



اثر محلول پاشی متیل جاسمونات و ۲۴-اپی - براسینواستروئید بر محتوی پروتئین، قندها، آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید گیاه دارویی خردل سیاه (*Brassica nigra* L.) در شرایط تنش شوری

حلیمه رضایی^۱، سکینه سعیدی سار^{۲*}، مصطفی عبادی^۱، حسین عباسپور^۱

۱- گروه فیزیولوژی گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- گروه کشاورزی، دانشکده فنی دکتر شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۲

چکیده

به منظور بررسی اثر متیل جاسمونات و ۲۴-اپی براسینواستروئید بر صفات بیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی در گیاه دارویی خردل سیاه (*Brassica nigra* L.) در شرایط تنش شوری، آزمایشی در شرایط هیدروپونیک، براساس طرح فاکتوریل و در قالب کاملاً تصادفی در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که گیاهان چهار هفته پس از جوانه زنی تحت تیمار غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار)، متیل جاسمونات (۰ و ۷۵ میکرومولار) و ۲۴-اپی براسینواستروئید (۰، ۱/۵ و ۳ میکرومولار) قرار گرفتند. در طول آزمایش صفات بیوشیمیایی مانند میزان پرولین، قند محلول و نامحلول، پروتئین کل، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین در اندام هوایی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد در گیاهانی که تحت تیمار شوری قرار داشتند، با افزایش غلظت کلرید سدیم میزان پرولین، قند محلول، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین اندام هوایی افزایش یافت. استفاده از متیل جاسمونات و ۲۴-اپی براسینواستروئید در شرایط تنش شوری بر صفات مورد آزمون اثر مثبت و معنی‌داری داشت. در مقادیر یکسان NaCl با افزایش غلظت متیل جاسمونات و ۲۴-اپی براسینواستروئید پروتئین کل و پرولین افزایش یافت، به صورتی که با محلول پاشی ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات میزان پرولین اندام هوایی به بیشترین میزان خود ($\mu\text{mol L}^{-1}$) رسید. با افزایش سطح ۲۴-اپی براسینواستروئید در شرایط یکسان شوری میزان ترکیبات فنولی اندام هوایی به 0.71 mg gFW^{-1} رسید.

کلمات کلیدی: خردل سیاه (*Brassica nigra* L.)، صفات بیوشیمیایی، متیل جاسمونات، ۲۴-اپی

براسینواستروئید

مقدمه

تا ۲/۵ سانتی متری و منتهی به منقاری نازک و

کوتاه تبدیل شده است (امید بیگی، ۱۳۹۰).

برنامه اگزوژنی برخی فیتوهورمون‌ها می تواند به

صورت مستقیم واکنش‌های گیاه را نسبت به

شوری تحت تأثیر قرار می دهد. به طور طبیعی

برازینواستروئیدها برای رشد و توسعه گیاه ضروری

است. ثابت شده است که برازینواستروئیدها طیف

وسعی از پاسخ‌ها را در میان گیاهان مانند رشد

ساقه، رشد لوله گرده، اپی ناستی برگ و افزایش

عملکرد گیاه را در پی دارد (Khripach *et al.*,

2000). یکی از اثرات جالب برازینواستروئیدها بالا

بردن مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیر زیستی

است (Ram Rao *et al.*, 2002). در گیاهان تحت

تنش شوری برازینواستروئیدها مانع تخریب هسته

و کلروپلاست شده و در نتیجه باعث محافظت از

فراساختار سلول‌های برگ می‌شود. جوانه زنی بذر،

طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام

هوایی نیز افزایش می یابد (Wang *et al.*, 2014).

جاسمونات‌ها ترکیبات چربی دوستی هستند که

به عنوان یک سیگنال در گیاهان تحت تنش‌های

زنده و غیر زنده به رسپتور مربوطه اتصال برقرار

ایران دومین کشور بزرگ در شرق خاورمیانه به

مساحت ۱۶۵ میلیون هکتار است. حدود ۹۰٪ از

کشور به عنوان مناطق خشک و نیمه خشک می

باشد، که اکثر آن‌ها با بارش کم، تبخیر و تعرق

بالا، شوری، کمبود آب شیرین، فرسایش، حرارت

بیش از حد و بیابان زایی مواجه است. شوری

زمین عامل محدود کننده اصلی برای تولید

محصولات مرسوم در کشور است. کشت مداوم و

استفاده‌ی بیش از حد کودهای شیمیایی باعث

تبدیل زمین‌های بارور به زمین‌های شور شده

است. بنابراین در سال‌های اخیر برای تولید

محصولات کشاورزی در این زمین‌های شور تلاش

شده است (Asgari *et al.*, 2012).

خردل سیاه (*Brassica nigra* L.)، از تیره ی

شب بو است. این گیاه علفی، یکساله، به ارتفاع

۰/۵ تا ۱/۵ متر، ساقه‌هایش به رنگ سبز مایل به

آبی و در بخش تحتانی گیاه نیز پوشیده از کرک

است. پهنک برگ آن دارای بریدگی‌هایی می

باشد. گل‌های زرد رنگ و میوه‌هایی به طول ۱/۵

مواد و روش

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی متیل جاسمونات و ۲۴- اپی براسینواستروئید بر آنزیم‌ها و ایزوآنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز ریشه و اندام هوایی در گیاه خردل سیاه (*Brassica nigra* L) در شرایط تنش شوری، آزمایش در سال زراعی ۹۴ به صورت فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام پذیرفت. در این تحقیق محیط کشت به صورت هیدروپونیک صورت بود. مشخصات عناصر ماکرو و نمک‌های عناصر ماکرو مورد نیاز در جداول ۱ و ۲ ملاحظه می‌گردد. در هر گلدان تعداد زیادی بذر کاشته شد که پس از رویش و طی دو مرحله تنک کاری، تعداد ۷ بوته برای اعمال تیمار باقی ماند. عامل‌های مورد بررسی شامل: شوری در سه سطح (۰، ۴۰، ۸۰ میلی مولار)، متیل جاسمونات (۰ و ۷۵ میکرو مولار) و ۲۴- اپی براسینواستروئید (۰، ۱/۵ و ۳ میکرومولار) بود. ۳ هفته پس از آغاز تنش شوری، صفات مورد نظر اندازه گیری شد.

کرده و در نتیجه در رشد و توسعه گیاهان مؤثر است

(Wasternack, 2007). کاربرد خارجی جاسمونیک اسید، تغییرات فیزیولوژیکی بسیاری در پاسخ به استرس القا می‌کند (Wang *et al.*, 2001). بنابراین جاسمونات به عنوان تعدیل کننده‌ی تنش و بهبود دهنده پاسخ به تنش در گیاهان شناخته شده است. سطح جاسمونات با افزایش شوری نیز افزایش می‌یابد که این امر در تحریک ژن‌های دخیل در بیوسنتز جاسمونات در زمان مواجهه با شوری می‌باشد (Tani *et al.*, 2008).

بنابراین با توجه به گسترش روز افزون زمین‌های شور، هدف از این پژوهش، علاوه بر بررسی آسیب‌های غشایی شوری در گیاه دارویی خردل سیاه، بررسی نقش حفاظتی متیل جاسمونات و برازینواستروئیدها و نیز برهمکنش آن در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری کلرید سدیم است.

جدول ۱- مشخصات عناصر ماکرو مورد نیاز در تهیه محلول غذایی هوگلند

نام ماده شیمیایی	فرمول ماده شیمیایی	وزن نمک مورد نیاز (گرم)
نیتрат پتاسیم	KNO ₃	۰/۱
نیترات کلسیم	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	۰/۰۰۹
سولفات منیزیم	MgSO ₄	۰/۴۹۳
فسفات دی هیدروژن پتاسیم	KH ₂ PO ₄	۰/۶۸۱

جدول ۲- مشخصات نمک‌های عناصر میکرو مورد نیاز در تهیه محلول‌های غذایی هوگلند

نام ماده شیمیایی	فرمول شیمیایی	وزن نمک‌های مورد نیاز (گرم در لیتر)	حجم مورد نیاز از محلول‌های میکرو (mL)
سولفات آهن	FeSO ₄ .6H ₂ O	۰/۳۶۴	۱۰۰
اسید مولیبدیک	H ₂ MoO ₄ .4H ₂ O	۰/۲۰۱	۱۰۰
اسید بوریک	HBO ₃	۰/۰۳	۱۰۰
کلور منگنز	MnCl ₂ .4H ₂ O	۰/۰۱۸	۱۰۰
اتیلن دی آمین تترا استیک اسید	EDTA	۰/۸۹	۱۰۰
سولفات روی	ZnSO ₄ .7H ₂ O	۰/۰۲۱	۱۰
سولفات مس	CuSO ₄ .5H ₂ O	۰/۰۰۹	۱۰

اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت. مقدار پرولین در برابر نمونه استاندارد محاسبه و بر حسب $\mu\text{mol/l}$ بیان گردید.

سنجش پروتئین از روش Bradford (1976) انجام گردید. برای این منظور ۱ گرم از بافت تر اندام هوایی که در دمای ۴-۰ قرار داشت با ۵ میلی لیتر بافر تریس-HCl ۰/۰۵ مولار در اسیدیته ۷/۵ به مدت ۳۰ دقیقه هموژن گردید و

سنجش پرولین با استفاده از روش Bates *et al* (1973) صورت گرفت، به این ترتیب که ۰/۱ گرم از بافت تر ریشه و اندام هوایی به صورت جدا از هم با ۱۰ میلی لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ هموژن گردید، بعد از ۴۸ ساعت از کاغذ صافی عبور داده شد. در ادامه ۱ میلی لیتر از محلول را برداشته و پس از مخلوط کردن با ۲ میلی لیتر استیک اسید گلاسیال، به مدت ۱ ساعت در در دمای ۱۰۰ درجه بن ماری قرار داده شد و فوراً سرد گردید و ۴ میلی لیتر تولوئن به آن

پس از خشک کردن در آن با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط کرده و ۱۵ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت. پس از صاف کردن ۲ میلی لیتر از آن را برداشت و با ۱ میلی لیتر فنول و ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک مخلوط و میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر محاسبه گردید و بر حسب mg L^{-1} بیان گردید. میزان قند از طریق نمودار استاندارد مورد سنجش قرار گرفت. غلظت نشاسته از رابطه ذیل حاصل‌مورد نظر بدست می‌آید.

برای سنجش فنول از روش Matta & Giai (1969) استفاده شد. از اندام هوایی نمونه تر تهیه کرده و پس از قرار گرفتن در 10 ml اتانول ۸۰٪ جوشانده شد. در ادامه سانتیفریژ نمودن نمونه‌ها، افزودن فولن رقیق شده و کربنات سدیم اشباع و سانتیفریژ مجدد صورت پذیرفت و میزان جذب در طول موج 640nm در مقابل شاهد انجام شد. منحنی استاندارد با استفاده از کاتکول رسم و میزان ترکیبات فنلی بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه شد.

جهت سنجش فلاونوئید و آنتوسیانین یک گرم بافت تر برگ در ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی

پس از انتقال به اپندرف، ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه با دور آرام و سپس به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۱۳۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتیفریژ گردید. در ادامه ۱۰۰ میلی لیتر از عصاره را با ۵ میلی لیتر محلول برادفورد مخلوط و جذب آن را توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Jenway Genova) در طول موج ۵۰۵ نانومتر سنجش شد. میزان غلظت پروتئین از طریق نمودار استاندارد تعیین و بر حسب mg/l بیان گردید.

برای سنجش قند از روش فنل سولفوریک (Kochert 1978) استفاده شد. برای این منظور ۰/۱ گرم بافت اندام هوایی پس از خشک کردن در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته با ۱۰ میلی لیتر اتانول ۸۰٪ مخلوط گردید. بعد از یک هفته محلول رویی برای اندازه‌گیری مقدار قندهای محلول و رسوبات برای سنجش قندهای نامحلول استفاده شد. ۲ میلی لیتر محلول رویی با ۱ میلی لیتر فنول ۵٪ مخلوط شده و به آن ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک اضافه گردید. بعد از ۳۰ دقیقه میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway Genova) در طول موج ۴۸۵ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت. رسوبات

(شامل الکل متیلیک ۹۹/۵ درصد و هیدروکلریک اسید خالص به نسبت ۹۹ به ۱) همگن و سانتیفریوژ شد. میزان جذب عصاره رویی در ۳۰۰ و ۵۳۰ نانومتر به ترتیب برای فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها با دستگاه اسپکترو فتومتر تعیین شد و نتایج به صورت جذب در گرم وزن تر مورد مقایسه قرار گرفت (Nogues & Baker, 2000).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از طریق نرم افزار SAS ورژن ۹/۱، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵٪ Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

پروتئین اندام هوایی

نتایج بررسی نشان داد که از نظر پروتئین اندام هوایی بین سطوح مختلف تنش شوری، متیل جاسمونات، اپی برازینواستروئید تفاوت معنی داری در سطح ۱ درصد مشاهده شد. (جدول ۳). تمامی اثرات متقابل دو و سه گانه عوامل آزمایشی بر میزان پروتئین اندام هوایی نیز معنی دار گردید (جدول ۳)، به طوری که در دو وضعیت شوری ۴۰

میلی مولار و همچنین عدم تنش شوری در شرایط مشابه استفاده از براسینواستروئید (۳ میکرو مولار) و متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار) به ترتیب با $12/0 \text{ mg L}^{-1}$ و $11/97 \text{ mg L}^{-1}$ شاهد بیشترین میزان پروتئین اندام هوایی بودیم (جدول ۸). پروتئین اندام هوایی با پارامترهای دیگر نظیر قند نامحلول اندام هوایی (۰/۷۲)، پرولین اندام هوایی (۰/۴۶) و آنتوسیانین اندام هوایی (۰/۴۵) دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی دار در سطح ۱ درصد بود (جدول ۹). در حقیقت رادیکال‌های آزاد تولید شده بر اثر عامل تنش باعث از بین رفتن پروتئین در برگ می‌شود که با یافته‌های Baghizadeh et al (2009) در گیاه بامیه، Shah (2007) در گیاه کلزا، Shahin et al (2010) در میوه سیب، Abd El-Monem et al (2009) در لوبیا مطابقت دارد. برهکمنش اسید جاسمونیک و تنش شوری در گیاه خردل سبب افزایش میزان پروتئین در برگ شده است، که مطابق با نتایج Aminia & Ehsampourb (2009) در پسته تیمار شده با متیل جاسمونات بود. Farmer et al (2012) بیان کردند که اسید

جاسمونیک ممکن است توسط بیان ژن و تحریک سنتز بازدارنده پروتئیناز، مانع تجزیه پروتئین‌های محلول در برگ‌های گوجه فرنگی، تنباکو و یونجه گردیده و بدین طریق منجر به پایداری پروتئین-های گیاهی گردند. (Mandava et al (2008) کوشیدند تا اثرات براسینو استروئیدها را بر متابولیسم پروتئین و اسید نوکلئیک دریابند. در مطالعه (Kalinich (2005) مشخص گردید که تیمار براسینو استروئیدها باعث افزایش معنی‌داری در فعالیت‌های DNA و RNA پلیمرز شده و موجب ساخته شدن DNA و RNA در *phaseolus aureus* و *phaseolus vulgaris* گردیدند. (Dhaubhadel et al (2008) و گزارش کردند که در گیاهان کلزا و در گوجه فرنگی (Behnamnia et al., 2009) تحت تنش میزان پروتئین در گیاه کاهش نشان داده ولی در زمان استفاده از ۲۴- اپی براسینولید میزان پروتئین افزایش نشان داد.

قند محلول و نامحلول اندام هوایی

نتایج بررسی نشان داد که از نظر قند محلول اندام هوایی بین سطوح مختلف تنش شوری،

جاسمونات و براسینو استروئید تفاوت معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل شوری × متیل جاسمونات و تنش شوری × براسینو استروئید بر قند محلول اندام هوایی در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (جدول ۳)، به طوری که میزان قند محلول در شرایط تنش شدید (۸۰ میلی مولار) و استفاده از متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار) به $11/78 \text{ mg L}^{-1}$ رسید (جدول ۵). همچنین در شرایط تنش شوری ۸۰ میلی مولار و براسینو استروئید ۳ میکرو مولار میزان این صفت به $11/69 \text{ mg L}^{-1}$ رسید و این در حالی است که در شرایط بدون تنش شوری و عدم استفاده از براسینو استروئید کمترین مقدار آن ($10/63 \text{ mg L}^{-1}$) حاصل شد (جدول ۶). اثر دوگانه متیل جاسمونات × اپی براسینو استروئید و سه گانه (شوری × متیل جاسمونات × اپی براسینو استروئید) معنی دار نگردید (جدول ۳). قند محلول با پارامترهای دیگری نظیر قند نامحلول دارای ضریب همبستگی منفی و معنی دار در سطح ۵ درصد بود (جدول ۹).

نتایج بررسی نشان داد که از نظر قند نامحلول اندام هوایی بین سطوح مختلف تنش شوری، متیل جاسمونات و ۲۴- اپی براسینواستروئید تفاوت معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). بر اساس یافته‌های تحقیق تنها اثر متقابل شوری \times اپی براسینواستروئید بر صفت مورد اشاره معنی دار گردید (جدول ۳). به طوری که بیشترین میزان قند نامحلول اندام هوایی (mg L^{-1} ۵/۳۴) در شرایط عدم اعمال شوری و براسینواستروئید ۱/۵ و ۳ میکرو مولار حاصل گردید که هر دو در گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۶). قند نامحلول اندام هوایی با صفات دیگری نظیر قند محلول آندام هوایی (۰/۳۵-) و فلاونوئید اندام هوایی (۰/۵۲-) ضریب همبستگی منفی و معنی دار داشت (جدول ۹).

گزارش شده است که تنش شوری و به دنبال آن خشکی علت بسیاری از تغییرات در مقدار کربوهیدرات‌های گیاهی است و آشکار شده است که با افزایش تنش در برگ‌ها مقدار قند نامحلول کاهش می‌یابد (Caruso *et al.*, 1999). بر طبق نتایج بدست آمده در خردل سیاه تحت تنش شوری، میزان قند محلول افزایش و قند نامحلول

کاهش یافت که با نتایج Baghizadeh *et al.* (2009) در گیاه بامیه، Tasgin *et al.* (2006) در گندم و سلیمی و همکاران (۱۳۹۳) در گیاه بابونه مطابقت دارد. کاربرد متیل جاسمونات در هنگام تنش با تحریک فعالیت آنزیم‌های تولید کننده محلول‌های سازگار در تحمل شرایط تنش مؤثر بوده است (Fedina & Benderlire, 2000). نتایج نشان می‌دهد گیاه خردل سیاه تحت تیمار اپی براسینواستروئید در شرایط شوری میزان قند محلول اندام هوایی افزایش یافت و نیز سبب افزایش قند نامحلول در ریشه و برگ شد. در گیاه کلزا (احمدی موسوی و همکاران، ۱۳۸۴)، چغندر قند (Schilling *et al.*, 2011)، گندم (Sairam, 2014) و اکالیپتوس (Sam *et al.*, 2015) نیز در زمان افزایش میزان شوری و خشکی، بکاربردن برازینواستروئید سبب افزایش قند و مقاومت گیاه در برابر تنش گردید.

پرولین اندام هوایی

نتایج بررسی نشان داد که از نظر پرولین اندام هوایی، بین سطوح مختلف تنش شوری، متیل

فلفل (Sayed, 2012) با افزایش سطح تنش شوری، غلظت پرولین هم در شاخه‌ها و هم در ریشه‌ها افزایش یافت. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد متیل جاسمونات در سطوح مختلف تنش شوری، سبب افزایش مقاومت با القای آنزیم سنتزکننده‌ی پرولین (فعالیت آنزیم‌های پرولین ۵-کربوکسیلیک اسید سنتتاز و پرولین ۵-کربوکسیلیک اسید ردوکتاز)، باعث افزایش تولید پرولین می‌گردد (جدول ۴)، که این امر سبب فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی در گیاه می‌شود (Piotrowska *et al.*, 2009). طبق نتایج Fedina & Fenderliev (2000) کاربرد متیل جاسمونات در هنگام تنش‌های مختلف از جمله شوری و ایجاد خشکی فیزیولوژیکی در گندم سبب افزایش مقاومت با القای آنزیم سنتزکننده‌ی پرولین می‌گردد. تجمع پرولین در سلول بر اثر استفاده از برازینواستروئید به دلیل تأثیر افزایش این فیتوهورمون بر آنزیم‌های دلتا-۱-پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) و پرولین ۵-کربوکسیل استازردوکتاز (P5CR) می‌باشد. در آزمایشات Li *et al* (2010) در گیاه ذرت، Vardhini & Rao (2003) در گیاه سورگوم

جاسمونات و ۲۴-پی برازینواستروئید تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل شوری × متیل جاسمونات نیز در سطح آمار ۱ درصد دارای معنی‌دار گردید (جدول ۳). به طوری که بیشترین میزان پرولین اندام هوایی در شرایط شوری ۸۰ میلی مولار و ۷۵ میکرومولار متیل جاسمونات ($\mu\text{mol L}^{-1}$) حاصل گردید. اثر متقابل دوگانه تنش شوری × براسینواستروئید و جاسمونات × پی براسینواستروئید و سه گانه (شوری × متیل جاسمونات × پی براسینواستروئید) نیز بر پرولین اندام هوایی معنی‌دار نشد (جدول ۳). اثر متقابل پرولین اندام هوایی با پارامترهای دیگر نظیر پروتئین کل، قند محلول دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد (جدول ۹)، به طوری که با افزایش پرولین اندام هوایی صفات مذکور افزایش می‌یابد.

خردل سیاه تحت تنش شوری با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی (پرولین، قندهای محلول) با تنش شوری مقابله کرد (جدول ۴). در تعدادی از ژنوتیپ‌های جو (Sing *et al.*, 2003)، در گوجه فرنگی (Taylor *et al.*, 2012) و همچنین

سطح ۱ درصد (جدول ۹). بالاترین ضریب همبستگی میزان فلاونوئید اندام هوایی نیز با قند محلول اندام هوایی (۰/۸۴) مشاهده شد (جدول ۹).

نتایج بررسی نشان داد که از نظر آنتوسیانین اندام هوایی بین سطوح مختلف تنش شوری، متیل جاسمونات و ۲۴-اپی براسینواستروئید و تمامی اثرات متقابل عوامل آزمایشی تفاوت معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). بر این اساس استفاده از متیل جاسمونات (۷۵ میکرو مولار) و براسینواستروئید (۳ میکرومولار) در غلظت شوری ۸۰ میلی مولار، بیشترین غلظت آنتوسیانین اندام هوایی ($\text{Obsarbandce gFW}^{-1}$) (۱/۳۶^۱) حاصل شد (جدول ۸). آنتوسیانین اندام هوایی با پارامترهای دیگر نظیر پرولین اندام هوایی (۰/۷۹) و قند محلول اندام هوایی (۰/۷۳)، همبستگی مثبت و معنی دار در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۹). نتایج بررسی نشان داد که اثر اصلی عوامل آزمایشی بر فنل اندام هوایی در سطح یک درصد مشاهده بود و بجز اثر متقابل شوری و جاسمونات، سایر اثرات متقابل دو و سه گانه عوامل آزمایشی بر صفت مورد اشاره نیز در

تأثیر مثبت استفاده از براسینواستروئید بر روی تجمع مواد محلول سازگار کننده‌ی اسمزی و میزان پرولین در طی تنش نشان داده شده است.

فلاونوئید، آنتوسیانین و فنل اندام هوایی

یافته‌های تحقیق تأیید نمود که از نظر فلاونوئید اندام هوایی بین سطوح مختلف تنش شوری، متیل جاسمونات و اپی براسینواستروئید تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. اثرات متقابل دو گانه شوری و متیل جاسمونات و متیل جاسمونات با براسینواستروئید نیز معنی‌دار گردید (جدول ۳)، به طوری که بر اثر استفاده از متیل جاسمونات (۷۵ میکرو مولار) و براسینواستروئید (۳ میکرومولار) غلظت فلاونوئید به بیشترین مقدار خود ($\text{Obsarbandce gFW}^{-1}$) (۱/۳۹) رسید. تنش شوری شدید ۸۰ میلی مولار و محلول پاشی ۳ میکرومولار براسینواستروئید نیز منجر به بالاترین فلاونوئید اندام هوایی ($\text{Obsarbandce gFW}^{-1}$) (۱/۷۷) گردید (جدول ۶ و ۷). فلاونوئید اندام هوایی با پارامترهای دیگر نظیر پروتئین، قند محلول، آنتوسیانین و فنولی دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی دار در

داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تیمار با متیل جاسمونات موجب تجمع آنتوسیانین در غدد سیب زمینی (Basilio & Cisneros - Zarallos, 2009)، سلول‌های اپیدرمی برگ آرابیدو سیس (Jung, 2004) و سویا (کرامت و دانشمند، ۱۳۹۱) شده است. کاربرد خارجی برازینواستروئید می‌تواند فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مقابله‌کننده با تنش اکسیداتیو مثل آنتوسیانین، فلاونوئید و ترکیبات فنولی را افزایش دهد. در گیاه ذرت در مرحله جوانه زنی (Li et al., 2012; Amandeep et al., 2008; al., سورگوم (Vardnini & Rao, 2003)، باقلا (Julie et al., 2011)، کلزا (Fariduddi et al., 2014)، انگور (Nazari & Seif et al., 2014) و نخود (Nazari & Seif et al., 2014) نیز نتایج مشابه مشاهده گردید.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از تمامی مدیران و هم‌چنین مسئولین محترم آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان که کلیه امکانات لازم برای انجام این پژوهش را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌شود.

سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). به طوری که در شرایط تنش ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم و استفاده از براسینواستروئید (۳ میکرو مولار) و متیل جاسمونات (۷۵ میکرومولار) ترکیبات فنلی اندام هوایی به بیشترین مقدار خود ($1/30 \text{ mg gFW}^{-1}$) رسید (جدول ۸). بالاترین ضریب همبستگی میزان فنل اندام هوایی با $0/73$ به قند محلول اندام هوایی و فلاونوئید اندام هوایی اختصاص داشت (جدول ۹). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که در شرایط یکسان با افزایش میزان سدیم در گیاه خردل سیاه تحت تنش شوری میزان فنول، فلاونوئید، آنتوسیانین افزایش یافت. متابولیت‌هایی مانند کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و آسکوربات با جاروب کردن رادیکال‌های آزاد موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Schaller & Kieber, 2012). در گزارشاتی که توسط Basilio & Cisneros-Zavallos (2009) ارائه شده است، کاربرد متیل جاسمونات مقدار ترکیبات فنلی، فلاونوئید و آنتوسیانین را در برخی از گیاهان نظیر سیب زمینی، سیب قرمز، مارپوبه و لوبیا سبز افزایش

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تنش شوری، جاسمونات و برازینواستروئید بر صفات مورد آزمون

میانگین مربعات								منابع تغییرات
ترکیبات فنول اندام هوایی	فلاونوئید اندام هوایی	آنتوسیانین اندام هوایی	پرولین اندام هوایی	قند محلول اندام هوایی	قند نامحلول اندام هوایی	پروتئین اندام هوایی	درجه آزادی	
۱/۴۹**	۴/۹۶**	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۴/۶۴**	۴/۵۵**	۰/۶۹**	۲	Salt
۱/۷۱**	۰/۳**	۱/۴۴**	۰/۷۹**	۱/۴۳**	۰/۷۵**	۲/۲۰**	۱	Ja
۱/۰۵**	۰/۶۱**	۰/۹۶**	۱/۹۲**	۰/۲۸**	۰/۳۸**	۲/۶۶**	۲	Br
۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۳۰**	۰/۱۱**	۰/۳۵**	۰/۰۲	۰/۰۸**	۲	Sa × Ja
۰/۱۷**	۰/۰۳*	۰/۳۰**	۰/۰۳	۰/۰۳**	۰/۱۱**	۰/۰۴*	۴	Sa × Br
۰/۳۶**	۰/۰۴**	۰/۱۲**	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۵*	۲	Ja × Br
۰/۱۴**	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۷**	۴	Sa × Ja × Br
۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱۳	۵۴	خطا
۷/۱۴	۸/۴۳	۹/۹۹	۱/۱۵	۰/۶۷	۲/۱۶	۰/۰۱		ضریب تغییرات (درصد)

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تنش شوری، جاسمونات و برازینواستروئید بر صفات مورد آزمون

ترکیبات فنول اندام هوایی mg gFW ⁻¹	فلاونوئید اندام هوایی Obsarbnace gFW ⁻¹	آنتوسیانین اندام هوایی Obsarbnace gFW ⁻¹	پرولین اندام هوایی μmol L ⁻¹	قند محلول اندام هوایی mg L ⁻¹	قند نامحلول اندام هوایی mg L ⁻¹	پروتئین اندام هوایی mg L ⁻¹	منابع تغییرات
۰/۳۰C	۰/۶۹C	۰/۶۴C	۹/۷۷C	۱۰/۷۰C	۵/۱۴A	۱۱/۵۳A	شوری 0mM
۰/۵۵B	۱/۱۳B	۰/۷۷B	۱۰/۰۴B	۱۰/۷۹B	۴/۵۰B	۱۱/۳۵B	40mM
۰/۸۰A	۱/۶۲C	۰/۹۹A	۱۰/۱۱C	۱۱/۵۰A	۴/۳۱C	۱۱/۱۹C	80mM
۰/۳۹B	۱/۰۹B	۰/۶۶B	۹/۸۷B	۱۰/۸۵B	۴/۵۵B	۱۱/۱۸B	متیل جاسمونات 0μM
۰/۷۰A	۱/۲۰A	۰/۹۴A	۱۰/۰۸A	۱۱/۱۴A	۴/۷۵A	۱۱/۵۳A	75μM
۰/۳۱C	۰/۹۷C	۰/۶۳C	۹/۷۸C	۱۰/۹۰C	۴/۳۸C	۱۱/۰۲C	برازینواستروئید 0μM
۰/۶۳B	۱/۱۷B	۰/۷۵B	۹/۹۲B	۱۰/۹۸B	۴/۷۳B	۱۱/۳۵B	1.5μM
۰/۷۱A	۱/۲۹A	۱/۰۲A	۱۰/۲۲A	۱۱/۱۱A	۴/۸۴A	۱۱/۶۹A	3μM

حروف مشابه در هر ستون و برای هر عامل بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می باشند

جدول ۵ - مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش شوری و متیل جاسمونات بر صفات مورد آزمون

ترکیبات فنول اندام هوایی mg gFW ⁻¹	فلاونوئید اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	آنتوسیانین اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	پرولین اندام هوایی μmol L ⁻¹	قند محلول اندام هوایی mg L ⁻¹	قند نامحلول اندام هوایی mg L ⁻¹	پروتئین اندام هوایی mg L ⁻¹	
Sa×Ja							
۰/۱۶D	۰/۶۳C	۰/۵۶C	۹/۶۶D	۱۰/۶۵D	۵/۰۶A	۱۱/۳۷B	Sa0mM×Ja0μM
۰/۴۴C	۰/۷۶C	۰/۷۱Bc	۹/۹۹C	۱۰/۷۴D	۵/۳۱A	۱۱/۶۸A	Sa0mM×Ja75μM
۰/۴۰C	۱/۱۰B	۰/۷۰BC	۱۰/۰۱BC	۱۰/۶۹D	۴/۴۰B	۱۱/۲۲B	Sa40mM×Ja0μM
۰/۷۰B	۱/۱۷B	۰/۸۵B	۱۰/۰۸B	۱۰/۸۹C	۴/۶۰B	۱۱/۴۹Ab	Sa40mM×Ja75μM
۰/۶۲BC	۱/۵۴A	۰/۷۲BC	۹/۹۴BC	۱۱/۲۲B	۴/۱۷C	۱۰/۹۵C	Sa80mM×Ja0μM
۰/۹۸A	۱/۶۷A	۱/۲۶A	۱۰/۲۸A	۱۱/۷۸A	۴/۴۴B	۱۱/۴۳Ab	Sa80mM×Ja75μM

جدول ۶ - مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش شوری و برازینواستروئید بر صفات مورد آزمون

ترکیبات فنول اندام هوایی mg gFW ⁻¹	فلاونوئید اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	آنتوسیانین اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	پرولین اندام هوایی μmol L ⁻¹	قند محلول اندام هوایی mg L ⁻¹	قند نامحلول اندام هوایی mg L ⁻¹	پروتئین اندام هوایی mg L ⁻¹	
Sa×Br							
۰/۲۱E	۰/۴۹G	۰/۴۳C	۹/۵۱D	۱۰/۶۳D	۴/۷۴B	۱۱/۱۸C	Sa0mM×Br0μM
۰/۲۸DE	۰/۷۰F	۰/۵۷BC	۹/۷۵C	۱۰/۶۹CD	۵/۳۴A	۱۱/۵۹AB	Sa0mM×Br1.5μM
۰/۴۱C-E	۰/۹۰E	۰/۹۰A	۱۰/۰۵B	۱۰/۷۶CD	۵/۳۴A	۱۱/۸۰A	Sa0mM×Br3μM
۰/۲۲E	۱/۰۱E	۰/۵۵BC	۹/۹۲BC	۱۰/۷۱CD	۴/۳۵D	۱۱/۰۶CD	Sa40mM×Br0μM
۰/۷۶B	۱/۱۷D	۰/۶۶B	۹/۹۷B	۱۰/۷۷CD	۴/۵۰C	۱۱/۲۷C	Sa40mM×Br1.5μM
۰/۶۵BC	۱/۲۰D	۱/۱۰A	۱۰/۲۳A	۱۰/۸۷C	۴/۶۶BC	۱۱/۷۳AB	Sa40mM×Br3μM
۰/۵۱CD	۱/۴۲C	۰/۹۱A	۹/۹۲BC	۱۱/۳۴B	۴/۰۵E	۱۰/۸۴D	Sa80mM×Br0μM
۰/۸۳AB	۱/۶۳D	۱/۰۲A	۱۰/۰۵B	۱۱/۴۷B	۴/۳۴D	۱۱/۱۹C	Sa80mM×Br1.5μM
۱/۰۶A	۱/۷۷A	۱/۰۶A	۱۰/۳۷A	۱۱/۶۹A	۴/۵۲C	۱۱/۵۳B	Sa80mM×Br3μM

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۷ - مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش متیل جاسمونات و برازینواستروئید بر صفات مورد آزمون

ترکیبات فنول اندام هوایی mg gFW ⁻¹	فلاونوئید اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	آنتوسیانین اندام هوایی Obsarbance gFW ⁻¹	پرولین اندام هوایی μmol L ⁻¹	قند محلول اندام هوایی mg L ⁻¹	قند نامحلول اندام هوایی mg L ⁻¹	پروتئین اندام هوایی mg L ⁻¹	
Ja×Br							
۰/۱۷D	۰/۹۳B	۰/۵۲D	۹/۶۶E	۱۰/۷۵B	۴/۲۶C	۱۰/۸۶D	Ja0mM×Br0μM
۰/۵۹BC	۱/۱۴AB	۰/۶۰CD	۹/۸۲DE	۱۰/۸۵B	۴/۶۵AB	۱۱/۲۱C	Ja0mM×Br1.5μM
۰/۴۲C	۱/۱۹AB	۰/۸۶B	۱۰/۱۲B	۱۰/۹۶B	۴/۷۲AB	۱۱/۶۷B	Ja0mM×Br3μM
۰/۴۵BC	۱/۰۱B	۰/۷۴BC	۹/۹۰CD	۱۱/۰۴B	۴/۴۹BC	۱۱/۱۹C	Ja75mM×Br0μM
۰/۶۶B	۱/۱۹AB	۰/۹۰B	۱۰/۰۲BC	۱۱/۱۰AB	۴/۸۰AB	۱۱/۴۹B	Ja75mM×Br1.5μM
۰/۹۹A	۱/۳۹A	۱/۱۹A	۱۰/۳۲A	۱۱/۲۶A	۴/۹۶A	۱۱/۹۱A	Ja75mM×Br3μM

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تنش شوری × جاسمونات × برازینواستروئید بر صفات مورد آزمون

پروتئین اندام هوایی	قند نامحلول اندام هوایی	قند محلول اندام هوایی	پرولین اندام هوایی	آنتوسیانین اندام هوایی	فلاونوئید اندام هوایی	فنول اندام هوایی	
mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	μmol L ⁻¹	Obsorbance gFW ⁻¹	Obsorbance gFW ⁻¹	mg gFW ⁻¹	
۱۱/۰۳G	۴/۶۱De	۱۰/۵۷L	۹/۳۲K	۰/۴۰K	۰/۴۳J	۰/۱۴F	Sa0mM×Br0μM ×Ja0mM
۱۱/۴۵De	۵/۳۴Ab	۱۰/۶۶j-l	۹/۶۶J	۰/۴۵j-k	۰/۷۱H	۰/۱۳F	Sa0mM×Br1.5μM ×Ja0mM
۱۱/۶۴Bc	۵/۲۵B	۱۰/۷۱h-k	۱۰-d-g	۰/۸۴D	۰/۷۷H	۰/۲۱F	Sa0mM×Br3μM ×Ja0mM
۱۱/۳۲d-f	۴/۴۷C	۱۰/۶۹i-l	۹/۶۹Ij	۰/۶۹i-k	۰/۵۵Ij	۰/۲۷F	Sa0mM×Br0μM ×Ja75mM
۱۱/۷۴B	۵/۳۴Ab	۱۰/۷۲h-k	۸/۸۳g-i	۰/۷۰e-g	۰/۶۹Hi	۰/۴۲E	Sa0mM×Br1.5μM ×Ja75mM
۱۱/۹۷A	۵/۴۳A	۱۰/۸۲Hg	۱۰/۱b-e	۰/۹۷C	۱/۰۵G	۰/۶۲D	Sa0mM×Br3μM ×Ja75mM
۱۰/۹۰G	۴/۲۶h-j	۱۰/۶۲Kl	۹/۸۹f-h	۰/۵۲h-j	۱G	۰/۱۶F	Sa40mM×Br0μM ×Ja0mM
۱۱/۲۸Ef	۴/۳۸Gh	۱۰/۶۷i-l	۹/۹۴e-h	۰/۵۹Eg	۱/۱۴Fg	۰/۷۹C	Sa40mM×Br1.5μM ×Ja0mM
۱۱/۴۷Cd	۴/۵۷Ef	۱۰/۷۶h-j	۱۰/۱۹Bc	۰/۹۸C	۱/۱۵Fg	۰/۲۵F	Sa40mM×Br3μM ×Ja0mM
۱۱/۲۱F	۴/۴۴Fg	۱۰/۸۰h-g	۹/۹۵e-h	۰/۵۸Hi	۱/۰۲G	۰/۲۸F	Sa40mM×Br0μM ×Ja75mM
۱۱/۲۵Cd	۴/۶۲De	۱۰/۸۸Fg	۱۰-d-g	۰/۷۰Df	۱/۲۰F	۰/۷۴Cd	Sa40mM×Br1.5μM ×Ja75mM
۱۲A	۴/۴۵Cd	۱۰/۹۸Ef	۱۰/۲۸B	۱/۲۳B	۱/۲۴F	۱/۰۵B	Sa40mM×Br3μM ×Ja75mM
۱۰/۶۶H	۳/۹۳K	۱۱/۵۰E	۹/۷۸h-j	۰/۶۴f-h	۱/۳۷De	۰/۳۲F	Sa80mM×Br0μM ×Ja0mM
۱۰/۹۱G	۴/۳۳Ji	۱۱/۲۲D	۹/۸۷g-i	۰/۷۸De	۱/۶۰Bc	۰/۸۳C	Sa80mM×Br1.5μM ×Ja0mM
۱۱/۲۸Ef	۴/۳۶g-i	۱۱/۳۹C	۱۰/۱۸b-d	۰/۷۶d-f	۱/۶۶B	۰/۸۱C	Sa80mM×Br3μM ×Ja0mM
۱۱/۰۲G	۴/۱۵J	۱۱/۶۳B	۱۰/۰۶c-f	۱/۱۸B	۱/۴۷Cd	۰/۷۹C	Sa80mM×Br0μM ×Ja75mM
۱۱/۴۸Cd	۴/۴۵Fg	۱۱/۷۲B	۱۰/۲۲Bc	۱/۲۶Ab	۱/۶۶B	۰/۸۳C	Sa80mM×Br1.5μM ×Ja75mM
۱۱/۷۸B	۴/۶۹De	۱۱/۹۸A	۱۰/۵۶A	۱/۳۶A	۱/۸۹A	۱/۳۰A	Sa80mM×Br3μM ×Ja75mM

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می باشد.

جدول ۹- ضرایب همبستگی پیرسون صفات مورد اندازه گیری گیاه خردل سیاه در سطوح مختلف تنش شوری، متیل جاسمونات و اپی براسینواستروئید

صفت	پروتئین اندام هوایی	قند نامحلول اندام هوایی	محلول اندام هوایی	پرولین اندام هوایی	آنتوسیانین اندام هوایی	فلاونوئید اندام هوایی	ترکیبات فنول اندام هوایی
پروتئین اندام هوایی	۱						
قند نامحلول اندام هوایی	۰/۷۲***	۱					
قند محلول اندام هوایی	۰/۰۵	-۰/۳۵*	۱				
پرولین اندام هوایی	۰/۴۶***	-۰/۰۶	۰/۶۲***	۱			
آنتوسیانین اندام هوایی	۰/۴۵***	-۰/۰۴	۰/۷۳***	۰/۷۹***	۱		
فلاونوئید اندام هوایی	-۰/۰۵	-۰/۵۲***	۰/۸۴***	۰/۷۵***	۰/۶۷***	۱	
ترکیبات فنول اندام هوایی	۰/۳۵*	-۰/۱۵	۰/۷۳***	۰/۶۶***	۰/۷۱***	۰/۷۳***	۱

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشند.

سویا *Glycine max* L. فرآیند و کارکرد گیاهی.

۱ (۱): ۲۶-۳۸.

Abd El-Monem M. I., I. F. Sharaf, and R. S. Mahmoud. 2009. Role of gibberellic acid in abolishing the detrimental effects of Cd and Pb on broad bean and lupin plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 5(5): 668-673.

Amandeep, R., N. Kapoor, & R. Bhardwaj. 2014. Role of Brassinosteroids in osmolytes accumulation under salinity stress in *Zea mays* plants. *Intl. J. of Science and Research (IJSR)*. 3 (9): 1822-1827.

Amini, F. & A.A. Ehsanpour. 2009. Expression pattern analysis of TomPRO2 and LaPALgenes in tomato under in vitrosalt stress by Semi-quantitative RT-PCR. *International Journal of Plant Production*. 3 (2): 69-76.

Asgaria, H.R., W. Cornelisb, and P. Van Damme, 2012, Salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and leaf ion concentrations. *International Journal of Plant Production*. 6 (2): 195-208.

منابع

احمدی موسوی، ع.، خ. منوچهری کلانتری، و م. ترک زاده. ۱۳۸۴. اثر نوعی براسینواستروئید (24-epibrassinolide) بر تجمع مالون دی آلدئید، پرولین، قند رونگیزه-های فتوسنتزی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تنش کم آبی. *مجله زیست شناسی*. ۱۸: ۲۹۵-۳۰۶.

امیدبیدی، ر. ۱۳۹۰. رهیافته‌های تولید و فراورده‌های گیاهان دارویی. انتشارات طراحان نشر. ۲ (۷): ۱۸۸.

سلیمی، ف. ف. شکاری و ج. حمزه ئی. ۱۳۹۳. تأثیر تنش شوری و محلول پاشی متیل جاسمونات بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه ای، کارایی مصرف آب و عملکرد بابونه آلمانی. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۲ (۲): ۳۳۴-۳۲۸.

کرامت، ب. و ف. دانشمند، ۱۳۹۱. نقش دوگانه متیل جاسمونات بر عملکرد فیزیولوژیک در گیاه

- Caruso, E., G. Chilosi, C. Caporale, L. Leonardo, L. Bertini, P. Margo and V. Bunonocore.** 1999. Induction of pathogenesis-related proteins in germination wheat seeds infected with *Fusarium culmorum*. *Plant Sci.* 140: 87-97.
- Dhaubhadel, S., K. S. Browning, D.R. Gallie and P. Krishna.** 2008. Brassinosteroid functions to protect the translational machinery and heat-shock protein synthesis following thermal stress. *Plant.* 29: 681-691
- Fariduddin, Q., M. Yusuf, M. Begum and A. Ahmad.** 2014, 28-homobrassinolide Protects Photosynthetic Machinery in Indian mustard Under High Temperature Stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry.* 10 (1): 181-194
- Farmer, E.E., E. Almeras, and V. Krishnamurthy.** 2012. Jasmonates and related oxylipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6, 372-378
- Fedina, I.S. and K.M. Benderliev.** 2000. Response of *Secedemus incrassatulus* to salt stress as affected by methyl jasmonate. *Biologia Plantarum.* 43(4): 625-627.
- Baghizadeh, A., M. Ghorbanli, H.M. Rezaei, and H. Mozafri,** 2009. Evaluation of Interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on some of physiological and Biochemical parameters in okra (*Hibiscus esculentus* L.). *Journal Biological sciences.* 4 (4): 380-387.
- Basilio Heredia, J. and L. Luis Cisneros-Zevallos.** 2009. The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry.* 115: 1500-1508.
- Bates, L., R.P. Waldern, and I.D. Teare.** 1973. Rapid determination of free Praline for water stress Study. *Plant and Soil.* pp: 205-207
- Behnamnia, M., Kh. M. Kalantari and F. Rezanejad.** 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidativestress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and Applied Plant Physiology.* 35 (1-2): 22-34.
- Bradford, M.M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254.

- Li, K.R., H.H. Wang., G. Han., Q. J. Wang. and J. Fan.** 2008. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. *New Forests*. 35: 255-266.
- Li, K.R., H.H. Wang., G. Han., Q. J. Wang. and J. Fan.** 2008. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. *New Forests*. 35: 255-266.
- Mandava, B.N., J.M. Sasse and J.H. Yopp.** 2008. Brassinolide, a growth promoting steroidal lactone.2. Activity in selected gibberellin and cytokinin bioassays. *Physiol. Plant*. 53: 453–461.
- Matta, A.J. and I. Giai.** 1969. Accumulation of phenol in tomato plant in effected by different forms of *Fusarium oxysporum*. *Planta* , 50(1): 512-513.
- Nazari, J. and S.J. Tabatabaie.** 2011. Influence of nutrient concentration and NaCl salinity on growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turk J Agric*. 31: 245-53.
- Nogues, S. and N.R. Baker.** 2000. Effects of drought on photosynthesis in
- Julie, C., L. Fanny, D. Benoit, and Maria-Grazia, M.** 2011, 24-Epibrassinolide, a Phytosterol from the Brassinosteroid Family, Protects Dopaminergic Cells against MPP+-Induced Oxidative Stress and Apoptosis. *Journal of Toxicology*. Article ID 392859, 13.
- Jung, S.** 2004. Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. *Journal of Plant physiology and Biochemistry*. 42: 231-255.
- Khripach, V., Zh. Vladimir and G. Aede.** 2000. Twenty years of brassinosteroidal plant hormones Warrent Better Crops for the XXI century. *Annals of Botany*. 80: 441-447.
- Khripach, V.aA., V.N. Zhabinskii and A.E. Groot.** 2008. Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones . Academic press. United States of America. 460 pages .
- Kochert, G.** 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method .In: Helebust.J.A.Craig J.s.(ed): Hand book of phycological Method 56-97. Cambridge Univ. Press. Cambridge.

- Sayed, H.** 2012. Proline metabolism during water stress in sweet pepper (*Capsicum annum* L.) Plant Physiology, 32:255-261.
- Schaller, G. and J. Kiebe.** 2012. Ethylene. Amer. Soc. Plant Biologists, 1-17.
- Schilling, G., C. Schiller, and S. Otto.** 2011. Influence of brassinosteroids on organ relation and enzyme activities of sugar beet plants. In: Cultler HG, Yokota T, Adam G (eds) Brassinosteroids—chemistry bioactivity and application. ACS symposium series, American chemical society, Washington, DC, pp 208–219.
- Seif, N., E. Tafazzoli, A.R. Talaii, V. Aboutalebi and A. Abdosi.** 2014. Evaluation of two grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) against salinity stress and surveying the effect of methyl jasmonate and epibrassinolide on alleviation the salinity stress, 2014, International Journal of Biosciences. 5(7): 116-125.
- Shah, S.H.** 2007. Effects of salt stress on mustard as affected by gibberellic acid application. Gen. Appl. Plant physiology. 33(1-2): 97-106.
- Mediterranean plants grown under enhanced UV_B radiation. *Journal of Experimental botany*, 51 (348): 1309-1317.
- Piotrowska, A., A. Bajguz, B. GodlewskaZylkiewicz, and R. Czerpak.** 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant Lemnaceae (*Wolffia arrhiza*). Environmental and Experimental Botany. 66: 507-513.
- Ram Rao Seeta, S., B. Vidya Vardhini, E. Sujatha, S. and Anuradha.** 2002. Brassinosteroids- a new class of phytohormones *Current science*. CURRENT SCIENCE. 82: 1239-1245.
- Sairam, R.K.** 2004. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture stress conditions of two wheat varieties. Plant Growth Regulation 14:173-181.
- Sam, O., M.C. Nunez, M.C. Ruiz-Sanchez, J. Dell'Amico, V. Falcon, M.C. Dela Rosa and J. Seoane.** 2001. Effect of a brassinosteroid analogue and high temperature stress on leaf ultrastructure of *Lycopersicon esculentum*. Biol. Plant. 44(2): 213-218.

- seedlings. *Journal American Horticulture Sciences*. 93:701-783.
- Vardhini, B.V. and S.S.R. Rao.** 2003, Amelioration of water stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regul.* 41: 25–31.
- Wang, D., M. C. Shannon, and Grieve, C. M.** 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research* 69: 267-277.
- Wang, M., Sh. Sun, Wu, Cunxiang, Tianfu, and H. Qingyu,** 2014 Isolation and Characterization of the Brassinosteroid Receptor Gene (GmBRI1) from Glycine max. *International Journal of Molecular Sciences*. 15: 3871-3888.
- 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.
- Shahin, M.F.M., M.I.F. Fawzi and E.A. kandil.** 2010. Influence of foliar application of some nutrient (*Fertifol Misr*) and gibberellic acid on fruit set, yield, fruit quality and leaf composition of “Anna” Apple trees grown in sandy soil. *Journal of American Science*. 6(12): 202-208.
- Sing, T. N., L.G. Paleg, and D. Aspinol.** 2003. Stress metabolism. III variation in response to water deficit in the barley plant. *Australian Journal Biological Sciences*. 26: 55-76.
- Tani, T., H. Sobajima, K. Okada, T. Chujo, Sh. Arimura, N. Tsutsumi, M. Nishimura, H. Seto, H. Nojiri, H. and Yamane.** 2008. Identification of the OsOPR7 gene encoding 12-oxophytodienoate reductase involved in the biosynthesis of jasmonic acid in rice. *227(3): 517-526.*
- Tasgin, E., O. Atici, and B. Nalbantoglu.** 2006. Effects of salicylic acid and cold on freezing. Tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation*. 41:231-236.
- Taylor, A.G., J.E. Motes, and M.B. Kirham.** 2012. Osmotic regulation in gerulation in germinationg tomato

Effect of methyl jasmonate and 24-epi-brassinosteroids foliar application on protein, sugars, anthocyanin, phenol and flavonoid content of black mustard (*Brassica nigra* L.) Under salinity conditions

H. Rezaei¹, S. Saeedi-Sar^{2*}, M. Ebadi¹, H. Abbaspoor¹

1- Department of Plant Physiology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2-Department of Agriculture, Dr. Shariaty Technical College, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

Abstract

In order to study the effect of methyl jasmonate and 24-epi-brassinosteroid foliar application on protein, sugars, anthocyanin, phenol and flavonoid content of black mustard (*Brassica nigra* L.) under salinity conditions, the experiment was performed under hydroponics conditions, as factorial, based on completely randomized design with four replications. So that four weeks after germination, the plants were treated by different concentrations of sodium chloride (0, 40 and 80 mM), methyl jasmonate (0 and 75 μM) and 24-epi-brassinolide (0, 1.5 and 3 μM). During the experiment biochemical traits such as the amount of proline, soluble sugar, non soluble sugar, total protein, phenolic compounds, flavonoids and anthocyanin were measured in aerial organs. The results indicate that in treated plants by salinity, after increasing concentration of sodium chloride, the amount of proline, soluble sugar, phenolic compounds, flavonoids and anthocyanin in aerial organs increased. Using methyl jasmonate and 24-epi-brassinolide under salinity stress conditions had a significant effect on studied traits of black mustard. Under same amount of NaCl, by increasing methyl jasmonate and 24-epibrassinolide, total protein and proline increased, so that by spraying 75 μM methyl jasmonate, proline content reached to the maximum amount in aerial organs (10.11 $\mu\text{mol L}^{-1}$). By increasing 24-epi-brassinolide under same salinity conditions, the amount of phenolic compounds in aerial parts reached to 0.71 mg gFW⁻¹.

Keywords: Biochemical characters, Black mustard (*Brassica nigra* L.), Methyl jasmonate, 24-epibrassinolide

* Corresponding author (s_saeidisar@yahoo.com)