



دائرة المعارف مصور گیاهی

دکتر حمداله اسکندری

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است^۱.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

پیشگفتار

دنیای گیاهان، قلمرویی است که در آن زیبایی، تنوع و شگفتی درهم تنیده شده‌اند. گیاهان از زمان طلوع بشریت، یاران ثابت قدم ما بوده‌اند. آن‌ها مناظر ما را می‌پوشانند، ما را تغذیه می‌کنند، به ما پناه می‌دهند و روحیه ما را الهام می‌بخشند. کتاب *دائرةالمعارف مصور گیاهی* ادای احترامی به این عظمت عمیق گیاهان است. چنانچه کاوش در این *دائرةالمعارف*، دانش زیادی در مورد شگفتی‌های گیاهی که ما را احاطه کرده‌اند، ارائه می‌دهد و سازگاری‌های باورنکردنی که به گیاهان اجازه می‌دهد در محیط‌های مختلف زنده بمانند و رشد کنند، را به ما می‌آموزد.

برای درک بهتر دانش علوم گیاهی، دانستن اصطلاحات علمی موجود در این زمینه ضروری است. کتاب *دائرةالمعارف مصور گیاهی* نیز با این هدف نگارش شده است تا به علاقمندان حوزه گیاهی، در درک بهتر اصطلاحات علمی کمک کند. شاید بتوان ادعا کرد که این کتاب در نوع خود منحصر به فرد است چرا که نمای گسترده‌ای از اصطلاحات علمی در زمینه‌های مختلف اکولوژی، فیزیولوژی و مورفولوژی را در اختیار خواننده قرار می‌دهد. الگوی ساده‌ای که بر اساس ترتیب حروف الفبا برای نگارش کتاب در نظر گرفته شده است، به خواننده کمک می‌کند تا به راحتی اصطلاحات مورد نیاز خود را بیابد و اطلاعات مورد نیاز خود را کسب نماید. برای واژه‌های علمی این کتاب، تا حد امکان از تصاویر استفاده شده است تا مفهوم واژه علمی بهتر انتقال داده شود. تمامی اصطلاحات توضیح داده شده در کتاب که

شامل بیش از دو هزار اصطلاح علمی تخصصی در حوزه اکولوژی، فیزیولوژی و مورفولوژی گیاهی می‌باشد، در بخش واژه‌نامه، بر اساس ترتیب حروف الفبا فهرست شده است. همچنین اسامی برخی دانشمندان تأثیرگذار در حوزه‌های مختلف علوم گیاهی در بخش پیوست آمده است. مجدداً یادآوری می‌گردد، از آنجا که این کتاب بر اساس حروف الفبا تنظیم شده است ممکن است دو اصلاح در دو حوزه مختلف در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند باین حال، چارچوب تعیین شده برای کتاب، جست‌وجوی واژه‌ها را تسهیل می‌کند.

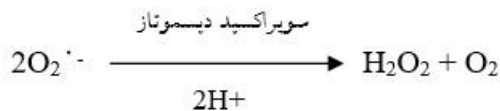
لازم به ذکر است که منابع اینترنتی استفاده شده در این کتاب با شماره مشخص شده است. به عبارت دیگر، شماره‌هایی که در متن کتاب به آن ارجاع داده شده است، منابع اینترنتی هستند ولی به منابع فارسی و انگلیسی به صورت نام و سال ارجاع داده شده است.

اگرچه تلاش فراوان شد که این کتاب تا حد امکان کامل باشد اما بسیار محتمل است که برخی اصلاحات علمی از دید نویسنده پنهان بوده باشد و یا توضیحات کافی در مورد برخی اصطلاحات داده نشده باشد. بر این اساس، از کلیه صاحب نظران ارجمند تقاضا می‌شود جهت ارتقای سطح علمی کتاب در چاپ‌های بعدی کتاب، نظرات ارزشمند خود را از طریق ایمیل در اختیار نویسنده کتاب قرار دهند.

دکتر حمداله اسکندری

الف

در فضای آپوپلاست، آب اکسیژنه نتیجه تبدیل اکسیژن تک مولکولی است. از آنجا که سمیت مولکول اکسیژن تک الکترونی بیشتر از آب اکسیژنه است، برای آنکه میزان سمیت در فضای آپوپلاست کاهش پیدا کند، این تبدیل توسط سوپراکسید دیسموتاز انجام می شود (اسکندری و کاظمی، ۱۳۹۶).



فرایند تبدیل اکسیژن تک الکترونی به آب اکسیژنه توسط آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در فضای آپوپلاست برای کاهش اثرات سمی اکسیژن تک الکترونی

- آب پیوندی

پیوند هیدروژنی علاوه بر ایجاد واکنش بین مولکول های آب، مسئول جاذبه بین مولکول های آب با سایر مولکول ها یا سطوح است. به عنوان مثال، پیوند هیدروژنی اساس تشکیل لایه آبی است که در اطراف ماکرومولکول های مهم بیولوژیکی نظیر پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و کربوهیدرات ها وجود دارد. این لایه ها به طور محکم پیوند برقرار کرده و به شدت آرایش یافته اند، اغلب به آب پیوندی^۳ معروف اند. برآورد شده است که آب پیوندی ۳۰ درصد وزن خشک مولکول های پروتئین هیدراته را تشکیل می دهد. آب پیوندی برای پایداری مولکول های پروتئین مهم است. آب پیوندی لایه ای ضربه گیر در اطراف پروتئین ایجاد می کند که مانع از نزدیکی زیاد مولکول ها و در نتیجه (مانع از) توده ای شدن و رسوب آن ها می شود (علیزاده، ۱۳۹۰).

- آب ثقلی (آب اضافی)

بعد از انجام آبیاری، فضاهای ریز و درشت خاک از آب پر می شوند. بخشی از آب توسط ذرات خاک نگهداری می شود ولی بخشی دیگر توسط نیروی جاذبه زمین از فضاهای موجود

- آ. او. اس. آ.

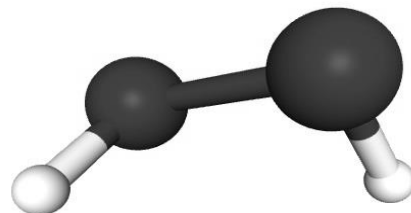
انجمن تجزیه رسمی بذرها^۱ می باشد که در کشور آمریکا واقع شده است. این انجمن، قوانین مربوط به بذرها را ارائه می نماید. باین حال، قوانین این انجمن عمدتاً در کشور آمریکا اعتبار دارد چرا که در سایر کشورها، به ویژه در اروپا، از قوانین انجمن بین المللی آزمون بذرها (ایستا) پیروی می شود (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آباکسیال

منظور از آباکسیال^۲، سطح زیرین برگ می باشد.

- آب اکسیژنه

با فرمول شیمیایی (H_2O_2) یکی از گونه های فعال اکسیژن است که به نام هیدروژن پراکسید نیز شناخته می شود. این مولکول سمی، به طور خودکار از اثر متقابل نور، ترکیبات آلی و آب در فرایندهای گیاهی تولید می شود. پراکسی زوم، میتوکندری، واکوئل، کلروپلاست، شبکه آندوپلاسمی، هسته و فضای آپوپلاست، اندامک هایی هستند که آب اکسیژنه در آن ها ساخته می شود. در پراکسی زوم، هیدروژن پراکسید طی فرایندهای مختلف شامل تنفس نوری، اکسیداسیون اسیدهای چرب، کاتابولیسم اسیدهای پورین و پلی آمین و تولید برخی هورمون ها تولید می شود. وجود زنجیره انتقال الکترون و شیب الکتروشیمیایی ناشی از آن، شرایط را برای تولید آب اکسیژنه در میتوکندری و کلروپلاست فراهم می کند (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار مولکولی آب اکسیژنه (هیدروژن پراکسید) تشکیل شده از دو اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن

آب سهل الوصول

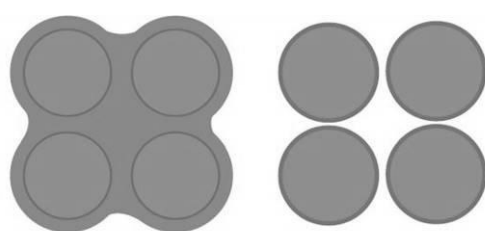
از مجموع آب قابل دسترس بخشی از آن به سهولت جذب گیاه می‌شود که به آن آب سهل الوصول^۱ می‌گویند. سهولت جذب آب، بستگی به پتانسیل آب دارد و تحت تأثیر رطوبت قرار نمی‌گیرد، چرا که درصد رطوبت در خاک‌های مختلف، متفاوت است. در تمام خاک‌ها، پتانسیل آب در حد ظرفیت زراعی یکسان و برابر ۳۰۰- سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. یک خاک شنی در این حالت ممکن است ۱۰ درصد رطوبت داشته باشد ولی مقدار رطوبت یک خاک رسی در همین پتانسیل آبی، ۳۰ درصد باشد. آب سهل الوصول حاصل ضرب آب قابل دسترس در حداکثر تخلیه مجاز می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰).

آب قابل دسترس

مقدار آب موجود در خاک برای استفاده گیاه، آب قابل دسترس گفته می‌شود که تفاوت بین ظرفیت زراعی و حد آب قابل جذب توسط گیاه می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰).

آب کاپیلاری (آب نگهداری شده)

بعد از خروج آب ثقلی از خاک، آبی که توسط ذرات خاک نگهداری می‌شود به نام آب کاپیلاری (آب نگهداری شده) نامیده می‌شود که توسط گیاهان قابل جذب است. آب کاپیلاری با نیروی سه تا ۱۵ اتمسفر توسط ذرات خاک نگهداری می‌شود. با مصرف و یا تبخیر آب، نیروی نگهداری آب توسط ذرات خاک به مقداری افزایش پیدا می‌کند که قابل جذب توسط گیاهان نمی‌باشد (شکل ۴) (علیزاده، ۱۳۹۰).



آب کاپیلاری
(آب قابل فراهم برای گیاهان)

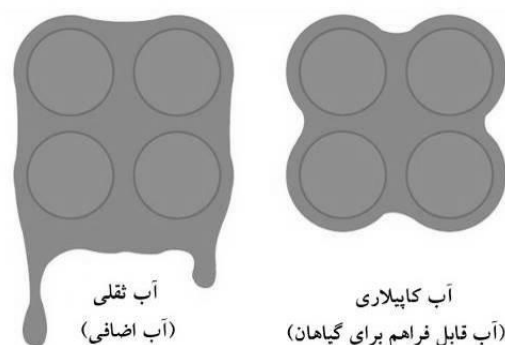
آب هیگروسکوپیک
(غیر قابل استفاده)

شکل ۴. آب کاپیلاری (قابل استفاده توسط گیاهان) و آب هیگروسکوپیک (غیر قابل استفاده توسط گیاهان)

آبکش سخت

در تشکیلات آوند غربالی گیاهان گل‌دار، عمدتاً فیبرهای فراوانی چسبیده به لوله‌های غربالی دیده می‌شود که فیبرهای آبکشی نام

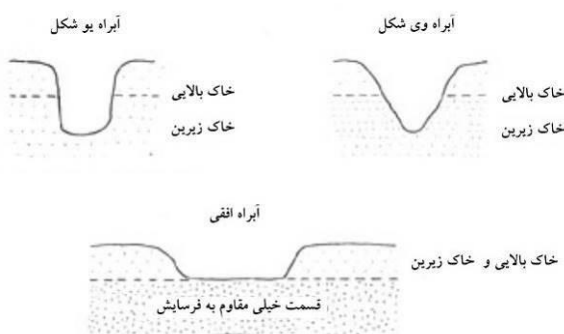
در خاک و همچنین دسترس گیاه خارج می‌شود. به این آب، آب ثقلی گفته می‌شود (شکل ۲) (علیزاده، ۱۳۹۰).



شکل ۲. آب ثقلی (آب اضافه که قابل استفاده توسط گیاهان نیست) در مقایسه با آب کاپیلاری (قابل استفاده برای گیاهان)

آبراه

کانال‌هایی کوتاه و V-شکل، U-شکل و یا افقی هستند که توسط فرسایش خاک ایجاد می‌شوند. اندازه آن‌ها با توجه به شدت فرسایش ممکن است متفاوت باشد. در صورتی که آبراه‌های اولیه کنترل نشوند، بزرگ‌تر و عمیق‌تر می‌شوند به طوری که ممکن است به عمق ۲۰-۳۰ متری نیز برسند؛ بنابراین، بهترین راه برای جلوگیری از آبراه، پیشگیری از تشکیل آن از طریق راه‌هایی نظیر جلوگیری از تخریب جنگل‌ها، جلوگیری از چرای بیش از حد و از بین رفتن پوشش گیاهی علفی، حفظ حاصلخیزی خاک، کنترل ساخت جاده و کنترل آبراه‌های کوچک می‌باشد. در صورتی که مقاومت خاک زیرین در برابر فرسایش بیشتر از خاک رویی باشد، آبراه وی (V شکل) تشکیل می‌شود و در صورتی که مقاومت خاک رویی و زیرین در برابر فرسایش یکسان باشد، آبراه یو (U شکل) تشکیل می‌شود (شکل ۳) (جوانشیر و همکاران، ۱۳۸۳).



شکل ۳. شکل‌های مختلف آبراه

برای مثال، در شرایط خشکی، پروتئین‌ها و اسیدهای چرب موجود در اطراف غشاهای سلولی از حالت طبیعی خارج می‌شوند. لذا، حفظ ساختار و کارکرد طبیعی مستلزم وجود آب است. رسیدن آب به این قسمت‌ها را می‌توان تحت عنوان آبیگری در نظر گرفت (توکل افشاری و همکاران، ۱۳۹۱).

- آبنوشی

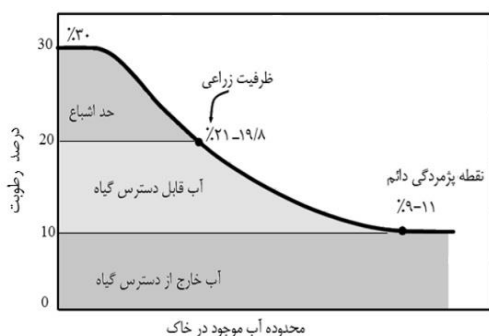
آبنوشی^۱، مرحله اولیه از جذب آب توسط بذرهای خشک است. آبنوشی ناشی از پتانسیل ماتریک است. در طول آبنوشی، بذرهای خشک (بدون توجه به زنده بودن یا مرده بودن بذر) آب را سریع جذب می‌کنند. از آنجا که در طول فرایند آبنوشی، جریان آب از پتانسیل بیشتر به کمتر است، وقتی که اختلاف پتانسیل آبی بین بذر و محیط اطراف آن صفر شود، آبنوشی متوقف می‌شود (تایز و همکاران، ۲۰۱۸).

- آب هیگروسکوپیک

آبی است که بعد از خروج آب ثقلی و آب کاپیلاری در خاک نگهداری می‌شود. نیروی نگهداری این آب توسط ذرات خاک زیاد بوده و در نتیجه گیاهان عمدتاً قادر به جذب این آب نمی‌باشند (شکل ۳ و ۷).

- آبیاری بارانی

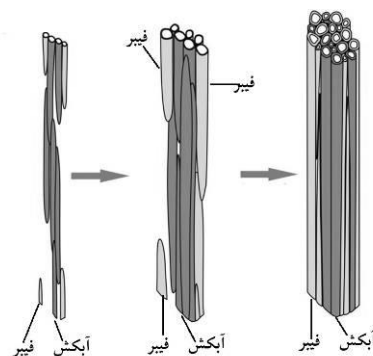
آبیاری بارانی روشی است که در آن آب با فشار در داخل یک شبکه لوله‌کشی شده جریان پیدا کرده و سپس از آبپاش‌های تعبیه شده روی این شبکه خارج می‌شود.



شکل ۷. محدوده ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در خاک (عبدالرحمانی زرکه و فرخی تیمورلو، ۱۳۹۴)

ساختمان آبپاش‌ها به گونه‌ای است که هنگامی که آب با فشار از آن خارج می‌شود به صورت قطرات ریز و درشت درآمده و

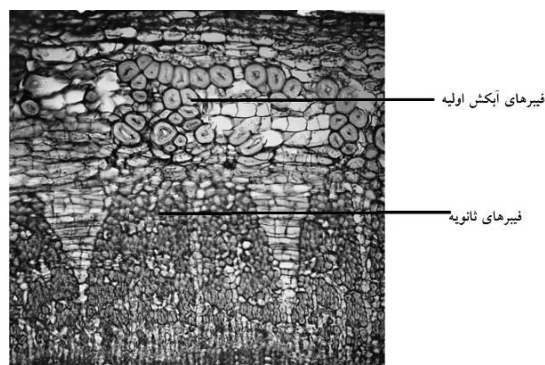
دارند؛ بنابراین، به لوله‌های غربالی که همراه آن‌ها فیبر دیده می‌شود به نام آبکش سخت خوانده می‌شوند (شکل ۵) (قهرمان، ۱۳۷۳).



شکل ۵. روند تشکیل آبکش سخت (مجموع آوند آبکش به همراه سلول‌های فیبر)

- آبکش نرم

به سلول‌های آبکش که همراه آن‌ها فیبر وجود ندارد، آبکش نرم گفته می‌شود. فیبرهای آبکشی در ساختار ثانویه اندام، به خصوص در ساقه اکثر گیاهان، توسعه فراوانی پیدا می‌کنند. به طوری که همراه با فیبرهای دایره محیطیه و فیبرهای آبکش اولیه، به هم متصل شده و آوندهای غربالی را در برمی‌گیرند. در این حالت، لوله‌های غربالی که در مرکز قرار گرفته‌اند همچنان فاقد فیبر می‌باشند که به نام آبکش نرم خوانده می‌شوند (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۶).



شکل ۶. تشکیل فیبر در آوند آبکش سخت

- آبیگری (هیدراتاسیون)

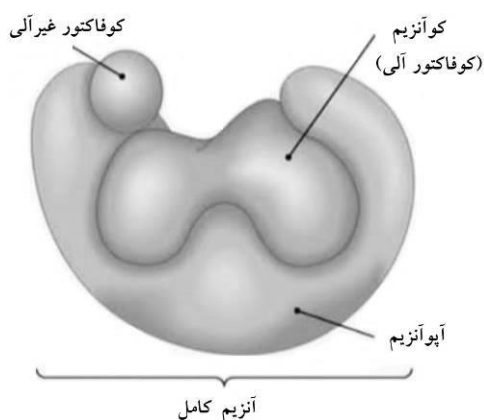
در اصطلاح کلی، آبیگری به معنی رساندن آب به جایی است که مورد نیاز است. با این حال، در گیاهان آبیگری زمانی کامل می‌شود که آب به مولکول‌های آلی و پروتوپلاسم سلول برسد. در پروتوپلاسم، آب، بخشی از ساختار را تشکیل می‌دهد. حفظ شکل طبیعی مولکول‌های آلی نیز به وجود آب وابسته است.

- آپوسپوری

نوعی بکرزایی (در این نوع باروری، گامت نر و یا به عبارت دیگر، دانه گرده در تلقیح تخمک دخالت ندارد و جنین از تقسیم یکی از سلول‌های کیسه جنینی به وجود می‌آید) است که برخلاف آپومیکسی که جنین‌ها در آن هاپلوئید هستند، در حالت آپوسپوری، جنین‌های حاصل، دیپلوئید هستند. آپوسپوری ممکن است در چند حالت تشکیل شود. حالت اول زمانی است که کیسه جنینی بدون انجام تقسیم و از طریق کاهش کروموزومی تشکیل می‌شود. در حالت دوم، کیسه جنینی دیپلوئید از تغییر یک سلول عادی خورش یا از یک سلول در ناحیه شالاز حاصل می‌شود. در حالت سوم نیز، تعدادی از سلول‌های عادی خورش یا سلول‌های جدار تخمدان بر اثر تقسیمات متوالی، توده‌ای سلولی را تشکیل می‌دهد (قهرمان، ۱۳۷۶).

- آپوانزیم

آپوانزیم^۴ بخش پروتئینی و غیرفعال یک آنزیم است. در واقع آپوانزیم پروتئینی است که با ترکیب با یک کوآنزیم، یک سیستم آنزیمی فعال را تشکیل می‌دهد. آپوانزیم‌ها برای فعالیت‌های آنزیمی دارای اهمیت زیادی هستند چرا که ویژگی اختصاصی یک آنزیم را برای یک سوبسترای خاص تعیین می‌کند. آپوانزیم‌ها در حالت منفرد، غیرفعال هستند و برای اینکه فعال شوند باید با یک کوفاکتور آلی و یا غیرآلی ترکیب شوند (شکل ۹) (استوارت و گلوینگ، ۲۰۱۲).



شکل ۹. ساختار آپوانزیم

- آپوپتوزی (مرگ برنامه‌ریزی شده)

تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در یک سلول و یا سلول‌های مجاور آن که توسط مسیرهای سیگنالی به وجود می‌آید و طی آن سلول از بین می‌رود را آپوپتوزی یا مرگ

مشابه باران در سطح مزرعه ریخته می‌شود. به همین دلیل این سیستم آبیاری به روش بارانی نامیده می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۰).

- آبیاری قطره‌ای

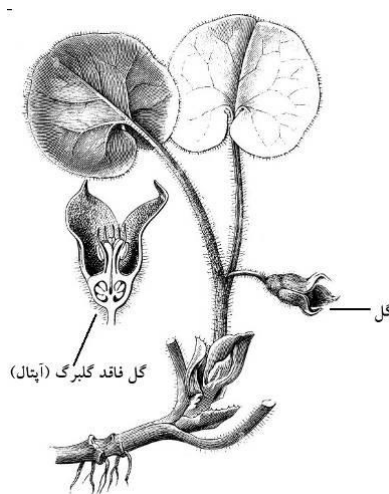
آبیاری قطره‌ای^۱، عبارت است از روشی که در آن آب با فشار کم از روزنه یا وسیله‌ای به نام قطره‌چکان از شبکه خارج و به صورت قطراتی در پای گیاه ریخته می‌شود. گاهی این نوع آبیاری را آبیاری موضعی نیز می‌نامند (علیزاده، ۱۳۹۰).

- آپاتیت

سنگی معدنی از گروه کانی‌های فسفاتی است که به دلیل فراوانی عنصر فسفر در آن، برای تولید کود شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلسیم، فسفر و اکسیژن، عناصر ثابت موجود در آپاتیت^۲ هستند. با این حال، بر اساس وجود سایر یون‌ها نام‌گذاری می‌شود. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ به نام هیدروکسی آپاتیت، $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F})_2$ به نام فلتورآپاتیت، $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{Cl})_2$ به نام کلرآپاتیت و $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{Br})_2$ به نام برم آپاتیت شناخته می‌شوند. آپاتیت به عنوان یکی از اشکال فسفر موجود در خاک مطرح می‌باشد (قربانلی، ۱۳۸۸).

- آپتال

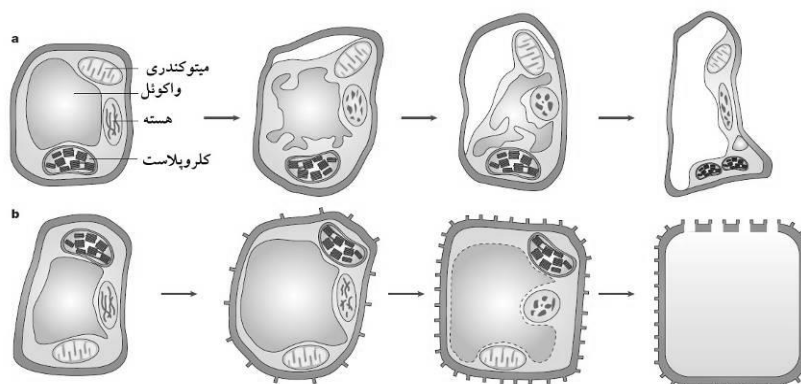
به گل‌هایی که فاقد گلبرگ باشند آپتال^۳ گفته می‌شود؛ به عبارت دیگر، این گل‌ها از قسمت پوشش گل (پوشش گل شامل جام گل یا گلبرگ و کاسه گل یا کاسبرگ می‌باشد) تنها قسمت کاسبرگ را دارا می‌باشند (قهرمان، ۱۳۷۳) (شکل ۸).



شکل ۸. گیاه کامل و گل فاقد گلبرگ زنجبیل وحشی اروپایی

1. Drip irrigation
2. Apatite
3. Apetalous

4. Apoenzyme



شکل ۱۰. a. در پاسخی که سلول به دلیل حساسیت به عوامل بیرونی می‌دهد، قبل از اینکه تخریب قابل مشاهده واکوئل (که در مراحل آخر آپوپتوزی اتفاق می‌افتد) رخ بدهد، تراکم کروماتین‌ها و تخریب DNA مشاهده می‌شود. حباب‌دار شدن واکوئل و غشای پلاسمایی و همچنین تخریب اندامک‌ها نیز دیده می‌شود. در مرحله آخر مرگ برنامه‌ریزی شده سلول، غشای پلاسمایی از دیواره سلولی جدا می‌شود. DNA موجود در هسته نیز تکه‌تکه می‌شود و به صورت رشته‌هایی بی‌نظم درمی‌آید. b. در طول تمایز سلول‌های تراکتید (سلول‌های مرده در بافت آوند چوب) واکوئل متورم و دیواره سلولی ضخیم می‌شود. فروپاشی نهایی واکوئل باعث تکه‌تکه شدن ماده ژنتیکی موجود در هسته می‌شود که مشخصه مراحل آپوپتوزی می‌باشد. قسمت‌های دنداندار و شکسته در دیواره سلولی نشان‌دهنده ایجاد منافذ موضعی می‌باشد.

سلول هاپلوئید در کیسه جنینی، تقسیم شده، رشد کند و در نهایت به جنین دانه تبدیل شود به آن آپومیکسی از نوع آپوگامی گفته می‌شود و در صورتی که تشکیل جنین دانه ناشی از تقسیم یکی از سلول‌های دیپلوئید کیسه جنینی باشد به آن آپومیکسی از نوع آپوسپوری گفته می‌شود (قهرمان، ۱۳۷۶).

- آت اکولوژی

به توضیحات مربوط به اوتواکولوژی مراجعه شود.

- آ. ت. پ. آز- پروتون غشایی

شامل آنزیم ATP-آزی است که پروتون را در عرض غشای پلاسمایی پمپاژ می‌کند. آنزیم آ. ت. پ. آز- پوتون غشایی^۱، انرژی مورد نیاز خود را از هیدرولیز ATP به دست می‌آورد (تایز و همکاران، ۲۰۱۸).

- آ. ت. پ. آز- پروتون واکوئلی

آ. ت. پ. آز- پروتون واکوئلی^۲، یک ترکیب آنزیمی بزرگ است که با بخش‌های F_0 و F_1 آنزیم ATP-آزی که در بخش‌های داخلی غشاهای زیستی وجود دارد، در ارتباط می‌باشد. این آنزیم، محیط واکوئل را اسیدی می‌کند و نیروی القایی پروتون را برای انتقال ثانویه مجموعه‌ای از محلول‌های غذایی به داخل فضای لومن را فراهم می‌آورد (تایز و زایگر، ۲۰۱۶).

برنامه‌ریزی شده سلول می‌نامند. گیاهان برای تحمل شرایط نامساعد محیطی و همچنین رشد و نمو از آپوپتوزی استفاده می‌کنند. در نتیجه فرایند آپوپتوزی در گیاهان، اجزای درونی و اندامک‌های سلولی که دستور مرگ آن صادر شده است از هم جدا شده و ارتباط آن با سلول‌های مجاور قطع می‌شود و در نهایت سلول از بین می‌رود. یکی از شرایط ایجاد کننده آپوپتوزی، حساسیت خیلی زیاد سلول و یا بافت گیاهی به عوامل نامساعد محیطی (مانند حمله آفات و بیماری‌های گیاهی) است (قاسم پور، ۱۳۸۴) (شکل ۱۰).

- آپوگامی

یکی از حالت‌های وقوع آپومیکسی (تولید جنین بدون انجام فرایند لقاح دانه گرده با تخمک موجود در کیسه جنینی) است. هرگاه یکی از سلول‌های کیسه جنینی (به غیر از سلول تخم) به جنین تبدیل شود و یک جنین تک کروموزومی (هاپلوئید) را تشکیل دهد به آن آپوگامی گفته می‌شود؛ بنابراین، آپوگامی نوعی باروری است که دانه گرده در تلقیح تخمک دخالت ندارد و جنین از تقسیم یکی از سلول‌های هاپلوئید (تک کروموزومی) کیسه جنینی (به جز سلول تخم) تشکیل می‌شود (قهرمان، ۱۳۷۶).

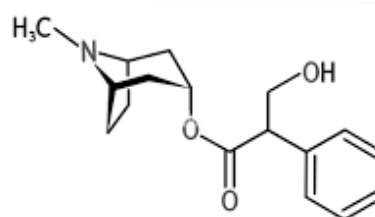
- آپومیکسی

نوعی تولیدمثل غیرجنسی است. در آپومیکسی، جنین دانه‌ای که تولید می‌شود حاصل لقاح دانه گرده و تخمک نیست، بلکه از رشد یکی از سلول‌های هاپلوئید (تک کروموزومی) و یا دیپلوئید (جفت کروموزومی) کیسه جنینی به وجود می‌آید. اگر یک

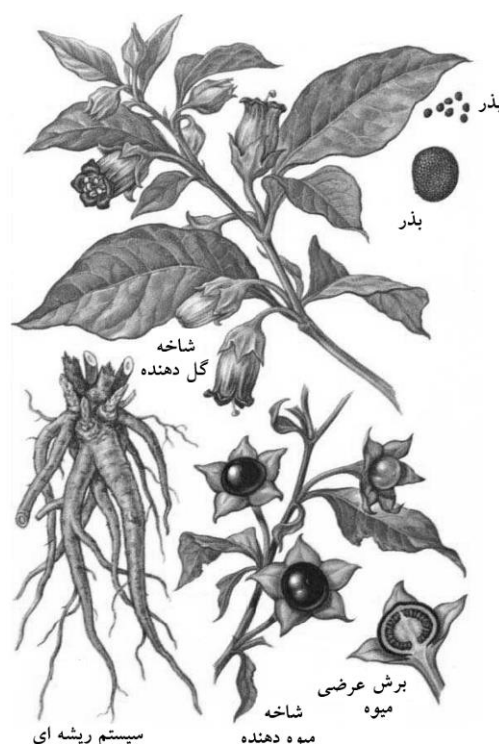
1. Plasma membrane H⁺-ATP-ase
2. Vacuolar H⁺-ATP-ase

- آتروپین

با ترکیب شیمیایی $(C_{17}H_{23}NO_3)$ یکی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی با وزن مولکولی پایین (آکالوئید) است که به دلیل اثرات مفید دارویی، در طب مورد استفاده قرار می‌گیرد. آتروپین در جنس‌های مختلف خانواده سولاناسه مانند جنس شایبک (*Atropa*) و داتوره یا تاتوره (*Datura*) یافت می‌شود و آکالوئید اصلی در ریشه گیاه شایبک می‌باشد. حلالیت این ماده در آب کم می‌باشد ولی در الکل، اتر، بنزن و کلروفرم حلالیت بالایی دارد. آتروپین به نور و حرارت، حساسیت خیلی زیادی دارد به‌طوری‌که محصول دارویی آن (سولفات آتروپین) باید در دمای زیر ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و از یخ‌زدگی محافظت شود. زمانی که این ماده تجزیه حرارتی می‌شود کف سمی اکسید نیتروژن از خود متصاعد می‌کند (اسکندری و کاظمی، ۱۳۹۶) (شکل ۱۱ و ۱۲).



شکل ۱۱. ساختار شیمیایی آکالوئید آتروپین



شکل ۱۲. ساختار اندام‌های هوایی و سیستم ریشه‌ای (محل اصلی تولید آکالوئید آتروپین) در گیاه شایبک (*Atropa belladonna*)

- آتریپلکس

یک جنس گیاهی از خانواده تاج‌خروس (*Amarantaceae*) با بیش از ۲۵۰ گونه می‌باشد. جنس آتریپلکس دارای تنوع و گستره پراکندگی زیادی است به‌طوری‌که گونه‌های بیابانی، گونه‌هایی که در سواحل دریاها رشد می‌کنند، گونه‌های هالوفیت (شورپسند) و همچنین گونه‌هایی که محیط‌های مرطوب را ترجیح می‌دهند در این جنس یافت می‌شوند. نام دیگر این گیاه (بوته شور) از اینجا ناشی می‌شود که آتریپلکس نمک را در برگ‌های خود تجمع می‌دهد. در جنس آتریپلکس، گونه‌های یک‌ساله، چندساله و درختچه‌ای وجود دارند. برخی گونه‌های آتریپلکس دارای مسیر فتوسنتزی سه کربنه (C_3) هستند ولی بیشتر گونه‌های این جنس، چهار کربنه (C_4) هستند. آتریپلکس، یک گیاه کارآمد برای بیابان‌زدایی است و منبع خوبی برای تغذیه شتر و همچنین گوسفند به شمار می‌رود چرا که دارای ۲/۵-۳/۵ درصد پروتئین خام (و در برخی گونه‌ها تا ۱۰ درصد) است. به دلیل تنوع گونه‌ای بالا، مقاومت بالا به شرایط نامساعد محیطی، کیفیت مناسب علوفه‌ای برای تغذیه دام و کارایی بالا در احیای مراتع و بیابان‌زدایی، آتریپلکس به گیاه هدف برای بسیاری از مطالعات و تحقیقات بدل شده است (قاسم پور، ۱۳۸۴).

- آتریکوس

شکل، اندازه، تعداد و پراکندگی تاژک‌ها در باکتری‌های مختلف، متفاوت است. برخی باکتری‌ها فاقد تاژک هستند که به آن‌ها، آتریکوس^۱ گفته می‌شود. باکتری‌ها از تاژک برای حرکت کردن استفاده می‌کنند؛ بنابراین، باکتری‌های آتریکوس فاقد توانایی حرکت هستند و یا اینکه ممکن است حرکت خود را از طریق سرخوردن روی سطح انجام دهند. حرکت سرخوردن ممکن است از طریق یک زائده موماند و یا پروتئین‌های موجود در غشاء انجام شود. باین حال مکانیسم فرایند سرخوردن به‌خوبی شناخته نشده است (قهرمان، ۱۳۷۶).

- آدکسیال

آدکسیال^۲، اشاره به سطح رویی برگ می‌باشد.

- آدنوزین تری فسفات (ATP)

با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$ یک مولکول حامل انرژی برای تأمین انرژی مورد نیاز سلول‌های جانوری و گیاهی است. این ترکیب پر انرژی از یک مولکول آدنوزین (که خود شامل

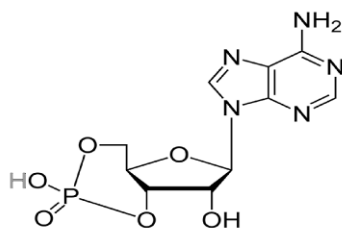
1. Atrichous
2. Adaxial

- آدنوزین دی فسفات (ADP)

برای آزاد شدن انرژی موجود در آدنوزین تری فسفات، پیوندهای فسفوآنیدرید شکسته شده و گروه فسفات از مولکول جدا می‌شود. در واقع، آدنوزین دی فسفات، بعد از جدا شدن یک گروه فسفات از آدنوزین تری فسفات تشکیل می‌شود (شکل ۱۴).

- آدنوزین مونو فسفات (AMP)

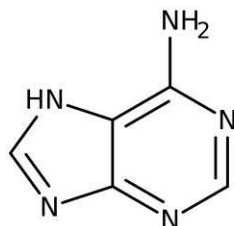
مولکول آدنوزین تری فسفات دارای دو پیوند فسفوآنیدرید است که با شکستن این پیوندها، گروه فسفات از مولکول جدا شده و انرژی آزاد می‌شود. با شکسته شدن هر دو پیوند و جدا شدن دو گروه فسفات از مولکول ATP، مولکول آدنوزین مونوفسفات تشکیل می‌شود. پیوند بین مولکول آدنوزین و تنها گروه فسفات موجود در مولکول AMP قوی بوده و مولکول به همین شکل به‌عنوان پیش‌ساز برای تولید مجدد آدنوزین تری فسفات مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. ساختار مولکولی آدنوزین مونو فسفات که پیش‌ساز تولید دوباره مولکول ATP نیز می‌باشد.

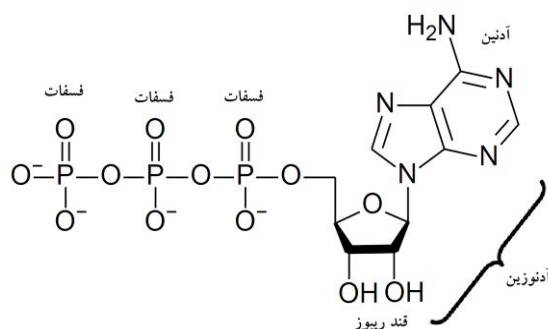
- آدنین

با فرمول شیمیایی ($C_5H_5N_5$) یک باز نوکلئوتیدی از مشتقات پورین است. در مولکول DNA با باز تیمین و در مولکول RNA با باز یوراسیل پیوند برقرار می‌کند. در مولکول آدنوزین تری فسفات نیز با قند ریبوز پیوند برقرار می‌کند و مولکول آدنوزین را تشکیل می‌دهد (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۸۹) (شکل ۱۶).

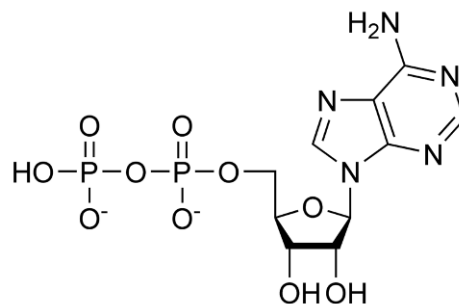


شکل ۱۶. ساختار شیمیایی آدنین

آدنین و یک قند ریبوز است) و سه گروه فسفات تشکیل می‌شود. این ماده در آب محلول است و به دلیل داشتن دو پیوند فسفوآنیدرید^۱ دارای انرژی بسیار زیادی است. آدنوزین تری فسفات در میتوکندری و طی فرایند تنفس (هم در سلول‌های گیاهی و هم در سلول‌های جانوری) و از طریق شکستن مولکول گلوکز تولید می‌شود. در گیاهان و برخی باکتری‌ها، آدنوزین تری فسفات در طی فرایند فتوسنتز (واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز) نیز تولید می‌شود که به این فرایند فسفوریلاسیون نوری (تولید ATP از طریق نور) گفته می‌شود. تخمیر، فرایند دیگری است که با شکستن مولکول‌های آلی باعث تولید آدنوزین تری فسفات می‌شود. از شکستن هر مولکول گلوکز در فرایند تنفس سلولی، ۳۸ مولکول ATP تولید می‌شود. از طرف دیگر، برای تولید یک مولکول گلوکز در طی فرایند فتوسنتز، ۱۸ مولکول آدنوزین تری فسفات مصرف می‌شود که بخشی از آن توسط واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز (طی واکنش‌های فسفوریلاسیون چرخه‌ای-دو مولکول ATP- و فسفوریلاسیون غیرچرخه‌ای - یک مولکول ATP) تولید می‌شود (احسانی طباطبایی، ۱۳۸۴) (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. مولکول آدنوزین تری فسفات از یک آدنین، یک قند ریبوز و سه گروه فسفات تشکیل شده است.



شکل ۱۴. ساختار مولکولی آدنوزین دی فسفات که از مولکول ATP تنها یک گروه فسفات کمتر دارد

- آرایش چرخه چهارتایی برگ

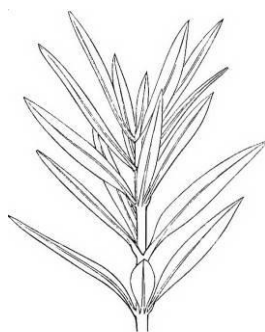
عده‌ای از گیاهان دارای چرخه‌های چهارتایی در آرایش برگ روی ساقه هستند، بدین معنی که در هر گره ساقه دارای چهار برگ هستند. تعداد گیاهانی که چرخه چهارتایی برگ دارند تقریباً محدود است. از این گیاهان می‌توان به گیاهان خانواده رناس و گیاهان آبی مانند میریوفیلوم، سراتوفیلوم و هیدریلا اشاره کرد (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۱۷).



شکل ۱۷. آرایش چرخه چهارتایی برگ در گیاه آبی هیدریلا

- آرایش چرخه سه‌تایی برگ

نوعی از آرایش برگ‌ها روی ساقه است که در هر گره از ساقه، سه برگ قرار دارد. به این نوع آرایش برگ روی ساقه، تریمر (سه‌تایی) نیز گفته می‌شود. از گیاهانی که آرایش چرخه سه‌تایی برگ دارند می‌توان به خرزهره و برخی سروهای کوهی اشاره کرد (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۱۹).



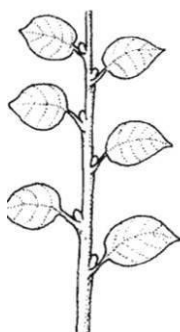
شکل ۱۹. آرایش سه‌تایی برگ خرزهره روی ساقه

- آرایش سه‌نظمی برگ

در نظام تناوبی خطوط مولد برگ که موازی هم هستند به نام خط نظم گفته می‌شوند. چنانچه خطوط نظم بیش از دو یعنی سه و چهار و یا چندتایی باشد، آرایش برگ روی ساقه را آرایش سه‌نظمی یا چندنظمی می‌گویند (قهرمان، ۱۳۷۶).

- آرایش متناوب برگ

حالتی از آرایش برگ‌ها روی ساقه است که در آن در هر گره یک برگ قرار می‌گیرد. برگ بعدی در خط نظم مقابل و بالای برگ اولی قرار می‌گیرد. ممکن است برگ بالاتر، درست در نقطه مقابل برگ پایین‌تر قرار نگیرد و دارای چرخش باشد (شکل ۲۰).



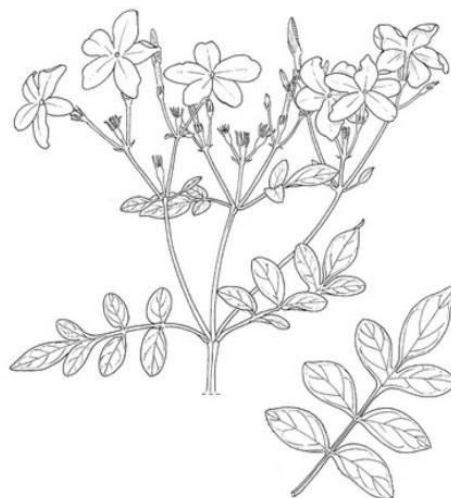
شکل ۲۰. آرایش متناوب برگ روی ساقه

- آرایش هشت‌تایی برگ

در این آرایش، در هر گره ساقه، هشت برگ قرار می‌گیرد (شکل ۲۱).

- آرایش چرخه دوتایی برگ

نوعی از آرایش برگ‌ها روی ساقه است که در هر گره، دو برگ مقابل هم قرار می‌گیرد. این نوع آرایش، فراوان‌ترین نوع آرایش چرخه‌ای است در گیاهانی مانند یاس، یاس بنفش و گیاهان تیره نعناع دیده می‌شود (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۱۸).



شکل ۱۸. برگ با آرایش چرخه دوتایی در گیاه یاس

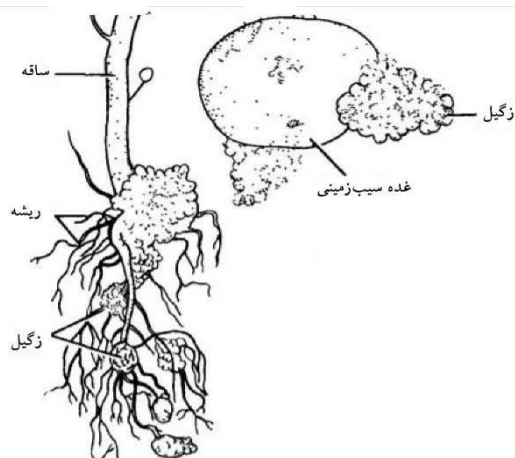
پلاسمود (تودهٔ سیتوپلاسمی که دارای چندین هسته است) و یا از رشته‌هایی بی‌دوام تشکیل شده است. تکثیر آرکی‌مست از طریق اسپور یا کیست صورت می‌گیرد. اسپور آرکی‌مست‌ها دارای یک تاژک پشتی است. نوعی از قارچ‌های آرکی‌مست، انگل سیب‌زمینی است و در آن زگیل یا گال تولید می‌کند (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۲۳ و ۲۴).



شکل ۲۳. اسپور قارچ *Synchytrium endobioticum* که در انتهای خود دارای تاژک است و در سیب‌زمینی زگیل یا گال ایجاد می‌کند.

- آزمایش بونیه

آزمایش بونیه^۱، آزمایشی است که برای نشان دادن اثرات شرایط نامطلوب محیطی (ازجمله نور شدید) بر جلوگیری از رشد و در نتیجه کوتاهی قد گیاهان و به صورت تجربی انجام شده است. در این آزمایش، بخشی از بوته‌های مربوط به یک گونه در دشت و بخشی دیگر در کوهستان کاشته می‌شود. تفاوت در ارتفاع کاشت که به دلیل وجود نور شدید در ارتفاعات، قد بوته کوتاه شود. در این شرایط، نور شدید موجب اکسایش نوری اکسین (هورمون مؤثر در افزایش طول سلول‌ها) می‌شود. اثر دیگر نور شدید بر جیبرلین می‌باشد که در صورتی که از نور شدید تخریب نشوند، از حساسیت عمل آن‌ها کاسته می‌شود. میزان اسید آبسزیک نیز تحت تأثیر نور شدید افزایش پیدا می‌کند که بازدارندهٔ رشد میانگره‌هاست (قربانلی، ۱۳۹۰) (شکل ۲۵).



شکل ۲۴. تشکیل زگیل روی غدهٔ سیب‌زمینی توسط نوعی از قارچ‌های آرکی‌مست

- آربوسکولار

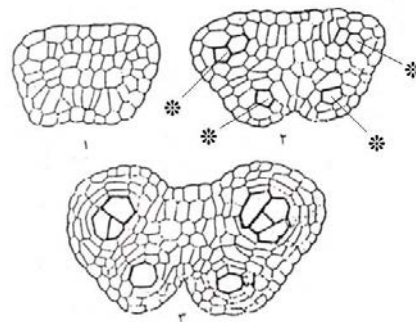
آربوسکولار، یک ساختار شاخه‌مانند است که توسط قارچ میکریزا در داخل سلول‌های پوست ریشهٔ گیاه میزبان (محل تبادل مواد غذایی بین سلول‌های ریشه و قارچ) تشکیل می‌شود (تایز و زایگر، ۲۰۱۶).



شکل ۲۱. برگ‌ها با آرایش هشت‌تایی در هر بند ساقه

- آرکسپور

سلول‌هایی در روی نهج گل هستند که در نهایت با تقسیم شدن باعث تشکیل کیسهٔ گرده و دانهٔ گرده می‌شوند. در تشکیل کیسهٔ گرده، هر سلول آرکسپور ابتدا در جهت مماسی تقسیم شده و دو سلول را به وجود می‌آورد. یکی از این سلول‌ها با رشد کردن به جدار کیسهٔ گرده تبدیل می‌شود. سلول دوم که در قسمت بالا و داخلی قرار گرفته است مولد دانه‌های گرده می‌شود و به همین دلیل به نام سلول مادر گرده (سلول هاگرا) خوانده می‌شود (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۲۲).



شکل ۲۲. ۱- آغاز تشکیل بساک گرده در پرچم ۲- سلول آرکسپور در چهار گوشهٔ بساک ظاهر می‌شود و با تقسیم شدن، سلول‌های جدار کیسهٔ گرده و همچنین سلول‌های مولد دانهٔ گرده را تولید می‌کند. ۳- سلول‌های جداری (با منشأ سلول‌های آرکسپور) بر اثر تکثیر، سه لایه سلول به وجود می‌آورند و سلول‌های تولیدکنندهٔ دانهٔ گرده نیز هم‌زمان با آن تقسیم می‌شوند.

- آرکی‌مست

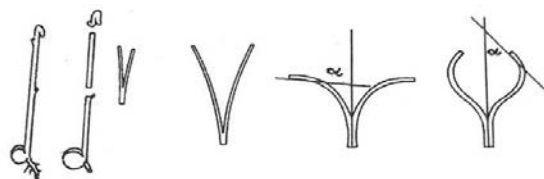
دسته‌ای از قارچ‌ها می‌باشند که ساختاری ساده دارند و به زندگی در آب، خاک و هوا سازش پیدا کرده‌اند. ریشه در این قارچ‌ها از

- آزمایش نخود

یکی از آزمون‌های زیستی اندازه‌گیری هورمون اکسین است. در این آزمون، قطعات هیپوکوتیل (محور زیر لپه) نخود به شکل وی (V) شکافته شده و در محلول آزمون که شامل اکسین است، قرار می‌گیرد. در این آزمون، اکسین با غلظت متوسط (تا ۶-۱۰ گرم در میلی‌لیتر یا ۵/۷ میکرومول) باعث جدا شدن شاخه‌ها از هم می‌شود. اگر غلظت اکسین بیشتر از این مقدار باشد، به خمیدگی یکی از شاخه‌ها به طرف دیگر، منجر می‌شود (قربانلی، ۱۳۹۰) (شکل ۲۶).



شکل ۲۵. کاهش ارتفاع گل مینا^۱ به دلیل رشد در دو محیط متفاوت (دشت و کوهستان). دلیل کوتاهی قدر در شرایط رشد در کوهستان، اثر نور شدید در جلوگیری از تولید هورمون‌های رشد و افزایش تولید اسید آبسزیک می‌باشد.



شکل ۲۶. آزمون زیستی نخود برای سنجش اکسین

- آزمون پیری زودرس

برای کمّی کردن اثرات فرسودگی بر قدرت بذر آزمون‌هایی معرفی شده است که از جمله آن‌ها آزمون پیری تسریع^۲ شده است. در این آزمون نمونه‌های بذری در انکوباتوری که دمای آن روی یکی از دماهای ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴ و یا ۴۵ درجه سانتی‌گراد

تنظیم شده باشد قرار داده می‌شوند. دماهای کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد فرسودگی ایجاد نمی‌کنند و یا سرعت فرسودگی کم خواهد بود و مدت زیادی طول می‌کشد تا فرسودگی ایجاد شود. دماهای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد هم به دلیل اینکه ممکن است برخی قسمت‌های بذر آسیب ببینند انتخاب نمی‌شوند. رطوبت نسبی دستگاه نیز ۱۰۰ درصد (اشباع کامل) انتخاب می‌شود. بذرها در این شرایط (معمولاً ۷-۵ روز) درون دستگاه قرار داده می‌شوند. بعد از این مدت، بذرها از دستگاه خارج می‌شوند و آزمون جوانه‌زنی در مورد آن‌ها انجام می‌شود. نمونه‌هایی که جوانه‌های نرمال بیشتری تولید کنند، قدرت بذر بالاتری دارند. آزمون پیری زودرس سه عیب اساسی دارد:

در این آزمون، رطوبت اولیه بذور در نظر گرفته نمی‌شود. در صورتی که یک درصد اختلاف رطوبت تأثیر زیادی بر طول عمر بذر دارد. به عبارت دیگر، رطوبت اولیه متفاوت بذور به طول عمر متفاوت آن‌ها منجر می‌شود.

بذور مختلف ممکن است به دلیل ساختار پوسته‌ای متفاوت و همچنین رطوبت اولیه متفاوت، در جذب رطوبت از محیط متفاوت عمل کنند که این تفاوت در جذب رطوبت از محیط، اختلاف در فرسودگی و در نهایت نتایج به دست آمده از آزمون جوانه‌زنی ایجاد خواهد کرد.

نمونه‌برداری از بذور فقط در یک مرحله از فرسودگی انجام می‌شود که نمی‌تواند برآورد دقیقی از فرسودگی بذر را نشان دهد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۳).

- آزمون پیری سریع

آزمون پیری سریع، یک آزمون برای ارزیابی قدرت بذر است. مراحل اجرای این آزمون، مشابه با آزمون پیری تسریع شده است ولی در آن نمونه‌برداری در چند مرحله انجام می‌شود. از آنجاکه زمان انجام این آزمون طولانی است، جزو آزمون‌های استاندارد انجمن بین‌المللی آزمون بذر نمی‌باشد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

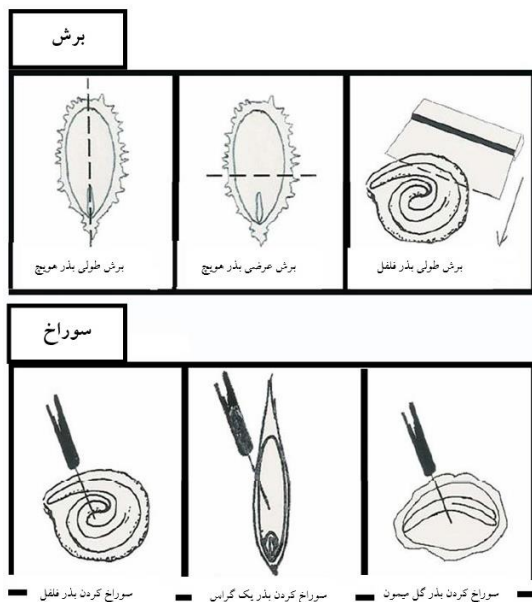
- آزمون تترازولیوم

آزمون تترازولیوم یک آزمون بیوشیمیایی است که به‌طور گسترده برای ارزیابی قوه زیست بذر به‌کار می‌رود. این آزمون به نام آزمون توپوگرافی تترازولیوم^۳ نیز خوانده می‌شود. چرا که در این آزمون بخش خاصی از بذر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آزمون تترازولیوم برای ارزیابی قوه زیست و جوانه‌زنی بذوری که دوره خواب آن‌ها طولانی است (به‌ویژه بذور مناطق معتدله) بسیار

3. TTZ = Topographical Tetrazolium Test

1. *Leucaethemum vulgare*

2. Accelerated aging test



شکل ۲۷. اعمال تیمارهای برش و سوراخ کردن بذر برای نفوذ بهتر تترازولیوم در بذر (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲)

گیاهچه‌های نرمال در مزرعه بر اساس آزمون جوانه‌زنی اندازه‌گیری می‌شود. آزمون جوانه‌زنی در شرایط مزرعه غیراستاندارد می‌باشد چرا که به دلیل عدم کنترل عوامل خارجی نتایج حاصل از آن در تکرارهای مختلف یکسان به دست نمی‌آید؛ اما از آنجا که در آزمایشگاه عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی قابل کنترل هستند جوانه‌زنی سریع‌تر، یکنواخت‌تر و کامل‌تر انجام می‌شود. شرایط جوانه‌زنی در آزمایشگاه استاندارد شده می‌باشد و در نتیجه نتایج حاصل از آن تا حد ممکن در تکرارهای مختلف یکسان خواهد بود. بنابر تعریف انجمن بین‌المللی آزمون بذر، جوانه‌زنی یک توده بذر در آزمایشگاه شامل ظهور و توسعه گیاه تا مرحله‌ای است که ساختارهای ضروری آن قابل رؤیت باشد خواه اینکه گیاهچه قادر باشد در شرایط مطلوب در خاک جوانه به رشد خود ادامه دهد یا خیر. ساختارهای ضروری که به آن‌ها اشاره شد شامل یک سیستم ریشه‌ای، ساقه‌چه، هیپوکوتیل و یک یا دو لپه به‌خوبی توسعه یافته و سالم می‌باشند. در آزمون جوانه‌زنی تا زمانی که این ساختارهای ضروری تشکیل نشوند گیاهچه‌ها قابل ارزیابی نمی‌باشند. آزمون جوانه‌زنی با بذور خالصی که در آزمون خلوص جداسازی شدند انجام می‌شود. برای انجام آزمون جوانه‌زنی به حداقل ۴۰۰ بذر در ۴ تکرار ۱۰۰ بذری، ۸ تکرار ۵۰ عددی و یا ۱۶ تکرار ۲۵ بذری نیاز است. انتخاب تعداد تکرار و بذر بستگی به اندازه بذر دارد. به‌طوری‌که هر چه اندازه بذر بزرگ‌تر باشد می‌توان تعداد کمتری بذر برای انجام آزمون جوانه‌زنی در نظر گرفت. بذور تحت شرایط رطوبتی مطلوب و برای مدت مشخصی با توجه به نوع بذر (جدول ۱) مورد آزمون جوانه‌زنی

مناسب است. با این حال، در مورد بذوری که دوره خواب کوتاهی دارند نیز استفاده می‌شود. با اینکه آزمون تترازولیوم برای تمامی گونه‌های بذری می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد ولی تفسیر نتایج آن در بذور ریز مشکل است.

آزمون تترازولیوم بر اساس فعالیت آنزیم دهیدروناز که یک آنزیم فعال در سلول‌هاست، می‌باشد. در طول فعالیت‌های متابولیکی با فعالیت این آنزیم، هیدروژن تولید می‌شود. هیدروژن قادر است ماده ۲ و ۳ و ۵ تری فنیل تترازولیوم کلراید (یا برومید) که یک ماده زرد کم‌رنگ است را به تری فنیل فورمازان^۱ که یک ماده پایدار و قرمز رنگ است تبدیل کند؛ بنابراین، تولید ماده قرمز رنگ فورمازان نشان‌دهنده فعالیت آنزیم دهیدروناز است که مشخص‌کننده زنده بودن بذر می‌باشد. از آنجا که رنگ‌پذیری بذر به‌صورت لکه‌ای انجام می‌شود می‌توان بخش‌های زنده (رنگ گرفته) یک بذر را از بخش‌های مرده (رنگ نگرفته) تفکیک کرد. در بخش‌های مهم و ضروری چنین بذر در صورتی که رنگ گرفتگی کم باشد نشان می‌دهد که این بذر قادر به جوانه‌زنی نیست. با این حال، ارزیابی دقیق بخش‌هایی از بذر که به مقدار کم‌رنگ می‌گیرند نیاز به تخصص بالایی دارد. برای انجام آزمون تترازولیوم باید از بذورهای بالغ استفاده کرد. البته بذورهای نارس به دلیل اینکه دارای سلول‌های زنده هستند نیز رنگ می‌گیرند ولی جوانه‌زنی آن‌ها مطلوب نخواهد بود؛ بنابراین، استفاده از بذورهای نابالغ ممکن است در تفسیر نتایج آزمون تترازولیوم خطا ایجاد کند. یکی دیگر از عواملی که ممکن است ما را در تفسیر نتایج آزمون تترازولیوم به‌اشتباه بیندازد وجود عوامل بیماری‌زای بذرزاد است. به‌عبارت دیگر، یک بذر آلوده به قارچ نیز رنگ می‌گیرد ولی این رنگ‌پذیری به دلیل فعالیت‌های متابولیکی قارچ است و نه دلیل فعالیت سلول‌های بذر. با این حال، بذورهای آلوده به قارچ در آزمون تترازولیوم به رنگ قرمز تیره یا قرمز مایل به قهوه‌ای درمی‌آیند درحالی‌که بذورهای سالم در آزمون تترازولیوم به رنگ قرمز روشن دیده می‌شوند. قبل از انجام آزمون، برای اینکه تترازولیوم بهتر در بذر نفوذ کند معمولاً تیمارهایی روی بذر اعمال می‌شود که شامل برش و یا سوراخ کردن بذر است. در شکل ۲۷ برش و سوراخ کردن بذر چند گیاه برای انجام آزمون تترازولیوم نشان داده شده است.

- آزمون جوانه‌زنی بذر

آزمون جوانه‌زنی مهم‌ترین آزمون تعیین کیفیت برای ارزیابی ارزش کشت توده بذر است. توانایی بذرها برای تولید

¹. Triphenylformazan

قرار می‌گیرند و در پایان دوره، تعداد گیاهچه‌های نرمال تولید شده شمارش می‌شوند (توکل افشاری و شایان فر، ۱۳۹۷).

- آزمون خرده آجر

این آزمون که به نام آزمون هیلتنر^۱ نیز خوانده می‌شود، یک آزمون برای ارزیابی قدرت بذر است. در این آزمون از خرده آجرهایی به ابعاد ۲-۳ میلی‌متر استفاده می‌شود. غلات دانه‌ریز، ذرت، لگوم‌های دانه‌درشت، چغندر قند، هویج، اسفناج، پنبه، بادام‌زمینی و خردل از جمله گیاهانی هستند که به این آزمون پاسخ مثبت داده‌اند. برای انجام این آزمون، آجر باید خرد، الک، شسته و در نهایت استریل شود. برای استریل کردن خرده آجرها، آن‌ها را در انکوباتور در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت قرار می‌دهند. ظروف استاندارد برای انجام آزمون خرده آجر، ظروف پلاستیکی به ابعاد $9/5 \times 9/5$ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر می‌باشند. برای انجام آزمون، در بستر ظرف خرده آجر ریخته می‌شود. برای اینکه مصرف خرده آجر کمتر شود می‌توان ابتدا در بستر ظرف ماسه ریخت و سپس روی ماسه را با خرده آجر به ارتفاع ۳۰ میلی‌متر پوشاند. در مرحله بعد به ازای هر ۱۱۰۰ گرم خرده آجر، ۲۵۰ سی‌سی آب مقطر اضافه می‌شود. برای جذب مناسب آب توسط خرده آجرها نیاز است یک ساعت منتظر ماند. سپس بذرها را روی خرده آجرها قرار داده و روی بذور را با خرده آجر به ارتفاع ۳۰ میلی‌متر پوشانده می‌شود. در این مرحله، بعد از اضافه کردن مقداری رطوبت و قرار دادن درپوش ظرف روی آن، ظرف آزمون در دستگاه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود. معمولاً ۱۵-۱۰ روز برای انجام آزمون کافی است. در طول این مدت چنانچه جوانه‌ها بلند شده باشند درپوش برداشته می‌شود تا مانع رشد آن‌ها نشود. بذوری که فاقد قدرت رویش باشند و یا قدرت پایینی داشته باشند قادر نیستند از ارتفاع ۳۰ میلی‌متری خرده آجر بیرون بیایند؛ بنابراین، قدرت بذر آن‌ها ضعیف ارزیابی می‌شود. در این آزمون فقط جوانه‌هایی که از خرده آجر بیرون آمده باشند شمارش می‌شوند. این آزمون، شرایط محیط را بر بذر حاکم می‌کند و نتایج آن معمولاً با نتایج مزرعه‌ای یکسان است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آزمون خلوص

در حالت کلی، آزمون خلوص^۲ نشان می‌دهد که یک توده بذری چقدر تمیز می‌باشد. در واقع خلوص نشان می‌دهد توده بذر از چند درصد بذر خالص مورد نظر و چند درصد مواد خارجی یا

سایر بذور تشکیل شده است. ناخالصی ممکن است شامل مواد غیربذری (مانند برگ، گل، بخش‌هایی از میوه، خاک و ...)، تکه‌های کوچکی از بذر خالص و یا بذر سایر گونه‌ها باشد.

- آزمون رشد گیاهچه

این آزمون برای ارزیابی قدرت بذر به کار می‌رود. بدین منظور، ابتدا آزمون استاندارد جوانه‌زنی انجام می‌شود. سپس برای آزمون رشد گیاهچه، طول گیاهچه‌ها و یا وزن خشک گیاهچه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند:

اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه می‌تواند یک شاخص باشد. اندازه‌گیری وزن خشک ریشه چه نیز می‌تواند یک شاخص برای اندازه‌گیری قدرت بذر باشد.

مجموع وزن خشک ریشه‌چه و گیاهچه نیز می‌تواند برای ارزیابی قدرت بذر به کار رود.

طول گیاهچه نیز به‌عنوان عاملی جهت اندازه‌گیری قدرت بذر می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

از آنجا که آزمون رشد گیاهچه اثرات هر سه عامل مؤثر بر قدرت بذر (ذخایر بذر، فرسودگی بذر و اثرات ژنتیک) را نشان می‌دهد به‌عنوان کامل‌ترین آزمونی است که برای اندازه‌گیری قدرت بذر می‌تواند در مورد همه گیاهان انجام شود. آزمون رشد گیاهچه، اثرات همه عوامل مؤثر بر قدرت بذر را نشان می‌دهد. از آنجا که گیاه در مرحله هتروتروفی از بذر تغذیه می‌کند، لذا کمبود ذخایر بذر (کوچک بودن اندازه بذر) طول و وزن گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که آزمون رشد گیاهچه، اثرات ذخایر بذر بر قدرت بذر را نشان می‌دهد. همچنین، از آنجا که فرسودگی بر سرعت جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد، بذوری که قوی‌تر هستند با سرعت بیشتری جوانه می‌زنند و لذا گیاهچه بزرگ‌تری تولید خواهند کرد؛ بنابراین، اثرات فرسودگی بر قدرت بذر در آزمون رشد گیاهچه مشخص می‌شود. آزمون رشد گیاهچه اثرات اختلاف در ژنتیک بر قدرت بذر را نیز نشان می‌دهد چرا که ساختار ژنتیکی یا بر سرعت جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد یا روی ذخایر بذر (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آزمون سرما

این آزمون بیشتر برای بررسی قدرت بذر گیاه ذرت به‌کار می‌رود. باین‌حال، در مورد برخی دیگر از گیاهان زراعی از جمله لوبیا نیز انجام می‌گیرد. در این آزمون از خاک مزرعه استفاده می‌کنند. بدین شکل که خاک مزرعه را آلوده به پاتوژن‌های آسیب‌رسان می‌کنند. سپس بذور را در این خاک

بگیرند چرا که ممکن است این پیش تیمارها باعث از بین رفتن قارچ‌ها شوند و در نتیجه، نتیجه درستی از آزمون به دست نیاید. اگر از بین بردن خواب برای چنین بذوری ضروری باشد باید خواب بذر را از طریق خراش دهی مکانیکی پوشش بذر از بین برد. در طول استفاده از روش آگار، بذرها روی سطح ماده غذایی آگار قرار داده می‌شوند. در شرایط مناسب، قارچ‌ها شروع به رشد می‌کنند و یک کلونی روی آگار تشکیل می‌دهند. انواع قارچ‌ها را می‌توان با توجه به رنگ و نحوه تشکیل کلونی تشخیص داد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آزمون فرسودگی کنترل شده

آزمون فرسودگی کنترل شده، آزمونی برای تعیین قدرت بذر می‌باشد. این آزمون، از نظر مراحل اجرا شبیه به آزمون پیری تسریع شده است. تنها اصلاحی که در این آزمون نسبت به آزمون پیری تسریع شده وجود دارد این است که رطوبت اولیه بذر به یک حد رسانده می‌شود؛ بنابراین، دو ضعف دیگر آزمون پیری تسریع شده همچنان در آزمون کنترل شده فرسودگی وجود دارند (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آزمون ونت

این آزمون به نام آزمون یولاف نیز معروف است و برای سنجش هورمون اکسین به کار رفته است. در این آزمون، اکسین به‌طور مستقیم از نوک کولتوپیتیل یا عصاره بافتی به دست می‌آید و با انتشار در آگار مکعبی شکل جمع‌آوری می‌شود. این مکعب‌ها روی قسمتی از انتهای کولتوپیتیل فاقد رأس قرار می‌گیرند و بعد از ۹۰ دقیقه، اندازه خمیدگی ساقه، اندازه‌گیری می‌شود. در این شرایط، ماده افزایش دهنده رشد به‌طرف پایین کولتوپیتیل به‌صورت جریان یک‌جانبه حرکت کرده و موجب رشد بیشتر سمت واجد منبع اکسین نسبت به سمت دیگر می‌شود و خمیدگی ایجاد می‌کند. زاویه خمیدگی از صفر تا ۲۰ درجه متغیر بوده و متناسب با غلظت اکسین در مکعب آگار است. این آزمون، حساس‌ترین سنجش زیستی برای اکسین محسوب می‌شود. میزان خمیدگی کولتوپیتیل یولاف، به‌صورت خطی متناسب با غلظت اکسین (تا حدود ۰/۲ میلی گرم در لیتر) است. اگر خمیدگی بیش‌ازحد باشد، آزمون با عصاره رقیق‌تر انجام می‌شود (قربانلی، ۱۳۹۰) (شکل ۲۸ و ۲۹).

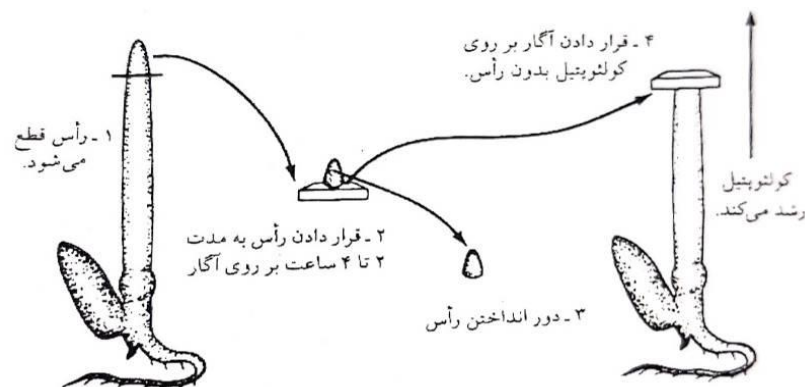
- آزمون هدایت الکتریکی

وقتی غشاهای سلولی آسیب می‌بینند نشت مواد از درون سلول به بیرون از آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل آزمونی معرفی شد

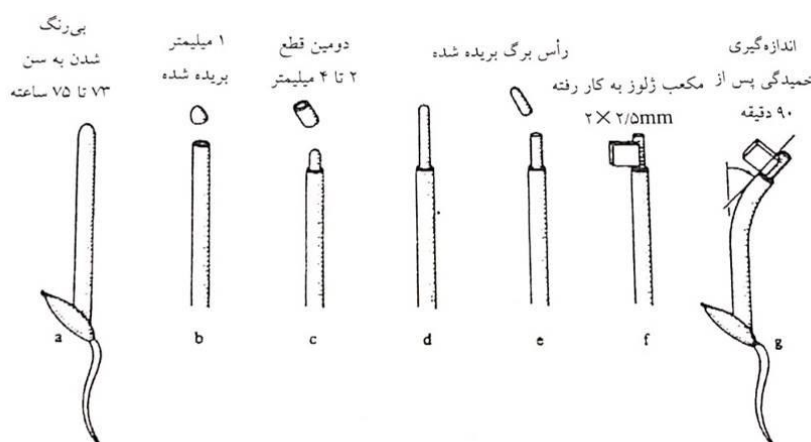
می‌کارند و در دمای پنج درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهند. دمای پایه جوانه‌زنی ذرت ۱۲-۱۰ درجه سانتی‌گراد است به عبارت دیگر دمای ۵ درجه سانتی‌گراد برای ذرت تنش سرما ایجاد می‌کند. بعد از حدود ۸-۶ روز، بذر به دمای مطلوب منتقل می‌شوند تا شرایط برای جوانه‌زنی بذر فراهم شود. بذوری که قدرت پایینی دارند یا ممکن است اصلاً سبز نشوند و از خاک بیرون نیایند و یا اینکه جوانه‌های غیرنرمال تولید کنند؛ به عبارت دیگر، در پایان آزمایش، تعداد جوانه‌های نرمال و غیر نرمال را با هم مقایسه می‌شوند. بذوری که درصد جوانه‌های نرمال بیشتری تولید کرده باشند دارای قدرت بالاتری هستند درحالی‌که بذوری که درصد جوانه‌های غیرنرمال آن‌ها بالاتر است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

- آزمون سلامت بذر

سلامت بذر به‌طور غیرمستقیم از طریق آزمون‌هایی از جمله جوانه‌زنی و قدرت بذر مشخص می‌شود چرا که بذره‌های آلوده به عوامل بیماری‌زا قادر به جوانه‌زنی نیستند و یا اینکه به‌کندی جوانه می‌زنند ولی گیاهچه ضعیفی تولید می‌کنند. همچنین ممکن است در آزمون‌های مربوط به قوه زیست مانند تترازولیوم و یا اشعه ایکس زنده به نظر نرسند. با این حال، در برخی موارد بررسی کامل بذر از نظر وجود عوامل بیماری‌زا ضروری است. به‌ویژه زمانی که قرار است بذر به خارج از منطقه صادر شود که در این صورت خطر انتقال عوامل بیماری‌زا به منطقه جدید وجود دارد. در چنین شرایطی انجام آزمون سلامت بذر ضروری است. سطح آزمون‌های سلامت بذر ممکن است ارزیابی ساده نمونه بذر از طریق مشاهده ظاهر بذر و یا بررسی کامل و دقیق و مشخص کردن نوع گونه عامل بیماری‌زا را شامل شود. بررسی آلودگی بذر به حشرات می‌تواند در طی بررسی قوه زیست بذر با استفاده از روش رادیوگرافی با اشعه ایکس مشخص شود. از آنجا که ممکن است حشرات به شکل لارو در بذر وجود داشته باشند اعمال شرایطی که باعث افزایش رشد و نمو لاروها شود ضروری است. برای تشخیص اسپور قارچ‌های بیماری‌زا بذر را در مقدار کمی آب شست‌وشو می‌دهند سپس آب را در زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار می‌دهند. با این حال، قارچ‌ها بیشتر از طریق انکوباسیون روی آگار و یا کاغذ خشک‌کن بررسی می‌شوند. بعد از چند روز که از انکوباسیون گذشت، قارچ‌های رشد کرده روی پوشش بذر نمایان می‌شوند و یا اینکه نشانه‌هایشان روی گیاهچه ظاهر می‌شود. لازم به ذکر است که پیش تیمارهایی مانند اسید سولفوریک و یا دمای بالا که برای از بین بردن خواب بذر استفاده می‌شوند نباید در مورد بذوری که قرار است تست سلامت روی آن‌ها انجام شود مورد استفاده قرار



شکل ۲۸. اساس آزمون ونت با جداسازی رأس کولتوپیتیل و قرار دادن آگار روی کولتوپیتیل بدون رأس



شکل ۲۹. مراحل آزمون خمیدگی کولتوپیتیل در آزمون ونت پس از ۳ ساعت

- آزمون هیلتنر

نام دیگری برای آزمون خرده‌آجر است که برای اندازه‌گیری قدرت بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اطلاعات بیشتر به توضیحات داده شده برای واژه آزمون خرده‌آجر مراجعه شود.

- آزمون یولاف

به آزمون ونت نیز مشهور است و یک آزمون زیستی برای سنجش اکسین است. برای توضیحات بیشتر به آزمون ونت مراجعه شود.

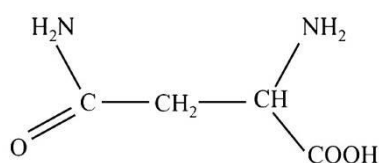
- آزولا

یک سرخس آبی است که معمولاً در آب‌های آرام نهرها، تالاب‌ها و شالیزارها یافت می‌شود. این گیاه به شوری حساس است و در آب دریا از بین می‌رود. رشد آزولا خیلی سریع بوده به‌طوری‌که در طی دو تا سه روز، می‌تواند به دو برابر اندازه قبلی خود، رشد کند. ریشه‌های نازک آزولا به این گیاه این امکان را می‌دهد که به راحتی در آب شناور و جابه‌جا شود. آزولا قادر است با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن رابطه همزیستی برقرار

که از طریق آن میزان صدمه وارده به غشاء اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش اولین بار در نخود انجام گرفت و نتیجه خوبی نیز دربر داشت. برای انجام این آزمون، دو تکرار ۵۰ عددی بذر را جدا و وزن می‌کنیم. دو ارلن با ظرفیت ۲۵۰ سی‌سی را از آب بدون یون (آب دو بار تقطیر شده) پر می‌کنیم. سپس بذرها را در ارلن قرار داده و بعد آن را در انکوباتور به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهیم. بعد از ۲۴ ساعت، ظروف را از انکوباتور خارج کرده و بذرها را از ظرف بیرون آورده و هدایت الکتریکی آب درون ظرف را اندازه می‌گیریم. البته برای جلوگیری از تکان خوردن بذر بهتر است بذرها در ظرف باقی‌مانده، ظرف دیگری برداشته و آب را در آن بریزیم. هدایت الکتریکی آب با استفاده از دستگاه EC سنج گرفته می‌شود. نمونه بذری که آب آن هدایت الکتریکی کمتری داشته باشد از قدرت بالاتری برخوردار است. عدد خوانده شده از دستگاه EC سنج را برای هر توده بذری بر وزن بذر تقسیم کرده تا هدایت الکتریکی برحسب واحد آن یعنی میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم به دست آید (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲).

– آسپاراژین

آسپاراژین اولین اسید آمینه‌ای است که از گیاهان جداسازی شد (حدود ۲۰۰ سال پیش). نسبت کربن: نیتروژن در اسید آمینه آسپاراژین ۱:۲ است که باعث می‌شود آسپاراژین به‌عنوان یک مولکول مهم برای ذخیره و انتقال نیتروژن در گیاهان مطرح باشد. آسپاراژین یکی از فراورده‌های عمده انتقال نیتروژن از گره‌های بقولات بعد از تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط باکتری‌های ریزوبیوم می‌باشد. این اسید آمینه در ترکیب بسیاری از پروتئین‌ها حضور دارد. از آنجا که آسپاراژین تا حدودی خاصیت قطبی بودن خود را حفظ می‌کند، نقش مهمی در قسمت‌های فعال آنزیم‌ها دارد. در تعداد زیادی از گیاهان، آسپاراژین یک ترکیب عمده انتقالی در آوند چوب (از ریشه به سمت برگ‌ها) و آوند آبکش (از برگ‌ها به سمت دانه‌های در حال رشد) می‌باشد. با این حال، همه گیاهان خانواده بقولات که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن انجام می‌دهند، آسپاراژین را به‌عنوان ترکیب اصلی برای انتقال نیتروژن به کار نمی‌برند. برای مثال، لوبیا و سویا گیاهانی هستند که ترکیب نیتروژنی انتقالی در آن‌ها آلانتوئین (برای اطلاعات بیشتر در مورد این مولکول به توضیحات مربوط به آن مراجعه شود) و اسید آلانتوئیک (برای اطلاعات بیشتر در مورد این مولکول به توضیحات مربوط به آن مراجعه شود) که از متابولیسم پورین حاصل می‌شوند، می‌باشند. در صورتی که در تغذیه گیاه از کود شیمیایی استفاده شود به‌طوری‌که میزان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گره‌های همزیستی در ریشه کاهش پیدا کند، میزان آسپاراژین نیز در شیره خام (آوند چوب) و شیره پرورده (آوند آبکش) کاهش پیدا می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴) (شکل ۳۲).



شکل ۳۲. ساختار مولکولی آسپاراژین

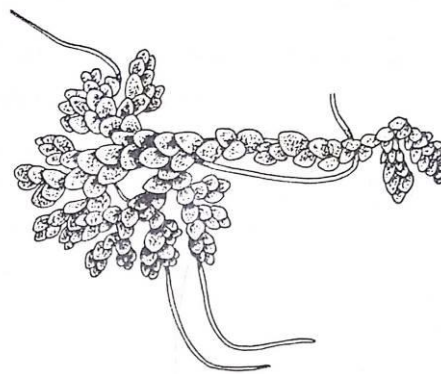
– آسپاراژین سنتتاز

آسپاراژین سنتتاز، آنزیمی است که نیتروژن را از گلوتامات به آسپاراتات منتقل می‌کند و باعث تولید آسپاراژین می‌شود (تایز و همکاران، ۲۰۱۸).

– آسپاراتات آمینوترانسفراز

در جریان تولید آسپاراتات، آسپاراتات آمینوترانسفراز، گروه آمین را از گلوتامات به گروه کربوکسیل اکسالات منتقل می‌کند (تایز و همکاران، ۲۰۱۸).

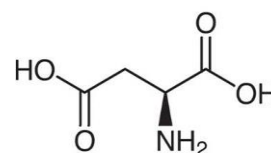
کند. به همین دلیل این گیاه، در دهه ۱۳۶۰، از فیلیپین به ایران آورده شد تا به تقویت تولید شالیزارها کمک کند. با این حال، رشد سریع این گیاه باعث شد که به یک علف هرز تبدیل شود چرا که با پوشاندن سطح آب، از ورود نور به عمق‌های بیشتر آب جلوگیری کرده و مانع رشد گیاهان و جانوران آبی می‌شود (قهرمان، ۱۳۷۶) (شکل ۳۰).



شکل ۳۰. آزولا، یک سرخس آبی است که روی آب شناور بوده و برگ‌های عادی آن نیز قادرند کار جذب مواد غذایی را انجام دهند.

– آسپاراتات

این مولکول به نام اسید آسپارتیک نیز خوانده می‌شود و دارای فرمول شیمیایی $\text{HOOCCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{COOH}$ است. آسپاراتات که یک آلفا-آمینو اسید است، علاوه بر این که در تشکیل پروتئین‌ها نقش دارد و یک بخش فعال در بسیاری از آنزیم‌ها است به‌عنوان یک پیش‌ماده برای سنتز چندین مولکول زیستی که برای رشد و مقاومت گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی ضروری هستند (از جمله نوکلئوتیدها، اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه و متابولیت‌های مشتق شده از آن‌ها) به کار می‌رود. اسیدهای آمینه متیونین، لیزین، ترئونین و ایزولوسین از مشتقات آسپاراتات هستند. مقدار آسپاراتات در گیاهان در واکنش به شرایط نامساعد محیطی افزایش پیدا می‌کند تا مقاومت گیاه افزایش پیدا کند چرا که به‌عنوان مثال- در شرایط خشکی، مقاومت گیاه به تجمع مولکول‌ها از جمله اسیدهای آمینه بستگی دارد. در این شرایط، غلظت آسپاراتات در ریشه و برگ گیاه تا دو برابر افزایش پیدا می‌کند. برای سازگاری به سرما نیز، آسپاراتات یک مولکول مهم به شمار می‌رود (احسانی طباطبایی، ۱۳۸۴) (شکل ۳۱).



شکل ۳۱. ساختار مولکولی آسپاراتات