

Investigation of the effects of methyl jasmonate and salicylic acid elicitors on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) under irrigation levels

M. Forouzandeh¹, S. Parsa^{2*}, S. Mahmoodi², A. Izanloo²

1. PhD student in Crop Physiology, University of Birjand, Iran

2. Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, University of Birjand, Iran

Received 7 April 2021; Accepted 24 May 2022

Extended abstract

Introduction

The use of new agricultural technologies such as bio-elicitors is a valuable approach to reduce effects of drought stress. The present study investigated the prospects of enhancing yield and some physiological properties in quinoa under different levels of plant water requirement using elicitors, such as methyl jasmonate (MeJA) and salicylic acid (SA) elicitors.

Materials and methods

The aim of this study was to evaluate comparative effect of elicitors MeJA and SA foliar application on the yield and yield component of quinoa under drought stress. This experiment was conducted during 2020-21 cropping season as split plots in a randomized complete block design with three replications at research farm of Zabol University, Iran. The main plots was irrigation regimes at three levels: 100, 75, and 50 percent of crop water requirement and sub-plots of foliar spraying in six levels including: Control (sprayed with distilled water), 70% ethanol, 0.5 mM SA, 0.5 mM MeJA, 1 mM SA and 1 mM MeJA. In this study fertile branches per plant, sterile branches per plant, panicle numbers per m², seed numbers per panicle, 1000 seeds weight, leaf relative water content, chlorophyll index (SPAD) and seed yield were measured. Determination of irrigation cycle and crop water requirement was based on CROPWAT 8.0 software and Penman-Mantis equation. For plant coefficients used FAO default data. Irrigation planning was determined with 85% efficiency and water volume of each plot calculated using a digital water meter.

Results and discussion

The physiological response of the plants in terms of relative water content (RWC) was improved by 100 and 75 percent of crop water requirement conditions. The relative water content of the leaves decreased significantly under the influence of drought stress, although there was no significant difference between the control treatment and the supply of 75% of the water requirement of the plant, by increasing the stress intensity to 50% of the water requirement of the plant, a decrease of 31.6% in the relative water content of the leaves was observed. Additionally, doubling the elicitors concentration increased the yield and non-yield traits. Foliar application of MeJA and SA significantly increased the seed yield and fertile branches and sterile branches per plant, panicle number per m², seed number per panicle and chlorophyll index treats. The use of 1 mM SA gave the best response after MeJA. Despite providing 50%

* Corresponding author: Soheil Parsa; E-Mail: sparsa@birjand.ac.ir



of the plant's water needs, plants treated with 1 mM methyl jasmonate produced 45% more fertile shoots than plants sprayed with distilled water. Drought stress increased the number of infertile shoots by 77% compared to control plants. Increasing the intensity of drought stress and decreasing water availability decreased the filling rate and ultimately the seed weight. The application of 1 mM concentration of methyl jasmonate and salicylic acid increased the chlorophyll index compared to the control. Based on the results of comparing the averages, the highest level of this trait (46.84) was observed in the concentration of 1 mM methyl jasmonate. The positive effect of methyl jasmonate on the chlorophyll concentration of leaves may be due to the increase in the number and size of chloroplasts. The results showed that the interaction of irrigation and foliar application had a significant effect on all traits except 1000 seeds weight, RWC and chlorophyll index. The highest seed yield (2929.3 kg ha⁻¹) was obtained from 100 percent of crop water requirement (4662 m³ ha⁻¹) with 1 mM MeJA treatment.

Conclusions

Our results showed that impaired water supply of quinoa with significant loss of relative water content endangers cellular health and reduced yield. In general, it can be said that, to achieve maximum yield of quinoa it is possible to use 100% of crop water requirement with 1 mM MeJA foliar application.

Keywords: Chlorophyll index, Fertile branches number, RWC, Water deficit, Water requirement.

بررسی اثر الیستورهای متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) تحت سطوح آبیاری

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

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تعداد شاخه بارور شاخص کلروفیل کمبود آب محتوی نسبی آب برگ نیاز آبی	استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی از قبیل الیستورهای زیستی، رویکردی ارزشمند در تخفیف اثر تنش خشکی است. با هدف بررسی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژی کینوا در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری با استفاده از الیستورهای متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ اجرا گردید. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل: آبیاری معادل ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عامل فرعی محلول پاشی در ۶ سطح شامل: شاهد (محلول پاشی با آب مقطر بدون مصرف اتانول)، حلال اتانول ۰.۷۰٪، اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و متیل جاسمونات ۱ میلی‌مولار بود. صفات تعداد شاخه بارور و نابارور در بوته، تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ فیزیولوژیکی گیاه از نظر محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بهبود یافت. افزایش ۲ برابری غلظت الیستورها، صفات عملکردی و غیر عملکردی را افزایش داد. محلول پاشی ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد (۲۹۲۹/۳ کیلوگرم در هکتار) و صفات تعداد شاخه بارور (۸/۹ عدد)، تعداد خوشه در مترمربع (۲۲۵/۶ عدد)، تعداد دانه در خوشه (۹۰۱/۴ عدد) و شاخص کلروفیل برگ (۴۶/۸۴) شد. استفاده از اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار نیز بهترین پاسخ را بعد از متیل جاسمونات در تمامی صفات سبب شد. بر اساس نتایج، تأثیر برهمکنش آبیاری و محلول پاشی، بر کلیه ویژگی‌های مورد بررسی به جز وزن هزار دانه، محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل معنی دار شد. با محلول پاشی ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کینوا (۴۶۶۲ مترمکعب در هکتار)، می‌توان به حداکثر عملکرد (۲۹۲۹/۳ کیلوگرم در هکتار) و تولید در منطقه دست یافت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳ ۱۷-۳۰ (۱): ۱۷	

مقدمه

جمعیت تأمین شود (Olowe, 2021). نکته قابل توجه اینکه، مناطق جغرافیایی مستعد افزایش جمعیت، در حال حاضر تحت فشار شدید کشاورزی، فقر مالی و به شدت متأثر از تغییرات آب‌وهوایی هستند (Bazile et al., 2016). تغییر اقلیم بر رشد و بهره‌وری گیاهان زراعی را به طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد، زیرا پتانسیل خاک برای جذب آب و حفظ

هم‌زمان با کاهش منابع به دلیل شوری، خشکی و بیابان‌زایی که عمدتاً ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است، جمعیت دنیا در مسیری رو به افزایش است (Jaikishun et al., 2019). پیش‌بینی می‌شود جمعیت دنیا تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ به ترتیب حدود ۹/۸ و ۱۱/۲ میلیارد نفر باشد که با افزایش در تولیدات فعلی بخش کشاورزی، باید غذای کافی این

نیز می‌توان با کاربرد خارجی الیستورها تنظیم کرد (Arteca, 1996; Kumudini and Patil, 2019). متیل جاسمونات^۱ ترکیب مشتق شده از سیکلوپنتان لینولینیک اسید، از مسیر اکتادکانوئید ساخته می‌شود (León and Sánchez-Serrano, 1999). بررسی‌ها نشان داده است وقتی این ماده به صورت خارجی بکار برده می‌شود به صورت سیستمیک در گیاه حرکت کرده و منجر به بیان یک سری از ژن‌های دفاعی می‌گردد (Yao and Tian, 2005). جاسمونات به عنوان تنظیم‌کننده اصلی بیان ژن‌های پاسخگو به تنش، تقریباً در هر گونه گیاهی شناخته شده است (Kazan, 2015). اسید سالیسیلیک^۲ (اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید)، نیز در بهبود تحمل گیاه به تنش نقش دارد (Abdelaal et al., 2020). اسید سالیسیلیک با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش تولید گونه‌های اکسیژن واکنشگر^۳ و افزایش محتوای کلروفیل، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Shaki et al., 2019). افزایش عملکرد اقتصادی تحت تنش خشکی با کاربرد الیستورها در ذرت (Manzoor et al., 2015) و گندم (Yadav et al., 2020)، گزارش شده است. نتایج برخی تحقیقات نقش حفاظتی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک را تحت شرایط تنش غیرزنده تأیید کرده‌اند بررسی‌ها نشان داد محلول پاشی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم متیل جاسمونات سبب افزایش قابل توجهی در جذب CO₂ و موجب بهبود کلروفیل فلورسانس و مقادیر قرائت کلروفیل متر می‌گردد (Salachna et al., 2020). در گزارشی اثرات مثبت و معنی‌دار استفاده از اسید سالیسیلیک سه میلی مولار بر ویژگی‌های بادام‌زمینی در جهت کاهش خسارت کم‌آبی شدید، در منطقه سیستان اعلام شده است (Karimian et al., 2015). همچنین محققین کاربرد ترکیبی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک را توصیه و اعلام کردند تحمل به خشکی در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است (Tayyab et al., 2020). با توجه به اینکه تحقیقات کمی، کاربرد هم‌زمان تأثیر الیستورها و متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک را در بهبود آثار ناشی از تنش خشکی مورد بررسی قرار داده‌اند، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر مقایسه‌ای محلول پاشی برگی

حاصلخیزی آن بشدت کاهش می‌یابد (González et al., 2018). در این راستا توجه به گونه‌های گیاهی جدید و مقاوم به تنش‌های محیطی حائز اهمیت است.

کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) گیاهی شبه غله و مستعد در پاسخ به تقاضای جهانی غذا و کاهش فقر، با توجه به رشد جمعیت و اثرات گرمایش جهانی است (Jaikishun et al., 2019). این گیاه با شدیدترین شرایط آب‌وهوایی مانند خشک‌سالی، شوری زیاد و یخبندان سازگار بوده و رشد می‌کند (Ruiz et al., 2016). همچنین با سطح بالایی از سازگاری، می‌تواند در زمین‌های پست، بیابان‌ها و مناطق مرتفع (۴۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا)، زنده بماند (Maughan et al., 2009). کینوا پتانسیل تبدیل شدن به یک منبع غذایی پایدار در سطح دنیا تحت تغییرات الگوهای اقلیمی و هم‌زمان کاهش فشار بر اراضی قابل کشت را دارد (González et al., 2012). از زمان اعلام سازمان ملل متحد، مبنی بر نام‌گذاری سال ۲۰۱۳ به نام کینوا، تلاش‌های جهانی برای افزایش تولید این محصول بیشتر شده و بسیاری از کشورها تولید آن را آغاز کرده یا در مرحله ارزیابی برای تولید و کشت هستند (Ruiz et al., 2016).

در دسترس بودن آب، عامل مهمی است که بر رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر می‌گذارد (Chaves et al., 2003). در شرایط تنش خشکی، بسیاری از فرآیندهای متابولیکی از جمله فتوسنتز، تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Ali and Ashraf, 2011). به‌عنوان مثال، کمبود آب از جذب کربن جلوگیری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کینوا را کاهش داد (Hinojosa et al., 2019). بیرامی و همکاران (Beyrami et al., 2020) با مطالعه رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط شوری، مشاهده نمودند بیشترین مقادیر عملکرد دانه کینوا در شرایط آبیاری شاهد به دست آمد. سلامت و همکاران (Salama et al., 2021) نیز افزایش قابل توجهی در رشد، تعداد خوشه، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کینوا در رژیم آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش کردند.

در حال حاضر پیشرفت قابل توجهی در تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جهت حصول عملکرد بالا در سیستم‌های کشاورزی به دست آمده است. مطالعات متعدد نشان داده که شدت مهم‌ترین فرآیندهای فیزیولوژی گیاه را

³. Reactive Oxygen Species (ROS)

¹. Methyl jasmonate

². Salicylic acid

و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا، اجرا شد. آب‌وهوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن جزو اقلیم‌های خشک و بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی میانگین درازمدت بارندگی سالیانه آن ۶۳ میلی‌متر، تبخیر سالیانه ۴۵۰۰-۵۰۰۰ میلی‌متر و میانگین ۳۰ ساله دما ۲۳ درجه سانتی‌گراد است. نتایج مربوط به مشخصات اقلیمی در سال آزمایش در **جدول ۱** ارائه شده است (Iran Meteorological Organization, 2021).

متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات کینوا در سطوح مختلف آبیاری، صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات عملکردی کینوا به محلول‌پاشی الیستورهای متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل (چاه نیمه) واقع در شهرستان زهک (۶۱ درجه

جدول ۱. مشخصات اقلیمی منطقه مورد آزمایش در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Table 1. Climatic parameters of the experimental site in 2020 and 2021

ماه Month	میانگین حداقل دما Mean min. Temperature °C		میانگین حداکثر دما Mean max. temperature °C		میانگین میزان بارندگی Mean Precipitation mm	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
	آبان (November)	6.9		22.04	-	3.5
آذر (December)	2.3		16.4	-	0.9	-
دی (January)	-	-0.8	-	17	-	0
بهمن (February)	-	6.2	-	24	-	0
اسفند (March)	-	12.3	-	30.5	-	0
فروردین (April)	-	17.9	-	35	-	0
اردیبهشت (May)	-	22.4	-	37.6	-	18.2

گیاهی از ضرایب پیش‌فرض و استاندارد نشریه فائو ۵۶ استفاده شد (شکل ۱) (Allen et al., 1998). بدین ترتیب برنامه‌ریزی آبیاری با فرض راندمان ۸۵ درصد انجام و حجم آب داده‌شده به هر کرت در کل دوره رشد توسط کنتور محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۲. کل آب موردنیاز (در هکتار) در هر یک از سطوح آبیاری
Table 2. Total required water (per hectare) at each irrigation level

سطح آبیاری Irrigation level	I ₁	I ₂	I ₃
حجم (مترمکعب) Volume m ³	4662	3496.5	2331

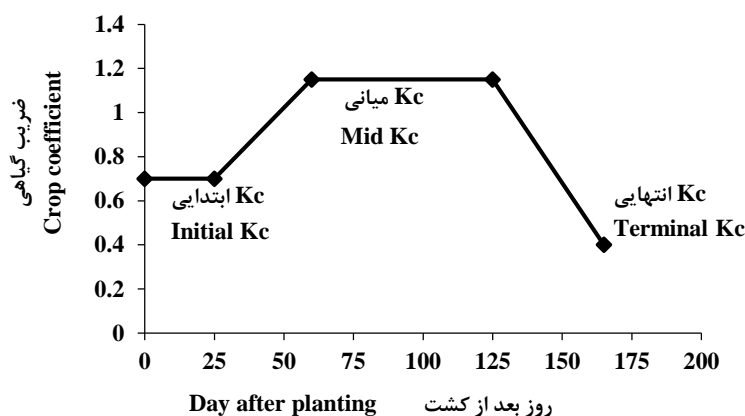
I₁, I₂ and I₃: ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه

I₁, I₂ and I₃: 100, 75 and 50 percent crop water requirement, respectively

مشخصات طرح آبیاری: عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل ۱- آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (شاهد)؛ ۲- آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی؛ ۳- آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی و عامل فرعی محلول‌پاشی شامل ۶ سطح: شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر بدون مصرف اتانول)، حلال اتانول ۰.۷۰٪، اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار، متیل جاسمونات ۰/۵ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و متیل جاسمونات یک میلی‌مولار در دو مرحله از رشد (شروع گلدهی و پر شدن دانه) انجام گرفت. مقدار محلول موردنیاز هر کرت، بر مبنای ۴۰۰ لیتر در هکتار در نظر گرفته شد.

تعیین دور و میزان آب در هر آبیاری، توسط نرم‌افزار کراپ وات^۱ به روش پنمن-مانتیت و بر اساس نیاز آبی گیاه انجام شد. بدین منظور داده‌های هواشناسی ۵۰ ساله محل اجرای آزمایش از سازمان هواشناسی اخذ و برای نوع گیاه و ضرایب

¹. CROPWAT 8.0 software



شکل ۱. ضرایب گیاهی (Kc) مورد استفاده برای کینوا.

Fig. 1. Plant coefficients (Kc) used for quinoa

(جدول ۳)، کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسم تأمین و قبل از کاشت هم‌زمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. کود نیتروژن نیز از منبع اوره، قبل از کاشت و سپس به صورت سرک در دو مرحله ۶-۸ برگگی و قبل از گلدهی استفاده شد.

هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط کاشت به طول ۴ متر و با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین دو کرت اصلی ۲ متر و فاصله بین دو کرت فرعی ۱/۵ متر (دو خط نکاشت) در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در ۲۶ آبان به روش خشکه‌کاری و به صورت دستی انجام گرفت. بر اساس آنالیز انجام‌گرفته از خاک

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 3. Physical and chemical properties of soil (Depth of 0 to 30 cm)

EC	pH	O.C	T.N.V	N	P	K	Cu	Fe	Zn	Mn	Soil texture
dS m ⁻¹			----- % -----				mg.kg ⁻¹ -----				Loamy Sand
3.63	8.15	0.08	13.5	0.08	2.4	178	1.36	5.68	0.94	6.04	شنی لومی

ترتیب که از اعداد قرائت‌شده از ابتدا، وسط و انتها، برگ پرچمی، میانگین‌گیری و اعداد مربوط به سه بوته از هر تیمار به‌عنوان محتوی کلروفیل برگ در نظر گرفته شد. تعیین محتوای نسبی رطوبت برگ در مرحله ۹۵ درصد رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از رابطه ۱ انجام گرفت. بدین منظور برگ پرچم بلافاصله پس از برداشت توسط ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شد (وزن تازه). سپس برگ‌ها به مدت ۶ ساعت در تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در آب مقطر نگهداری شده و پس از خارج نمودن از آب و جذب رطوبت سطحی برگ‌ها، توزین شدند (وزن آماس). در پایان نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و توزین شد (وزن خشک). محتوای نسبی آب برگ به معادله زیر محاسبه گردید (Smart and Bingham, 1974).

$$RWC(\%) = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100 \quad [1]$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب برگ برحسب درصد،

برای تهیه غلظت‌های موردنظر از متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، از حلال اتانول استفاده شد. حجم محلول مورد استفاده در هر کرت آزمایشی ۱۲ مترمربعی، بر مبنای ۴۰۰ لیتر در هکتار در نظر گرفته شد که در دو مرحله شروع گلدهی و پر شدن دانه به‌وسیله سم‌پاش پستی انجام گرفت. پس از برداشت نهایی (۱۰ اردیبهشت)، صفات تعداد شاخه بارور و نابارور در بوته، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد بذر در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. در ساقه اصلی، شاخه‌های جانبی که دارای دانه پر بود به‌عنوان شاخه بارور و در صورت پوک بودن به‌عنوان شاخه نابارور در بوته لحاظ گردید. عملکرد دانه و سایر اجزای عملکرد نیز بر اساس شمارش تعداد ۲۰ بوته محاسبه و میانگین ۲۰ بوته برای هر کرت در نظر گرفته شد. شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Plus 502 و با اندازه‌گیری از برگ پرچمی، انجام شد. بدین

ناشی از تنش خشکی بر تعداد شاخه نابارور را کاهش دادند. نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار رژیم‌های مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش بین آن‌ها بر تعداد شاخه نابارور در بوته بود ($p < 0.01$) (جدول ۴). تعداد شاخه نابارور به دلیل تنش خشکی افزایش یافت درحالی‌که کاربرد متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک به‌ویژه در غلظت‌های بالا، باعث تخفیف آثار تنش در کینوا شد (جدول ۵). تنش خشکی تعداد شاخه نابارور را ۷۷ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد (جدول ۵) که می‌تواند به دلیل وجود شرایط مطلوب و آب کافی برای تولید گل‌آذین بارور باشد (Mohammadi Nejad et al., 2018). کاربرد ۱ میلی مولار متیل جاسمونات تحت شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (عدم تنش)، کمترین تعداد شاخه نابارور (۱/۲ در بوته) را در مقایسه با گیاهان تحت تنش و بدون کاربرد الیستور نشان داد (جدول ۵). دلیل این کاهش ناباروری در حضور متیل جاسمونات، مسیر پیام‌رسانی جیبرلیک اسید^۲ و جاسمونات است که به‌صورت موازی عمل نمود و در جهت توسعه پرچم و زنده ماندن دانه گرده با یکدیگر هماهنگ می‌شوند (Saito et al., 2015). مطابق با نتایج این آزمایش، افزایش تعداد غلاف پوک نخود (*Cicer arietinum* L.)، در دمای بالای محیط، تنش خشکی و تغذیه نامناسب گزارش شده است (Izadi et al., 2019).

تعداد خوشه در مترمربع

نتایج نشان داد که آبیاری ($p < 0.05$)، محلول‌پاشی و برهمکنش بین آن‌ها ($p < 0.01$)، بر تعداد خوشه در واحد سطح (m^2) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (عدم تنش)، توأم با کاربرد ۱ میلی مولار متیل جاسمونات بیشترین (۲۲۵/۶ خوشه) و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم کاربرد الیستور کمترین تعداد خوشه در مترمربع (۱۱۰/۸ خوشه) مشاهده شد که معادل ۵۰/۸ درصد کاهش بود (جدول ۵). کاهش تعداد خوشه در بوته کینوا در شرایط آبیاری بعد از ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده گیاه، گزارش شده است (Keshtkar et al., 2021). کاربرد برگی الیستورهای زیستی با کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تأثیر تحریک‌کنندگی آن روی

FW وزن تازه برگ، TW وزن برگ پس از آماس کامل و DW وزن خشک برگ برحسب گرم است.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت‌شده^۱ در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد شاخه بارور در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری، محلول‌پاشی و برهمکنش بین آن‌ها بر تعداد شاخه بارور در بوته معنی‌دار بود ($p < 0.01$) (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت نشان داد کاربرد ۱ میلی مولار متیل جاسمونات در تمام سطوح آبیاری باعث افزایش قابل توجه تعداد شاخه بارور در بوته کینوا شد، حتی در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، گیاهان تیمار شده با ۱ میلی مولار متیل جاسمونات، ۴۵ درصد شاخه بارور بیشتری نسبت به گیاهان محلول‌پاشی شده با آب مقطر، تولید نمودند (جدول ۵).

به‌طورکلی تصور می‌شود گیاهان پس از قرار گرفتن در معرض تنش خشکی شروع به تولید متیل جاسمونات می‌کنند که به‌نوبه خود تولید اسید آبسزیک را تحریک می‌کند (Yang et al., 2006). گزارش شده در گیاه برنج (*Oryza sativa*) در معرض شرایط خشکی، کاربرد خارجی متیل جاسمونات سبب افزایش ۱۹ برابری سطوح ABA در مقایسه با شرایط عدم کاربرد شد (Kim et al., 2009). مطالعات اخیر ارتباط افزایش تعداد گل و بذور در حال نمو با غلظت بالای ABA را نشان می‌دهد (Lee et al., 1988; Yang et al., 2001). تنش خشکی توأم با اسید آبسزیک، با افزایش چوبی شدن و کاهش قطر آوندها، سبب افزایش نیروی موئینگی و تسهیل جذب و انتقال آب در گیاه در شرایط خشکی می‌شود و این تغییرات یعنی سازگاری بیشتر با تنش خشکی (Majd et al., 2007).

تعداد شاخه نابارور در بوته

کاربرد خارجی دو الیستور متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، به لحاظ توانایی در بهبود رشد، اثرات نامطلوب

². Gibberellic Acid (GA)

¹. Fishers LSD (FLSD)

گیاه حاصل شد، لیکن بیشترین تأثیر الیسیتورها با افزایش ۱۵۳ درصدی، تعداد دانه در خوشه در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که نشان داد متیل جاسمونات در کنار تأمین نیاز آبی کافی، عامل تغییر در تعداد بذر در خوشه بود (جدول ۵). حفظ سطح آب سلولی، ثبات غشاء، سطوح رنگ‌دانه فتوسنتزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی و درنهایت بهبود رشد با کاربرد متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک توسط علم و همکاران گزارش شده است (Alam et al., 2013). گزارش شده بیان ژن CmLOX10 به‌عنوان تنظیم‌کننده اصلی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء، باعث افزایش تحمل به خشکی و کاهش بازشدگی روزنه می‌شود. نقش پیام‌رسانی جاسمونات‌ها در افزایش سطح رونویسی این ژن گزارش شده است (Xing et al., 2020).

رشد و نمو گیاه و افزایش جذب عناصر ضروری، موجب بهبود صفات عملکردی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) گردید (Forouzandeh et al., 2019).

تعداد دانه در خوشه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر محلول‌پاشی ($p < 0.01$) و برهمکنش عوامل ($p < 0.05$) بر تعداد دانه در خوشه بود (جدول ۴). اختلاف معنی‌دار تعداد دانه در خوشه مؤید این مطلب است که متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک جزء کلیدی برای تغییرات مشاهده‌شده تولیدمثلی در پاسخ به تنش خشکی هستند (Wang et al., 2022). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، اگرچه بیشترین تعداد دانه در خوشه (۹۰۱/۴ بذر)، از محلول‌پاشی ۱ میلی-مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی

جدول ۴. تجزیه واریانس خصوصیات اندازه‌گیری شده کینوا تحت تأثیر محلول‌پاشی الیسیتور و سطوح مختلف آبیاری

Table 4. Analysis of variance for measured traits of quinoa under elicitor and irrigation different levels

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	تعداد شاخه بارور	تعداد شاخه نابارور	تعداد خوشه در	تعداد دانه در خوشه
			در بوته Fertile Branches per plant	در بوته Sterile Branches per plant	مترمربع Panicle Numbers per m ²	Seed Numbers per panicle
Replication	تکرار	2	3.0546	0.0139	6389.33	40590.23
Irrigation (I)	آبیاری	2	41.1632**	2.2462*	15034.75*	28726.60 ^{ns}
Error a	خطای a	4	1.4938	0.2283	1726.91	43521.25
Elicitor (E)	الیسیتور	5	8.8245**	0.9594**	3458.10**	261241.17**
I × E	آبیاری × الیسیتور	10	2.7568**	1.3512**	2920.66**	73122.77*
Error b	خطای b	30	0.8531	0.2267	617.41	31002.74
CV (%)	ضریب تغییرات	-	17.45	20.31	16.18	28.24

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن هزار دانه	محتوای نسبی آب برگ	شاخص کلروفیل	عملکرد دانه
			1000 seeds weight	Leaf relative water content	Chlorophyll index (SPAD)	Seed yield
Replication	تکرار	2	0.0046	350.76	135.76 ^{ns}	189829.65
Irrigation (I)	آبیاری	2	2.4035**	2202.30**	110.28 ^{ns}	3274843.74*
Error a	خطای a	4	0.1276	115.23	34.94	216739.33
Elicitor (E)	الیسیتور	5	0.1050 ^{ns}	91.41 ^{ns}	204.28**	2359003.27**
I × E	آبیاری × الیسیتور	10	0.0899 ^{ns}	22.62 ^{ns}	27.69 ^{ns}	150920.08*
Error b	خطای b	30	0.0431	66.86	28.78	64328.71
CV (%)	ضریب تغییرات	-	9.93	14.04	13.75	12.33

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

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف آبیاری والیسیتور بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کینوا

Table 5. Mean comparisons of interaction of irrigation different levels and elicitor for measured characteristics of quinoa

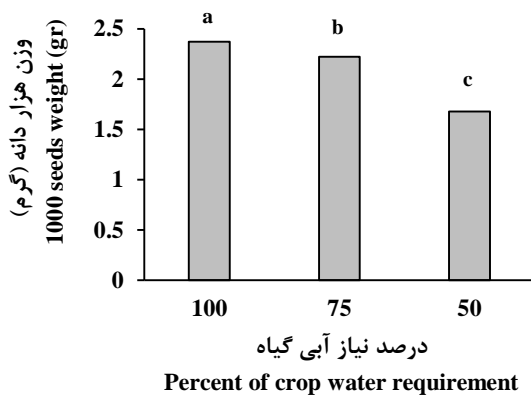
آبیاری Irrigation (I)	الیسیتور Elicitor	تعداد شاخه بارور	تعداد شاخه نابارور	تعداد خوشه در	تعداد دانه در	عملکرد دانه Seed yield kg ha ⁻¹
		در بوته Fertile branches per plant	در بوته Sterile branches per plant	مترمربع Panicle numbers per m ²	خوشه Seed numbers per panicle	
I ₁	Control	4.4 ^{fgh}	2.2 ^{bc}	111.8 ^g	545.1 ^{de}	1897.9 ^{def}
	E1	4.6 ^{efgh}	2.2 ^{bc}	176.0 ^{bc}	703.9 ^{bcd}	2101.1 ^{cde}
	E2	7.3 ^{bc}	2.5 ^{bc}	187.5 ^{abc}	858.7 ^{abc}	2380.4 ^c
	E3	7.4 ^{abc}	1.8 ^{cd}	227.0 ^a	829.1 ^{abcd}	2519.6 ^{abc}
	E4	8.1 ^{ab}	1.8 ^{cd}	168.4 ^{bcd}	878.7 ^{ab}	2885.3 ^{ab}
	E5	8.9 ^a	1.2 ^d	225.6 ^a	901.4 ^A	2929.3 ^a
I ₂	Control	4.3 ^{fgh}	3.9 ^a	126.3 ^{efg}	326.7 ^{ef}	1622.9 ^{fgh}
	E1	4.1 ^{fgh}	2.3 ^{bc}	127.9 ^{defg}	454.5 ^e	1764.6 ^{efg}
	E2	6.0 ^{cde}	2.2 ^{bc}	166.3 ^{cde}	645.6 ^{cd}	1892 ^{def}
	E3	5.0 ^{def}	2.1 ^{bc}	124.0 ^{fg}	624.5 ^{cd}	2386.4 ^c
	E4	6.2 ^{cde}	2.4 ^{bc}	208.7 ^{ab}	649.2 ^{cd}	2500.5 ^{bc}
	E5	6.5 ^{cd}	2 ^{cd}	163.4 ^{cdef}	705.6 ^{bcd}	2498.5 ^{bc}
I ₃	Control	3.3 ^h	3.9 ^a	110.8 ^g	241.4 ^F	830.5 ⁱ
	E1	3.7 ^{fgh}	2.8 ^{bc}	118.6 ^g	320.5 ^{ef}	1243.1 ^h
	E2	3.9 ^{fgh}	2.4 ^{bc}	148.6 ^{cdefg}	578.1 ^{cde}	1435.3 ^{gh}
	E3	3.4 ^{gh}	2.5 ^{bc}	121 ^g	532.9 ^{de}	1808.3 ^{efg}
	E4	3.4 ^{gh}	2.1 ^{cd}	122.4 ^{fg}	600.8 ^{cde}	2270.1 ^{cd}
	E5	4.8 ^{efg}	2.1 ^{cd}	128.3 ^{defg}	611.4 ^{cd}	2458.4 ^c

میانگین‌ها در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده به احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارد. شاهد: آب مقطر، E1: اتانول ۷۰ درصد، E2: ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، E3: ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات، E4: ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و E5: ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات. I1، I2 و I3 به ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه

Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the FLSD test at 5% probability. Control: Distilled water, E1: 70% Ethanol, E2: 0.5 mM SA, E3: 0.5 mM MeJA, E4: 1 mM SA and E5: 1 mM MeJA. I1, I2 and I3: 100, 75 and 50 percent crop water requirement respectively

(Hussain et al., 2018). این مشاهدات بیان می‌کند که این

کاهش وزن، در افت عملکرد تأثیر داشته و می‌تواند مبنای تعیین صفات سازگار کینوا با تنش خشکی در نظر گرفته شود.



شکل ۲. اثر سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه کینوا

Fig. 2. Effect of different levels of irrigation on 1000 seeds weight of quinoa

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه کینوا نشان داد، تنها اثر آبیاری ($p < 0.01$) برای این صفت معنی‌دار شد (جدول ۴).

افزایش شدت تنش خشکی و کاهش دسترسی به آب، نرخ پر شدن و نهایتاً وزن دانه را کاهش داد. در این آزمایش بیشترین (۲/۳۷ گرم) و کمترین (۱/۳۷ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب از سطوح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (شکل ۲). کاهش وزن هزار دانه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی گزارش شده است (Al-Naggar et al., 2017; Taheri et al., 2021). همچنین گزارش شده عملکرد کینوا بیشتر تحت تأثیر محیط و برهمکنش ژنوتیپ-محیط است (Thiam et al., 2021). شرایط آبیاری خوب و استفاده بهینه از منابع، منجر به افزایش شاخص سطح برگ و افزایش قابل توجه NAR شده که متعاقباً سبب افزایش CGR در کل دوره رشد و سرعت پر شدن دانه شده و وزن هزار دانه بهبود یافته است

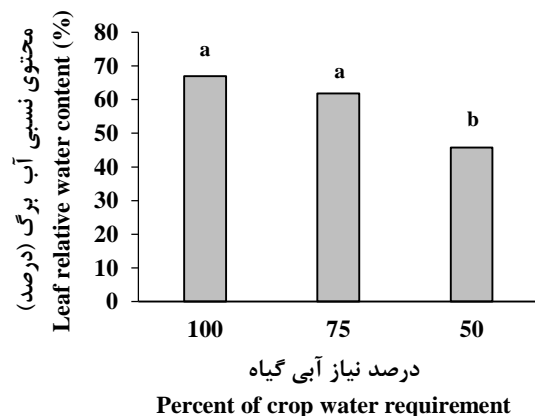
متیل جاسمونات (E_5) مشاهده شد. کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (E_4) و ۰/۵ میلی‌مولار متیل جاسمونات (E_3) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند و بین سایر سطوح الیسیتورها تفاوت معنی‌داری نبود (شکل ۴). اثر مثبت متیل جاسمونات بر غلظت کلروفیل برگ‌ها ممکن است به دلیل افزایش تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها باشد. اثر تحریک‌کننده محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر شاخص اسپد برگ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نیز گزارش شده است (Mohi-Ud-Din et al., 2021). متیل جاسمونات از تخریب کلروفیل در برگ‌ها جلوگیری و پیری آن‌ها را به تأخیر می‌اندازد. استفاده از جاسمونات در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تحت شرایط تنش ناشی از تیمار سرب، محتوای کلروفیل با کاهش بیان کلروفیل‌ز بهبود یافت (Bali et al., 2019).

عملکرد دانه

بین سطوح مربوط به محلول‌پاشی ($p < 0.01$) و آبیاری ($p < 0.05$) و برهمکنش بین آن‌ها ($p < 0.05$)، تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه کینوا مشاهده شد (جدول ۴). دسترسی به آب و کاربرد غلظت‌های مختلف متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک این صفت را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین داده‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت‌شده نشان داد، با افزایش ۲ برابری غلظت متیل جاسمونات از ۰/۵ به ۱ میلی‌مولار، در هر سه سطح آبیاری به تدریج عملکرد دانه افزایش یافت. بیشترین عملکرد کینوا با میانگین ۲۹۲۹/۳ کیلوگرم در هکتار از غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۵). پاسخ عملکرد دانه به کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک نیز معنی‌دار بود و بیشترین افزایش عملکرد دانه کینوا (۱۹۶ درصد) در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، از کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات در سطح سوم آبیاری مشاهده شد که بیش از آنکه تحت تأثیر افزایش تعداد خوشه در واحد سطح (۱۶ درصد) باشد، ناشی از افزایش تعداد دانه در خوشه (۱۵۳ درصد) بود (جدول ۵) که با نتایج سایر پژوهشگران تطابق داشت (Abdelgawad et al., 2014). این نتایج مؤید این فرضیه است که کاربرد برگی متیل جاسمونات با افزایش سرعت

محتوی نسبی آب برگ

با اعمال آبیاری، محتوی نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۴) و شکل ۳). بدین ترتیب که بین تیمار شاهد و تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی با افزایش شدت تنش به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاهش ۳۱/۶ درصدی در محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (شکل ۳). این یافته با مطالعه اودو و همکاران که کاهش RWC کینوا را در تنش شدید نشان داد، مطابقت دارد (Oudou et al., 2019). با افزایش کمبود آب خاک، کاهش پتانسیل آب برگ القا^۱ و RWC کاهش می‌یابد (Wakrim et al., 2005). مواجهه کینوا با تنش خشکی در مراحل اولیه نمو، به میزان زیادی به حفظ سلامت سلول کمک می‌کند. مکانیسم‌های پتانسیل پایین آب برگ، بسته شدن زود هنگام روزنه، تراکم روزنه و همچنین گسترش سیستم ریشه‌ای آن سبب حفظ محتوی نسبی آب برگ و تحمل به خشکی آن می‌شود (Oudou et al., 2019).



شکل ۳. اثر سطوح مختلف آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ کینوا
Fig. 3. Effect of different levels of irrigation on leaf relative water content of quinoa.

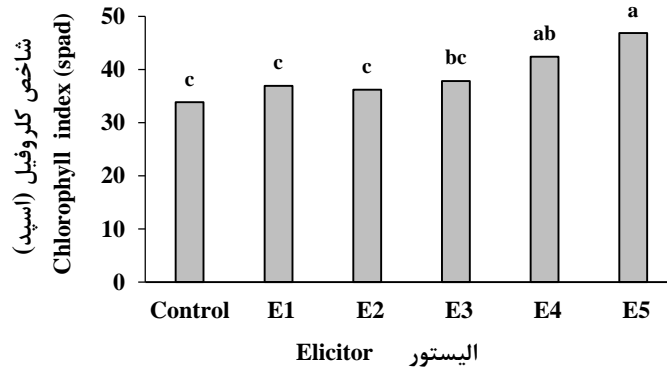
شاخص کلروفیل

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که شاخص کلروفیل تنها تحت تأثیر محلول‌پاشی ($p < 0.01$) قرار گرفته است (جدول ۴). کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار متیل جاسمونات (E_5) و اسید سالیسیلیک (E_4) شاخص کلروفیل را در مقایسه با شاهد، به‌وضوح افزایش داد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بالاترین میزان این صفت (۴۶/۸۴) در غلظت ۱ میلی‌مولار

¹. leaf water potential (LWP)

خشکی، عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Anjum et al., 2011; Ma et al., 2014; Behboudi et al., 2018; Forouzandeh et al., 2019).

فتوسنتز، محتوای آب نسبی برگ، غلظت کلروفیل، غلظت پرولین، غلظت بتائین، تجمع زیست‌توده و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب غشایی در گیاهان تحت تنش



شکل ۴. اثر غلظت‌های مختلف الیسیتور بر شاخص کلروفیل کینوا

Fig 4. Effect of different concentration of elicitor on chlorophyll index of quinoa

تأثیر را بر عملکرد دانه داشت. به‌طور کلی، استفاده از غلظت ۱ میلی مولار متیل جاسمونات در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، تمام اجزاء عملکرد کینوا (تعداد شاخه بارور ۱۶۹/۶ درصد، تعداد خوشه در مترمربع ۱۰۳/۶ درصد، تعداد دانه در خوشه ۲۷۳/۴ درصد) را نسبت به شاهد افزایش داد که بیانگر آن است که پارامترهای فتوسنتزی به‌تنهایی برای تمایز ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی در کینوا کافی نیستند. مطالعات دیگری باید در مناطق مختلف اقلیمی انجام شود تا کارشناسان و کشاورزان بتوانند با آگاهی از نتایج نیاز آبی و تغذیه‌ای کینوا، ضمن تولید بذر مورد نیاز کشور، سبب افزایش درآمد و رفاه بهره‌برداران بخش کشاورزی گردند.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج حاصله، عدم تأمین نیاز آبی کینوا با کاهش قابل توجه محتوای نسبی آب برگ، سبب اختلال در تمامیت غشاء سلول‌ها و کاهش کارایی بافت‌ها علی‌الخصوص بافت‌های فتوسنتزی می‌شود. کاهش قابل ملاحظه محتوای کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی برگ تحت تأثیر سطوح آبیاری ملاحظه نشد و تحمل به خشکی با غلظت‌های ۱ میلی مولار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، به‌طور قابل توجهی القا شد. می‌توان افزایش دوام سطح برگ^۱ موجود و جذب نور در طول دوره پر شدن دانه تحت تأثیر کاربرد الیسیتور را در بهبود اجزاء عملکرد دانه کینوا مؤثر دانست. افزایش غلظت متیل جاسمونات تحت شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، بیشترین

منابع

Abdelaal, K.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 characters. Sustainability. 12, 1736. <https://doi.org/10.3390/su12051736>

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

Al-Naggar, A., Abd El-Salam, R., Badran, A., El-Moghazi, M.M., 2017. Drought tolerance of five Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

¹. Leaf Area Duration (LAD)

- genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 3, 1-13. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/37216>
- Alam, M.M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2013. Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Science*. 7, 1053.
- Ali, Q., Ashraf, M., 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197, 258-271. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00463.x>
- 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.
- Anjum, S.A., Xie, X.-y., Wang, L.-c., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*. 6, 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Arteca, R.N., 1996. Manipulation of growth and photosynthetic processes by plant growth regulators. *Plant growth substances*. Springer, pp. 240-272.
- Bali, S., Jamwal, V.L., Kohli, S.K., Kaur, P., Tejpal, R., Bhalla, V., Ohri, P., Gandhi, S.G., Bhardwaj, R., Al-Huqail, A.A., Siddiqui, M.H., Ali, H.M., Ahmad, P., 2019. Jasmonic acid application triggers detoxification of lead (Pb) toxicity in tomato through the modifications of secondary metabolites and gene expression. *Chemosphere*. 235, 734-748. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.188>
- Bazile, D., Jacobsen, S.-E., Verniau, A., 2016. The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in plant science*. 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassae, M., Modares Sanavi, S.A.M., 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, 37-56. [In Persian with English Summary].
- Beyrami, H., Rahimian, M.H., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., Nikkhah, M., 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 30, 347-357. [In Persian with English Summary].
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*. 30, 239-264. <https://doi.org/10.1071/FP02076>
- 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, 49-65. [In Persian with English Summary].
- González, A., Norambuena-Contreras, J., Storey, L., Schlangen, E., 2018. Self-healing properties of recycled asphalt mixtures containing metal waste: An approach through microwave radiation heating. *Journal of environmental management*. 214, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.001>
- González, J.A., Konishi, Y., Bruno, M., Valoy, M., Prado, F.E., 2012. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92, 1222-1229. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4686>
- Hinojosa, L., Sanad, M.N., Jarvis, D.E., Steel, P., Murphy, K., Smertenko, A., 2019. Impact of heat and drought stress on peroxisome proliferation in quinoa. *The Plant Journal*. 99, 1144-1158. <https://doi.org/10.1111/tpj.14411>
- Hussain, M., Farooq, M., Sattar, A., Ijaz, M., Sher, A., Ul-Allah, S., 2018. Mitigating the adverse effects of drought stress through seed priming and seed quality on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 55, 313-319. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.5833>
- Iran Meteorological Organization. 2021. Available online at: <https://data.irimo.ir/>

- Izadi, D.E., Nabati, J., Nezami, A., Oskoueian, A., 2019. Effect of biological fertilizers and different weed control methods on improvement of growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). 7, 195-210. [In Persian with English Summary].
- Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., Song, S., 2019. Quinoa: In perspective of global challenges. *Agronomy*. 9, 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>
- Karimian, M.A., Dahmardeh, M., Bidarnamani, F., Forouzandeh, M., 2015. Assessment quantitative and qualitative factors of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under drought stress and salicylic acid treatments. *Biological Forum Research Trend*. 7, 871-878.
- Kazan, K., 2015. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. *Trends in plant science*. 20, 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.02.001>
- Keshtkar, A., Aien, A., Naghavii, 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, 403-414. [In Persian with English Summary].
- Kim, E.H., Kim, Y.S., Park, S.-H., Koo, Y.J., Choi, Y.D., Chung, Y.-Y., Lee, I.-J., Kim, J.-K., 2009. Methyl jasmonate reduces grain yield by mediating stress signals to alter spikelet development in rice. *Plant Physiology*. 149, 1751-1760. <https://doi.org/10.1104/pp.108.134684>
- Kumudini, B.S., Patil, S.V. 2019. Role of plant hormones in improving photosynthesis. In: Ahmad, P., Abass Ahanger, M., Nasser Alyemeni, M., Alam, P. (eds.), *Photosynthesis, Productivity and Environmental Stress*. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119501800.ch11>
- Lee, B., Martin, P., Bangerth, F., 1988. Phytohormone levels in the florets of a single wheat spikelet during pre-anthesis development and relationships to grain set. *Journal of Experimental Botany*. 39, 927-933.
- León, J., Sánchez-Serrano, J.J., 1999. Molecular biology of jasmonic acid biosynthesis in plants. *Plant physiology and Biochemistry*. 37, 373-380. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(99\)80043-6](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(99)80043-6)
- Ma, C., Wang, Z., Zhang, L., Sun, M., Lin, T., 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>
- Majd, A., Jafarie Yazdi, E., Falahian, F.A., Khavarinezhad, R.A., Bernard, F., Javadifar, F., 2007. The Effect of drought and exogenous abscisic acid on the ontogeny of oilseed rape (*Brassica Napus* L.). *Journal of Science (Islamic Azad University)*. 62, 1-11. [In Persian with English Summary].
- Manzoor, K., Ilyas, N., Batool, N., Ahmad, B., Arshad, M., 2015. Effect of salicylic acid on the growth and physiological characteristics of maize under stress conditions. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 37, 588-593.
- Maughan, P., Turner, T., Coleman, C., Elzinga, D., Jellen, E., Morales, J., Udall, J., Fairbanks, D., Bonifacio, A., 2009. Characterization of salt overly sensitive 1 (SOS1) gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Genome*. 52, 647-657. <https://doi.org/10.1139/G09-041>
- Mohammadi Nejad, S., Baghizadeh, A., Rahimi, M., 2018. Morphological and agronomic evaluation of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) ecotypes under drought conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 569-577. [In Persian with English Summary].
- Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., Rohman, M., Ahmed, J.U., Jagadish, S., Islam, T., Hasanuzzaman, M., 2021. Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plants*. 10, 2066. <https://doi.org/10.3390/plants10102066>
- Olowe, V., 2021. Africa 2100: how to feed Nigeria in 2100 with 800 million inhabitants. *Organic Agriculture*. 11, 199-208. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00307-1>
- Oudou, I.A., Rachid, F., Fatima, A., Ouafae, B., Said, W., 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen*. 71, 123-133. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00460-y>
- Ruiz, K., Biondi, S., Martínez, E., Orsini, F., Antognoni, F., Jacobsen, S.-E., 2016. Quinoa—a model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems—An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 150, 357-371.

- <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1027317>
- Saito, H., Oikawa, T., Hamamoto, S., Ishimaru, Y., Kanamori-Sato, M., Sasaki-Sekimoto, Y., Utsumi, T., Chen, J., Kanno, Y., Masuda, S., Kamiya, Y., Seo, M., Uozumi, N., Ueda, M., Ohta, H., 2015. The jasmonate-responsive GTR1 transporter is required for gibberellin-mediated stamen development in Arabidopsis. *Nature Communications*. 6, 6095. <https://doi.org/10.1038/ncomms7095>
- Salachna, P., Mikiciuk, M., Zawadzińska, A., Piechocki, R., Ptak, P., Mikiciuk, G., Pietrak, A., Łopusiewicz, L., 2020. Changes in growth and physiological parameters of amarine following an exogenous application of gibberellic acid and methyl jasmonate. *Agronomy*. 10, 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070980>
- Salama, A.M., Selem, E., Abd El Salam, R., Ghoniem, A., 2021. Response of quinoa plant grown under drought stress to foliar application with salicylic acid, paclobutrazol and algae extract. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*. 3, 87-104. <https://doi.org/10.21608/SJAS.2021.81529.1118>
- Shaki, F., Maboud, H.E., Niknam, V., 2019. Effects of salicylic acid on hormonal cross talk, fatty acids profile, and ions homeostasis from salt-stressed safflower. *Journal of plant Interactions*. 14, 340-346. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1635660>
- Smart, R.E., Bingham, G.E., 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*. 53, 258-260.
- Taheri, F., Maleki, A., Fathi, A., 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of Quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*. 13, 135-149. [In Persian with English Summary]
- Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M.N., 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, e0232269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>
- Thiam, E., Allaoui, A., Benlhabib, O., 2021. Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. *Plants*. 10, 714. <https://doi.org/10.3390/plants10040714>
- Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., Serraj, R., 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, ecosystems & environment*. 106, 275-287. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.019>
- Wang, C., Lv, J., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, J., Gao, Y.Q., Niu, T.H., Patience, B.E., 2022. Effects of preharvest methyl jasmonate and salicylic acid treatments on the growth, quality, volatile components and antioxidant systems of chinese chives. *Frontiers in Plant Science*. 3022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.767335>
- Xing, Q., Liao, J., Cao, S., Li, M., Lv, T., Qi, H., 2020. CmLOX10 positively regulates drought tolerance through jasmonic acid-mediated stomatal closure in oriental melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino). *Scientific reports*. 10, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74550-7>
- Yadav, T., Kumar, A., Yadav, R., Yadav, G., Kumar, R., Kushwaha, M., 2020. Salicylic acid and thiourea mitigate the salinity and drought stress on physiological traits governing yield in pearl millet-wheat. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27, 2010-2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.030>
- Yang, J., Zhang, J., Liu, K., Wang, Z., Liu, L., 2006. Abscisic acid and ethylene interact in wheat grains in response to soil drying during grain filling. *New Phytologist*. 171, 293-303. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01753.x>
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q., Wang, W., 2001. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant physiology*. 127, 315-323. <https://doi.org/10.1104/pp.127.1.315>
- Yao, H., Tian, S., 2005. Effects of pre-and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*. 35, 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.001>