

Morpho-Physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress

Mohamad Forouzandeh¹, Soheil Parsa^{2*}, Ali Izanloo³ and Sohrab Mahmoudi³

1- Ph.D. Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, and Member of Plant and Environmental Stress Research Group, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, and Member of Plant and Environmental Stress Research Group, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

(*- Corresponding author Email: sparsa@birjand.ac.ir)

Received: 18-11-2021
Revised: 18-03-2022
Accepted: 04-04-2022
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:

Forouzandeh, M., Parsa, S., Izanloo, A., & Mahmoudi, S. (2024). Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) to Foliar Application of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid under Drought Stress. *Journal of Agroecology*, 15(4), 683-698. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/agry.2022.73671.1080>

Introduction

Drought conditions are one of the most important abiotic stresses in the world. In the first place, the best way to prevent the reduction of crop yields in drought conditions is to use natural compounds that play a key role in growth, development, and response to environmental stresses. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) belongs to the Chenopodiaceae family, a plant with high nutritional value and rich in protein as a future crop. Due to the high resistance to various biotic and abiotic stresses, global demand for quinoa is increasing, and its global production is less than market purpose.


Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2020-2021 cropping season as split plots based on a randomized complete block design with three replications at the Zabol University (UOZ) research farm, Iran. The main plot factor was irrigation regimes at three levels: 1- Irrigation equal to 100% crop water requirement (control), 2- Deficit irrigation equal to 75% crop water requirement (mild stress), 3- Deficit irrigation equal to 50% crop water requirement (severe stress) and six levels of foliar application was assigned to the subplot: Control (sprayed with distilled water without ethanol), 70% ethanol, 0.5 mM SA, 0.5 mM MeJA, 1 mM SA and 1 mM MeJA. This study measured plant height, stem diameter, panicle dry weight, root dry weight, dry matter, seed yield, harvest index, stomatal conductance, electrolyte leakage, chlorophyll fluorescence and water use efficiency. Determination of irrigation interval and crop water requirement was based on CROPWAT 8.0 software and the Penman-Mantis equation. For plant coefficients, used FAO default data. Irrigation planning was determined with 85% efficiency, and the water volume of each plot was calculated using a digital water meter.

Results and Discussion



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2022.73671.1080>

The results revealed that the irrigation 50% crop water requirement (severe stress), regime increased electrolyte leakage, water use efficiency, and root dry weight, whereas it did not significantly affect Fv/Fm, stomatal conductance, and harvest index. The highest plant height, with a mean of 144.02 cm, was obtained from 100% crop water requirement and 1 mM SA, and the lowest, with a reduction 71.5%, was obtained at 50% crop water requirement and no spraying conditions. Quinoa had 54.3% higher seed yield than control under drought stress conditions owing to unaffected Fv/Fm and stomatal conductance and less electrolyte leakage. Spraying 1 mM MeJA and SA increased chlorophyll fluorescence (22.4%), stomatal conductance (53.4%), and harvest index (38%). In severe drought stress (supply 50% crop water requirement), foliar application significantly increased the water use efficiency (from 0.2 to 1.1 kg m⁻³). In severe drought stress, increased quinoa seed yield was due to an increase in water use efficiency. According to the results, drought stress decreased physiological and seed yield traits; 1 mM MeJA could increase the seed yield (292.93 g m⁻²) and partially compensate for the reduction caused by drought stress. Also, seed yield with a mean of 281.96 g m⁻² was in the second rank at 1 mM MeJA application and 75% crop water requirement (mild stress) conditions. Fv/Fm ratio was not significantly affected by drought stress. The highest harvest index was observed in 1 mM MeJA and SA compared to the control. Therefore, to minimize the effect of drought stress, we could recommend using 1 mM MeJA.

Conclusion

The least stress treatment for quinoa economic yield supply was 100% crop water requirement (control) and 1 mM MeJA application. Also, the average seed yield (281.96 g m⁻²) was at the second rank in 1 mM MeJA and 75% crop water requirement (mild stress) treatment. It seems that stress tolerance mechanisms study and MeJA foliar application are necessary, especially in areas with less water, and we need to develop crops that are possible to produce high quantities with require low water in farms.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, CROP WATT software, Drought stress, Plant growth regulator, Water use efficiency



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص ۶۹۸-۶۸۳

پاسخ مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) به محلول‌پاشی برگری متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی

محمد فروزنده^۱، سهیل پارسا^{۲*}، علی ایزانلو^۳ و سهراب محمودی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵

چکیده

استفاده از برخی مواد شیمیایی با ساختار مشابه ترکیبات طبیعی، یکی از راهکارهای پایدار برای جلوگیری از کاهش عملکرد و پاسخ گیاهان زراعی در شرایط خشکی است. بدین منظور، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد)، ۲- کم آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش متوسط)، ۳- کم آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و عامل فرعی شامل شش سطح محلول‌پاشی: ۱- شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۲- حلال اتانول ۷۰ درصد، ۳- اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، ۴- متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار، ۵- اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و ۶- متیل جاسمونات یک میلی‌مولار بود. در این تحقیق، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک خوشه و ریشه، ماده خشک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و کارایی مصرف آب، مورد بررسی قرار گرفت. نشت الکترولیت، کارایی مصرف آب و وزن خشک ریشه در تنش شدید خشکی افزایش یافت، درحالی‌که فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و شاخص برداشت تحت تأثیر قرار نگرفت. محلول‌پاشی یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک باعث افزایش فلورسانس کلروفیل (۲۲ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۵۳ درصد) و شاخص برداشت (۳۸ درصد) نسبت به عدم محلول‌پاشی شد. کاربرد متیل جاسمونات در شرایط تنش شدید، کارایی مصرف آب کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) را به‌طور قابل توجهی (از ۰/۲ به ۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب) افزایش داد. دلیل افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش شدید خشکی، افزایش عملکرد دانه کینوا بود. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش صفات مورفولوژیکی و عملکردی شد، ولی کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات توانست عملکرد دانه (۲۹۲/۹ گرم در مترمربع) را افزایش دهد و کاهش ایجاد شده توسط تنش خشکی را جبران کند. با توجه به نتایج، کاربرد ایستپورها (نظیر متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک) در شرایط تنش خشکی، می‌تواند در تعدیل اثرات تنش نقش مؤثری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد گیاه، فلورسانس کلروفیل، کارایی مصرف آب، نرم افزار کراپ وات

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: sparsa@birjand.ac.ir)

مقدمه

محصولات کشاورزی اغلب تحت تأثیر عوامل محیطی تنش‌زا مانند شوری، کمبود آب، دمای بالا، غلظت یون‌های سمی و تابش ماوراء بنفش قرار می‌گیرد (Hayat et al., 2012). در این بین، تنش خشکی از رایج‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در جهان به‌شمار می‌آید (Jaleel et al., 2009). در پاسخ به تنش خشکی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۱ در گیاهان تحریک شده که این گونه‌های ناپایدار و بسیار واکنش‌پذیر، می‌توانند پروتئین‌ها، لیپیدهای غشایی و DNA را اکسید کنند (Zarringol, 2018). سازگاری فیزیولوژیکی رایج در گیاهان تحت تنش خشکی، تنظیم اسمزی سلول‌هاست (Gholipour et al., 2020). ترکیبات محلول سازگار مانند قندهای محلول و پرولین نقش عمده‌ای در تنظیم اسمزی دارند و غشاها را از آسیب محافظت کرده و فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها را تثبیت می‌کنند (Emami Bistgani et al., 2017). تنظیم اسمزی و سایر پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان در مقابل تنش خشکی ممکن است سازگاری کوتاه‌مدت با کمبود آب موقت را فراهم کند. در صورت تداوم تنش، این استراتژی‌ها ممکن است کافی نباشد و احتمالاً هزینه بالایی را بر گیاهان تحمیل کند (Emami Bistgani et al., 2017).

اهمیت اسید سالیسیلیک و جاسمونیک به‌عنوان الیستور زیستی^۲ در رویارویی با تنش‌ها می‌تواند به‌دلیل نقش آن‌ها در تنظیم اسمزی، حفظ پایداری غشاء، کاهش نشت یونی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشد (Yun-Xia et al., 2010). این ترکیبات در مقادیر خیلی کم و به‌طور طبیعی در گیاه موجود هستند و در واکنش‌های مربوط به تنش دخالت کرده و آثار منفی تنش در گیاه را تعدیل می‌نمایند (Gharib & Hegazi, 2010). در آزمایشی، کاربرد اسید جاسمونیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، روی چند گونه از جنس کلزا (*Brassica spp.*) که به مدت ۱۰ روز در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند، سبب افزایش وزن تر، محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ^۳ در مقایسه با شاهد شده است (Mahabub et al., 2014). همچنین دارایی و همکاران (Darabi et al., 2019) بیان کردند، گرچه با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب ارقام گندم کاهش

یافت، اما کاربرد برگ‌ی اسید سالیسیلیک در این شرایط سبب بهبود این صفات شد. کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی باعث ایجاد پاسخ‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مختلف می‌شود (Anjum et al., 2011; Tayyab et al., 2020). این الیستورها تحمل به تنش خشکی را در گندم نان (*Triticum aestivum*) افزایش داد (Javadipour et al., 2021). در شرایط تنش، هر چه یک وارسته توانایی بیشتری در نگهداری کوئینون (اولین پذیرنده الکترون) در حالت نیمه اکسید داشته باشد، بهتر می‌تواند در ایجاد تحمل نسبت به تنش‌های محیطی موفق باشد. بدین معنی که در صورتی که Fv/Fm کاهش نیابد، مراکز واکنش فتوسیستم II برانگیخته و کوئینون آماده پذیرش الکترون است. کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده افت کارایی فتوسیستم II به‌دلیل کاهش انتقال الکترون است (Akhter et al., 2021). نتایج برخی مطالعات نشان داد که متیل جاسمونات نسبت Fv/Fm را افزایش می‌دهد (Sirhind et al., 2020).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) از خانواده کنوپودیاسه^۴، گیاهی شبه غله، با ارزش غذایی بالا و سرشار از پروتئین، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌ها، مواد معدنی، فاقد گلوتن و تنها گیاهی است که تمام اسیدهای آمینه ضروری بدن را تأمین می‌کند (Tang et al., 2015) این گیاه در ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سال پیش در رشته کوه آند واقع در کشورهای بولیوی و پرو توسط انسان کشت و مصرف می‌شده است (Gordillo-Bastidas & Diaz, 2016). طبق آمار جهانی در طول دهه‌های گذشته، تولید و مصرف آن به‌طور تصاعدی افزایش یافته است (Angeli et al., 2020). علاوه بر خواص تغذیه‌ای و عملکردی آن، مقاومت زیاد در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های خشکی، شوری و سرما و قابلیت رشد در خاک‌های فقیر، توجه روزافزون جهانی را به خود جلب کرده و به‌عنوان اولین کاندیدای جایگزین سایر غلات در نظر گرفته می‌شود تا امنیت غذایی جهانی را در قرن حاضر تأمین کند (Vidueiros et al., 2015; Zou et al., 2017).

کینوا راهبردهای مختلفی از قبیل اصلاح فرآیندهای فیزیولوژیکی و سازگاری‌های مورفولوژیکی برای کاهش تنش‌های غیر زیستی

- 1- Reactive oxygen species (ROS)
- 2- Biotic elicitor
- 3- Relative Water Content (RWC)

4- Chenopodiaceae

تعیین دور و حجم آبیاری توسط نرم‌افزار کراپ وات^۱ به‌روش پنمن-مانتیت و بر اساس نیاز آبی گیاه بود. بدین منظور از داده‌های بلندمدت هواشناسی (دوره ۵۰ ساله) محل آزمایش استفاده شد و بر اساس نوع گیاه و ضرایب گیاهی با استفاده از ضرایب پیش فرض و استاندارد FAO، محاسبات مربوطه صورت گرفت (شکل ۱). بدین ترتیب برنامه‌ریزی آبیاری با کارایی ۸۵ درصد تعیین و با استفاده از کنتور، حجم آب محاسبه گردید. برای شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، مقدار ۴۶۶۲ متر مکعب آب در هکتار در طول فصل رشد گیاه مورد استفاده قرار گرفت.

کاشت به‌صورت ردیفی که هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت به‌طول چهار متر و با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین دو کرت اصلی دو متر و فاصله بین دو کرت فرعی ۱/۵ متر (دو خط نکاشت) و تراکم نهایی ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در ۲۶ آبان به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی انجام گرفت. براساس آنالیز انجام گرفته از خاک (جدول ۱)، کود فسفوره از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم تأمین و قبل از کاشت همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. کود نیتروژن نیز از منبع اوره قبل از کاشت، به‌صورت سرک در مرحله ۶-۸ برگی و قبل از گل‌دهی استفاده شد.

برای محلول‌سازی از حلال اتانول برای تیمار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک استفاده شد. محلول‌پاشی در دو مرحله شروع گل‌دهی و پرشدن دانه به‌وسیله سم‌پاش پشتی صورت گرفت. پس از برداشت نهایی (۱۰ اردیبهشت) صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن خشک ریشه و خوشه، عملکرد دانه و ماده خشک، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب^۲، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ابتدا در مزرعه ساقه از محل اتصال طوقه به ریشه‌ها جدا و سپس با کمک بیل دایره‌ای به قطر ۲۰ سانتی‌متر و تا عمق ۴۰ سانتی‌متر، ریشه‌ها به همراه خاک خارج شد. سپس در پارچه بسته‌بندی و با آب مقطر شست و شو داده شد. در پایان، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفت و وزن خشک ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم محاسبه شد (Momenpour et al.,

۲۰۱۵). در مورد کینوا، پس از ۱۰ روز تنش، صفات تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز همراه با کارایی مصرف آب، ثابت ماندند (Saddiq et al., 2021). در نتایج بررسی تنش خشکی بر عملکرد دانه کینوا گزارش شده، در شرایط آبیاری بعد از ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده، عملکرد کینوا ۱۶۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (Keshtkar et al., 2021). همچنین در شرایط آبیاری نرمال، اعمال غلظت‌های متوسط و در شرایط کم آبیاری شدید، اعمال غلظت بالای اسید سالیسیلیک منجر به بهبود رشد، کارایی مصرف آب و عملکرد پروتئین دانه کینوا شد (Sadeghizadeh et al., 2021).

در این مطالعه، با توجه به نقش متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در ایجاد مقاومت به خشکی در گیاهان تحت تنش، به منظور آگاهی از مکانیسم آن‌ها و با عنایت به اهمیت گیاه کینوا در تغذیه انسان و جدید بودن این گیاه، همچنین قابلیت‌های فراوان از جمله کیفیت بسیار بالای دانه آن از نظر پروتئین، تحمل بالا به خشکی، معرفی مناسب‌ترین غلظت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک و تعیین بهترین میزان نیاز آبی کینوا جهت بالابردن کیفیت آن ضروری است.

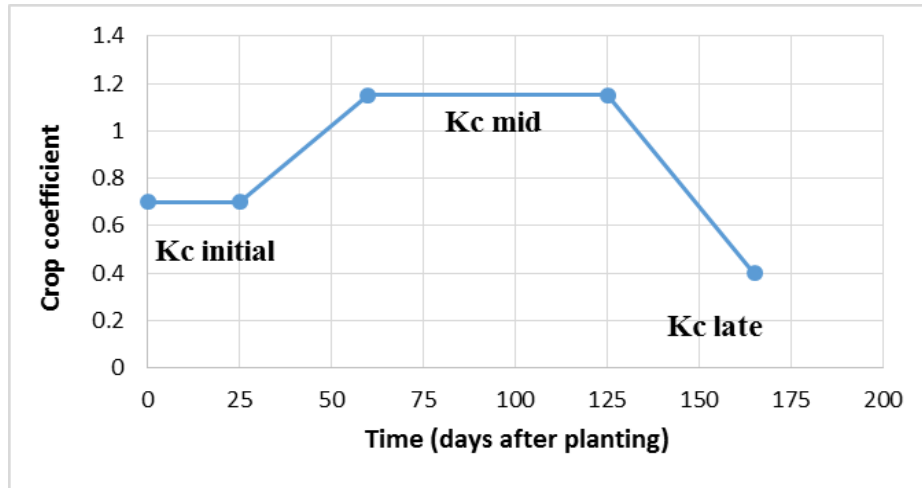
مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل (چاه نیمه) واقع در شهرستان زهک (۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. کرت اصلی سطوح آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد)، ۲- کم آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش متوسط)، ۳- کم آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و کرت فرعی محلول‌پاشی در شش سطح شامل: ۱- شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر بدون مصرف اتانول)، ۲- حلال اتانول ۷۰ درصد، ۳- اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، ۴- متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار، ۵- اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و ۶- متیل جاسمونات یک میلی‌مولار بود. محلول‌پاشی در دو مرحله از رشد (شروع گل‌دهی و پرشدن دانه) انجام گرفت. مقدار محلول مورد نیاز بر اساس کالیبراسیون سمپاش با آب مقطر، ۴۰۰ لیتر در هکتار در نظر گرفته شد.

1- CROPWAT 8.0 software

2- Water Use Efficiency (WUE)

۲۰۱۵). اندازه‌گیری قطر ساقه اصلی، در آزمایشگاه از ۲۰ بوته در نزدیکی طوقه توسط کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر انجام شد.



شکل ۱- ضریب گیاهی (Kc) مورد استفاده در تعیین نیاز آبی کینوا به روش پنمن-مانتیث فائو ۵۶ (Allen et al., 1998)

Fig. 1- Plant coefficient (Kc) used for determining water requirements of quinoa by Penman-Monteith FAO 56 method

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C	درصد مواد خشک شونده T.N.V	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیترژن N	فسفر قابل دسترس P (available)	پتاسیم قابل دسترس K (available)	مس Cu	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
				(%)				(mg.kg ⁻¹)					
3.63	8.15	0.08	13.5	13	14	74	0.08	2.4	178	1.36	5.68	0.94	6.04

جوش در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از سرد شدن، EC₂ آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (Sairam & Srivastava, 2001).

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{درصد نشت الکترولیت} = \text{EC}_1 / \text{EC}_2 \times 100$$

اندازه‌گیری پارامترهای هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی به ترتیب با دستگاه‌های پرومتر مدل Li-COR-EMS و گیره‌های مخصوص دستگاه فلورسانس کلروفیل مدل WALZ Mini-PAM (ساخت آلمان)، در محدوده زمانی که ۹۵ درصد رسیدگی خوشه‌ها انجام گرفت. بدین منظور، در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۴ ظهر، آخرین برگ توسعه‌یافته چند گیاه انتخاب و بعد از میانگین‌گیری به‌عنوان هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی آن کرت تعیین شد.

محاسبه هدایت روزنه‌ای بر اساس اندازه‌گیری CO₂ ورودی و خروجی گیاه انجام گرفت. بدین صورت که برگ‌ها در اتاقک گیره دستگاه قرار می‌گرفت. وقتی فتوسنتز رخ دهد، غلظت CO₂ در محفظه کاهش می‌یابد. از تفاوت تغییر غلظت CO₂ در زمان، میزان

برای اندازه‌گیری کارایی مصرف آب از معادله ۱ استفاده شد (Hamzei et al., 2015).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{WUE} = Y/W$$

که در آن، WUE: کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرف شده، Y: عملکرد اقتصادی بر حسب کیلوگرم در هکتار و W: میزان آب مصرفی بر حسب بر متر مکعب در هکتار است.

تعیین درصد نشت الکترولیت نیز در مرحله ۹۵ درصد رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس معادله ۲ صورت گرفت. برای این منظور، به‌طور تصادفی از هر کرت، پنج برگ جوان و تکامل‌یافته از موقعیت یکسان در بوته انتخاب و ۱۰ عدد دیسک برگی از آن تهیه و در لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی آب مقطر (EC₁) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۵ دقیقه به حمام آب

تنش خشکی، الیسیاتور و برهم کنش بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0/05$) بر قطر ساقه گیاه داشت (جدول ۲). همان طوری که انتظار می‌رود، با افزایش شدت تنش خشکی، قطر ساقه گیاه کاهش معنی‌داری داشت. دلیل این کاهش احتمالاً کاهش آماس و تعداد سلول‌های ساقه است (He et al., 2020). محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی سبب افزایش قطر ساقه شد. به طوری که بیشترین ($15/5$ میلی‌متر) و کمترین ($5/4$ میلی‌متر) قطر ساقه به ترتیب در شرایط عدم تنش خشکی توأم با کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و تنش شدید خشکی و عدم کاربرد الیسیاتور به دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی منجر به از بین رفتن غشای پلاسمایی و سایر اندامک‌های سلولی از جمله کلروپلاست شده و در نتیجه، کاهش قابل توجه رشد، تبادلات گازی و محتوای کلروفیل گیاه می‌شود، درحالی که متیل جاسمونات با حفاظت از سیستم فتوسنتزی در مقابل تنش اکسیداتیو باعث رشد، افزایش محتوای کلروفیل و در نتیجه، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شد (Rasouli et al., 2018). جمالی و انصاری (Jamali & Ansari, 2020) نیز گزارش کردند، قطر ساقه کینوا در تیمار تنش آبی در کل دوره رشد در مقایسه با شاهد کاهش $42/4$ درصدی نشان داد. بر اساس گزارش هاشمی و میردهقان (Hashemi & Mirdehghan, 2014)، تیمار کاربرد 200 میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و 50 میلی‌گرم در لیتر متیل جاسمونات قطر ساقه میخک را نسبت به شاهد افزایش داد.

وزن خشک خوشه و ریشه: روند تغییرات وزن خشک خوشه و ریشه کینوا تحت شرایط تنش خشکی حاکی از تأثیر معنی‌داری تنش بر وزن خشک خوشه ($p \leq 0/01$) و ریشه ($p \leq 0/05$) بود، ضمن آن که محلول‌پاشی با متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، نیز وزن خشک هر دو اندام را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0/01$) (جدول ۲). برهم کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی نیز بر وزن خشک خوشه ($p \leq 0/01$) و ریشه ($p \leq 0/05$) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و الیسیاتورها (جدول ۳) بر وزن خشک خوشه حاکی از افزایش این صفت در اثر استفاده از متیل جاسمونات در شرایط عدم تنش (تأمین 100 درصد نیاز آبی گیاه) بود. بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات بود و تیمار محلول‌پاشی $0/5$ میلی‌مولار متیل جاسمونات در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۳). میزان اثرگذاری متیل جاسمونات رابطه

هدایت روزنه‌ای مشخص می‌شود (Moradi & Ismail, 2007). اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل در حالت سازگار با تاریکی توسط گیره مخصوص به مدت 20 دقیقه انجام شد، بدین منظور، تعداد پنج گیره در قسمت میانی برگ به نحوی که روی رگبرگ اصلی قرار نگیرد نصب شد، سپس فلورسانس کلروفیل گیاه ثبت شد (Aminifard & Gholizade, 2018).

روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از MACRO DSAASTAT و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده ($FLSD^1$) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودار از اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تنش خشکی ($p \leq 0/05$) محلول‌پاشی ($p \leq 0/01$) و برهم کنش بین آن‌ها ($p \leq 0/05$)، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت. بیشترین ارتفاع بوته با میانگین $144/0$ سانتی‌متر در شرایط تأمین 100 درصد نیاز آبی گیاه و تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد و کمترین آن با $71/5$ درصد کاهش مربوط به تیمار کم آبیاری 50 درصد نیاز آبی گیاه و عدم محلول‌پاشی بود. در تمام سطوح نیاز آبی گیاه، با افزایش غلظت محلول‌پاشی، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت (جدول ۳). اسید سالیسیلیک با تنظیم فتوسنتز، سبب افزایش میزان جذب مواد غذایی و آب شده و رشد گیاه جو (*Hordeum vulgare*) را افزایش داد (Abdelaal et al., 2020). هورمون‌های مختلف گیاهی با اسید سالیسیلیک ارتباط متقابل دارند (Wang et al., 2007). به عنوان مثال، مشخص شده است که بین اسید سالیسیلیک و اکسین اثر هم‌افزایی وجود دارد (Navarro et al., 2006). در همین راستا گزارش شد که اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف اثرات متفاوتی دارد و توانست اثرات ناشی از تنش خشکی در سیاه دانه (*Nigella sativa*) را بکاهد (Khorrandel et al., 2012). همچنین در تحقیقی، اعمال تنش خشکی و افزایش شدت آن، ارتفاع بوته گندم را کاهش داد، درحالی که کاربرد اسید سالیسیلیک و اسیدجاسمونیک سبب بهبود ارتفاع بوته گیاه گردید (Vahabi et al., 2017).

قطر ساقه: نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد،

الیستورها نسبت به تیمار عدم استفاده، در هر دو شرایط تنش و عدم تنش افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در بین تیمارها، استفاده از غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه کینوا (۲۹۲/۹ گرم در مترمربع) گذاشت و نسبت به شاهد ۵۴/۳ درصد افزایش عملکرد را موجب شد (جدول ۳). تحقیقات متعدد نشان‌دهنده تأثیر مثبت الیستورها بر عملکرد گیاه، در شرایط تنش می‌باشند (Forouzandeh et al., 2019; Behboudi et al., 2018; Ma et al., 2014). نکته جالب توجه این که استفاده از بالاترین غلظت متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید)، افزایشی معادل ۴۹۷ درصد در عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف الیستور داشته و حال آن که استفاده از همین غلظت در شرایط عدم تنش خشکی، تنها ۵۴/۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد را نشان می‌دهد (جدول ۳). نتایج پژوهشی حاکی از دخالت متیل جاسمونات در بهبود تحمل به خشکی با تعدیل پراکسیداسیون لیپیدی غشا و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی است. علاوه بر این، کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ محتوای آب بافت منجر به بهبود عملکرد اقتصادی تحت تنش خشکی شد (Anjum et al., 2011).

مستقیمی با غلظت آن دارد؛ به طوری که سبب افزایش توان آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود رشد گیاه می‌شود (Mohammadi Azni et al., 2020)، که این مطلب با نتایج ما هم‌خوانی دارد. ریشه گیاه نقش مهمی در پاسخ به تنش خشکی دارد. در شرایط تنش خشکی، ریشه‌های گیاه می‌توانند به سرعت برای مقابله با کمبود آب تنظیم شوند (Claeys et al., 2013). در این آزمایش، با افزایش شدت خشکی، به‌ویژه تحت تیمار تنش شدید و کاربرد اسید سالیسیلیک تجمع ماده خشک ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). استراتژی‌های جلوگیری از کم‌آبی، متکی به مکانیسم‌هایی است که در آن نرخ از دست دادن آب و جذب آب متعادل بماند. از دست دادن آب با بسته شدن روزنه و در طولانی‌مدت با محدود کردن رشد ساقه و تشکیل ریشه‌های عمیق منجر به افزایش نسبت ریشه به ساقه می‌شود (Brunner et al., 2015). افزایش وزن خشک ریشه در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک توسط رضائی‌نص و همکاران (Rezaei Nasab et al., 2016) نیز گزارش شده است.

عملکرد دانه و ماده خشک: اثر تیمارهای مربوط به تنش

خشکی ($p \leq 0.05$)، و محلول‌پاشی ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش بین آن‌ها ($p \leq 0.05$) بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد دانه نیز به‌شدت از تیمارهای اعمال شده تأثیر پذیرفت و کاربرد

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر صفات اندازه‌گیری شده کینوا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of spraying and drought stress effect on measured traits of quinoa

S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن خشک خوشه Panicle dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ماده خشک Dry matter	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	88.32	1.37	419.03	108.91	209363.60	189829.65
تنش خشکی Drought stress (D)	2	5715.47*	43.13*	108015.24**	3470.70*	3185703.38*	3274843.74*
خطای a Error a	4	700.55	6.06	5180.80	376.50	353496.53	216739.33
محلول‌پاشی Spraying (S)	5	1601.06**	9.57*	9835.76**	2948.21**	2894890.67**	2359003.27**
D×S	10	511.09*	8.15*	5452.85**	787.83*	819317.35**	150920.08*
خطای b Error b	30	228.46	3.42	1693.20	360.24	160053.02	64328.71
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.26	15.72	18.49	17.18	10.39	12.33

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and **: are significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کینوا
Table 3- Mean comparisons of spraying and drought stress effect on measured characteristics of quinoa

تنش خشکی Drought stress	محلول‌پاشی Spraying	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن خشک خوشه Panicle dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ماده خشک Dry matter (g.m ⁻²)	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)	کارایی مصرف آب WUE (kg.m ⁻³)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)
D ₁	S ₀	102.58	12.41	189.7	84	412.9	162.8	0.4	53.40
	S ₁	106.51	13.49	295.6	86.8	380.4	210.11	0.5	53.40
	S ₂	109.53	12.84	272.3	96.1	407	238.04	0.5	58.53
	S ₃	114.33	10.74	331.9	96.5	424.1	250.05	0.5	58.17
	S ₄	144.02	14.11	288.5	107.2	468	285	0.6	25.77
D ₂	S ₅	127.29	15.50	358.7	96.2	479.3	292.93	0.6	24.17
	S ₀	87.92	12.06	176.6	103	333.8	162.29	0.5	67.77
	S ₁	101.46	12.02	282.8	110.3	336.1	176.46	0.5	68.10
	S ₂	94.97	11.75	220.8	91.3	329	189.2	0.5	62.53
	S ₃	84.58	12.17	256.3	161.1	414.8	238.64	0.7	54.00
D ₃	S ₄	92.63	12.70	311.7	125.9	431.1	249.85	0.7	51.13
	S ₅	125.98	11.41	281.9	109.7	439.3	235.5	0.7	50.40
	S ₀	40.97	5.41	145.1	88.5	140.4	41.18	0.2	88.20
	S ₁	88.43	10.84	124.3	99.7	368.1	123	0.5	73.07
	S ₂	88.82	10.11	143.5	97	345.9	129.6	0.6	63.00
D ₃	S ₃	86.63	11.83	180.8	137.5	389.1	133.2	0.8	70.50
	S ₄	90.80	11.96	227	162.3	390.9	145.5	1.0	65.73
	S ₅	95.09	10.55	245.8	134.1	434.1	136.8	1.1	66.00

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده به احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

S₀: آب مقطر، S₁: اتانول ۷۰ درصد، S₂: ۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S₃: ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات، S₄: یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و S₅: یک میلی‌مولار متیل جاسمونات. D₁: به‌ترتیب آبیاری معادل ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه.

* Means with at least a common letter in each column are not significantly different by FLS test at 5 % probability.

S₀: Distilled water, S₁: 70% Ethanol, S₂: 0.5 mM SA, S₃: 0.5 mM MeJA, S₄: 1 mM SA and S₅: 1 mM MeJA. D₁, D₂ and D₃: Irrigation equivalent to 100, 75 and 50 percent crop water requirement, respectively.

به حفظ محتوای بالای آب بافت کمک کند. درحالی‌که افزایش وضعیت آب بافت فعالیت چندین آنزیم دخیل در کربوکسیلاسیون را تحریک و منجر به افزایش عملکرد زیستی شود (Farooq et al., 2009).

شاخص برداشت: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، شاخص برداشت تنها تحت تأثیر محلول‌پاشی الیستورا قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). به‌طوری‌که این صفت با افزایش غلظت الیستور افزایش یافت. بیشترین شاخص برداشت به‌طور مشترک در محلول‌پاشی غلظت‌های یک میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک به‌میزان ۳۹/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد و تیمار عدم محلول‌پاشی با میانگین ۴۲/۴۹ درصد کمترین مقدار را داشت (جدول ۵). برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۴). افزایش شاخص برداشت در محلول‌پاشی کیتوزان و اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Amiri et al., 2016). گزارش شده است، بهبود شاخص برداشت غلات و حبوبات دانه ریز، نتیجه افزایش تراکم تعداد دانه در خوشه، همراه با وزن دانه است. در گزارشی افزایش پتانسیل عملکرد، عمدتاً نتیجه افزایش تولید زیست‌توده بوده است (Hay, 1995). این روند در آزمایش کشتکار و همکاران (Keshtkar et al., 2021) در کینوا نیز مشاهده شد.

ماده خشک کینوا نیز مشابه عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و الیستور قرار گرفت (جدول ۲). در بین تیمارها، کاربرد غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، ماده خشکی معادل ۴۷۹/۳ گرم در مترمربع تولید نمود که علاوه بر آن که در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین بود، منجر به افزایش حدود ۳/۵ برابری در مقایسه با شرایط عدم استفاده از الیستور و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تنش شدید) شد. همانند تأثیر الیستورها بر عملکرد دانه، کاربرد این مواد علی‌الخصوص در شرایط تنش خشکی، نقش مؤثری در بهبود ماده خشک تولیدی گیاه داشت، به‌طوری‌که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد الیستورها حدود ۱۶ درصد عملکرد ماده خشک را افزایش داد، حال آن که در تیمار تنش شدید، شاهد افزایش ۲/۵ برابری ماده خشک بودیم (جدول ۳). آنجوم و همکاران (Anjum et al., 2016) نیز بیان کردند که در گیاهان تیمار شده با متیل جاسمونات تحت تنش خشکی و شاهد، افزایش چشمگیر و قابل توجه عملکرد بیولوژیکی گندم مشاهده شد. متیل جاسمونات طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاهان تحت شرایط تنش برمی‌انگیزد (Creelman & Mullet, 1997). در این مطالعه، نشأت الکترولیت‌ها به‌طور قابل توجهی با قرار گرفتن در معرض متیل جاسمونات کاهش یافته که این افزایش پایداری غشاها ممکن است

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی و تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی کینوا
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of spraying and drought stress effect on some morphological traits of quinoa

S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index	نشأت الکترولیت Electrolyte leakage	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll florescence	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	62.36	131.03	2.83	0.0254	0.0335
تنش خشکی Drought stress (D)	2	830.82 ^{ns}	2931.2*	17.57 ^{ns}	0.0080 ^{ns}	0.1186 ^{ns}
خطای a Error a	4	330.56	283.68	32.85	0.0187	0.0360
محلول‌پاشی Spraying (S)	5	388.84**	787.13**	301.93**	0.0346*	0.2665**
D×S	10	69.20 ^{ns}	221.33**	59.36 ^{ns}	0.0089 ^{ns}	0.0521**
خطای b Error b	30	41.80	48.81	32.82	0.0136	0.0070
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.32	11.93	19.88	14.99	13.89

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: are non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی بر صفات اندازه گیری شده کینوا
Table 5- Mean comparisons of simple effects of spraying on the measured traits of quinoa

تیماها Treatments	شاخص برداشت Harvest index (%)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (m mol H ₂ O.m ⁻² .s ⁻¹)	فلورسانس کلروفیل Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)
محلول پاشی Spraying			
S ₀	42.49 d*	22.53 cd	0.67 b
S ₁	47.25 cd	21.64 d	0.72 ab
S ₂	52.48 bc	32.00 ab	0.81 a
S ₃	54.47 ab	27.67 bc	0.80 a
S ₄	59.28 a	34.49 a	0.82 a
S ₅	58.70 a	34.58 a	0.82 a

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده به احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
S₀: آب مقطر، S₁: اتانول ۷۰ درصد، S₂: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، S₃: ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات، S₄: یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و S₅: یک میلی‌مولار متیل جاسمونات

* Means with at least a common letter in each column are not significantly different by FLSD test at 5 % probability.
S₀: Distilled water, S₁: 70% Ethanol, S₂: 0.5 mM SA, S₃: 0.5 mM MeJA, S₄: 1 mM SA and S₅: 1 mM MeJA.

توجه به نتایج حاضر بایستی توجه داشت که در سطح تنش شدید خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) هنوز ظرفیت فتوسنتزی کینوا به‌طور جدی تحت تأثیر قرار نگرفته و منجر به کاهش هدایت روزنه-ای گیاه نشده است. لذا، احتمالاً با پیشرفت شدت تنش، هدایت روزنه‌ای متوقف شود. از طرفی، محققان متعددی عقیده دارند که محدودکننده اصلی فتوسنتز گیاه در شرایط تنش خشکی میزان هدایت مزوفیلی است (Fischer & Maurer, 1987).

فلورسانس کلروفیل: تمام غلظت‌های اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات باعث افزایش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) حداکثر عملکرد کوآتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی (Fv/Fm) در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴)، به‌طوری‌که مقایسه میانگین این صفت نشان داد، نسبت Fv/Fm از حداقل مقدار ۰/۶۷ در S₀ تا حداکثر مقدار ۰/۸۲ در غلظت یک میلی‌مولار متیل جاسمونات (S₅) قرار گرفت (جدول ۵). بین غلظت‌های مختلف الیسیتورهای متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). مشابه این نتایج، کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات باعث افزایش ۹/۳ درصدی نسبت Fv/Fm ارقام گندم در مقایسه با شاهد شد (Javadipour et al., 2021). کاهش فعالیت فیتوشیمیایی یکی از عوامل غیر روزنه‌ای است که فتوسنتز را محدود می‌کند (Souza et al., 2004). بنابراین، فعالیت فتوسیستم دو (PSII) در مطالعه حاضر با استفاده از روش فلورسانس کلروفیل مورد بررسی قرار گرفت، که اطلاعاتی در مورد توانایی گیاه در تحمل تنش و میزان آسیب به

هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای گیاه تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار نگرفت و تنها اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات بر هدایت روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بین تیمارهای مربوط به محلول پاشی، تأثیر افزایش دو برابری غلظت از ۰/۵ به یک میلی‌مولار قابل توجه بود، به‌طوری‌که اعمال غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار گرفت و در مقایسه با شاهد منجر به افزایش ۵۳ درصدی هدایت روزنه‌ای گیاه شد (جدول ۵). اگرچه الیسیتورها (اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات) قادر به فعالسازی مکانیسم‌های غلبه بر شرایط مختلف تنش در گیاه هستند (Venegas-Molina et al., 2020)، اما افزایش گشودگی روزنه و تعرق پس از کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه توتون (*Nicotiana rustica* L.)، ذرت و سویا (*Glycine max* L.) نیز گزارش شده است (Habibi et al., 2015; Khan et al., 2003). گیاهان می‌توانند با فرار، اجتناب و یا تحمل خشکی، به تنش خشکی عکس‌العمل و سازگاری نشان دهند. افزایش هدایت روزنه‌ای به این معنی است که کینوا استراتژی اجتناب از خشکی را انتخاب کرده است، یعنی در مواجهه با خشکی روزنه‌هایش را نمی‌بندد و گیاهی خرج‌کننده آب به‌شمار می‌رود و به‌منظور اجتناب از خشکی با استفاده از ریشه‌های عمیق و توسعه یافته (که در این تحقیق، وزن خشک ریشه نیز معنی‌دار شده)، تغییر زاویه و حرکت برگ و کوتیکول ضخیم در ساعات گرم و خشک از مواجهه با تنش خشکی اجتناب می‌کند. با

شدید این صفت را ۴۵۰ درصد (از ۰/۲ به ۱/۱ کیلو گرم در متر مکعب)، افزایش داد (جدول ۳). نتایج مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2021) بر رژیم‌های آبی کینوا نشان داد که با افزایش آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش یافت. دلیل افزایش WUE در تیمار تنش شدید خشکی را می‌توان افزایش عملکرد دانه کینوا با کاربرد الیستورها دانست. افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان تحت تنش خشکی با کاربرد متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک برای سایر گونه‌های گیاهی نیز گزارش شده است (Fugate et al., 2018; Abhari & Radman, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد اقتصادی و ماده خشک و نشت الکترولیت تأثیر گذاشت. علاوه بر این، وزن خشک ریشه، نشت الکترولیت و راندمان مصرف آب، با افزایش شدت تنش افزایش یافت. مناسب‌ترین تیمار آبی برای عملکرد اقتصادی بذر کینوا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه توأم با کاربرد یک میلی‌مولار متیل جاسمونات بود که با تیمار یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (تنش متوسط)، با میانگین عملکرد دانه ۲۸۱/۹۶ گرم در مترمربع، اختلاف معنی‌داری نداشت. در صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و راندمان مصرف آب، کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌ترتیب در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی، مناسب تشخیص داده شد. نسبت Fv/Fm کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. بررسی اثر سطوح بالاتر تنش در شرایط مزرعه برای این صفت ضروری به نظر می‌رسد. نتایج نشان داد که کینوا سازگاری نسبتاً خوبی با شرایط تنش خشکی دارد. با این حال، این استراتژی‌ها نه تنها امکان معرفی یک محصول جایگزین مفید را ارائه می‌کند، بلکه از طریق شناخت سازوکار فیزیولوژیک آن، ممکن است مسیرهای احتمالی را برای افزایش مقاومت به خشکی در سایر محصولات را نیز فراهم کند. به نظر می‌رسد که با بررسی مکانیسم‌های تحمل به تنش و کاربرد برگ‌الیستور متیل جاسمونات، به‌ویژه در مناطقی که کمبود آب دارند، تولید گیاهان با کمیت بالا همراه با کاهش مصرف آب امکان‌پذیر باشد.

سیستم فتوسنتز ارائه می‌دهد. افزایش Fv/Fm نشان می‌دهد که کاربرد الیستورها منجر به اتلاف کمتر انرژی به‌صورت گرما در PSII گیاهان تیمار شده در مقایسه با گیاهان تیمار نشده می‌شود. همچنین این افزایش، نشان‌دهنده تولید و مصرف بیشتر ATP در زنجیره انتقال الکترون غیر حلقوی (Z شکل) نسبت به سرعت تحریک مرکز PSII است، به‌عبارتی استفاده از الیستور از PSII محافظت کرده است (Nogués & Baker, 2000).

براساس نتایج تجزیه واریانس، کارایی فتوسیستم II نسبت به شرایط آبیاری حساسیتی نداشت (جدول ۴). تحقیقات مختلف نشان دادند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر شاخص Fv/Fm در برخی گیاهان زراعی از جمله کینوا ندارد که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت داشت (Nasiri et al., Bosque Sanchez et al., 2003). وقتی کارایی فتوشیمیایی، نسبت Fv/Fm بدون تغییر معنی‌دار باقی بماند، یعنی عملکرد فتوسیستم II کمتر تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، که به نظر می‌رسد این امر به دلیل کارایی بالاتر دستگاه فتوسنتزی آن باشد (Amirjani, 2011). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (Fv/Fm)، نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد. مقدار آن برای گیاهانی که تحت تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد و در صورتی که در شرایط تنش قرار بگیرند، این مقدار کمتر خواهد بود (Zhao et al., 2007).

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب، اختلاف معنی‌داری در سطوح تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و الیستور نشان داد ($p \leq 0/01$) (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها نشان داد در تمام سطوح تنش و محلول‌پاشی، بیشترین کارایی مصرف آب (۱/۱ کیلوگرم در متر مکعب) مربوط به تیمار یک میلی‌مولار متیل جاسمونات در تنش شدید بود. بعد از آن نیز کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با میانگین یک کیلوگرم در متر مکعب را به خود اختصاص داد که بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین میزان کارایی مصرف آب (۰/۴ کیلوگرم در متر مکعب) در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (عدم تنش) و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳). نکته جالب توجه این‌که در شرایط عدم تنش، کاربرد الیستور کارایی مصرف آب را ۵۰ درصد افزایش داد (از ۰/۴ به ۰/۶ کیلوگرم در متر مکعب)، اما در تیمار تنش

References

1. 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.M., 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 characteristics. *Sustainability*, 12(5), 1736. <https://doi.org/10.3390/su12051736>
2. Abhari, A., & Radman, A., (2020). Effect of salicylic acid on physiological N efficiency and water use efficiency of barley in cut irrigation condition. *Journal of Plant Production Research*, 27(2), 187-200. <https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16442.2499>
3. Akhter, Z., Bi, Z., Ail, K., Sun, C., Fiaz, S., Haider, F. U., & Bai, J., (2021). In response to abiotic stress, DNA methylation confers epigenetic changes in plants. *Plants*, 10(6), 1096. <https://doi.org/10.3390/plants10061096>
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300, D05109.
5. Aminifard, M.H., & Gholizade, Z., (2018). Effect of chicken manure on vegetative criteria and photosynthetic pigments of saffron (*Crocus sativus* L.). *Horticultural Plants Nutrition*, 1(1), 1-17. (In Persian with English Summary)
6. <https://doi.org/10.22070/HPN.2018.450>
7. Amiri, A., Sirous Mehr, A., & Ismailzadeh Bahabadi, S., (2016). Effect of foliar application of salicylic acid and chitosan on yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(4), 712-725. (In Persian with English Summary)
8. Amirjani, M.R., (2011). Comparative study of relative tolerance of chlorophyll biosynthesis and ETR of two wheat (*Triticum aestivum*) varieties in response to salt stress. *Journal of Cell & Tissue*, 1(2), 57-67. <https://doi.org/10.52547/JCT.1.4.57>
9. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., & Piatti, C., (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
10. Anjum, S.A., Tanveer, M., Hussain, S., Tung, S. A., Abdul Samad, R., Wang, L., Khan, I., Noor Shah, A., Shahzad, B., & Rehman, N., (2016). Exogenously applied methyl jasmonate improves the drought tolerance in wheat imposed at early and late developmental stages. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 25-36. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-2047-9>
11. Anjum, S.A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., & Xue, L., (2011). Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defense system, and yield in soybean under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 10, 296-301. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00468.x>
12. Azurita Silva, A., Jacobsen, S.E., Razzaghi, F., Álvarez Flores, R., Ruiz, K.B., Morales, A., & Silva Ascencio, H., (2015). Quinoa drought responses and adaptation. In: State of the art report on quinoa around the world. FAO: Roma, Italy. 157–171.
13. Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassae, M., Modares Sanavi, S., & Sorooshzadeh, A., (2018). Effect of foliar and soil application of chitosan nanoparticles on some of physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(45(1)), 37-56. (In Persian with English Summary)
14. Bosque Sanchez, H., Lemeur, R., Van Damme, P., & Jacobsen, S.E., (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19, 111–119. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018874>
15. Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M.A., Arend, M., & Sperisen, C., (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science*, 6, 547. DOI: 10.3389/fpls.2015.00547
16. Claeys, H., & Inze, D., (2013). The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. *Plant Physiology*, 162(4), 1768–1779. DOI: 10.1104/pp.113.220921
17. Creelman, R.A., & Mullet, J.E., (1997). Oligosaccharins, brassinolides, and jasmonates: nontraditional regulators of plant growth, development, and gene expression. *The Plant Cell*, 9(7), 1211-1223. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1211>
18. Darabi, F., Naseri, R., Mirzaei, A., & Moradi, M., (2019). Some physiological responses of two wheat cultivars to

- foliar application of salicylic acid under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(38), 61-76. (In Persian with English Summary)
19. Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Ghasemi Pirbalouti, A., (2017). The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in *Thymus deanensis* Celak. in Shahrekord climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(1), 12-19. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22077/escs.2017.527>
 20. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S., (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 153-188. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
 21. Fischer, R.A., & Maurer, R., (1987). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research*, 29, 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
 22. Forouzandeh, M., Mohkami, Z., & Fazelinasab, B., (2019). Evaluation of biotic elicitors foliar application on functional changes, physiological and biochemical parameters of fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Plant Production Research*, 25(4), 49-65. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22069/jopp.2018.14077.2262
 23. Fugate, K.K., Lafta, A.M., Eide, J.D., Li, G., Lulai, E. C., Olson, L. L., Deckard, E. L., Khan, M. F. R., & Finger, F. L. (2018). Methyl jasmonate alleviates drought stress in young sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(6), 566-576. <https://doi.org/10.1111/jac.12286>
 24. Gharib, F.A., & Hegazi, A.Z., (2010). Salicylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzyme activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under cold stress. *Journal of American Science*, 6(10), 675-683.
 25. Gholipour, S., Zamani, G., & Jami Alahmadi, M., (2020). Investigation the possibility of decreasing the damage protein and seed oil with putrescine and calcium nitrate foliar application under water deficit conditions. *Crop Physiology Journal*, 12(46), 5-23. (In Persian with English Summary)
 26. Gordillo-Bastidas E., & Diaz Rizzolo, D., (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 6(3), 1-10. DOI: 10.4172/2155-9600.1000497
 27. Basseri, F., Akbarinia, M., & Esmailzadeh, O., (2015). Flora, life form and chronological study of soil seed bank in Sisangan box tree (*Buxus hyrcanus* Pojark) forest reserve. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(21), 9-22. (In Persian with English Summary)
 28. Habibi, G., Sadeghipour, Z., & Hajiboland, R. (2015). Flora, life form and chorological study of soil seed bankin Sisangan box tree (*Buxus hyrcanus* Pojark) Forest Reserve. *Iranian Journal of Plant Biology*, 7(25), 17-28. (In Persian with English Summary)
 29. Hamzei, J., Babaei, M., & Khorramdel, S., (2015). Effect of different irrigation regimes and nitrogen levels on fruit production, oil quality, water use efficiency, and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin (*Cucurbita Pepo* L.). *Agroecology Journal*, 7(1), 99-108. (In Persian with English Summary) DOI:10.22067/JAG.V7I1.37260
 30. Hashemi, M., & Mirdehghan, S.H., (2014). Effect of salicylic acid, methyl jasmonate, and some essential oils on quality and vase-life of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Cano) cut flower in different temperatures. *Journal of Plant Production Research*, 21(3), 75-95.
 31. Hay, R.K.M., (1995). Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, 126(1), 197-216. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05015.x>
 32. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., & Ahmad, A., (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant signaling and behavior*, 7(11), 1456-1466. DOI: 10.4161/psb.21949
 33. He, X., Xu, L., Pan, C., Gong, C., Wang, Y., Liu, X., & Yu, Y., (2020). Drought resistance of *Camellia oleifera* under drought stress: Changes in physiology and growth characteristics. *Plos One*, 15(7), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235795>
 34. Jaleel, C.A., & et al., (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105
 35. Jamali, S., & Ansari, H., (2020). Investigation the effect of unconventional water on yield and yield components of quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 331-343.
 36. Javadipour, Z., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., & Yadavi, A., (2021). Physiological responses of bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress and exogenous methyl jasmonate. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10525-w>
 37. Keshtkar, A., Aien, A., Naghavi, H., & Najafi Nezhad, H., (2021). Effect of foliar application of jasmonic acid and

- drought stress on yield and some agronomic and physiologic traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), 403-414. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2402.1711>
38. Khan, W., Prithviraj, B., & Smith, D.L., (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160, 485-492. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865>
 39. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafari, A., & Shabahang, J., (2012). Study the germination characteristics of black seed (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions in different salicylic acid levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4), 709-725. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22067/gsc.v10i4.20382](https://doi.org/10.22067/gsc.v10i4.20382)
 40. Ma, C., Wang, Z.Q., Zhang, L.T., Sun, M.M. & Lin, T.B., (2014). Photosynthetic responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to combined effects of drought and exogenous methyl jasmonate. *Photosynthetica*, 52, 377-385. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0041-x>
 41. Mahabub Alam, M.D., Kamrun, N., Hasanuzzaman, M., & Masayuki, F., (2014). Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense, and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. *Plant Biotechnology Reports*, 8, 279-293. DOI: [10.1007/s11816-014-0321-8](https://doi.org/10.1007/s11816-014-0321-8)
 42. Mohammadi Azni, M., Moradi, H., Ghasemi, K., & Biparva, P., (2020). Effect of silicon and methyl jasmonate on some morphological traits and photosynthetic parameters in common purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 175-186. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22070/HPN.2020.4735.1043](https://doi.org/10.22070/HPN.2020.4735.1043)
 43. Momenpour, A., Bakhshi, D., Imani, A., & Rezaie, H., (2015). Effect of salinity stress on the morphological and physiological characteristics in some selected almond (*Prunus dulcis*) genotypes budded on GF677 rootstock. *Plant Production Technology*, 7(2), 137-152. (In Persian with English Summary)
 44. Moradi, F., & Ismail, A.M., (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, 99, 1161-1173. DOI: [10.1093/aob/mcm052](https://doi.org/10.1093/aob/mcm052)
 45. Nasiri, M., Meskarbashi, M., Hassibi, P., & Pirdashti, H., (2020). Evaluation and selection of drought tolerant rice genotypes using fluorometric methods. *Journal of Plant Production Research*, 27(3), 1-21. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22069/JOPP.2020.14475.2296](https://doi.org/10.22069/JOPP.2020.14475.2296)
 46. Navarro, L., Dunoyer, P., Jay, F., Arnold, B., Dharmasiri, N., Estelle, M., & Jones, J. D., (2006). A plant miRNA contributes to antibacterial resistance by repressing auxin signaling. *Science*, 312(5772), 436-439. DOI: [10.1126/science.1126088](https://doi.org/10.1126/science.1126088)
 47. Nogués, S., & Baker, N.R., (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1309-1317. DOI: [10.1093/jxb/51.348.1309](https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1309)
 48. Rasouli, F., Gholipour, M., Jahanbin, K., & Asghari H., (2018). Effect of jasmonic and salicylic acids on some antioxidants, soluble sugar, and lipid peroxidation in *Echinacea purpurea* L. under field conditions. *Journal of Plant Production Research*, 25(1), 45-61. (In Persian with English Summary)
 49. Rezaei Nasab, F., Pazoki, A., & Monem, R., (2016). Effect of Salicylic acid and Jasmonic acid on growth traits and root and shoot ionic interaction of Lavender (*Lavendula officinalis* L.) in salt stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 23(3), 159-166. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22069/JOPP.2017.9570.1905](https://doi.org/10.22069/JOPP.2017.9570.1905)
 50. Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Latifi, H., Farzaneh Belgerdi, M. R., & Davarpanah, S. J., (2021). Optimization of irrigation and nitrogen levels on yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by using the surface-response methodology. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 185-199. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22067/JCESC.2021.68436.1013](https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.68436.1013)
 51. Saddiq, M.S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M.M., Fiaz, S., Qazi, M.A., Bakhsh, A., Jahanzaib, & Gulshan, A. B., (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11, 1934. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101934>
 52. Sadeghzadeh, H., Khajoei-Nejad, G., & Ghanbari, J., (2021). Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Irrigation and Water Engineering*, 11(3), 345-359. (In Persian with English Summary) DOI: [10.22125/IWE.2021.128214](https://doi.org/10.22125/IWE.2021.128214)
 53. Sairam, R., & Srivastava, G., (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in

- hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 63-70. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x>
54. Sirhindi, G., Mushtaq, R., Gill, S.S., Sharma, P., Abd-Allah, E.F., & Ahmad, P., (2020). Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity, and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. *Scientific Reports*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65309-1>
55. Souza, R., Machado, E., Silva, J., Lagôa, A., & Silveira, J., (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence, and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5)
56. Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R., (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, 380-388. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.06.018
57. 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. *Plos One*, 15(5), e0232269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>
58. Vahabi, N., Emam, Y., & Pirasteh-Anosheh, H., (2017). Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid, and jasmonic acid under water stress. *Iranian Journal Field of Crop Research*, 15(1), 124-135. (In Persian with English Summary) DOI: 10.22067/GSC.V15I1.47584
59. Venegas-Molina, J., Proietti, S., Pollier, J., Orozco-Freire, W., Ramirez-Villacis, D., & Leon-Reyes, A., (2020). Induced tolerance to abiotic and biotic stresses of broccoli and Arabidopsis after treatment with elicitor molecules. *Scientific Reports*, 10(1), 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67074-7>
60. Vidueiros, S.M., Curti, R.N., Dyer, L.M., Binaghi, M.J., Peterson, G., Bertero, H.D., & Pallaro, A.N., (2015). Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. *Journal of Cereal Science*, 62, 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.01.001>
61. Wang, D., Pajerowska-Mukhtar, K., Culler, A. H., & Dong, X., (2007). Salicylic acid inhibits pathogen growth in plants through repression of the auxin signaling pathway. *Current Biology*, 17(20), 1784-1790. DOI: 10.1016/j.cub.2007.09.025
62. Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-hai, L., Zhi-bin, C., Che, W., Yun-cong, Y., Zhen-hai, H., Jie, Z., & Zhen-sheng, S., (2010). Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought -stress. *African Journal of Agriculture Research*, 5, 1978-1983. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000585>
63. Zarringol, M., (2018). A review on regulation of autophagy by ROS (Reactive Oxygen Species). *Razi Journal of Medical Sciences*, 24(164), 93-105. (In Persian with English Summary)
64. Zhao, G.Q., Ma, B.L., & Ren, C.Z., (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Science*, 41, 123-131. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0371>
65. Zou, C., Chen, A., Xiao, L., Muller, H. M., Ache, P., Haberer, G., & Zhang, H., (2017). A high-quality genome assembly of quinoa provides insights into the molecular basis of salt bladder-based salinity tolerance and the exceptional nutritional value. *Cell Research*, 27(11), 1327-1340. <https://doi.org/10.1038/cr.2017.124>