تاثیر عناصر غذایی بر تعدیل تنش دمایی

مقدمه

تنش ناشی از دمای بالا (دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سلسیوس) سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در قسمت‌های مختلف سلولی از جمله کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی زوم‌ها می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن بسیار سمی هستند و باعث آسیب به پروتئین‌ها، چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و DNA شده و در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن به‌سبب تنش دمای بالا، یکی از علل عمده کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی در سراسر جهان است. دمای پایین (کمتر ۱۰ درجه سلسیوس) نیز انتقال الکترون فتوسنتزی و تثبیت CO_2 در گیاهان را بهدلیل تبدیل O_2 به گونه‌های فعال اکسیژن تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نقش عناصر غذایی پرمصرف در کاهش خسارات تنش دمایی

نیتروژن

نیتروژن نقش کلیدی در تحمل به تنش دمایی در گیاهان دارد. در دماهای بالا، معمولا شدت نور نیز بسیار زیاد است. شدت نور خیلی زیاد، به‌عنوان تابعی از دمای بالا، جذب عناصر غذایی معدنی در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. از بین مواد معدنی، نیتروژن نقشی اساسی در استفاده از انرژی نور جذب شده و سوخت و ساز کربن فتوسنتزی بازی می‌کند. انتظار می‌رود که در برگ گیاهان دارای کمبود نیتروژن، مقداری از انرژی نورانی جذب شده، به‌صورت مصرف نشده باقی بماند و منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب اکسیداتیو ناشی از آن شود. عرضه کافی نیتروژن منجر به مصرف انرژی نورانی جذب شده و جلوگیری از آسیب اکسیداتیو می‌شود. مشخص شده است که در گیاه برنج تحت شدت نور بالا، کمبود نیتروژن باعث افزایش پراکسیداسیون لیپید میشود. Kato و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که تحت شدت نور زیاد، گیاهانی که نیتروژن کافی جذب کرده باشند، از طریق حفظ فتوسنتز در حد بهینه، مقاومت بیشتری در مقابل تنش دمایی از خود نشان می‌دهند.

گیاهان برای جلوگیری از آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش دمای بالا به غشاء تیلاکوئید، یک مکانیسم حفاظتی دارند، که با به‌کارگیری آن انرژی اضافی به‌صورت گرما از بین می‌رود. از بین رفتن انرژی نورانی بیش از حد، با افزایش تشکیل زئازانتین (رنگدانه زانتوفیل) که در چرخه زانتوفیل از ویولازانتین سنتز می‌شود، مرتبط است. از سوی دیگر، در گیاهان دچار کمبود نیتروژن، تبدیل رنگدانه زانتوفیل و تشکیل زئازانتین افزایش می‌یابد و باعث سفید شدن کلروفیل، به‌ویژه تحت شدت نور زیاد خواهد شد. در گیاهان دچار کمبود نیتروژن در مقایسه

PTMP/SK/R&D/A/ temperature stress01 /29082023

با گیاهانی که نیتروژن کافی دریافت می‌کنند، بخش بزرگی از انرژی نورانی جذب شده پراکنده می‌شود (به‌ترتیب تا ۶۴ و ۳۶ درصد). همچنین، این تفاوت با تغییر در رنگدانه‌های چرخه زانتوفیل مطابقت دارد. در گیاهان دارای کمبود نیتروژن، حدود ۶۵ درصد از کل رنگدانه زانتوفیل در منبع زئازانتین و آندرازانتین حضور دارد و در گیاهان دارای نیتروژن کافی مقدار آن ۱۸ درصد می‌باشد.

کافی مقدار آن ۱۸ درصد می‌باشد گیاهان دچار کمبود نیتروژن، به‌دلیل آسیب اکسیداتیو ناشی از دمای بالا، استفاده از انرژی نوری جذب شده در تثبیت CO_2 فتوسنتزی دچار اختلال می‌شود.

فرم نیتروژن عرضه شده به گیاه نیز می‌تواند تحمل گیاه نسبت به خسارت ناشی از تنش دمایی را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان نمونه تحت تنش دمایی (نور بیش از حد خورشید)، تبدیل ویولازانتین به زئازانتین، که به‌عنوان مکانیسمی جهت پراکنده کردن انرژی نور بیش از حد است، در برگ‌های گیاهان لوبیا تغذیه شده با نیترات نسبت به برگ‌های تغذیه شده با آمونیوم بیشتر است. Zhu و همکاران (۲۰۰۰) در نتایج مشابه‌ی مشاهده کردند که گیاهان لوبیای تغذیه شده با نیترات نسبت به گیاهانی که با آمونیوم تغذیه شده بودند، تحمل بیشتری به آسیب نوری نشان دادند.

نیتروژن به شکل اکسید نیتریک (NO) یک رادیکال آزاد نفوذ کننده غشایی، بسیار واکنش پذیر، با طیف گسترده‌ای از وظایف تنظیم کنندگی در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند جوانه‌زنی بذر، گسترش برگ، پیری سلول، انتشار اتیلن، بسته شدن روزنه‌ها و مرگ برنامه ریزی شده سلول است و همچنین یک سیگنال مولکولی در پاسخ به تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری، تابش UV-B و تنش گرما می‌باشد. اکسید نیتروژن از طریق اعمال نقش به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و از طریق حذف گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده تحت تنش دمایی بالا یا پایین، گیاه را در برابر شرایط تنش دمایی محافظت می‌نماید .علاوه بر این Uchida و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که اکسید نیتروژن، از طریق القای بیان ژن کدگزاری پروتئین شوک حرارتی، کلروپلاست را در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش گرمایی محافظت می‌کند.

پتاسیم

در میان عناصر غذایی معدنی، پتاسیم نقشی حیاتی در بقای گیاهان تحت شرایط تنشهای زیست محیطی ایفا می‌کند. کمبود پتاسیم باعث کاهش شدید تثبیت CO_2 فتوسنتزی و اختلال در جزءبندی و استفاده از مواد

فتوسنتزی می‌شود. این اختلالات سبب تولید بیش از حد الکترون‌های فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه از طریق انتقال شدید الکترون به O_2 سبب تحریک تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود.

تنش دمای پایین بر سیالیت لیپیدهای غشاء تأثیر دارد و ممکن است ساختار غشاء را تغییر دهد. دمای پایین همچنین انتقال الکترون فتوسنتزی، هدایت روزنهای، فعالیت روبیسکو و تثبیت CO_2 را در گیاهان (به دلیل تبدیل O_2 به ROS) تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شرایط عرضه کم پتاسیم، آسیب فتو اکسیداتیو ناشی از سرما یا یخبندان تشدید می‌شود و باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در این شرایط عرضه پتاسیم در مقادیر بالا می‌تواند سبب محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از سرما یا یخزدگی شود. افزایش غلظت پتاسیم در آب آبیاری، منجر به حفاظت ساقه گیاه در برابر خسارت ناشی از درجه حرارت‌های پایین شب می‌شود. Hakerlerler و همکاران (۱۹۹۷) مشاهده کردند که مصرف پتاسیم، بسته به منبع آن، عملکرد کل گیاه را ۲,۴، ۱,۹، ۱,۷ برابر به‌ترتیب در گوجه فرنگی، فلفل و بادمجان افزایش می‌دهد.

شکل۱- تاثیر تنش دمایی بر گیاهان

PTMP/SK/R&D/A/ temperature stress01 /29082023

کلسیم

کلسیم در سطوح سلولی و مولکولی نقشی حیاتی در تنظیم تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان ایفا می‌کند، که هم رشد و هم پاسخ به تنش‌های محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طور کلی، ارقام گیاهی که تحت تنش‌های دمای پایین هستند، از طریق بستن روزنه‌ها و جلوگیری از هدر رفت آب تعرقی، قادر به حفظ پتانسیل بالای آب برگ می‌باشند. در ارقام تحت تنش سرما، کلسیم یک نیاز ضروری برای بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد. همچنین این اعتقاد وجود دارد که آبسیزیک اسید ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، به‌طور جزئی از طریق آزاد شدن کلسیم از ذخایر سلول‌های محافظ داخلی و یا از آپوپلاست ناشی می‌شود. از آنجایی که از دست دادن آب یکی از آثار ناشی از تنش دمایی است، کلسیم نیز از طریق کاهش هدر رفت آب نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان به آسیب یخزدگی ایفا می‌کند. کلسیم همچنین، نقشی به‌عنوان کالمودولین ایفا می‌کند که کنترل‌کننده فعالیت‌های متابولیکی گیاه و افزایش‌دهنده رشد گیاه تحت شرایط تنش دمایی می‌باشد.

منیزیم

منیزیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر رشد و توسعه گیاهان نقش دارد. منیزیم نقشی ضروری در فتوسنتز و بسیاری از فرآیندهای متابولیک دارد. بسیاری از آنزیم‌های کلیدی کلروپلاست به‌شدت تحت تاثیر تغییرات میزان منیزیم گیاه می‌باشند. کمبود و بیش‌بود میزان منیزیم اثرات مخربی بر فتوسنتز گیاه دارد. در اثر تنش دمایی، گونه‌های فعال اکسیژن در قسمت‌های مختلف سولی از جمله کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم‌ها واقع می‌شوند و به‌علت سمی بود زیاد، باعث آسیب به پروتئین‌ها، چربی‌ها،کربوهیدرات‌ها و DNA می‌شوند که در نهایت منجر به مرگ سلولی می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان یک نتیجه از تنش دمای بالا یکی از علل عمده کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی در سراسر جهان است.

منیزیم یک وظیفه مهم در زنجیره انتقال الکترون کلروپلاست دارد. منیزیم در انتقال انرژی از فتوسیستم II به نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید فسفات ($NADP^+$) و محافظت از غشای تیلاکوییدی، ایفای نقش می‌کند، که این عمل تجمع انرژی برانگیخته و آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهد.

Yu و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که تنش اکسیداتیو یکی از مولفه‌های تنش کمبود عناصر غذایی معدنی است. منیزیم فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان را درگیاهان لوبیا، پونه، فلفل و توت افزایش می‌دهد.

منیزیم سبب افزایش رشد ریشه و مساحت سطح ریشه می‌شود که به افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه کمک می‌کند. همچنین منیزیم یکی از اجزاء تشکیل دهنده مولکول کلروفیل است که باعث افزایش مقدار ساکارز و افزایش انتقال ساکارز از برگ‌ها به ریشه می‌شود.

نقش عناصر غذایی کم مصرف در کاهش خسارات ناشی از تنش دمایی

بور

بور به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند افزایش طول سلول، تقسیم سلولی، سنتز دیواره سلولی، عملکرد غشاء متابولیسم نیتروژن، فتوسنتز برگ و سنتز یوراسیل درگیر است. تنش دمایی (کم یا زیاد) باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) همچون رادیکال سوپر اکسید و پراکسید هیدروژن می‌شود. تجمع گونه‌های اکسیژن فعال به لیپید غشاء خسارت وارد نموده و می‌تواند منجر به مرگ سلول‌های گیاهی شود. گیاهان به‌منظور حذف گونه‌های فعال اکسیژن دارای آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند. آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتاز (SOD) کاتلاز (CAT)، گویکول پر اکسیداز (GPX)، گلوتاتیون پراکسیداز (GSH-PX)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، ردوکتاز گلوتاتیون (GR) دهیدروآسکوربات ردوکتاز (DHAR) و مونودهیدروآسکوربات ردوکتاز (MDHAR) می‌باشند، در حالی که آنتی اکسیدان‌های غی آنزیمی شامل گلوتاتیون (GSH) و آسکوربات (AsA) احیاء شده می‌باشند. بور می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان را افزایش دهد و در نتیجه آسیب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش دمایی را کاهش دهد. تغذیه بور انتقال قندها در بدنه گیاه را بهبود می‌بخشد، که خود به بهبود جوانه‌زنی بذر و تشکیل دانه کمک می‌نماید. بنابراین به نوبه خود باعث بهبود عملکرد از طریق تعدیل اثر منفی تنش دما می‌شود. کاربرد بور همچنین، باعث بهبود سوخت و ساز کربوهیدارت‌ها و کاهش ترکیبات فنلی در برگ‌ها می‌شود. بنابراین به نوبه خود تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش و سرعت فتوسنتز را افزایش و آسیب سلولی را کاهش می‌دهد.

منگنز

منگنز در فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و تشکیل دیگر ترکیبات مورد نیاز برای سوخت و ساز گیاهان ضروری است. تنش دمایی (بالا و پایین) جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهد و باعث بسیاری از اختلالات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان می‌شود. کلروز بین رگبرگی، لکه‌های نکروزه قهوه‌ای و بلوغ دیر هنگام از ویژگی‌های

کمبود منگنز در گیاهان می‌باشد. ممکن است که منگنز هیچ نقشی مستقیمی در کاهش تنش دمایی نداشته باشد، اما می‌تواند اثرات سوء تنش دمایی را به طور غیرمستقیم با افزایش سرعت فتوسنتز و سوخت و ساز نیتروژن در ساختار گیاه، کاهش دهد. تغذیه منگنز کلروز بین‌رگبرگی، لکه‌های نکروزه قهوه‌ای در برگ‌ها و ریزش زود هنگام برگ‌ها را کاهش می‌دهد. منگنز همچنین، در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم‌های گیاهی، مانند اکسیداسیون -کاهش، د -کربوکسیلاسیون و واکنش‌های هیدرولیتیک، دخیل است، بنابراین ممکن است در سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن نقش داشته باشد.

سلنیوم

سلنیوم به عنوان یک عنصر کمیاب با غلظت نسبتا کم ضروری است و نقش فیزیولوژیک آن به‌عنوان یکی از اجزاء آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) شناخته شده است. این آنزیم سلنوپروتئین نامیده می‌شود. کمبود سلنیوم معمولا با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی مرتبط است که باعث تغییر در یک‌پارچگی غشای سلولی و در نتیجه منجر به اختلال در وظایف سلولی می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده است که سلنیوم در غلظت‌های کم می‌تواند گیاهان را از انواع مختلفی از تنش‌های غیرزنده محافظت کند. تنش دمایی (دمای بالا) می‌تواند سبب پیری زودرس برگ شود که موجب از دست دادن کلروفیل افزایش آسیب غشایی و کاهش ظرفیت فتوسنتز می‌شود. تنش دمای بالا به‌طور مستقیم به دستگاه فتوسنتز صدمه می‌زند و سرعت فتوسنتز را کاهش می‌دهد. سلنیوم می‌تواند از آسیب اکسیداتیو به بافت‌های گیاه جلوگیری نماید، زیرا نقش ساختاری در سنتز آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز دارد. سلنیوم همچنین می‌تواند تحمل گیاهان به دمای پایین، تنش خشکی و سمیت آلومینیوم را افزایش می‌دهد. Djanaguiraman و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که اسپری برگی سلنیوم می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش دهد و آسیب غشایی و مقدار گونه‌های فعال اکسیژن را در سویا کاهش دهد.

یافته‌ها در مورد کاهو و چاودار نشان می‌دهند که اگر چه سلنیوم در غلظت‌های بالا سمی است، ولی در غلظت پایین می‌تواند اثرات مفیدی بر گیاهان داشته باشد. سلنیوم می‌تواند تحمل گیاهان به تنش اکسیداتیو ناشی از اشعه فرابنفش را افزایش دهد و همچنین پیری را به تاخیر بیندازد.

Xue و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند که گیاهان رشد کرده تحت تنش دمای بالا زمانی که با سلنیوم تیمار می‌شوند، پیری مرتبط با تنش اکسیداتیو را کمتر نشان می‌دهند و رنگ سبز برگ را برای یک دوره زمانی طولانی‌تر حفظ می‌کنند.

سیلیسیم

سیلیسیم نقشی کلیدی در تحمل به تنش دمای بالا و همچنین دمای پایین ایفا می‌کند. تنش دمای بالا می‌تواند سبب اختلال جدی در رشد و توسعه گیاه شود که ممکن است به علت اختلال در غشاء، تغییرات متابولیکی و تنش اکسیداتیو باشد. سیلیسیک اسید نقشی کلیدی در تحمل به تنش دمای بالا ایفا میکند. Dat و همکاران (۱۹۹۸) گزارش نمودند که اسپری برگی سیلیسیک اسید در خردل سطح H_2O_2 را افزایش می‌دهد. همچنین ، فعالیت آنزیم کاتالاز را در هنگام تنش دمای بالا (۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت) کاهش و توان گیاهان به پایداری در برابر تنش گرمایی را افزایش می‌دهد. Basirat و Mousavi (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر محلولپاشی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید و سیلیسیلیک اسید بر روی خیار گلخانه‌ای در شرایط اعمال تنش گرمایی (تنش دمای بالا از ۳۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس)، گزارش کردند که محلولپاشی تیمارهای سیلیسیمی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد کل، بازار پسندی و همچنین کاهش غلظت نیترات در میوه خیار می‌شود.

علاوه بر افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش دماهای بالا، کاربرد سیلیسیم باعث مقاومت گیاهان در برابر تنش دمای پایین (تنش سرما) می‌شود. کاربرد سیلیسیک اسید تراوش الکترولیت و فعالیت کاتالاز را همزمان با افزایش فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز (glutathione reductase) و گوایکول پرکسیداز (guaiacol peroxidise) کاهش می‌دهد. تراوش الکترولیت ناشی از تنش دمای پایین در برگ گیاهان می‌تواند به‌طور قابل توجهی در اثر مصرف غلظت‌های پایین سیلیسیک اسید کاهش یابد. گزارش‌های مشابه نشان می‌دهد که کاربرد خارجی سیلیسیم از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی اکسیدان مختلف سبب کاهش اثر مخرب درجه حرارت پایین در برنج و گندم، لوبیا، موز و ذرت می‌شود. بصیرت و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی اثر محلولپاشی نمک‌های پتاسیمی سالیسیلیک و سیلیسیلیک اسید بر روی پاسخ‌های تغذیه‌ای و عملکردی خیار گلخانه‌ای در شرایط تنش دمای پایین (۱۵ تا ۱۷ درجه‌ی سلسیوس)، گزارش کردند که استفاده از سیلیسیم به‌طور معنی‌داری علاوه بر ارتقای وضعیت تغذیه‌ای خیار، باعث بهبود عملکرد کل و بازارپسندی خیار شده است. همچنین، کاهش غلظت نیترات در گیاه در نتیجه محلولپاشی تیمارهای سیلیسیمی مشاهده شد. آن‌ها در نهایت نتیجه‌گیری کردند که استفاده از تکنیک مدیریت تغذیه‌ای با کاربرد سطوح مختلف ترکیبات سیلیسیمی می‌تواند با افزایش آستانه‌ی تحمل گیاه در شرایط تنش دمای بالا و تنش دمای پایین، ضمن صرفه‌جویی در مصرف انرژی در گلخانه، افزایش عملکرد کل، بازارپسندی و همچنین سلامت محصول تولیدی از نظر کاهش غلظت نیترات را به دنبال داشته باشد.

تعاونی پترو تمدن مهام پارس

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/ temperature stress01 /29082023