تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۴۱۴-۴۰۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2402.1711

مقاله پژوهشی

بررسی اثر محلول‌پاشی جاسمونیک اسید و تنش خشکی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

آزاده کشتکار[۱]، احمد آئین[۲*]، هرمزد نقوی[۳]، حمید نجفی‌نژاد [۴]

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران
۲. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت
۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان
۴. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی و جاسمونیک‌اسید بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ارقام کینوا، آزمایشی در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی کرمان (ایستگاه جوپار) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار عدم تنش (آبیاری بعد از ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده خاک) و تیمار تنش خشکی (آبیاری بعد از ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده) به‌عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید در سه سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر) و ارقام شامل (Giza1، Titicaca، Q29) به‌صورت فاکتوریل و به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی، صفات عملکرد دانه، تعداد خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزینگی را نسبت به تیمار عدم تنش کاهش داد. کاربرد اسید جاسمونیک به‌ویژه غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، سبب بهبود این صفات نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین اثر رقم بر اکثر صفات موردمطالعه معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در شرایط عدم تنش و ۲ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک اسید و رقم Titicaca به ترتیب معادل ۳۳۱۶ و ۱۳۲۶۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار به‌ترتیب معادل ۱۶۸۲ و ۷۷۳۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تنش خشکی و عدم مصرف جاسمونیک اسید و رقم Giza1 بود. بیشترین شاخص سبزینگی برگ (عدد اسپد)، در شرایط عدم تنش و محلول‌پاشی ۱ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک اسید در رقم Giza1 به مقدار ۵۹ به دست آمد. به‌طورکلی، با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که جاسمونیک‌اسید به‌عنوان بهبوددهنده از طریق کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه و تولید ارقام کینوا به‌ویژه رقم Titicaca شود.

واژه‌های کلیدی: **تنظیم‌کننده رشد، شاخص برداشت، عملکرد دانه، کم‌آبیاری، کینوا**

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd) از خانواده اسفناجیان Chenopodiacea گیاهی است یک‌ساله با ارتفاع ۲-۱ متر که ریشه‌هایی با نفوذپذیری عمیق دارد. کشورهای بولیوی، شیلی، پرو و اکوادور مهم‌ترین تولیدکنندگان این گیاه هستند (Vega-Galves et al., 2010). این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری و سرما از خود نشان می‌دهد و به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های فقیر را دارد (Jacobsen et al., 2009). میزان پروتئین بذر این گیاه ۱۳/۸۱ تا ۲۱/۹ درصد است و تنها گیاهی است که کل

* نگارنده پاسخگو: احمد آئین. پست الکترونیک: Aien1348@yahoo.com

آمینواسیدهای ضروری بدن را تأمین می‌کند. دانه این گیاه با دارا بودن اسیدآمینه‌های ضروری لیزین و متیونین که غلات و حبوبات دچار کمبود آن هستند، به رفع مشکل سوءتغذیه کمک نموده و به‌عنوان گیاهی که همه اسیدهای آمینه ضروری و عناصر غذایی را دارد می‌تواند واردات مکمل‌های غذایی دام و طیور را کاهش دهد. کینوا به‌عنوان غذایی بدون گلوتن، به‌عنوان گیاه دارویی هم محسوب می‌شود. ارزش غذایی بسیار بالای دانه یا بذر کینوا موجب مقایسه آن توسط سازمان خواروبار جهانی با شیر خشک گردیده است (FAO, 2011).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات گیاهی در سرتاسر جهان محسوب شده و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فرآیندهای متابولیکی دارد (Lum et al., 2014). به‌طور میانگین بیش از ۵۰ درصد عملکرد بسیاری از محصولات گیاهی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Zlatev and Lidon, 2012). با توجه به اینکه بخش عمده مساحت ایران ازنظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد، بنابراین خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در این منطقه است و کشت گیاهان مقاوم به خشکی مانند کینوا بهترین راهکار برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Vega-Galves et al., 2010). با توجه به کارایی‌ها و قابلیت تحمل کینوا به خشکی، مهم‌ترین عاملی که کینوا را مناسب برای کشت در مناطق خشک و بیابانی می‌نماید زودرسی آن است، چراکه در انتهای دوره رشد، خشکی یک مشکل مهم برای کینوا محسوب می‌شود و زودرسی یک استراتژی مهم برای کاهش اثرات آن است (Jacobsen, 2003). در نتایج بررسی تنش خشکی بر عملکرد دانه کینوا گزارش‌شده است، عملکرد کینوا با ۲۰۸ میلی‌متر آب (آب آبیاری و بارندگی)، ۱۴۳۹ کیلوگرم در هکتار بوده است (Oelke et al, 1992).

گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی با افزایش بتائین و پلی‌آمین‌ها موجب حفظ پتانسیل اسمزی شده و درنتیجه عملکرد آن کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Ruiz-Carrasco et al, 2011). گیاهان متحمل به خشکی، با جذب آب از پروتوپلاست، آب بیشتری را در خود نگهداری می‌کنند، بنابراین دارای محتوای آب نسبی بالاتری می‌باشند (Silva et al, 2007). اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک ترکیبات طبیعی موجود در گیاه هستند که در مقادیر خیلی کم تولید می‌شوند و در واکنش‌های مربوط به تنش دخالت می‌کنند و آثار منفی تنش در گیاه را تعدیل می‌نمایند (Gharib and Hegazi, 2010). اسید جاسمونیک مهم‌ترین هورمون مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. این هورمون بعد از زخم شدن گیاه به‌سرعت درجاهای زخمی و غیر زخمی تجمع پیدا می‌کند (Bari and Jones, 2009). گزارش‌شده است که جاسمونیک اسید با تغییر در پروتئین، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها نقش حفاظتی خود را در برابر تنش خشکی اعمال می‌کند (Yun-xia et al, 2010). اثر مخرب ناشی از انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی نظیر کم‌آبی، شوری و سرما توسط برخی از هورمون‌های گیاهی نظیر متیل‌جاسمونات‌ها کاهش می‌یابد (Li et al, 1998). در آزمایشی، کاربرد اسید جاسمونیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار روی چندگونه از جنس کلزا که به مدت ۱۰ روز در معرض تنش خشکی قرارگرفته بودند، سبب افزایش وزن‌تر، محتوای کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ در تمام گونه‌های مورد آزمایش در مقایسه با شاهد گردیده است (Mahabub et al, 2014).

شناخت اثرات تنش‌های محیطی مختلف بر فیزیولوژی گیاهان، برای آگاهی از مکانیسم‌های مقاومت و بقای آن‌ها به‌منظور افزایش تحمل در برابر تنش ضرورت دارد و با توجه به نقش اسید جاسمونیک در ایجاد مقاومت به خشکی در گیاهان تحت تنش و با عنایت به اهمیت گیاه کینوا در تغذیه انسان و جدید بودن این گیاه و قابلیت‌های فراوان ازجمله کیفیت بسیار بالای دانه آن ازنظر پروتئین، تحمل بالا به خشکی و سایر تنش‌ها، پژوهش حاضر باهدف بررسی اثرات تنش خشکی و جاسمونیک اسید بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ارقام کینوا موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جوپار وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵ دقیقه شرقی با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۹۰۰ متر انجام شد. اقلیم این منطقه سرد و معتدل با متوسط بارندگی سالیانه، ۱۴۵ میلی‌متر و میانگین کمینه و بیشینه درجه حرارت سالیانه ۴ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد است.

قبل از اجرای آزمایش برای آگاهی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، از مزرعه نمونه خاک تهیه و تجزیه آزمایشگاهی شد که نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده‌شده است. آماده‌سازی زمین شامل عملیات خاک‌ورزی، کوددهی، پیاده نمودن نقشه طرح و ایجاد فارو بود. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۱)، مقدار کود شیمیایی مصرفی بر اساس آزمون خاک ۹۲ کیلوگرم نیتروژن و ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار به ترتیب از منبع کود اوره و سوپر فسفات تریپل بود. تمام کود فسفات و ۲۵ درصد کود نیتروژن قبل از کاشت و در زمان آماده‌سازی زمین مصرف گردید و باقیمانده کود نیتروژن در مرحله‌ای که ارتفاع بوته‌ها حدود ۳۰ سانتی‌متر بود استفاده گردید.

جدول ۱. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1. Soil physical and chemical properties of experiment site 0-30 cm depth.

بافت خاک Soil texture	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	واکنش خاک Ph	هدایت الکتریکی EC	ظرفیت مزرعه Field Capacity	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم Permanent wast Point	وزن مخصوص ظاهری Specific waight
	----------%----------				$ds.m^{-1}$	----------%----------		$g.cm^{-3}$
شنی لومی Sandy Loam	69	13	18	7.7	1.98	18.8	7.6	1.41

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲ سطح عدم تنش (آبیاری بعد از ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده خاک) و تنش خشکی (آبیاری بعد از ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌استفاده خاک) به‌عنوان عامل اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی جاسمونیک اسید در ۳ سطح (صفر، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر) و ۳ رقم کینوا شامل (Q29, Titicaca, Giza1) به‌صورت فاکتوریل و به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. عملیات کاشت در ۶ مرداد در وسط پشته و به‌صورت ردیفی در عمق ۱ سانتی‌متری خاک با فواصل ردیف‌های کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر با تراکم ۱۶/۶ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. طول کرت ۵ متر و در هر کرت ۴ ردیف کاشته و فاصله بین تکرارها ۳ متر در نظر گرفته شد. نحوه آبیاری که به روش جوی پشته‌ای بود در تیمار شاهد در تمام مراحل رشد گیاه مطابق با روش معمول منطقه، هر ۷ روز یک‌بار و در تیمار تنش هر ۱۴ روز یک‌بار صورت گرفت. به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمار آبیاری، ضمن آبیاری مستقل هر کرت، بین تیمارهای تنش خشکی و آبیاری مطلوب، ۳ خط نکاشت منظور شد. تیمار تنش خشکی در مرحله استقرار کامل گیاه، اعمال شد (Salehi and Dehghani, 2018; Jamali and Sharifan., 2018). محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید در مرحله آغاز گلدهی طی ۲ مرحله با استفاده از سم‌پاش دستی به فاصله ۱۰ روز صورت گرفت. با توجه به اینکه مراحل گلدهی و شیری‌شدن دانه کینوا از حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی است لذا از جاسمونیک اسید در این مرحله برای مقابله با تنش خشکی استفاده گردید (Geerts et al, 2008; Sofy et al., 2016). از اسید جاسمونیک ساخت شرکت (SIGMA-ALDRICH) با خلوص بیش از ۹۷ درصد استفاده شد. برای اعمال تیمار تنش خشکی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک T.D.R (time–Domain Reflectometry) که کالیبره شده بود رطوبت خاک در عمق موردنظر (عمق توسعه ریشه)، اندازه‌گیری و پس از رسیدن رطوبت خاک به مقدار موردنظر، آبیاری تیمار تنش خشکی انجام شد. نحوه پیدا نمودن ۶۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده (عدم تنش یا D_1) و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده (تنش خشکی یا D_2) به این صورت بود که رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه و نقطه‌ی پژمردگی دائم اندازه‌گیری و بر اساس آن میزان رطوبت قابل‌استفاده محاسبه و ۶۰ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و آبیاری معمولی انجام شد و ۹۰ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و تنش خشکی اعمال شد (Seyed Ahmadi et al., 2015)؛ بنابراین در تیمار عدم تنش و تنش خشکی رطوبت خاک به ترتیب معادل ۱۲/۲ و ۸/۹ درصد بود ضمناً در تیمار ۶۰٪ تخلیه رطوبتی خاک تنشی به گیاه وارد نشد (ازآنجاکه گیاه کینوا مقاوم به خشکی است در تخلیه رطوبتی ۶۰٪ رشد نرمال بوده و تنشی مشاهده نشد).

با استفاده از رابطه ۱ محتوای آب نسبی برگ بر اساس درصد محاسبه شد. (Mata and lamattina, 2001)

$$RWC=((FW-DW) / (TW-DW))\times100 \quad [1]$$

در رابطه بالا، FW وزن‌تر، DW وزن خشک، TW وزن اشباع و DW وزن خشک می‌باشند. برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه کلروفیل سنج SPAD502 استفاده شد. این دستگاه غلظت‌نسبی کلروفیل برگ را بر اساس مقدار نور عبور کرده از برگ، در دو طول‌موجی که جذب کلروفیل در آن‌ها تفاوت دارد نشان می‌دهد. اندازه‌گیری در یک‌سوی رگبرگ اصلی انجام شد و درنهایت میانگین عدداسپد برای هر کرت یادداشت گردید. برداشت کینوا با زرد شدن بوته‌ها و گذر از مرحله رسیدن فیزیولوژیک در تاریخ ۹۷/۸/۲۲ صورت گرفت. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، بوته‌های دو خط میانی با حذف حاشیه از سطح زمین، برداشت شدند. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک بوته‌های سطحی معادل ۰/۶ مترمربع از سطح زمین برداشت و پس از خشک نمودن، بر اساس میانگین وزن خشک بوته در هر کرت محاسبه شد. شاخص برداشت نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

(عملکرد دانه)/(عملکرد بیولوژیکی)×۱۰۰=شاخص برداشت [۲]

برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه نیز ۴ نمونه ۲۵۰ تایی شمارش و با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و SPSS و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

طبق نتایج تجزیه واریانس صفات مشخص گردید اثر تیمار تنش رطوبتی و جاسمونیک اسید در سطح ۱٪ و رقم در سطح ۵٪ و اثر متقابل سه‌گانه بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد عملکرد دانه در تیمار عدم تنش معادل ۲۹۷۳ کیلوگرم در هکتار و در تیمار تنش، معادل ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که نشان‌دهنده کاهش ۲۳ درصدی عملکرد کینوا در شرایط تنش خشکی است. در مقایسه بین ارقام، رقم Titicaca از عملکرد بیشتری معادل ۲۷۲۷ کیلوگرم در هکتار برخوردار بود و ارقام Q29، Giza1 به‌ترتیب با عملکرد ۲۶۷۸ و ۲۵۰۵ کیلوگرم در هکتار در مرتبه بعدی قرار گرفتند. عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای عدم محلول‌پاشی، کاربرد جاسمونیک اسید به میزان ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر معادل ۲۴۷۲، ۲۷۳۱ و ۲۷۰۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که بین تیمار جاسمونیک اسید ۱ و ۲ میلی‌گرم اختلاف آماری مشاهده نشد. همچنین مقایسه اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در رقم Titicaca در شرایط عدم تنش همراه با کاربرد ۲ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک‌اسید معادل ۳۳۱۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه از تنش شدید رطوبتی و عدم کاربرد جاسمونیک‌اسید و رقم Giza1 به میزان ۱۶۸۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). طبق نتایج محققان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی متأثر از کاهش اجزای عملکرد از قبیل وزن هزار دانه و تعداد خوشه است. خشکی در طی مرحله پر شدن دانه معمولاً وزن دانه را کاهش می‌دهد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها است. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرآیند فتوسنتز مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Morgan, 1977). محققان بر این موضوع تأکید دارند که کاهش عملکرد در اثر تنش کمبود آب ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه در اثر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی است (Cosculleola and Fact., 1992). کاربرد جاسمونیک اسید سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط تنش و عدم وجود تنش، نسبت به عدم کاربرد آن شد که این افزایش به دلیل افزایش معنی‌دار وزن‌هزار دانه است. تحقیقات روی گیاه کینوا نشان داد که افزایش کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، تعداد دانه و وزن دانه گردید (Razzaghi et al., 2012) که این مورد با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گزارش کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش در گیاهان دیگر از قبیل آفتابگردان (Heidari and Karimi, 2013)، کلزا (Angadi et al., 2003) گویای این مطلب است. استفاده از سطح سوم جاسمونیک‌اسید (۲ میلی‌گرم در لیتر) موجب افزایش معنی‌دار عملکرد گردید. افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از جاسمونیک اسید در پژوهش‌های بسیاری گزارش‌شده است (Yun-xia et al., 2010; Sofy et al., 2016). پاسخ ارقام مختلف به محلول‌پاشی اسید جاسمونیک تحت تأثیر ژنوتیپ گیاه قرار می‌گیرد که در این آزمایش رقم Titicaca بیشترین

عملکرد دانه را دارا بود. به نظر می‌رسد اگرچه تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گیاه شده اما کاربرد جاسمونیک اسید سبب می‌گردد تا تأثیرات منفی تنش خشکی بر رشد گیاه کاهش‌یافته و رشد و عملکرد گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه به میزان قابل‌توجهی افزایش یابد. مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی نظیر جاسمونیک‌اسید در تمام جنبه‌های چرخه حیاتی گیاه کاربرد دارد و می‌توانند بر واکنش‌های گیاه اثر عمیقی داشته باشند (Creelman and Mullet, 2008).

جدول ۲. خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی

Table 2. Analysis of variance of measured traits

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	تعداد خوشه در بوته Cluster/plant	وزن هزار دانه 1000- Seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield
Replication	تکرار	2	41672.1^{ns}	43.005^{ns}	0.05^{ns}	3849864.4**
Drought stress (D)	تنش خشکی	1	6103179.8**	56.01*	0.66**	53093833.8**
Error	خطا	2	332557.4	5.72	0.007	2488171.4
Jasmonic acid (JA)	جاسمونیک اسید	2	370203.2**	2.11^{ns}	1.40**	4642977.9**
Cultivar (C)	رقم	2	245117.6*	7.53^{ns}	0.09*	3395092.9**
JA × D	تنش خشکی × جاسمونیک اسید	2	39147.1^{ns}	2.22^{ns}	0.10*	3173503.7**
C × D	تنش خشکی × رقم	2	486942.9**	1.39^{ns}	0.010^{ns}	1127267.1^{ns}
C × JA	جاسمونیک اسید × رقم	4	223412.6*	7.62^{ns}	0.008^{ns}	2265643.2**
C × JA × D	تنش‌خشکی× جاسمونیک اسید×رقم	4	544173.1**	0.33^{ns}	0.030^{ns}	6650313.2**
Error	خطا	32	70140.8	1.98	0.025	655884.4
CV(%)	ضریب تغییرات (درصد)		*10.4*	*9.1*	*5.2*	*7.4*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته plant height	شاخص برداشت Harvest index	محتوای نسبی آب برگ RWC	شاخص سبزینگی Chlorophyll Index
Replication	تکرار	2	49.83*	1.73^{ns}	13.79^{ns}	0.55^{ns}
Drought stress (D)	تنش خشکی	1	4579.02**	55.83**	315.81**	204.55**
Error	خطا	2	29.01	5.95	23.99	1.207
Jasmonic acid (JA)	جاسمونیک اسید	2	1066.66**	6.66*	96.11**	65.38**
Cultivar (C)	رقم	2	1039.75**	0.07^{ns}	0.87^{ns}	43.61 **
JA × D	تنش خشکی × جاسمونیک اسید	2	55.97*	2.07^{ns}	9.92^{ns}	5.56^{ns}
C × D	تنش خشکی × رقم	2	93.86**	3.31**	8.82^{ns}	3.63^{ns}
C × JA	جاسمونیک اسید × رقم	4	198.57**	3.79^{ns}	6.93^{ns}	10.53**
C × JA × D	تنش‌خشکی× جاسمونیک اسید×رقم	4	63.15*	8.21**	11.47^{ns}	11.48 *
Error	خطا	32	18.51	1.98	15.48	4.93
CV(%)	ضریب تغییرات (درصد)		*3.7*	*5.6*	*5*	*4.3*

**،*و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

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

تعداد خوشه در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر تیمار تنش رطوبتی در سطح ۵ درصد بر تعداد خوشه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طوری‌که تعداد خوشه در شرایط آبیاری نرمال معادل ۱۶/۴ عدد و در شرایط تنش معادل ۱۴/۴ عدد بود به‌طوری‌که تنش خشکی باعث کاهش ۱۲ درصدی تعداد خوشه در بوته

کینوا شد. طبق تحقیقات انجام‌شده، به نظر می‌رسد کمبود مواد فتوسنتزی در شرایط تنش، باعث افت تعداد گل‌های بارور و کاهش تعداد خوشه می‌شود (Din et al., 2011). طبق نتایج جدول همبستگی، تعداد خوشه با عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته رابطه مثبت داشت و با دیگر صفات رابطه معنی‌دار نداشت (جدول ۴).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی با جاسمونیک اسید و رقم بر تعدادی از ویژگی‌های کینوا

Table 3. Mean comparison of water stress, foliar with application of Jasmonic acid and cultivar interaction on some traits of Quinoa

تنش (بر اساس تخلیه رطوبت قابل‌استفاده خاک) Irrigation (evacuation humidity)	جاسمونیک اسید J.A	رقم Cultivar	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	ارتفاع بوته plant height	شاخص برداشت Harvest index	شاخص سبزینگی Chlorophyll Index
	$mg.lit^{-1}$		---------- $kg.ha^{-1}$ ----------		cm	%	
D_1 عدم تنش (Non-stress)	0	$Giza_1$	3015^{a-d}	11835^{a-d}	109^{d-f}	25.9^{a-d}	2.7^{b-e}
		Titicaca	3225^{ab}	11629^{b-e}	132.6^{a}	25^{a-d}	52.2^{b-f}
		Q_{29}	2204^{gh}	9190^{g-i}	121^{b-d}	24.05^{b-f}	48.4^{fg}
	1	$Giza_1$	3266^{ab}	12710^{ab}	119.6^{c-f}	25.6^{a-d}	58.8^{a}
		Titicaca	3120^{a-c}	12046^{a-c}	132.6^{a}	26^{a-c}	52.7^{b-e}
		Q_{29}	2666c^{d-g}	10254^{e-i}	110.6^{c-f}	26.1^{a-c}	56.2^{ab}
	2	$Giza_1$	2802^{b-e}	10615^{c-g}	130.6^{ab}	26.3^{a-c}	55.2^{a-c}
		Titicaca	3316^{a}	13265^{a}	142.4^{a}	27.6^{a}	52.2^{b-e}
		Q_{29}	3140^{a-c}	12483^{ab}	124.1^{bc}	26.6^{ab}	53.5^{b-d}
D_2 تنش خشکی (Drought stress)	0	$Giza_1$	1682^{i}	7733^{i}	87.8^{g}	21.6^{f}	50^{d-f}
		Titicaca	2375^{e-h}	9717^{gh}	107.9^{d-f}	24.6^{b-e}	48.5^{fg}
		Q_{29}	2329^{e-h}	9190^{g-i}	99.3^{fg}	24.1^{b-f}	48.4^{fg}
	1	$Giza_1$	2576^{d-g}	10895^{c-f}	109.5^{c-f}	23.6^{c-f}	50.7^{d-f}
		Titicaca	2265^{f-h}	9566^{f-h}	105.6^{ef}	23.7^{c-f}	51.4^{c-f}
		Q_{29}	2492efgh	9766^{f-h}	988^{fg}	25.5^{a-d}	51.8^{c-f}
	2	$Giza_1$	2725cdef	10481^{d-h}	107.3^{d-f}	26^{a-c}	52.4^{b-f}
		Titicaca	2061hi	9239^{gh}	125^{cd}	22.2^{ef}	48.7^{e-g}
		Q_{29}	2198gh	9000^{hi}	115.9^{c-e}	23.2^{d-f}	46.4^{g}

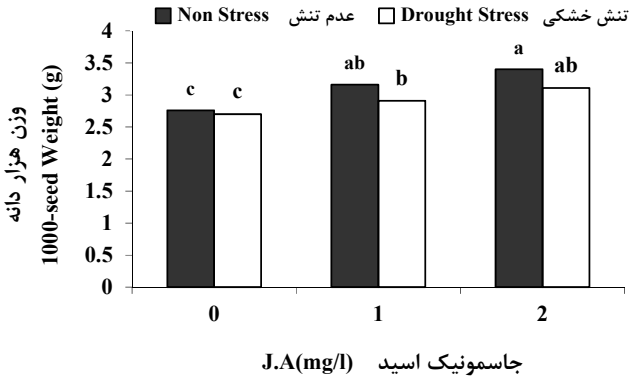
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است. D1: عدم تنش (۶۰٪ تخلیه رطوبتی)، D2: تنش خشکی (۹۰٪ تخلیه رطوبتی)

The same letters in each column are not significantly different. D1: Non-stress (60% evacuation humidity), D2: drought stress (90% evacuation humid)

وزن هزار دانه

طبق نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و جاسمونیک‌اسید در سطح ۵٪ بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی شدید سبب کاهش وزن هزار دانه در گیاه خواهد شد به‌طوری‌که اختلال در راندمان جذب و تأثیرپذیری ریشه و اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی در درون گیاه را دلیل کاهش وزن هزار دانه عنوان کرده‌اند (Jiban, 2001). بیش‌ترین وزن‌هزار دانه (۳/۴ گرم) در شرایط عدم تنش و کاربرد ۲ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک اسید و کمترین وزن هزار دانه، (۲/۷۰ گرم) در شرایط تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی به دست آمد. وزن هزار دانه در شرایط عدم تنش به‌ترتیب در تیمارهای عدم محلول‌پاشی، ۱ و ۲ میلی‌گرم جاسمونیک‌اسید معادل ۲/۷۶، ۳/۱۶، ۳/۴ گرم و در شرایط تنش معادل ۲/۷۰، ۲/۹۱ و ۳/۱۱ گرم بود همان‌طور که مشخص است تیمار ۲ میلی‌گرم جاسمونیک‌اسید در شرایط تنش و غیر تنش بیشترین وزن هزار دانه را دارا بود. طبق نتایج محققان روی گیاه کینوا، شدت تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، از طریق تقلیل

فتوسنتز سبب کاهش وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود (Gamez et al., 2019). افزایش وزن هزار دانه با استفاده از جاسمونیک اسید در پژوهش‌های دیگر گزارش‌شده است (Yun-xia et al., 2010, Sofy et al., 2016).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی جاسمونیک اسید بر وزن هزار دانه

Fig. 1. Mean Comparison of Drought stress and foliar application of Jasmonic acid interaction on 1000 seed weight

عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی×جاسمونیک‌اسید ×رقم بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد عملکرد بیولوژیک در تیمار عدم تنش با ۱۱۵۵۸ کیلوگرم در هکتار و تنش با ۹۵۷۵ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش ۱۷ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط بدون تنش شد همچنین مقایسه ارقام موردمطالعه نشان داد رقم Titicaca با ۱۰۹۱۰ کیلوگرم در هکتار و رقم Giza1 با ۱۰۷۱۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیکی بیش‌تری داشتند که ازنظر آماری اختلاف چندانی بین آن‌ها مشاهده نشد و Q29 با ۱۰۰۸۰ کیلوگرم در هکتار در مرتبه بعدی قرار گرفت نتایج اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط عدم تنش همراه با ۲ میلی‌گرم در لیتر جاسمونیک اسید در رقم Titicaca معادل ۱۳۲۶۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار تنش رطوبتی و عدم محلول‌پاشی در رقم Giza1 معادل ۷۷۳۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به اینکه عملکرد بیولوژیک کل ماده خشک تولیدشده توسط گیاه شامل ساقه، برگ و دانه را در برمی‌گیرد (Emam and Niknejad, 2011)، طبق تحقیقات انجام‌شده، تنش خشکی در گیاه کینوا باعث کاهش تجمع ماده خشک و کاهش عملکرد بیولوژیک و بیوماس کل گیاه گردید (Sanchez et al., 2003, Razzaghi et al., 2012) که این موارد با نتایج این تحقیق منطبق است. پژوهشگران معتقدند که از مرحله گلدهی تا رسیدن دانه، ظرفیت فتوسنتزی به ویژگی‌های برگ پرچم شامل سرعت فتوسنتز، کارایی آنزیم رابیسکو، غلظت کلروفیل و مساحت آن بستگی دارد احتمالاً کاربرد اسید جاسمونیک در طی تنش خشکی سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و درنهایت افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Swiatek et al., 2003). افزایش عملکرد بیولوژیک توسط تنظیم‌کننده رشد جاسمونیک اسید در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش‌شده است (Sofy et al., 2016; Yun-xia et al., 2010). طبق نتایج جدول همبستگی بین صفات موردمطالعه، بین صفت عملکرد دانه و صفات وزن‌هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، شاخص برداشت، محتوای رطوبت نسبی برگ و شاخص سبزینگی رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که بیشترین رابطه بین عملکرد دانه مربوط به عملکرد بیولوژیک با ضریب ۰/۸۰۸ بود (جدول ۴).

ارتفاع بوته

طبق نتایج تجزیه واریانس صفات مشخص گردید تنش خشکی×جاسمونیک اسید×رقم در سطح ۵٪ بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه کاهش یافت به‌طوری‌که در تیمار عدم تنش بیشترین ارتفاع بوته از محلول‌پاشی با جاسمونیک اسید به میزان ۲ میلی‌گرم

در لیتر در رقم Titicaca معادل ۱۴۲/۴ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته در رقم Giza1 و عدم مصرف جاسمونیک‌اسید معادل ۱۰۹ سانتی‌متر و در تیمار تنش بیشترین ارتفاع بوته در رقم Titicaca و جاسمونیک‌اسید به غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر معادل ۱۲۵ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع در رقم Giza1 به میزان ۸۷/۸ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۳). با توجه به اینکه ارقام کینوا ازنظر طول مراحل مختلف فنولوژیکی تفاوت نشان می‌دهند و از خصوصیات رشد و حجم بوته متفاوتی برخوردارند لذا واکنش رشدی آن‌ها یکسان نیست. یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و درنتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Salahvarzi et al., 2008). کاهش رشد و ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی در گیاه آفتابگردان (Heidari and Karami 2013) گزارش شده است. در تحقیق حاضر استفاده از جاسمونیک اسید در شرایط عدم تنش و تنش خشکی به‌ویژه در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر نسبت به عدم مصرف جاسمونیک اسید تا حد زیادی بر ارتفاع بوته مؤثر بود.

جاسمونات‌ها از قبیل جاسمونیک‌اسید و متیل‌استر آن به‌صورت مولکول‌های سیگنالی سیستم دفاعی گیاهان را در مقابل عوامل تنش‌زای محیطی فعال می‌کنند و منجر به القای پاسخ‌های مربوط به مقاومت و تنش می‌شوند. این هورمون‌ها علاوه بر افزایش نمو (رشد به همراه تمایز) سلول می‌تواند تقسیم سلولی در جهت رشد و نمو را نیز کنترل کنند که به تشکیل بافت‌ها و اندام‌ها کمک می‌کند (Balbi and Devoto, 2007). به نظر می‌رسد جاسمونیک اسید به‌عنوان یک سیستم آنتی‌اکسیدان برای حفظ عملکردهای متابولیکی گیاه در شرایط تنش و غیر تنش ضروری است و به‌عنوان محرک برای افزایش قدرت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش تنش اکسیداتیو، افزایش کلروفیل و بهبود پارامترهای رشد عمل کرده است همچنین وجود جاسمونات در بافت‌های در حال رشد و فعال را می‌توان دلیلی بر نقش این ماده در تقسیم سلول دانست. جاسمونیک‌اسید با توجه غلظت استفاده‌شده، گونه گیاهی و مرحله رشد تأثیرهای متفاوتی بر رشد و نمو گیاهان دارد (Keramat and Daneshmand, 2012).

جدول ۴. همبستگی بین صفات موردبررسی

Table 4. Correlation of measured traits

	صفات (Adjectives) Pearson Correlation	1	2	3	4	5	6	7
1	تعداد خوشه Cluster/plant	1						
2	عملکرد دانه Seed yield	0.238	1					
3	وزن هزار دانه 1000- Seed weight	0.075	0.440**	1				
4	عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.269*	0.808**	0.495**	1			
5	ارتفاع بوته plant height	0.334*	0.584**	0.347*	0.623**	1		
6	شاخص برداشت Harvest index	0.169	0.748**	0.427**	0.553**	0.411**	1	
7	محتوی نسبی آب RWC	0.160	0.503**	0.395**	0.457**	0.572**	0.318*	1
8	شاخص سبزینگی Chlorophyll Index	0.232	0.496**	0.262	0.339*	0.198	0.356**	0.374**

**،*به ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

**,* correlation are significant at 1% and 5% probability levels

شاخص برداشت

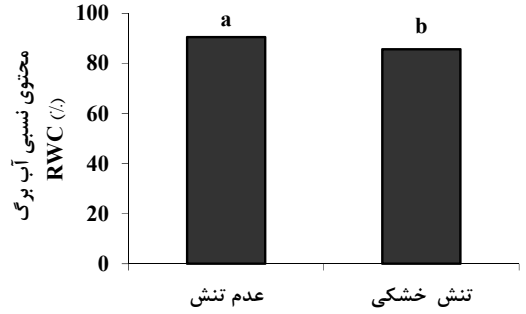
با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات مشخص گردید اثر متقابل تیمار تنش خشکی×جاسمونیک‌اسید×رقم در سطح ۱٪ بر شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق نتایج، تیمار عدم تنش با ۲۵/۷ شاخص برداشت بیش‌تری نسبت به تیمار تنش به مقدار ۲۴ درصد داشت همچنین

مقایسه تیمارهای عدم محلول‌پاشی، جاسمونیک اسید ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب معادل ۲۴/۲، ۲۵/۱ و ۲۵/۳ بود با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه مشخص گردید بیشترین شاخص برداشت در شرایط عدم تنش و بالاترین مقدار جاسمونیک اسید در رقم Titicaca به میزان ۲۷/۶ درصد و کمترین آن مربوط به تنش خشکی و عدم محلول‌پاشی در رقم Giza1 معادل ۲۱/۶ درصد به دست آمد (جدول ۳). شاخص برداشت معیاری از نسبت وزن دانه به‌کل گیاه است و ارقام پرمحصول شاخص برداشت بالاتری دارند (Roshdi et al., 2009). همان‌طور که مشخص است اعمال تنش شدید رطوبتی باعث کاهش شاخص برداشت شد لیکن محلول‌پاشی جاسمونیک اسید نسبت به عدم کاربرد آن تا حد زیادی اثرات تنش خشکی را کاهش داد.

محتوی نسبی آب برگ (RWC)

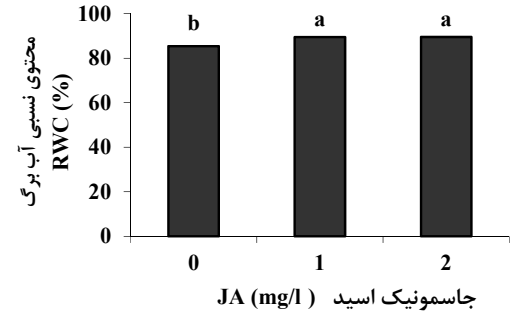
اثر اصلی تیمارهای تنش خشکی و جاسمونیک اسید در سطح یک درصد بر محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). محتوی نسبی آب برگ در شرایط عدم تنش معادل ۹۰/۵ درصد و در شرایط تنش معادل ۸۵/۷ درصد بود که نشان‌دهنده کاهش ۵/۳ درصدی محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش است همچنین مقدار رطوبت نسبی برگ در تیمارهای شاهد، کاربرد ۱ و ۲ میلی‌گرم جاسمونیک‌اسید به‌ترتیب معادل ۸۵/۴، ۸۹/۴ و ۸۹/۵ درصد بود همان‌طور که مشخص است کاربرد جاسمونیک اسید نسبت به عدم کاربرد آن باعث افزایش محتوی نسبی آب برگ می‌شود (شکل ۲).

طبق تحقیقات انجام‌شده استفاده از جاسمونیک‌اسید تحت شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را تا حد زیادی افزایش داد (Wu et al., 2012). به نظر می‌رسد که گیاهان در شرایط تنش خشکی، میزان آب سلول‌های خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش محتوی نسبی آب در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Elewa et al., 2017). محتوی نسبی‌آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بیلان آبی گیاه، نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه و درنتیجه سرعت فتوسنتزی گیاه دارد (Mitchell et al., 2001). پژوهشگران در آزمایشی به‌منظور تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد و برخی ویژگی‌های اسفناج نشان دادند که افزایش آب آبیاری منجر به افزایش طول برگ، محتوای نسبی آب و کلروفیل برگ شده است (Rajabi et al., 2016). نتایج تحقیقات انجام‌شده روی گیاه کینوا نشان می‌دهد افزایش میزان آب آبیاری منجر به حفظ کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Sharifan et al., 2018).



شکل ۲. اثر تنش خشکی بر محتوی نسبی آب برگ

Fig. 2. Effect of drought stress on relative water conten



شکل ۳. اثر محلول‌پاشی با جاسمونیک اسید بر محتوی نسبی آب برگ

Fig. 3. Effect of foliar application of jasmonic acid on relative water content

شاخص سبزینگی برگ

اثر متقابل تنش خشکی×جاسمونیک اسید×رقم بر شاخص سبزینگی برگ در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). جدول اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که بیشترین شاخص سبزینگی برگ از محلول‌پاشی ۱ میلی‌گرم در لیتر در رقم Giza1 در شرایط آبیاری نرمال معادل ۵۹ و کمترین آن مربوط به تنش شدید رطوبتی و محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم جاسمونیک اسید در رقم Q29 عدد ۴۶/۴ به دست آمد (جدول ۳). در مقایسه بین ارقام بیشترین شاخص سبزینگی برگ در تیمار عدم تنش در رقم Giza1 معادل ۵۹ و کمترین آن در رقم Q29 و عدم کاربرد جاسمونیک اسید معادل ۴۸/۴ و در تیمار تنش بیشترین شاخص سبزینگی در رقم Giza1 معادل ۵۲/۴ و

کمترین آن در رقم Q29 معادل ۴۶/۴ به دست آمد. یکی از عوامل حفظ ظرفیت فتوسنتزی، میزان کلروفیل در گیاهان زنده است که تحت شرایط کمبود آب کاهش‌یافته و تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. نتایج تحقیقات در گیاه کینوا نشان داد، در شرایط تنش خشکی به دلیل تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و درنتیجه محتوای رطوبت نسبی و به‌دنبال آن فتوسنتز و کلروفیل برگ کاهش می‌یابد (Sharifan et al., 2018) که این امر با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. وقوع تنش ملایم (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) در گیاه زوفا از تیره نعناعیان، با کاهش اندازه سلول سبب کاهش سطح برگ می‌شود که نتیجه آن تجمع سلول‌های بیشتری در واحد وزن برگ و افزایش غلظت کلروفیل است بااین‌وجود در تنش‌های شدید ترکیباتی تولید و فرایندهایی فعال می‌شوند که علیرغم افزایش وزن مخصوص برگ باعث کاهش غلظت کلروفیل نسبت به شاهد می‌شود (Rassam et al., 2014). استفاده از جاسمونیک‌اسید در غلظت کم به میزان ۱ میلی‌گرم در شرایط تنش و عدم تنش نسبت به عدم محلول‌پاشی و ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین شاخص سبزینگی برگ را داشت طبق نتایج محققان جاسمونات‌ها در بیان یکسری از ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل از طریق تشکیل آمینولولینیک اسید دخالت دارند البته این امر در غلظت‌های پایین جاسمونیک اسید مشاهده شده است (Ueda and Saniewski, 2006). جاسمونیک اسید و متیل‌استر آن (متیل‌جاسمونات)، می‌تواند از طریق افزایش یا جلوگیری از کاهش عملکرد فتوسنتزی گیاه سبب تولید غیرمستقیم کربوهیدرات‌ها و دیگر مواد مورداستفاده در متابولیسم‌های گیاه شود بدین‌صورت سبب مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (Popova et al., 2003).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که بروز تنش خشکی شدید (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک)، عملکرد و اجزای عملکرد کینوا را کاهش داد به‌طوری‌که به‌ترتیب سبب کاهش ۲۳، ۷ و ۵/۳ درصدی عملکرد دانه، شاخص برداشت و محتوی نسبی آب گردید از طرفی، محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید به‌ویژه غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد داشت به‌طوری‌که میزان عملکرد دانه و شاخص‌برداشت در حالت محلول‌پاشی به ترتیب ۱۰/۴۷ و ۴/۵۴ درصد بیشتر از عدم محلول‌پاشی بود. از موارد ذکرشده می‌توان نتیجه گرفت گیاه کینوا تحمل و مقاومت نسبتاً مطلوبی به تنش خشکی داشته و محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید بر روی گیاه در شرایط تنش باعث ایجاد مقاومت در گیاه شده و اثرات منفی کم‌آبی بر روند رشد گیاه را کاهش می‌دهد همچنین با اعمال مدیریت مناسب در مزرعه و کاشت ارقام زودرس و پرمحصول ازجمله رقم Titicaca، می‌توان استقرار این گیاه را در شرایط کم‌آبی تضمین نمود البته پیشنهاد می‌شود این آزمایش در شرایط گلخانه‌ای نیز مطالعه و بررسی شود.

منابع

Angadi, S.V., Cutforth, H.W., McConkey, B.G., Gan, Y., 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science. 43, 1358-1366.

Balbi, V., Devoto, A., 2007. Jasmonate signalling network in Arabidopsis thaliana, crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. New Phytologist. 177, 301-318.

Bari, R., Jones, J.D.G., 2009. Role of plant hormones in plant defense responses. Plant Molecular Biology. 69, 473-488.

Cosculleola F., Fact, J.M., 1992. Determinations of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops Abstract. 93, 5611-5612.

Creelman, R.A., Mullet, J.E., 2008. Biosynthesis and action of Jasmonates in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.48, 355-381.

Din, J., Khan, S.U., Ali, I., Gurmani, A.R., 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences. 21, 78-82.

Elewa T.A.A., Sadak, M., Saad, A., 2017. Proline treatment improves physiological responces in quinoa plants under drought stress. Biosience Research, 14, 21-33.

Emam, Y., Niknejad, M., 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press, Shiraz. [In Persian].

FAO. 2011. Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security. FAO, Rome

Gharib, F. A., Hegazi, A. Z., 2010. Salycylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzymes activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under cold stress. Journal of American Science. 6, 675-683.

Gámez, A.L., Soba, D., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Aranjuelo, I., Morales, F., 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Plants (Basel, Switzerland), 8(6), 173. https://doi.org/10.3390/plants8060173.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd). Europian Journal of Agronomy. 28, 427-436.

Heidari, M., Karami, A.V., 2013. Effect of drought stress and strains of mycorrhiza on yield, photosynthetic pigments sunflower. Journal of Environmental stresses in Crop Sciencess. 6, 17-26. [In Persian with English summary].

Jiban, M., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science. 80, 758-763.

Jacobsen, S.E., 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Review International. 19, 167-177.

Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a rolefor regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Scientia Horticulture. 122, 281-287.

Jamali, S., Sharifan, H., 2018. Investigation the effect of different salinity levels on yield and yield components of quinoa (Cv. Titicaca). Journal of Water and Soil Conservation. 25, 251-266. [In Persian with English Summary].

Keramat, B., Daneshmand, F., 2012. Dual role of methyl jasmonate in physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) plant. Journal of Plant Process and Function. 1(1), 26-38. [In Persian With English Summary].

Li, l., van Staden, J., Jager, A.K., 1998. Effect of plant growth regulators on the antioxidant system in seedling of two maize cultivars subjected to water stress. Plant Growth Regulation. 25, 81-87.

Lum, M.S., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., Akmar, A.S.N., 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. Journal of Animal and Plant Sciences. 24, 1487-1493.

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.

Mata, C. G., Lamattina, L., 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. Plant Physiology. 126, 1196 -1204.

Mitchell, R.A., Mitchell, V.J., Lawlor, D.W., 2001. Response of wheat canopy CO_2 and water gas exchange to soil water content under ambient and elevated CO_2. Global Change Biology. 7, 599-611.

Morgan, J.M., 1977. Changes in diffusive conductance and water potential of wheat plants before and after anthesis. Australian Journal of Plant Physiology. 4, 75-86.

Oelke, E.A., Putnam, D.H., Teynor, T.M., Oplinger, E.S., 1992. Alternative Field crops manual. University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, center for alternative Plant and Animal Products.

Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., Stoinova, Z.H., 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 18, 133-152.

Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, CR., Andersen, M.N., 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on Yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agricultural Water Management. 109, 20-29.

Razzaghi, F., Ahmadi, SH., Jacobsen, S.E., Jensen, CR., Andersen, M.N., 2012. Effects of salinity and soil-drying on radiation use

efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Journal of Agronomy and Crop Science. 198, 173-184.

Ruiz Carrasco, K., Antognoni, F., Coulibaly, A., Lizardi, S., Convarrubias, A., Martinez, E.A., Zurita - Silva, A., 2011. Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as assessed by growth physiological traits, and sodium transporter gene expression. Plant Physiology and Biochemistry. 49, 1333-1341.

Rajabi, A., Sharifan, H., Hesam, M., Zakerina, M., 2011. Effect of different levels salinity and Irrigation on yield and traits leaf spinach. The second of national conference Irriigation of Iran. Industrial University of Isfahan, Isfahan, Iran. [In Persian].

Rassam, G., Dadkhah, A., Khoshnod Yazdi, A., 2014. Estimation of the impact of water shortages on morphological and physiological traits of herb hyssop (*Hyssopus officinalis*). Journal of Agriculture. 10, 1-12. [In Persian with English summary].

Roshdi, M., Rezadost, S., Khalil Mahaleh, J., Haji Nasab, N., 2009. The impact of bio-fertilizers on yield of three varieties of sunflower. Jornal of Agricultural Sciences and Technology. 10, 24-11. [In Persian with English Summary].

Salehi, M. Dehghani, F., 2018. A guide to Planting and Harvesting in Saline Condition. Ministry of Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization. [In Persian].

Salahvarzi, Y., Tehranifar, A., Ghazanchian, A., 2008. Investigation of physiomorphologic changes of native and foreign green foliage, in drought stress and irrigation again. Iranian Journal of Horticultural Engineering. 9, 193-204 [In Persian with English Summary].

Sanchez, HB., Lemeur, R., Damme, PV., Jacobsen, SE.,2003. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd). Food Reviews International. 19, 111-119.

Seyed Ahmadi, A., Bakhshandeh, A., Gharineh, M.H., 2015. Evaluation Physiological Characteristics and Grain Yield Canola Cultivars under end Seasonal Drought Stress in Weather Condition of Ahvaz. Iranian Journal of Field Crop Research. 2, 97-114 [In Persian with English Summary].

Sharifan, H., Jamali, S., Sajadi, F., 2018. The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. Water and Irrigation Management. 8(2), 177-191. [In Persian with English Summary].

Silva, M.A., Jifon, J.L., Da Silva, J.A.G., Sharma, V., 2007. Use of Physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19, 193-201.

Sofy, M.R., Sharaf, A.E.M., Fouda, H.M., 2016. Stimulatory effect of hormones, vitamin C on growth, yield and some metabolic, activities of *Chenopodium quinoa* plants in Egypt. Journal of Plant Biochemistry and Physiology. 10, 2329-9029.

Swiatek, A., Azmi, A., Witters, E., Van Onckelen, H., 2003. Stress Massengers Jsmonic acid and Abccisic acid negatively regulate plant cell cycle. Journal of plant physiology.172-178.

Ueda, J., Saniewski, M., 2006. Methyl jasmonate induced stimulation of chlorophyll formation in the basal part of bulbs kept under natural light conditions. Journal of fruit and Ornamental Plant Reserch. 14, 199-210.

Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martinez, E.A., 2010. Nutrition Facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 90, 2541-2547.

Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L., Zhang, M., 2012. Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. Journal of Plant Growth Regulation.31, 113-123.

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.

Zlatev, Z., Lidon, F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture. 24, 57-72.