University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 3, pp. 505-521 (Fall 2024)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.6089.2192

Original article

Effect of irrigation regime and foliar application of methyl jasmonate on physiological, biochemical and growth alterations of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties

Z. Tamassoki[1*], A. Andalibi[2], S. Nasiri[3]

1. M.Sc. Student of Crop Physiology, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural, University of Zanjan, Iran
3. PhD student of Plant Physiology and Crop Production, University of Zanjan, Iran

Received 5 February 2023; Accepted 20 August 2023

Extended abstract

Introduction

Water shortage has become a global problem and has caused many problems in agriculture and food supply for the growing world. Barley (*Hordeum vulgare* L.) as the fourth mostly-cultivated cereal, is one of the most strategic crop plants which is produced almost all over the world as a source of and important staple food and animal feed (Thabet et al., 2020). Food uncertainty is a comprehensive obstacle becomes more serious hazard all over the world in particular in developing countries for the sake of overpopulation and dwindling accessibility of croplands, water and other resources related to agricultural scopes. Water scarcity, results in plenty of disturbances in plant functions like cell division and elongation, water and nutrients relations, photosynthesis, enzymes activity, stomata movement, assimilate partitioning, respiration, oxidative damage, growth, and productivity, as several types of researches show that water shortage in the soil cause many disorders in plant tissues, which in turn leads to a punctual diminish in the photosynthesis rate (Todorova et al., 2022). In such a trouble circumstances, most of the plants are not capable to absorb abundant water, which is required for optimized growth (Danish et al., 2020).

Materials and methods

To investigate the impact of different irrigation regimes as well as foliar application of methyl jasmonate on growh, physiological and biochemical characteristics of barley varieties, an experimental research using factorial split plot design in 3 replications was carried out in experimental farm of the faculty of agriculture at the University of Zanjan in 2021-2022 cultivation season. In this experiment, irrigation regimes as the main factor, including complete irrigation as the control, withholding water in flowering stage, withholding water in grain filling period and complete dry farming, varieties as the secondary factor including Bahman, Sahand, Jolgeh, Abidar as well as Ansar, and foliar application of methyl jasmonate including without spraying (control) and spraying 50 µmol of methyl jasmonate were investigated. Results showed that the effect of irrigation regime had significant impact on almost all of the characteristics except chlorophyll a/b.

* Corresponding author: Zeynab Tamassoki; E-Mail: zeynab.tamasoki@gmail.com

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion
Varieties showed considerable difference from the aspect of height, concentration of soluble sugar and grain yield. Effect of Methyl jasmonate on the relative water content (RWC), photosynthetic pigments, soluble sugar content, proline content, Malondialdehyde (MDA) and grain yield was significant. The highest grain yield (4762 kg ha^{-1}) was detected when variety of Jolgeh was irrigated normally and was sprayed by 50 µmol of Methyl jasmonate and the lowest grain yield (432 kg ha^{-1}) was seen when variety of Bahman was dry-farmed without foliar application of methyl jasmonate.

Conclusion
The current study illustrated that barley can be grown in drought stress conditions if the right management is set on its cultivation. Methyl jasmonate showed a significant impact on the growth characteristics, biochemical and physiological attributes of the barley, despite the fact that drought had substantial adverse effects on the studied parameters of barley. However, drought resulted in different properties in barley varieties.

Keywords: Barley, Drought stress, Height, Malondialdehyde, Photosynthetic pigment, Proline

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.6089.2192

مقاله پژوهشی

اثر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی متیل جاسمونات بر تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و رشدی ارقام جو (*Hordeum vulgare* L.)

زینب تمسکی[۱]، بابک عندلیبی[۲*]، سجاد نصیری[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه زنجان، زنجان
۲. استادیار گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، زنجان
۳. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه زنجان، زنجان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
ارتفاع
پرولین
تنش خشکی
رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی
مالون‌دی‌آلدهید

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۹
تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۳
۱۷(۳): ۵۰۵-۵۲۱

چکیده

کمبود آب به مشکلی جهانی تبدیل شده و باعث مشکلات بسیاری در بخش کشاورزی و تأمین غذا برای جمعیت رو به رشد جهان شده است به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی هورمون متیل‌جاسمونات بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جو، آزمایشی به‌صورت طرح اسپلیت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام شد. در این آزمایش، رژیم‌های آبیاری به‌عنوان اثر اصلی شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دیم کامل، ارقام به‌عنوان اثر فرعی شامل رقم بهمن، سهند، جلگه، آبیدر و انصار و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات شامل بدون محلول‌پاشی (شاهد) و محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل‌جاسمونات موردبررسی قرار گرفتند. نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه‌گانه بین آبیاری و رقم و متیل‌جاسمونات در صفات کلروفیل a و کلروفیل کل ارقام جو قرارگرفته در معرض دیم در این صفات کاهش و در صفت پرولین در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه و دیم افزایش مقدار پرولین را در مقایسه با آبیاری نرمال و نیز در شرایط دیم کاهش ارتفاع را در مقایسه با آبیاری نرمال نشان دادند. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و متیل‌جاسمونات در صفت عملکرد دانه نشان‌دهنده این است که در ارقام بهمن، سهند، جلگه و آبیدر محلول‌پاشی شده با متیل‌جاسمونات عملکرد دانه را به ترتیب ۱۷/۷، ۲۴/۶، ۸/۳ و ۲۲/۳ درصد در مقایسه با تیمار بدون متیل‌جاسمونات به‌طور معنی‌داری افزایش داد ولی در رقم انصار یک افزایش غیر معنی‌دار (۵/۴ درصد) در عملکرد دانه حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه (۴۷۶۲ کیلوگرم در هکتار) زمانی مشاهده شد که رقم جلگه تحت تیمار آبیاری کامل با ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل‌جاسمونات محلول‌پاشی شد و کمترین عملکرد دانه (۴۳۲ کیلوگرم در هکتار) در رقم بهمن در شرایط دیم و بدون محلول‌پاشی ایجاد شد. به نظر می‌رسد کاربرد متیل جاسمونات و آبیاری کامل به‌عنوان یک ابزار مناسب برای افزایش عملکرد دانه استفاده شود.

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare*) به‌عنوان چهارمین غله مهم دنیا بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*) و برنج (*Oryza sativa*) در سطح وسیعی از مزارع دنیا بالغبر ۶۰ میلیون هکتار کشت‌شده و با بیش از ۱۵۰ میلیون تن عملکرد منبع مهم غذایی برای دام و انسان است (Thabet et al., 2020; Sallam et al., 2019). ایران نیز با کشت بیش از دو میلیون هکتار از اراضی کشاورزی و تولید بیش از سه میلیون تن در سال از لحاظ تولید این محصول در رده چهاردهم دنیا قرار دارد (Paknejad et al., 2017).

* نگارنده پاسخگو: زینب تمسکی. پست الکترونیک: zeynab.tamasoki@gmail.com

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر، باعث ایجاد تغییرات منفی گسترده در خصوصیات رشدی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و درنهایت عملکرد اقتصادی محصولات زراعی و غیرزراعی مختلف می‌شود (Sallam et al., 2019). تغییرات فیزیکی در سلول‌ها ازجمله چروکیدگی و کاهش توسعه سلولی از جمله واکنش‌های اولیه به تنش کمبود آب است که منجر به کاهش سرعت رشد گیاه خواهد شد (Zhang et al., 2020). در ادامه تنش خشکی می‌تواند باعث طیف گسترده‌ای از تغییرات در گیاه شود که تجمع برخی از ترکیبات آلی همچون پرولین و مالون‌دی-آلدهید، افزایش فعالیت آنزیمی و کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله این تغییرات است (Siosemardeh et al., 2014). وقوع تنش خشکی منجر به شکل‌گیری گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که این مولکول‌ها توانایی وسیعی در تخریب اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و چربی-های غشاء سلولی دارند (Naeemi et al., 2018). برخی از این تغییرات در راستای جلوگیری از بروز خسارت در شرایط تنش ایجاد می‌شوند، به‌نحوی‌که به‌طور مثال پرولین با افزایش سطح، باعث حفاظت سلول‌ها در برابر خسارات اکسایشی ROS ها می‌شود (Yahyaabadi and Dehgani, 2021).

جاسمونات‌ها به‌عنوان گروهی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش مهمی در شرایط بروز تنش‌های زنده و غیرزنده دارند که پیام‌رسانی که سریع آن‌ها باعث پاسخ فوق‌سریع به این تنش‌ها می‌شود (Andrade et al., 2017). گزارش‌های متعددی از ایجاد مقاومت به تنش خشکی (Alam et al., 2014; Miranshahi and Sayyari, 2016)، شوری (Sadeghipour, 2017; Ahmadi et al., 2018)، یخزدگی (Rehman et al., 2018) و فلزات سنگین (Hanaka et al., 2016) در اثر محلول‌پاشی گیاهان با متیل‌جاسمونات به ثبت رسیده است. در آزمایشی مشاهده‌شده که استفاده از جاسمونات‌ها در شرایط بروز تنش خشکی، باعث بهبود سرعت فتوسنتز، افزایش محتوای نسبی آب برگ، افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش خسارت به غشاء می‌شود (Anjum et al., 2016). در آزمایشی دیگر مشاهده شد که محلول‌پاشی بوته‌های جوان چغندرقند (*Beta vulgaris*) باعث بهبود خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن‌ها شده و کارکرد دستگاه فتوسنتزی را در شرایط کمبود آب تا حد قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (Fugate et al., 2018).

نظر به اینکه کمبود آب در حال گسترش به تمام نقاط دنیاست، ضروری است تا با یافتن راهکارهایی مطمئن، اثرات این تنش مخرب را کاهش دهیم؛ بنابراین برای مطالعه چگونگی واکنش ارقام مختلف جو به رژیم‌های مختلف آبیاری و همچنین تأثیر محلول‌پاشی هورمون متیل‌جاسمونات در ارقام و رژیم‌های آبیاری متفاوت، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش سه عاملی به‌صورت طرح اسپلیت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش فاکتور اصلی شامل رژیم‌های آبیاری متفاوت (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در گلدهی، قطع آبیاری در پر شدن دانه و دیم کامل)، فاکتور فرعی شامل ارقام مختلف (جو دیم انصار، جو آبی جلگه، جو دیم آبیدر، جو آبی بهمن، جو دیم سهند) و محلول-پاشی متیل‌جاسمونات به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی (بدون محلول‌پاشی به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول بر لیتر) در نظر گرفته شدند. محلول‌پاشی در ۳ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ در مرحله رشد سریع ساقه بوته‌های جو انجام شد. کود دهی خاک زراعی بر اساس نتایج آزمون تجزیه خاک انجام شد. کاشت در ۲۰ مهرماه ۱۳۹۹ توسط ماشین کاشت با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع انجام شد. کشت به‌صورت خطی و با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر انجام گرفت. هر واحد آزمایشی شامل ۶ خط کاشت که طول هر خط ۷/۷۶ سانتی‌متر بود و برداشت محصول در ابتدای شهریور سال ۱۴۰۰ صورت گرفت. اولین آبیاری در تاریخ ۲۱ مهر همان سال انجام شد و بر اساس تیمارهای آبیاری طراحی‌شده با بررسی ظرفیت رطوبتی خاک آبیاری‌های بعدی انجام شد. خصوصیات خاک زراعی مزرعه تحت کشت در جدول ۱ ارائه شده است.

نمونه‌برداری از برگ‌های گیاهان موردمطالعه برای اندازه-گیری صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، در مرحله پر شدن دانه و اندازه‌گیری صفات رشدی و عملکرد در انتهای فصل رشد صورت گرفت. پس از نمونه‌برداری از گیاهان، نمونه‌های برگی در حالت فریز شده با ازت مایع به آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان منتقل‌شده، در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری و اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی به‌تدریج انجام شد.

اندازه‌گیری ارتفاع بوته‌ها با استفاده از خط‌کش معمولی در انتهای فصل رشد صورت گرفت. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC) در ساعات اولیه صبح از آخرین برگ‌های توسعه‌یافته بوته، نمونه‌برداری انجام شد. برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم برای محاسبه وزن اشباع غوطه‌ور شدند و پس‌ازاین مدت نمونه‌ها خشک‌شده و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. در انتها برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و محتوای نسبی آب برگ طبق رابطه زیر به دست آمد:

$$RWC = (FW-DW / TW-DW) \times 100 \quad [۱]$$

در این معادله DW وزن نمونه خشک برگ، FW وزن تر برگ و TW وزن آماس یافته است.

غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شد. میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در سه طول‌موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار نهایی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند:

$$Chla\ (mg\ g^{-1}\ FW) = \frac{[12.7(A663)-2.69(A645)]\times V}{1000\times W} \quad [۲]$$

$$Chlb\ (mg\ g^{-1}\ FW) = \frac{[22.9(A645)-4.68(A663)]\times V}{1000\times W} \quad [۳]$$

$$Carotenoid\ (mg\ g^{-1}\ FW) = \frac{[(1000\times A470)-(1.82\times chla)-(85.02\times chlb)]\times V}{198\times 1000\times W} \quad [۴]$$

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. The physiochemical analyze of studied soil

عمق Depth	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته Acidity	درصد اشباع Saturation	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
cm	dS m^{-1}	----------%----------			----------ppm----------		
0-30	1.4	7.4	55.9	0.12	0.17	5.8	181.4

آهن Iron	روی Zinc	منگنز Manganese	مس Copper	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	بافت خاک soil texture
----------ppm----------				----------%----------			
3.7	2.03	5.78	1.68	22	30	19	رسی Clay

اندازه‌گیری غلظت قندهای محلول برگ بر اساس معرف آنترون انجام شد (Irigoyen et al., 1992) و میزان جذب نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد. پرولین با کمک روش بیتس (Bates, 1973) اندازه‌گیری شده و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. عدد نهایی پرولین و کربوهیدرات محلول با استفاده از رسم نمودار خطی استاندارد و به دست آوردن معادله استاندارد محاسبه شد. برای اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه غلظت نهایی نیز از ضریب خاموشی مالون‌دی‌آلدهید (155 mM^{-1} cm^{-1}) استفاده شد.

در انتهای فصل رشد نیز برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، با استفاده از پلات نیم مترمربعی، از هر کرت نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از اندازه‌گیری عملکرد هر پلات مقادیر به‌دست‌آمده به سطح هکتار برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

در این آزمایش، اثر دوگانه آبیاری و رقم نیز باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در ارتفاع بوته، نسبت کلروفیل a به b، کاروتنوئید، قند محلول و عملکرد دانه شد. اثر دوگانه آبیاری و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات تغییرات معنی‌داری در محتوای نسبی آب، تجمع قند محلول و عملکرد دانه ایجاد

کرد. اثر دوگانه رقم و متیل جاسمونات هم باعث ایجاد اثر معنی‌دار بر نسبت کلروفیل a به b، مالون‌دی‌آلدهید و عملکرد دانه شد. اثر سه‌گانه آبیاری، رقم و متیل‌جاسمونات نیز باعث تغییرات معنی‌دار در ارتفاع بوته، کلروفیل a، کلروفیل کل، محتوای پرولین و عملکرد دانه شد (جداول ۲ و ۳).

بررسی اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۸,۳ سانتی‌متر) در رقم سهند و در اثر آبیاری نرمال مشاهده شد (شکل ۲). کم‌ترین ارتفاع بوته (۳۴ سانتیمتر) در رقم سهند و در شرایط دیم کامل مشاهده گردید. روند تغییرات ارتفاع حاکی از اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف بر کاهش ارتفاع بود.

معنی‌داری اثر متقابل سه‌گانه آبیاری و رقم و متیل-جاسمونات در صفت ارتفاع بوته بیانگر واکنش متفاوت ارقام جو موردمطالعه نسبت به تیمارهای آبیاری و متیل‌جاسمونات بود و نشان داد که ارقام جو در شرایط دیم کاهش ارتفاع را در مقایسه با آبیاری نرمال نشان دادند (شکل ۲). در شرایط دیم، ارقام انصار و آبیدر ازنظر ارتفاع واکنش مثبت به محلول-پاشی متیل‌جاسمونات در مقایسه با عدم محلول‌پاشی نشان دادند درحالی‌که در همین شرایط، رقم بهمن یک واکنش منفی داشت.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، رقم و متیل جاسمونات بر برخی خصوصیات رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو

Table 2. Analysis of variance the impact of irrigation, variety and methyl jasmonate on some of the growth, physiologic and biochemical attributes of barley

منابع تغییرات S.O.V	df	ارتفاع Height	محتوی نسبی آب RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll	کلروفیل کل Total chlorophyll
بلوک Block	2	52.008^{ns}	460.91**	0.4222^{ns}	0.0652^{ns}	0.6365^{ns}	0.809^{ns}
آبیاری Irrigation(I)	3	16938***	508.78**	3.1766**	0.1592*	1.389^{ns}	4.621**
اشتباه a Error a	6	125.597	28.185	0.285	0.02904	2.0358	0.35404
رقم Variety (V)	4	1443.4***	10.07^{ns}	0.4936^{ns}	0.00617^{ns}	1.996^{ns}	0.5178^{ns}
آبیاری × رقم I×V	12	394.48***	24.93^{ns}	0.3636^{ns}	0.0285^{ns}	2.446*	0.4324^{ns}
اشتباه b Error b	32	32.044	66.34	0.2897	0.01496	0.91323	0.34735
متیل‌جاسمونات Methyl jasmonate (MJ)	1	11.408^{ns}	1585.53***	0.5546*	0.0514**	0.2614^{ns}	0.9438**
آبیاری × متیل‌جاسمونات I×MJ	3	19.453^{ns}	58.23*	0.1622^{ns}	0.0028^{ns}	1.39^{ns}	0.183^{ns}
رقم × متیل‌جاسمونات V×MJ	4	21.867^{ns}	6.118^{ns}	0.1509^{ns}	0.0114^{ns}	2.206*	0.1297^{ns}
آبیاری × رقم × متیل‌جاسمونات I×V×MJ	12	51.967*	19.963^{ns}	0.1819*	0.0105^{ns}	0.4689^{ns}	0.2601*
اشتباه c Error c	40	25.642	16.243	0.09046	0.00596	0.7341	0.10045
ضریب تغییرات CV(%)	-	*6.5*	*6.8*	*15.6*	*13.9*	*24*	*12.7*

ns، *، ** و *** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

s, *,** and *** are non-significant and significant at 5%, 1% and 0.01% probability levels

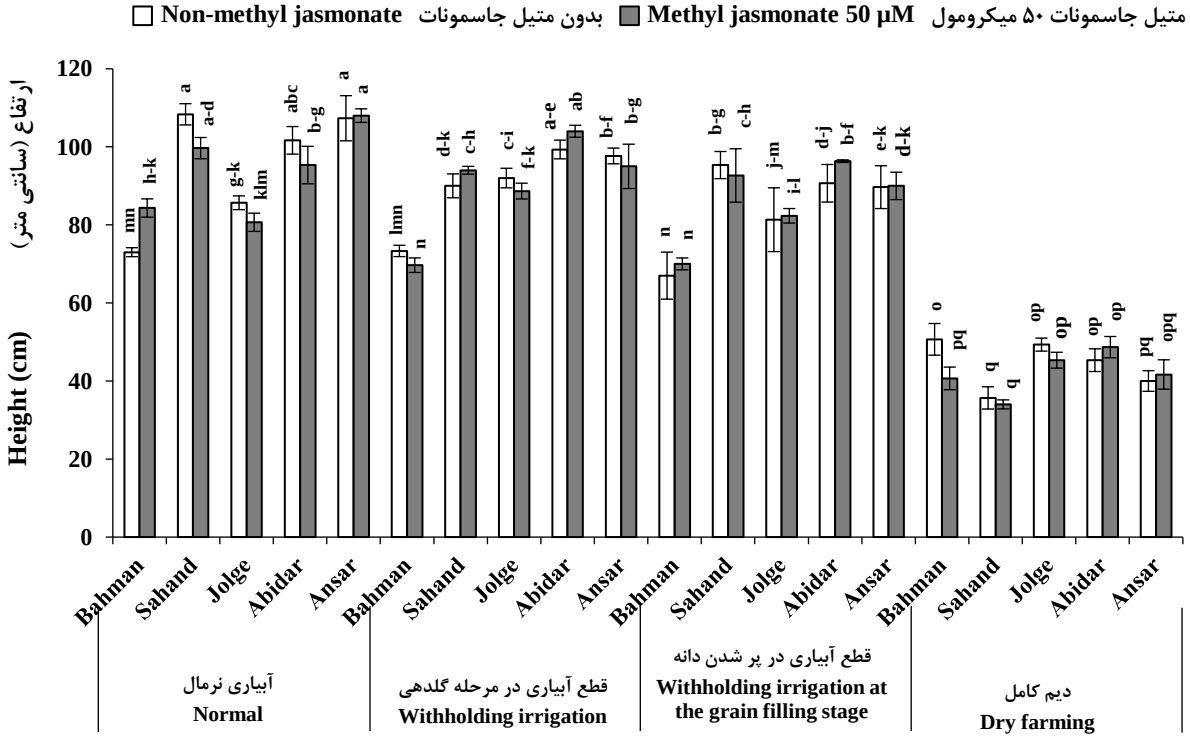
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، رقم و متیل جاسمونات بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد دانه جو

Table 3. analysis of variance the impact of irrigation, variety and methyl jasmonate on some of the biochemical attributes and yield of barley

S.O.V	منابع تغییرات	df	کاروتنوئید Carotenoid	کربوهیدرات Carbohydrate	پرولین proline	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde	عملکرد دانه Seed yield
Block	بلوک	2	0.0351^{ns}	122.812^{*}	50563.95^{*}	12.131^{*}	1371432.6^{*}
Irrigation (I)	آبیاری	3	0.1923^{*}	131.198^{*}	159676.86^{**}	16.66^{*}	53057920.9^{***}
Eroor a	اشتباه a	6	0.02402	23.218	9538.47	2.3202	232818
Variety (V)	رقم	4	0.0177^{ns}	42.92^{*}	11137.74^{ns}	2.733^{ns}	5556140.6^{***}
V×I	آبیاری × رقم	12	0.0671^{*}	51.208^{**}	10537.61^{ns}	2.493^{ns}	812352.4^{**}
Eroor b	اشتباه b	32	0.0243	15.165	11692.77	1.7979	223453.4
Methyl jasmonate(MJ)	متیل‌جاسمونات	1	0.0775^{*}	322.26^{***}	128660.69^{***}	31.035^{***}	4313134.6^{***}
I×MJ	آبیاری× متیل‌جاسمونات	3	0.0254^{ns}	96.796^{**}	3584.362^{ns}	1.376^{ns}	241183.9^{**}
V×MJ	رقم × متیل‌جاسمونات	4	0.0173^{ns}	19.72^{ns}	784.313^{ns}	1.96^{*}	219067.2^{**}
I×V×MJ	آبیاری×رقم×متیل‌جاسمونات	12	0.0186^{ns}	5.508^{ns}	4832.814^{*}	0.4467^{ns}	114788.6^{*}
Eroor c	اشتباه c	40	0.01293	14.765	2402.575	0.7463	44725.6
CV(%)	ضریب تغییرات	-	16.8	16.6	24.2	22.6	8

ns، *، **و *** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱.

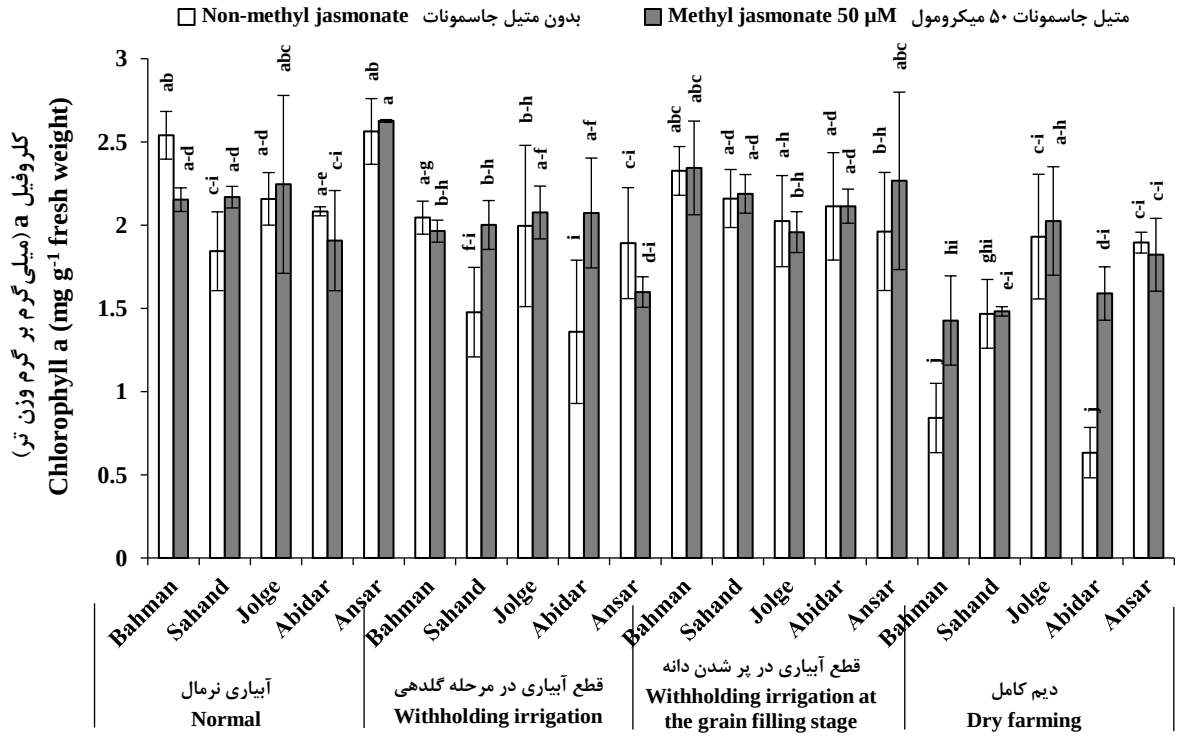
ns, *,** and *** are non-significant and significant at 5%, 1% and 0.01% probability levels



شکل ۲. اثر متقابل سه گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر ارتفاع بوته

Fig. 2. Three way interaction of irrigation, variety and spraying methyl jasmonate on changes of seedling height

مطالعه اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بیان‌کننده تأثیر رژیم‌های آبیاری بر کاهش غلظت کلروفیل a است (شکل ۳). به‌نحوی‌که بیشترین غلظت کلروفیل a در رقم انصار و در آبیاری نرمال با محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل‌جاسمونات ایجاد شد درحالی‌که کم‌ترین مقدار زمانی به وجود آمد که رقم آبیدر در شرایط دیم کامل قرار گرفته و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات روی آن صورت نگرفت. در این آزمایش مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و ارقام مختلف نشان داد که رقم انصار در شرایط آبیاری کامل بهترین نسبت کلروفیل a به کلروفیل b را ایجاد می‌کند و کم‌ترین نسبت زمانی مشاهده شد که رقم بهمن در شرایط دیم کامل قرار گرفت (جدول ۴). محتوای کاروتنوئید نیز در شرایطی که رقم بهمن آبیاری کامل شد بیشترین غلظت را داشت درحالی‌که کم‌ترین غلظت این رنگیزه در رقم آبیدر در شرایط دیم کامل مشاهده شد (جدول ۴). محتوی قند محلول نیز در رقم جلگه در شرایط دیم کامل در بیشترین مقدار خود بود درصورتی‌که کم‌ترین قند محلول در رقم بهمن، زمانی مشاهده شد که آبیاری در مرحله پر شدن دانه قطع گردید (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و متیل‌جاسمونات نشان داد که بالاترین نسبت کلروفیل a به b در شرایط محلول‌پاشی با ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل‌جاسمونات و در رقم جلگه مشاهده شد درصورتی‌که کم‌ترین نسبت در رقم آبیدر و شرایط بدون محلول‌پاشی ایجاد شد (جدول ۶). بیشترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید در رقم سهند و بدون محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات دیده شد و کم‌ترین مقدار در شرایطی ایجاد شد که رقم بهمن با ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل‌جاسمونات تحت محلول‌پاشی قرار گرفته بود (جدول ۵).



شکل ۳. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر تغییرات غلظت کلروفیل a

Fig. 3. Three way interaction of irrigation, variety and spraying methyl jasmonate on changes of the concentration of chlorophyll-a

مقدار کلروفیل برگ نشانگر ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و کاهش آن به‌عنوان شاخص تنش گیاهی است (Tayyab et al., 2020). تنش خشکی به دلیل اکسیداسیون رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر گونه‌های اکسیژن فعال و اختلال در بیوسنتز آن‌ها باعث کاهش سطوح رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان زراعی مختلف می‌شود (Banks, 2018; Mohi-Ud-Din et al., 2021). از طرفی دیگر، فعالیت آنزیم کلروفیلاز در شرایط

کم‌آبی افزایش می‌یابد که می‌تواند موجب تجزیه کلروفیل و نهایتاً کاهش غلظت کلروفیل در شرایط کم‌آبی شود (Sytykiewicz et al., 2013). کاهش مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش‌زا نیز می‌تواند به دلیل تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآگزانتین در چرخه زانتوفیل (Sultana et al., 1999) و نیز اکسیداسیون در اثر گونه‌های اکسیژن فعال (Banks, 2018; Mohi-Ud-Din et al., 2021) باشد. در راستای نتایج این تحقیق مبنی بر کاهش محتوی کلروفیل و کاروتنوئید در شرایط کم‌آبی، کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در سطوح مختلف تنش کم‌آبی در گیاهان گندم (Maghsoudi et al., 2015)، جو (Hein et al., 2016; Abdelaal et al., 2020)، ذرت (Tayyab et al., 2020)، کلزا (*Brassica napns*) (Ahmad Lone et al., 2022)، لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) (Saneinejad et al., 2018) و پنبه (*Gossypium hisutum*) (Khosravi and Mousavi, 2018) گزارش شده است.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم در صفات نسبت کلروفیلa/b ، محتوای کاروتنوئید و محتوای قند محلول

Table 4. mean comparison of the interaction between irrigation and variety on ratio of chlorophyll a/b, carotenoide content and soluble sugar content

آبیاری Irrigation	variety	رقم	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b	محتوای کاروتنوئید Carotenoid mg/fw	محتوای قند Soluble sugars mg/fw
آبیاری نرمال Normal irrigation	Bahman	بهمن	3.63^{abc}	0.84^{a}	20.9^{ef}
	Sahand	سهند	3.1^{bc}	0.71^{abc}	21.29^{ef}
	Jolge	جلگه	3.11^{bc}	0.745^{abc}	18.29^{f}
	Abidar	آبیدر	3.34^{abc}	0.726^{abc}	19.44^{ef}
	Ansar	انصار	4.47^{a}	0.768^{abc}	21.36^{ef}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Withholding irrigation at the flowering stage	Bahman	بهمن	3.62^{abc}	0.729^{abc}	23.85^{bcde}
	Sahand	سهند	3.02^{bc}	0.566^{cd}	20.56^{ef}
	Jolge	جلگه	4.1^{ab}	0.653^{abcd}	23.39^{cdef}
	Abidar	آبیدر	3.1^{bc}	0.692^{abc}	23.14^{cdef}
	Ansar	انصار	4.31^{ab}	0.656^{abcd}	28.78^{ab}
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Withholding irrigation at the grain filling stage	Bahman	بهمن	4.12^{ab}	0.764^{abc}	18.22^{f}
	Sahand	سهند	3.4^{abc}	0.798^{ab}	21.89^{def}
	Jolge	جلگه	4.26^{ab}	0.63^{abcd}	28.42^{abc}
	Abidar	آبیدر	4.04^{ab}	0.756^{abc}	24.32^{abcde}
	Ansar	انصار	3.31^{abc}	0.656^{abcd}	23.76^{bcde}
دیم Dry farming	Bahman	بهمن	2.42^{c}	0.471^{de}	27^{abcd}
	Sahand	سهند	4.27^{ab}	0.601^{bcd}	23.24^{cdef}
	Jolge	جلگه	3.88^{ab}	0.758^{abc}	29.33^{a}
	Abidar	آبیدر	2.44^{c}	0.366^{e}	22.93^{def}
	Ansar	انصار	3.54^{abc}	0.677^{abcd}	23.34^{cdef}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means with similar letters based on Duncan test showed no significant difference at 5% probability level

جاسمونات‌ها در افزایش محتوی کلروفیل و کاروتنوئید و در پی آن القای تحمل به تنش نقش مثبتی دارند که در مطالعات بسیاری گزارش شده است. برای مثال، محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات (۱۰ میکرومول) اثر منفی خشکی بر کلروفیل، کاروتنوئید و سرعت فتوسنتز ژنوتیپ‌های کلزا (KS-101 و KBS3) تحت تنش خشکی را بهبود داد (Ahmad Lone et al., 2022). در گیاهان لوبیا تحت تنش خشکی، محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات میزان کلروفیل (a، b و کل) و کاروتنوئید را بهبود داد (Mohi-Ud-Din et al., 2021). کاهش کلروفیل (a و b) و کاروتنوئید ناشی از شرایط خشکی با تیمار متیل‌جاسمونات در ذرت بهبود یافت (Tayyab et al., 2020). همچنین، خشکی باعث کاهش

محتوای کلروفیل (a، b و کل) و زیست‌توده در گونه‌های براسیکا (کلزا و خردل) شد و در مقابل، محلول‌پاشی متیل-جاسمونات میزان آن‌ها را در همه گونه‌ها بهبود داد (Alam et al., 2014). نتایج این تحقیق مبنی بر بهبود محتوی کلروفیل و کاروتنوئید ارقام جو با محلول‌پاشی متیل-جاسمونات تحت شرایط تنش خشکی با نتایج مطالعات فوق مطابقت داشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی متیل-جاسمونات نشان داد که بهترین محتوای نسبی آب در شرایط آبیاری نرمال و با استفاده از ۵۰ میکرومول بر لیتر محلول متیل‌جاسمونات ایجاد شد درحالی‌که کمترین مقدار در شرایط دیم کامل و بدون محلول‌پاشی ایجاد شد (جدول ۵). محتوای قند محلول در شرایط دیم کامل و با استفاده از ۵۰ میکرومول بر لیتر محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بیشترین مقدار را داشت و در شرایط آبیاری نرمال و بدون محلول‌پاشی دارای کمترین غلظت بود (جدول ۵). محتوی نسبی آب برگ منعکس‌کننده درجه کمبود آب در گیاهان تحت تنش است (Liu et al., 2022). آب بخش مهمی از رشد و متابولیسم گیاه است، بنابراین، تغییر آب برگ در شرایط نامساعد عامل مهمی برای ارزیابی تحمل به تنش گیاهان است (Yang et al., 2016). متداول‌ترین اثر خشکی بر گیاهان، کاهش محتوی نسبی آب است که در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Tayyab et al., 2020; Liu et al., 2022; Ahmad Lone et al., 2022). در راستای اثر خشکی بر محتوی نسبی آب برگ جو در این مطالعه، بیان شده است که اعمال خشکی محتوی نسبی آب را در گیاه جو کاهش می‌دهد (Hein et al., 2016; Abdelaal et al., 2020). در شرایط خشکی، کاهش محتوی نسبی آب می‌تواند به علت کاهش میزان جذب آب از خاک به‌وسیله ریشه‌ها یا به علت تعرق بیشتر از برگ‌ها باشد (Salehi-Lisar and Bakhshayeshan-Agdam, 2016). این کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط خشکی را می‌توان با کاربرد برون‌زای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه مانند متیل‌جاسمونات بهبود بخشید (Ahmad Lone et al., 2022). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که متیل‌جاسمونات عامل موثری در بازگرداندن محتوای آب در گیاهان در زمان کمبود آب می‌باشد. برای مثال، گزارش شده است که خشکی باعث کاهش محتوی آب نسبی برگ در گونه‌های براسیکا (خردل و کلزا) شد و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات میزان آن را بهبود داد (Alam et al., 2014). به‌طور مشابه، اعمال خشکی موجب کاهش محتوی نسبی آب در ژنوتیپ‌های کلزا (KS-101 و KBS3) شد. در مقابل، محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات (۱۰ میکرومول) محتوی نسبی آب را در ژنوتیپ‌های کلزا تحت

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و متیل‌جاسمونات در صفات نسبت کلروفیل a/b و محتوی مالون-دی‌آلدهید

Table 5. mean comparison of the interaction between varitey and methyl jasmonate on ratio of chlorophyll a/b and Malondialdehyde

رقم Variety		متیل‌جاسمونات Methyl jasmonate µmol/l	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b	محتوی مالون‌دی‌آلدهید Malondialdehyde nmol/g
Bahman	بهمن	0	3.55^{abc}	3.89^{bc}
		50	3.34^{abc}	2.82^{d}
Sahand	سهند	0	3.01^{bc}	5.26^{a}
		50	3.89^{a}	3.3^{cd}
Jolge	جلگه	0	4.09^{a}	4.1^{bc}
		50	3.59^{abc}	3.61^{bcd}
Abidar	آبیدر	0	2.93^{c}	4.35^{b}
		50	3.53^{abc}	3.45^{cd}
Ansar	انصار	0	4.06^{a}	4.03^{bc}
		50	3.76^{ab}	3.37^{cd}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means with similar letters based on Duncan test showed no significant difference at 5% probability level

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و متیل‌جسمونات در صفات محتوی نسبی آب و محتوی قند محلول و نشت الکترولیت در جو

Table 6. mean comparison of the interaction between irrigation and methyl jasmonate on relative water content, soluble sugar content and electrolyte leakage in barley

آبیاری Irrigation	متیل جاسمونات Methyl jasmonate µmol/l	محتوی نسبی آب RWC %	محتوای قند محلول Soluble sugars mg/g fw
آبیاری نرمال	0	60.68^{bc}	16.42^{c}
Normal irrigation	50	68.45^{a}	24.09^{b}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی	0	53.64^{d}	23.38^{b}
Withholding irrigation at the flowering stage	50	61.31^{bc}	24.51^{b}
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه	0	58.94^{c}	23.48^{b}
Withholding irrigation at the grain filling stage	50	62.4^{b}	23.16^{b}
دیم	0	49.97^{e}	22.86^{b}
Dry farming	50	60.14^{bc}	27.48^{a}

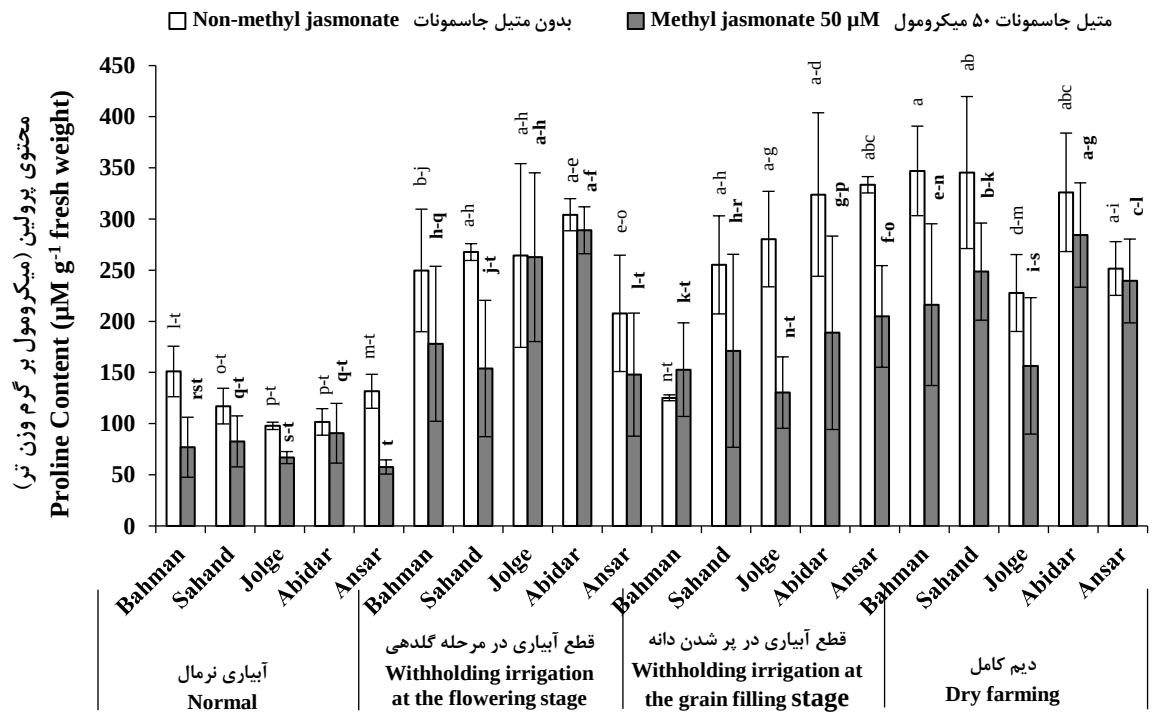
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

Means with similar letters based on Duncan test showed no significant difference at 5% probability level

تنش خشکی در مقایسه با تیمار بدون متیل‌جاسمونات افزایش داد که می‌تواند به دلیل نقش متیل‌جاسمونات در افزایش رشد ریشه باشد (Ahmad Lone et al., 2022). همچنین، کاهش محتوای آب نسبی با اعمال خشکی و افزایش آن با تیمار متیل‌جاسمونات در ذرت (Tayyab et al., 2020) و لوبیا (Mohi-Ud-Din et al., 2021) مشاهده شده است.

نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل سه‌گانه بین آبیاری و رقم و متیل‌جاسمونات در صفت پرولین نشان داد که ارقام جو قرار گرفته در شرایط قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه و دیم کامل افزایش مقدار پرولین را در مقایسه با آبیاری نرمال نشان دادند. معنی‌داری این اثر متقابل سه‌گانه در صفت فوق بیانگر واکنش متفاوت ارقام جو موردمطالعه نسبت به تیمارهای آبیاری و متیل‌جاسمونات بود (شکل ۴). بیشترین میزان پرولین، در ارقام بهمن و سهند تحت شرایط دیم کامل بدون تیمار متیل‌جاسمونات به ترتیب با میانگین ۳۴۷/۰۵ و ۳۴۵/۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر حاصل گردید و کمترین میزان (میانگین ۵۷/۶۸ میکرومول بر گرم وزن تر) مربوط به رقم انصار محلول‌پاشی شده با ۵۰ میکرومول متیل-جاسمونات در شرایط آبیاری نرمال بود (شکل ۴).

پرولین به‌عنوان واسطه تنش اسمزی، تثبیت‌کننده درشت مولکول‌ها، املاح سازگار برای حفظ آنزیم‌ها و قابلیت ذخیره کربن و نیتروژن برای استفاده در طول تنش خشکی و سایر تنش‌ها عمل می‌کند (Mohi-Ud-Din et al., 2021) و تجمع آن در گیاهان نشان‌دهنده القای تنش است (Alam et al., 2014). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که محتوی پرولین در پاسخ به تنش خشکی چندین برابر افزایش می‌یابد، نه‌تنها برای تعادل اسمزی، بلکه برای مهار رادیکال‌های آزاد، ثبات ساختار سلولی و پتانسیل ردوکس (Alam et al., 2013; Alam et al., 2014; Tayyab et al., 2020; Ahmad Lone et al., 2022). همچنین، گزارش شده است که اعمال تنش خشکی در ارقام جو، میزان پرولین برگ را افزایش می‌دهد (Abd El-Samad et al., 2019; Abdelaal et al., 2020). متیل‌جاسمونات نیز نقش بسزایی در تنظیم اسمزی سلول‌های گیاهان دارد. محلول‌پاشی متیل-جاسمونات با افزایش تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، تنظیم اسمزی گیاهان را بهبود می-بخشد (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2019). متیل‌جاسمونات با تحریک پروتئین‌های مختلف و اسمولیت‌های پاسخ‌دهنده به تنش، ژن‌های مهم مختلفی را که نقش‌های کلیدی در سازگاری با تنش آب ایفا می‌کنند، تنظیم می‌کند (Per et al. 2018). افزایش محتوی پرولین در اثر کاربرد متیل‌جاسمونات در گیاهان تحت تنش خشکی مانند گندم (Ilyas et al., 2017) و کلزا (Alam et al., 2014) نیز گزارش شده است.



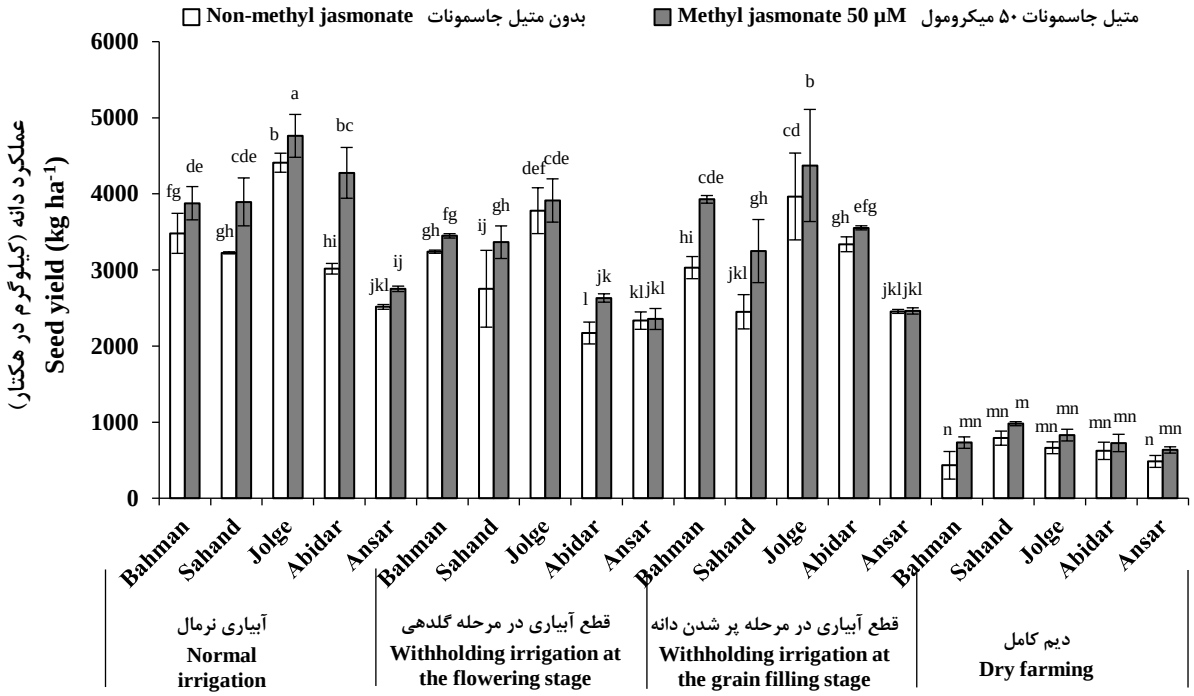
شکل۴. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر محتوای پرولین

Fig. 4. Three way interaction of irrigation, variety and spraying methyl jasmonate on changes of proline content

بررسی اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۴۷۶۲ کیلوگرم در هکتار) در رقم جلگه و شرایط آبیاری نرمال و با محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول بر لیتر متیل جاسمونات و کم‌ترین عملکرد دانه (۴۳۲ کیلوگرم در هکتار) در رقم بهمن و در شرایط دیم کامل و بدون محلول-پاشی ایجاد شد (شکل ۵). بررسی روند تغییرات عملکرد دانه در رژیم‌های آبیاری مختلف نشان از تأثیر قطع آبیاری بر کاهش عملکرد داشت، به‌نحوی‌که با قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه، مقدار عملکرد کاهش چشم‌گیری داشت اما با استفاده از محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات این کاهش عملکرد دانه تقلیل یافت، به شکلی که میزان کاهش عملکرد در رقم جلگه با قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و با محلول‌پاشی متیل جاسمونات در مقایسه با آبیاری نرمال فقط ۳۸۹ کیلوگرم در هکتار بود و با قطع آبیاری در مرحله گلدهی در همان رقم (جلگه) و با محلول‌پاشی متیل-جاسمونات مقدار کاهش عملکرد نسبت به شرایط آبیاری نرمال در رقم جلگه ۸۵۰ کیلوگرم کاهش عملکرد مشاهده شد. این در حالی است که مقدار کاهش عملکرد در اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف و در شرایط بدون محلول‌پاشی با متیل‌جاسمونات در تمامی ارقام موردمطالعه بیشتر از زمانی بود که این ارقام با متیل‌جاسمونات تیمار شدند.

پرولین به‌عنوان واسطه تنش اسمزی، تثبیت‌کننده درشت مولکول‌ها، املاح سازگار برای حفظ آنزیم‌ها و قابلیت ذخیره کربن و نیتروژن برای استفاده در طول تنش خشکی و سایر تنش‌ها عمل می‌کند (Mohi-Ud-Din et al., 2021) و تجمع آن در گیاهان نشان‌دهنده القای تنش است (Alam et al., 2014). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که محتوی پرولین در پاسخ به تنش خشکی چندین برابر افزایش می‌یابد، نه‌تنها برای تعادل اسمزی، بلکه برای مهار رادیکال‌های آزاد، ثبات ساختار سلولی و پتانسیل ردوکس (Alam et al., 2013; Alam et al., 2014; Tayyab et al., 2020; Ahmad Lone et al., 2022). همچنین، گزارش شده است که اعمال تنش خشکی در ارقام جو، میزان پرولین برگ را افزایش می‌دهد (Abd El-Samad et al., 2019; Abdelaal et al., 2020). متیل‌جاسمونات نیز نقش بسزایی در تنظیم اسمزی سلول‌های گیاهان دارد. محلول‌پاشی متیل-جاسمونات با افزایش تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، تنظیم اسمزی گیاهان را بهبود می-بخشد (Farhangi-Abriz and Ghassemi-Golezani, 2019). متیل‌جاسمونات با تحریک پروتئین‌های مختلف و

اسمولیت‌های پاسخ‌دهنده به تنش، ژن‌های مهم مختلفی را که نقش‌های کلیدی در سازگاری با تنش آب ایفا می‌کنند، تنظیم می‌کند (Per et al. 2018). افزایش محتوی پرولین در اثر کاربرد متیل‌جاسمونات در گیاهان تحت تنش خشکی مانند گندم (Ilyas et al., 2017) و کلزا (Alam et al., 2014) نیز گزارش شده است.



شکل ۵. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات بر عملکرد دانه

Fig. 5. Three way interaction of irrigation, variety and spraying methyl jasmonate on changes of the grain yield

عملکرد دانه محصول نهایی گیاهان و تابعی از صفات مختلف مربوط به عملکرد است و تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی تغییر می‌کند (Anjum et al., 2016). مطالعات متعددی در زمینه تأثیر منفی خشکی بر عملکرد دانه وجود دارد. برای مثال، تنش خشکی از طریق کاهش عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه منجر به کاهش عملکرد دانه در گیاهان جو شد (Abdelaal et al., 2020). در این مطالعه، به نظر می‌رسد که کاهش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی به دلیل کاهش کلروفیل و در پی آن کاهش فتوسنتز و ماده خشک، افزایش تنش اکسیداتیو (نشت الکترولیت و محتوی مالون‌دی‌آلدهید) و کاهش اجزای عملکرد دانه باشد. پاسخ متفاوت ارقام گیاه در مورد عملکرد دانه را می‌توان به توسعه متفاوت تعداد دانه در سنبله در شرایط خشکی نسبت داد (Anjum et al., 2016). در این مطالعه، محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات اثر مثبتی بر عملکرد دانه ارقام جو در شرایط نرمال و کم‌آبی نشان داد. پیش‌ازاین، مطالعات متعددی افزایش عملکرد دانه گیاهان را با کاربرد متیل‌جاسمونات گزارش کرده‌اند که نتایج این مطالعه را حمایت می‌کنند. به‌طور مشابه، محققان پتانسیل محافظتی متیل‌جاسمونات را در بهبود رشد، عملکرد و افزایش تحمل به خشکی گیاه ذرت گزارش کردند (Abdelgawad et al., 2014). همچنین، تیمار جاسمونیک اسید منجر به افزایش عملکرد دانه ارقام گندم در شرایط خشکی شد (Anjum et al., 2016). کاربرد خارجی متیل‌جاسمونات باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه و در نتیجه عملکرد دانه در سویا شد (Anjum et al., 2011). در پنبه، استفاده از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌جاسمونات منجر به افزایش عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد (تعداد غوزه در گیاه و وزن هزار دانه) شد (Yosefi et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات عصر حاضر می‌تواند در تأمین امنیت غذایی جامعه رو به رشد بسیار دخیل باشد. جو نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی کشت‌شده در دنیا نقش اساسی در تأمین خوراک موردنیاز میلیون‌ها انسان و همچنین صنعت دامداری و صنایع دیگر دارد. نتایج آزمایش نشان داد که شرایط دیم کامل از طریق افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و کاهش محتوی کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب، ارتفاع، منجر به کاهش عملکرد دانه شد. محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول متیل‌جاسمونات با تأثیر مثبت بر محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل، محتوای قند محلول، توانست در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری و دیم کامل) و آبیاری نرمال عملکرد دانه را افزایش دهد. کاربرد متیل‌جاسمونات توانست از طریق افزایش کلروفیل، قند محلول مقاومت به خشکی را در گیاه جو بهبود دهد. نتایج اثر متقابل دوگانه آبیاری و رقم نشان داد که واکنش ارقام جو موردمطالعه نسبت به تیمارهای آبیاری متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع مربوط به رقم انصار در شرایط آبیاری نرمال بود و بیشترین عملکرد دانه در رقم جلگه تحت شرایط آبیاری نرمال حاصل گردید. در شرایط دیم کامل، رقم جلگه ازنظر بیشترین ارتفاع، محتوای کاروتنوئید، قند محلول نسبت به سایر ارقام برتری داشت. نتایج اثر متقابل رقم و متیل‌جاسمونات بیانگر واکنش متفاوت ارقام جو موردمطالعه نسبت به کاربرد متیل‌جاسمونات بود. در همه ارقام، محلول‌پاشی ۵۰ میکرومول متیل‌جاسمونات میزان مالون‌دی‌آلدهید را کاهش داد و موجب افزایش عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در رقم جلگه محلول‌پاشی شده با متیل‌جاسمونات حاصل شد. همچنین، کمترین میزان مالون‌دی‌آلدهید مربوط به رقم بهمن محلول‌پاشی شده با متیل‌جاسمونات بود. نتایج اثر متقابل سه‌گانه آبیاری و رقم و متیل‌جاسمونات نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a و کل، در رقم انصار اسپری شده با ۵۰ میکرومول متیل‌جاسمونات تحت آبیاری نرمال به دست آمد و بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم جلگه محلول‌پاشی شده با متیل‌جاسمونات تحت آبیاری نرمال بود.

منابع

Ahmad Lone, W., Majeed, N., Yaqoob, U., John, R., 2022. Exogenous brassinosteroid and jasmonic acid improve drought tolerance in *Brassica rapa* L. genotypes by modulating osmolytes, antioxidants and photosynthetic system. Journal of Plant Cell Reports, 41, 603-617. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02763-9

Ahmadi, F.I., Karimi, K., Struik, P.C., 2018. Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. Talaye under salinity stress. South African Journal of Botany. 115, 5-11. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.11.018

Alam, M.M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2013. Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. Journal of Crop Science. 7, 1053. https://doi.org/10.4236/ajps.2011.26094

Alam, M.M., Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Fujita, M., 2014. Exogenous jasmonic acid

Abd El-Samad, H.M., Shaddad, M.A.K., Ragaey, M.M., 2019. Drought strategy tolerance of four barley cultivars and combined effect with salicylic acid application. American Journal of Plant Sciences, 10, 512-535. https://doi.org/10.4236/ajps.2019.104037

Abdelaal, K.A.A., Attia, K.A., Alamery, S.F., El-Afry, M.M., Ghazy, A.I., Tantawy, D.S., Al-Doss, A.A., El-Shawy, E-S.E., Abu-Elsaoud, A., Hafez, Y.M., 2020. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. Journal of sustainability, 12,1736. https://doi.org/10.3390/su12051736

Abdelgawad, Z.A., Khalafaallah, A.A., Abdallah, M.M., 2014. Impact of methyl jasmonate on antioxidant activity and some biochemical aspects of maize plant grown under water stress condition.Journal of Agricultural Sciences., 5, 1077–1088. http://doi.org/10.4236/as.2014.512117

modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. Journal of Plant Biotechnology Reports, 8, 279–293. http://doi.org/10.1007/s11816-014-0321-8

Andrade, A., Escalante, M., Vigliocco, A., Tordable, M. D. C., Alemano, S., 2017. Involvement of jasmonates in responses of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings to moderate water stress. Journal of Plant Growth Regulation, 83, 501–511. https://doi.org/10.1007/s10725-017-0317-9

Anjum, S.A., Xie, X.Y., Farooq, M., Wang, L.C., Xue, L.L., Shahbaz, M., Salhab, J., 2011. Effect of exogenous methyl jasmonate on growth, gas exchange and chlorophyll contents of soybean subjected to drought. African Journal of Biotech, 10, 9640–9646. https://doi.org/10.5897/AJB10.2641

Anjum, S. A., Tanveer, M., Hussain, S., Tung, S. A., Samad, R. A., Wang, L., Shahzad, B., 2016. Exogenously applied methyl jasmonate improves the drought tolerance in wheat imposed at early and late developmental stages. Journal of Acta Physiologiae Plantarum, 38, 25–35. https://doi.org/10.1007/s11738-015-2047-9

Arnon, D.I., 1940. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase. Journal of Plant Physiology 45, 100-114. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Banks, J.M., 2018. Chlorophyll fuorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes. Journal of Environmental and Experimental Botany 155, 118–127. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.022

Bates, L., Waldren, P.P., Teare, J.D., 1973. Rapid determination of the free proline of water stress studies. Journal of Plant and Soil. 39, 205-201. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Danish, S., Zafar-ul-hye, M., Fahad, S., Saud, S., Brtnicky, M., Hammerschmiedt, T., Datta, R. 2020. Drought Stress Alleviation by ACC Deaminase Producing Achromobacter xylosoxidans and Enterobacter cloacae, with and without Timber Waste Biochar in Maize. Journal of sustainability. 12: 1-17. https://doi.org/10.3390/su12156286

Farhangi-Abriz, S., Ghassemi-Golezani, K., 2019. Jasmonates: mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 20, 101210. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101210

Fugate, K,K., Lafta, A.M., Eide, D,J., Li, G., Lulai, E,C., Olson, L,L., Deckard, E,L., Khan, M,F,R., Finger, L,F., 2018. Methyl jasmonate alleviates drought stress in young sugar beet (Beta vulgaris L.) plants. Journal of Agronomy and Crap Science 204, 566-576. https://doi.org/10.1111/jac.12286

Hanaka, A., Wójcik, M., Dresler, S., Mroczek-Zdyrska., M, Maksymiec., W., 2016. Does methyl jasmonate modify the oxidative stress response in Phaseolus coccineus treated with Cu?. Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety. 124, 480-488. https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.024

Hein, J.A., Sherrard, M.E., Manfredi, K.P., 2016. The fifth leaf and spike organs of barley (*Hordeum vulgare* L.) display different physiological and metabolic responses to drought stress. Journal of BMC Plant Biology 16, 248. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0922-1

Ilyas, N., Gull, R., Mazhar, R., Saeed, M., Kanwal, S., Shabir, S., Bibi, F., 2017. Influence of salicylic acid and jasmonic acid on wheat under drought stress. Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48, 2715–2723. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1418370

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Dias, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago Sativa*) plants. Journal of Physiolgia Plantarum, 84, 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Khosravi, A., Mousavi, S.G.R., 2018. Effect of irrigation, foliar application of methanol and plant density on morphophysiology traits, yield and yield components of cotton (Gossypium hirsutum L.). Iranian Journal of Cotton Research, 7, 33-56. [In Persian]https://doi.org/10.22092/ijcr.2019.120508.1107

Liu, H., Bao, G., Dou, Z. et al., 2022. Response characteristics of highland barley under freeze-thaw, drought and artemisinin stresses. Journal of BMC Plant Biology, 22, 126. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03520-0

Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M., 2015. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. Turkish Journal of Botany, 39, 625-634. https://doi.org/10.3906/bot-1407-11

Miranshahi, B, Sayyari, M., 2016. Methyl Jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. Journal of Agricultural Science and Technology. 18, 1635-1645.

Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., Rohman, M., Ahmed, J.U., Jagadish, S.V.K., Islam, T., Hasanuzzaman, M., 2021. Exogenous Application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Plants, 10, 2066. https://doi.org/10.3390/plants10102066

Naeemi, T., Fahmideh, L., Fakheri Barat, A. 2018. The Impact of Drought Stress on Antioxidant Enzymes Activities, Containing of Proline and Carbohydrate in Some Genotypes of Durum Wheat (*Triticum turgidu* L.) at Seedling Stage. Journal of crop breeding. 10, 22-31. [In Persian] https://doi.org/10.29252/jcb.10.26.22

Paknejad, F., Fatemi Rika, Z., Elkaee Dehno, M., 2017. Investigation end season drought effect on yield and yield components of ten Barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in Karaj region. Journal of Environmental stresses in crop sciences. 10, 391-401. [In Persian] https://doi.org/10.22077/escs.2017.137.1034

Per, T.S., Khan, M.I.R., Anjum, N.A., Masood, A., Hussain, S.J., Khan, N.A., 2018. Jasmonates in plants under abiotic stresses: crosstalk with other phytohormones matters. Journal of Environmental and Experimental Botany. 145, 104–120. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.004

Rehman, M., Singh, Z., Khurshid, T., 2018. Methyl jasmonate alleviates chilling injury and regulates fruit quality in 'Midknight' Valencia orange. Journal of Postharvest Biology and Technology 141, 58-62. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.006

Sadeghipour, O., 2017. Amelioration of salinity tolerance in cowpea plants by seed treatment with methyl jasmonate. Journal of Legume Research 40, 1100-1106. https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.8394

Salehi-Lisar, S.Y., Bakhshayeshan-Agdam, H., 2016, Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance, In: Hossain, M., Wani, S., Bhattacharjee, S., Burritt, D., Tran, L.S. (eds), Drought stress tolerance in plants, Vol 1, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_1

Sallam, A., Algudah, A.M., Dawood, M.F., Baenziger, P.S., Borner, A., 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. International journal of Molecular Sciences. 20, 1-36. https://doi.org/10.3390/ijms20133137

Saneinejad, A.A., Tahidi, M., Habibi Khaniani, B., Sadeghi, M., Khormian, M., 2019. Investigating the effect of methanol foliar application on some physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water stress conditions, Iranian Journal of Agriculture and Plant Breeding, 15, 45-61.[In Persian].

Siosemardeh, A., Fateh, H., Badakhshan, H., 2014. Responses of photosynthesis rate. Membrance stability and antioxidant enzymes activity to the drought stress and Nitrogen fertilizer in to variety of Barley under controlled condition. Iranian Journal of field crops research. 12, 215-228. [In Persian]

Sultana, N., Ikeda, T., Itoh. R., 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany, 42, 211-220. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00049-6

Sytykiewicz, H., Czerniewicz, P., Sprawka, I., Krzyzanowski, R., 2013. Chlorophyll content of aphid-infested seedling leaves of fifteen maize genotypes. Journal of Acta Agrobotanica.55, 51-60. https://doi.org/10.2478/abcsb-2013-0023

Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Roberts, T. H., 2020. Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. Journal of PLoS One, 15(5),e0232269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269

Thabet, S., Moursi, Y., Karam, M., Börner, A., Alqudah, A., 2020. Natural Variation Uncovers Candidate Genes for Barley Spikelet Number and Grain Yield under Drought Stress. Journal

of Genes. 11, 1-23. https://doi.org/10.3390/genes11050533

Todorova, D., Aleksandrov, V., Anev, S., Sergiev, I., 2022. Photosynthesis alterations in wheat plants induced by herbicide, soil drought or flooding. Journal of Agronomy. 12, 1-13. https://doi.org/10.3390/agronomy12020390

Yahyaabadi, M., Dehghani, M., 2021. Effect of Drought Stress and Consumption of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of Potato (Case Study of Isfahan Province). 52, 483-495. [In Persian] https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.309642.668730

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S., Jacobsen, S.E., 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. Journal of Agronomy and Crop Science., 202, 4 45–53. https://doi.org/10.1111/jac.12167

Yosefi, M., Sharafzadeh, S., Bazrafshan, F., Zare, M., Amiri, B., 2018. Application of jasmonic acid can mitigate water deficit stress in cotton through yield-related physiological properties. Journal of Acta Agrobotanica, 71, 1741. https://doi.org/10.5586/aa.1741

Zhang, Y., Ding, J., Wang, H., Su, L., Zhao, C., 2020. Biochar addition alleviate the negative effects of drought and salinity stress on soybean productivity and water use efficiency. Journal of BMC plant biology. 1-12. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02493-2