University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 1073-1089 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4216.1992

Original article

Effect of seed priming and foliar application of growth regulators on morphophysiological changes and safflower grain and oil yield under drought stress

M. Heydari[1], H.R. Tohidimoghaddam[2*], F. Ghooshchi[2], S.A.M. Modarres Sanavi[3], P. Kasraei[2]

1. PhD student in Plant Physiology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Varamin, Pishva Branch, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Varamin, Pishva Branch, Iran
3. Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received 22 March 2021; Accepted 30 May 2021

Extended abstract

Introduction

Safflower (*Carthamus tinctorins* L.) is an annual oil plant from the chicory family (Asteraceae) which, due to its high oil (30-40%) high quality (having more than 90% of unsaturated acids, especially linoleic acid and oleic acid), has played an important role in expanding the cultivated area of oil plants and providing oil seeds. The global cultivated area of safflower in 2019 was about one million and 140 thousand hectares and the average global production of its seeds was about 590 thousand and 869 tons. Water shortage stress, as one of the most important non-living stresses, has a destructive effect on most stages of crop plant growth, such as germination, seedling establishment, the structure of organs and their activity, and makes it difficult to achieve the desired result. Priming is one of the methods that after placing the seeds in their bed and facing the ecological conditions of the environment, physiologically and biochemically, they get ready for germination, and it can be used to reduce the negative effect of dehydration stress in many from plants. There are several different methods for seed priming, including osmopriming, hydropriming, matrix priming, hormonal priming, and biopriming. Plant hormones (growth regulators) are useful agrochemical tools that help plants to consume nutrients more efficiently and demonstrate their genetic and physiological potentials.

Materials and methods

In order to investigate the effect of priming and foliar spraying of growth regulators on the morphophysiological changes and the yield of safflower oil seeds of the cultivar Pandeh under drought stress, An experiment was carried out in the research farm of the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University as an autumn crop during the agricultural year of 2017-2018 in the form of one-time divided plots based on the design of randomized complete blocks with three replications. The experimental factors include three levels of irrigation (optimal irrigation (cessation of irrigation until the discharge of 25% of usable water), medium water stress (cessation of irrigation until the discharge of 45% of usable water), severe water stress (cessation of irrigation until the discharge of 65% of usable water)) in the flowering stage until The end of the growth period in the main plots and five levels of seed

* Corresponding author: Hamidreza Tohidimoghaddam; E-Mail: Hamidreza.tohidimoghadam@gmail.com

© 2022, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

priming and foliar application of plants (pure water, gibberellic acid, salicylic acid, ascorbic acid, humic acid) along with a control treatment (without priming and foliar appication) as sub-plots were considered.

Results and discussion

The results showed that with the reduction of irrigation to the level of severe water stress, the yield and seed oil decreased by 41.31 and 43.46%, respectively, and significantly (P<0.01) compared to optimal irrigation. Also, with the reduction of irrigation water to the level of medium water stress, the amount of malondialdehyde increased by 15.92% and was significant compared to the optimal irrigation. With priming and foliar application of growth regulators, height, total chlorophyll, yield, and seed oil increased and malondialdehyde decreased significantly (P<0.01).

Conclusion

Based on the overall results, drought stress had a negative effect on the morphological characteristics and yield and oil percentage of safflower seeds. With priming by pure water, although the physiological traits and yield were improved, it was not significantly different from the control treatment. Foliar application of growth regulators by increasing the amount of total chlorophyll and improving growth had an important role in increasing yield. Due to the lack of water in the flowering and seeding stage of safflower in most regions of Iran, foliar application by growth regulators such as humic acid, salicylic acid and gibberellic acid can play an effective role in improving yield under medium water stress by increasing biochemical traits such as proline.

***Keywords*:** MDA, Oil yield, Plant height, Total chlorophyll

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4216.1992

مقاله پژوهشی

اثر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت تنش کم‌آبی

مژگان حیدری[۱]، حمیدرضا توحیدی‌مقدم[۲*]، فرشاد قوشچی[۲]، سیدعلی محمد مدرس‌ثانوی[۳]، پورنگ کسرایی[۲]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی ورامین واحد پیشوا
۲. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی ورامین واحد پیشوا
۳. استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
ارتفاع بوته
عملکرد روغن
کلروفیل کل
مالون دی‌آلدئید

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۱/۰۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۳/۰۹

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱

۱۵(۴): ۱۰۷۳-۱۰۸۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد دانه روغن گلرنگ رقم پدیده تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به‌صورت کشت پاییزه طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل (قطع آبیاری تا تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده)، کم‌آبیاری متوسط (قطع آبیاری تا تخلیه ۴۵ درصد آب قابل‌استفاده)، کم‌آبیاری شدید (قطع آبیاری تا تخلیه ۶۵ درصد آب قابل‌استفاده)) در مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد در کرت‌های اصلی و پنج سطح پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی بوته‌ها (آب خالص، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید، آسکوربیک اسید، هیومیک اسید) به همراه یک تیمار شاهد (بدون پرایمینگ و محلول‌پاشی) به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با کاهش آبیاری تا سطح کم‌آبی شدید عملکرد و روغن دانه به ترتیب کاهش ۴۱/۳۱ و ۴۳/۴۶ درصدی و معنی‌داری ($P<0.01$) نسبت به آبیاری مطلوب داشت. همچنین با کاهش آب آبیاری تا سطح کم‌آبی متوسط، مقدار مالون دی‌آلدئید افزایش ۱۵/۹۲ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب داشت. با پرایمینگ و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد، ارتفاع، کلروفیل کل، عملکرد و روغن دانه افزایش و مالون دی‌آلدئید کاهش معنی‌داری ($P<0.01$) داشت. بر اساس نتایج کلی، تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد و درصد روغن دانه گلرنگ تأثیر منفی داشت. با پرایمینگ توسط آب خالص هرچند صفات فیزیولوژیکی و عملکرد بهبود یافت اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش مقدار کلروفیل کل و بهبود رشد نقش مهمی در افزایش عملکرد داشت.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorins* L.) گیاهی روغنی، یک‌ساله و از تیره کاسنی (Asteraceae) است که به علت دارا بودن روغن بالا (۴۰-۳۲ درصد) و باکیفیت (دارا بودن بیش از ۹۰ درصد اسیدهای غیراشباع به‌خصوص اسید لینولئیک و اسید اولئیک) نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی و تأمین دانه‌های روغنی داشته است (Javed et al., 2014; Arslan and Hacioglu, 2018). گلرنگ تقریباً در ۶۰ کشور جهان کشت می‌شود، سطح زیر کشت جهانی آن در سال ۲۰۱۹ حدود یک میلیون و ۱۴۰ هزار هکتار و متوسط تولید جهانی دانه آن در حدود ۵۹۰ هزار و ۸۶۹ تن است (FAO, 2019). مقدار تولید دانه گلرنگ در ایران نیز در همین سال زراعی ۶۳۱۳ تن بود (FAO, 2019).

گیاهان در صورتی می‌توانند حداکثر عملکرد را داشته باشند که شرایط محیطی لازم بخصوص رطوبت در اختیار

* نگارنده پاسخگو: هادی حمیدرضا توحیدی مقدم. پست الکترونیک: Hamidreza.tohidimoghadam@gmail.com

آن‌ها قرار داشته باشد. تنش کمبود آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده بر اکثر مراحل رشد گیاه زراعی همچون جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه، ساختار اندام‌ها و همچنین فعالیت آن‌ها اثر مخرب گذاشته و دستیابی به نتیجه مطلوب را دشوار می‌سازد (Miri and Zamani Moghadam, 2015). تنش خشکی با تأثیر مستقیم بر فتوسنتز، توسعه سلولی، جذب و تجمع مواد مغذی و تنظیم اسمزی باعث تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی در گیاهان شده که درنهایت باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد محصول می‌شود (Chai et al., 2016; Vurukonda et al., 2016). در پژوهشی محققین بیان نمودند که وقوع تنش خشکی در گلرنگ با کاهش میزان فتوسنتز و کمبود مواد پرورده، کاهش ارتفاع بوته و عملکرد دانه را به دنبال داشت (Rasti et al., 2015). همچنین در بررسی دیگری، محققین کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل) را تحت تأثیر تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Sarker and Oba, 2018).

مرحله جوانه‌زنی یکی از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه در شرایط تنش خشکی است و توانایی جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را به دنبال دارد که درنتیجه منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Kaya et al., 2006). پیش‌تیمار بذر یا پرایمینگ ازجمله راهکارهایی است که بذرها پس از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیک محیطی، به لحاظ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به دست می‌آورند و می‌توان با استفاده از آن تأثیر منفی تنش کم‌آبی را در بسیاری از گیاهان کاهش داد (Murungu et al., 2003). چندین روش مختلف برای پرایمینگ بذر وجود دارند که از آن جمله می‌توان به اسموپرایمینگ، هیدروپرایمینگ، ماتریک پرایمینگ، پرایمینگ هورمونی و بیوپرایمینگ اشاره کرد (Eisvand et al., 2010). گزارش شده است که هیدروپرایمینگ (پرایمینگ با آب) باعث تسریع گلدهی در گندم (Ahmadi et al., 2007)، ذرت (Murungu et al., 2004) و کاهش مدت از جوانه‌زنی تا گلدهی و باز شدن گل‌ها در نخود (Zarei et al., 2011) می‌شود.

امروزه هورمون‌های گیاهی (تنظیم‌کننده‌های رشد) در حکم ابزارهای آگروشیمیایی مفیدی می‌باشند که گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و تظاهر پتانسیل‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی یاری می‌دهند.

تنظیم‌کننده‌هایی که برای پیش تیمار بذر معمولاً استفاده می‌شوند شامل: اکسین، جیبرلین، آبسیزیک اسید، پلی‌آمین‌ها، اتیلن، براسینولید، سالیسیلیک اسید و آسکوربیک اسید است (Ashraf and Foolad, 2005).

بررسی‌های مختلفی نشان داده است که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار برای جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر بوده و زمینه سازگاری گیاه را فراهم سازد (Lotfi et al., 2015). گزارش شده است که جیبرلیک اسید با افزایش میزان کلروفیل برگ و جذب عناصر معدنی تحت تنش غیر زیستی و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی، جهت بهبود رشد گیاه شناخته شده است (Kang et al., 2014). بر اساس بررسی‌های محققین تیمار نعنای وحشی (*Mentha arvensis*) توسط سالیسیلیک اسید چه در شرایط تنش و چه غیر تنش باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل‌ها) شد (Elhakem, 2019). طی بررسی‌هایی محققین نشان دادند، مقدار پرولین و کلروفیل a با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک تحت تنش خشکی بهبود یافت (Naz et al., 2016). در پژوهشی محققین اثر چهار سطح آبیاری و چهار سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک را بر گلرنگ موردبررسی قرار دادند و نتایج یافته‌های آن‌ها نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار و محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، عملکرد دانه (۱۶۸۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۳۹۳/۷ کیلوگرم در هکتار) گلرنگ شد (Karimi and Tadayyon, 2018).

بنابراین با توجه به اثبات نقش مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد در مقابله با تنش‌های غیرزیستی توسط محققین و همچنین با توجه به کمبود نزولات در ایران در مقیاس جهانی و قرارگیری بخش عمده‌ای از کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک آزمایشی با هدف بررسی اثر پرایمینگ و محلول‌پاشی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد بر تغییرات مورفوفیزیولوژیکی گلرنگ تحت تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و محلول‌پاشی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد بر تغییرات مورفوفیزیولوژیکی گلرنگ رقم پدیده تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-

۱۳۹۶ به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا گردید. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۲۱۵ متر با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی است. میانگین بارندگی سالانه در منطقه بر اساس آمار هواشناسی ۲۴۷/۴ میلی‌متر است. عوامل آزمایشی شامل سه سطح آبیاری {آبیاری کامل (قطع آبیاری تا تخلیه ۲۵ درصد آب قابل‌استفاده)، کم‌آبیاری متوسط (قطع آبیاری تا تخلیه ۴۵ درصد آب قابل‌استفاده)، کم‌آبیاری شدید (قطع آبیاری تا تخلیه ۶۵ درصد آب قابل‌استفاده)} در مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد در کرت‌های اصلی و پنج سطح پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی بوته‌ها (آب خالص، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید، آسکوربیک اسید) به همراه یک تیمار شاهد (بدون پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی) به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه کشت به‌صورت پاییزه بوده و امکان کنترل بر میزان بارش‌های اوایل فصل بهار در زمان رشد رویشی گیاه وجود نداشت، تنش کم‌آبی قبل از گلدهی اعمال شد. تنظیم‌کننده‌های رشد مورداستفاده در این آزمایش از شرکت Merk آلمان تهیه شدند. بذرها با توجه به تیمارها جهت پرایمینگ توسط آب خالص و تنظیم‌کننده‌های رشد (با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام) به مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال قرار گرفتند، سپس در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و جهت کشت به زمین اصلی منتقل شدند. عملیات کاشت در پاییز (در تاریخ ۱۰ آبان) به‌صورت دستی با فاصله هر بذر روی ردیف ۵ سانتی‌متر انجام شد. هر کرت آزمایشی با ابعاد چهار مترمربع شامل چهار ردیف کاشت با فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و طول دو متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی نیز یک متر در نظر گرفته شد.

محلول‌پاشی بوته‌های گلرنگ در دو مرحله قبل از گلدهی و ۲۰ روز پس از گلدهی در هوای ملایم و بدون باد با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام جیبرلیک اسید، ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید، ۱۵۰ پی‌پی‌ام آسکوربیک اسید و ۳۰۰ پی‌پی‌ام هیومیک اسید انجام گرفت.

قبل از شروع آزمایش، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، در دو عمق صفر-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری، از چند نقطه زمین به‌صورت زیگزاگی نمونه-برداری انجام شد و پس از ترکیب نمونه‌های هر عمق به‌طور جداگانه با یکدیگر، نمونه مرکبی تهیه و به آزمایشگاه خاک-شناسی جهت ارزیابی خصوصیات منتقل گردید. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک محل آزمایش لومی شنی بود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical characterisitcs of the soil at the test site

عمق خاک Depth of soil	نیتروژن کل Total Nitrogen (T.N)	P	K	pH	هدایت الکتریکی Ec	کربن آلی Organic Carbone (OC)	درصد مواد خنثی شوینده T.N.V
cm	%	-- mg.kg^{-1}--			ds.m^{-1}	----------%	
0-30	0.07	20	447	8.15	0.15	0.76	13
30-60	0.05	20	475	8.15	0.18	0.50	10

عملیات آماده‌سازی زمین یک هفته قبل از کشت صورت گرفت. ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم و به دنبال آن دیسک زده شد، سپس توسط خیش زمین به‌صورت جوی و پشته به فاصله هر پشته ۵۰ سانتیمتر درآمد. جهت تقویت و تأمین عناصر موردنیاز کشت گلرنگ بر اساس توصیه کودی کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار، قبل از کشت و به همراه شخم به زمین افزوده شد. البته قابل‌ذکر است ۵۰ درصد از کود اوره در بهار در مرحله ساقه‌دهی به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. در این تحقیق جهت پرایمینگ بذور از روش هیدروپرایمینگ (پرایمینگ با آب خالص) و پرایمینگ با تنظیم‌کننده‌های رشد (هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید، جیبرلیک اسید، آسکوربیک اسید) استفاده شد. بذور گلرنگ رقم پدیده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. جهت تعیین مقدار رطوبت خاک در طی فصل رشد گیاه، پس از استقرار کامل بوته‌ها تقریباً ۶۰ روز پس از کاشت اقدام به اعمال تنش کم‌آبیاری شد. جهت اعمال تیمارهای عدم تنش و تنش از

دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) استفاده شد که طی سه مرحله آن میزان رطوبت خاک اندازه‌گیری گردید و بعد از نشان دادن عدد کاهش رطوبت تا تیمارهای آبیاری موردنظر، آبیاری صورت گرفت.

اندازه‌گیری‌ها

صفات مورد ارزیابی شامل: صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، سطح برگ)، صفات فیزیولوژیکی (کلروفیل کل، پرولین، مالون دی‌آلدئید)، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن بود. به‌منظور تعیین ارتفاع بوته، با رسیدن محصول به مرحله بلوغ فیزیولوژیکی (گلدهی کامل)، بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای (حذف دو خط کشت کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط) تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و ارتفاع بوته آن از سطح خاک تا انتهای طبق توسط متر پارچه-ای اندازه‌گیری و بعد از میانگین‌گیری به‌عنوان ارتفاع بوته ثبت شد. جهت تعیین شاخص سطح برگ، کل برگ‌های پنج بوته جدا و توسط دستگاه سطح برگ سنج (Li-Cor, Model 7 Li-1300; USA) اندازه‌گیری و پس از اعمال تناسب و تبدیل به مترمربع بر واحد سطح تقسیم و به‌عنوان شاخص سطح برگ ثبت گردید.

به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، تعداد ۵ بوته از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای برداشت شد و بذر بوته‌های برداشت‌شده پس از خشک شدن جدا و توزین گردید. سپس با اعمال تناسب عملکرد دانه نسبت به هکتار برحسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. جهت تعیین صفات فیزیولوژیکی نمونه‌برداری برگی یک هفته بعد از دومین محلول‌پاشی انجام شد. کلروفیل کل بر اساس روش آرنون (Arnon 1967) و اصلاح‌شده لیچتنتالر (Lichthentaler 1987)، به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش موردبررسی قرار گرفت و با استفاده از عصاره استنی برگ (۰/۲ گرم با ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده و سانتریفوژ گردید) در طول موجهی ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد و بر طبق معادله (۱) به دست آمد.

$$\text{کلروفیل کل} = 7.15\ A663.2 + 18.71\ A646.8 \quad [۱]$$

جهت تعیین مقدار مالون دی‌آلدئید برگ از روش هیس و پیکر (Heath and Packer, 1968) و جهت اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد.

استخراج روغن به کمک دستگاه سوکسله با استفاده از حلال آلی Nهگزان انجام شد (Joshi et al., 1998). عملکرد روغن دانه در هکتار از حاصل‌ضرب مقدار عملکرد دانه هر ژنوتیپ برحسب کیلوگرم در هکتار با درصد روغن دانه و تقسیم عدد به‌دست‌آمده بر ۱۰۰ محاسبه گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار MS-EXCEL Ver. 11 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت، اما واکنش معنی‌داری نسبت به سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل دوگانه آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان نداد (جدول ۲). با محلول‌پاشی بوته‌ها توسط تنظیم‌کننده‌های رشد هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید، جیبرلیک اسید و آسکوربیک اسید ارتفاع بوته به ترتیب افزایش ۱۲/۱۱، ۱۲/۶۴، ۱۶/۱۰ و ۱۵/۷۵ و معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت اما بین تنظیم‌کننده‌ها تفاوت معنی‌داری بر ارتفاع مشاهده نگردید. پیش تیمار توسط آب خالص نیز باعث افزایش غیر معنی‌دار ارتفاع نسبت به شاهد شد (شکل ۱). در بررسی‌های متعددی افزایش ارتفاع بوته تحت تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلیک اسید (Sure et al., 2012)، سالیسیلیک اسید (Tayebi et al., 2018)، آسکوربیک اسید (Asghari et al., 2016) و هیومیک اسید (Askari et al., 2012) ثابت شده است که نتایج حاصل از این بررسی را تأیید می‌کند. گزارش شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش تقسیم سلولی و طویل شدن آن‌ها، افزایش فعالیت-های آنزیمی و تولیدات فتوسنتزی، رشد گیاهان را بهبود داده و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد (Bakry et al., 2012).

شاخص سطح برگ

سطوح آبیاری، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثرات متقابل دوگانه این دو عامل اثر معنی‌داری ($P<0.01$) بر شاخص سطح برگ گلرنگ داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل

سطوح آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که در هر سطح محلول‌پاشی با کاهش آبیاری شاخص سطح برگ روندی کاهشی داشت.

بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۰۴) مربوط به محلول‌پاشی توسط هیومیک اسید تحت شرایط آبیاری مطلوب بود که تفاوت معنی‌داری با شاخص سطح برگ بوته‌های محلول‌پاشی شده توسط جیبرلیک اسید در این شرایط آبیاری و تنش کم‌آبی متوسط نداشت (شکل ۲). کاهش سطح برگ تحت تنش کم‌آبی در پژوهش‌های دیگر محققین نیز ثابت شده است (Hamim et al., 2016). نتایج نشان می‌دهد در شرایط آبیاری مطلوب و کم‌آبی متوسط، محلول‌پاشی هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید و تحت تنش کم‌آبی شدید محلول‌پاشی هیومیک بیشترین تأثیر افزایشی و معنی‌دار را بر سطح برگ داشتند. در تأیید نتایج پژوهش حاضر بررسی‌هایی مبنی بر افزایش سطح برگ تحت کاربرد هیومیک اسید (Fan et al., 2015)، سالیسیلیک اسید (Razmi et al., 2017) و جیبرلیک اسید (Iqbal et al., 2011) انجام شده است. به نظر می‌رسد تنظیم‌کننده‌های رشد با حفظ فشار تورژسانس سلولی به دلیل تجمع مواد فعال اسموتیک همچون پرولین (شکل ۵) مانع از کاهش سطح برگ تحت تنش خشکی شده است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد دانه و روغن دانه گلرنگ رقم پدیده

Table 2. Analysis of variance Effect irrigation levels and foliar growth regulators on Morphophysiological traits, grain yield and oil safflower cultivar padideh

source of variation	منبع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	کلروفیل کل Total chlorophyll	عملکرد دانه Grain yield
Block	بلوک	2	39.46^{ns}	0.04^{ns}	0.017^{ns}	318893.90^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	227.91^{ns}	15.63**	3.78**	34853104.17**
(Ea)	خطای اصلی	4	60.96	0.17	0.021	93616.33
Growth Regulators (G)	تنظیم‌کننده‌های رشد	5	468.77**	3.08**	7.96**	4767062.18**
I × G	آبیاری ×تنظیم‌کننده رشد	10	93.64^{ns}	0.74**	0.091**	239271.21^{ns}
(Eb)	خطای فرعی	30	60.98	0.12	0.021	310558.71
CV%	ضریب تغییرات		*6.81*	*17.60*	*3.13*	*10.79*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

source of variation	منبع تغییر	درجه آزادی df	پرولین Proline	مالون دی‌آلدئید MDA	درصد روغن دانه Percentage of seed oil	عملکرد روغن Oil yield
Block	بلوک	2	0.13^{ns}	0.16^{ns}	2.97^{ns}	46280.71*
Irrigation (I)	آبیاری	2	47.52**	8.75**	8.58^{ns}	513171031.21**
(Ea)	خطای اصلی	4	1.50	0.09	4.32	2663.38ns
Growth Regulators (G)	تنظیم‌کننده‌های رشد	5	2.52^{ns}	25.12**	22.07**	767748.93**
I × G	آبیاری ×تنظیم‌کننده رشد	10	20.17**	0.15^{ns}	6.96*	43664.12^{ns}
(Eb)	خطای فرعی	30	1.88	0.17	2.85	41940.80
CV%	ضریب تغییرات		*10.52*	*5.14*	*4.74*	*11.09*

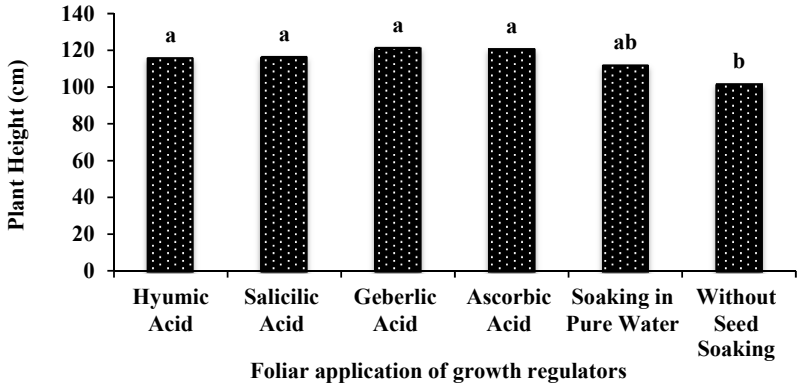
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** Inexplicable and significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

کلروفیل کل

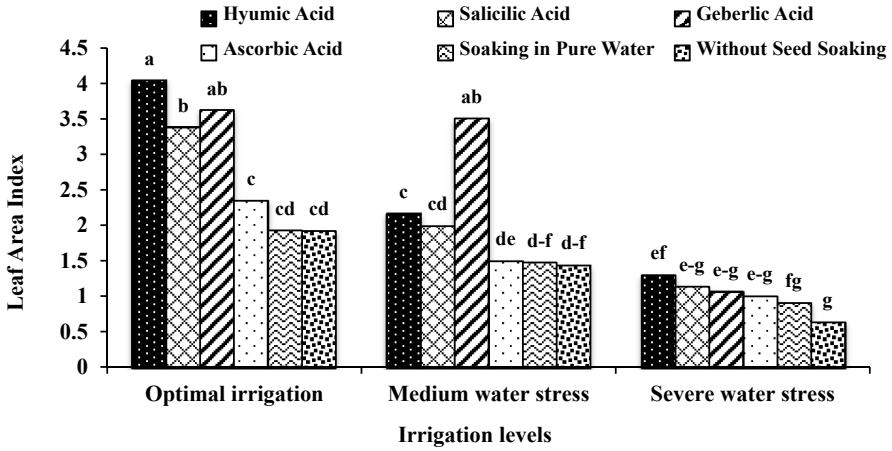
مقدار کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد و اثرات متقابل دوگانه این دو عامل قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد، در هر سطح آبیاری با محلول‌پاشی

بوته‌ها توسط تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار کلروفیل کل افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و پرایمینگ توسط آب خالص داشت. بیشترین مقدار کلروفیل کل مربوط به برگ بوته‌های محلول‌پاشی شده توسط سالیسیلیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب (۶/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که با کاهش آبیاری روند کاهشی و معنی‌داری داشت. نتایج همچنین نشان می‌دهد در بقیه تنظیم‌کننده‌های رشد نیز با کاهش آبیاری از سطح مطلوب تا تنش کم‌آبی شدید مقدار کلروفیل روندی کاهشی داشت. با محلول‌پاشی بوته‌ها توسط آب خالص و تیمار شاهد نیز مقدار کلروفیل کل با کاهش آبیاری از سطح مطلوب کاهش یافت (شکل ۳).



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های ساده اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر ارتفاع بوته

Fig. 1. Comparison of simple means of foliar application of growth regulators on plant height

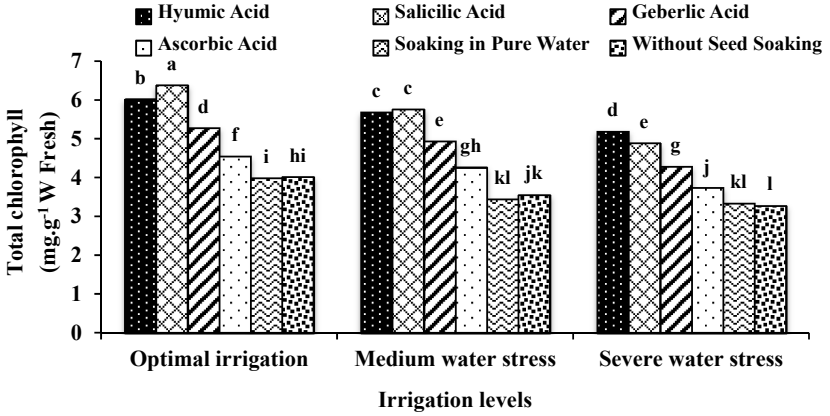


شکل ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری در محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص سطح برگ

Fig. 2. Comparison of means of interaction of irrigation levels in foliar application of growth regulators on leaf area index

بررسی‌های متعددی کاهش محتوای کلروفیل را تحت تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Chavoushi et al., 2020; Ahmadizadeh, 2013) که با نتایج حاصل از این بررسی در یک راستا بود. کلروپلاست‌ها و تجزیه کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز ازجمله عوامل مؤثر بر کاهش غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش کمبود آب است (Sirousmehr et al., 2015). با توجه به نتایج بررسی حاضر تحت تنش کم‌آبی متوسط هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و تحت تنش کم‌آبی شدید هیومیک اسید بیشترین تأثیر را بر حفظ کلروفیل کل داشتند. نتایج بررسی‌های محققین دیگر نیز نشان‌دهنده اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر کلروفیل کل تحت تنش خشکی است (Aldesuquy et al., 2012). طی بررسی‌هایی که توسط محققین انجام شده است محلول‌پاشی بوته‌های گل داوودی

توسط اسید هیومیک باعث افزایش مقدار کلروفیل کل شد (Fan et al., 2014)؛ که با نتایج حاصل از این بررسی در یک راستا بود. افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه به‌خصوص نیتروژن می‌تواند مهم‌ترین عامل در افزایش مقدار کلروفیل تحت اسید هیومیک بوده باشد (Shahsavan Markadeh and Chamani, 2014). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد خارجی آسکوربیک اسید بر گندم باعث حفظ غلظت رنگ‌دانه‌های کلروفیل و کاهش تأثیر تنش خشکی شد (Malik & Ashraf, 2012). نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان می‌دهد که جیبرلیک اسید نیز اثر افزایشی و معنی‌داری بر مقدار کلروفیل کل داشت که در پژوهش‌های دیگر محققین نیز این نتایج بر گندم (Shaddad et al., 2013) ثابت شده است.



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری در محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر کلروفیل کل

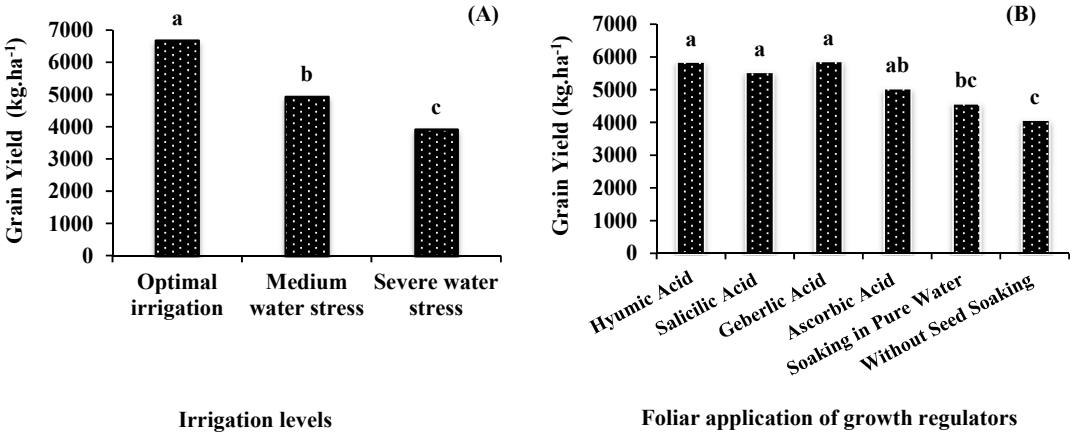
Fig. 3. Comparison of means of interaction of irrigation levels in foliar application of growth regulators on Total chlorophyll.

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت اثرات اصلی سطوح آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت اما اثرات متقابل دوگانه این دو عامل اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با کاهش آب آبیاری مقدار عملکرد دانه از روندی کاهش برخوردار بود، به‌طوری‌که تحت تنش کم‌آبی شدید کاهش ۴۱/۳۱ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب داشت (شکل A۴). نتایج اثرات اصلی همچنین نشان می‌دهد که تحت محلول‌پاشی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد عملکرد دانه افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد اما بین تنظیم‌کننده‌ها تفاوت معنی‌داری بر مقدار عملکرد دانه مشاهده نگردید. با پرایمینگ توسط آب خالص نیز عملکرد دانه افزایش غیر معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت (شکل B۴).

بر اساس نتایج این بررسی مقدار عملکرد دانه با کاهش آبیاری روندی کاهشی نشان داد که این نتایج در بررسی‌های دیگر محققین نیز ثابت شده است (Amini et al., 2013).

در مطالعه‌ای محققین نشان دادند تنش خشکی عملکرد دانه را از طریق تحت تأثیر قرار دادن وزن خشک اندام‌های هوایی و اجزای عملکرد کاهش می‌دهد (Jabbari Orange and Ebadi, 2012). با توجه به نتایج این بررسی تحت محلول‌پاشی هر چهار نوع تنظیم‌کننده عملکرد دانه افزایش معنی¬داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد (شکل ۴ .(Bطی بررسی‌های محققین محلول‌پاشی شش لیتر در هکتار اسید هیومیک باعث افزایش ۹ درصدی عملکرد دانه گلرنگ نسبت به تیمار شاهد شد (Karimi and Tadayyon, 2018). اسید هیومیک با بهبود جذب عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و نیز برخی از عناصر ریزمغذی سبب افزایش غلظت کلروفیل، فتوسنتز و تداوم بافت‌های فتوسنتز کننده شده و از این طریق باعث افزایش عملکرد می‌شود (Nardi et al., 2002; Santiago et al., 2008). طی بررسی‌های محققین نشان دادند که کاربرد جیبرلین تحت شرایط تنش خشکی باعث بهبود عملکرد دانه ذرت شد (Shaddad et al., 2013). بر اساس مطالعات انجام شده توسط محققین سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و عدم تنش باعث بهبود رشد و عملکرد دانه ذرت شد (Moghaddam et al., 2011).



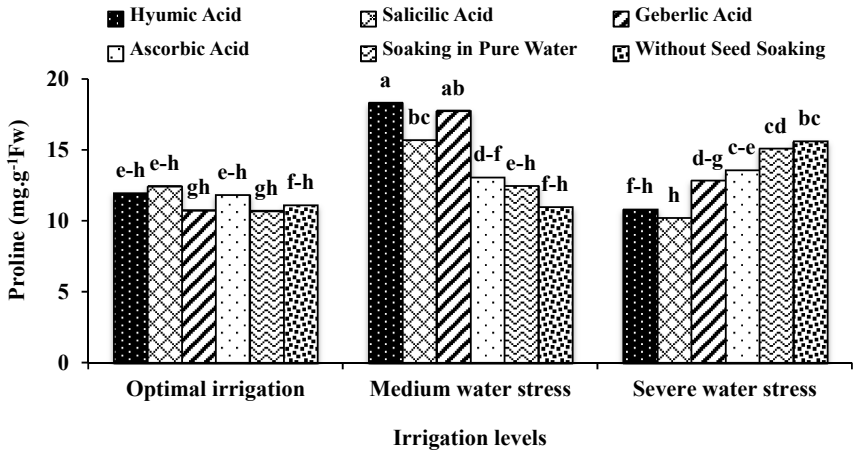
شکل ۴. مقایسه میانگین‌های ساده اثر سطوح مختلف آبیاری (A) و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد (B) بر عملکرد دانه

Fig. 4. Comparison of simple means of irrigation levels (A) and foliar application of growth regulators (B) on Grain yield

پرولین

محتوای پرولین برگ تغییر معنی‌داری نسبت به محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نداشت اما به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر سطوح آبیاری و اثرات متقابل دوگانه سطوح آبیاری در محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج اثر متقابل دوگانه نشان می‌دهد که تحت محلول‌پاشی هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید با قطع آبیاری از ۲۵ به ۴۵ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده، محتوای پرولین برگ افزایش معنی‌داری داشت ولی با قطع آبیاری از ۴۵ تا ۶۵ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده، محتوای پرولین برگ کاهش معنی‌داری نشان داد یعنی با کاهش آبیاری محتوای پرولین ابتدا افزایش و سپس کاهش داشت (شکل ۵).

طبق پژوهش حاضر نیز مقدار پرولین تحت تنش شرایط کم‌آبی متوسط (قطع آبیاری تا تخلیه ۴۵ درصد آب قابل‌استفاده) افزایش یافت که با نتایج بررسی‌های دیگر محققین در یک راستا بود (Jan et al., 2019). افزایش پرولین در دوره تنش ممکن است نتیجه تجزیه پروتئین‌ها و کاهش استفاده از آن‌ها به دلیل کاهش رشد گیاه باشد. طبق نتایج بررسی حاضر با کاهش بیشتر آبیاری تا سطح تنش کم‌آبی شدید مقدار پرولین کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به دلیل آسیب‌های متابولیکی مخرب باشد (Izadpanah and Calagari, 2014). بر اساس یافته‌های محققین محتوای پرولین در گیاه همیشه‌بهار با افزایش تنش کم‌آبی ابتدا افزایش و با بیشتر شدن شدت تنش کاهش یافت (Jafarzadeh et al., 2013) که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت داشت. طبق نتایج این بررسی تحت تنش کم‌آبی متوسط هیومیک اسید و جیبرلیک اسید بیشترین تأثیر افزایشی را بر مقدار پرولین داشتند. در بررسی‌ها محققین بیان داشتند که مقدار پرولین برگ گلرنگ تحت محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد افزایش معنی‌داری داشت (Karimi et al., 2016). این محققین دلیل این افزایش را از طریق تأثیر این نوع تنظیم‌کننده‌ها در ایجاد شرایط مناسب برای افزایش در محتوای نیتروژن بیان داشتند که این می‌تواند نقش مهمی در افزایش میزان ترکیبات نیتروژن‌دار مانند پروتئین و اسیدهای آمینه در گیاه داشته باشد. در گزارشی دیگر محققین نشان دادند که کاربرد برگی هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش مقدار پرولین برگ بامیه شد و بیشترین مقدار پرولین در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید حاصل شد (Barzegar et al., 2016)، این نتایج با نتایج حاصل از این بررسی مبنی بر نقش مؤثر هیومیک اسید در افزایش پرولین تحت تنش خشکی در یک راستا بود. طی بررسی‌های انجام شده توسط محققین مقدار پرولین تحت تنش خشکی افزایش یافت که این افزایش تحت کاربرد سالیسیلیک اسید شدت بیشتری داشت و دارای بالاترین مقدار بود (Elhakem, 2019).

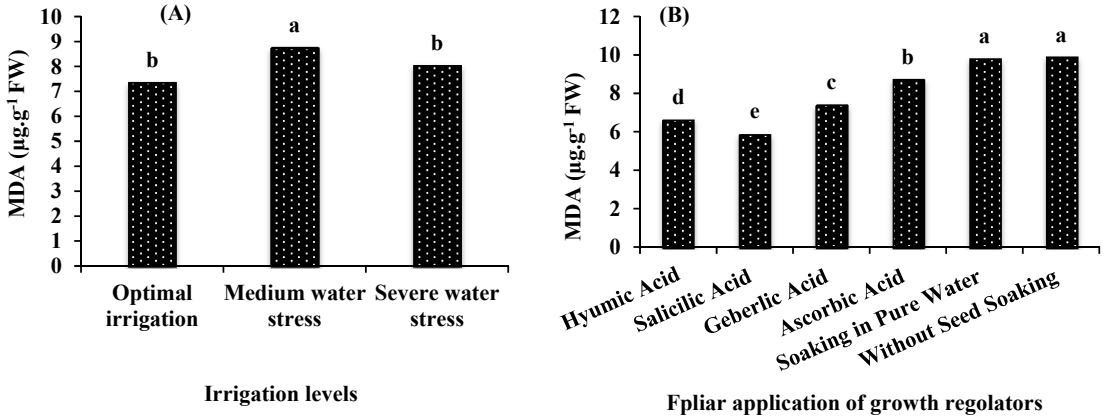


شکل ۵. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری در محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر پرولین برگ

Fig. 5. Comparison of means of interaction of irrigation levels in foliar application of growth regulators on Leaf proline

مالون دی‌آلدئید

محتوای مالون آلدئید برگ به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) تحت تأثیر سطح آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت، این در حالی بود که واکنش معنی‌داری نسبت به اثر متقابل دوگانه این دو عامل نشان نداد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها با کاهش آب آبیاری تا سطح کم‌آبی متوسط مقدار مالون دی‌آلدئید برگ افزایش ۱۵/۹۲ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب داشت. با کاهش آبیاری تا سطح تنش کم‌آبی شدید مقدار مالون دی‌آلدئید برگ نسبت به کم‌آبی متوسط کاهش معنی‌دار و نسبت به آبیاری مطلوب افزایش غیر معنی‌داری نشان داد (شکل A۶). مقدار مالون دی‌آلدئید برگ تحت محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و پرایمینگ با آب خالص داشت و برگ بوته‌های محلول‌پاشی شده توسط سالیسیلیک اسید حاوی کمترین مقدار مالون دی‌آلدئید (۵/۸۶ میکرومول بر گرم وزن تر) بودند که نسبت به تیمار شاهد (بدون بذر مالی) کاهش ۴۰/۵۷ درصدی و معنی‌داری داشت (شکل B۶).



شکل ۶. مقایسه میانگین‌های ساده اثر سطوح مختلف آبیاری (A) و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد (B) بر مالون دی‌آلدئید

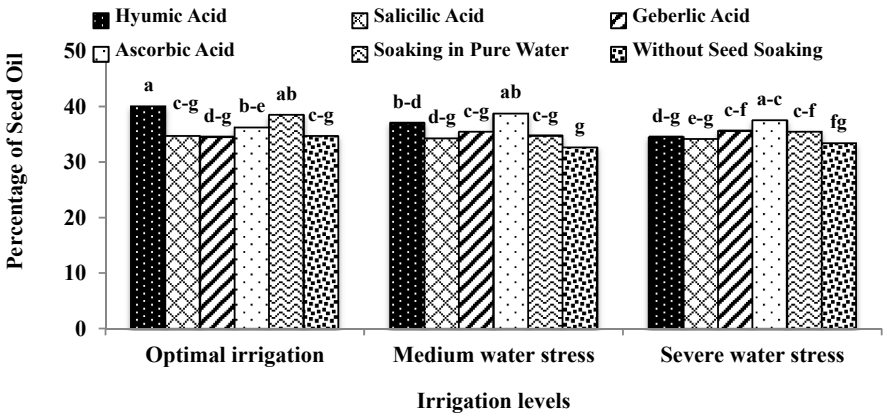
Fig. 6. Comparison of simple means of irrigation levels (A) and foliar application of growth regulators (B) on MDA

با توجه به نتایج بررسی حاضر مقدار مالون دی‌آلدئید با کاهش آبیاری افزایش معنی‌داری داشت که با نتایج یافته‌های دیگر محققین در یک راستا بود (Rahimi et al., 2019). افزایش مالون دی‌آلدئید نشان‌دهنده این است که تحت تنش خشکی ساختار غشاء آسیب‌دیده و لیپیدهای آن تجزیه‌شده است و از طرفی باوجود ترکیبات گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که تحت تنش زیاد می‌شود این لیپیدها اکسیده شده و مالون دی‌آلدئید تولید می‌شود؛ بنابراین وجود سیستم آنتی-اکسیدان قوی باعث تقلیل ترکیبات ROS شده و به‌نوعی می‌تواند باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شود (Zafari et al., 2012). تنظیم‌کننده‌های رشد به‌عنوان آنتی‌اکسیدان-های قوی در گیاه باعث پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال شناخته‌شده‌اند که بررسی‌های مختلفی در این زمینه در دسترس است (Naz et al., 2016). با توجه به نتایج این بررسی تحت محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد مقدار مالون دی‌آلدئید کاهش معنی‌داری داشت (شکل B۶). بر اساس بررسی‌های دیگر محققین نیز مقدار مالون دی‌آلدئید تحت محلول‌پاشی توسط سالیسیلیک اسید (Hassanein et al., 2015)، هیومیک اسید (Nikbakht et al., 2008) و جیبرلیک اسید (Jan et al., 2019) کاهش داشت که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.

درصد روغن دانه

درصد روغن دانه واکنش غیر معنی‌داری نسبت به سطوح آبیاری نشان داد، اما به‌طور معنی‌داری تحت اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد ($P<0.01$) و اثرات متقابل دوگانه سطوح آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد ($P<0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان می‌دهد در شرایط آبیاری مطلوب پرایمینگ و محلول‌پاشی اسید هیومیک بیشترین تأثیر را بر درصد روغن دانه داشت که تفاوت معنی-داری با تیمار پرایمینگ با آب خالص نداشت. تحت تنش کم‌آبی متوسط و شدید پرایمینگ و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بیشترین تأثیر افزایشی را بر درصد روغن نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۷).

با توجه به نتایج حاصل از این بررسی سطوح آبیاری به‌تنهایی اثر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت و در اثر متقابل سطوح آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد، فقط تحت محلول‌پاشی توسط هیومیک اسید و پرایمینگ توسط آب خالص با کاهش آبیاری تا سطح متوسط درصد روغن کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۷). در بررسی‌های دیگر محققین درصد روغن دانه تحت تنش خشکی کاهش داشت (Mohammadi et al., 2018). طبق نتایج اثر متقابل، در هر سطح آبیاری درصد روغن دانه واکنش متفاوتی نسبت به محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد (شکل ۷)، مثلاً در شرایط آبیاری مطلوب هیومیک اسید و پرایمینگ توسط آب خالص و در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید آسکوربیک اسید بیشترین اثر افزایشی و معنی‌داری را بر درصد روغن داشت (شکل ۷).



شکل ۷. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری در محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر درصد روغن دانه

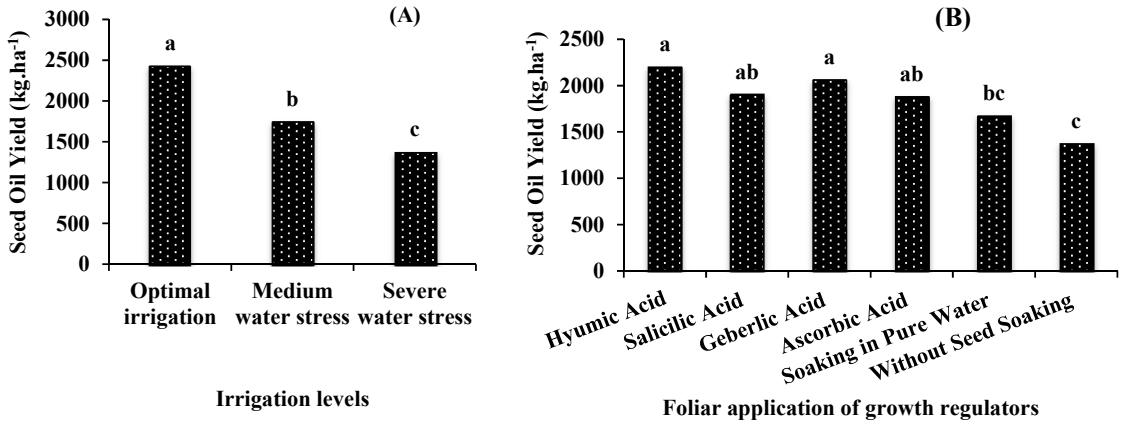
Fig. 7. Comparison of means of interaction of irrigation levels in foliar application of growth regulators on Percentage of seed oil

طی مطالعه‌ای محققین نشان دادند که محلول‌پاشی بوته‌های سیاه‌دانه توسط سه سطح اسید هیومیک (۱، ۳ و ۶ لیتر در هکتار) باعث افزایش معنی‌دار درصد روغن دانه شد (Tadayyon and Beheshti, 2016). نتایج یافته‌های محققین نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار مقدار روغن تحت مقادیر مختلف جیبرلیک اسید در چند رقم گلرنگ بود (Arslan et al., 2017). با توجه به نتایج حاضر در شرایط آبیاری مطلوب با هیدروپرایمینگ درصد روغن دانه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. در بررسی‌هایی محققین اظهار داشتند که عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ در حالت هیدروپرایمینگ نسبت به بذرهای شاهد بیشتر بود و با افزایش میزان رطوبت قابل‌دسترس برای گیاه عملکرد دانه افزایش و با تأخیر در آبیاری، درصد روغن کاهش یافت (Ashrafi and Razmjoo, 2014).

عملکرد روغن دانه

مقدار عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد قرار گرفت (جدول ۲)، اما واکنش معنی‌داری نسبت به اثر متقابل دوگانه این دو عامل نشان نداد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها با کاهش آبیاری عملکرد روغن دانه روندی کاهشی داشت به‌طوری‌که در سطح تنش کم‌آبی شدید کاهش ۴۳/۴۶ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد (شکل A۸). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد با پرایمینگ و محلول‌پاشی بوته‌های گلرنگ توسط تنظیم‌کننده‌های رشد عملکرد روغن دانه افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت و هیومیک اسید و جیبرلیک اسید بیشترین تأثیر را بر این صفت داشتند هرچند که تفاوت معنی‌داری با دیگر تنظیم‌کننده‌ها نداشتند. تحت پرایمینگ با آب خالص نیز درصد روغن دانه دارای افزایش غیرمعنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بود (شکل B۸).

عملکرد روغن برآیند درصد روغن و عملکرد دانه است؛ بنابراین هر عاملی که در افزایش و کاهش عملکرد دانه و درصد روغن دانه تأثیر داشته باشد می‌تواند عملکرد روغن را تحت شعاع خود قرار دهد (Laaniste et al., 2008). همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد کاهش سطح آبیاری باعث کاهش و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش عملکرد و درصد روغن دانه شد (شکل‌های ۴ و ۷). طی بررسی‌های محققین تنش خشکی اثر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت اما از طریق کاهش عملکرد دانه موجب کاهش عملکرد روغن گردید (Shir esmaeili et al., 2018) که با نتایج حاصل از این بررسی مبنی بر عدم تأثیر معنی‌دار سطوح آبیاری بر درصد روغن دانه و اثر معنی‌دار بر عملکرد دانه در یک راستا بود. طی بررسی‌های محققین تحت محلول‌پاشی شش لیتر در هکتار اسید هیومیک، عملکرد دانه ۹ درصد و عملکرد روغن ۲۰ درصد افزایش داشت (Karimi and Tadayyon, 2018). طی مطالعه‌ای پژوهشگران، تأثیر افزایشی اسید آسکوربیک بر عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه گلرنگ را گزارش کردند (Mohtashamii et al., 2020) که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.



شکل ۸. مقایسه میانگین‌های ساده اثر سطوح مختلف آبیاری (A) و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد (B) بر عملکرد روغن دانه

Fig. 8. Comparison of simple means of irrigation levels (A) and foliar application of growth regulators (B) on seed oil yield

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج کلی از این بررسی تنش خشکی اثر منفی بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد و درصد روغن دانه گلرنگ داشت. به‌طوری‌که عملکرد و روغن دانه به ترتیب کاهش معنی‌داری به میزان ۴۱/۳۱ و ۴۳/۴۶ درصد نسبت به آبیاری مطلوب نشان داد. با کاهش آبیاری مقدار مالون دی‌آلدئید افزایش داشت اما این افزایش تحت تنش متوسط معنی‌دار و تحت تنش شدید غیرمعنی‌دار بود. با پرایمینگ و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد، ارتفاع، کلروفیل کل، عملکرد و روغن دانه افزایش و مالون دی‌آلدئید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. نتایج نشان می‌دهد با پرایمینگ توسط آب خالص هرچند صفات فیزیولوژیکی و عملکرد بهبود یافت اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. با توجه به کمبود آب در مرحله گلدهی و دانه‌بندی گلرنگ در بیشتر مناطق ایران، محلول‌پاشی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد همچون هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید می‌تواند با افزایش صفات بیوشیمیایی همچون پرولین، نقش مؤثری در بهبود عملکرد تحت تنش متوسط مؤثر داشته باشد

منابع

Arslan, Y., Hacioglu, B.T., 2018. Seed fatty acid compositions and chemotaxonomy of wild safflower (*Carthamus tinctorius* L.). species in Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 42, 45-54.

Asghari, M., Masoumi Zavariyan, A., Yousefi Rad, M., 2016. The effect of foliar application of ascorbic acid on yield components and physiologic character of sweet corn under different irrigation regims. Cereal Research. 6, 229-240. [In Persian with English Summary].

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2005. Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in agronomy. 88, 223-271.

Ashrafi, E., Razmjoo, J., 2014. Effect of seed hydropriming and irrigation regimes on grain, biological yield, harvest index, oil and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi). 103, 61-68. [In Persian with English Summary].

Bakry, B. A., El-Hariri, D. M., Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S., 2012. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. Journal of Applied Sciences Research. 8, 3503-3514.

Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J., Ghahremani, Z., 2016. Physiological response of Okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. International Journal of Horticultural Science and Technology. 3, 187-197.

Askari, M., Habibi, D., Naderi Brujerdi, G., 2012. Effect of vermicompost, plant growth, porpmiting rhizobacteria and humic acid on grieth factor of Mentha piperata L. in centaral provience. Journal of Agriculture and Plant Breeding. 4, 41-54.

Ahmadi, A., Mardeh, A.S., Poustini, K., Jahromi, M.E., 2007. Influence of osmo and hydropriming on seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different moisture and temperature conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences. 10, 4043-4049.

Ahmadizadeh, M., 2013. Physiological and agro-morphological response to drought stress. Middle-East Journal of Scientific Research. 13, 998-1009.

Aldesuquy, H.S., Abo-Hamed, S.A., Abbas, M.A., Elhakem, A.H., 2012. Role of glycine betaine and salicylic acid in improving growth vigour and physiological aspects of droughted wheat cultivars. Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 8, 149-171.

Amini, H., Arzani, A., Bahrami, F., 2013. Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. International Journal of Plant Production. 7, 598-614

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

Arslan, B., Culpan, E., 2017. Effects of different gibberellic acid doses on seed yield, oil content and some quality traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Global Innovations in Agricltureal and Social Sciences. 5, 5-9.

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y., Siddique, K.H., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. Agronomy for Sustainable Development. 36, 3.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S. A., 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. Scientia Horticulturae. 259, 108823.

Eisvand, H.R., Tavakkol-Afshari, R., Sharifzadeh, F., Maddah Arefi, H., Hesamzadeh Hejazi, S.M., 2010. Effects of hormonal priming and drought stress on activity and isozyme profiles of antioxidant enzymes in deteriorated seed of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* Host). Seed Science and Technology. 38, 280-297.

Elhakem, A.H., 2019. Impact of salicylic acid application on growth, photosynthetic pigments and organic osmolytes response in *Mentha arvensis* under drought stress. Journal of Biological Sciences. 19, 372-380.

Fan, H. M., Li, T., Sun, X., Sun, X. Z., Zheng, C. S., 2015. Effects of humic acid derived from sediments on the postharvest vase life extension in cut chrysanthemum flowers. Postharvest Biology and Technology. 101, 82-87.

Fan, H.M., Wang, X.W., Sun, X., Li, Y.Y., Sun, X.Z., Zheng, C.S., 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Scientia Horticulturae. 177, 118-123.

FAOSTAT, 2019. [online] available at: Faostat3.fao.org/compare/E

Hamim, H., Banon, S., Dorly, D., 2016. Comparison of physiological and anatomical changes of C3 (*Oryza sativa* L.) and C4 (*Echinochloa crusgalli* L.) leaves in response to drought stress. Earth and Environmental Science. 31, 1- 10.

Hassanein, R.A., Amin, A.A.E., Rashad, E.S.M., Ali, H., 2015. Effect of thiourea and salicylic acid on antioxidant defense of wheat plants under drought stress. International Journal of Chemistry Technology Research. 7, 346-354.

Heath, R.L., Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125, 189-198.

Iqbal, N., Nazar, R., Khan, M.I.R., Masood, A., Khan, N.A., 2011. Role of gibberellins in regulation of source–sink relations under optimal and limiting environmental conditions. Current Science. 100(7), 998-1007.

Izadpanah, M., Calagari, M., 2014. Effects of drought on osmotic adjustment, antioxidant enzymes and pigments in wild Achillea tinctoria populations. Ethno-Pharmaceutical Products. 1, 43-54.

Jabbari-Orange, Ebadi, A., 2012. Responses of phenological and physiological stages of spring safflower to complementary irrigation. African Journal of Biotechnology. 11, 2465-2471.

Jafarzadeh, L., Omidi, H., Bostani, A. A., 2013. Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 29, 666-680. [In Persian with English Summary].

Jan, A.U., Hadi, F., Akbar, F., Shah, A., 2019. Role of potassium, zinc and gibberellic acid in increasing drought stress tolerance in sunflower (*helianthus annuus* l.). Pakistan Journal of Botany. 51, 809-815.

Javed, S., Bukhari, S.A., Ashraf, M.Y., Mahmood, S., Iftikhar, T., 2014. Effect of salinity on growth, biochemical parameters and fatty acid composition in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pakistan Journal of Botany. 46, 1153-158.

Joshi, N.L., Mali, P.C., Saxena, A., 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) oil. Journal of Agronomy and Crop Science. 180, 59-63.

Kang, S.M., Radhakrishnan, R., Khan, A.L., Kim, M.J., Park, J.M., Kim, B.R., ..., Lee, I. J., 2014. Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. Plant Physiology and Biochemistry. 84, 115-124.

Karimi, E., Tadayyon, A., 2018. Effect of humic acid spraying on yield and some morphological characteristic of safflower (*Carthamus*

tinctorius L.) under drought stress conditions. Applied Field Crops Research. 31, 19-38. [In Persian with English Summary].

Karimi, E., Tadayyon, A., Tadayyon, M.R., 2016. The effect of humic acid on some yield characteristics and leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. Journal of Crops Improvement. 18, 609-623. [In Persian with English Summary].

Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., Kolsarıcı, Ö., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy. 24, 291-295.

Laaniste, P., Joudu, J., Eremeev, V., Maeorg. E., 2008. Effect of sowing date and increasing sowing rates on plant density and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under Nordic climate conditions. Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science. 58, 330-335.

Lichthentaler, H.K., 1987. Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148, 350-382,

Lotfi, R., Gharavi-Kouchebagh, P., Khoshvaghti, H., 2015. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress. Russian Journal of Plant Physiology. 62, 480-486.

Malik, S., Ashraf, M., 2012. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. Soil and Environment. 31, 72-77.

Miri, H. R. and Zamani moghadam, A. 2015. 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, N.M., Arvin, M.J., Nezhad, G.K., Maghsoudi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. Seed and Plant Production Journal. 2-27, 41-55. [In Persian with English Summary].

Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Chaichi, M.R., Safikhani, S., 2018. Seed oil accumulation and yield of safflower affected by Water supply and harvest time. Agronomy Journal. 110, 1-8.

Mohtashamii, F., Tadayon, M.R., Roshandel, P., 2020. Effect of deficit irrigation regimes and foliar application of jasmonic acid and ascorbic acid on some secondary metabolites, oil yield and grain yield of safflower genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research. 17, 591-603. [In Persian with English Summary].

Murungu, F.S., Chiduza, C., Nyamugafata, P., Clark, L.J., Whalley, W.R., Finch-Savage, W.E., 2004. Effects of 'on-farm seed priming'on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe. Field Crops Research. 89, 49-57.

Murungu, F.S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L.J., Whalley, W.R., 2003. Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). Soil and Tillage Research. 74, 161-168.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34, 1527-1536.

Naz, H.I.R.A., Akram, N.A., Ashraf, M., 2016. Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. Pakistan Journal of Botany. 48, 877-883.

Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A., Etemadi, N. A., 2008. Effect of humic acid on plant growh, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. Journal of Plant Nutrition. 31, 2155-2167.

Rahimi, Z., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A., 2019. Effects of drought stress on antioxidant enzymes activity and some physiological traits of drought resistant and susceptible cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Wheat Research. 2, 69-86. [In Persian with English Summary].

Rasti, E., Saffari, M., Maghsoudi Moud, A., 2015. The effects of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress conditions. Irrigation and Water Engineering. 5, 69-80. [In Persian with English Summary].

Razmi, N., Ebadi, A., Daneshian, J., Jahanbakhsh, S., 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water

deficit condition. Journal of Plant Interactions. 12, 457-464.

Santiago, A., Quintero, J.M., Carmona, E., Delgado, A., 2008. Humic substances increase the effectiveness of iron sulfate and vivianite preventing iron chlorosis in white lupin. Biology and Fertility of Soils. 44, 875-883.

Sarker, U., Oba, S., 2018. Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of Amaranthus leafy vegetable. BMC Plant Biology. 18, 258.

Shaddad, M.A.K., 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 Biochemistry. 5, 50-57.

Shahsavan Markadeh, M., Chamani, E., 2014. Effects of various concentrations and time of humic acid application on quantitative and qualitative characteristics of cut stock flower (Matthiola incana 'Hanza'). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture-Isfahan University of Technology. 5, 157-171. [In Persian with English Summary].

Shir esmaeili, Gh.H., Maghsudi mood, A.A., Khajueinejad, Gh.R., Abdoshahi, R., 2018. Yield and oil percentage of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) in spring and summer planting seasons affected by drought stress. Journal of Crop Ecophysiology. 12, 237-252. [In Persian with English Summary].

Sirousmehr, A., Bardel, J., Mohammadi, S., 2015. Changes of germination properties, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of safflower as affected by drought and salinity stresses. Journal of Crop Eciphysiology. 8, 517-534. [In Persian with English Summary].

Sure, S., Arooie, H. and Azizi, M. 2012. Influence of plant growth regulators (PGRs) and planting method on growth and yield in oil pumpkin (*Cucurbita pepo* var. styriaca). Notulae Scientia Biologicae. 4, 101-107.

Tadayyon, A., Beheshti, S., 2016. Effect of foliar applications of humic acid, iron and zinc on some characteristics of negro (*Guizotia abyssinica* L.). Journal of Crop Ecophysiology. 10, 283-296. [In Persian with English Summary].

Tayebi, A., Earahvash, F., Mirshekari, B., Tari-nejad, A., Yarnia, M., 2018. Effect of shoot application of Salicylic acid on some growth parameres and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. Journal of Plant Ecophysilogy. 9, 78-93. [In Persian with English Summary].

Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., SkZ, A., 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research. 184, 13-24.

Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R., Noorbakhsh, S.N., 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). Acta Physiologiae Plantarum. 34, 561-568.

Zarei, I., Mohammadi, G., Sohrabi, Y., Kahrizi, D., Khah, E.M., Yari, K., 2011. Effect of different hydropriming times on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology. 10, 14844-14850