تاثیر عناصر غذایی بر تعدیل تنش خشکی

مقدمه

بنا به تعریف Bray (1997) تنش خشکی به‌منزله کمبود آب در گیاه بوده و این وضعیت هنگامی ایجاد می‌گردد که میزان تعرق از میزان جذب آب تجاوز نماید. کمبود آب و تنش خشکی تنها محدود به اقلیم‌های خشک نیست، به‌طوری که حتی در اقلیم‌های مرطوب نیز توزیع نامناسب بارندگی ممکن است منتهی به دوره‌هایی شود، که محدودیت آب موجب رکود رشد گیاهان گردد. خسارات ناشی از تنش خشکی تابعی از نوع گیاه، ظرفیت نگهداشت آب در خاک، شرایط جوی موثر و میزان تبخیر و تعرق می‌باشد. از نگاه یک فیزیولوژیست گیاهی، تعریف خشکی بسیار فراتر از فقدان نزولات آسمانی است و در حقیقت مقوله‌ای است که از برهمکنش حداقل هفت عامل تنش‌زای محیطی شامل، قابلیت دسترسی اندک به رطوبت خاک، افزایش میزان تبخیر، دمای بالا، تابش شدید خورشید، سخت و نفوذ ناپذیر شدن خاک، عدم دسترسی به مواد غذایی و تجمع املاح در خارج از خاک فوقانی و پیرامون ریشه حاصل می‌گردد.

از لحاظ واژه‌شناسی نیز تفاوت‌هایی در مورد به کارگیری اصطلاحات مربوط به پدیده خشکی وجود دارد. بدین معنی که چون کمبود نزولات موجب تنش کمبود آب می‌شود، بنابراین واژه خشکی را برای مواردی به کار می‌برند که تنش بر اثر عدم وقوع بارندگی مفید تحقق می‌یابد؛ ولی اگر گیاه به‌طور مصنوعی در معرض کمبود آب قرار داده شود، در این صورت واژه تنش کمبود آب یا تنش کم‌آبی به‌کار برده می‌شود. اگر بر اثر خشکی هوا، رطوبت داخلی گیاه به کمتر از ۵۰ درصد مقدار عادی خود برسد، در این صورت گیاه دچار آب کشیدگی خواهد شد و اگر رطوبت داخلی گیاه کمتر از مقدار عادی، ولی بالاتر از ۵۰ درصد باشد، در این صورت گیاه دچار پس‌ابیدگی می‌گردد. همچنین، اگر تنش خشکی موجب از دست دادن آب به‌صورت مایع گردد در این صورت تنش را تنش اسمزی می‌نامند.

خشکی و تنش ناشی از آن از جمله شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات زراعی را تقریبا در ۲۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان محدود می‌نماید. ایران با متوسط نزولات آسمانی حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌گردد. بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق، محدودیت منابع آبی و سایر عوامل باعث توجه بیشتر به مطالعه اثرات تنش خشکی بر گیاهان و یافتن راهکارهای مقاوم سازی گیاهان در برابر خشکی شده است.

بر اساس گزارشات تحقیقات انجام شده، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در جهان، در اثر تنش خشکی، تا بیشتر از ۵۰ درصد قابل افزایش است.

PTMP/SK/R&D/A/ Drought Stress02 /19082023

Bray و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کاهش نسبی در پتانسیل حداکثر تولید محصول (مانند عملکرد تحت شرایط ایده آل) در ارتباط با عوامل تنش‌زای غیر زنده از جمله خشکی، بین ۵۴ تا ۸۲ درصد متغیر است. بنابراین، برای حفظ امنیت غذایی، به حداقل رساندن اثرات مخرب خشکی می‌بایست در اولویت باشد. تنش خشکی با انباشت انرژی در گیاهان تحت تاثیر تنش، سبب افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر می‌شود که انرژی نوری کمتری را از طریق تثبیت کربن فتوسنتز مصرف می‌کنند.

خشکی عمدتا از طریق محدود کردن ورود CO_2 به داخل برگ و یا به طور مستقیم، تثبیت کربن فتوسنتزی را از طریق جلوگیری از متابولیسم، کاهش داده و در موارد شدیدتر متوقف می‌نماید.

گیاهان مختلف طیف گستردهای از مکانیسمهای سازگاری را برای حفظ بهره‌وری و تضمین بقاء تحت شرایط تنش خشکی به‌کار می‌گیرند. به‌منظور کاهش سمیت گونه‌های فعال اکسیژن، سلول‌های گیاهی یک سیستم آنتی‌اکسیدانی، متشکل از آنتی‌اکسیدان‌های با وزن مولکولی کم مانند آسکوربات، آلفا توکوفرول، گلوتاتیون، کاروتنوئیدها و همچنین آنزیم‌های محافظ را توسعه داده‌اند. رادیکال‌های سوپر اکسید توسط سوپراکسید دیسموتاز (SOD) حذف می‌شوند، در حالی‌که H_2O_2 تولید شده به واسطه کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) به H_2O احیاء می‌شود.

با وجود مقاومت فیزیولوژیک گیاهان به تنش خشکی، اثرات زیان‌بار خشکی می‌تواند با مصرف کافی و مناسب عناصر غذایی معدنی به حداقل برسد. شواهد زیادی نشان داده است که وضعیت عناصر غذایی معدنی موجود در گیاهان نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی ایفا می‌نماید. تغذیه بهینه و کشت مناسب در خاک تا حد زیادی گردش آب در گیاهان را تحت تأثیر قرار داده، که یک روش بسیارکارآمد برای مبارزه با تنش خشکی می‌باشد. تحت کمبود عناصر غذایی در خاک، گیاهان از طریق جذب بیشتر آب اقدام به جذب همان مقدار از عناصر غذایی برای سوخت و سازشان می‌نمایند که از خاکی با حاصلخیزی کافی جذب می‌کنند. از سوی دیگر، در شرایط کمبود رطوبت خاک، گیاهان قادر به دریافت مقدار کافی عناصر غذایی نیستند که اثرات منفی بر وضعیت کلی گیاهان، به ویژه رشد، کیفیت و مقدار محصولاتشان دارد.

مفهوم مقاومت به خشکی

از نظر تکاملی، مقاومت یک گونه گیاهی به خشکی به‌صورت توان زنده ماندن آن از نسلی به نسل دیگر تحت شرایط کمبود آب قابل دسترس تعریف می‌شود. مقاومت به خشکی در مفهوم کشاورزی شامل توان تولید اقتصادی یک محصول در شرایط کمبود آب قابل دسترس می‌باشد. بدیهی است که تولید اقتصادی، همان ماهیت مورد نیاز برای زنده ماندن یک گونه را ندارد و اساسا انسان سعی در به‌دست آوردن عملکرد بیشتر از

آنچه برای زنده ماندن گونه گیاهی مورد نیاز است، دارد.

شکل۱- تاثیر تنش خشکی بر گیاهان

مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان

سه نوع مکانیزم اولیه برای مقاومت به خشکی در گیاهان شناسایی شده است:

۱)گریز از خشکی: توانایی گیاه برای تکمیل دوره زندگی، قبل از کاهش رطوبت خاک را گریز از خشکی می‌گویند. گریز از خشکی ساده‌ترین و مفیدترین راه سازگاری گیاه با شرایط خشکی است، زیرا گیاهان به‌ویژه گونه‌های زودرس می‌توانند قبل از محدودیت شدید آب به مرحله تولید محصول برسند.

۲)اجتناب از خشکی: توانایی یک گیاه برای تحمل دوره‌های بدون بارندگی از طریق بالا نگه داشتن میزان آب موجود در خود را اجتناب از خشکی می‌نامند. در طی دوره خشکی، گیاه به روش‌های زیر از تنش خشکی اجتناب می‌نماید.

الف)از طریق تداوم جذب آب از خاک، به‌وسیله ایجاد سیستم ریشه‌ای انبوه و عمیق.

ب)کاهش تلفات آب از گیاه به اتمسفر، توسط سازوکارهایی نظیر بسته شدن روزنه‌ها، مقاومت انتشار برگ، انعکاس زیاد نور آفتاب از برگ‌ها با پوشش مومی، حرکات برگ‌ها به‌منظور کاهش سطح تعرق و ریزش برگ‌ها.

۳)تحمل خشکی: تحمل به خشکی یا حفظ ذخیره آب و یا توانایی یک گیاه به زنده ماندن در دوره‌های بدون بارندگی و تحمل کمبود آب در بافت‌ها را تحمل به خشکی می‌نامند. تحمل به خشکی نیز از راه‌های مختلفی می‌تواند صورت بگیرد:

الف) تنظیم اسمزی، تغییرات در اندازه سلول‌ها و تغییر شکل دیواره‌ها برای غلبه بر پلاسمولیز؛

ب) پایداری غشاء از طریق تغییر در تراکم فسفولیپیدی و نفوذ پذیری آن؛

PTMP/SK/R&D/A/ Drought Stress02 /19082023

ج) ذخیره کربن و نیتروژن جهت بازگشت سریع به حالت اولیه؛

د) توانایی انتقال مواد ذخیره‌ای در شرایط تنش شدید به قسمت‌هایی از گیاه که از نظر اقتصادی مهم‌تر هستند.

استراتژی‌های حل مشکل خشکی

تلاش‌ها در جهت حل مشکل خشکی در تولید محصولات گیاهی در درجه اول بر اساس انتخاب ارقام مقاوم به خشکی می‌باشد. در طول سالیان گذشته، از نشانگرهای مولکولی برای شناسایی و انتقال ژن‌های مقاوم به خشکی استفاده شده است. روش دوم شناسایی ژن‌های مؤثر در ایجاد تحمل به خشکی، جداسازی آن‌ها و انتقال آن‌ها از طریق انتقال ژنتیکی به ژنوتیپ‌های مختلف است. آبیاری تنها روشی است که یک راه حل کامل برای حل مشکل خشکی است. با این حال نباید آبیاری را به‌عنوان یک روش مبارزه با خشکی در نظر گرفت، زیرا بدون در نظر گرفتن مدت یا شدت دوره‌های خشکی، با تعیین زمان، روش و میزان آبیاری، می‌توان به عملکردهای بالا و پایدار دست یافت و به‌عبارتی در صورتی که قادر باشیم آبیاری به موقع انجام دهیم، خشکسالی مفهوم پیدا نمی‌کند. علاوه بر توسعه ژنوتیپ‌های متحمل و فراهمی آبیاری، هنوز هم عملیات کشاورزی معقول پایه‌ای برای برنامه‌ریزی تولید گیاه در مناطق خشک شناخته می‌شود. بر اساس رطوبت موجود در خاک، سطح حاصلخیزی خاک و نیازهای گیاه، تحقیقات باید به مشکل تغذیه گیاهان که به قابلیت دسترسی آب در خاک وابسته است، رسیدگی نمایند.

تغذیه مناسب نیاز اساسی هر موجود زنده‌ای است، در حال حاضر ۱۷ عنصر غذایی وجود دارند که برای تکمیل چرخه زندگی گیاهان ضروری می‌باشد. عناصر غذایی ضروری گیاه به دو دسته پرمصرف و کم‌مصرف تقسیم می‌شوند. پر مصرف‌ها شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد و کم مصرف‌ها شامل روی، مس، آهن، منگنز، بور، مولیبدن، کلر و میکل می‌باشند.

سیلیسیوم یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان نیست، اما به عنوان یک عنصر غذایی مفید که در مدیریت و کنترل تنش‌ها، به ویژه در تنش خشکی و شوری از اهمیت زیادی برخوردار است، کاربرد دارد. این عناصر غذایی نه تنها برای رشد و توسعه بهتر گیاه مورد نیاز هستند، بلکه برای کاهش انواع تنش‌های غی زنده نیز مفید هستند. گیاهان در طیف گسترده‌ای از مکانیسم‌های سازگاری برای حفظ بهره‌وری و تضمین بقای خود تحت انواع شرایط تنش‌های محیطی توسعه یافته‌اند. شواهد زیادی نشان می‌دهد که وضعیت عناصر غذایی معدنی گیاهان نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه به عوامل استرس‌زای محیطی ایفا می‌نماید.

نقش عناصر غذایی پر مصرف در کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاهان

نیتروژن

نیتروژن یکی از عناصر غذایی ضروری است که کمبود آن در اغلب خاک‌ها، به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. نیتروژن بخش مهمی از ترکیبات ساختاری، ژنتیکی و متابولیکی در گیاهان است. ۸۰ درصد از مجموع کل عناصر غذایی جذب شده توسط ریشه‌های گیاهان مربوط به عنصر نیتروژن است.

جذب و مصرف نیتروژن برای رشد و بهره‌وری گیاهان به‌ویژه تحت شرایط تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است. نیتروژن جزءبندی کربن را تحت تأثیر می‌گذارد و تجمع قندهای محلول و به‌خصوص نشاسته را بهبود می‌بخشد و در نتیجه منجر به بهبود در رشد برگ و فتوسنتز شده و مستقیما بر سلامت و تولید محصول تأثیر می‌گذارد.

در جایی که نور عامل محدود کننده نیست، کاربرد نیتروژن، مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی را افزایش، فتواکسیداسیون رنگدانه‌های کلروپلاست را کاهش و پیری برگ را به تأخیر می‌اندازد. از طرفی جذب و مصرف نیتروژن به‌صورت کوددهی یا به اشکال دیگر، به‌شدت به توانایی ریشه‌های گیاه در جذب آب از خاک مرتبط است.

کاهش رشد گیاهان رشد یافته تحت تنش خشکی تا حدی به کاهش توان گیاهان در جذب نیتروژن مربوط می‌شود. کمبود جذب نیتروژن ناشی از تنش خشکی، از طریق کاهش تعداد و اندازه سلول‌ها، به‌طور عمده بر مساحت سطح برگ مؤثر است.

دانشمندان گزارش کردند که تحت تنش کم آبی، کاهش قابل توجه‌ی در تعداد برگ، واحد سطح برگ و مساحت کل برگ مشاهده می‌شود. در گیاه آفتابگردان، تقسیم سلولی که منجر به افزایش سطح برگ می‌شود، با در دسترس بودن مقادیر کافی نیتروژن افزایش می‌یابد. فرآیندهای متابولیکی گیاه، که منجر به افزایش رشد و عملکرد رویشی و زایشی می‌شوند، کاملا وابسته به مصرف مقادیر کافی نیتروژن است. اختلال در متابولیسم پروتئین در نتیجه تنش آبی،توسط محققان گزارش شده است. کاهش محتوای پروتئین ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش آبی ممکن است ناشی از کاهش مقدار RNA در اثر افزایش فعالیت آنزیم RNA آز باشد.

تحت تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های احیاء کننده نیترات و سایر آنزیم‌های گیاهی دچار تغییر می‌شود. نیترات رداکتاز (NR) اولین آنزیم در مسیر آسیمیلاسیون نیتروژن است که در برگ‌های گیاهان رشد یافته تحت تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. افزایش سطح مصرف نیتروژن در گیاهان رشد یافته تحت تنش کم‌آبی، جذب نیترات را بهبود بخشیده و فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز را افزایش می‌دهد.

مکانیسم‌های احتمالی برای شرح اثر مصرف نیتروژن در به حداقل رساندن اثرات زیانبا تنش خشکی، از طریق بهبود کارایی مصرف آب توسط Waraich و همکاران (۲۰۱۱) شرح داده شده است. تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد باعث تغییرات مورفوفیزیولوژیکی مختلف در گیاهان می‌شود. در مرحله جوانه‌زنی منجر به افزایش وزن خشک ریشه، ریشه‌های طویل‌تر و نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتر می‌شود که این امر به‌عنوان شاخصی برای تحمل به تنش خشکی در مراحل اولیه رشد گیاهان در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط گیاه بخش بزرگی از انرژی خود که باید جهت تولید اندام هوایی و تولید بیشتر محصول به‌کار گیرد را صرف تولید ریشه کرده و توان آن برای تولید محصول کاهش می‌یابد. در مراحل بعدی رشد مانند مرحله زایشی، سطح برگ پرچم، وزن مخصوص برگ، ماده خشک برگ، محتوای نسبی آب برگ، تعرق باقی مانده و پایداری غشای سلولی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و مصرف نیتروژن قادر به بهبود این خصوصیات می‌باشد.

فسفر

فسفر در مقایسه با نیتروژن و پتاسیم به مقدار کمتری در خاک‌ها وجود دارد. غلظت فسفر کل در خاک‌های سطحی از ۰,۰۰۵ تا ۰,۱۵ درصد متغیر است. بعد از نیتروژن، فسفر دومین عنصر غذایی است که کمبود آن در اغلب گیاهان رخ می‌دهد. سالانه بیش از ۳۰ میلیون تن متریک از کودهای فسفره بر پایه P_2O_5 در سراسر جهان مصرف می‌شود و از این مقدار بیشتر از ۹۹ درصد آن از سنگ فسفات به‌دست می‌آید. استفاده از کودهای فسفره، احتمالا به‌دلیل بهبود نسبت نیتروژن به فسفر، تولید محصول را تا چندین برابر افزایش می‌دهد.

فسفر عنصر غذایی اصلی در فرایندهای انتقال انرژی در گیاهان است. نیاز به فسفر به‌دلیل نقش آن در بازیافت ATP (Adenosine triphosphate) از اهمیت بالایی برخوردار است. سطوح فسفر در گیاه ممکن است تحت شرایط تنش خشکی و یا در اثر جذب ناقص ریشه پایین باشد و نیاز است که سطح و نحوه مصرف آن اصلاح شود. تغذیه بهینه فسفر، رابطه بین فشار تورمی برگ و هدایت روزنه‌ای را بهبود می‌بخشد. بنابراین، در گیاهان با کمبود فسفر، بسته شدن روزنه‌ها سبب پایین آمدن پتانسیل آب برگ می‌شود، به‌طوریکه گلدهی گیاهان به تأخیر می‌افتد.

فسفر یکی از اجزاء اصلی اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، پروتئین‌های فسفری، دی نوکلئوتیدها و دی آدنوزین تری فسفات می‌باشد. از این‌رو، فسفر در فرآیندهایی همچون ذخیره‌سازی و انتقال انرژی، فتوسنتز، تنظیم فعالیت برخی آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها مورد نیاز است. خاک‌ها در مناطق خشک اغلب آهکی و دارای pH بالایی هستند و در نواحی نیمه خشک، اغلب از لحاظ اکسیدهای آلومینویم و آهن غنی و pH آن‌ها

پایین است. هر دو نوع از این خاک‌ها تمایل شدیدی برای تثبیت فسفر دارند. این موضوع پذیرفته شده است که جذب فسفر به وسیله گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد.

برای مثال، انتقال فسفر به اندام هوایی حتی تحت تنش نسبتا ملایم به‌شدت دچار مشکل می‌شود؛ با این وجود مقدار بالایی از ترشحات مولکولی (مانند بیشتر موسیلاژها)، در مواجه با خشکی خاک، تحرک فسفر را تحت چنین شرایطی کاهش می‌دهند. بنابراین، کمبود فسفر یکی از اولین اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد و استفاده از کود فسفره در این شرایط می‌تواند رشد گیاه را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد.

اثرات مثبت فسفر بر بهبود رشد گیاهان رشد کرده تحت تنش خشکی، به افزایش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، پایداری بیشتر، غشاء سلولی، بهبود روابط آبی و تقویت مکانسیم تحمل به خشکی نسبت داده می‌شود. نشان داد که یکسری ژن‌های خاص با میل ترکیبی بالا برای حمل فسفر وجود دارد، کدگذاری و تحریک بیان این ژنها می‌تواند یک راهبرد موفق در کنترل کمبود فسفر و تنش کم آبی باشد. فسفر باعث بهبود رشد ریشه و حفظ پتانسیل بالای آب برگ می‌شود. بهبود رشد ریشه سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده و فعالیت نیترات رداکتاز را که باعث بهبود جذب نیترات در شرایط خشکی می‌شود را افزایش می‌دهد. فسفر همچنین آماس سلول را با بالا نگه داشتن پتانسیل آب برگ حفظ می‌کند، که این هم به نوبه خود باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و افزایش سرعت فتوسنتز تحت شرایط خشکی می‌شود.

پتاسیم

پتاسیم به‌طور خاص نقش مهمی در حفظ بقای گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. پتاسیم برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال فتوسنتتازها به اندام‌های مخزن (سینک)، حفظ فشار تورمی، فعال شدن آنزیم‌ها و کاهش جذب بیش از حد یون‌هایی مانند سدیم و آهن در خاک‌های شور و غرقاب ضروری است. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد گیاهان در مواجه با تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی، نیاز درونی بیشتری به پتاسیم دارند. تنش‌های محیطی که با افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، باعث افزایش آسیب اکسیداتیو به سلول‌های گیاهی می‌شوند، نیاز به پتاسیم در گیاه را بخصوص در طول فتوسنتز افزایش می‌دهند. به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش نیاز به پتاسیم در گیاهان در معرض با تنش خشکی، به این واقعیت برمیگردد که پتاسیم برای حفظ تثبیت CO_2 فتوسنتزی مورد نیاز است. به‌عنوان مثال، تنش خشکی با بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه با کاهش تثبیت CO_2 در ارتباط است. تحت تنش خشکی، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن با ممانعت از احیاء CO_2 شدت می‌یابد. افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن

در گیاهان تحت تنش خشکی، به اختلال در فتوسنتز و اختلالات مرتبط با آن در متابولیسم کربوهیدرات‌ها مربوط می‌باشد.

تحت تنش خشکی، وقتی گیاهان در خاک‌های حاوی مقادیر کم پتاسیم رشد می‌کنند، علاوه بر افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش خشکی، به دلیل کمبود پتاسیم در باز شدن روزنه‌ها، روابط آبی و فتوسنتز گیاه با اختلال مواجه می‌شود.

این مکانیسم از این ایده حمایت می‌کند که تحت تنش خشکی، به‌منظور افزایش حفظ فتوسنتز و محافظت از کلروپلاست در برابر آسیب اکسیداتیو، تقاضا برای جذب پتاسیم افزایش می‌یابد و هنگامی که عرضه پتاسیم کافی باشد، فتوسنتز به شدت کاهش می‌یابد.

در تحقیق دهقانی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داده شد که کاربرد کودهای پتاسیمی توانست خصوصیات زراعی گیاه جو را از جنبه‌های مختلف بهبود بخشد و اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد. در شرایط کمبود آب، تغذیه گیاهان با مقادیر کافی پتاسیم، از طریق افزایش کارایی استفاده از رطوبت خاک نسبت به گیاهان دارای کمبود پتاسیم، تحمل گیاه زراعی به تنش کم‌آبی را افزایش می‌دهد. پتاسیم همچنین پتانسیل اسمزی و تورژسانس سلول‌ها را حفظ کرده و عملکرد روزنه‌ها را در شرایط تنش آبی تنظیم می‌نماید. نقش حفاظتی پتاسیم در گیاهان مبتلا به تنش خشکی از طریق حفظ pH بالا در استروما (بافت بنیادی) و محافظت در برابر آسیب فتواکسیداتیو به کلروپلاست نیز توسط گزارش شده است.

کلسیم

کلسیم اهمیت قابل توجهی در تحکیم ساختار دیواره سلولی دارد. اخیرا با کشف نقش آن به‌عنوان کالمودولین، مشخص شده است که کلسیم فقط یک عنصر غذایی پر مصرف نیست، بلکه یک کنترل‌کننده اصلی سوخت‌وساز و توسعه گیاه می‌باشد. کلسیم به‌عنوان واسطه در پاسخ به تنش خشکی، بهبود آسیب ناشی از تنش خشکی و سازگاری گیاهان با تنش خشکی ایفای نقش می‌نماید. همچنین با فعال کردن آنزیم ATPase غشای پلاسمایی که برای پمپ برگشتی عناصر غذایی لازم است، در بهبود ناشی از تنش خشکی اهمیت دارد. مکانیسم‌های احتمالی برای به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی در گیاهان زراعی، از طریق تغذیه بهینه کلسیم است. کلسیم نقش بسیار برجسته‌ای در حفظ ساختار سلولی دارد و همچنین آنزیم ATPase غشای پلاسمایی را فعال می‌نماید. این آنزیم از طریق پمپ‌هایی خاص، عناصر غذایی از دست رفته در طول آسیب غشای سلولی به علت کمبود کلسیم را برگشت می‌دهد و آسیب ناشی از تنش خشکی در

گیاهان را تعدیل می‌نماید. همچنین کلسیم با ایفای نقش به‌عنوان کالمودولین، فعالیت‌های متابولیکی گیاهان را کنترل و رشد گیاهان در شرایط تنش خشکی را بهبود می‌بخشد.

منیزیم

منیزیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موثر در رشد و توسعه گیاهان نقش دارد .منیزیم نسبت به سایر عناصر غذایی معدنی پر مصرف، در فعال کردن بسیاری از آنزیمها نقش دارد. آنزیمهای فعال شده توسط منیزیم شامل ATPase ها، ribulose - 1, 5 - bisphosphate RuBPcarboxylase، RNA پلیمراز و پروتئین کینازها می‌باشند. شاید یکی از مهمترین وظایف منیزیم در گیاهان، نقش آن به‌عنوان اتم مرکزی مولکول کلروفیل باشد که به‌طور معمول با توسعه زردی بین رگبرگی در گیاهان تحت تنش کمبود منیزیم در ارتباط است. زیرا بخش زیادی از منیزیم در کلروپلاست گیاهان تجمع یافته و کمبود منیزیم نه تنها از طریق سطح پایین منیزیم در خاک، بلکه از طریق حضور کاتیون‌های رقابت‌کننده با منیزیم از جمله کلسیم در خاک‌های آهکی، هیدروژن، آمونیوم و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و سدیم در خاک‌های شور نیز رخ می‌دهد. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهند منیزیم نقشی اساسی در انتقال آبکشی مواد فتوسنتزی از منبع به اندام‌های مصرف کننده (مخزن) بازی می‌کند و کمبود آن سبب افزایش قابل توجه تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ‌های منبع می‌شود.

در برگ گیاهان دارای کمبود منیزیم، به‌دلیل تغییر در متابولیسم کربن فتوسنتزی و محدود شدن تثبیت CO_2 انتقال و در نتیجه تجمع کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد. در اثر کمبود منیزیم اختلال درانتقال الکترون فتوسنتزی به CO_2 از طریق غشای فتوسنتزی، منجر به تجمع الکترون استفاده نشده و انرژی جذب شده می‌شود و در چنین شرایطی، الکترون‌ها و انرژی برانگیخته استفاده نشده در تثبیت CO_2 فتوسنتزی منجر به تولید گونه‌های اکسیژن بسیار واکنش پذیر ROS و به تبع آن آسیب به ترکیبات کلروپلاست مانند کلروفیل و لیپیدهای غشایی می‌شود.

منیزیم رشد ریشه و مساحت سطح ریشه را افزایش داده، که از این طریق به افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه و انتقال ساکارز از برگ به ریشه کمک می‌نماید. منیزیم با انتقال آبکشی کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب فتواکسیداتیو به کلروپلاست، رشد گیاهان تحت تنش خشکی را بهبود می‌بخشد.

نقش عناصر غذایی کم مصرف در کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاهان

عناصر غذایی کم مصرف از طریق فعال کردن برخی از فرآیندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و سوخت و سازی در گیاهان، به کاهش تأثیر منفی تنش خشکی بر گیاهان کمک می‌کنند. با این حال، سهم عناصر غذایی کم مصرف (بور، آهن، مس، منگنز، مولیبدن و کلر) در کاهش اثرات منفی تنش خشکی برگیاهان نیازمند بررسی‌های بیشتر می‌باشد. در ادامه نقش عناصر غذایی کم مصرف در کاهش آثار تنش خشکی مورد بحث قرار گرفته است.

روی

روی یک عنصر غذایی ضروری مهم برای رشد و توسعه گیاه است. خاک‌های مناطق خشک به دلیل وجود کربنات کلسیم بالا و pH قلیایی، اغلب از لحاظ روی قابل دسترس برای گیاه فقیر می‌باشند. در گیاهان، کاهش میزان فتوسنتز ناشی از کمبود روی با کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش غلظت CO_2 درون سلولی همراه است. اثر کمبود روی در کاهش فعالیت کربنیک آنهیدراز نیز در کاهش میزان فتوسنتز مؤثر است. کمبود روی پتانسیل اسمزی را کاهش و کمبود اشباع آب را افزایش می‌دهد. همچنین میزان تعرق گیاهان در اثر کمبود روی کاهش می‌یابد. محققان بیان کردند که در شرایط طبیعی و بدون تنش خشکی، کاربرد روی عملکرد دانه نخود را افزایش می‌دهد اما تحت تنش کم آبی، فقط در ژنوتیپ روی کارا، عملکرد دانه در اثر کاربرد روی افزایش می‌یابد. این بررسی نشان داد که کارایی گیاهان در جذب روی می‌تواند عملکرد محصول تحت تنش خشکی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. مکانیسم‌های احتمالی برای بیان اثر روی در به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی در گیاهان زراعی توسط Waraich و همکاران (۲۰۱۱) تشریح شده است. آن‌ها معتقد بودند که توانایی روی در تأثیر بر سطح اکسین مهم است و به عنوان یک کو آنزیم برای تولید تریپتوفان (پیش ماده تشکیل اکسین)، شناخته شده است. افزایش در سطح اکسین در اثر کاربرد روی، موجب افزایش رشد ریشه می‌شود که این امر مقاومت به خشکی در گیاهان را بهبود می‌بخشد. همانطور که در بالا بیان شد، به احتمال زیاد وظایف طبیعی اکسین در شرایط تنش خشکی مختل می‌شود و حفظ سطوح کافی هورمون یک مزیت رقابتی برای مقاومت در برابر شرایط نامطلوب محیطی و تنشی می‌باشد.

در مکانیسم‌های دیگر، کاربرد روی فعالیت NADPH اکسیداز متصل به غشاء را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود باعث کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن شده و آسیب اکسیداتیو ناشی از خشکی را در اثر افزایش فعالیت CATو SOD، POD کاهش می‌دهد. تحت تنش خشکی، مصرف روی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد و سلول‌ها را در برابر حمله گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌نماید.

PTMP/SK/R&D/A/ Drought Stress02 /19082023

بور

وظیفه اولیه بور به تشکیل دیواره سلولی در گیاهان مربوط می‌شود. تحت تنش خشکی، انتقال قند در گیاهان، ابقاء گل، تشکیل دانه گرده، جوانه زنی بذر و تولید دانه کاهش می‌یابد. تغذیه بهینه بور تحت تنش خشکی به تقویت موارد بیان شده کمک نموده و رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. تغذیه بور تحت شرایط تنش خشکی سبب کاهش توقف رشد ظاهری (روزته شدن)، کاهش تعداد خوشه‌های عقیم به علت گرده افشانی ضعیف، کاهش تعداد ساقه‌ها و میوه‌های پوک (قلب پوکی) و شکننده، کاهش برگ‌های لکه‌دار و در نهایت منجر به کاهش تلفات در اندام‌های بارده می‌شود.

مس

مس یک عنصر غذایی ضروری مهم برای سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و نیتروژن می‌باشد. مس همچنین در سنتز لیگنین ضروری بوده و لیگنین نیز برای استحکام دیواره سلولی و جلوگیری از پژمردگی گیاهان مورد نیاز است. تنش خشکی اثرات منفی بر تمام این فرآیندها در گیاهان می‌گذارد. تغذیه بهینه گیاهان با عنصر مس، از طریق کاهش مرگ ساقه‌ها و شاخه‌های کوچک و بهبود فتوسنتز، توقف رشد را کاهش داده و سوخت و ساز کربوهیدارت‌ها و نیتروژن را بهبود می‌بخشد، که به نوبه خود باعث بهبود رشد و عملکرد محصول در بسیاری از گیاهان می‌شود.

سیلیسیم

سیلیسیم پس از اکسیژن فراوان‌ترین عنصر موجود در خاک است. در محلول خاک، اسید سیلیسیک در غلظت‌های مختلفی از ۰,۱ تا ۰,۶ میلی مول وجود دارد، که این مقدار بیشتر از دو برابر مقدار عنصر پرمصرف فسفر است. گیاهان اغلب سیلیسیم را به‌صورت اسید مونو سیلیسیک جذب می‌کنند. با وجود اینکه سیلیسیم همه جا حضور دارد و یکی از اجزاء غالب گیاهان است، در بسیاری از موارد هنوز به عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان شناخته نشده است. با این حال، ثابت شده است که سیلیسیم برای رشد و توسعه بهتر گیاه، به‌ویژه در گیاهان خانواده گرامینه مفید است. سیلیسیم می‌تواند رشد گیاه و تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده را بهبود بخشد.

مصرف سیلیسم، از طریق کاهش تعرق برگ و کاهش سرعت جریان آب در آوند چوبی، راندمان مصرف آب را افزایش می‌دهد. مصرف سیلیسیم از طریق تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی را در گیاهان زراعی کاهش می‌دهد.

علاوه بر نقش سیلیسیم در دفاع آنتی اکسیدانی، اثر سیلیسیم در بهبود و اصلاح سطح املاح سازگار نیز قابل توجه است زیرا این املاح تورژسانس و پتانسیل آب برگ را در سطح بهینه حفظ کرده و بقای گیاه در شرایط خشکی را تضمین می‌کنند. تغذیه سیلیسیم (سیلیکون) تولید آنتی اکسیدان‌ها را افزایش داده و باعث کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و در نهایت کاهش آسیب اکسیداتیو و حفظ یکپارچگی غشای کلروپلاست در گیاهان می‌شود. کمبود آب می‌تواند توسعه سلول‌ها را محدود کرده و تولید زیست توده را کاهش دهد. فعالیت‌های مختلف متابولیکی و آنزیمی را در گیاهان تغییر می‌دهد و تعادل یونی و تجمع املاح را دچار اختلال می‌نماید. تحقیقات در زمینه افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی نشان داده است که مصرف سیلیسیم می‌تواند باعث بهبود عملکرد گیاهان تحت این شرایط شود. سیلیسیم با افزایش شاخص پایداری غشای برگ، بهبود محتوای نسبی آب برگ، بهبود فتوسنتز، کاهش تنش اکسیداتیو، تعدیل و تنظیم اسمزی، افزایش تولید اسیدآمینه پرولین، اصلاح بیان ژن، سنتز فیتوهورمون‌ها و افزایش تولید موم اپیکوتیکولار باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی می‌شود. مصرف سیلیسیم تحت شرایط تنش خشکی، می‌تواند رشد گیاه گندم را بهبود بخشیده و منجر به افزایش طول سنبله و وزن صد دانه شود.

برآیند نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که سیلیسیم با چندین روش مستقیم و غیرمستقیم مانند تنظیم اسمزی، بهبود روابط فتوسنتزی، تنظیم محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز خالص، افزایش پایداری غشاء، بهبود روابط آبی برگ، تنظیم سطح برگ، تنظیم میزان هورمون‌های گیاهی، تحریک تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدان و غیره می‌تواند عملکرد محصولات مختلف را افزایش دهد. گزارش کرد که کاربرد سیلیسیم تحت تنش خشکی و شوری، می‌تواند عملکرد زیست توده اندام هوایی گندم را تا ۱۷٪ افزایش دهد.

منبع

موسوی، سید مجید؛ چراغی، میثم؛ غفاری‌نژاد، سید علی.(۱۴۰۱). مروری بر کارکردهای تخصصی عناصر غذایی در تعدیل آثار تنش‌های محیطی (تنش خشکی، تنش شوری و تنش دمایی). تهران: نشر آموزش کشاورزی

PTMP/SK/R&D/A/ Drought Stress02 /19082023