تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3770.1911

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط تنش خشکی

میررضا میری[۱]، فرشاد قوشچی[۲*]، حمیدرضا توحیدی‌مقدم[۲]، حمیدرضا لاریجانی[۲]، پورنگ کسرائی[۲]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین

۲. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تشت تبخیر
رژیم‌های آبیاری
شاخص‌های رشدی
محلول‌پاشی
نشت یونی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۰۱

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱
۱۵(۳): ۶۲۵-۶۴۰

چکیده

خشکی از مهمترین تنش‌های محدود کننده رشد و تولید در گیاهان زراعی است و استفاده از روش‌های مدیریتی برای کاهش اثرات خشکی اهمیت فراوانی دارد. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۷اجراء گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۵۰ ، ۷۰ و ۹۰ میلیمتر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و سه مقدار گلایسین بتائین (عدم محلول‌پاشی، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار در لیتر) و سه مقدار اسید جیبرلیک (عدم محلول‌پاشی، ۶۰ و ۱۲۰ پی‌پی‌ام) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رژیم آبیاری، گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش خشکی اکثر صفات مورد بررسی کاهش یافتند در حالی که میزان نشت یونی به طور معنی‌داری افزایش یافت. با این وجود، کاربرد خارجی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک باعث افزایش تمامی صفات تحت شرایط تنش خشکی گردید. به نظر می‌رسد که گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک با کاهش اثرات سو تنش موجب بهبود شاخص‌های رشدی لوبیا چشم بلبلی گردید. بنابراین کاربرد خارجی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک می‌تواند به عنوان روشی مفید در جهت بهبود تحمل به تنش خشکی لوبیا چشم بلبلی بکار گرفته شود. همچنین نتایج نشان داد که غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین و ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک نسبت بـه سایر سطوح از کارآیی بهتری برخوردار بود و باعث تحمل بیشتر لوبیا چشم بلبلی در برابر تنش خشکی می‌شود..

مقدمه

حبوبات به‌عنوان عمده‌ترین منبع پروتئین گیاهی و دومین منبع غذایی انسان پس از غلات به شمار می‌آیند (Davoodi et al., 2018). لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات باارزش غذایی بالا و دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین و ۵۵ تا ۶۰ درصد کربوهیدرات است (Majnoon Hosseini, 2008). شاخ و برگ این گیاه برای غذای دام مورداستفاده قرار می‌گیرد و به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن در خاک، برای رشد به خاک حاصلخیز نیازی ندارد.

گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی زیادی مواجه می‌شوند که هر یک از این تنش‌ها می‌توانند با توجه به مرحله رشد و میزان حساسیت گونه گیاهی آثار متفاوتی بر نمو، رشد و عملکرد آن‌ها داشته باشند و سبب تغییرات مولکولی، بیوشیمیایی، متابولیکی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متعددی در آن‌ها شوند که این امر موجب افت شدید در رشد گیاه و درنتیجه کاهش محصول می‌شود (Moghaddam et al., 2015). پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی متفاوت است. همچنین توانایی گیاهان برای سازش

* نگارنده پاسخگو: فرشاد قوشچی. پست الکترونیک: far.ghooshchi@gmail.com

به تنش‌های محیطی به نوع، شدت و مدت تنش، زمان وقوع، مرحله رشد و گونه گیاهی بستگی دارد (Mirfattah et al., 2009). خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده ایجادکننده خسارت بالا در گیاهان و به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور محدودکننده رشد و تولید شناخته شده است (Farooq et al., 2008). کشور ما دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است (Dahmardeh et al., 2018) و کمبود آب یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است، لذا هرگونه تحقیق در مورد رژیم آبیاری و بررسی روش‌های کاهش اثرات سوء تنش خشکی و کم‌آبی دارای اهمیت است. گیاهان برای کاهش اثر سوء تنش خشکی از مکانیسم‌های متابولیسمی مختلفی استفاده می‌کنند (Pérez-Clemente et al., 2013). تجمع محلول‌های سازگار کننده از طریق جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌های غشاء و با کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن و نیز با حفاظت از پروتئین‌های غشاء، به سلامت و یکپارچگی غشاء کمک نموده و باعث افزایش تحمل به تنش خشکی گیاهان می‌شوند (Zhang et al., 2008).

گلایسین بتائین یکی از معمول‌ترین و متداول‌ترین ترکیبات آمونیومی چهارگانه در گیاهان می‌باشند که از طریق تنظیم اسمزی سلول، حفاظت از پروتئین‌ها و غشاهای سلولی در مقابل دماهای بالا، پایداری غشا، خنثی‌سازی سمیت انواع اکسیژن فعال، کاهش آسیب سلولی و محافظت از آنزیم‌های مختلف، در شرایط تنش نقش تنظیم‌کننده اسمزی را دارد و تحمل گیاهان را به تنش افزایش می‌دهد (Ashraf and Foolad, 2007). کاربرد خارجی گلایسین بتائین به‌صورت تیمار با بذر یا محلول‌پاشی روی برگ و اندام گیاه به‌منظور افزایش تحمل به تنش در گیاهان گزارش شده است (Ashraf and Foolad, 2007). در همین راستا گزارش شده است که محلول‌پاشی گلایسین بتائین در نخود دیم سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد گردیده است (Mearaji and Hatami, 2020). محلول‌پاشی گلایسین بتائین به‌صورت استعمال خارجی سبب افزایش تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، پروتئین دانه و عملکرد دانه سویا گردید (Rezaei, 2010). تأثیر مثبت کاربرد خارجی گلایسین بتائین در گیاهان مختلف ازجمله برنج (Tisarum et al., 2019)، سورگوم (Arafa et al., 2009; Kadkhodaie et al., 2016)، کلزا (Kadkhodaie et al., 2014)، ذرت (Miri and Zamani Moghaddam, 2015)، انگور (Zamani et al., 2013) و گوجه‌فرنگی (Taghdisi Sayyar and Enteshari, 2016) نیز گزارش شده است.

یکی دیگر از مکانیسم‌های گیاهان جهت تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، تغییر در غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد است. اسید جیبرلیک یکی از هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که نقش مهمی را در رشد، نمو و پاسخ گیاهان به شرایط نامساعد محیطی ازجمله تنش خشکی ایفا می‌کند (Chehrazi et al., 2017; Ghanbari et al., 2019). اسید جیبرلیک باعث تحریک تقسیم یاخته‌ای و طویل شدن طول برگ و ساقه، افزایش توان فتوسنتزی، تحریک توسعه گل، گلدهی یکسان، افزایش اندازه و شمار گل می‌شود و با تغلیظ شیره یاخته‌ای از راه آبکافت (هیدرولیز) نشاسته به قند و افزایش کشش‌پذیری دیواره یاخته، سبب کاهش پتانسیل آب در یاخته شده و موجب ورود آب بیشتر به درون‌یاخته و درنتیجه تحمل به تنش خشکی می‌شود (Leite et al., 2003). تأثیر مثبت اسید جیبرلیک بر رشد، نمو و صفات مختلف در گیاهانی از قبیل گندم (Ashraf et al., 2002)، آویشن (Pazoki et al., 2012)، بادرشبو (Abbaspour and Rezaei, 2015)، نخود (Soltani et al., 2016)، گل میمون (Chehrazi et al., 2017)، لوبیا سفید (Abbasi et al., 2019)، کلزا (Maleki and Fathi, 2019) و ذرت (Pourgholam et al., 2019)، به اثبات رسیده است.

ازآنجایی‌که تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد محصولات به شمار می‌آید، بنابراین مطالعه روی مکانیسم‌های تحمل گیاهان به تنش خشکی ضروری است. در این میان استفاده از محلول‌های سازگار و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در کاهش اثرات مضر تنش خشکی در گیاهان می‌تواند مؤثر و سودمند باشد. لذا با توجه به اهمیت لوبیا چشم‌بلبلی ازنظر ارزش غذایی، آزمایشی با هدف بررسی تأثیر گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد این محصول در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (رقم کامران) تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح

پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه‌ای آزمایشی در شهر ری تهران با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۰۴۰ متر از سطح دریا انجام گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح (۵۰، ۷۰ و ۹۰) میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (Baraani-Dastjerdi et al., 2015) در کرت‌های اصلی و سه مقدار گلایسین بتائین (عدم محلول‌پاشی، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار در لیتر) (Iqbal et al., 2008) و سه مقدار اسید جیبرلیک (عدم محلول‌پاشی، ۶۰ و ۱۲۰ پی‌پی‌ام) (Keykha et al., 2014) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. قبل از اجرای آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری مرکب انجام گرفت و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردیدند (جدول ۱). برخی از خصوصیات آب و هوایی محل انجام آزمایش نیز در جدول ۲ ذکر گردیده است.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Some physical and chemical properties of field's soil

نوع خاک Soil type	pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی Organic C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	مس Cu	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe
		dS m^{-1}	%	----------mg kg^{-1}----------			----------ppm----------			
Loam	7.7	1. 79	1.1	5.1	6.0	452	1.0	68.7	33.16	66.3

جدول ۲. برخی از پارامترهای آب و هوایی محل انجام آزمایش در طی سال زراعی ۱۳۹۷

Table 2. Some weather parameters of the experimental site during growing season in 2018

Weather parameter	پارامتر آب و هوایی	Month ماه			
		July	August	September	October
Minimum Temperature (°C)	حداقل درجه حرارت	15.2	12.8	11.1	7.4
Maximum Temperature (°C)	حداکثر درجه حرارت	42.1	40.0	37.4	31.3
Precipitation (mm)	بارندگی	0.0	0.0	0.0	4.0

برای انجام عملیات خاک‌ورزی از گاوآهن برگرداندار سه خیش به همراه دو بار عملیات دیسک‌زنی برای از بین بردن کلوخه‌های سطحی خاک استفاده شد. پس از شخم و قبل از دیسک، کودهای موردنیاز خاک، شامل نیتروژن (۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره)، پتاسیم (۸۰ کیلوگرم پتاس خالص در هکتار از منبع سولفات پتاسیم) و فسفر (۷۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع فسفات آمونیوم) به خاک مزرعه اضافه گردید. به‌منظور یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، ماله زده شد و در زمان کشت با فاروئر جوی و پشته‌هایی به فاصله ۷۵ سانتیمتر از هم ایجاد گردید. در تاریخ ۱۴ تیرماه سال ۱۳۹۷ عملیات کاشت انجام شد. جهت کشت روی هر پشته با استفاده از فوکا شیاری به عمق ۴-۳ سانتیمتر ایجاد شد. به‌منظور اطمینان از رویش یکنواخت، بذور با تراکم زیاد درون شیار روی پشته‌ها کشت‌شده و سپس روی این بذور با مخلوط خاک نرم و ماسه پوشانده شد. این آزمایش از ۲۷ کرت تشکیل شد. هر کرت شامل ۵ خط کشت به طول ۴ متر که فاصله بین بوته‌های روی ردیف ۲۰ سانتیمتر و بین ردیف ۷۵ سانتیمتر، بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و بین کرت‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت جوی و پشته و آبیاری نشتی انجام شد. آبیاری به نحوی بود که یک روز بعد از کشت آبیاری انجام شد. از مرحله چهار برگی آبیاری‌های بعدی با توجه به تیمارهای آبیاری بر مبنای نقشه طرح و بر اساس تشت تبخیر انجام گردید. آب مورداستفاده برای آبیاری مزرعه دارای pH حدود ۷/۳ و هدایت الکتریکی آن برابر با ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. زمان اعمال تیمارهای گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک با غلظت‌های موردنظر در دو مرحله از نمو گیاه، یکی در زمان قبل از مرحله زایشی (حدوداً ۲۵ روز پس از کاشت) و دیگری پس از ورود به مرحله زایشی (حدوداً ۴۵ روز پس از کاشت) بود. انتخاب مراحل محلول‌پاشی به این دلیل بود که در طی این مرحله لوبیا چشم‌بلبلی حساسیت زیادی به تنش خشکی دارد (Turk et al., 1980) و هدف بررسی امکان کاهش اثرات تنش خشکی در ایـن مراحل بـا استفاده از گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بود. محلول‌پاشی گلایسین بتائین و

اسید جیبرلیک با کمک سم‌پاش دستی ۵ لیتری انجام شد. نحوه محلول‌پاشی به این صورت انجام گرفت که بر روی تمام قسمت‌های بوته قطرات محلول جاری شد، به‌طوری‌که اندام‌های هوایی خیس شدند. همه مراحل محلول‌پاشی در هنگام عصر صورت گرفت تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد (Vadizadeh et al., 2017). در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد و جهت کنترل آفات مکنده از سم متاسیستوکس (یک و نیم در هزار) استفاده شد.

اندازه‌گیری صفات

دو هفته پس از اعمال آخرین محلول‌پاشی، نمونه‌برداری از بوته‌های هر کرت جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک از قبیل نشت یونی، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب انجام شد. برای اندازه‌گیری نشت یونی ((EL، مقدار 10 cm2 به‌صورت تصادفی از برگ‌های فعال و کاملاً توسعه‌یافته قسمت فوقانی بوته‌های هر کرت انتخاب شدند. اندازه‌گیری EL مطابق با روش لوتس (lutts et al., 1996) انجام شد. اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید بر اساس روش آرنون (Arnon, 1967) انجام شد. جهت محاسبه محتوای آب نسبی، از هر کرت دیسک‌هایی از ۱۰ برگ فعال و کاملاً توسعه‌یافته قسمت فوقانی تهیه و بلافاصله وزن تر آن‌ها توسط ترازوی دقیق یادداشت شد. سپس نمونه‌ها درون ظرف‌های محتوی آب مقطر قرارگرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع آن‌ها تعیین گردید. پس‌ازآن، نمونه‌های برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن خشک آن‌ها محاسبه گردد. از تقسیم تفاضل وزن تر و خشک بر تفاضل وزن اشباع و خشک محتوای آب نسبی برگ‌ها تعیین گردید. محتوای نسبی آب برگ (RWC) بر اساس رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.

$$RWC(\%) = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \qquad [۱]$$

که در آن FW وزن تر نمونه برگی، DW وزن خشک نمونه برگی، TW وزن اشباع نمونه برگی می‌باشند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، از خط سوم هر کرت و پس از حذف حاشیه، تعداد ۱۰ بوته برداشت شد و صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه (پس از آفتاب خشک شدن) محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، از سه خط میانی هر کرت پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر خط، در سطح ۲ مترمربع تمام بوته‌ها برداشت شده و پس از خشک شدن کامل در آون، صفت عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل بوته) اندازه‌گیری شد و پس‌ازآن بوته‌ها خرمن‌کوبی شدند و دانه‌های به‌دست‌آمده با ترازوی دقیق توزین شده و پس از تبدیل به‌عنوان عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه گردید. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه و نشانه‌های اختصاری و واحد اندازه‌گیری آن‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. اختصارات و واحد صفات اندازه‌گیری شده در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 3. Abbreviations used in text for measured traits and the units for these traits in cowpea

Full کامل	اختصار Abbreviation	واحد Unit
Relative water content محتوای آب نسبی	RWC	%
Ion leakage نشت یونی	IL	%
Chlorophyll a کلروفیل a	Chl. a	mg g^{-1}
Chlorophyll b کلروفیل b	Chl. b	mg g^{-1}
Total chlorophyll کلروفیل کل	TChl	mg g^{-1}
Carotenoids کاروتنوئید	Car.	mg g^{-1}
Pod number per plant تعداد غلاف در بوته	PNPP	No.
Seed number per pod تعداد دانه در غلاف	SNPP	No.
Hundred seed weight وزن صد دانه	HSW	g
Seed yield عملکرد دانه	SY	kg ha^{-1}
Biological yield عملکرد بیولوژیک	BY	kg ha^{-1}

تجزیه‌وتحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس تجزیه واریانس بر روی صفات انجام پذیرفت و به‌منظور بررسی مقایسات میانگین صفات، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار

(LSD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، اما اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴).

مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین میزان آن متعلق به رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (جدول ۵). درواقع با افزایش سطح خشکی میزان آب نسبی کاهش یافت، کاهش ظرفیت آب برگ و محتوای نسبی آب به مفهوم کاهش وضعیت آبی گیاه است که می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها شود ولی بسته شدن درازمدت روزنه برای گیاه زیان‌بار است چون CO_2 لازم برای فتوسنتز فراهم نمی‌شود. کاهش هدایت روزنه‌ای از موارد مهمی است که در جریان تنش خشکی موجب کاهش فتوسنتز می‌شود. از محتوای نسبی آب به‌منزله شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش می‌یابد و سبب تغییر در غشای یاخته‌ای و درنتیجه افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌شود (Gholizadeh et al., 2018). نتایج دیگر محققان گویای کاهش میزان نسبی آب برگ لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی است (Shekari et al., 2011; Sadeghipoor and Bonakdarhashemi, 2015; Shadmand and Afkari, 2018; Davoudi et al., 2018).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت گلایسین بتائین محتوای نسبی آب نیز افزایش یافت. کمترین و بیشترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی با اسید جیبرلیک نیز محتوای نسبی آ ببرگ را افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار در غلطت محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام و کمترین مقدار آن در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده گردید (جدول ۵).

در راستای نتایج پژوهش حاضر، نتایج سایر پژوهشگران نیز نشان داده که اگرچه تنش خشکی محتوای نسبی آب را کاهش می‌دهد اما کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک باعث بهبود این صفت در شرایط تنش می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007; Pazoki et al., 2012; Zamani et al., 2013). تأثیر مثبت گلایسین بتائین در افزایش محتوای نسبی آب را می‌توان به افزایش میزان جذب آب به درون سلول، بهبود پتانسیل فشاری، افزایش جذب آب توسط ریشه‌ها و حفظ تعادل آبی گیاه در اثر کاربرد این ماده‌ها نسبت

جدول ۴. تجزیه واریانس اثرات گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر صفات موردمطالعه لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط تنش خشکی

Table 4. Analysis of variance of the effects of gibberellic acid and glycine betaine on studied traits of cowpea under drought stress condition.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	RWC	EC	Chl. a	Chl. b	Total Chl.	Car.
تکرار Replication (R)	2	1.37^{ns}	5.71^{ns}	0.00003^{ns}	0.000001^{ns}	0.0000012^{ns}	0.000011^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	175.79^{**}	642.28^{**}	0.97074^{**}	0.247472^{**}	2.0684333^{**}	115.614959^{**}
خطای الف Error (a)	4	7.50	3.68	0.00645	0.000107	0.0057278	0.025020
گلایسین بتائین Glycine Betaine (GB)	2	162.96^{**}	43.54^{**}	0.06747^{**}	0.028112^{**}	0.1825148^{**}	11.127737^{**}
جیبرلیک اسید Gibberellic Acid (GA)	2	69.81^{**}	26.09^{**}	0.01581^{**}	0.006727^{**}	0.0424333^{**}	3.307878^{**}
GB × GA	4	1.56^{ns}	0.23^{ns}	0.00096^{ns}	0.000129^{ns}	0.0012593^{ns}	0.237004^{**}
I × GB	4	1.27^{ns}	0.81^{ns}	0.00251^{**}	0.000240^{*}	0.0038926^{**}	0.027396^{ns}
I × GA	4	3.02^{ns}	0.08^{ns}	0.00078^{ns}	0.000138^{ns}	0.0010167^{ns}	0.015437^{ns}
I × GB × GA	8	3.02^{ns}	0.52^{ns}	0.00023^{ns}	0.000135^{ns}	0.0001370^{ns}	0.040149^{ns}
خطا Error	48	4.49	3.78	0.00077	0.000079	0.0008991	0.047584
ضریب تغییرات C.V (%)		*2.49*	*2.12*	*5.21*	*3.45*	*3.80*	*5.38*

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

Source of variation منبع تغییرات	df درجه آزادی	PNPP	SNPP	HSW	SY	BY
Replication (R) تکرار	2	0.32^{ns}	4.9×10^{-6ns}	0.23^{ns}	201000^{*}	2937499^{ns}
Irrigation (I) آبیاری	2	637.58^{**}	29.405^{**}	230.67^{**}	4837668^{**}	84445199^{**}
Error (a) خطای الف	4	4.13	2.509	5.78	49156	2536407
Glycine Betaine (GB) گلایسین بتائین	2	32.97^{**}	8.321^{**}	15.74^{**}	702611^{**}	7261018^{**}
Gibberellic Acid (GA) جیبرلیک اسید	2	16.99^{**}	2.441^{**}	12.49^{**}	107745^{*}	2910703^{**}
GB × GA	4	1.68^{ns}	0.174^{ns}	2.87^{ns}	11177^{ns}	49061^{ns}
I × GB	4	3.99^{ns}	0.097^{ns}	0.91^{ns}	92128^{*}	173617^{ns}
I × GA	4	6.72^{**}	1.551^{**}	2.46^{ns}	47885^{ns}	436674^{ns}
I × GB × GA	8	1.66^{ns}	0.200^{ns}	0.48^{ns}	21628^{ns}	75122^{ns}
Error خطا	48	1.91^{ns}	0.301	1.17	33361	373710
C.V (%) ضریب تغییرات		*7.27*	*6.08*	*6.33*	*13.31*	*11.11*

^{ns},* و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

^{ns}, * and ** non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات رژیم‌های آبیاری، غلظت‌های گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر روی صفات در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 5. Mean comparison of the effects of irrigation regimes, the concentrations of glycine betaine and gibberellic acid on traits in cowpea

Treatment تیمار	RWC	EC	Chla	Chlb	TChl	Car	PNPP	SNPP	HSW	SY	BY
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes											
50 (mm)	87.66^{a}	86.95^{c}	-	-	-	5.68^{a}	-	-	20.12^{a}	-	7435^{a}
70 (mm)	84.83^{b}	92.17^{b}	-	-	-	4.76^{b}	-	-	16.90^{b}	-	5106^{b}
90 (mm)	82.57^{c}	96.70^{a}	-	-	-	1.73^{c}	-	-	14.28^{c}	-	3965^{b}
گلایسین بتائین Glycine betaine											
0 (mM)	82.54^{c}	93.12^{a}	-	-	-	-	17.87^{c}	8.58^{b}	16.41^{b}	-	4978^{c}
50 (mM)	85.07^{b}	92.10^{a}	-	-	-	-	18.99^{b}	8.86^{b}	16.97^{b}	-	5513^{b}
100 (mM)	87.45^{a}	90.60^{b}	-	-	-	-	20.08^{a}	9.65^{a}	17.92^{a}	-	6015^{a}
جیبرلیک اسید Gibberellic acid											
0 (ppm)	83.32^{c}	92.93a	0.51^{b}	0.24^{c}	0.76^{c}	-	-	-	16.32^{b}	1321^{b}	5141^{b}
60 (ppm)	85.21^{b}	91.92^{ab}	0.53^{b}	0.26^{b}	0.78^{b}	-	-	-	17.46^{a}	1355^{ab}	5582^{a}
120 (ppm)	86.52^{a}	90.97^{b}	0.56^{a}	0.27^{a}	0.83^{a}	-	-	-	17.53^{a}	1443^{a}	5783^{a}

در هر ستون مقادیر با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, the values with same letters is not significantly different.

نشت یونی

برای صفت نشت یونی اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، اما اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری برای صفت نشت یونی نشان داد که با افزایش سطح

داد (Makela et al., 1996)؛ به‌عبارت‌دیگر می‌توان بیان کرد که گلایسین بتائین موجب افزایش جذب و حفظ آب برگ‌ها شده و شاید قرار گرفتن در وضعیت مناسب آبی، مهم‌ترین دلیل در مؤثر بودن گلایسین بتائین در بهبود وضعیت گیاه در شرایط تنش خشکی باشد.

تنش خشکی، درصد نشت یونی برگ‌ها نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان نشت یونی به ترتیب در رژیم آبیاری ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده گردید (جدول ۵). تحت شرایط تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه تنش خشکی و گرما، غشاء سلولی پایداری خود را ازدست‌داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی، مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشاء به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود (Sairam et al., 2002). حفظ و پایداری غشاء سلولی در هنگام بروز تنش، بیانگر وجود مکانیسم‌های کنترلی در تحمل به پسابیدگی است. تنش خشکی موجب تغییراتی در فسفولیپیدهای غشاء می‌شود که این تغییرات همانند تنش سرما در دنباله‌های اسید چرب به وجود می‌آید و در این تنش اسیدهای چرب غیراشباع، افزایش می‌یابند. در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دولایه‌ای غشاء حالت هگزاگونال (شش‌وجهی) و ساختار غشاء به ساختار منفذدار تبدیل می‌شود و نشت مواد رخ می‌دهد به‌طورکلی تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و درنهایت کاهش شاخص پایداری غشا سلول در گیاهان مختلف می‌شود (Sairam et al., 2002).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت گلایسین بتائین درصد نشت یونی کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان نشت یونی به ترتیب در تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید (جدول ۵). همچنین کاربرد اسید جیبرلیک نیز باعث کاهش میزان نشت یونی برگ‌ها گردید. بیشترین میزان نشت یونی در تیمار عدم محلول‌پاشی و کمترین آن در تیمار محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام به دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک با حفاظت از پروتئین‌های غشاء و کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌های غشاء به سلامت و پایداری غشاء کمک نموده و باعث کاهش نشت یونی گردیده است. مطالعات سایر محققان نشان داده است که گلایسین بتائین موجب حفظ غشاها از پراکسیداسیون لیپیدی و باعث پایداری و استحکام ساختار و فعالیت آنزیمی و ترکیب‌های پروتئینی شده و درنهایت موجب پایداری دیواره سلولی را مقابل تنش می‌شود (Crowe et al., 1992; Chen et al., 2000; Savari et al., 2009; Nawaz and Ashraf, 2010). همچنین در تحقیقی گزارش شده است که اسید جیبرلیک با تغییر و کاهش فعالیت آنزیم‌های متابولیزه‌کننده H_2O_2، باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی غشا می‌شود و گیاه آویشن را در مقابل تنش محافظت می‌کند که این باعث حفظ سلامت و ثبات غشا تحت شرایط تنش می‌شود (Pazoki et al., 2012).

کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل

اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین، اسید جیبرلیک و اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری × گلایسین بتائین بر روی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار گردید، ولی سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای صفات مذکور معنی‌دار نبودند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت اسید جیبرلیک کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل افزایش یافت. به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب در تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام مشاهده گردید (جدول ۵). در بررسی اثر کاربرد اسید جیبرلیک روی طول عمر گل نرگس، گزارش شده است که اسید جیبرلیک از تخریب سبزینه (کلروفیل) ممانعت کرده و درنهایت باعث افزایش طول عمر گیاه می‌شود؛ بنابراین کاربرد آن می‌تواند رشد شاخه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک را افزایش دهد (Ichimura and Goto, 2000). همچنین تونا و همکاران (Tuna et al., 2008) در تحقیق خود مشاهده کردند که اسید جیبرلیک در شرایط تنش موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. سایر محققان نیز افزایش کلروفیل را با کاربرد اسید جیبرلیک گزارش کرده‌اند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Rezaei and Niki, 2013; Sardoei et al., 2014; Abbaspour and Rezaei, 2015; Soltani et al., 2016).

همچنین نتایج مقایسه میانگین رژیم آبیاری × گلایسین بتائین نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین بتائین و کمترین مقدار مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی گلایسین بتائین بود (جدول ۷). گزارش شده است که گلایسین بتائین می‌تواند از فعالیت مخرب آنزیم کلروفیلاز ممانعت کرده و از این طریق از کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی جلوگیری می‌کند (Ranjan et al., 2001; Zamani et al., 2013). به نظر می‌رسد افزایش

غلظت گلایسین بتائین سبب افزایش داخلی پیش ماده کولین در برگ شده و از تخریب کلروفیل و فعالیت آنزیم کلروفیلاز کرده است، لذا بر میزان سنتز کلروفیل افزوده است (Miri and Zamani Moghaddam, 2015).

یکی دیگر از دلایل کاهش میزان کلروفیل ممکن است به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در هنگام تنش باشد که رادیکال‌های آزاد سبب تجزیهٔ رنگیزه‌ها شده و درنهایت باعث کاهش کلروفیل گیاه می‌شوند (Schutz and Fangmeir, 2001). در چنین شرایطی مولکول کلروفیل به یک عامل حفاظت کننده نوری برای کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن نیاز دارد (Takamiya et al., 2000). در غیر این صورت، تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که افزایش غلظت گلایسین بتائین احتمالاً با افزایش غلظت داخلی آن، باعث کاهش تخریب مولکول کلروفیل شده و موجب بهبود این صفت می‌شود. نقش گلایسین بتائین در حفظ ساختمان چهارم پروتئین از طریق افزایش تجمع کلروفیل‌ها و جذب دی‌اکسید کربن و تسهیل انتقال الکترون، حفظ تمامیت غشای پلاسمایی، حفظ و تنظیم اسمزی، محافظت از فعالیت پروتئین‌ها و چربی غشای تیلاکوئیدی در فتوسیستم II را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل تعدیل‌کننده تنش دانست (Murata et al., 1992).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین، اسید جیبرلیک و اثر متقابل دوگانه گلایسین بتائین × اسید جیبرلیک بر میزان کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین میزان کاروتنوئید در رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین میزان آن متعلق به رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر بود (جدول ۵). درواقع با افزایش سطح خشکی میزان کاروتنوئید کاهش یافت، کارتنوئیدها در حفاظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از تخریب و فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها نقش دارند. تنش خشکی از طریق کاهش رنگ‌دانه‌های کارتنوئیدی سبب کاهش کلروفیل می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2002). مقایسه میانگین اثر گلایسین بتائین × اسید جیبرلیک بر میزان کاروتنوئید نشان داد که تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین بتائین و ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک بالاترین مقدار را داشت و کمترین مقادیر در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر میزان کاروتنوئید در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 6. Mean comparison of double interaction effects of glycine betaine and gibberellic acid on carotenoid content in cowpea

گلیسین بتائین	جیبرلیک اسید	
Glycine betaine	**Gibberellic acid**	**CAR**
mM	ppm	
	0	3.23^{b}
0	**60**	3.32^{b}
	120	3.66^{ab}
	0	3.77^{ab}
50	**60**	4.06^{ab}
	120	4.39^{ab}
	0	4.18^{ab}
100	**60**	4.67^{ab}
	120	5.22^{a}

در هر ستون مقادیر با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, the values with same letters is not significantly different.

افزایش غلظت گلایسین بتائین خارجی از طریق افزایش پیش ماده داخلی آن موجب افزایش کاروتنوئید شده که درنهایت باعث حفظ ثبات و ساختار غشاء و افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Harinasut et al., 1996). در این مطالعه با افزایش غلظت گلایسین بتائین، میزان کاروتنوئید افزایش یافت که این افزایش به‌منظور جلوگیری از اکسیداسیون نوری کاروتنوئید و محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی است (Lawlor and Cornic, 2002).

همچنین در این مطالعه با افزایش غلظت اسید جیبرلیک، میزان کاروتنوئید نیز افزایش یافت. ثابت شده است که اسید جیبرلیک با تأثیر بر ژن‌های کدکننده مسیر بیوسنتز ژرانیل پیروفسفات سنتز کاروتنوئیدها را تحت تأثیر قرار دهد (Shaddad et al., 2013). حضور و افزایش تدریجی آن‌ها با افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی برگ، باعث کاهش رادیکال‌های آزاد تولیدشده در برگ شده و از این طریق آسیب به مراکز واکنشی و غشاها کاهش می‌یابد. از طرفی کارتنوئیدها ازجمله سیستم‌های دفاعی هستند که به‌تدریج و با بلوغ برگ، جایگزین سیستم دفاعی آنتوسیانینی برگ جوان می‌شوند (Abbaspour and Rezaei, 2015). در توافق با نتایج پژوهش حاضر، سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که

کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک باعث بهبود میزان کاروتنوئید در شرایط تنش می‌شود (Reza et al., 2006; Tuna et al., 2008; Miri and Zamani Moghaddam, 2015; Soltani et al., 2016).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری و گلایسین بتائین بر صفات موردمطالعه در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 7. Mean comparison of double interaction effects of irrigation regime and glycine betaine on studied traits in cowpea.

رژیم آبیاری Irrigation regime (mm)	گلایسین بتائین Glycine betaine (mM)	Chla	Chlb	TChl	SY
50	0	0.69^{c}	0.31^{c}	1.01^{c}	1697^{bc}
	50	0.74^{b}	0.34^{b}	1.08^{b}	1768^{ab}
	100	0.81^{a}	0.38^{a}	1.19^{a}	1938^{a}
70	0	0.40^{f}	0.23^{e}	0.63^{f}	1066^{e}
	50	0.47^{e}	0.28^{d}	0.75^{e}	1525^{cd}
	100	0.51^{d}	0.31^{c}	0.82^{d}	1498^{d}
90	0	0.35^{g}	0.12^{h}	0.48^{h}	807^{f}
	50	0.40^{f}	0.16^{g}	0.56^{g}	1010^{e}
	100	0.42^{f}	0.18^{f}	0.60^{gf}	1047^{e}

در هر ستون مقادیر با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, the values with same letters is not significantly different.

تعداد غلاف در بوته

اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین، اسید جیبرلیک و اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری × اسید جیبرلیک بر روی تعداد غلاف در بوته معنی‌دار گردید ولی سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت گلایسین بتائین، تعداد غلاف در بوته افزایش یافت (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین رژیم آبیاری × اسید جیبرلیک نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک و کمترین مقدار مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی اسید جیبرلیک بود (جدول ۸).

در توافق با نتایج این پژوهش، سایر پژوهشگران نیز کاهش تعداد غلاف در بوته در اثر تنش خشکی را در لوبیا چشم‌بلبلی گزارش کرده‌اند (Hosseinian and Majnoon Hosseini, 2015; Afshari et al., 2016; Davoodi et al., 2018). کاهش تعداد غلاف‌ها، ناشی از افزایش قابل‌توجه ریزش گل‌ها و غلاف‌ها در شرایط تنش خشکی است (Lizana et al., 2006). از طرفی دیگر به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک از طریق کاهش اثرات تنش خشکی، با افزایش تشکیل گل در بوته و جلوگیری از ریزش گل‌ها و غلاف‌ها سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شده است. ثابت شده است که محلول‌پاشی گیاه سویا (Rezaei, 2010) و نخود (Mearaji and Hatami, 2020) با گلایسین بتائین سبب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. افزایش تعداد غلاف در بوته‌های لوبیای سفید (Abbasi et al., 2019) و کلزا (Maleki and Fathi, 2019) با کاربرد اسید جیبرلیک نیز گزارش گردیده است.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری و اسید جیبرلیک بر صفات موردمطالعه در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 8. Mean comparison of double interaction effects of irrigation regime and gibberellic acid on studied traits in cowpea.

رژیم آبیاری Irrigation regime (mm)	اسید جیبرلیک Gibberellic acid (ppm)	تعداد غلاف در بوته PNPP	تعداد دانه در غلاف SNPP
50	0	22.48^{b}	9.63^{b}
	60	24.69^{a}	10.31^{ab}
	120	25.93^{a}	10.62^{a}
70	0	17.42^{c}	8.70^{c}
	60	17.91^{c}	8.59^{cd}
	120	17.64^{c}	8.88^{c}
90	0	14.33^{d}	7.71^{e}
	60	15.32^{d}	8.82^{c}
	120	15.11^{d}	7.96^{de}

در هر ستون مقادیر با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, the values with same letters is not significantly different.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس برای صفت تعداد دانه در غلاف نشان داد که اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین، اسید جیبرلیک و رژیم آبیاری × اسید جیبرلیک بر روی تعداد دانه در غلاف در

بوته معنی‌دار گردید، اما سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت گلایسین بتائین، تعداد دانه در غلاف افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین بتائین مشاهده شد (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگین رژیم آبیاری × اسید جیبرلیک نشان داد که کمترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی اسید جیبرلیک و بیشترین مقدار مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک بود (جدول ۸). تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره گرده‌افشانی و ایجاد اختلال در گرده‌افشانی، باعث تلقیح نامناسب گل‌ها و کاهش تعداد دانه در گیاه می‌شود. کاهش آب آبیاری در مرحله گرده‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌ها را به علت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌دهد علاوه بر این در شرایط تنش کم‌آبی، تنش رشد لوله گرده در خامه و بافت تخمدان و تخمک و رشد دانه‌های گرده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gholizadeh et al., 2018). پژوهشگران دیگر نیز بیان کردند که کاهش آب آبیاری به کاهش باروری و درنتیجه کاهش تعداد دانه در غلاف لوبیا منجر می‌شود که علت آن نقص در عملکرد دانهٔ گرده و تخمک و عدم تلقیح مناسب و گرده‌افشانی است (Afshari et al., 2016; Sabzi et al., 2017; Davoodi et al., 2018). عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2019) گزارش کردند که تحت شرایط تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی ژنوتیپ‌های لوبیا با اسید جیبرلیک موجب افزایش تعداد دانه غلاف در لوبیا می‌گردد که با نتایج تحقیق حاضر مشابه است. افزایش تعداد دانه در غلاف کلزا نیز درنتیجه کاربرد اسید جیبرلیک گزارش گردیده است (Maleki and Fathi, 2019). در این مطالعه به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید جیبرلیک و گلایسین بتائین از طریق بهبود گرده‌افشانی و لقاح سبب افزایش تعداد دانه در غلاف شده است.

وزن صد دانه

اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر روی وزن صد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری برای صفت صد دانه نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش وزن صد دانه شد، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین وزن صد دانه به ترتیب در رژیم آبیاری ۹۰ و ۵۰ میلی‌متر تبخیر به دست آمد (جدول ۵). پر شدن دانه مستلزم تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها است (Sarmadnia, 1993). کمبود آب موجب کاهش تعداد سلول‌های ذخیره‌ای دانه، کاهش تجمع ماده خشک در دانه و درنتیجه کاهش وزن دانه می‌گردد (Quarrie and Jones, 1979). قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh et al., 2018) بیان کردند که تنش خشکی در مرحلهٔ پر شدن دانه‌ها موجب کاهش میزان مواد پرورده، کاهش فتوسنتز جاری گیاه و درنتیجه چروکیدگی و کاهش وزن دانه خواهد شد. در این مطالعه نیز تنش خشکی باعث کاهش وزن صد دانه گردید که با نتایج پژوهشگران دیگر مبنی بر کاهش وزن صد دانه لوبیا در اثر تنش خشکی مطابقت داشت (Hosseinian and Majnoon Hosseini, 2015; Afshari et al., 2016).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت گلایسین بتائین وزن صد دانه نیز افزایش یافت. کمترین و بیشترین وزن صد دانه به ترتیب در تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی با اسید جیبرلیک نیز وزن صد دانه را افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار در غلطت محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام و کمترین مقدار آن در تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده گردید (جدول ۵). در توافق با نتایج پژوهش حاضر، سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که اگرچه تنش خشکی وزن دانه را کاهش می‌دهد اما کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک باعث بهبود این صفت در شرایط تنش می‌شود (Miri and Zamani Moghaddam, 2015; Maleki and Fathi, 2019; Abbasi et al., 2019; Mearaji and Hatami, 2020). تأثیر مثبت گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک در افزایش وزن دانه را می‌توان به افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و بهبود وضعیت آبی گیاه در اثر کاربرد این ترکیبات نسبت داد.

عملکرد دانه

اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین، اسید جیبرلیک و اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری × گلایسین بتائین بر روی عملکرد دانه معنی‌دار گردید، اما سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک نشان داد که با افزایش

غلظت اسید جیبرلیک عملکرد دانه افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک مشاهده گردید (جدول ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین رژیم آبیاری × گلایسین بتائین نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین بتائین و کمترین مقدار مربوط به تیمار رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر و عدم محلول‌پاشی گلایسین بتائین بود (جدول ۷). بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف رشدی به‌ویژه مرحله زایشی موجب کاهش مواردی از قبیل انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، طول دوره فتوسنتزی، سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده ساقه به دانه و درنهایت کاهش عملکرد دانه می‌گردد. تنش خشکی علاوه بر محدود کردن منبع (کاهش سطح برگ و غیره)، سبب کاهش قدرت مخزن (کاهش تعداد دانه در غلاف و غیره) و ظرفیت ذخیره‌ای می‌شود؛ بنابراین کاهش منبع و فتوسنتز جاری از یک‌سو و کاهش مقدار انباشت و انتقال مجدد مواد از سویی دیگر، باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد. محققان علت کاهش عملکرد دانه را با افزایش فواصل آبیاری، کاهش اجزای عملکرد ازجمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه در غلاف عنوان کرده‌اند (Hosseinian and Majnoon Hosseini, 2015; Afshari et al., 2016; Sabzi et al., 2017; Davoodi et al., 2018).

بر اساس نتایج مقایسات گروهی (جدول ۹) در هر سه رژیم آبیاری ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر، بین تیمار کاربرد محلول‌پاشی گلایسین بتائین و کاربرد محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در مورد عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ به‌عبارت‌دیگر، نوع ترکیب مورداستفاده در محلول‌پاشی نتوانسته است تفاوت معنی‌داری را در عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی ایجاد کند؛ بنابراین محلول‌پاشی با ترکیب گلایسین بتائین و یا اسید جیبرلیک بر عملکرد دانه یکسان عمل کردند و ترجیحی بر یکدیگر ندارند. همچنین نتایج مقایسات گروهی نشان داد که کاربرد هم‌زمان و تلفیقی مقادیر مختلف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک نسبت به مصرف مقادیر مختلف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک به‌تنهایی، به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۱۴، ۱۲ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای رژیم آبیاری ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر گردید (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسات گروهی تیمارهای محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک در لوبیا چشم‌بلبلی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری

Table 9. Group comparisons of the foliar application of glycine betaine (GB) and gibberellic acid (GA) in in cowpea under irrigation different regimes.

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	مقایسات گروهی Group comparisons	SY
50 mm	GB vs GA	0.05^{ns} (-2)
	The combination of GB and GA vs GB and GA separately	7.61^{**} (+14)
70 mm	GB vs GA	3.86^{ns} (+10)
	The combination of GB and GA vs GB and GA separately	11.19^{**} (+12)
90 mm	GB vs GA	2.45^{ns} (+10)
	The combination of GB and GA vs GB and GA separately	10.17^{**} (+15)

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱. GB: گلایسین بتائین، GA: اسید جیبرلیک.

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد افزایش (+) یا کاهش (-) گروه اول در مقایسه با گروه دوم است.

ns and ** non-significant and significant at the 0.01 probability level, respectively. GB: glycine betaine, GA: gibberellic acid

Numbers in parentheses indicate the percentage increase (+) or decrease (-) of first group compare to second group.

بنابراین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی، کاربرد هم‌زمان و تلفیقی محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک نسبت به مصرف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک به‌تنهایی ترجیح داده می‌شود. گزارش‌های مختلف حاکی از این مطلب است که گلایسین بتائین محلول‌پاشی شده روی برگ یا اندام هوایی گیاه، قابلیت انتقال به قسمت‌های مختلف گیاه را دارا است و این مطلب هم در مورد گیاهان تجمع دهنده و بیوسنتزکننده گلایسین بتائین و هم در مورد گیاهان غیر تجمع دهنده و فاقد توانایی بیوسنتز گلایسین بتائین صادق است (Lixin et al., 2009; Hassanein et al., 2009). گلایسین بتائین برون‌زا به‌راحتی می‌تواند داخل برگ‌ها نفوذ نماید و به سایر اندام‌های گیاه منتقل شود و موجب همبستگی غشاها و افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و درنهایت افزایش

عملکرد در شرایط تنش شود (Lixin et al., 2009). ثابت شده است که محلول‌پاشی گیاه تنباکو (Ma et al., 2007)، ذرت (Miri and Zamani Moghaddam, 2015) و نخود (Mearaji and Hatami, 2020) با گلایسین بتائین سبب افزایش عملکرد دانه گردیده است. اسید جیبرلیک نیز یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان بازی می‌کند و نقش مهمی را در کاهش اثرات سوء تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. اسید جیبرلیک کشش‌پذیری (Plasticity) دیواره یاخته را افزایش می‌دهد و با تغلیظ شیره یاخته‌ای از راه آبکافت (هیدرولیز) نشاسته به قند، سبب کاهش پتانسیل آب در یاخته شده و موجب ورود آب بیشتر به درون‌یاخته و طویل شدن آن می‌شود (Du et al., 2004). اسید همچنین جیبرلیک در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک گیاه واردشده و موجب اثرگذاری‌های مطلوبی مانند تحریک تقسیم یاخته‌ای و طویل شدن یاخته، انگیزش گل، طویل شدن ساقه، گلدهی یکسان، تحریک توسعه گل، کوتاه کردن زمان کاشت تا گلدهی و افزایش اندازه و شمار گل می‌شود (Chang et al., 2006). افزایش عملکرد دانه در گیاهان ذرت (Farjzadeh Memari Tabrizi et al., 2017)، لوبیای سفید (Abbasi et al., 2019) و کلزا (Maleki and Fathi, 2019) با کاربرد اسید جیبرلیک گزارش گردیده است

عملکرد بیولوژیک

برای صفت عملکرد بیولوژیک اثر رژیم آبیاری، گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، اما اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری برای صفت عملکرد بیولوژیک نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک به ترتیب در رژیم آبیاری ۹۰ و ۵۰ میلی‌متر تبخیر به دست آمد (جدول ۵). ولی بین رژیم آبیاری ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر ازنظر آماری تفاوتی وجود نداشت. تنش کمبود آب با محدودیت‌هایی که در جذب عناصر غذایی و جذب آب توسط گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش بیوماس تولیدی می‌گردد (Ashraf and Foolad, 2007). به نظر می‌رسد که کاهش رشد و عملکرد بیولوژیک گیاه لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط کمبود آب به علت محدودیت آبی ناشی از اعمال تیمار تنش باشد که توسعه و رشد سلول‌ها را کاهش داده و درنهایت، رشد گیاه را محدود می‌کند. کاهش وزن تک بوته در طی افزایش سطح تنش خشکی می‌تواند مربوط به کاهش تعداد و سطح برگ تولیدی، ارتفاع گیاه و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به اندام هوایی گیاه باشد. افشاری و همکاران (Afshari et al., 2016) نیز کاهش عملکرد بیولوژیک لوبیا را با افزایش شدت تنش خشکی گزارش کرده‌اند.

با افزایش غلظت گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک، عملکرد بیولوژیک نیز افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمارهای محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین بتائین و ۱۲۰ پی‌پی‌ام اسید جیبرلیک مشاهده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک با افزایش گسترش سلول‌های برگ و ساقه درنتیجه افزایش سطح برگ و با افزایش تورژسانس سلولی و بهبود روابط آبی موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی شده و درنهایت باعث افزایش عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی گردیده است. سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که کاربرد گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک باعث بهبود اندام‌های هوایی و عملکرد بیولوژیک می‌گردد که با نتـایج این پژوهش همسو است (Reza et al., 2006; Tuna et al., 2008; Miri and Zamani Moghaddam, 2015; Soltani et al., 2016).

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی باعث تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی شدیدی در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی می‌گردد. به‌طوری‌که همه صفات موردبررسی در این آزمایش به‌جز نشت یونی با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافتند. درحالی‌که محلول‌پاشی با گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک بر روی تمام صفات موردبررسی اثر بهبودبخشی داشت. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی با گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک از طریق تأثیرگذاری سریع بر مکانیسم‌های مختلف مؤثر در رشد و نمو و بهبود روابط آبی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی، موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی گردید. بر اساس نتایج مقایسات گروهی در هر سه رژیم آبیاری بین تیمار کاربرد محلول‌پاشی گلایسین بتائین و کاربرد محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در مورد عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ به‌عبارت‌دیگر، محلول‌پاشی

با ترکیب گلایسین بتائین و یا اسید جیبرلیک بر عملکرد دانه یکسان عمل کردند و ترجیحی بر یکدیگر ندارند. همچنین نتایج مقایسات گروهی نشان داد که کاربرد هم‌زمان و تلفیقی مقادیر مختلف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک نسبت به مصرف مقادیر مختلف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک به‌صورت جداگانه، به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ۱۴، ۱۲ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای رژیم آبیاری ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر گردید؛ بنابراین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط تنش خشکی، کاربرد هم‌زمان و تلفیقی محلول‌پاشی گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک نسبت به مصرف گلایسین بتائین و اسید جیبرلیک به‌صورت جداگانه پیشنهاد و توصیه می‌شود.

منابع

Abbasi, A., Maleki, A., Babaei, F., Safari, H., Rangin, A., 2019. The role of gibberellic acid and zinc sulfate on biochemical performance relate to drought tolerance of white bean under water stress. Cellular and Molecular Biology. 65, 1-10.

Abbaspour, H., Rezaei, H., 2015. Effects of gibberellic acid on Hill reaction, photosynthetic Pigment and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress levels. Journal of Plant Research. 27, 893-903. [In Persian with English Summary].

Afshari, M.A., Shekari, F., Afsahi, K., Azimkhani, R., 2016. Effect of florial applied salicylic acid on dry weight, harvest index, yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 51-58 [In Persian with English Summary].

Arafa, A., Khafagy, M., El-Banna, M., 2009. The effect of glycinebetaine or ascorbic acid on grain germination and leaf structure of sorghum plants grown under salinity stress. Australian Journal of Crop Science. 3, 294.

Arnon, A., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121.

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206-216.

Ashraf, M., Karim, F., Rasul, E., 2002. Interactive effects of gibberellic acid (GA3) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. Plant Growth Regulation. 36, 49-59.

Baraani-Dastjerdi, M., Rafieiolhossaini, M., Danesh-Shahraki, A., 2015. Investigation of electrical conductivity and seedling growth of red bean (*Phaseolus vulgaris*) seed grown under drought stress and foliar application of zinc and manganese. Iranian Journal of Seed Research. 1, 45-59 [In Persian with English Summary].

Chang, S.T., Chen, W.S., Koshioka, M., Mander, L.N., Huang, K.L., Du, B.S., 2006. Gibberellins in relation to flowering in *Polianthes tuberosa*. Physiologia Plantarum. 112, 429-432.

Chehrazi, M., Hosseini, H.R., Hashemi, D.E., Asadi, V.K., 2017. The effects of gibberellic acid on some morpho-physiological characteristics of two varieties of white and yellow flowers (Alba and Apollo) Snapdragon (*Antirrhinum majus*). Iranian Journal of Horticultural Science. 48, 1-10 [In Persian with English Summary].

Chen, G., Chen, X., Yue, P.L., 2000. Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater. Journal of Environmental Engineering. 126, 858-863.

Crowe, J.H., Hoekstra, F.A., Crowe, L.M., 1992. Anhydrobiosis. Annual Review of Physiology. 54, 579-599.

Dahmardeh, M., Mirbahodin, M., Khammar, I., 2018. The effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) in drought stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11, 23-33 [In Persian with English Summary].

Davoudi, A., Sadeghipour, O., Tohidi Moghadam, H.R., 2018. Cowpea response to ascorbic acid application under drought stress conditions. Journal of Agriculture Research. 10, 251-263 [In Persian with English Summary].

Du Toit, E., Robbertse, P., Niederwieser, J., 2004. Plant carbohydrate partitioning of Lachenalia cv. Ronina during bulb production. Scientia Horticulturae. 102, 433-440.

Farooq, M., Basra, S., Wahid, A., Cheema, Z., Cheema, M., Khaliq, A., 2008. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine to improve drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 194, 325-333.

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., 2019. Study the bio-fertilizer effects on the quantitative yield and hormonal changes of soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 805-812 [In Persian with English Summary].

Gholizadeh, A., Dehghani, H., Khodadadi, M., 2019. The effect of different levels of drought stress on some morphological, physiological and phytochemical characteristics of different endemic coriander (*Coriandrum sativum* L.) genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 459-470 [In Persian with English Summary].

Harinasut, P., Tsutsui, K., Takabe, T., Nomura, M., Takabe, T., Kishitani, S., 1996. Exogenous glycinebetaine accumulation and increased salt-tolerance in rice seedlings. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 60, 366-368.

Hassanein, R.A., Hassanein, A.A., Haider, A.S., Hashem, H.A., 2009. Improving salt tolerance of Zea mays L. plants by presoaking their grains in glycine betaine. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3, 928-942.

Hosseinian, S.H., Majnoon Hosseini, N., 2015. Evaluation of irrigation cut off effect at flowering stage on yield and yield components of cowpea genotypes. Iranian Journal of Pulses Research. 6, 99-108 [In Persian with English Summary].

Ichimura, K., Goto, R., 2000. Effect of gibberellin A3 on leaf yellowing and vase life of cut *Narcissus tazetta* var. chinensis flowers. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 69, 423-427.

Iqbal, N., Ashraf, M., Ashraf, M., 2008. Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. South African Journal of Botany. 74, 274-281.

Kadkhodaei, H., Sodaeizadeh, H., Arany, A., Zadeh, M., 2016. The role of glycine betain in increasing drought resistance of Sorghum halopens under field condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 139-147 [In Persian with English Summary].

Kadkhodaie, H., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arani, A., 2014. The effects of exogenous application of glycine betain on growth and some physiological characteristics of *Brassica napus* under drought stress in field condition. Journal of Desert Ecosystem Engineering. 3, 79-90 [In Persian with English Summary].

Keykha, M., Ganjali, H.R., Mobasser, H.R., 2014. Effect of salicylic acid and gibberellic acid on some characteristics in mungbean (*Vigna radiata*). International Journal of Biosciences. 5, 70-75.

Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell & Environment. 25, 275-294.

Leite, V.M., Rosolem, C.A., Rodrigues, J.D., 2003. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. Scientia Agricola. 60, 537-541.

Lixin, Z., ShengXiu, L., ZongSuo, L., 2009. Differential plant growth and osmotic effects of two maize (*Zea mays* L.) cultivars to exogenous glycinebetaine application under drought stress. Plant Growth Regulation. 58, 297-305.

Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J.P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E.H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. Journal of Experimental Botany. 57, 685-697.

Lutts, S., Kinet, J., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78, 389-398.

Ma, X., Wang, Y., Xie, S., Wang, C., Wang, W., 2007. Glycinebetaine application ameliorates negative effects of drought stress in tobacco. Russian Journal of Plant Physiology. 54, 472.

Majnoon Hoseini, N., 2008. Grain legume production. Jihad-e-Daneshgahi of Tehran Publishers. 284pp. [In Persian].

Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setala, H., Hinkkanen, R., Somersalo, S., 1996. Uptake and translocation of foliar

applied glycinebetaine in crop plants. Plant Science. 121, 221-230.

Maleki, A., Fathi, A., 2019. Multivariate Statistical Analysis to Yield of Canola under Drought Stress and Spraying of Gibberellin and Salicylic Acid. Journal of Crop Nutrition Science. 5, 1-11.

Mirfattah, M., Rabyii, V., Dashti, F., Mosaddeghi, M., Darabi, M., 2009. Effect of drought tension on yield and some of the physiological indexes in two accumulations of Parsley (*Petroselinum crispum* Mill.). Iranian Journal of Horticultural Science. 10, 337-344 [In Persian with English Summary].

Miri, H.R., Zamani Moghadam, A., 2014. The Effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 704-717 [In Persian with English Summary].

Moghaddam, M., Alirezaei, N.M., Selahvarzi, Y., Goldani, M., 2015. The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characteristics of three cultivars of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Field Crop Science. 21, 43-62 [In Persian with English Summary].

Murata, N., Mohanty, P., Hayashi, H., Papageorgiou, G., 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. FEBS letters. 296, 187-189.

Nawaz, K., Ashraf, M., 2010. Exogenous application of glycinebetaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 196, 28-37.

Pazoki, A., Rezaei, H., Habibi, D., Paknejad, F., 2012. Effect of drought stress, asscorbate and gibberellin foliar application on some morphological traits, RWC and cell membrane stability of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8, 1-13 [In Persian with English Summary].

Pérez-Clemente, R.M., Vives, V., Zandalinas, S.I., López-Climent, M.F., Muñoz, V., Gómez-Cadenas, A., 2013. Biotechnological approaches to study plant responses to stress. BioMed Research International. 2013, 1-10.

Pourgholam, M., Nasri, M., Ghoshchi, F., Tohidimoghadam, H.R., Larijani, H.R., 2019. Effect of drought stress by application of hormone and Nano particulate spraying on maize biochemical traits Maxima cultivar. Journal of Plant Process and Function. 8, 317-326 [In Persian with English Summary].

Quarrie, S., Jones, H., 1979. Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. Annals of Botany. 44, 323-332.

Ranjan, R., Bohra, S.P., Jeet, A.M., 2001. Book of plant senescence. Jodhpur, New York.

Raza, S.H., Athar, H.U.R., Ashraf, M., 2006. Influence of exogenously applied glycinebetaine on the photosynthetic capacity of two differently adapted wheat cultivars under salt stress. Pakistan Journal of Botany. 38, 341-351.

Rezaei, H., NiKi, E., 2013. Quantitative and gualitative comparison of Dracocephalom moldavica L. essance under drought stress and its interaction with gibberellin and ascorbate. Journal of Novel Applied Sciences. 2, 974-977.

Rezaei, M.A., 2010. Effects of exogenous glycine betaine on morphophysiological characteristics and yield of soybean (*Glycine max* L.). Journal on Plant Science Researches. 5(1), 44-54 [In Persian with English Summary].

Sabzi, S., Tahmasebi, Z., Barari, M., 2017. Study of the yield and some important plant of common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes at different moisture levels. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 21-30 [In Persian with English Summary].

Sadeghipour, O., Bonkdar-Hashemi, N., 2015. Study the effect of brassinolide application on drought tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Crop Physiology Journal. 7, 57-70 [In Persian with English Summary].

Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163, 1037-1046.

Salek Mearaji, H., Hatami, A., 2007. Effects of glycine betaine and salicylic acid foliar application on yield and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 14, 1-19 [In Persian with English Summary].

Sardoei, A.S., Shahadadi, F., Shahdadneghad, M., Imani, A.F., 2014. The effect of benzyladenine and gibberellic acid on reducing

sugars of Spathiphyllum wallisii plant. International Journal of Farming and Allied Sciences. 3, 328-332 [In Persian with English Summary].

Sarmadnia, G.H.H., 1993. The importance of environmental stress in agronomy. The 1th Iranian crop science congress, University of Tehran, 6-9 September 1993, p. 157-169 [In Persian].

SAS, Institute. 2011. SAS/STAT. User's guide. (2nd Ed.). SAS institute Inc., Cary, NC.

Savari, A., Fotokian, M., Barzali, M., 2009. Evaluation of glycine betaine effects on someagronomic traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars under water-droughtstress. Journal of Daneshvar Agronomy Sciences. 1, 67-76 [In Persian with English Summary].

Schütz, M., Fangmeier, A., 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution. 114, 187-194.

Shaddad, M., HM, A.E.S., Mostafa, D., 2013. Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 5, 50-57.

Shadmand, H., Afkari, A., 2018. The Effect of superabsorbent polymer application on some biochemical traits and relative water content of bean cultivars under drought tension. Crop Physiology Journal. 39, 61-77 [In Persian with English Summary].

Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M., Goreishi, N.M., 2010. Effect of salicylic acid seed priming on some physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* l.) under water deficit at podding stage. Journal of Agricultural Sciences. 12, 805-812 [In Persian with English Summary].

Soltani, E., Khavari-Nejad, R.A., Angaji, S.A., Najafi, F., 2016. The interaction of salinity and gibberellic acid on photosynthetic pigments contents and some antioxidant enzymes activities in two varieties of chickpea (*Cicer arientinum* L.). Journal of Plant Process and Function. 5, 179-188 [In Persian with English Summary].

SPSS, I., 2010. SPSS 19. Users Guied. Chicago, IL., USA

Tabrizi, E., Yarnian, M., Ahmadzadeh, V., Tabrizi, N., 2017. Effect of hormone treatments on the growth and grain yield of maize at different limited irrigation levels. Iranian Journal of Seed Science and Research. 4, 17-30 [In Persian with English Summary].

Taghdisi Sayyar, M., Enteshari, S., 2016. The interaction of exogenous glycine betaine and water deficit on some physiologic characteristic of tomato (*Lycopersicun esculentum* Mill.) plants. Journal of Plant Process and Function. 5, 109-120 [In Persian with English Summary].

Takamiya, K.I., Tsuchiya, T., Ohta, H., 2000. Degradation pathway (s) of chlorophyll: what has gene cloning revealed? Trends in Plant Science. 5, 426-431.

Tisarum, R., Theerawitaya, C., Samphumphung, T., Takabe, T., Cha-um, S., 2019. Exogenous foliar application of glycine betaine to alleviate water deficit tolerance in two Indica Rice genotypes under greenhouse conditions. Agronomy Journal. 9, 1-15.

Tuna, A.L., Kaya, C., Dikilitas, M., Higgs, D., 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. Environmental and Experimental Botany. 62, 1-9.

Turk, K.J., Hall, A.E., Asbell, C., 1980. Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield 1. Agronomy Journal. 72, 413-420.

Vadizadeh, P., Sarajoughi, M., Mir Taheri, S.M., 2017. Study of salicylic acid and glycine effect on some agronomic traits of Alfalfa under wet stress conditions. Journal of Agronomy and Plant Breeding. 13, 2-14 [In Persian with English Summary].

Zamani, M., Rabiyei, V., Nejatian, M., 2013. Effect of Proline and Glycine Betaine application on some physiological characteristics in grapevine under drought stress. Iranian Journal of Horticultural Science. 43, 393-401 [In Persian with English Summary].

Zhang, Y.Y., Li, Y., GAO, T., Zhu, H., Wang, D.J., Zhang, H.w., Ning, Y.S., Liu, L.J., Wu, Y.R., Chu, C.C., 2008. Arabidopsis SDIR1 enhances drought tolerance in crop plants. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 72, 2251-2254.