



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۴
صفحه‌های ۴۴۱-۴۵۵

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

شیوا بذل^۱، روح‌الله کریمی^{۲*}، احمد ارشادی^۳، علیرضا شاهده‌آغلو^۴ و موسی رسولی^۵

۱. کارشناس ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳. دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. کارشناس ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۵. استادیار، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۰۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۱۴

چکیده

به منظور ارزیابی اثر محلول پاشی متیل جاسمونات (غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر درصد نشت یونی، شاخص سرمادگی، محتوای آب نسبی، غلظت کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و محتوای کلروفیل برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' در مرحله چهار تا شش برگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار، در یکی از گلخانه‌های دانشگاه بوعلی سینا، در اواخر تابستان ۱۳۹۲ انجام گرفت. محلول پاشی متیل جاسمونات دو بار در روز روی دانه‌های خیار صورت پذیرفت. دو روز بعد از محلول پاشی، دانه‌ها از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به اتاقک سرماساز منتقل شدند و چهار ساعت تحت تیمارهای سرمایی ۱۵، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. با کاهش دما، درصد نشت یونی برگ در تمام دانه‌ها افزایش یافت. با این حال، در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات، به ویژه با غلظت ۲۰۰ میکرومولار، نشت یونی کمتری مشاهده شد. کاهش دما از ۱۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و پرولین برگ در تمام دانه‌ها شد که این افزایش در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات، به ویژه با غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به مراتب بیش از دانه‌های شاهد بود. همچنین کاربرد برگی متیل جاسمونات محتوای آب نسبی و شاخص سرمادگی برگ را در دانه‌های سرمادیده کاهش داد، ولی محتوای کلروفیل برگ را در مقایسه با دانه‌های شاهد افزایش داد. این تغییرات در راستای افزایش تحمل به سرما در دانه‌ها صورت گرفت. محلول پاشی متیل جاسمونات به ویژه با غلظت ۲۰۰ میکرومولار قادر به افزایش تحمل به سرما در دانه‌های خیار است و می‌تواند به عنوان یک ابزار پیشگیری کننده برای محافظت از سرمادگی در گلخانه‌های خیار به کار رود.

کلیدواژه‌ها: تنش سرما، کربوهیدرات‌های محلول، محتوای کلروفیل، نشت یونی.

۱. مقدمه

یکی از روش‌های افزایش تحمل به سرما و یخ‌زدگی در گیاهان استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از قبیل اسید آبسزیک، اسید جاسمونیک یا اسید سالیسیلیک است که عامل مهمی در القای واکنش‌های حمایتی گیاه در برابر انواع تنش‌ها هستند [۳۵، ۲۰]. اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات در فرایندهای نموی متعددی از قبیل جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، لقاح، رسیدن میوه و پیری دخالت دارند [۳۴، ۶]. به‌علاوه، جاسمونات‌ها به‌عنوان هورمون ضدتنش عمل می‌کنند و تأثیر زیادی در انتقال سیگنال‌های درون‌سلولی دارند [۳۵]. متیل جاسمونات سبب فعال کردن سازوکارهای دفاعی گیاه در واکنش به زخم‌های ناشی از حشرات، عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی مختلفی از قبیل خشکی، سرما و شوری می‌شود [۳۴، ۳۲]. این تنظیم‌کننده رشد در بسیاری از موارد مشابه اسید آبسزیک عمل می‌کند و سبب کاهش خسارت سرمازدگی در گیاهان می‌شود [۳۴، ۳۳]. در آراییدوپسیس، تیمار برگی متیل جاسمونات ضمن تنظیم واکنش گیاهان به تنش سرما، به‌طور معناداری موجب افزایش تحمل به سرما شد [۱۵]. کاربرد متیل جاسمونات در دانه‌های برنج تحت تنش سرما (۵ درجه سانتی‌گراد) تحمل به سرما و درصد زنده‌مانی دانه‌ها سرمدیده را از طریق جلوگیری از تخریب غشا افزایش داد [۲۱].

اگرچه قابلیت استفاده از متیل جاسمونات در جلوگیری از سرمازدگی یا ناهنجاری‌های پس از برداشت دیگر گیاهان از قبیل آووکادو، گریپ فروت و فلفل دلمه‌ای نیز مطالعه شده است [۲۴، ۱۱]، تأثیر دقیق جاسمونات‌ها در واکنش به دمای کم و پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط با آن در مراحل رشد گیاهان کمتر بررسی شده است. ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کوتاه‌مدت کاربرد خارجی متیل جاسمونات بر کاهش خسارت سرمازدگی دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' بود که ضمن آن

سرمازدگی از مهم‌ترین عوامل خسارت‌زا در تولید محصولات گلخانه‌ای است که هرساله زیان‌های اقتصادی چشمگیری را به گلخانه‌داران تحمیل می‌کند. ازاین‌رو، معرفی راهکاری مؤثر برای کاهش خسارت سرمازدگی به‌خصوص در مراحل اولیه رشد دانه‌ها می‌تواند برای افزایش بهره‌وری در گلخانه‌ها مفید باشد.

دماهای کم (۱۰-۱ درجه سانتی‌گراد) ضمن ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی و کاهش رشد، سبب سرمازدگی و مرگ گیاهان حساس به سرما از قبیل خیار^۱ می‌شود [۲۳]. تحت تنش سرما، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه‌ها و نیز کاهش عملکرد سلول‌های نگهبان در بستن روزنه‌ها، به آب‌کشیدگی و پژمردگی گیاهان حساس به سرما منجر می‌شود [۴]. همچنین تنش سرما سبب از بین رفتن انسجام و تراوایی غشاهای سلولی و در نتیجه نشت یون‌ها می‌شود. ازاین‌رو اندازه‌گیری نشت یونی از بافت‌های تحت تنش سرما معیار قابل قبولی برای ارزیابی تحمل گیاه به دماهای کم است [۵]. تحت تنش سرما تجمع کلروفیل در برگ گیاهان در حال رشد فعال کاهش می‌یابد که می‌تواند به‌عنوان یک شاخص حساسیت به سرمازدگی به‌کار رود [۱۷]. گیاهان با انباشت مواد تنظیم‌کننده اسمزی نظیر اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌های محلول، برخی یون‌های معدنی، اسید آبسزیک و پروتئین‌ها تحمل خود را به دمای کم افزایش می‌دهند. از این بین، پرولین ضمن تنظیم اسمزی، موجب پایداری غشاهای سلولی و آنزیم‌ها می‌شود [۲]. کربوهیدرات‌های محلول سبب کاهش تلفات آب و حفظ تورژسانس سلول و پایداری غشا می‌شوند [۱۲]. ازاین‌رو اندازه‌گیری تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مرتبط با سرما می‌تواند برای تحلیل جامع‌تر ظرفیت تحمل بافت‌های گیاهان از جمله دانه‌های خیار به تنش سرما به‌کار رود.

1. *Cucumis sativus* L.

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

متیل جاسمونات (ساخت شرکت سیگما، آلمان) ابتدا در حلال غیرقطبی دی‌متیل سولفوکسید با نام اختصاری DMSO حل شد. سپس دانه‌ها در مرحله چهار تا شش برگی با محلول متیل جاسمونات در چهار غلظت صفر (آب + توئین^۱ ۲۰ با غلظت ۰/۱ درصد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار دوبار در روز (به فاصله ۱۲ ساعت) تا مرحله آب‌چک محلول‌پاشی شدند. دو روز بعد از اتمام محلول‌پاشی، بوته‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول در گلخانه با دمای 1 ± 25 درجه سانتی‌گراد باقی ماندند و پس از ۲۴ ساعت نمونه برداری شدند. در گروه دوم، ابتدا ظرف گلدان‌ها با پشم شیشه عایق‌بندی (برای محافظت ریشه‌ها از تنش سرما) و سپس به اتاقک سرماساز منتقل شد و به تدریج در معرض تیمارهای سرمایی با نور حدود ۲۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه قرار گرفت. دمای اولیه اتاقک سرمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت سرد کردن نمونه‌ها دو درجه سانتی‌گراد در ساعت بود. پس از رسیدن دما به سرمای مورد نظر (۱۵، ۱۰، ۵ درجه سانتی‌گراد) میزان ماندگاری در هر تیمار دمایی پنج ساعت بود. بعد از اعمال هر تیمار سرمایی، از برگ‌های بالغ و کاملاً توسعه‌یافته دانه‌ها نمونه‌برداری و نشت یونی برگ، محتوای آب نسبی، کربوهیدرات‌های محلول و پرولین آنها اندازه‌گیری شد. پس از تجربه آخرین تیمار سرمایی (۵ درجه سانتی‌گراد)، تعداد مشخصی از دانه‌ها به مدت سه روز در شرایط گلخانه با دمای معمول قرار داده شد و سپس محتوای کلروفیل و شاخص سرمازدگی برگ آنها ارزیابی شد.

برای اندازه‌گیری نشت یونی، نمونه‌های برگ (به اندازه یک دایره به شعاع یک سانتی‌متر) در قوطی‌های حاوی ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور و به مدت ۲۰ ساعت روی

تأثیرات متقابل متیل جاسمونات و تنش سرما بر برخی از صفات فیزیولوژیک مرتبط با افزایش تحمل در گیاهان از قبیل نشت یونی، شاخص سرمازدگی، غلظت کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ این دانه‌ها ارزیابی شد.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی متیل جاسمونات (غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بر درصد نشت یونی، شاخص سرمازدگی، محتوای آب نسبی، غلظت کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و محتوای کلروفیل برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' در مرحله چهار تا شش برگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار، در یکی از گلخانه‌های دانشگاه بوعلی سینا، در اواخر تابستان ۱۳۹۲ انجام گرفت. فاکتور اول، شامل محلول‌پاشی متیل جاسمونات در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار؛ و فاکتور دوم، شامل تیمارهای دمایی ۲۵، ۱۵، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد بود. در گام نخست بذور خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت دو تا سه دقیقه ضدعفونی شده و پس از شست‌وشو با آب مقطر تا مرحله خروج ریشه‌چه در پارچه نظیف مرطوب در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس بذور جوانه‌زده در سینی‌های کشت حاوی محیط کشت پرلایت و کوکوپیت (به نسبت حجمی ۱:۱) کاشته شدند. بعد از ظاهر شدن اولین برگ حقیقی، دانه‌ها در گلدان‌های پلاستیکی ۶ لیتری حاوی مخلوط (کود دامی + ماسه + پرلایت + خاک رس به نسبت مساوی) کاشته و در گلخانه با شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب و نور طبیعی در شهریور ماه قرار داده شدند. گلدان‌ها دو بار در هفته آبیاری شدند.

1. Tween

شیوا بذل و همکاران

دادن جزئی، به مدت ۴۵ دقیقه درون حمام بخار (دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. پس از خنک کردن نمونه‌ها در آب یخ، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر نمونه اضافه و کاملاً تکان داده شد تا پرولین وارد فاز تولوئن شود. بعد از نیم ساعت میزان جذب فاز تولوئن هر نمونه با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت استرالیا)، در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد [۲۸]. غلظت پرولین نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد پرولین خالص تعیین و بر حسب میکرومول در گرم وزن تر برگ بیان شد.

استخراج کربوهیدرات‌های محلول با پرولین مشابه بود. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی به دست آمده با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط شد. برای شروع واکنش رنگ‌گیری، لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از سرد شدن، میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد [۳۷]. غلظت کربوهیدرات‌های محلول بر اساس منحنی استاندارد گلوکز تعیین و به صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد.

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآمد. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام گرفت. پس از سانتریفیوژ کردن عصاره حاصل (۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، محلول رویی برداشته شد و جذب نور آن در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد قرائت شد. غلظت هر یک از رنگیزه‌ها در عصاره بر حسب میلی‌گرم در لیتر با استفاده از روابط زیر محاسبه شد [۳]:

دستگاه شیکر (سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه) تکان داده شد. پس از این مدت، هدایت الکتریکی محلول حاوی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (مدل کوند۷۲۰، ساخت آلمان) قرائت شد (هدایت الکتریکی اولیه). قوطی‌های حاوی قطعات برگ به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد) تیمار و پس از سرد شدن تدریجی، هدایت الکتریکی آنها مجدداً قرائت (هدایت الکتریکی ثانویه) و در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [۵]:

$$(1) \quad 100 \times (\text{هدایت الکتریکی ثانویه} /$$

هدایت الکتریکی اولیه) = درصد نشت یونی

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ ابتدا قطعات برگ به شعاع ۱ سانتی‌متر تهیه و وزن تر آنها تعیین شد. پس از قرارگیری قطعات برگ درون آب مقطر (۲۴ ساعت در یخچال) وزن آماس برگ‌ها تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، قطعات برگ به مدت ۲۴ ساعت در آون (دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد) خشک شده و سپس توزین شد. محتوای آب نسبی بر حسب درصد از رابطه زیر به دست آمد [۱۸]:

$$(2) \quad 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) /$$

(وزن خشک - وزن تر) = محتوای آب نسبی (درصد)

برای استخراج پرولین، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت منجمد شده برگ با استفاده از ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی ساییده و قسمت بالایی محلول جدا شد. عمل استخراج یک بار دیگر با افزودن ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به رسوبات قبلی تکرار شد. برای اندازه‌گیری پرولین هر نمونه، ۱ میلی‌لیتر عصاره با ۹ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد. به محلول فوق ۵ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین (شامل: ۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین + ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار + ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال) به همراه ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد و پس از تکان

به‌زرای کشاورزی

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

کل گیاهان در تیمار/ (در سطح سرمازدگی
نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS
(نسخه ۹/۲) تجزیه شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از
آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

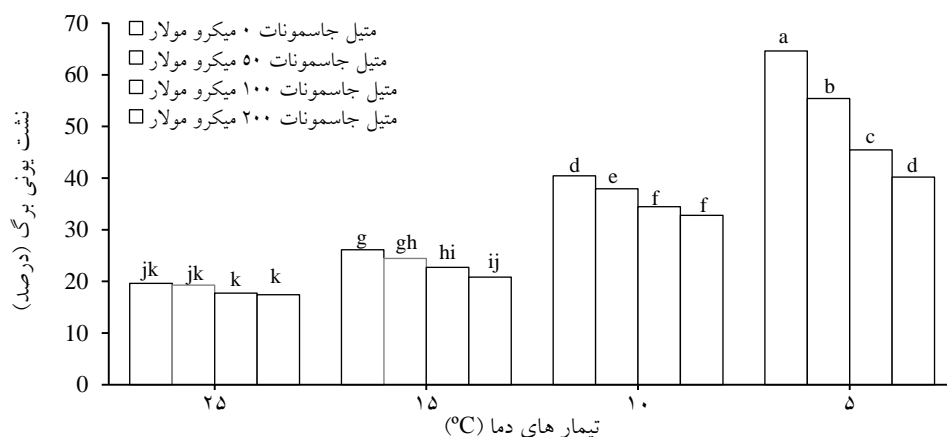
اثر متیل جاسمونات، تنش سرما و اثر متقابل آنها بر درصد
نشت یونی نمونه‌های برگ در سطح احتمال ۱ درصد
معنادار شد. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بین درصد
نشت یونی دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف
متیل جاسمونات و شاهد اختلاف معناداری مشاهده نشد
(شکل ۱).

صرف نظر از تیمار متیل جاسمونات، انتقال دانه‌ها از
دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دماهای ۱۵، ۱۰ و ۵ درجه
سانتی‌گراد نشت یونی را افزایش داد، به طوری که با کاهش
دما تا ۵ درجه سانتی‌گراد این شاخص به حداکثر رسید.
تحت دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، نشت یونی
اندازه‌گیری شده در برگ دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های
۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در مقایسه با
شاهد به طور معناداری کاهش یافت (شکل ۱).

$Chl_a \text{ (mg/L)} = (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})$; Chl_b
 $\text{(mg/L)} = (25.8 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})$; Chl_{total}
 $\text{(mg/L)} = (20.21 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})$
در این رابطه‌ها، A_{645} و A_{663} به ترتیب، میزان
قرائت شده جذب نور در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و
۴۷۰ نانومتر هستند [۲۲]. در نهایت غلظت کلروفیل کل در
عصاره بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بیان شد.
به منظور ظهور علائم خسارت سرما، دانه‌ها بعد از
اعمال آخرین تیمار سرمایی به مدت سه روز در دمای اتاق
(2 ± 22 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. پس از این
مدت تمام دانه‌ها به صورت چشمی و بر اساس سطوح
زیر امتیازدهی شدند: ۱. سالم: بدون هیچ‌گونه علائم
خسارت؛ ۲. خسارت کم: کمتر از ۵ درصد نکروزگی سطح
برگ؛ ۳. خسارت متوسط: ۵ تا ۲۵ درصد نکروزگی سطح
برگ؛ ۴. خسارت شدید: ۲۵-۵۰ درصد نکروزگی سطح
برگ، اما گیاه هنوز زنده است؛ ۵. مرگ گیاه: کل گیاه
نکروزه و خشک می‌شود. با اختصاص شماره‌های ۱ تا ۵ به
دانه‌های تیمار شده، میانگین سرمازدگی برای هر تیمار
بر اساس فرمول زیر محاسبه شد [۱۹]:

(۴)

تعداد گیاهان (× سطح سرمازدگی) = شاخص سرمازدگی



شکل ۱. اثر متیل جاسمونات بر نشت یونی برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' تحت تیمارهای دمایی مختلف.
ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۴

۴۴۵

شیوا بذل و همکاران

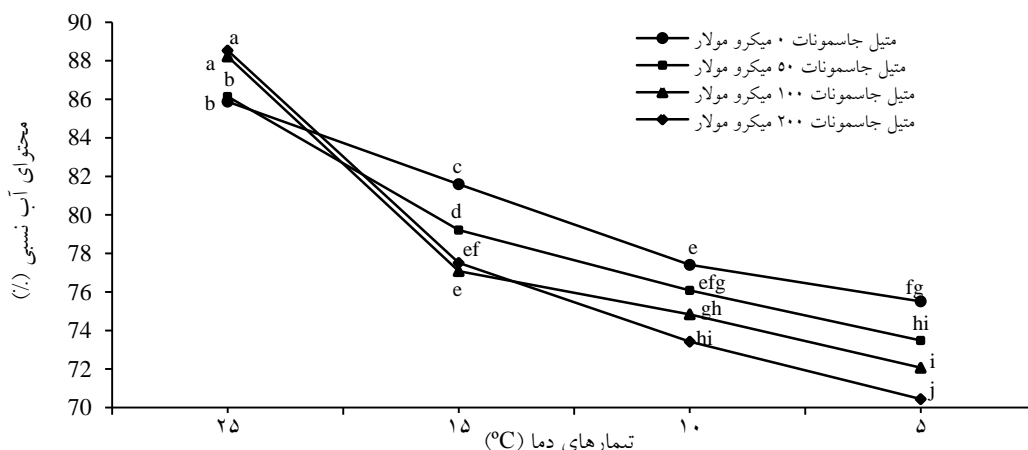
این نتایج با افزایش نشت یونی مشاهده شده تحت تنش سرما در موز [۲۱]، برنج [۳۶] و انگور [۱] همخوانی دارد. تنش سرما با کاهش سیال بودن فسفولیپیدهای غشاهای زیستی یا غیرفعال کردن آنها یا دست کم کاهش سرعت پمپ‌های یونی متصل به غشا، ضمن کاهش یا اختلال در عملکرد غشا، نشت یونی را افزایش می‌دهد [۲]. یکی از دلایلی که موجب صدمات غشایی می‌شود، تنش اکسایشی است که در نتیجه افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد می‌شود. تداوم این وضعیت، موجب تخریب بیشتر غشای سلول و خروج آب از درون سلول به فضای بین سلولی می‌شود که نتیجه آن، بروز پدیده آبگز شدن و افزایش نشت یونی است [۱۳]. در تحقیق حاضر، کاربرد برگی متیل جاسمونات به‌طور معناداری نشت یونی را به‌عنوان یک شاخص آسیب‌دیدگی غشا، در دانه‌های سرمادیده کاهش داد. همزمان با افزایش غلظت متیل جاسمونات در دانه‌های سرمادیده، نشت یونی کاهش یافت؛ به‌طوری که کمترین نشت یونی در تیمار ۲۰۰ میکرومولار محقق شد که حاکی از توانایی این تنظیم‌کننده رشد در افزایش انسجام و پایداری غشا و در نتیجه کاهش نشت الکترولیت‌ها از این ساختارهای زیستی است. کاربرد متیل جاسمونات در دانه‌های برنج [۲۱] و [۳۶] و بوته‌های موز [۸]، ضمن کاهش نشت یونی سبب افزایش تحمل به سرما در این گیاهان شده است. اثر متیل جاسمونات، تنش سرما و اثر متقابل آنها بر محتوای آب نسبی برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بین محتوای آب نسبی اندازه‌گیری شده در برگ دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات و شاهد اختلاف معناداری مشاهده شد (شکل ۲).

با این حال، بین نشت یونی اندازه‌گیری شده در دانه‌های تیمار شده با دو غلظت اخیر متیل جاسمونات اختلاف معناداری وجود نداشت. با کاهش دما از ۱۵ به ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد، متیل جاسمونات به‌طور معناداری میزان نشت یونی برگ را در دانه‌های تیمار شده در مقایسه با دانه‌های شاهد (غلظت صفر متیل جاسمونات) کاهش داد. در این شرایط، آثار حمایتی متیل جاسمونات در کاهش خسارت غشا به‌ویژه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار محسوس تر شد. در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نشت یونی در همه دانه‌ها با شیب تندی افزایش یافت. در این تیمار سرمایی، بین نشت یونی دانه‌های شاهد و دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. کمترین نشت یونی (۳۲/۷ درصد) در این تیمار سرمایی مربوط به دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات بود که البته اختلاف معناداری با تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات نداشت (شکل ۱). با کاهش دما تا دمای ۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت بین نشت یونی دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات نسبت به تیمار شاهد فاحش تر شد. در دانه‌هایی که با متیل جاسمونات تیمار شده بودند، نشت یونی برگ وابسته به غلظت بود و از این نظر، اختلاف معناداری بین تیمارهای متیل جاسمونات در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. در این تیمار سرمایی، کمترین نشت یونی (۴۰/۲ درصد) مربوط به دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات بود که در مقایسه با شاهد (۶۴/۷ درصد) نشت یونی کمتری نشان داد (شکل ۱).

در مطالعه حاضر، تنش سرما، سبب افزایش نشت یونی برگ دانه‌ها به‌خصوص گیاهان شاهد شد که بیانگر آسیب سیستم غشایی دانه‌های خیار در این شرایط است.

به‌زرعی کشاورزی

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'



شکل ۲. اثر متیل جاسمونات بر محتوای آب نسبی برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' تحت تیمارهای دمایی مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

آب نسبی به‌طور معناداری نسبت به دمای ۱۰ درجه کاهش یافت و بین محتوای آب نسبی برگ دانه‌های شاهد و دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات در این دما اختلاف معناداری وجود داشت (شکل ۲). با این حال، بین محتوای آب نسبی دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در این تیمار سرمایی اختلاف معناداری مشاهده نشد. کمترین محتوای آب نسبی (۷۰/۴ درصد) در این تیمار سرمایی مربوط به دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار بود که اختلاف معناداری با دانه‌های تیمار شده با سایر غلظت‌های متیل جاسمونات و دانه‌های شاهد داشت (شکل ۲).

در تمام تیمارهای دمایی، بین محتوای آب نسبی دانه‌های تیمار شده با هر چهار غلظت متیل جاسمونات اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت که تأییدی بر تأثیر سرمای تدریجی در آب‌کشیدگی سلول‌ها در راستای فرایند سازگاری به سرماست که در این میان تیمار متیل جاسمونات با تسریع این روند، سبب افزایش تحمل به سرما در دانه‌ها شده است. در مطالعه حاضر، کاربرد خارجی متیل جاسمونات به‌ویژه در

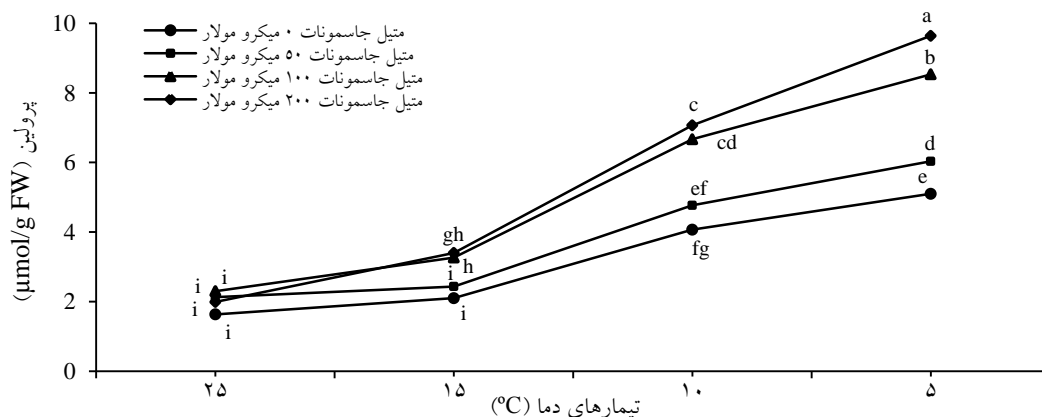
کاربرد برگی متیل جاسمونات در دانه‌های واقع شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، محتوای آب نسبی را به‌واسطه بستن روزنه‌ها در مقایسه با شاهد افزایش داد. این افزایش وابسته به غلظت بود و در دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار، بیشترین حد را داشت که البته با غلظت ۱۰۰ میکرومولار از لحاظ آماری تفاوت معناداری نداشت. صرف‌نظر از تیمار متیل جاسمونات، انتقال دانه‌ها از دمای ۲۵ به دماهای ۱۵، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد محتوای آب نسبی برگ را به میزان چشمگیری کاهش داد، به‌طوری که با کاهش دما تا ۵ درجه سانتی‌گراد، آب‌کشیدگی تدریجی بین تمام دانه‌ها اتفاق افتاد. با این حال، این الگوی کاهشی در دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات بیشتر از شاهد بود (شکل ۲). در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بین محتوای آب نسبی برگ دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های متیل جاسمونات و شاهد اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. با این حال، دانه‌های تیمار شده با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، از این نظر تفاوتی نداشتند. در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد محتوای

شیوا بذل و همکاران

غلظت‌های زیاد، سبب افزایش محتوای آب در دانهال‌های باقی‌مانده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد شد. این افزایش می‌تواند با نقش متیل‌جاسمونات در بستن روزنه‌ها مرتبط باشد [۱۶]. بسته شدن روزنه‌ها ضمن کاهش تبادل بخار آب، سبب حفظ آب درون بافت‌های گیاه می‌شود. با این حال تحت تنش سرما، محتوای آب نسبی در دانهال‌های تیمارشده با متیل‌جاسمونات در مقایسه با دانهال‌های شاهد کاهش پیدا کرد که حاکی از توانایی این تنظیم‌کننده رشد در کاهش آب آزاد سلولی و افزایش آب پیوندشده به درشت مولکول‌هاست که در نهایت تحمل سرما را افزایش می‌دهد. این نتیجه حاکی از نقش دوگانه متیل‌جاسمونات در زمینه تنظیم محتوای آب بافت‌هاست که به نظر می‌رسد بسته به دمای محیط قادر به تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها باشد که ممکن است این کار را با مشارکت اسید آبسزیک انجام دهد [۱۴]. در تاک‌های تیمارشده با اسید آبسزیک و تنش سرما، الگوی تغییرات محتوای آب نسبی برگ مشابه الگوی تغییرات این شاخص در مطالعه حاضر بود [۱]. این یافته حاکی از تعامل متیل‌جاسمونات با اسید آبسزیک در تنظیم محتوای آب سلول‌ها در راستای سازگاری بهتر به سرما در گیاهان است که ممکن است این کار را با تجمع بیشتر اسمولیت‌های سازگاری از قبیل کربوهیدرات‌های محلول و پرولین و کاهش محتوای آب آزاد سلولی در

گیاهان تیمارشده با این تنظیم‌کننده‌های رشد انجام دهند. اثر متیل‌جاسمونات، تنش سرما و اثر متقابل متیل‌جاسمونات و تنش سرما بر مقدار پرولین برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. تغییرات غلظت پرولین در مورد تیمارهای دمایی و غلظت‌های مختلف متیل‌جاسمونات برخلاف الگوی تغییرات محتوای آب نسبی برگ در دانهال‌های تحت مطالعه بود. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بین غلظت پرولین برگ در دانهال‌های تیمار با غلظت‌های مختلف متیل‌جاسمونات از لحاظ آماری اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل ۳).

دمای کم اثر چشمگیری بر تجمع پرولین برگ در تمام دانهال‌ها داشت و از این نظر بین هر سه تیمار سرمایی اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد غلظت پرولین به مقدار کمی نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، به طوری که بین غلظت پرولین دانهال‌های تیمارشده با غلظت‌های صفر و ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات در این دو تیمار دمایی اختلاف معناداری مشاهده نشد. با این حال بین غلظت پرولین دانهال‌های شاهد (غلظت صفر) و دانهال‌های تیمارشده با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات تحت تیمار سرمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معناداری وجود داشت (شکل ۳).



شکل ۳. اثر متیل‌جاسمونات بر غلظت پرولین برگ دانهال‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' تحت تیمارهای دمایی مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

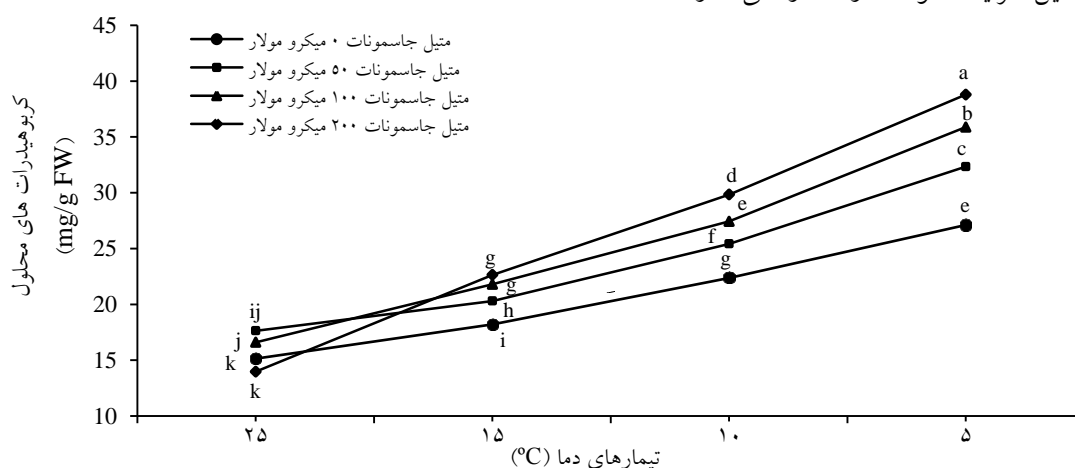
به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۴

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرما در تمام دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

شرایط آب‌کشیدگی ناشی از تنش خشکی، شوری و سرما، انسجام ساختار پروتئین‌های سیتوپلاسمی را حفظ کنند [۳۱]. همچنین شواهدی در زمینه تأثیر خنثی‌کنندگی رادیکال‌های آزاد، پتانسیل اکسایش کاهش و تنظیم اسمزی پرولین موجود است [۲۶]. در مطالعه حاضر، کاربرد متیل جاسمونات به‌خصوص در غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، سبب افزایش چشمگیر مقدار پرولین دانه‌های سرما‌دیده شد. تحت تنش‌های مختلف از جمله شوری و سرما، کاربرد خارجی متیل جاسمونات سبب القای آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و افزایش تولید این اسمولیت شد [۱۰، ۳۶]. تیمار دانه‌های برنج با غلظت ۱۰۰ میکرومولار [۳۶] و بوته‌های موز با غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات [۸] موجب افزایش محتوای پرولین و تحمل به سرما در این گیاهان شد. در کل تنش سرما غلظت پرولین را در برگ‌های همه دانه‌ها افزایش داد که این افزایش در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات به مراتب بیشتر بود که حاکی از دخالت متیل جاسمونات در تنظیم مسیرهای سیگنالی مرتبط با افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش در خیار است.

غلظت پرولین برگ در تمام دانه‌ها تحت تیمارهای سرمایی ۱۰ و به‌ویژه ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش چشمگیری نشان داد و از این نظر بین غلظت پرولین برگ دانه‌های شاهد و تیمار شده با متیل جاسمونات اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (شکل ۳). بیشترین غلظت پرولین (۹/۶۴ μmol/g FW) اندازه‌گیری شده در این مطالعه در دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات تحت تیمار سرمایی ۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. این روند در مورد تیمارهای سرمایی ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد نیز برقرار بود (شکل ۳). همزمان با کاهش دما تا ۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت پرولین در دانه‌ها، افزایش چشمگیری نشان داد. پرولین یک مولکول آلی است که در بسیاری از موجودات زنده در واکنش به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابد و در راستای سازگاری به سرما گیاهان نقش‌های متعددی ایفا می‌کند [۲]. ارتباط بین تجمع پرولین و تحمل به سرما در گندم [۱۷]، چمن ژاپنی [۲۹] و انگور [۱] نیز مشاهده شده است. پرولین یک مولکول آمفی‌فیلیک (دوگانه‌دوست) است که سبب افزایش سطوح آب‌دوست در سلول می‌شود. این شرایط سلول‌ها را قادر می‌سازد تا تحت



شکل ۴. اثر متیل جاسمونات بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' تحت تیمارهای دمایی مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

غیرساختاری از قبیل قندهای محلول، عامل مهمی در افزایش تحمل به سرمای گیاهان به‌شمار می‌روند. کربوهیدرات‌های محلول به‌عنوان ترکیبات محافظ ساختار سلول‌ها در برابر یخ‌زدگی عمل کرده و با کاهش نقطه انجماد، از تشکیل یخ درون‌سلولی جلوگیری می‌کنند. به‌طور ویژه این قندها از طریق برهم‌کنش با سر قطبی فسفولیپیدها سبب پایداری غشاها می‌شوند [۳۱]. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در پاسخ به تنش سرما در گونه‌های گیاهی مختلفی از قبیل طالبی [۲۵]، چمن ژاپنی [۲۹] و انگور [۱] مشاهده شده است.

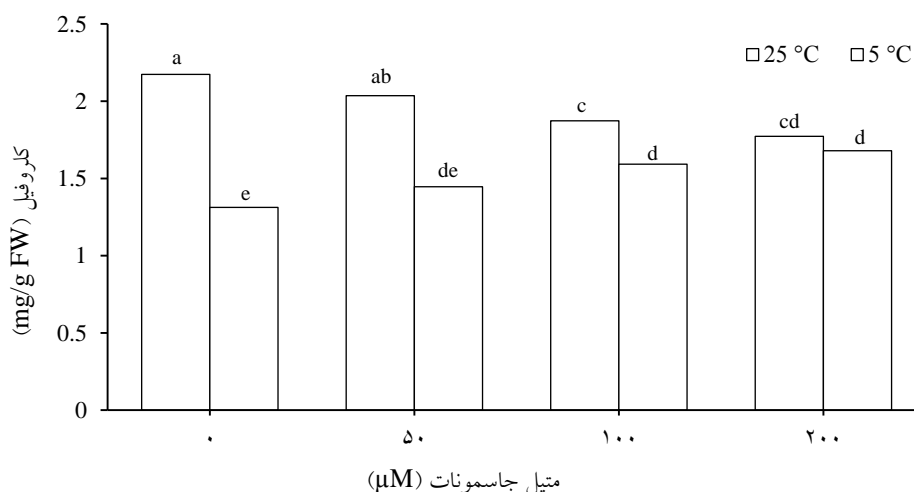
در مطالعه حاضر، کاربرد متیل جاسمونات سبب افزایش چشمگیر غلظت کربوهیدرات‌های محلول به‌خصوص در گیاهان تحت تنش شد. در این شرایط، بیشترین غلظت کربوهیدرات‌های محلول در تیمار ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات مشاهده شد که حاکی از تأثیر این تنظیم‌کننده رشد در مورد تجمع قندهای محلول و افزایش سازگاری به سرما در دانه‌های خیار است. متیل جاسمونات تأثیر مهمی در پاسخ‌های مختلف گیاهان به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، سرما و شوری دارد [۳۰]. تیمار دانه‌های برنج با غلظت ۱۰۰ میکرومولار [۳۶] و بوته‌های موز با غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات [۸] ضمن افزایش محتوای قندهای محلول، تحمل به سرما را در این گیاهان افزایش داد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در نتیجه هیدرولیز نشاسته یکی از شاخص‌ترین تغییرات متابولیکی است که طی مواجهه گیاهان با دمای کم به‌وقوع می‌پیوندد [۲]. تجمع کربوهیدرات‌های محلول علاوه‌بر تنظیم اسمزی و حالت آماس سلول‌ها ممکن است در تأمین انرژی لازم برای تداوم فعالیت‌های متابولیکی و از سرگیری مجدد فتوسنتز بعد از رفع شرایط تنش دخالت داشته باشد.

اثر متیل جاسمونات، تنش سرما و اثر متقابل آنها بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ دانه‌های خیار در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. در تمام تیمارهای دمایی بین غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در همه دانه‌ها اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ (۱۷/۷ mg/g FW) مربوط به دانه‌های تیمار شده با غلظت ۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات بود که البته با شاهد اختلاف معناداری نداشت (شکل ۴).

کمترین غلظت کربوهیدرات اندازه‌گیری شده در این تیمار دمایی (۲۵ درجه سانتی‌گراد) در دانه‌های تیمار شده با بیشترین غلظت متیل جاسمونات مشاهده شد که البته با غلظت ۵۰ میکرومولار اختلاف معناداری نداشت (شکل ۴). در راستای فرایند سازگاری به سرما با کاهش تدریجی دما از ۲۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت کربوهیدرات‌های محلول در تمام دانه‌ها به تدریج افزایش یافت. در سه تیمار دمایی ۱۵، ۱۰ و ۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین غلظت کربوهیدرات‌های محلول اندازه‌گیری شده مربوط به دانه‌هایی بود که با تیمار ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات تیمار شده بودند. در آخرین تیمار سرمای تفاوت بین غلظت کربوهیدرات‌های محلول دانه‌ها نسبت به تیمارهای دمایی ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد آشکارتر بود. بیشترین غلظت کربوهیدرات‌های محلول (mg/g) (۳۸/۸FW) در این تیمار دمایی مربوط به غلظت ۲۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات بود که نسبت به دانه‌های شاهد ۱۱/۷ میلی‌گرم کربوهیدرات‌های محلول بیشتری داشت (شکل ۴).

دمای کم سبب افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در دانه‌های سرمادیده شد. کربوهیدرات‌های

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'



شکل ۵. اثر متیل جاسمونات بر غلظت کلروفیل برگ دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' تحت تیمارهای دمایی مختلف. ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

دمای کم، پایداری کلروفیل بیش از گیاهان شاهد (غلظت صفر) بود، به طوری که محتوای کلروفیل برگ دانه‌های تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار این تنظیم‌کننده رشد، حدود ۳۴ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود (شکل ۵). مقدار کارتنوئیدها نیز در تمام دانه‌ها اندازه‌گیری شد و به دلیل داشتن الگوی تغییراتی مشابه با کلروفیل، داده‌های مربوط به آن نشان داده نشد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای درونی، در برخی موارد قادر به ایجاد محدودیت در سرعت فتوسنتز هستند [۳]. محتوای کلروفیل به‌طور معناداری در دانه‌های سرمادیده بدون تیمار متیل جاسمونات کاهش یافت. تنش دمای کم از تجمع کلروفیل در برگ‌های در حال رشد جلوگیری می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک شاخص نشان‌دهنده حساسیت به سرما به کار رود. در گندم زمستانه بین محتوای کلروفیل برگ و تحمل به سرمای همبستگی مثبتی مشاهده شد [۱۷]. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش سرما ممکن است با صدمات اکسایشی وارد به غشاهای کلروپلاست در اثر سرما یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز مرتبط باشد

اثر متیل جاسمونات، دما و اثر متقابل متیل جاسمونات و دما بر محتوای کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد. محتوای کلروفیل برگ دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات تحت دمای مطلوب (۲۵ درجه سانتی‌گراد) کاهش پیدا کرد، به طوری که در گیاهان تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میکرومولار، مقدار این شاخص فیزیولوژیکی به $1/77FW$ mg/g تقلیل یافت (شکل ۵).

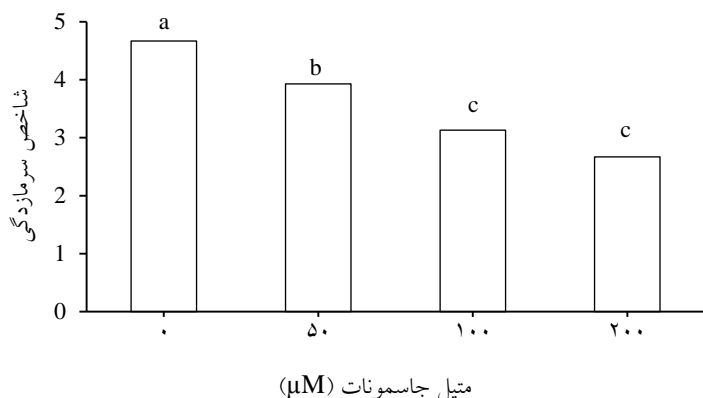
کاربرد متیل جاسمونات در دانه‌های آفتابگردان موجب تجزیه کلروفیل و کاهش محتوای آن تحت دمای معمولی شد [۹]. طی محلول‌پاشی دانه‌های جو با متیل جاسمونات، سرعت تجزیه کلروفیل a نسبت به کلروفیل b افزایش یافت [۷]. توانایی متیل جاسمونات در کاهش محتوای کلروفیل با دخالت این تنظیم‌کننده رشد در فرایند پیری و تجزیه کلروفیل در ارتباط است [۳۴، ۶].

دمای کم و متیل جاسمونات اثر معناداری بر محتوای کلروفیل برگ داشت. مقدار کلروفیل در دانه‌های سرمادیده بدون تیمار متیل جاسمونات در مقایسه با گیاهان باقی‌مانده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش بیشتری نشان داد. در دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات تحت

شیوا بذل و همکاران

شاخص سرمزدگی اندازه‌گیری شده برای تیمار ۵۰ میکرومولار و شاهد برابر ۳/۹۵ و ۴/۷۰ بود که اختلاف معناداری داشتند (شکل ۶).

براساس نتایج تحقیق حاضر، گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات نسبت به شاهد علائم خسارت ظاهری از قبیل نکروزه شدن حاشیه یا کل برگ، پژمردگی، چروکیدگی و آویزان شدن برگ‌ها را به میزان کمتری بروز دادند. این نتایج حاکی از نقش حفاظتی متیل جاسمونات در پاسخ به تنش دمای کم در دانهال‌های تیمار شده است که با تجمع بیشتر تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین و کربوهیدرات‌های محلول سبب کاهش تلفات آب و حفظ تورژسانس سلول و پایداری غشا شده است [۱۲]. در آناناس تیمار متیل جاسمونات سبب کاهش نشت یونی و خسارت ظاهری شد [۲۷] که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. سازوکار متیل جاسمونات در کاهش خسارت سرمزدگی هنوز به‌طور دقیق مشخص نشده است؛ با این حال تحمل به سرمای القاشده با متیل جاسمونات در برخی مطالعات [۳۳] با افزایش سطح اسید آسبیزیک و پلی‌آمین‌ها همراه بوده است که حاکی از دخالت این ترکیبات در راه‌اندازی سازوکارهای دفاعی موسوم به متیل جاسمونات در بافت‌های گیاهی تحت تنش سرماست.



شکل ۶. اثر متیل جاسمونات بر شاخص سرمزدگی دانهال‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' سه روز بعد از آخرین تیمار سرمایی (۵°C). ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد ندارند. شاخص‌های سرمزدگی عبارتند از: ۱ (بدون خسارت)؛ ۲ (خسارت کمتر ۵ درصد)؛ ۳ (خسارت ۵ تا ۲۵ درصد)؛ ۴ (خسارت ۲۵ تا ۵۰ درصد)؛ و ۵ (مرگ گیاه).

به‌زراعی کشاورزی

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

2. Beck EH, Heim R and Hansen J (2004) Plant resistance to cold stress: mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. *Biosciences*. 29: 449-459.
3. Bertamini M, Zulini K, Muthuchelian K and Nedunchezhian N (2007) Low-night temperature effects on photosynthetic performance on two grapevine genotypes. *Plant Biology*. 51: 381-385.
4. Bloom AJ, Zwieniecki MA, Passioura JB, Randall LB, Holbrook NM and Clair DA (2004) Water relations under root chilling in asensitive and tolerant tomato species. *Plant, Cell and Environment*. 27: 971-979.
5. Campos PS, Quartin V, Ramalho JC and Nunes MA (2003) Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of Coffeasp. *Plants. Plant Physiology*. 160: 283-292.
6. Creelman R and Mullet GE (1997) Biosynthesis and action of Jasmonate in plant. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 48: 355-381.
7. Cuello J (1997) Differential effects of linolenic acid and methyl jasmonate on the degradation of chlorophylls and carotenoids of senescing barley leaves. *Acta Botanica Neerlandica*. 46(3): 303-314.
8. Dou F, Wei Yan X, Zheng Shu H, Fu Yuan D and Xi Ang T (2009) Effects of methyljasmonate (MeJA) on cold tolerance of banana seedlings. *Fruit Science*. 26: 390-393.
9. Emery RJN and Reid DM (1996) Methyljasmonate effects on ethylene synthesis and organ-specific senescence in *Helianthus annuus* seedlings. *Plant Growth Regulation*. 18: 213-222.

همچنین تیمار دانه‌های آراییدوپسیس با متیل جاسمونات موجب افزایش ژن‌های مرتبط با مقاومت به سرما در این گیاهان شد که تأییدی بر تأثیر این تنظیم‌کننده رشد در مسیرهای سیگنالی مرتبط با افزایش تحمل به سرما در گیاهان است [۱۵].

۴. نتیجه‌گیری

در پایان تنش سرما سبب افزایش نشت یونی و توسعه خسارت ظاهری سرما در دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین' در مراحل اولیه رشد شد. متیل جاسمونات به‌ویژه غلظت ۲۰۰ میکرومولار آن تأثیر زیادی در کاهش خسارت سرما در دانه‌های خیار داشت، به طوری که تیمار برگی دانه‌ها با این تنظیم‌کننده رشد قبل از اعمال تنش سرما، تحمل به سرما را در این گیاهان افزایش داد. در این راستا، تجمع بیشتر اسمولیت‌های سازگاری از قبیل کربوهیدرات‌های محلول و پرولین و کاهش محتوای آب نسبی در دانه‌های تیمار شده با متیل جاسمونات، به افزایش پایداری غشا در برابر تنش سرما انجامید. این تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القاشده توسط متیل جاسمونات در نهایت سبب نشت کمتر یون‌ها و نیز پایداری بیشتر کلروفیل در دانه‌ها شد و تحمل دمای کم در این گیاهان را افزایش داد که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پیشگیری‌کننده برای محافظت از سرمازدگی در گلخانه‌ها استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان بسیج علمی، پژوهشی و فناوری استان همدان قدردانی می‌شود.

منابع

۱. کریمی ر (۱۳۹۳) ارزیابی اثر تغذیه و اسید آسبیزیک روی تحمل به سرمای انگور. دانشگاه بوعلی سینا. همدان. رساله دکتری.

به‌زرعی کشاورزی

10. Fedina IS and Benderliev KM (2000) Response of *Secedemus incassatulus* to salt stress as affected by methyl jasmonate. *Biologia Plantarum*. 43(4): 625-627.
11. Fung RWM, Wang CY, Smith DL, Gross KC and Tian M (2004) MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweetpeppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science*. 166: 711-719.
12. Guy CL (2003) Freezing tolerance of plants: current understanding and selected emerging concepts. *Canadian Journal of Botany*. 81: 1216-1223.
13. Hana B and Bischoff JC (2004) Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. *Cryobiology*. 48: 8-21.
14. Hossain MA, Munemasa S, Uraji M, Nakamura Y, Mori IC and Murata Y (2011) Involvement of endogenous abscisic acid in methyl jasmonate-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 156: 430-438.
15. Hu Y, Jiang L, Wang F and Yu D (2013) Jasmonate regulates the inducer of CBF expression-C-repeat binding factor/DRE binding factor1 cascade and freezing tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. (25): 2907-2924.
16. Islam MM, Hossain MA, Jannat R, Nakamura Y, Mori IC and Murata Y (2010) Cytosolic alkalization and cytosolic calcium oscillation in *Arabidopsis* guard cells response to ABA and MeJA. *Plant Cell Physiology*. 51: 1721-1730.
17. Janmohammadi M, Tavakol-Afshari R, Mahfoozi S, Alizadeh H, Kamel M and Khiavi M (2010) Relationship among phenological development, physiological indices and freezing tolerance in winter wheat and rye under field conditions in moderate and cold regions. *Crop Production*. 3: 115-137.
18. Kirnak H, Kaya C, Tas I and Higgs D (2001) The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. *Plant Physiology*: 27: 34-46.
19. Korkmaz A, Korkmaz Y and Demirkiran AR (2010) Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*. 67: 495-501.
20. Kosova K, Prasila IT, Vítámvása P, Dobrev P, Motyka VK and Vankova R (2012) Complex phytohormone responses during the cold acclimation of two wheat cultivars differing in cold tolerance, winter Samanta and spring Sandra. *Plant Physiology*. 169: 567-576.
21. Lee TM, Lur HS, Lin YH and Chu C (1996) Physiological and biochemical changes related to methyl jasmonate-induced chilling tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant, Cell and Environment*. 19: 65-74.
22. Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*. 148: 350-382.
23. Lukatkin AS, Brazaitytė A, Bobinas C and Duchovskis P (2012) Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. *Agriculture*. 99: 111-124.
24. Meyer A, Miresch O, Bottner C, Dathe W and Sembdner G (1984) Occurrence of the plant growth regulator jasmonic acid in plants. *Plant Growth Regulation*. 3: 1-8.
25. Mitchell DE and Madore MA (1992) Patterns of assimilate production and translocation in muskmelon (*Cucumis melo* L.). II Low temperature effects. *Plant Physiology*. 99: 966-971.
26. Molinari HB, Marur CJ, Besspalhok JC, Kobayashi AK, Pileggi M and Leite RP (2004) Osmotic adjustment in transgenic citrus

اثر کاربرد برگی متیل جاسمونات بر تحمل به سرمای دانه‌های خیار گلخانه‌ای رقم 'نگین'

- rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb x *Poncirus trifoliata* L. Raf) overproducing proline. *Plant Science*. 167: 1375-81.
27. Nilprapruck P, Pradisthakarn N, Authanitheer F and Keebjan P (2008) Effect of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and quality of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Pattavia. *Silpakorn Science and Technology*. 2: 33-42.
28. Paquin R and Lechasseur P (1979) Observations sur la methode de dosage de la proline libere dans les extraits de plantes. *Canadian Journal Botany*. 57: 1851-1854.
29. Patton AJ, Cunningham SM, Volenec JJ and Reicher ZJ (2007) Differences in freeze tolerance of Zoysiagrasses: II. Carbohydrate and proline accumulation. *Crop Science*. 47: 5.
30. Pauwels L, Inze D and Goossens A (2009) Jasmonate-inducible gene: what does it mean? *Trends Plant Science*. 14: 87-91.
31. Santarius KA (1992) Freezing of isolated thylakoid membranes in complex media. VIII. Differential cryoprotection by sucrose, proline and glycerol. *Plant Physiology*. 84: 87-93.
32. Seo S, Sano H and Ohashi D (1997) Jasmonic acid in wound signal transduction pathway. *Physiologia Plantarum*. 101: 740-745.
33. Wang CY and Buta JG (1994) Methyl jasmonate reduces chilling injury in *Cucurbita pepo* through its regulation of abscisic acid and polyamine levels. *Environmental and Experimental Botany*. 34: 427-432.
34. Wasternack C and Hause B (2002) Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*. 72: 165-221.
35. Wasternack C (2007) Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of Botany*. 100: 681-697.
36. XiaoHua D, ZeYuan D and JinHua B (2009) Effects of methyl jasmonate on cold resistance of rice seedlings. *Plant Physiology Communications*. 45: 881-884.
37. Yemm EW and Willis AJ (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemistry*. 57: 508-514.

