحریک تولید بسیاری از آنزیم‌های هیدرولیتیک به ویژه آلفا ـ آمیلاز در لایه‌های آلورون دانه‌های در حال جوانه‌زنی غلات می‌شود. سیتوکنین: برای تشکیل جوانه در Funaria به نور، به ویژه نور قرمز نیاز است. جوانه‌ها در تاریکی تشکیل نمی‌شوند اما افزودن سیتوکنین به محیط می‌تواند جایگزین نور برای تشکیل جوانه شود. سیتوکنین نه تنها نمو طبیعی جوانه را تحریک می‌کند بلکه تعداد کل جوانه‌ها را نیز افزایش می‌دهد. حتی مقادیر بسیار اندک سیتوکنین نیز می‌تواند موجب آغاز نخستین مرحله تشکیل جوانه، یعنی تورم در انتهای سلول پروتون‌های ویژه شود. اتیلن: به بذوری که در شرایط معمول آب، اکسیژن و دمای مطلوب برای رشد قادر به جوانه‌زنی نیستند، بذور در حال خواب گفته می‌شود. اتیلن می‌تواند سبب شکستن خواب و آغازش جوانه‌زنی بذور خاص، نظیر بذور غلات شود. علاوه بر اثری که اتیلن بر خواب بذر دارد، سرعت جوانه‌زنی برخی از گونه‌ها را نیز افزایش می‌دهد. در بادام زمینی، تولید اتیلن و جوانه‌زنی بذر همبستگی نزدیکی با هم دارند، همچنین اتیلن می‌تواند خواب جوانه را نیز بشکند و در برخی موارد تیمار با اتیلن با هدف تحریک جوانه‌زنی سیب‌زمینی و سایر غده‌ها روی غده مادری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

www.modaresanesharif.ac.ir

مدرسان شریف

فصل هفتم

«روابط آب و گیاه»

درسنامه (۱): مفاهیم اولیه آب در خاک

آب فراوان‌ترین جزء تشکیل‌دهنده سلول‌های زنده گیاه است و معمولاً ۸۰ تا ۹۵ درصد از وزن بافت‌های گیاهی در حال رشد را تشکیل می‌دهد. دانه‌ها با آبی معادل ۵ تا ۱۵ درصد، خشک‌ترین بافت‌های گیاهی می‌باشند که قبل از جوانه زدن می‌بایستی مقدار قابل توجهی آب جذب نمایند. به‌طور کلی اهمیت آب در گیاه عبارت است از:

ـ آب حلال قوی است که بسیاری از مواد را در خود حل کرده و محیطی مناسب را برای واکنش‌های شیمیایی فراهم می‌نماید.

ـ آب موجب حرکت مواد معدنی و غذایی به‌سوی ریشه‌های گیاه می‌شود.

ـ مواد آلی موجود در خاک با کمک آب به مواد معدنی تبدیل می‌شوند.

ـ آب از مواد مؤثر در فرایند فتوسنتز است اما باید در نظر داشت که از مجموع آب جذب‌شده توسط گیاه فقط ۰/۱ درصد آن به مصرف فتوسنتز می‌رسد.

ـ نیازهای تعرق گیاه را فراهم کرده و مانع گرم شدن زیاد گیاه می‌شود.

ـ آب ظرفیت فوق‌العاده زیادی برای نگهداری گرما دارد و وجود آن در گیاه باعث می‌شود که نوسانات درجه حرارت در گیاه آرام‌تر رخ دهد.

ـ نقل و انتقال مواد مختلف در گیاه از اندامی به اندام دیگر به‌وسیله آب صورت می‌گیرد.

ـ در ساختمان پروتوپلاسم و شیره سلول، به مقدار فراوان آب وجود دارد که محیط مناسبی برای اجرای اعمال زیستی سلول و متابولیسم آن فراهم می‌سازد.

ـ آب موجب تورژسانس سلول و شادابی گیاه می‌گردد. کمبود آب و ادامه یافتن مدت خشکی سبب پژمردگی گیاه و از بین رفتن تورژسانس آن می‌گردد.

در میان تمامی منابعی که گیاه برای رشد و فعالیت به آن‌ها نیاز دارد، آب فراوان‌ترین و هم‌زمان محدودکننده‌ترین عامل برای کشاورزی محسوب می‌شود. آبیاری محصولات زراعی به دلیل محدودیت آب است. قابلیت دسترسی به آب تولید اکوسیستم‌های طبیعی را نیز محدود می‌کند.

نکته۱: غشای سلولی ماهیت غیرقطبی دارد؛ زیرا تقریباً نیمی از غشا از مولکول‌های فسفولیپیدی تشکیل شده است. این مولکول‌ها به صورت دو لایه‌ای قرار می‌گیرند و دو لایه لیپیدی را تشکیل می‌دهند. هر مولکول لیپید یک سر آب‌دوست دارد که آن را در مجاورت آب قرار می‌دهد و یک دنباله آبگریز که آن را دور از آب و در وسط دو لایه نگاه می‌دارد؛ بنابراین با این وصف غشا ماهیت غیرقطبی دارد و از این‌رو نسبت به یون‌ها یا مولکول‌های قطبی غیرقابل نفوذ است یا نفوذپذیری بسیار پایینی دارد ولی آب با وجود ماهیت قطبی خود به راحتی از غشای سلول عبور می‌کند. خاصیت قطبی بودن آب سبب حلالیت آسان‌تر مواد در آن می‌شود؛ زیرا مولکول‌های آب، اطراف یون‌ها و مواد محلول قطبی موجود در محلول را احاطه می‌کنند و بارهای الکتریکی آن‌ها را می‌گیرد.

مثال۱: خواص آب برای گیاهان چه اهمیتی دارد؟

۱) آب پیوند هیدروژنی دارد و انرژی نهان آن کمتر بوده بنابراین دمای گیاه را کاهش می‌دهد.

۲) آب نیروی پیوستگی و چسبندگی و کشش سطحی دارد که در جذب آن توسط گیاه مهم است.

۳) آب یک ماده غیرقطبی و حلال مواد آلی و معدنی بوده که مواد در آن حل شده و جذب گیاه می‌شوند.

۴) پیوند هیدروژنی آب خواص حرارتی و نیروهای مولکولی آن را منحصر به فرد کرده که در انتقال آن مؤثر است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در حقیقت آب برای بسیاری از فعالیتهای گیاه لازم است از جمله اینکه: ۱) آب حلال بوده و محیطی مناسبی برای انجام واکنش‌های شیمیایی مهیا می‌سازد. ۲) موجب تورژسانس و بزرگ شدن سلول می‌شود. ۳) در انتقال مواد معدنی و آلی مؤثر است. همچنین با داشتن خاصیت کشش سطحی در نتیجه پیوند هیدروژنی حائز اهمیت است و پیوند هیدروژنی باعث شده آب خواص حرارتی خاصی پیدا کند که در انتقال مؤثر است.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۲: غشاهای سلولی ماهیت ..... دارند و تا حد زیادی نسبت به یون‌ها و مولکول‌های ..... غیرقابل نفوذ هستند، اما مولکول آب علی‌رغم ..... بودن به طور غیرمعمول از نفوذپذیری بالایی در غشاهای سلول برخوردار است. (سراسری ۹۱)

۱) قطبی، قطبی، قطبی ۲) غیرقطبی، قطبی، قطبی ۳) قطبی، غیرقطبی، غیرقطبی ۴) غیرقطبی، غیرقطبی، غیرقطبی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» غشاهای سلولی ماهیت غیرقطبی دارند و تا حد زیادی نسبت به یون‌ها و مولکول‌های قطبی غیرقابل نفوذ هستند، اما مولکول آب علی‌رغم قطبی بودن به طور غیرمعمول از نفوذپذیری بالایی در غشاهای سلول برخوردار است.

پتانسیل آب

یک عامل مؤثر بر توزیع آب در هر سیستمی، پتانسیل آب اجزای مختلف آن سیستم است. پتانسیل آب میزان توانایی آب برای انجام کار است و با حرف یونانی سای (ψ) نشان داده می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن معمولاً بار یا پاسکال است. آب تمایل دارد که از یک محل با پتانسیل آبی بالا به محلی با پتانسیل آبی پایین حرکت کند؛ به بیان دیگر، آب در جهت شیب پتانسیل حرکت می‌نماید. این حرکت تا زمانی ادامه می‌یابد که پتانسیل آب در تمام اجزای سیستم برابر گردد.

نکته۲: انتشار آب تحت تأثیر شیب پتانسیل آب موجب حرکت آب بین سلول‌های گیاهی و همچنین بین گیاه و محیط اطراف می‌شود.

نکته۳: آب خالص دارای پتانسیل آب صفر بار می‌باشد. پتانسیل آب در خاک و گیاه معمولاً کمتر از صفر بار بوده، یعنی مقدار آن منفی است.

پتانسیل آب گیاه و خاک حاصل‌جمع چند پتانسیل به شرح مقابل می‌باشد: (۱) $\psi_w = \psi_m + \psi_s + \psi_p + \psi_z$

ψ_m (پتانسیل ماتریک):

نیرویی است که توسط آن، آب به گیاه یا سطح ذرات خاک چسبیده است. این جاذبه‌ها را فقط از طریق اعمال نیروی دیگری می‌توان خنثی کرد؛ بنابراین مقدار آن همواره منفی است.

ψ_s (پتانسیل مواد محلول یا پتانسیل اسمزی):

انرژی پتانسیل آب است که تحت تأثیر غلظت مواد حل‌شده قرار می‌گیرد. مواد حل‌شده انرژی پتانسیل آب را کاهش می‌دهند و در نتیجه محلول دارای پتانسیل منفی می‌گردد.

نکته۴: سلولاز و پکتیناز از جمله آنزیم‌های هضم کننده دیواره سلولی هستند و با حذف دیواره سلولی، دیگر سلول قادر به ایجاد پتانسیل فشاری نخواهد بود و چون سلول دارای مواد محلول فراوان است دارای پتانسیل اسمزی بالا بوده و سبب جذب آب به داخل سلول می‌گردد و به دلیل اینکه دیواره سلولی وجود ندارد تا با ایجاد پتانسیل فشاری از جذب بیش از حد آب و ترکیدن سلول جلوگیری کند، سلول آب فراوانی جذب کرده و می‌ترکد.

ψ_p (پتانسیل فشاری یا فشار آماس):

نیرویی است که توسط فشار هیدرواستاتیکی به‌وجود می‌آید. از آنجایی که این نیرو توسط آب به گیاه وارد می‌شود، بنابراین مقدار آن مثبت می‌باشد. معمولاً این پتانسیل در خاک اهمیت کمی دارد اما در سلول‌های گیاهی دارای اهمیت زیادی است.

ψ_z (پتانسیل ثقلی):

این پتانسیل همیشه در گیاهان وجود داشته است لیکن در مقایسه با سه پتانسیل دیگر، در گیاهان کوتاه‌قد دارای اهمیت ناچیز و در گیاهان بلندقد دارای اهمیت زیادی است. پتانسیل آب خاک در خاک‌های زراعی در درجه اول تحت تأثیر پتانسیل ماتریک و در درجه دوم، تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد.

اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ گیاه با استفاده از دستگاه پمپ فشار:

در روش اتاقک فشار یک شاخه برگ‌دار را از گیاه اصلی جدا می‌کنیم و آن را وارد یک اتاقک کوچک می‌کنیم که می‌تواند فشارهای تا ۵۰ بار یا بیشتر را تحمل کند و انتهای قطع‌شده ساقه را از اتاقک خارج می‌کنیم، به طوری که اتاقک کاملاً مسدود شود و هیچ منفذی به خارج نداشته باشد. سپس یک گاز بی‌اثر را به اتاقک وارد می‌کنیم. هنگامی که فشار گاز در اطراف شاخه برگ‌دار در داخل اتاقک به اندازه کافی افزایش پیدا کند تا شیره خام درون آوند چوبی در سطح مقطع ساقه پدیدار شود، در این صورت انتقال و تبادل آب بین سلول‌های شاخه مزبور و سیستم آوندی چوبی به حالت تعادل درآمده است. در این حالت فشار گاز در داخل اتاقک (با علامت منفی) که برای خارج کردن شیره خام از آوند چوبی و پدیدار شدن آن در سطح مقطع ساقه کافی است، برابر با پتانسیل آب سلول‌های برگ در نظر گرفته می‌شود.

مثال۳: پتانسیل آب در ..... است. (سراسری ۹۲)

۱) ریشه منفی‌تر از برگ ۲) برگ مثبت‌تر از ریشه ۳) ریشه منفی‌تر از محلول خاک ۴) ریشه مثبت‌تر از محلول خاک

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» آب خالص دارای پتانسیل آب صفربار می‌باشد. پتانسیل آب در خاک و گیاه معمولاً کمتر از صفربار بوده، یعنی مقدار آن منفی است. بنابراین پتانسیل آب در ریشه منفی‌تر از محلول خاک است.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۴: کدام نوع اختلاف پتانسیل تعیین‌کننده مسیر و جهت انتقال آب در داخل گیاه است؟ (سراسری ۸۱)

۱) اختلاف پتانسیل اسمزی ۲) اختلاف پتانسیل آب ۳) اختلاف پتانسیل فشار ۴) اختلاف پتانسیل ماتریک

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» پتانسیل ماتریک متغیری است که برای محاسبه کاهش پتانسیل آب در اثر تماس آن با سطح فاز جامدی مثل دیواره سلول یا ذرات خاک به کار می‌رود. چنین آثار متقابلی تمایل مولکول‌های آب به فعالیت شیمیایی و تبخیر را کاهش می‌دهند. پتانسیل اسمزی مبین غلظت مواد محلول در آب می‌باشد که سبب کاهش غلظت آب و در نتیجه کاهش پتانسیل آب می‌شوند. پتانسیل فشاری نیز اثر فشار هیدرولیکی بر پتانسیل آب یک محلول را بیان می‌کند و به عنوان فشار هیدرواستاتیکی اضافه بر فشار اتمسفر تعریف می‌شود که علت آن وجود دیواره سلولی در اطراف سلول‌های گیاهی می‌باشد. تمام عوامل فوق در کل بر پتانسیل آب اثر می‌گذارند. در نهایت آب از جایی که دارای پتانسیل بیشتر است به جایی که پتانسیل کمتری دارد حرکت می‌کند.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۵: در اولین مرحله فرایند جذب آب در بذر، نیروی اصلی عامل جذب آب ..... است. (سراسری ۹۲)

۱) پتانسیل ماتریک ۲) پتانسیل فشاری ۳) پتانسیل اسمزی ۴) نیروی پیوستگی و چسبندگی

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» پتانسیل آب خاک در خاک‌های زراعی در درجه اول تحت تأثیر پتانسیل ماتریک و در درجه دوم، تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۶: مهم‌ترین عامل جذب آب در مراحل اولیه جوانه‌زنی بذر ..... آن است که ناشی از ..... است. (دکتری ۹۲)

۱) پتانسیل اسمزی ـ مواد محلول درون بذر ۲) پتانسیل فشاری ـ فشار مثبت ناشی از مواد ذخیره بذر

۳) پتانسیل آبی ـ منفی بودن بیش از حد پتانسیل آبی ۴) پتانسیل ماتریک ـ کلوئیدهای نشاسته و دیواره‌های سلولی

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» وقتی شرایط مناسب شد جنین رشد خود را از سر گرفته و جوانه خواهد زد. اولین مرحله در جوانه‌زنی بذور، جذب آب و آبگیری مجدد بذر در اثر فرایندی به نام ایمبیبیشن (Imbibition) است. ایمبیبیشن نیز همانند اسمز به علت حرکت آب در جهت شیب پتانسیل آبی صورت می‌گیرد. در عین حال، آب ایمبیبیشن با اسمز فرق دارد. به این دلیل که در ایمبیبیشن، نیازی به وجود غشایی با نفوذپذیری انتخابی نیست. این پدیده عمدتاً بـه علـت نیـروی ایجادشـده توسط سطوح یا نیروی ماتریک رخ می‌دهد؛ به عبارت دیگر، ایمبیبیشن در اثر جذب شیمیایی و الکترواستاتیک آب به دیواره‌های سلولی، پروتئین‌هـا و دیگـر مـواد آب‌دوست سلولی صورت می‌گیرد. سهم نیروهای ماتریک در پتانسیل آب از طریق افزودن عبارت پتانسیل ماتریک به معادله پتانسیل مشخص می‌شود.

$$\psi = \psi_p + \psi_i + \psi_m$$

پتانسیل ماتریک نیز همانند پتانسیل اسمزی همیشه منفی است. ایمبیبیشن موجب تورم مواد جذب‌کننده آب می‌شود که می‌تواند فشار زیادی ایجاد کنـد. فشار ایمبیبیشن در بذور در حال جوانه‌زنی افزایش خواهد یافت و موجب پارگی تستا خواهد شد؛ بنابراین جنین ظاهر خواهد شد.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۷: اگر دیواره سلولی را با پکتیناز و سلولاز حل کرده و سپس آن را در آب بگذاریم جذب آب تابع کدام‌یک از اجزای پتانسیل آب است؟ در این صورت جذب آب توسط سلول تا چه زمانی ادامه می‌یابد؟ (سراسری ۸۲)

۱) پتانسیل اسمزی ـ تا زمانی که سلول بترکد.

۲) پتانسیل فشاری ـ تا زمانی که پتانسیل اسمزی صفر شود.

۳) پتانسیل کل آب ـ تا زمانی که پتانسیل کل آب صفر شود.

۴) پتانسیل ماتریک ـ تا زمانی که فشار دو سوی غشای سیتوپلاسمی برابر شود.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» چون سلول دارای مواد محلول فراوان است دارای پتانسیل اسمزی بالا بوده و سبب جذب آب به داخل سلول می‌گردد و به دلیل سلول آب فراوانی جذب کرده و می‌ترکد. پتانسیل ماتریک متغیری است که برای محاسبه کاهش پتانسیل آب در اثر تماس آن با سطح فاز جامدی مثل دیواره سلول یا ذرات خاک به کار می‌رود.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۸: در اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ گیاه با استفاده از (دستگاه) پمپ فشار، کدام مورد صحیح است؟ (سراسری ۹۴)

۱) با افزایش فشار در اتاقک دستگاه، شیره خام از لوله‌های آوند آبکش به بیرون رانده می‌شود.

۲) با افزایش فشار در اتاقک دستگاه، شیره پرورده از لوله‌های آوند چوبی به بیرون رانده می‌شود.

۳) با افزایش فشار در اتاقک دستگاه، شیره خام از لوله‌های آوند چوبی به بیرون رانده می‌شود.

۴) با افزایش فشار در اتاقک دستگاه، شیره خام از پلاسما و سمنای سلول‌های پارانشیمی به بیرون رانده می‌شود.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» برای اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ گیاه با استفاده از دستگاه پمپ فشار، با افزایش فشار در اتاقک دستگاه، شیره خـام از لولـه‌هـای آوند چوبی به بیرونی رانده می‌شود.

www.modaresanesharif.ac.ir

مثال۹: در یک سول چروکیده، پتانسیل آبی ۰/۷۳۲− مگاپاسکال است، پتانسیل اسمزی و پتانسیل فشاری این سلول چقدر است؟ (سراسری ۹۰)

۱) ۰/۷۳۲− بار و ۰/۷۳۲+ بار　　۲) ۷/۳۲− بار و صفر بار

۳) ۰/۷۳۲− و ۰/۷۳۲ مگاپاسکال　　۴) صفر و ۰/۷۳۲− مگاپاسکال

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» عامل عمده‌ای که رشد یا بزرگ شدن سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد، پتانسیل فشار است و مقدار آن همواره مثبت است. در سلول چروکیده مقدار پتانسیل فشاری صفر است و بنابراین پتانسیل آبی سلول تحت تأثیر اجزای دیگر پتانسیل آب (از جمله پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک) قرار دارد.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۰: در یک سلول در حالت آماس ۳ عدد ۰/۴۸۸، ۰/۷۳۲− و ۰/۲۴۴− به ترتیب مرتبط به کدام‌یک از عوامل هستند؟ (سراسری ۹۴)

۱) ψ_w, ψ_π, ψ_P　　۲) ψ_π, ψ_P, ψ_w　　۳) ψ_P, ψ_π, ψ_w　　۴) ψ_π, ψ_P, ψ_w

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» آب خالص دارای پتانسیل آب صفر بار است. پتانسیل آب در خاک و گیاه معمولاً کمتر از صفر بار بوده، یعنی مقدار آن منفی است.

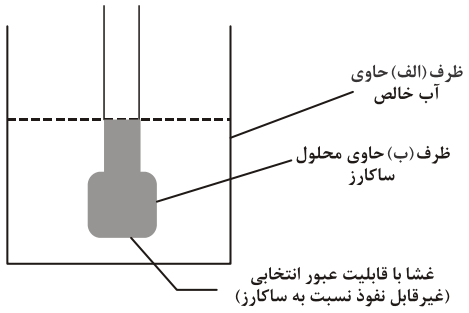
پتانسیل آب گیاه و خاک، حاصل‌جمع چند پتانسیل به شرح مقابل است: $\psi_w = \psi_m + \psi_s + \psi_p + \psi_z$

ψ_p برابر با ۰/۴۸۸، ψ_π برابر با ۰/۷۳۲ و ψ_w برابر ۰/۲۴۴ است که با توجه به رابطه بالا خواهیم داشت:

$$\psi_w = \psi_p + \psi_\pi = 0/244 + 0/488 = 0/732$$

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۱: با توجه به شکل زیر، حرکت آب از ظرف «الف» به درون لوله پیستونی شکل (ظرف ب) تا چه زمانی ادامه خواهد یافت؟ (حرکت فقط از محل غشا با قابلیت عبور انتخابی انجام می‌گیرد.) (دکتری ۹۴)



۱) تا زمانی‌که پتانسیل اسمزی دو ظرف مساوی گردد.

۲) تا زمانی‌که پتانسیل اسمزی ظرف «ب» برابر پتانسیل آبی ظرف «الف» باشد.

۳) تا زمانی‌که پتانسیل فشاری در ظرف «الف» برابر پتانسیل اسمزی محلول داخل ظرف «ب» باشد.

۴) تا زمانی‌که غلظت مولکول‌های آب در هر دو ظرف مساوی و لذا شیب غلظت آب در دو ظرف مساوی باشد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» چون پتانسیل شیمیایی آب در آب خالص درون ظرف بیشتر از پتانسیل شیمیایی آب در محلول ساکارز است؛ در نتیجه آب به طور خودبه‌خود از غشا (که دارای قابلیت نفوذ نسبی است) عبور می‌کند و وارد محلول ساکارز می‌شود.

با ادامه انتقال آب به داخل محلول ساکارز ارتفاع محلول ساکارز در لوله اسمومتر افزایش می‌یابد؛ بنابراین فشار هیدرواستاتیک وارده به غشا افزایش می‌یابد. این فشار هیدرواستاتیک مولکول‌های آب را تحت فشار قرار می‌دهد تا از محلول ساکارز و از طریق غشا به بیرون رانده شوند. هنگامی که فشار هیدرواستاتیک در لوله اسمومتر به اندازه‌ای افزایش یابد که پتانسیل شیمیایی آب در محلول ساکارز برابر با پتانسیل شیمیایی آب در آب خالص درون ظرف شود، در این صورت حرکت و عبور آب از غشا و وارد شدن آن به محلول ساکارز متوقف می‌شود و این حالت تعادل است.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۱۲: از آنجا که سلول بالغ گیاهی دارای دیواره نسبتاً سختی می‌باشد، هر تغییری در پتانسیل آب (ψ_w) سلول به‌ترتیب منجر به تغییر قابل توجه و تغییر جزئی در کدام عوامل می‌شود؟ (دکتری ۹۷)

۱) پتانسیل فشاری (ψ_p) ـ حجم سلول　　۲) حجم سلول ـ پتانسیل اسمزی (ψ_s)

۳) حجم سلول ـ پتانسیل فشاری (ψ_p)　　۴) پتانسیل اسمزی (ψ_s) ـ پتانسیل فشاری (ψ_p)

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» تغییر در پتانسیل آب سلول در نتیجه تغییر در روند رشد گیاه صورت می‌گیرد. رشد در نتیجه افزایش تعداد یا حجم سلول‌ها می‌باشد. کاهش یا افزایش در حجم سلول در نتیجه تغییر در جذب آب و آماس سلول‌ها صورت گرفته که دیواره سخت سلولی گیاه از طریق حفظ پتانسیل فشاری در حد آستانه سعی در ممانعت از این تغییر دارد؛ بنابراین هر تغییر در پتانسیل آب سلول منجر به تغییر چشمگیری در پتانسیل فشاری و تغییر جزئی در حجم سلول می‌شود.

حالت‌های مختلف آب در خاک

حالت‌های مختلف آب در خاک تحت تأثیر حرکت آب در خاک تعیین می‌شود. حرکت آب در خاک از حالت اشباع در هنگام آبیاری یا باران، شروع و پس از قطع آن تا حد خشک شدن کامل ادامه دارد. طبق تعریف، حالت‌ها یا به اصطلاح ضریب‌های رطوبتی خاک را می‌توان به‌صورت زیر مورد مطالعه قرار داد.

الف) ظرفیت جذب بیشینه:

حالت رطوبتی فوق در هنگام اشباع شدن کامل خاک از آب مشاهده می‌شود. در این حالت آب تمام خلل‌وفرج خاک را فراگرفته است و خاک در جذب بیشینه (ماکزیمم) می‌باشد؛ بنابراین مولکول‌های آب تحت تأثیر وزن خود (شتاب ثقل) به طرف قسمت‌های عمیق خاک انتقال می‌یابند.

www.modaresanesharif.ac.ir

ب) ظرفیت مزرعه (Field capacity):

اگر از ورود آب بیشتر به خاک جلوگیری شود، قسمتی از آب موجود در خاک به سرعت به‌طرف لایه‌های پایین‌تر حرکت کرده و پس از مدتی این حرکت متوقف می‌شود. در این حالت آب از منافذ درشت خاک خارج شده و جای خود را به مولکول‌های هوا می‌دهد و خاک در ظرفیت مزرعه قرار می‌گیرد. در ظرفیت مزرعه آب در منافذ ریز جای داشته و منبعی برای آب مورد نیاز گیاهان است.

ج) ضریب پژمردگی:

قسمتی از آب موجود در منافذ ریز خاک توسط گیاه جذب شده و به مصرف متابولیسم، تبخیر و تعرق گردیده و قسمت دیگر نیز به‌طور مستقیم از سطح خاک تبخیر شده و از خاک خارج می‌گردد. به‌تدریج که خاک خشک می‌شود، در روز اثر کمبود آب در گیاه به‌صورت پژمردگی ظاهر می‌شود اما در شب دوباره گیاه از حالت پژمردگی خارج می‌گردد تا اینکه مقدار آب در خاک به‌حدی کاهش می‌یابد که گیاه به‌طور دائم پژمرده می‌شود. در این حالت مقدار رطوبت موجود در خاک را ضریب پژمردگی یا درصد رطوبت بحرانی می‌نامند.

د) ضریب هیگروسکوپیک:

تبخیر و از دست دادن بیشتر آب خاک سبب می‌شود که بیشترین آب حتی از منافذ ریز خاک خارج گردد اما در این حالت باز هم مقداری آب در سطح ذرات خاک به‌شدت جذب‌شده و تقریباً حالت غیرمایع را داشته و به‌صورت گاز حرکت می‌کند. مقدار رطوبت خاک در این حالت، ضریب هیگروسکوپیک نام دارد.

ضریب هیگروسکوپیک بستگی به کلوئیدهای خاک دارد. هر چقدر مقدار مواد کلوئیدی خاک بیشتر باشد (خاک‌های رسی)، ضریب هیگروسکوپیک آن بالاتر است.

نیروهای جذب آب در خاک

دو نیروی مختلف سبب نگهداری آب در خاک می‌شوند که شامل موارد زیر است:

۱ـ نیروی جذب ذرات خاک که مقدار آن بستگی به مقدار آب دارد. هر اندازه مقدار آب موجود در خاک کمتر باشد، نیروی کشش بیشتر است.

۲ـ نیروی جاذبه بین مولکول‌های آب.

ذرات خاک ابتدا تعدادی از مولکول‌های آب را به‌شدت جذب کرده و این مولکول‌ها به نوبه خود مولکول‌های دیگر آب را جذب می‌نمایند. مجموع این دو نیرو موجب نگهداری آب در خاک می‌شود. واحد اندازه‌گیری کشش آب، بار یا اتمسفر است. بعد از آبیاری یا بارندگی مقدار آب در اطراف ذرات خاک زیاد بوده و نیروی کشش لایه خارجی این آب بسیار کم است. هر اندازه خاک خشک‌تر باشد، آب باقی‌مانده دارای ضخامت کمتری بوده و با نیروی کشش بیشتر نگهداری می‌شود. نیروی کشش در ظرفیت مزرعه ۰/۳ اتمسفر بوده و در ضریب پژمردگی ۱۵ اتمسفر می‌باشد.

طبقه‌بندی بیولوژی آب خاک

از نظر قابل استفاده بودن آب خاک برای گیاه، آن را به سه گروه زیر تقسیم می‌نمایند:

الف) آب زائد:

مقدار آبی است که بیش از ظرفیت مزرعه بوده و برای گیاهان زیان‌آور می‌باشد؛ زیرا موجب شسته شدن مواد غذایی مورد نیاز گیاه از خاک گردیده و همچنین گیاه با کمبود اکسیژن مواجه می‌شود. این آب به موجودات هوازی خاک نیز آسیب می‌رساند.

ب) آب قابل استفاده:

قسمتی از آب خاک است که بین ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی قرار دارد. ضریب پژمردگی معمولاً برای تمام گیاهان در یک خاک معین یکسان است؛ یعنی ضریب پژمردگی به نوع خاک بستگی داشته و با نوع گیاه ارتباط زیادی ندارد. قابل استفاده بودن تمام آب موجود بین ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی برای گیاهان، ظاهراً به نوع گیاه و عمق خاکی که ریشه در آن فعال است، بستگی دارد.

ج) آب غیر قابل استفاده:

آب غیر قابل استفاده در مرز پایین‌تر از ضریب پژمردگی قرار گرفته است که برای گیاهان عالی قابل استفاده نمی‌باشد.

مثال ۱۳: مقدار شوری یا EC آب مجاور ریشه گیاه، در کدام حالت بیشتر است؟ (سراسری ۹۴)

۱) در رطوبت ظرفیت مزرعه
۲) بعد از مصرف ۶۰% آب قابل استفاده
۳) بعد از مصرف ۲۰% آب قابل استفاده
۴) بعد از مصرف ۴۰% آب قابل استفاده

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در شرایط مزرعه شوری آب خاک یا آب آبیاری معمولاً توسط هدایت الکتریکی آن بیان می‌شود که در ارتباط مستقیم با پتانسیل اسمزی آب است. آب خالص هادی بسیار ضعیفی برای جریان الکتریسیته است و قابلیت هدایت الکتریسیته یک محلول، وابسته به میزان املاح محلول در آن است. غلظت نمک بیشتر در آب، هدایت الکتریکی را افزایش داده و پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد (فشار اسمزی افزایش می‌یابد). مشخص است که پس از مصرف ۶۰% آب قابل استفاده گیاه، مقدار شوری در محیط ریشه بیشتر خواهد شد.

www.modaresanesharif.ac.ir