



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۴
صفحه‌های ۷۴۳-۷۵۳

بررسی اثر ۲۴-اپی‌براسینولید بر افزایش تحمل به سرما در گیاهچه بادمجان (*Solanum melongena* L.)

فریبا امینی^{۱*}، شیوا شریعت‌زاده^۲، مهری عسکری^۱

۱. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک - ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر ۲۴-اپی‌براسینولید بر بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه بادمجان معمولی آمریکایی تحت تنش سرما، آزمایشی با چهار سطح ۲۴-اپی‌براسینولید (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشگاه اراک در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. بذرها بادمجان به مدت ۴۸ ساعت در غلظت‌های مذکور ۲۴-اپی‌براسینولید خیسانده شدند و سپس به پتری‌دیش انتقال یافتند. برای هر تیمار سه پتری‌دیش، هر یک حاوی ۲۰ بذر به عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد. پس از کاشت بذرها، ظروف پتری‌دیش به دو گروه تقسیم شدند. یک گروه به انکوباتور با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی (دمای 22 ± 1 درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند و گروه دیگر به مدت چهار روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس به انکوباتور انتقال یافتند. ۲۴-اپی‌براسینولید اثر زیادی در افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در هر دو شرایط تنش و شاهد داشت. افزایش پراکسیداسیون لیپید و نشت پذیری غشا که تحت تنش سرما مشهود بود، در تیمار با ۲۴-اپی‌براسینولید کاهش معناداری را نشان داد. غلظت ۱ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید نسبت به سایر غلظت‌ها اثر بهتری داشت. در گیاهان تحت تنش سرما و غلظت ۱ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید کاهش به ترتیب ۲۸/۳۰ و ۳۷/۸۹ درصدی در پراکسیداسیون لیپید و نشت پذیری غشا مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: براسینواستروئیدها، پراکسیداسیون، جوانه‌زنی، سرما، نشت پذیری.

۱. مقدمه

تغییرات محیطی به ویژه آنهایی که بر دما و دسترسی به آب تأثیر می گذارند، مهم ترین تغییرات تعیین کننده رشد و نمو گیاهانند [۱۶]. دمای کم یکی از تنش های مضر تأثیرگذار بر گیاهان است که سبب محدود کردن رشد و نمو، توزیع و توسعه گیاهان می شود [۲۰]. تنش سرما معمول ترین و رایج ترین تنش محیطی دوران جوانه زنی گیاه محسوب می شود و این مرحله بسیار حساس به سرماست [۱]. تنش سرمایی کمتر از ۱۵ درجه سانتی گراد در مرحله جوانه زنی، سبب استقرار ضعیف گیاهچه ها و مرگ و میر آنها می شود و درجه حرارت مطلوب برای جوانه زنی بذور، به طور معمول دمای بیشتر از ۱۵ درجه سانتی گراد است [۱۷]. جوانه زنی شامل سه مرحله جذب، فعال سازی و رشد پس از جوانه زنی است [۳۰] و مشخص شده است که بیشترین تأثیر سرما در طول جوانه زنی در مرحله جذب اتفاق می افتد [۹]. با اینکه جذب، حساس ترین مرحله در جوانه زنی است، بیشترین تأثیر درجه حرارت بر جوانه زنی گیاه برنج در مراحل انتهایی فعال سازی و رشد ساقه چه اتفاق می افتد [۳۰]. بررسی تنش سرما بر روی برنج نشان داد که کاهش طول ساقه چه در این مرحله به اثر مستقیم سرما بر طویل شدن و تقسیم سلولی و همچنین اثر غیرمستقیم آن که ناشی از عدم تعادل متابولیکی است، نسبت داده می شود [۱۰]. دمای کم نه تنها سبب کاهش جوانه زنی می شود، بلکه به دنبال آن سبب کاهش رشد گیاهچه ها و کاهش میزان تجمع ماده خشک در آنها می شود. مراحل اول و آخر (جذب اولیه و شروع فتوسنتز) مراحل بسیار حساس به تنش سرما معرفی شده اند، در حالی که مراحل میانی این دو مرحله، حساسیت به نسبت کمتری به سرما دارند [۷].

بادمجان یکی از محصولات حساس به سرماست که

دمای کم در مراحل اولیه رشد، بر جوانه زنی، رشد و تولید آن تأثیر می گذارد. گونه های گیاهی فصل گرم نظیر بادمجان، اگر در فصول یا مناطقی با آب و هوای معتدل رشد کنند، در معرض تنش های محیطی قرار می گیرند که این سبب محدودیت برداشت و بهره وری محصول و کیفیت آن می شود [۲۶]. بادمجان به لحاظ اقتصادی از محصولات مهم کشاورزی در آسیا و اروپا محسوب می شود و خواص دارویی و غذایی فراوانی نیز دارد [۲۷]؛ بنابراین در صورت بهبود مقاومت به تنش سرما در این گیاه، می توان مقدار محصول در فصول نامناسب دمایی را افزایش داد.

براسینواسستروئیدها مقاومت گیاه در برابر تنش و آسیب های گیاهی را افزایش می دهند و می توانند جایگزین برخی از ضدآفت های قدیمی باشند. تحقیقات درباره موتان های مختلف گیاه برنج نشان داد که براسینواسستروئیدها ترکیباتی ضروری برای رشد و نمو گیاهانند [۲۱]. در ضمن این ترکیبات موجب افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می شوند [۸]. به عنوان مثال، براسینواسستروئیدها موجب کاهش خسارت ناشی از تنش سرما، دمای زیاد، فلزات سنگین و شوری در گیاه برنج [۲۱] و تنش کم آبی در گیاه نخود شده اند [۱۵]. اثر هورمون ۲۴-پی براسینولید در گیاه ذرت قرار گرفته تحت تنش سرما بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد آن سبب بهبود اثرهای منفی تنش سرما بر فاکتورهای رشدی این گیاه می شود [۱۴]. از این رو هدف پژوهش حاضر، افزایش مقاومت به تنش سرما و امکان کشت گیاه بادمجان در فصول نامناسب دمایی با کمک ترکیب ۲۴-پی براسینولید است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. کشت بذر و بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی

بذر گیاه بادمجان معمولی اسکولنتوم^۱ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. بذرها در سال ۱۳۹۱ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه اراک با الکل ۷۰ درصد و هیپوکلریت سدیم ۲۰ درصد استریل شده و سه بار با آب مقطر استریل شست‌و‌شو داده شدند و سپس در غلظت‌های تهیه‌شده ۲۴-پی‌براسینولید در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار) به مدت ۴۸ ساعت پیش‌تیمار شدند. ۱۰ میلی‌گرم ۲۴-پی‌براسینولید (وزن مولکولی = ۴۸۰/۷) از شرکت سیگما^۲ خریداری و ۱۰ میلی‌لیتر محلول پایه^۳ آن با استفاده از اتانول ساخته شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس از محلول پایه به‌مقدار مناسب برداشته شد و محلول با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار ۲۴-پی‌براسینولید با استفاده از آب تهیه و استفاده شد. همه محلول‌ها حاوی توپین-۲۰ (۰/۰۱ درصد) بودند. این ترکیب به‌عنوان یک روکشگر^۴ برای افزایش جذب سطحی ۲۴-پی‌براسینولید استفاده شد. غلظت صفر که فاقد هورمون بود محتوی آب مقطر و توپین-۲۰ بود. بذرها پیش‌تیمار شده در ظروف پتری حاوی دو لایه کاغذ صافی کشت شدند. در هر پتری دیش ۲۰ بذر قرار گرفت و هر پتری با مقادیر مساوی از محلول‌های هورمونی آبیاری شد. سپس پتری‌دیش‌ها به دو گروه تقسیم شدند. برای هر تیمار هورمونی سه پتری‌دیش به‌عنوان سه تکرار در نظر گرفته شد. یک گروه به انکوباتور با دوره نوری ۱۶/۸ (۸ ساعت تاریکی/۱۶ ساعت نور) و دمای ۲۲± یک درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و گروه دیگر به مدت چهار روز در دمای چهار درجه سانتی‌گراد با دوره

نوری ۱۶/۸ (۸ ساعت تاریکی/۱۶ ساعت نور) قرار گرفتند و سپس به انکوباتور با شرایط گروه اول انتقال یافتند. بررسی جوانه‌زنی بذرها با توجه به تاریخ اولین جوانه‌زنی از روز اول آغاز شد و تا روز بیست‌ودوم ادامه یافت. پس از ۲۲ روز گیاهچه‌ها برداشت شدند و شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر)، با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد:

$$(۱) \text{ درصد جوانه‌زنی}^۵$$

$$[۲۵] \quad \frac{\text{تعداد بذرهاى جوانه‌زده در دوره آزمایش}}{\text{تعداد کل بذرهاى مورد آزمایش}} \times ۱۰۰$$

$$(۲) \text{ سرعت جوانه‌زنی}^۶ \quad GS = \sum_1^n n_i / D_i$$

در این رابطه، GS بیانگر سرعت جوانه‌زنی، n_i تعداد بذرهاى جوانه‌زده در روزهای شمارش و D_i تعداد روز پس از شروع آزمایش است [۶].

$$(۳) \text{ میانگین مدت جوانه‌زنی} \quad MET = \frac{\sum f_i x_i}{N}$$

در این رابطه، f_i روز شمارش، x_i تعداد بذر جوانه زده در روز f و N کل بذرهاى جوانه زده است.

$$(۴) \text{ شاخص جوانه‌زنی}^۷ \quad GI = (\sum T_i N_i) / S$$

در این رابطه، GI بیانگر شاخص جوانه‌زنی، T_i تعداد روزهای پس از کشت، N_i تعداد بذرهاى جوانه‌زده در روز S و i تعداد کل بذرهاى کاشته شده است [۳].

$$(۵) \text{ شاخص بنیه بذر}^۸ \quad VI = RL + SL \times GP$$

5. Seed germination

6. Germination speed

7. Germination index

8. Vigour index

1. *Solanum melongena* var. "Esculentum"

2. Sigma- Aldrich (USA)

3. Stock

4. Surfactant

جوشاندن و E_2 هدایت الکتریکی محلول بعد از جوشاندن است.

در این رابطه، VI بیانگر شاخص بنیه بذر، RL طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)، SL طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) و GP درصد جوانه‌زنی است [۶].

۲. ۵. اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان

شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشا

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید در گیاهچه، ابتدا ۰/۵ گرم گیاهچه تازه در محلول ۲۰ درصد تیوکلوواسیتیک اسید حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید، کاملاً پودر شد. سپس این مخلوط به مدت ۲۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. سپس این مخلوط با حمام یخ سرد شد و غلظت مالون‌دی‌آلدئید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و از رابطه زیر اندازه‌گیری شد [۲۸]:

$$A = \epsilon bc \quad (7)$$

آزمایش‌ها به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل، با دو فاکتور سرما و ۲۴-پی‌براسینولید در چهار سطح و برای هر تیمار سه پتری‌دیش به‌عنوان سه تکرار انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۱۶) تجزیه و تحلیل شد. در صورت معنادار بودن داده‌ها، میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری با استفاده از آزمون دانکن گروه‌بندی شدند و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

۳. نتایج

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرهای تنش سرما و ۲۴-پی‌براسینولید و اثرهای متقابل بین آنها بر شاخص‌های جوانه‌زنی (جدول ۱)، شاخص‌های رشد (جدول ۲)، پراکسیداسیون لیپید و نشت‌پذیری غشای سلولی (جدول ۳) معنادار بود.

۲.۲. اندازه‌گیری شاخص‌های رشد گیاهچه

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با استفاده از خط‌کش و براساس واحد سانتی‌متر، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با کمک ترازوی دیجیتال با دقت یک ده‌هزارم گرم اندازه‌گیری شد.

۲. ۳. اندازه‌گیری وزن تر و خشک

۲۰ عدد از گیاهچه‌های بیست و دوروزه بادمجان توزین شده و سپس میانگین وزن تر آنها محاسبه شد. این نمونه‌ها ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و پس از توزین، میانگین وزن خشک نیز محاسبه شد.

۲. ۴. اندازه‌گیری نشت‌پذیری غشای سلولی

برای اندازه‌گیری نشت‌پذیری غشای سلولی، ۰/۳ گرم بافت تازه گیاهچه در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر شناور شده و به مدت دو ساعت در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از این مدت، هدایت الکتریکی محلول در دمای اتاق توسط هدایت‌سنج الکتریکی سنجیده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه به انکوباتور با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و سپس در دمای اتاق خنک شدند و هدایت الکتریکی نمونه‌ها از نو اندازه‌گیری شده و از رابطه زیر نشت‌پذیری غشای سلولی محاسبه شد [۲۸]:

$$(E_1 / E_2) \times 100 = \text{نشت‌پذیری غشای سلولی} \quad (6)$$

در این رابطه، E_1 هدایت الکتریکی محلول قبل از

بررسی اثر ۲۴-پی‌براسینولید بر افزایش تحمل به سرما در گیاهچه بادمجان (*Solanum melongena* L.)

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر ۲۴-پی‌براسینولید بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گیاهچه بادمجان تحت تنش سرما و شاهد

منابع تغییرات	جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت جوانه‌زنی	شاخص جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر
۲۴-پی‌براسینولید	۳۸/۲۲**	۳۸/۱۵**	۲۳/۰۰۷**	۳۸/۲۲**	۱۰۲/۷۸**
سرما	۱۸۰/۲۶**	۱۸۱/۱۹**	۷۰/۷۲**	۱۸۰/۲۶**	۵۴۲/۲۶**
۲۴-پی‌براسینولید × سرما	۲۰/۰۸**	۲۰/۵۴**	۱۲/۵۸**	۲۰/۰۸**	۱۳/۰۱**

** و * : به ترتیب بیانگر تفاوت معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثرهای ۲۴-پی‌براسینولید و سرما بر شاخص‌های رشد گیاهچه بادمجان تحت تنش سرما و شاهد

منابع تغییرات	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه
۲۴-پی‌براسینولید	۱۲/۴۴**	۱۷/۴۱**	۴۸/۱۳**	۱۱۴/۵۷**	۳۱/۴۱**	۹۸/۴۱**
سرما	۹۷/۰۷**	۸۵/۹۱**	۳۳۰/۷۷**	۲۲۳/۲۷**	۱۹۴/۰۱**	۲۲۰/۱۹**
۲۴-پی‌براسینولید × سرما	۳/۱۷*	۴/۴۱*	۳/۰۴*	۹/۷۱**	۳/۳۶*	۸/۷۶**

** و * : به ترتیب بیانگر تفاوت معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد است.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثرهای ۲۴-پی‌براسینولید و سرما بر شاخص‌های رشد گیاهچه بادمجان تحت تنش سرما و شاهد

منابع تغییرات	۲۴-پی‌براسینولید	سرما	۲۴-پی‌براسینولید × سرما
پراکسیداسیون لیپید	۳۴۹/۷۳**	۷۲۳/۱۹**	۳/۰۸**
نشت پذیری غشای سلولی	۱۲/۸۲**	۱۱۸/۵۴**	۴/۱۴*

** و * : به ترتیب بیانگر تفاوت معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد است.

جوانه‌زنی به ترتیب ۱۳/۵۸، ۶/۱۷ و ۱۴/۸۱ درصد کاهش کمتری نسبت به غلظت صفر هورمون با شرایط تنش نشان داد. استفاده از هورمون، افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی ناشی از تنش سرما را کاهش داد. در شرایط شاهد تأثیر هورمون در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۳/۴۴، ۸/۷۲ و ۱/۷۲ درصد کاهش در میانگین مدت جوانه‌زنی را نسبت به غلظت صفر نشان داد. در غلظت

کاربرد هورمون سبب افزایش و تنش سرما موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای بادمجان شد. در گیاهان بدون تیمار هورمون و در شرایط تنش سرما به ترتیب کاهش ۴۹/۱۲ و ۴۹/۳۸ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد که در اثر کاربرد هورمون در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۱۴/۵۱، ۵/۴۵ و ۳۰/۸۹ درصد و سرعت

به زراعی کشاورزی

۱.۳. بررسی رشد طولی ریشه چه و ساقه چه

طول ریشه چه و ساقه چه در تنش سرما در غلظت صفر هورمون به ترتیب ۴۷/۰۵ و ۳۵/۹۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. غلظت ۱ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید در هر دو شرایط شاهد و تنش سرما، توانست طول ریشه چه و ساقه چه را به طور چشمگیری به ترتیب ۱۳/۷۵ و ۱۲/۸۰ درصد افزایش دهد (جدول ۵). بررسی اثر متقابل سرما و ۲۴-اپی براسینولید نشان داد که کاربرد هورمون در غلظت های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار در شرایط تنش به ترتیب ۲۶/۴۷، ۵/۸۸ و ۲۶/۸۶ درصد کاهش کمتر در طول ریشه چه و ۱۶/۱۸، ۰/۲۸ و ۱۴/۲۵ درصد کاهش کمتر در طول ساقه چه نسبت به غلظت صفر تنش در برابر غلظت صفر شاهد نشان داد (جدول ۵).

صفر تنش ۴۳/۱۰ درصد افزایش در میانگین مدت جوانه زنی نسبت به غلظت صفر شاهد دیده شد. در شرایط شاهد، کاربرد هورمون در غلظت های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۱/۵ و ۴/۵ درصد افزایش در شاخص جوانه زنی و ۱۰/۷۹، ۵۳/۹۸ و ۴/۶۶ درصد افزایش شاخص بنیه بذر را موجب شد. غلظت صفر تنش سرما به ترتیب کاهش ۲۲ و ۶۸/۷۱ درصدی را در شاخص جوانه زنی و بنیه بذر نسبت به غلظت صفر شاهد نشان داد؛ البته کاربرد هورمون در غلظت های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۶، ۲/۵ و ۷ درصد در شاخص جوانه زنی و ۳۰/۷۹، ۱۱/۱۶ و ۳۱/۵۳ درصد در شاخص بنیه بذر کاهش کمتری نسبت به غلظت صفر تنش سرما در برابر غلظت صفر شاهد نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر غلظت های ۲۴-اپی براسینولید بر شاخص های جوانه زنی گیاه بادمجان تحت سرما و شاهد. مقادیر موجود در جدول میانگین \pm خطای استاندارد است.

شاخص بنیه بذر	شاخص جوانه زنی	میانگین مدت جوانه زنی (d)	سرعت جوانه زنی (1/day)	جوانه زنی (%)	۲۴-اپی براسینولید μM
$۸/۱۵^c \pm ۰/۰۷۹$	$۲/۰۰^{bc} \pm ۰/۰۵۰$	$۱/۱۶^{bcd} \pm ۰/۰۶۵$	$۰/۸۱^{bc} \pm ۰/۰۴۵$	$۹۱/۶^b \pm ۲/۸۸$	۰
$۹/۰۳^b \pm ۰/۰۲۶$	$۲/۰۳^{ab} \pm ۰/۰۲۸$	$۱/۱۲^{cd} \pm ۰/۰۳۴$	$۰/۸۴^{ab} \pm ۰/۰۲۸$	$۹۳/۳^{ab} \pm ۲/۸۸$	۰/۵
$۱۲/۵۵^a \pm ۰/۰۴۰$	$۲/۰۸^a \pm ۰/۰۲۸$	$۱/۰۶^d \pm ۰/۰۲۸$	$۰/۸۸^a \pm ۰/۰۲۳$	$۹۸/۳^a \pm ۲/۸۸$	۱
$۸/۵۳^{bc} \pm ۰/۰۴۶$	$۲/۰۱^{abc} \pm ۰/۰۲۸$	$۱/۱۴^{cd} \pm ۰/۰۳۴$	$۰/۸۲^{bc} \pm ۰/۰۲۸$	$۹۳/۳^{ab} \pm ۲/۸۸$	۲
$۲/۵۵^f \pm ۰/۰۲۷$	$۱/۵۶^f \pm ۰/۰۲۸$	$۱/۶۶^a \pm ۰/۰۵۷$	$۰/۴۱^f \pm ۰/۰۲۸$	$۴۶/۶^f \pm ۲/۸۸$	۰
$۵/۶۴^e \pm ۰/۰۵۳$	$۱/۸۸^{de} \pm ۰/۰۲۸$	$۱/۲۳^{bc} \pm ۰/۰۹۸$	$۰/۷۰^{de} \pm ۰/۰۲۳$	$۷۸/۳^d \pm ۲/۸۸$	۰/۵
$۷/۲۴^d \pm ۰/۰۲۳$	$۱/۹۵^{cd} \pm ۰/۰۵۰$	$۱/۱۹^{bc} \pm ۰/۱۰۲$	$۰/۷۶^{cd} \pm ۰/۰۴۵$	$۸۶/۶^c \pm ۲/۸۸$	۱
$۵/۵۸^e \pm ۰/۰۳۷$	$۱/۸۶^e \pm ۰/۰۵۷$	$۱/۲۷^b \pm ۰/۰۴۶$	$۰/۶۹^e \pm ۰/۰۵۱$	$۶۳/۳^e \pm ۲/۸۸$	۲

در هر ستون، میانگین های با حروف مشابه از نظر آماری اختلاف معناداری نشان نمی دهند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر هورمون ۲۴-اپی براسینولید بر شاخص‌های رشد گیاه بادمجان تحت سرما و شاهد مقادیر موجود در جدول میانگین \pm خطای استاندارد است.

۲۴-اپی براسینولید (μM)	طول ریشه‌چه (mm)	طول ساقه‌چه (mm)	وزن تر ریشه‌چه (g)	وزن تر ساقه‌چه (g)	وزن خشک ریشه‌چه (g)	وزن خشک ساقه‌چه (g)
۰	$51^{ab} \pm 3/9$	$41/4^b \pm 3/3$	$0/11^d \pm 0/02$	$0/20^c \pm 0/03$	$0/010^c \pm 0/008$	$0/019^c \pm 0/003$
۰/۵	$52/8^{ab} \pm 1/6$	$46/7^a \pm 2/5$	$0/13^b \pm 0/04$	$0/23^b \pm 0/02$	$0/012^{ab} \pm 0/009$	$0/021^{bc} \pm 0/002$
۱	$58^a \pm 3/8$	$47/6^a \pm 2$	$0/14^a \pm 0/01$	$0/28^a \pm 0/05$	$0/013^a \pm 0/005$	$0/026^a \pm 0/002$
شاهد	$52/2^{ab} \pm 2/4$	$41/6^b \pm 2/7$	$0/12^c \pm 0/06$	$0/21^c \pm 0/09$	$0/011^{bc} \pm 0/009$	$0/020^{bc} \pm 0/001$
۰	$27 \pm 1/4$	$26/5^d \pm 1/6$	$0/08^e \pm 0/01$	$0/11^e \pm 0/08$	$0/007^d \pm 0/003$	$0/010^e \pm 0/002$
۰/۵	$37/5^c \pm 6/9$	$34/7^c \pm 1/5$	$0/09^e \pm 0/09$	$0/18^d \pm 0/08$	$0/008^d \pm 0/006$	$0/017^d \pm 0/001$
۱	$48^b \pm 1/8$	$41/3^b \pm 3/7$	$0/11^d \pm 0/03$	$0/23^b \pm 0/03$	$0/010^c \pm 0/005$	$0/0216^b \pm 0/004$
تنش سرما	$37/3^c \pm 5/7$	$35/5^c \pm 1/5$	$0/09^e \pm 0/02$	$0/17^d \pm 0/01$	$0/008^d \pm 0/009$	$0/015^d \pm 0/001$

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه از نظر آماری اختلاف معناداری نشان نمی‌دهند.

۲.۳. بررسی وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز همچون دیگر شاخص‌ها در تنش سرما کاهش و در اثر هورمون افزایش معناداری یافتند. کاربرد هورمون در شرایط تنش، وزن تر و خشک ساقه‌چه را به میزان بیشتری نسبت به وزن تر و خشک ریشه‌چه افزایش داد. وزن تر و خشک ریشه‌چه در غلظت صفر شرایط تنش به ترتیب ۲۷/۲۷ و ۳۰ درصد کاهش نسبت به غلظت صفر شرایط شاهد نشان دادند. کاربرد هورمون در شرایط شاهد در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۱۸/۱۸، ۲۷/۲۷ و ۹/۹ درصد افزایش در وزن تر ریشه‌چه و ۲۰، ۳۰ و ۱۰ درصد افزایش در وزن خشک ریشه‌چه گیاهچه بادمجان نشان دادند. وزن تر و خشک ساقه‌چه در غلظت صفر شرایط تنش به ترتیب ۴۵ و ۴۷/۳۶ درصد کاهش را نسبت به غلظت صفر شرایط شاهد نشان دادند. در شرایط شاهد در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار وزن تر ساقه‌چه به ترتیب ۱۵، ۴۰ و ۵ درصد افزایش و وزن خشک ساقه‌چه به ترتیب ۱۰/۵۲، ۳۶/۸۴ و ۱/۲۶ افزایش نسبت به غلظت صفر شاهد نشان دادند (جدول ۵).

۳.۳. تأثیر تنش سرما بر نشت یون‌ها از غشای سلول‌های گیاهچه

مقایسه میانگین میزان نشت یون‌ها در سطوح مختلف ۲۴-اپی براسینولید نشان داد که بیشترین نشت مواد در غلظت صفر تنش سرما و کمترین آن در غلظت ۱ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید بوده است. نشت‌پذیری غشای سلولی گیاهچه‌های بادمجان تحت تنش سرما در غلظت صفر، ۹۱/۷۴ درصد افزایش نسبت به غلظت صفر گیاهچه‌های تحت شرایط شاهد نشان داد؛ البته کاربرد هورمون تحت تنش سرما در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۵۳/۰۹، ۱۰/۷۹ و ۵۹/۲۰ درصد افزایش نسبت به غلظت صفر شرایط شاهد نشان داد (شکل ۱A).

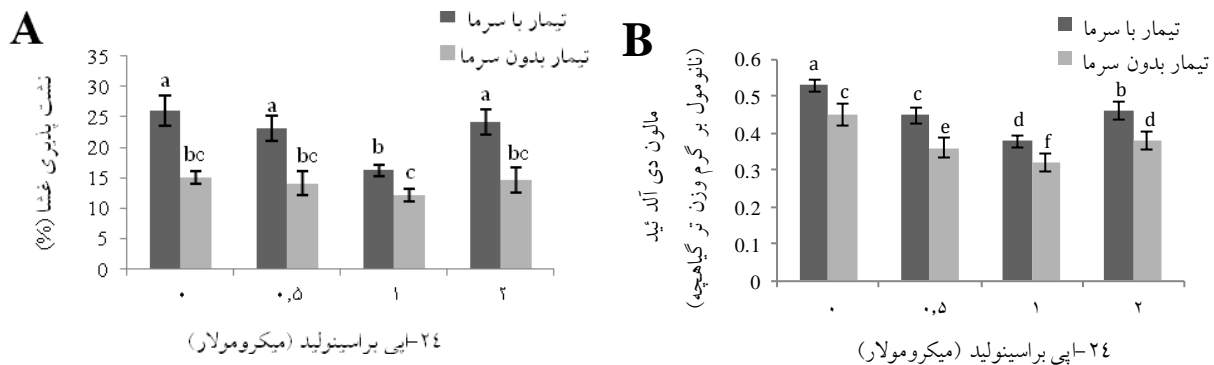
۴.۳. تأثیر تنش سرما بر مقدار مالون دی‌آلدئید

به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشا

مقدار مالون دی‌آلدئید در گیاهچه تحت تنش سرما، ۱۷/۷۷ درصد نسبت به گیاهچه‌های تحت شرایط شاهد افزایش

کاهش بیشتری در شرایط تنش سرما نشان داد. کاربرد هورمون تحت تنش سرما در غلظت‌های ۱ و ۲ میکرومولار به ترتیب ۱۵/۵۵ درصد کاهش و ۲/۲۲ افزایش نسبت به غلظت صفر شاهد نشان داد (شکل ۱B).

یافت. همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل سرما و ۲۴-اپی‌براسینولید نشان داد که بیشترین مقدار مالون‌دی‌آلدئید در غلظت صفر هورمون در شرایط تنش سرما بود و کمترین مقدار آن در غلظت ۱ میکرومولار، ۲۴-اپی‌براسینولید بود. در واقع غلظت ۱ میکرومولار



شکل ۱. اثر اپی‌براسینولید بر نشت یونی (A)، مقدار مالون‌دی‌آلدئید (B) به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون غشا در گیاهچه بادمجان تحت شرایط شاهد و تنش سرما به‌عنوان اختلاف معنادار ($P < 0.05$) در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنادار بودن و حروف مشابه نشانه معنادار نبودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.

اثر می‌گذارد تطابق دارد [۲۱].

بررسی تأثیر تنش سرما بر رشد ساقه‌چه در برخی از ارقام برنج در مرحله جوانه‌زنی نشان داد که اعمال تنش سرما موجب کاهش طول ساقه‌چه در ارقام مورد مطالعه شد [۴]. در این تحقیق کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در تنش سرما مشاهده شد و کاربرد هورمون سبب افزایش رشد در این پارامترها شد. افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در حضور ۲۴-اپی‌براسینولید ممکن است به توانایی تحریک رشد توسط آن مرتبط باشد که موجب رشد و توسعه سلولی می‌شود [۲۱]. تحریک رشد میانگره دوم گیاه سویا و باقلا، محور زیر لپه نخود و لوبیا و رشد گیاهچه‌های کاج نیز با کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید مشاهده شده است [۲۲]. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تیمار شده با ۲۴-

۴. بحث

در آزمایشی در زمینه بررسی تأثیر تنش سرما بر خصوصیات جوانه‌زنی برنج و شناسایی ارقام مقاوم برنج، به این نتیجه رسیدند که اعمال تنش سرما موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شد [۱۹] که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تنش سرما سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و پارامترهای وابسته به جوانه‌زنی شد. کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و پارامترهای وابسته به جوانه‌زنی در هر دو شرایط شاهد و سرما شد که از بین غلظت‌های به‌کاررفته، غلظت ۱ میکرومولار بهترین اثر را داشت. این نتیجه با توانایی ۲۴-اپی‌براسینولید که بر جوانه‌زنی بذرهای گیاهان

مالون‌دی‌آلدئید در تیمار ۲۴-پی‌براسینولید به دلیل حفظ لیپیدهای غشا از خسارت القاشده به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن است [۲۱]. کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید و نشت یونی در تیمار ۲۴-پی‌براسینولید همراه با تنش سرما، احتمالاً نشان‌دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپید و سلامت بیشتر غشا تحت تنش سرماست. به نظر می‌رسد ۲۴-پی‌براسینولید به کار برده شده موجب حفظ و ثبات غشا در برابر نشت مواد داخل سلولی به خارج شده است. افزایش مقاومت در برابر تنش سرما در گیاه بیشتر به تأثیر بر اسینواستروئیدها بر پایداری غشا و تنظیم اسمزی نسبت داده شده است [۲۴].

۵. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد ۲۴-پی‌براسینولید در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میکرومولار در هر دو شرایط، شاهد (بدون تنش سرما) و تنش سرما، بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهچه بادمجان مؤثر بوده است که در این میان غلظت ۱ میکرومولار ۲۴-پی‌براسینولید مؤثرتر از دیگر غلظت‌ها بود. بنابراین می‌توان از پی‌براسینولید به عنوان ترکیبی امیدوارکننده، در هر دو شرایط شاهد (برای افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد بهتر گیاهچه) و تنش سرما به منظور کاهش آثار تنش سرما در بادمجان استفاده کرد که البته با توجه به اینکه این تحقیق در مرحله اولیه رشد انجام گرفت، ارزیابی اثرهای ۲۴-پی‌براسینولید در مراحل بعدی رشد در گیاه کامل نیز پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک و همچنین از قطب تنش‌های گیاهی دانشگاه اصفهان قدردانی می‌شود.

پی‌براسینولید تحت تنش سرما بیشتر از گیاهچه‌های تحت تنش سرما به تنهایی است که علت احتمالی آن، کاهش اثر مهارکنندگی رشد توسط هورمون ۲۴-پی‌براسینولید تحت تنش است این نتایج با افزایش رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی، بادمجان، خیار و نخود تیمار شده با براسینولید که تحت تنش کم‌آبی قرار داشتند، مطابقت دارد [۱۸].

وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز در تنش سرما کاهش یافت و ۲۴-پی‌براسینولید سبب افزایش وزن تر و خشک گیاهچه بادمجان شد. ۲۴-پی‌براسینولید وزن تر و خشک را در گیاه چغندر قند افزایش داد [۲۳]. در تحقیقی درباره گیاه برنج تحت تنش شوری، کاربرد ۲۴-پی‌براسینولید سبب افزایش طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و وزن تر ریشه‌چه شد [۲۱]. گیاه ذرت تحت تنش سرما وزن تر و خشک گیاه را کاهش داد و ۲۴-پی‌براسینولید سبب افزایش وزن تر و خشک گیاه شد [۱۴]. همچنین در گیاه بادمجان تحت تنش شوری کاربرد ۲۴-پی‌براسینولید سبب افزایش وزن تر ساقه و ریشه شد [۲۹].

در مطالعه حاضر، افزایش نشت یون و مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش در غلظت صفر مشاهده شد که کاربرد ۲۴-پی‌براسینولید سبب کاهش آنها شد. تنش سرما موجب افزایش نشت یونی و رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که در نهایت به پراکسیداسیون لیپید و در نتیجه، تخریب غشا می‌انجامد [۱۲، ۱۳]. نتایج حاصل از بررسی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۲]. مطالعه اثر تنش سرما بر گیاه ذرت نشان داد که تنش سرما به افزایش معنادار نشت یونی منجر شد [۵]. همچنین گزارشی مشابه نتیجه این آزمایش در گیاه بادمجان تحت تنش شوری به دست آمده است که براساس آن، تنش شوری سبب افزایش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید شد و کاربرد ۲۴-پی‌براسینولید به کاهش آن انجامید [۱۱]. برپایه مطالعه‌ای روی گیاه برنج تحت تنش شوری، کاهش

- منابع**
۱. امیرقاسمی ت (۱۳۸۱) سرمازدگی گیاهان (یخبندان، صدمات و پیشگیری). نشر آیندگان. ۱۲۳ ص.
 ۲. جعفری ر، منوچهری کلاتری خ و احمدی موسوی ع (۱۳۸۶) اثر پاکلوبوترازول بر تجمع آنتی‌اکسیدان‌ها در نهال‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما *(Lycopersicon esculentum L.)*. زیست‌شناسی ایران. ۳: ۲۱۷-۲۰۶.
 ۳. شریعت آ، عصاره م ح و قمری زارع ع (۱۳۸۹) اثر کادمیم بر برخی پارامترهای فیزیولوژی در *Eucalyptus occidentalis*. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۴۵(۵۳): ۱۴-۱۵۳.
 ۴. شریفی پ (۱۳۹۰) ارزیابی مقاومت به سرمای رشد ساقه‌چه در برخی ارقام برنج در مرحله جوانه‌زنی. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۹: ۱۲۱-۱۰۸.
 ۵. علی س، اسلامی و، بهدانی م و جامی‌الاحمدی م (۱۳۸۹) تأثیر کاربرد خارجی گلیسین بتائین در افزایش تحمل به سرما در گیاهچه‌های ذرت (*Zea mays L.*) پژوهش‌های زراعی ایران. ۶: ۹۴۵-۹۳۹.
 ۶. عیسوند ح ر و علیزاده م ع (۱۳۸۲) بررسی برخی فاکتورهای کیفیت فیزیولوژیکی بذر (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر) گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica L.*) تحت شرایط آزمون پیری زودرس. تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان جنگلی و مرتعی ایران. ۱۱(۲): ۲۵۵-۲۴۹.
 ۷. میرمحمدی میدی ع م (۱۳۷۹) جنبه‌های فیزیولوژی و به‌نژادی تنش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی. انتشارات گلبن، اصفهان. ۲۲۳ ص.
 8. Bajgaz A (2000) Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chorella vulgaris*. Plant Physiology and Biochemistry. 38: 209-215.
 9. Blum A (1988) Plant breeding for stress environments. Boca Raton. 5: 99-132.
 10. Cruz RP and Milach SCK (2004) Cold tolerance at the germination stage of rice: Methods of evaluation and characterization of genotypes. Scientia Agricola. 61: 1-8.
 11. Ding HD, Zhu XH, Zhu ZW, Yang SJ, Zha DS and WU XX (2012) Amelioration of salt-induced oxidative stress in eggplant by application of 24-epibrassinolide. Biologia Plantarum. 56(4): 767-770.
 12. Fu J and Huang B (2001) Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany. 45: 105-114.
 13. Hanna B and Bischofa JC (2004) Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. Cryobio. 48: 8-21.
 14. Ishwar S, Upendra K, Singh SK, Charu G, Madhulika S and Kushwaha SR (2012) Physiological and biochemical effect of 24-epibrassinolide on cold tolerance in maize seedlings. Physiology and Molecular Biology of Plants. 18(3): 229-236.
 15. Jaisingh SN and Ota Y (1993) Effects of epi brassinolide on gram (*Cicer arietinum*) plants grow under water stress in juvenile stage. Indian Journal of Agricultural Science. 63: 395-397.

16. Janska A, Marsik P, Zelenkov S and Ovesn J (2010) Cold stress and acclimation – what is important for metabolic adjustment?. Plant Biology. Pp. 395-405.
17. Jiang L, Xun MM, Wang JL and Wan JM (2008) QTL analysis of cold tolerance at seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.) using recombination inbred lines. Cereal Science. 48: 173-179.
18. Khripach VA, Zhabinskii VN and Groot AE (1998) Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones. Academic press, United States of America, 460 p.
19. Mirtabar M, Pirdashti H, Karbalaei MT and Moradi F (2009) Cold stress effects on different iranian rice cultivars at germination stage. Journal of Crop Breeding. 1: 66-81.
20. Nguyen H, Leipner J, Stamp p and Guerra-peraza O (2009) Low temperature stress in maize (*Zea mays* L.) induces genes involved in photosynthesis and signal transduction as studied by suppression subtractive hybridization. Plant Physiology and Biochemistry. 47: 112-116.
21. Ozdemir F, Bor M, Demiral T and Turkan I (2004) Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidant system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. Plant Growth Regulation. 42: 203-211.
22. Rao SSR, Vardhini BV, Sujatha E and Anuradha S (2002) Brassinosteroids a new class of phytohormones. Current Science. 82: 1239-1245.
23. Schilling G, Schiller C and Otto S (1991) Influence of brassinosteroid on organ retention and enzyme activities of sugarbeet plants. In: Cutler HG, Yokota T and Adam G (Eds.), Brassinosteroids. Chemistry, bioactivity and applications. American Chemical Society, Washington DC, USA. Pp. 208-219.
24. Schwarz D, Roufhael Y, Colla G and Yenema JH (2010) Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. Scientia Horticulturae. 127: 162-171.
25. Scott SJ, Jones RA and Williams WA (1984) Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science. 26: 1192-1199.
26. Sekara A, Kwinta RB, Kalisz A and Cebula S (2011) Tolerance of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings to stress factors. Acta Agrobotanica. 65(2): 83-92.
27. Seppanen MM (2000) Characterize of freezing tolerance in *solanum commersonii* 'dun' with oxidative stress. University of Helsinki department of production section of crop husbandry. 4: 44-56.
28. Valentovic P, Luxova M, Kolarovi L and Gasparikora O (2006) Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize. Plant Soil Environment. 52: 186-191.
29. Wu XX, Ding HD, Zhu ZW, Yang J and Zha D (2012) Effects of 24-epibrassinolide on photosynthesis of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. African Journal of Biotechnology. 11(35): 8665-8671.
30. Yoshida S (1981) Fundamentals of rice crop science. IRRI, Los Baños, Philippines, 543 p.

