University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7061.2257

Original article

Investigating of the effect of zinc nitrate on vegetable chlorophyll parameters and biochemical parameters of Balangue (*Lallemantia iberica* L.) under different irrigation regimes

L. Akbari[1*], Z. Chaghakaboodi[1]

1.Assistant Professor of Biotechnology, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Engineering Sciences, Razi University, Agriculture and Natural Resources Campus, Kermanshah, Iran.

Received 18 December 2023; Accepted 26 May 2024

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

One of the most significant global challenges is drought stress, which leads to a reduction in agricultural and horticultural crop yields and an increase in secondary metabolites. Zinc, as a mitigating factor against drought stress, plays a crucial role in this context. Chlorophyll fluorescence parameters are essential for assessing the photosynthetic capacity throughout the plant's lifecycle. This study aimed to compare resistance to varying moisture levels, evaluate physiological indicators, and assess the functionality of photosystem II using chlorophyll fluorescence parameters and biochemical characteristics. Plant adaptation to drought is examined through various physiological, morphological, biochemical, and molecular responses and adjustments. Soluble sugars help prevent protein and cell membrane dehydration by maintaining osmotic pressure in plant leaves under drought stress conditions.

Materials and methods

In a factorial experiment with a completely randomized design, the first factor comprised three levels of drought stress (75%, 50%, and 25% of field capacity), while the second factor included three concentrations of zinc nitrate (0, 5, and 10 $mg.l^{-1}$) applied to the Balangue (*Lallemantia iberica*) plant. The uppermost leaves of the plant were selected to determine the desired indices and were covered with special clamps for fifteen minutes. Subsequently, light was shone on the leaf for two seconds using a device, and the desired indicators were recorded. The aerial parts of the plants were harvested, dried, powdered, and soaked in ethanol and methanol at room temperature for 48 hours to assess biochemical characteristics. The concentration of methanolic and ethanolic extracts was performed using a rotary evaporator, and the samples were stored in a refrigerator.

Results and discussion

In the results comparing the mean with increasing levels of drought stress and application of foliar spraying with nitrate, there was no decrease in Pi and Fv/Fm at different stress levels. The greatest effect of foliar spraying was related to the amount of ten milligrams per liter of zinc nitrate in the investigated levels. Also, at different levels of drought stress, foliar spraying using zinc nitrate caused a significant

[*] Corresponding author: Leila Akbari; E-Mail: L.akbari@razi.ac.ir

© 2025, 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).

change in the amount of phenol (13.50 $mg.l^{-1}$), soluble sugar (94.15 $mg.l^{-1}$), and flavonoid (8.49 micrograms). per liter and anthocyanin content (0.138 $\mu g.l^{-1}$).

Conclusion

The results have shown that the application of moisture stress at the investigated levels significantly increased the content of biochemical traits (soluble sugar, total phenol, flavonoid content, and anthocyanin content) and chlorophyll fluorescence indices. Increasing the level of carbohydrates, especially sugars, plays an important role in protecting and regulating osmosis. Additionally, the accumulation of soluble sugar molecules stabilizes the structure of macromolecules and ultimately prevents the deformation and destruction of biological molecules. Therefore, the use of foliar spraying at two levels of five and ten milligrams of zinc nitrate during the stress period has shown a decrease in the level of these compounds. The highest difference was related to 50% moisture stress and the use of 10 $mg.l^{-1}$ of zinc nitrate. The use of zinc oxide and green zinc nanoparticles in the soil and foliar application by spray significantly increases the absorption of nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc and reduces the adverse effects of drought stress. Therefore, under the influence of different moisture regimes at various growth stages of the plant, it is possible to improve the growth of the plant and enhance the biochemical characteristics of the balangue plant under drought stress conditions by using foliar spraying.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Foliar Spraying, Total phenol, Water Stress, Zinc Nitrate

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7061.2257

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر نیترات روی بر پارامترهای کلروفیل سبزینه و صفات بیوشیمیایی گیاه بالنگو تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

لیلا اکبری[1*]، زینب چقاکبودی[1]

۱. استادیار بیوتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم مهندسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، کرمانشاه

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
کلروفیل فلورسانس
محلول پاشی
فنل کل
تنش آبی
نیترات روی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۳/۰۶

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در کشت گیاهان زراعی و باغی در جهان تنش کم‌آبی است که سبب بروز اختلالات متابولیسمی و کاهش عملکرد می‌گردد. در این میان عنصر روی به‌عنوان یکی از عوامل کاهش‌دهنده اثرات تنش کم‌آبی حائز اهمیت است. پارامترهای کلروفیل فلورسانس از مهم‌ترین فاکتورها برای تعیین ظرفیت فتوسنتزی در طول زندگی گیاهان است. بدین منظور، آزمایشی با هدف مقایسه میزان مقاومت به سطوح مختلف تنش کم‌آبی، ارزیابی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و ارزیابی کارکرد فتوسیستم II با استفاده از پارامترهای فلورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات بیوشیمیایی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی، فاکتور اول شامل سه سطح تنش خشکی (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم سه سطح نیترات روی (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی گیاه بالنگو انجام شد. در نتایج مقایسه میانگین با افزایش سطوح تنش خشکی و اعمال محلول‌پاشی با نیترات روی روند کاهشی در میزان Pi و Fv/Fm در سطوح مختلف تنش مشاهده نشد. بیشترین تأثیر در محلول‌پاشی مربوط به مقدار ده میلی‌گرم بر لیتر نیترات روی در سطوح موردبررسی بود. هم‌چنین در سطوح مختلف تنش کم‌آبی محلول‌پاشی با استفاده از نیترات روی سبب تغییر معنی‌دار در میزان فنول (۱۳/۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، قند محلول (۹۴/۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، فلاونوئید (۸/۴۹ میکروگرم در لیتر) و محتوای آنتوسیانین (۰/۱۳۸ میکروگرم در لیتر) گردید. با توجه به نمودارهای به‌دست‌آمده و پارامترهای موردبررسی در طول دوره تنش می‌توان گفت، محلول‌پاشی با نیترات روی به‌عنوان یکی از عناصر ضروری در غلظت‌های مناسب می‌تواند به‌عنوان عامل مناسبی کاهش اثرات کم‌آبی در مراحل مختلف رشدی گیاه بالنگو برای مقابله با شرایط خشکی مؤثر باشد.

مقدمه

گیاه دارویی بالنگو گیاهی یک‌ساله، روغنی، زودرس و سرمادوست است. گیاهی با کاربردهای متنوع و با امکان کشت دیم است. گیاه دارویی بالنگو ارزش دارویی و صنعتی دارد. دانه‌های بالنگو منبع خوبی از فیبر (۳۰/۶۷)، روغن (۲۸-۲۰٪) و پروتئین (۱۸٪) بوده و اثرات دارویی و تغذیه‌ای زیادی دارند (Amanzadeh et al., 2011). این جنس دارای پنج گونه مختلف ازجمله peltata، royleana، iberica، baldshuanica و canescen است. بذرهای *Lallemantia iberica* در زبان فارسی با نام «بالنگوی شهری» شناخته می‌شوند (Amin, 1991; Mozafarian, 1996). گیاه بالنگو به دلیل حضور ژن‌های متحمل به خشکی با سازش در برابر تنش کم‌آبی در اکثر مناطق به‌صورت آبی و دیم کشت می‌گردد. در بعضی از مناطق با شرایط کشت دیم کاهش عملکرد و ارتفاع گیاه مشاهده شده است. تنش کم‌آبی با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد و درنتیجه بهره‌وری محصول کاهش می‌یابد. پاسخ گیاهان به‌عنوان موجودات چند سلولی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی بسیار پیچیده است

* نگارنده پاسخگو: لیلا اکبری. پست الکترونیک: L.akbari@razi.ac.ir

(Sheykhi Sanandaji and Pirzad., 2019). گیاهان به دلیل عدم تحرک و جابجایی مکانیسم‌های متفاوتی برای مقاومت در برابر شرایط تنش انجام می‌دهند. مکانیسم‌های مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی بر سه راهبرد اصلی فرار از خشکی، اجتناب و تحمل خشکی است (Umair Hassan et al., 2020). سازگاری گیاهان با خشکی به‌منظور مقابله با شرایط تنش از طریق واکنش‌های مختلف و سازش‌های متنوع فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مورد شناسایی و بررسی قرار می‌گیرد. قندهای محلول در شرایط تنش کم‌آبی به‌واسطه حفظ فشار اسمزی در برگ‌های گیاهان، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کنند (Oukarroum et al., 2007). یکی از تنش‌های محیطی مهم که گیاه در طول چرخه زندگی و مراحل مختلف رشد گیاه با آن روبرو می‌شود تنش کم‌آبی است و به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کاهش عملکرد در گیاهان مختلف است (Deepak et al., 2019). در اثر تنش کم‌آبی رشد و نمو گیاهان داروئی مانند سایر گیاهان کاهش می‌یابد. شرایط تنش‌زا معمولاً سبب تشدید سنتز مواد مؤثره گیاهان دارویی (متابولیت‌های ثانویه) می‌گردد. در شرایط وقوع تنش کم‌آبی کنترل‌شده و ملایم کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی نیز افزایش می‌یابد، زیرا قسمت عمده تأثیر دارویی اسانس این گیاهان ناشی از افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه گیاهان است (Petropoulos et al., 2008). اتخاذ سیاست‌هایی برای محافظت از محصولات در برابر حوادث شدید آب و هوایی از جمله خشکسالی ضروری است. توسعه محصولات مقاوم به خشکی یکی از رویکردهای ضروری برای مقابله با این شرایط است. با این حال، این رویکرد زمان‌بر است و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های عظیم دارد. برعکس، رویکردهای مدیریتی دیگری نیز وجود دارد که می تواند راه حل‌های سریعی برای این مشکل ارائه دهد. در این میان، استفاده از مواد مغذی معدنی یکی از امیدوارکننده‌ترین رویکردها برای کاهش اثر خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. نقش مواد مغذی معدنی، به ویژه روی، در رشد و نمو گیاهان در شرایط عادی به خوبی شناخته شده است (Umair Hassan et al., 2020).

از سوی دیگر روی (Zn) به‌عنوان یک ریزمغذی ضروری که با تنظیم مکانیسم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی مختلف، نقش اساسی در مقاومت محصول در برابر تنش کم‌آبی ایفا می‌کند. در شرایط تنش کم‌آبی، سبب بهبود جوانه‌زنی بذر، روابط آبی گیاه، پایداری غشای سلولی، تجمع اسمولیت، تنظیم روزنه‌ای، راندمان مصرف آب و فتوسنتز گردد و درنتیجه عملکرد گیاه به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌یابد. علاوه بر این، تعامل روی با هورمون‌های گیاهی سبب افزایش بیان پروتئین‌های استرس می‌شود و سبب تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با اثرات خشک‌سالی می‌شود (Rana et al., 2013). نانوذرات روی پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای سنتز هستند و پتانسیل قابل‌توجهی برای بهبود تولید محصول تحت تنش‌های غیرزیستی نشان داده‌اند. به‌عنوان‌مثال، اشاره شده است که تجمع نانوذرات پایه‌های فلزی و اکسید فلزی توسط ریشه به‌طور قابل‌توجهی توسط خواص نانوذرات (NPs) و شرایط محیطی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Ali et al., 2021). در مقابل، نقش روی در تحمل به خشکی هنوز به خوبی درک نشده است.

در مطالعات زیادی رابطه بین کارایی فتوسنتزی گیاه و فلورسانس کلروفیل تحت شرایط تنش کم‌آبی موردبررسی قرار گرفته است. بدین منظور جهت تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی در شرایط تنش از سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود. در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی، سالم بودن غشاء تایلاکوئید، کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I و هم‌چنین میزان آسیبی که در شرایط تنش به گیاه وارد می‌گردد را به‌خوبی نشان دهد. تنش کم‌آبی، باعث ایجاد اختلال و تخریب ساختمان پروتئین D1 موجود در فتوسیستم II و درنتیجه فعالیت فتوسیستم II و هم‌چنین سبب کاهش نسبت Fv/Fm[1] می‌گردد (Rahbarian et al., 2013).

به‌منظور ارزیابی فعالیت فتوسنتزی برگ و میزان آسیب وارده به گیاه سنجش فلورسانس کلروفیل مورداستفاده قرار می‌گیرد (Hosseinzadeh et al., 2016). عملکرد کوانتومی یا کارایی فتوسیستم II به‌عنوان شاخصی مهم در ارزیابی تحمل به تنش‌های محیطی گونه‌های مختلف گیاهی ازجمله تنش کم‌آبی محاسبه می‌گردد (Massacci et al., 2008). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (Fv/Fm)

[1] Maximum photochemical quantum yield

نسخه پیش از انتشار

به‌صورت پتانسیل عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشان داده می‌شود و دامنه آن در شرایط غیر تنش بین ۰/۸۵ -۰/۶۵ است. چنانچه گیاهان در شرایط تنش‌هایی همچون شوری، خشکی و گرما قرار بگیرند، این مقدار کاهش خواهد یافت. به‌منظور ارزیابی اثر تنش کم‌آبی بر سیستم فتوسنتزی گیاه و تخمین میانگین کارایی کوانتوم فتوسیستم II از پارامترهای فلورسانس کلروفیل استفاده‌های زیادی شده است. درواقع، تنش کم‌آبی با تأثیر سوئی که بر همانندسازی کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، درنتیجه سیستم به‌سرعت به Fm می‌رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (Fv) خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القاشده تحریکی، انرژی مازاد را از طریق افزایش خاموشی غیر فتوشیمیایی به‌صورت فرآیند غیر تشعشعی از دست می‌دهد. با این مکانیسم تنظیمی، ضمن حفاظت از مرکز واکنش، موجب می‌گردد که حداقل صدمه به این مرکز وارد شود. ازاین‌رو، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به‌صورت نسبت Fv/Fm نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر بیان می‌شود؛ بنابراین، تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II باعث کاهش این نسبت می‌شوند (Keshavarznia et al., 2017).

در مطالعه محلول‌پاشی نانوذره سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بالنگوی شهری تحت رژیم های مختلف رطوبتی نتایج حاکی از آن است که بهترین غلظت مورداستفاده ده میلی‌گرم بر لیتر سلنات سلنیوم است که تأثیر مثبتی بر عملکرد و وزن گیاه و هم‌چنین افزایش محتوای پرولین، پروتئین و قند محلول داشته است که می تواند مربوط به نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم باشد (Amerian et al., 2020). در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر روی صفات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه پنج جمعیت گیاه دارویی بالنگوی شیرازی نتایج نشان داد که تنش خشکی بر روی صفات موردمطالعه معنی‌دار است و با افزایش سطوح تنش خشکی ترکیب‌های فنلی و آنتوسیانین افزایش یافت (Ahmadi and Omidi., 2019). در آزمایشی که به‌منظور تأثیر نیتریک اکسید بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد نتایج نشان داد که محلول‌پاشی نیتریک اکسید در شرایط تنش خشکی با ایجاد تنظیم اسمزی و جلوگیری از تجزیه کلروفیل در بهبود رشد گیاه ریحان مؤثر بوده است (Esmaielpour et al., 2020). به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط تنش کم‌آبی بر کیفیت فیزیولوژیک بذر کنجد آزمایشی انجام شد و نتایج نشان داد که تنش سبب کاهش کیفیت بذر ازنظر درصد جوانه‌زنی، یکپارچگی غشاء سلولی، وزن تر و خشک گیاهچه و بنیه بذر شد. کاربرد نانواکسید آهن در شرایط کم‌آبی توانست برخی صفات کیفی مثل بنیه بذر، وزن خشک و وزن تر گیاهچه و سرعت جوانه‌زنی را بهبود بخشد (Karamian et al., 2018).

کمبود آب همواره یکی از عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان در اکثر مناطق ایران است. با توجه به اینکه در شرایط تنش رطوبتی جذب مواد غذایی در خاک توسط گیاه به‌درستی انجام نمی‌شود، محلول‌پاشی با استفاده از عناصر راهی برای رفع کمبود عناصر غذایی در شرایط تنش کم‌آبی با استفاده از شیوه‌های افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاهان است. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی نیترات روی در سطوح مختلف تنش رطوبتی بالنگو به‌منظور کاهش مشکلات فیزیولوژیکی و تشخیص جایگاه نیترات روی در کاهش صدمات ناشی از تنش رطوبتی در گیاه بالنگو است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح مختلف تنش کم‌آبی (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اول و محلول‌پاشی با نیترات روی ($Zn(NO_3)_2$) خریداری‌شده از شرکت سیگما در سه سطح (صفر، پنج و ده میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان فاکتور دوم بود. بذر گیاه بالنگو از مرکز تحقیقات دیم سرارود بخش دانه‌های روغنی تهیه گردید. تعدادی از گیاهچه‌ها پس از گذراندن مرحله چهار برگی حذف و تنها سه بوته در هر گلدان جهت اعمال تنش در مرحله قبل از گلدهی نگه‌داری گردید. آبیاری تا مرحله چهار برگی انجام و پس‌ازآن به مدت دو هفته تنش اعمال گردید. از روش وزنی برای اعمال سطوح مختلف تنش استفاده شد. جهت اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدان‌هایی با طول ۱۸ سانتی‌متر انتخاب و سپس به‌صورت یکسان با ترکیب خاک، ماسه و کود حیوانی با نسبت ۱:۱:۳

نسخه پیش از انتشار

پر شدند، سه گلدان به‌طور کامل آبیاری و سپس به مدت ۲۴ ساعت بر روی سطح مشبک جهت رسیدن به ظرفیت زراعی قرار داده شدند، پس‌ازآن گلدان‌ها وزن شدند و برای اندازه-گیری وزن خشک به آون به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. رطوبت خاک طبق فرمول زیر محاسبه گردید. پس از محاسبه ظرفیت زراعی (FC) جهت اعمال سایر سطوح تنش به‌صورت درصدی از ظرفیت زراعی در نظر گرفته شدند. مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت موردنظر برحسب گرم آب با استفاده از ترازوی دیجیتال محاسبه و به گلدان‌ها اضافه گردید، وزن گلدان‌ها برای هر یک از سطوح تنش موردبررسی اندازه‌گیری و جهت رسیدن وزن گلدان‌ها به مقدار FC موردنظر (بر اساس گرم) آب اضافه شد و پس از رسیدن به سطح موردنظر در همان روز به همان صورت حفظ گردید، اعمال شرایط تنش و رسیدن به ظرفیت زراعی برای تمامی تیمارها در طول مدت تنش اعمال‌شده روزانه محاسبه گردید (Schonfeld et al., 1988).

$$FC=\frac{(FCW-DW)}{DW}\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن FC: ظرفیت زراعی، FCW: وزن خاک در ظرفیت زراعی (گرم)، DW: وزن خاک خشک‌شده در آون (گرم) هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (Pi[1]: ضریب خاموشی فتوشیمیایی و Fv/Fm: بیشینه کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) Fv: فلورسانس متغیر و Fm: حداکثر فلورسانس با استفاده از دستگاه تنش‌سنج کلروفیل سبزینه (Hansatech instruments pocket PEA) شاخص‌ها اندازه‌گیری گردید و خروجی داده‌ها و رسم نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار Chlorophyll florescence Software (PEA Plus) انجام شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های موردنظر، بالاترین برگ هر گیاه انتخاب و به‌منظور جلوگیری از ورود نور به برگ به مدت پانزده دقیقه سطح برگ‌های انتخاب‌شده با استفاده از گیره‌های مخصوص پوشیده شد. سپس نور به مدت دو ثانیه توسط دستگاه به برگ تابیده و شاخص‌های موردنظر ثبت شد. سپس اندام‌های هوایی گیاه جمع‌آوری، خشک و پودر شده و جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی با اتانول و متانول در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شدند. تغلیظ عصاره های متانولی و اتانولی با استفاده از روتاری انجام شد و نمونه‌ها در یخچال نگه‌داری شدند. تعیین محتوای صفات بیوشیمیایی موردبررسی در این تحقیق، استخراج عصاره بر اساس روش (Sepehrifar and Hasanloo., 2010)، تعیین محتوای فنل کل (Pandjaitan et al., 2005)، مقدار آنتوسیانین (Roberta et al., 2005) تعیین میزان قند محلول و میزان فلاونوئید کل (Faraji et al., 2020) انجام شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها، آنالیز واریانس و مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات موردبررسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS.19 و هم چنین رسم نمودارهای مقایسه میانگین نیز با برنامه آماری Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز واریانس شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و صفات بیوشیمیایی موردبررسی نشان داد که اثر متقابل کم‌آبی و سطوح مختلف نیترات روی (صفر، پنج و ده میلی‌گرم در لیتر) در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است. فاکتور تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر همه صفات و شاخص های موردبررسی داشت. فاکتور نیترات روی نیز اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفت قند محلول و در سطح پنج درصد بر صفت آنتوسیانین و هم‌چنین تأثیر غیرمعنی‌دار برای صفات فنل کل و فلاونوئید داشت. در بررسی اثر متقابل بین کم‌آبی و سطوح مختلف نیترات روی نیز نتایج معنی‌دار بوده است (جدول ۱).

بر اساس مقایسه میانگین اثرات متقابل بین سطوح کم‌آبی و نیترات روی نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطوح کم‌آبی بر اساس درصد ظرفیت زراعی، کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II دچار کاهش شده است. با افزایش سطح کم‌آبی، روند کاهشی در مقدار Fv/Fm ایجادشده، به‌طوری‌که بیشترین نسبت Fv/Fm که شاخص مناسبی برای نشان دادن کارایی فتوسیستم II است در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تنش خشکی و در شرایط تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نیز محلول‌پاشی در غلظت‌های پنج و ده میلی‌گرم بر لیتر در دامنه بین ۰/۸۵-۰/۶۵ بوده است (شکل ۱). با افزایش تنش رطوبتی میزان Fv/Fm کاهش می‌یابد؛ که می‌تواند به دلیل تغییر در ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل موجود در برگ باشد. مقایسه میانگین تیمارها در پارامتر Pi

[1]Photochemical coefficient

نسخه پیش از انتشار

نشان نیز می‌دهد. بالاترین میزان این پارامتر مربوط به شاهد است. با افزایش سطح تنش میزان آن کاهش می‌یابد و محلول‌پاشی توسط نیترات روی در سطح پنج و ده میلی‌گرم تأثیر مثبتی در تغییر روند کاهشی این میزان داشته است (شکل ۲).

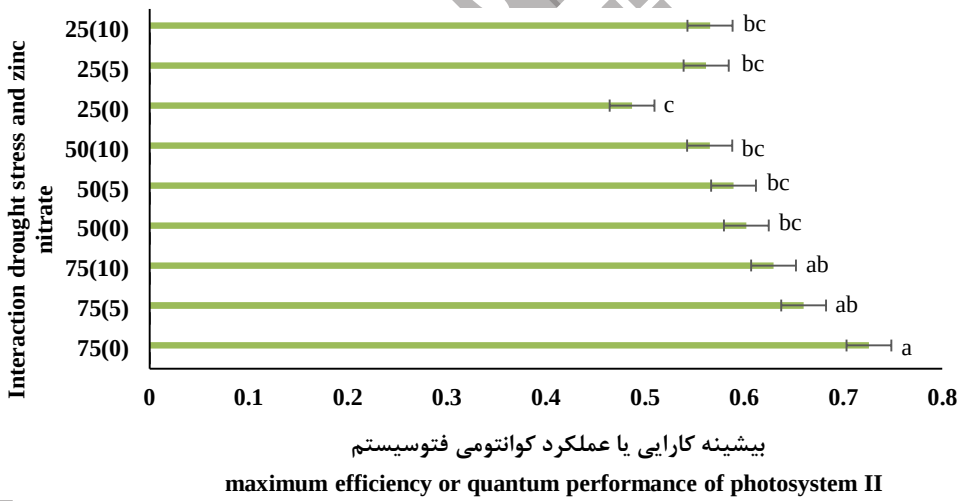
جدول ۱. میانگین مربعات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و صفات بیوشیمیایی تحت محلول‌پاشی در شرایط تنش کم‌آبی

Table 1. Mean square of chlorophyll fluorescence indices and biochemical traits under foliar spraying under drought stress conditions

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی dF	Pi	F_v/F_m	قند محلول soluble sugar	فنل کل phenol	فلاونوئید flavonoids	آنتوسیانین anthocyanin
تنش کم‌آبی Drought Stress	2	6.588 ns	0.025*	4156.287**	121.726**	40.058**	0.17**
نیترات روی Zinc nitrate	2	12.741 ns	0.008 ns	1637.192**	12.883 ns	4.125 ns	0.012 ns
کم‌آبی×نیترات روی Drought×Zinc nitrate	4	20.618**	0.011*	5523.149**	86.463**	33.511**	0.02*
خطای آزمایشی Experimental error	18	4.365	0.004	352.617	5.041	2.279	0.008
ضریب تغییرات CV%		17.430	10.241	21.037	18.175	19.034	14.29

ns غیر معنی دار، *، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: non-significant, *, ** significant at 5 and 1 percent probability level, respectively



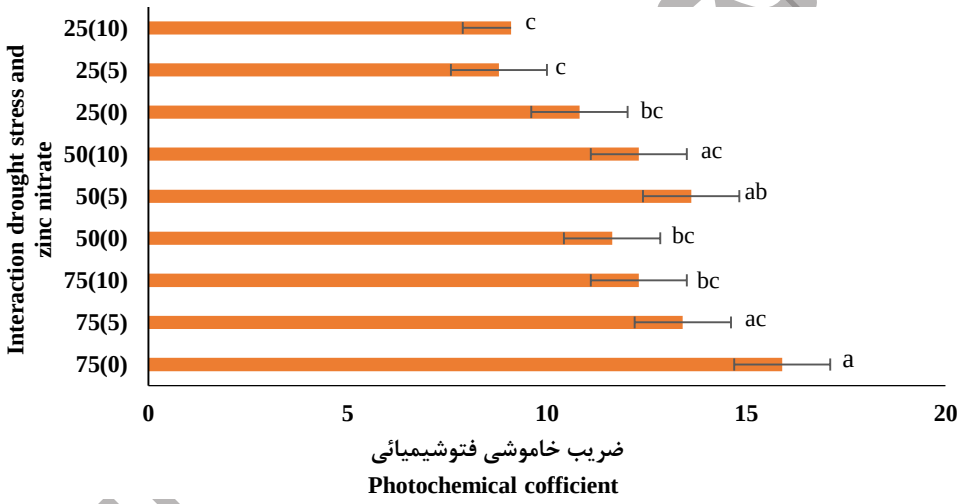
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف تنش کم‌آبی و نیترات روی بر Fv/Fm بیشینه کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی در گیاه بالنگو

Fig. 1. Comparison of the average interaction effect of different levels of drought stress and zinc nitrate on Fv/Fm maximum efficiency or quantum performance of photosystem II in dark-adapted conditions in Balangue plant

در نمودار رسم شده با نرم‌افزار کلروفیل فلورسانس نیز میزان پراکندگی داده‌ها بر اساس شاخص‌های Pi و Fv/Fm نشان می‌دهد که با توجه به تأثیر محلول‌پاشی نیترات روی بر شاخص‌های کلروفیل فلورسانس اختلاف قابل‌توجهی بین پراکندگی میانگین‌های به‌دست‌آمده در سطوح مختلف کم‌آبی برای پارامتر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نسبت به Pi به‌دست‌آمده است (شکل ۳).

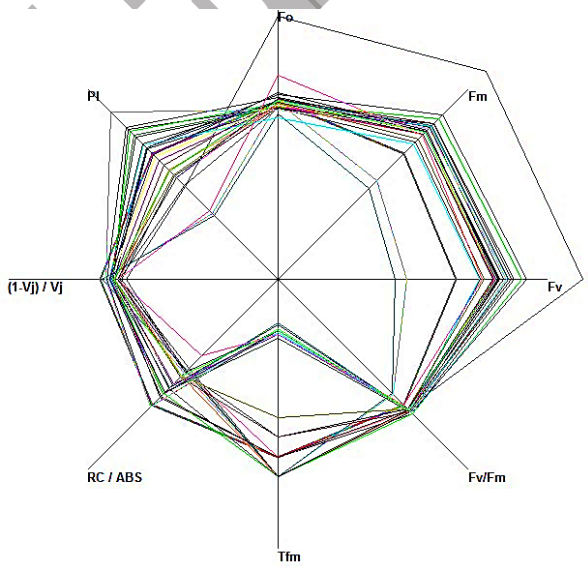
بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین به‌دست‌آمده در شرایط تنش کم‌آبی در بررسی کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II نشان داده شد که محلول‌پاشی با نیترات روی

می‌تواند سبب تعدیل شرایط تنش نسبت به شاهد گردد. ژنوتیپ‌های با نسبت بالاتر Fv/Fm، از کارایی فتوسنتزی بالاتری برخوردار هستند (Soheili Movahed et al., 2017). تنش کم‌آبی سبب ایجاد تغییرات در رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، تخریب سیستم فتوسنتزی II و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین شده که درنهایت سبب کاهش عملکرد محصولات می‌گردد (Fu et al., 2001). محققان کاهش زیست‌توده و عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه در واکنش به تنش خشکی را گزارش نموده و بیان کردند که کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و یا افزایش حجم ریشه باشد (Rezapor et al., 2011). در مطالعه تأثیر محلول‌پاشی سلنیم بروی رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه دارویی بالنگوی شیرازی تحت شرایط تنش آبی نتایج نشان داده است که با افزایش درصد رطوبت ظرفیت زراعی، کلروفیل کل و کاروتنوئید و وزن خشک بوته در گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. هم‌چنین مقایسه میانگین صفات موردبررسی در تیمار با سلنیوم نیز در غلظت دو میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط تنش رطوبتی آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گردید (Esmailpour et al., 2019).



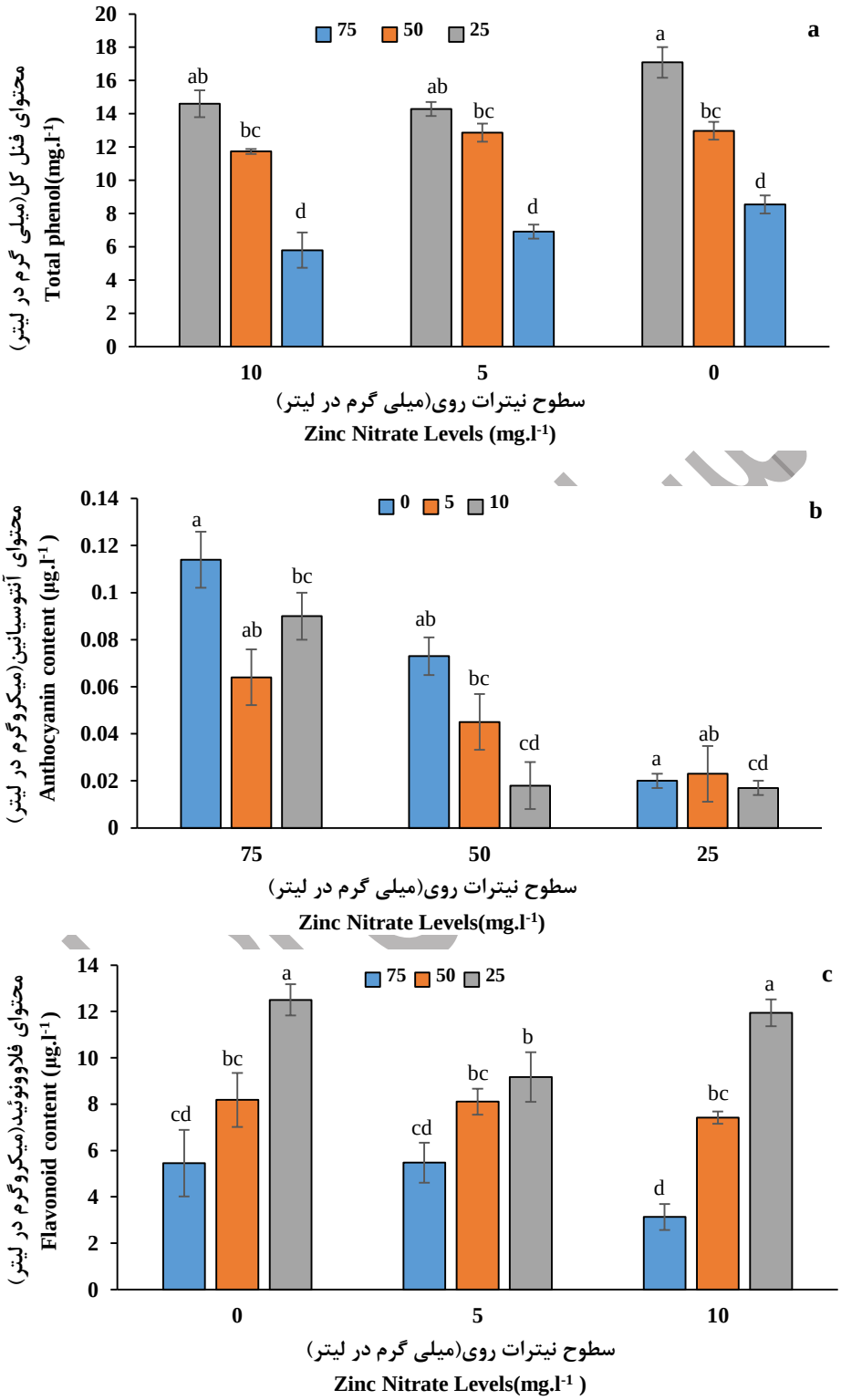
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف تنش کم‌آبی و نیترات روی بر پارامتر Pi

Fig. 2. Comparison of the average interaction effect of different levels of dryness and zinc nitrate on the Pi parameter



شکل ۳. نمودار پارامترهای موردبررسی تحت تنش با اعمال تیمار محلول‌پاشی

Fig. 3. Diagram of chlorophyll fluorescence parameters investigated under stress by applying foliar treatment



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل درصد تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نیترات روی در صفات فنل کل(A)،آنتوسیانین(B) و فلاوونوئید(C)

Fig. 4. Comparison of the average mutual effects of moisture stress percentage and zinc nitrate foliar spraying on the traits of total phenol (A), anthocyanin (B), and flavonoid (C)

در نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی موردبررسی نیز نتایج حاکی از آن است که در بررسی اثر متقابل تنش کم‌آبی و سطوح مختلف محلول‌پاشی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۴) تنش کم‌آبی اثر منفی بر صفات بیوشیمیایی داشت؛ اما با افزایش میزان محلول‌پاشی نیترات روی تأثیر تنش کم‌آبی

کنترل گردید و در غلظت ده میلی‌گرم بر لیتر نیترات روی در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیشترین مقادیر برای صفات بیوشیمیایی مشاهده گردید.

در شرایط تنش کم‌آبی، فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه مانند فتوسنتز، تنفس، جذب، انتقال یون‌ها و متابولیسم کاهش می‌یابد. مطالعه حاضر نشان‌دهنده اثر مثبت استفاده از نیترات روی در کاهش اثرات تنش کم‌آبی است؛ بنابراین استفاده از ده میلی‌گرم در لیتر نیترات روی می‌تواند یک راهکار مهم و مفید برای بهبود رشد و صفات بیوشیمیایی بالنگوی شیرازی تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد. عنصر روی نقش مهمی در فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها، فعالیت هورمون‌های گیاهی، کلروفیل، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز و هم‌چنین مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها را در گیاهان ایفا می‌کند. استفاده از نانوذرات به‌عنوان یک تکنیک مؤثر سبب افزایش جذب مواد مغذی شده که فتوسنتز را بهبود، سنتز کلروفیل و کارایی PS-II را بهبود می‌بخشد. تنش خشکی به‌طور قابل‌توجهی تجمع ترکیبات فنلی را کاهش می‌دهد. بااین‌حال، نانوذرات پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود تجمع خود در گیاهان دارند. استفاده برون‌زا از نانوذرات اکسید روی (۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور قابل‌توجهی غلظت ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش را افزایش داده است (El-Zohri et al., 2021).

در محلول‌پاشی اثر سلنیوم در سطوح مختلف تنش کم‌آبی بر روی بالنگوی شهری، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سلنیوم تا ده میلی‌گرم بر لیتر محتوای آب نسبی برگ، فنل کل، قند محلول، پرولین و محتوای پروتئین افزایش‌یافته است. افزایش محتوای فنل و پروتئین به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگو به شرایط تنش رطوبتی داشته‌اند (Amerian et al., 2020). در بررسی تأثیر عصاره جلبک در شرایط تنش رطوبتی بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی نتایج حاکی از آن بوده است که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، صفات مورفولوژیک شامل وزن تر و خشک تک بوته، تعداد برگ، کلروفیل کل، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک ریشه و صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل b، کلروفیل a، بر اساس گرم در لیتر کاهش و میزان نشت الکترولیت و محتوای پرولین برگ افزایش یافته است. نتایج این پژوهش نیز نشان داده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش کم‌آبی گردیده است (Esmaielpour et al., 2020). یکی از دلایل اثرات تنش کم‌آبی از بین رفتن تعادل بین عناصر تغذیه‌ای در گیاهان است. از طریق محلول‌پاشی عناصر غذائی کم‌مصرف می‌توان شرایط کم‌آبی را برای گیاه تا حدی بهبود بخشید. درنتیجه کاربرد مواد معدنی در مناطقی که در معرض تنش کم‌آبی هستند و تغییر مؤثر در شرایط فیزیولوژیک، گیاه می‌تواند شرایط رشدی و حصول عملکرد دانه را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داده است که اعمال تنش کم‌آبی در سطوح موردبررسی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش محتوای صفات بیوشیمیایی (قند محلول، فنل کل، محتوای فلاونوئید و میزان آنتوسیانین) و شاخص‌های کلروفیل فلورسانس گردیده است. افزایش سطح کربوهیدرات‌ها به‌ویژه قندها اثر مهمی در حفاظت و تنظیم اسمزی ایفا می‌کند. هم‌چنین، تجمع مولکول‌های قند محلول سبب پایداری ساختمان ماکرومولکول‌ها می‌شود و درنهایت از تغییر شکل و از بین رفتن مولکول‌های زیستی جلوگیری می‌کند؛ بنابراین استفاده از روند محلول‌پاشی در دو سطح پنج و ده میلی‌گرم نیترات روی در طول دوره تنش سبب کاهش سطح این ترکیبات بوده است. بیشترین میزان اختلاف مربوط به تنش رطوبتی ۵۰ درصد و استفاده از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات روی بوده است؛ بنابراین با توجه به نقش روی در ساختار DNA، RNA و حضور آن به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی در ساختار و فعالیت پروتئین‌ها مانند عوامل رونویسی و متالوآنزیم‌ها نقش مهمی در فعالیت‌های حیاتی گیاه داشته و در شرایط تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصولات زراعی می‌گردد. استفاده از اکسید روی و نانوذرات سبز روی در خاک و هم چنین به‌صورت محلول‌پاشی با اسپری به‌طور قابل‌توجهی جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی را افزایش و سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی می‌گردند؛ بنابراین تحت تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی در مراحل مختلف رشدی گیاه می توان با استفاده از محلول‌پاشی نیترات روی سبب بهتر شدن رشد گیاه و نیز بهبود خصوصیات بیوشیمیایی گیاه بالنگو در شرایط تنش کم‌آبی گردید.

نسخه پیش از انتشار

منابع

Ahmadi, K., Omidi, H., 2019. Evaluation of morphological characteristics, yield components, and catalase enzyme activity of *Lallemantia royleana* Benth. under drought stress. Journal of Agroecology. 11(2), 757-774. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.69373

Ali, S., Mahmood, A., Khan, N., 2021. Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. Journal of Nanomaterial. 6677616. 1-17. https://doi.org/10.1155/2021/6677616

Amanzadeh, YN., Khosravi Dehaghi, AR., Gohari, HR., Monsef-Esfehani, SE., Sadat Ebrahimi, SE. 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. Research Journal of Biological Sciences. 6, 114-117. https://doi.org/10.3923/rjbsci.2011.114.117.

Amerian, M., Zebarjadi, A.R., Mehrabi, J.A. 2020. Effect of different concentrations of selenium on some morphological and physiological characteristics of dragons head (*Lallemantia iberica*) under different irrigation regimes. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science). 34, 415-431. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/jwra.2020.342710.785

Amin, Gh.R., 1991. Popular Medicinal Plants of Iran. Iranian Research Institute of Medicinal Plants, Tehran, 66p. [In Persian].

Deepak, SB., Thakur, A., Singh, S., Bakshi, M., Bansal, S. 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8, 1251-1253. https://doi.org/10.1234/jpp.2019.1251

El-Zohri, M., Al-Wadaani, N.A., Bafeel, S.O. 2021. Foliar sprayed green zinc oxide nanoparticles mitigate drought-induced oxidative stress in tomato. Plants. 10, 2400. https://doi.org/10.3390/plants10112400

Esmaielpour, B., Fatemi, H., Moradi, M., 2020. Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 11, 60-69. [In Persian]. https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288

Faraji, S., Hadadinejad, M., Abdoosi V., Basaki, T., Karami, S., 2020. Effects of drought stress on the phenol, flavonoid and cyanidin 3-glocoside content of juice and fruit yield in native pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 35, 889-901. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.123934.2426

Fu, J., Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany. 45, 105–114. https://doi.org/10.1016/s0098-8472(00)00084-8

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., Ismaili, A., 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica. 54, 87–92. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x

Karamian, Z., Isvand, H., Daneshvar, M., Akbarpour, A.A., 2019. The effect of foliar application of nano iron oxide under drought stress conditions on the physiological quality of sesame seeds (*Sesamum Indicum L.*). p. 29-37. The 6th National Conference of Plant Physiology of Iran. [In Persian]. https://civilica.com/doc/998012

Keshavarznia, R., Peyghambari, S.A., Bihamta, M.O., 2017. The impact of seedling drought stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters and physiological characteristics of wheat. Iranian Journal of Field Crop Science. 48, 39-45. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.202541.654065

Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S.K., Chernikova, T.N., Thor, K., Leipner, J., 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiology and Biochemistry., 46, 189–195. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.10.006

Mozafarian V., 1996. Dictionary of Iranian Plant Names. Tehran University of Tehran Publication. 739 pp. ISBN 9789645545404 [In Persian]

Oukarroum, A., Madidi, S.E., Schansker, G., Strasser, R.J., 2007. Probing the responses of

barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. Environmental and Experimental Botany. 60, 438-446. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.01.002

Pandjaitan, N., Howard, L.R., Morelock, T., Gil, M.I., 2005. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53, 8618–8623. https://doi.org/10.1021/jf052077i

Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M. Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Horticultural Science. 115, 393-397. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.008

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., 2013. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Iranian Journal of Pulses Research. 4, 87–96. [In Persian]. https://doi.org/10.2478/v10182-011-0007-2

Rana, R. M., Rehman, S. U., Ahmed, J., Bilal, M., 2013. A comprehensive overview of recent advances in drought stress tolerance research in wheat (*Triticum aestivum* L.). Asian Journal of Agriculture and Biology, 1, 29–37. https://doi.org/10.12345/ajab.2013.01.0037

Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., Ramrodi, M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in Nigella sativa L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27, 384-396. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6380

Roberta, A., Lo Piero, I., Puglisi, I., Rapisarda, P., Petrone, G., 2005. Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 53, 9083–9088. https://doi.org/10.1021/jf051609s

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carwer, B.F., Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science. 28, 526-531. https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x

Sepehrifar, R., Hasanloo, T. 2010. Polyphenolics, flavonoids and anthocyanins content and antioxidant activity of Qare-Qat (*Vaccinium arctostaphylos* L.) from different areas of Iran. Journal of Medicinal Plant Research. 9, 66-74. [In Persian]. https://jmp.ir/article-1-313-en.html

Sheykhi Sanandaji, D., Pirzad, A., 2019. Ecophysiological response of *Lallemantia iberica* L. to exogenous application of osmotic adjustments in rainfed production. Journal of Agroecology. 11, 1105-1121. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.72715

Soheili Movahed, S., Esmaeili, M. A., Jabbari, F., Khoramdel, S., Fooladi, A., 2017. Effect of water deficit on leaf relative water content, chlorophyll fluorescence indices and grain yield of four maize beans. Iranian Journal of Crop Science. 10, 169–190. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8847.1689.

Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., Guoqin, H., 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agriculture. 10(9), 396. https://doi.org/10.3390/agriculture10090396