

## تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

هادی سالک معراجی<sup>۱</sup>، افشین توکلی<sup>۲\*</sup> و نیازعلی سپهوند<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۲

### چکیده

خشکی به عنوان مهم ترین تنش غیرزنده می تواند رشد و نمو و عملکرد گیاهان را کاهش دهد. کینوا گیاهی با ارزش غذایی بالا و متحمل به خشکی است. به منظور بررسی اثر محلول پاشی سیتوکینین بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد ارقام کینوا، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶ به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (آبیاری مطلوب (۰/۴- مگاپاسکال) و تنش خشکی (۱/۵- مگاپاسکال)) به عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل چهار رقم کینوا (Q 26، Q 29، Giza 1 و Red Carina) و محلول پاشی با هورمون سیتوکینین در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بودند. تیمار آبیاری و رقم در این بررسی بر تمام صفات مورد ارزیابی اثر معنی داری داشتند. محلول پاشی با سیتوکینین بر تمام صفات مورد ارزیابی، به غیر از طول خوشه اصلی و شاخص سبزیبگی، اثر معنی داری داشت. بیشترین و کمترین عملکرد دانه با ۲۳۶۴/۷ و ۱۷۰۱/۸ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به دست آمدند. تنش خشکی سبب کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه گردید. بالاترین عملکرد دانه در رقم Giza 1 (۲۷۴۶/۶ کیلوگرم در هکتار) و Red Carina (۲۵۸۹/۷ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل گردید. محلول پاشی سیتوکینین بر عملکرد دانه ارقام Q 26 و Q 29 اثر معنی داری نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده می توان رقم Giza 1 را به عنوان رقمی مناسب جهت کشت در شرایط مطلوب و تنش خشکی مورد توجه قرار داد.

**واژگان کلیدی:** بنزیل آمینو پورین، تنش، رقم، عملکرد دانه، *Chenopodium quinoa*.

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.

## مقدمه

علاوه بر افزایش جمعیت، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر امنیت غذایی، میزان تولید محصولات کشاورزی است (Anonymus, 2012) که تحت تأثیر انواع تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرد (Wani and Sah, 2014). خشکی شایع‌ترین تنش غیرزنده بوده (Daryanto *et al.*, 2016) که به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد کاهش عملکرد گیاهان را سبب می‌شود (Zlatev and Lidon, 2012).

خشکی یک تنش چند بُعدی بوده و به‌طور کلی منجر به تغییر در صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، اکولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان می‌شود (Bhargava and Sawant, 2013). تأثیر اصلی تنش خشکی بر مورفولوژی گیاهان، کاهش اندازه است (Hossain *et al.*, 2016) که از آن جمله می‌توان به کاهش ارتفاع و قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی، طول خوشه (Jaleel *et al.*, 2009; Nezhadahmadi *et al.*, 2013)، دوام برگ و همچنین کاهش تعداد گل و میوه اشاره کرد (Farooq *et al.*, 2009). از دلایل اصلی کاهش فتوسنتز در گیاهان تحت تنش خشکی می‌توان کاهش سطح برگ، افزایش مقاومت روزنه‌ای، افزایش سرعت پیری برگ (Ding *et al.*, 2013; Mishra and Singh, 2011) و کاهش میزان کلروفیل (Arbona *et al.*, 2013) را نام برد که مورفولوژی گیاه را تغییر می‌دهند. کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی سبب کاهش اندازه گیاه و زیست‌توده می‌شود (Salehi-Lisar and Bakhshayeshan-Agdam, 2016).

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به‌دلیل ارزش غذایی بالا و همچنین

تحمل بالا به شرایط نامساعد محیطی از اصلی‌ترین منابع غذایی می‌باشد (Vega-Galvez *et al.*, 2010). این گیاه مقاومت زیادی در برابر تنش‌های غیرزنده داشته و به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های حاشیه‌ای و فقیر را دارد (Jacobsen *et al.*, 2009).

کینوا همانند سایر گیاهان تحت تأثیر تنش‌ها قرار داشته و رشد و نمو آن در شرایط تنش دچار تغییر می‌گردد. در پژوهش‌های مختلف گزارش شده که تنش خشکی سبب کاهش برخی صفات مورفولوژیکی مانند سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه (Stikić *et al.*, 2015)، ارتفاع بوته، سطح برگ (Sun *et al.*, 2009; González *et al.*, 2014)، وزن تر و خشک شاخساره، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده می‌گردد (Dawood, 2018; Yang *et al.*, 2016). همچنین، گزارش گردیده که تنش خشکی سبب افزایش طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه شده (Dawood, 2018) ولی بر ارتفاع بوته (Stikić *et al.*, 2015) و شاخص سبزی‌نگی برگ (Sun *et al.*, 2014) اثر معنی‌داری نداشت.

پاسخ گیاهان به تنش‌های غیرزنده به عوامل مختلفی بستگی داشته که یکی از آنها هورمون‌ها می‌باشد. هورمون‌های گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین ترکیبات داخلی گیاهان (Fahad *et al.*, 2015) نقش بسیار مهمی در رشد و فرآیندهای نمو گیاهان دارند (Kang *et al.*, 2012; Nishiyama *et al.*, 2011). سیتوکینین‌ها با هماهنگ کردن مسیرهای انتقال پیام، در پاسخ به تنش‌های غیرزنده نقش اساسی دارند (Kazan, 2015). توانایی تأثیر سیتوکینین بر مقاومت گیاه به عوامل نامساعد محیطی یکی از مهم‌ترین ویژگی این

هورمون بوده که فرصتی را برای مدیریت مقاومت در گیاهان مهیا کرده است (Argueso et al., 2009). گزارش‌های مختلفی در رابطه با تأثیر سیتوکینین بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاهان مختلف تحت شرایط مطلوب و تنش خشکی ارائه گردیده است. محلول‌پاشی ذرت با بنزیل آمینوپورین سبب افزایش سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن تر ریشه و اندام هوایی گردید ولی بر تعداد برگ، قطر ساقه، دمای برگ و وزن خشک ریشه و اندام هوایی اثری نداشت (Ali et al., 2011). در پژوهشی دیگر گزارش گردیده که محلول‌پاشی بنزیل‌آمینوپورین سبب افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، محتوای کلروفیل، تعداد برگ، طول شاخه فرعی، وزن تر اندام هوایی، طول میانگرمه و تعداد گره گیاه بادرنجبویه گردید (Valiyari and Nourafcan, 2018). گزارش گردیده که محلول‌پاشی ذرت با سیتوکینین در شرایط تنش خشکی سبب کاهش دمای کانوبی و کاهش پیری برگ و افزایش شاخص کلروفیل گردید ولی بر ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ اثر معنی‌داری نداشت (Mahrokh et al., 2019). محلول‌پاشی بنزیل‌آمینوپورین سبب افزایش ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی در سیب‌زمینی گردید (Doustipour et al., 2016). در تحقیقی بر روی بادمجان مشخص گردید که محلول‌پاشی با بنزیل آمینوپورین سبب افزایش تعداد برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک شد (Opabode and Owojori, 2018). کاربرد خارجی کینتین سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ و سطح برگ گیاه کنگد تحت در شرایط تنش خشکی گردید (Hussein et al., 2015). در آزمایشی، محلول‌پاشی گندم با سیتوکینین در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ارتفاع بوته (Mehraban and Ghanjali,

2019; Zaheer et al., 2014) و سطح برگ (Nagar et al., 2015) در شرایط تنش خشکی گردید. تأثیر مثبت یا منفی سیتوکینین‌ها در گیاهان بسته به زمان مصرف، غلظت مورد استفاده و گونه گیاهی متفاوت است. در اکثر پژوهش‌ها گزارش گردیده که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزنده می‌شود. صفات مورفولوژیکی گیاهان تحت شرایط تنش خشکی دچار تغییر شده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد دانه اثر می‌گذارند. با توجه به اهمیت بالای کینوا در امنیت غذایی و همچنین هورمون سیتوکینین در شرایط تنش، آزمایشی به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد دانه ارقام مختلف کینوا تحت شرایط تنش طراحی و اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 40'$  طول شرقی و  $24^{\circ} 24' 15''$  عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (پتانسیل آب خاک ۰/۴- مگاپاسکال به عنوان تیمار شاهد و پتانسیل آب خاک ۱/۵- مگاپاسکال تیمار تنش خشکی) به‌عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل چهار رقم کینوا (Giza 1, Q 29, Q 26 و Red Carina) و محلول پاشی با هورمون سیتوکینین در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بود. پس از انجام شخم بهاره، مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات‌تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود

$$W \% = [(W_1 - W_2) \div W_2] \times 100$$

که در آن  $W$ : درصد رطوبت وزنی خاک،  $W_1$ : وزن خاک مرطوب و  $W_2$ : وزن خاک خشک می‌باشد. برای ترسیم منحنی رطوبتی خاک، پس نمونه برداری، پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی (درصد رطوبت وزنی و مکش خاک) ترسیم و با کمک این منحنی، پتانسیل‌های مورد نظر محاسبه گردید. درصد وزنی رطوبت خاک مزرعه آزمایش در نقطه ظرفیت زراعی، ۳۳ درصد و در نقطه پژمردگی دائم، ۱۲ درصد تعیین شد (شکل ۱).

تیمار محلول پاشی سیتوکینین (بنزیل آمینوپورین) نیز یک مرتبه در شروع گلدهی (۱۵ مرداد ماه) و مرحله دوم دو هفته پس از محلول پاشی نوبت اول (۳۰ مرداد ماه) انجام شد. بدین منظور، ابتدا غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار از هورمون سیتوکینین آماده و در هنگام غروب آفتاب روی گیاه اسپری گردید. به منظور کاهش کشش سطحی آب و در نتیجه جذب بهتر، مقدار پنج سی‌سی ماده توئین ۲۰ رقیق شده (۰/۱ درصد) به مخزن سم‌پاش اضافه گردید. تیمار شاهد (غلظت صفر) شامل آب شهری با همان مقدار توئین ۲۰ بود. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته و قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی و گل‌دهنده، طول خوشه اصلی و فرعی پس از رسیدگی کامل بوته‌ها (۱۸ مهر ماه)، ده بوته به‌طور تصادفی از هر کرت (پس از حذف حاشیه) برداشت و صفات ذکر شده اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان داده نهایی مد نظر قرار گرفت. صفت قطر ساقه به کمک کولیس دیجیتالی مدل Guanglu- 200 mm بر حسب میلی‌متر از حدود پنج سانتی‌متر بالای طوقه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری سطح برگ نیز دو هفته پس از محلول پاشی نوبت دوم، تعداد ده

سولفات پتاسیم به زمین اضافه و سپس عملیات دیسک‌زنی و تسطیح زمین انجام گرفت. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای با نوار تیپ انجام گردید. کشت در ۱۲ خرداد ماه و به‌صورت هیرم‌کاری انجام شد. بدین منظور، ابتدا زمین مورد نظر به مدت یک ساعت (۲۰ لیتر آب در متر مربع) آبیاری گردید و پس از گاو رو شدن خاک، کشت بذر انجام شد. زمان کاشت تا استقرار کامل بوته‌ها (مرحله چهار تا شش برگی) حدود سه هفته به طول انجامید و در این مدت، کل مزرعه هر پنج روز یک‌بار حدود سه ساعت (۶۰ لیتر در مترمربع) آبیاری گردید. هر کرت شامل چهار ردیف کشت به طول سه متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف‌های کشت، ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها و با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است. عملیات داشت شامل کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و کنترل آفات برگ‌خوار و شته، با دیازینون (۰/۴- و ۱/۵- مگاپاسکال) پس از استقرار کامل بوته‌ها به کمک منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) محاسبه و اعمال شد. بدین منظور هر دو روز یک‌بار از قسمت‌های مختلف مزرعه به‌صورت تصادفی تا عمق ۴۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه و داخل سیلندرهای فلزی قرار داده شد، سپس بلافاصله به آزمایشگاه انتقال و توزین گردید. پس از توزین اولیه (وزن مرطوب خاک)، نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس دوباره توزین گردید تا میانگین وزن خاک خشک به‌دست آید. سپس طبق فرمول زیر، درصد رطوبت خاک بر حسب وزنی محاسبه گردید (Alizadeh, 2015):

بوته به صورت تصادفی انتخاب و جدا گردید، سپس به کمک دستگاه اسکنر مدل Delta-T Devices Cambridge, UK اسکن و سپس توسط نرم افزار مربوطه محاسبه گردید. به منظور اندازه گیری عملکرد دانه، از هر کرت دو مترمربع برداشت و پس از خرمن کوبی و پاک کردن بذور، عملکرد به صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. تجزیه ی واریانس داده های به دست آمده به کمک نرم افزار SAS var. 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید.

سیتوکینین در رقم Q 26 مشاهده گردید (جدول ۶). تنش خشکی به عنوان محدود کننده ترین عامل رشد طولی گیاهان شناخته شده است (Raza et al., 2017). رشد و نمو در گیاهان حاصل افزایش در تعداد، اندازه و تمایز سلول ها بوده و این مراحل به دلیل وابستگی به فشار تورژسانس، به کمبود آب بسیار حساس هستند (Sikuku et al., 2010). کاهش ارتفاع گیاه در پاسخ به تنش خشکی ممکن است به دلیل کاهش گسترش سلول، آماس سلول، حجم سلول و در نهایت رشد سلول باشد (Farooq et al., 2012). یکی دیگر از دلایل کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش رطوبتی، تغییر جهت بارگیری مواد فتوسنتزی تولید شده از اندام هوایی به سمت ریشه ها به منظور افزایش جذب آب می باشد (Dawood, 2018). کاهش ارتفاع ارقام مختلف کینوا تحت شرایط تنش خشکی در پژوهش های مختلف گزارش شده است (Telahigue et al., 2017; Dawood, 2018; Sun et al., 2014; Yang et al., 2016; Elewa et al., 2017). پژوهش های اخیر نشان داده که محلول پاشی سیتوکینین در گیاه کنجد (Hussein et al., 2015)، ذرت (Ali et al., 2011) و گندم (Akter et al., 2014; Zaheer et al., 2019) تحت شرایط تنش خشکی، سبب افزایش ارتفاع بوته می گردد که با نتایج این پژوهش همسو می باشد.

#### تعداد شاخه فرعی و گل دهنده

نتایج تجزیه واریانس داده ها بیانگر تأثیر معنی دار تیمارهای آبیاری، رقم و هورمون بر صفت تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه گل دهنده بود. اثر متقابل آبیاری  $\times$  رقم نیز در سطح پنج درصد بر تعداد شاخه جانبی معنی دار بود ولی هیچ یک از اثرات متقابل تیمارها بر صفت تعداد شاخه گل

بوته به صورت تصادفی انتخاب و جدا گردید، سپس به کمک دستگاه اسکنر مدل Delta-T Devices Cambridge, UK اسکن و سپس توسط نرم افزار مربوطه محاسبه گردید. به منظور اندازه گیری عملکرد دانه، از هر کرت دو مترمربع برداشت و پس از خرمن کوبی و پاک کردن بذور، عملکرد به صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. تجزیه ی واریانس داده های به دست آمده به کمک نرم افزار SAS var. 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید.

#### نتایج و بحث

##### ارتفاع بوته و قطر ساقه

تیمار آبیاری، هورمون، رقم و اثر متقابل آبیاری  $\times$  رقم و رقم  $\times$  هورمون بر ارتفاع بوته اثر معنی داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). بالاترین ارتفاع بوته هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش، در ارقام Q 26 و Q 29 مشاهده گردید (جدول ۴). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش ارتفاع بوته گردید. بالاترین ارتفاع بوته (۲۰۳/۳۷ سانتی متر) با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین در رقم Q 29 مشاهده گردید (جدول ۶). قطر ساقه نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و فقط اثر متقابل آبیاری  $\times$  رقم  $\times$  هورمون بر صفت قطر اثر معنی داری نداشت (جدول ۲). بیشترین قطر ساقه (۱۷/۴۹ میلی متر) در رقم Q 26 تحت شرایط مطلوب و کمترین آن تحت شرایط تنش در ارقام Giza 1 و Q 26 مشاهده گردید (جدول ۴). در شرایط مطلوب رطوبتی کاربرد سیتوکینین تأثیری بر قطر ساقه نداشت ولی در شرایط تنش، سیتوکینین سبب افزایش قطر ساقه گردید (جدول ۵). بالاترین قطر ساقه (۱۵/۹۹ میلی متر) با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار

ریشه‌ها نسبت داد. همچنین، کاهش سطوح سیتوکینین در شرایط تنش سبب افزایش غالبیت انتهایی شده و به دنبال آن تشکیل شاخه‌های جانبی گیاه کاهش می‌یابد تا به نوعی از هدر رفت آب و مواد فتوسنتزی گیاه جلوگیری کند (O'Brien and Benková, 2013). داوود (Dawood, 2018) گزارش کرد که در شرایط تنش خشکی تعداد شاخه فرعی و شاخه گل‌دهنده کینوا کاهش می‌یابد. گزارش شده که کاهش تعداد شاخه فرعی در کینوا سبب کاهش وزن خشک شاخساره می‌گردد (Yang et al., 2016). با توجه به نقش سیتوکینین‌ها در نمو پرچم، تولید دانه گرده (Bartrina et al., 2011; Reyes-Olalde et al., 2017)، رشد و نمو دانه و میوه گیاهان (Marsch-Martínez and De Folter, 2012) به نظر می‌رسد محلول پاشی هورمون از طریق کاهش اثرات نامطلوب تنش، کارکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه را بهبود و در نتیجه تولید گل در شاخه‌های جانبی را افزایش داده باشد.

#### طول خوشه اصلی و فرعی

تیمار آبیاری، هورمون و رقم بر طول خوشه اصلی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت ولی اثرات متقابل تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین و کمترین طول خوشه اصلی با ۲۹/۴۷ و ۲۱/۵۹ سانتی‌متر به ترتیب در تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده گردید (جدول ۳). تنش خشکی سبب کاهش ۲۶/۷ درصدی طول خوشه گردید (جدول ۳). از بین ارقام مورد بررسی، رقم Giaz1 با ۲۷/۸۴ سانتی‌متر بیشترین طول خوشه اصلی را دارا بود (جدول ۳). محلول پاشی با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین طول خوشه اصلی را به ترتیب به میزان ۴/۵ و ۱۵ درصد افزایش داد (جدول ۳).

دهنده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بالاترین تعداد شاخه فرعی تحت شرایط آبیاری مطلوب در رقم Q 29 مشاهده گردید (جدول ۴). کمترین تعداد شاخه فرعی هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش، در رقم Giza 1 حاصل شد (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش ۲۶/۵ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار مطلوب آبیاری گردید (جدول ۳). حداکثر تعداد شاخه فرعی (۲۲/۹۶) در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۳). تیمار آبیاری در سطح پنج درصد و هورمون و رقم در سطح یک درصد بر تعداد شاخه گل‌دهنده اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد شاخه گل‌دهنده (۱۲/۷۳ و ۹/۶۱) به ترتیب در آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۳). ارقام Q 26 و Q 29 بیشترین تعداد شاخه گل‌دهنده را داشتند و محلول پاشی با سیتوکینین سبب افزایش تعداد شاخه گل‌دهنده گردید به طوری که بالاترین تعداد شاخه گل‌دار (۱۲/۴۱) در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۳).

شاخه‌های فرعی یکی از مهم‌ترین عوامل تشکیل دهنده شکل ظاهری گیاه بوده و چنانچه گل و دانه تولید نمایند می‌تواند بر تعداد دانه در گیاه و به تبع آن بر عملکرد دانه اثر مستقیمی داشته باشد. یکی از وظایف مهم سیتوکینین در شکل‌دهی و رشد رویشی گیاه بوده (Gordon et al., 2009) و با کاهش غالبیت انتهایی، تولید شاخه‌های جانبی در گیاهان را تحریک می‌کند (Azizi et al., 2015). کاهش تعداد شاخه فرعی در شرایط تنش را می‌توان به کاهش توان فتوسنتزی گیاه، کاهش جذب مواد غذایی از خاک و انتقال قسمت عمده شیره پرورده به سمت

میکرومولار و شاهد مشاهده گردید (جدول ۶). تعداد برگ و سطح برگ نشان‌دهنده توان فتوسنتزی گیاه بوده و چنانچه برگ‌ها روی یکدیگر سایه‌اندازی نداشته باشند می‌توانند همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشته باشند. بیشترین سطح برگ در بوته تحت شرایط آبیاری مطلوب در ارقام Q 29 و Red Carina مشاهده گردید (جدول ۴). تحت شرایط تنش نیز رقم Q 29 بالاترین سطح برگ را داشت و بین سایر ارقام تفاوتی مشاهده نگردید (جدول ۴).

کاهش تعداد برگ گیاه کینوا در شرایط تنش را می‌توان به کاهش رشد طولی، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و ریزش برگ‌های پایینی نسبت داد. به نظر می‌رسد محلول پاشی سیتوکینین از طریق کاهش شدت تنش، بهبود رشد شاخساره، تحریک تولید شاخه‌های جانبی و افزایش دوام برگ سبب افزایش تعداد برگ در بوته می‌گردد. تنش خشکی علاوه بر تعداد برگ، سطح برگ را نیز کاهش داد. گسترش برگ حساس‌ترین عامل در پاسخ به کمبود آب بوده (Sun *et al.*, 2014) و بستگی به فشار آماس سلولی، دما و جذب کافی منابع برای رشد دارد (Anjum *et al.*, 2011). کمبود آب باعث کاهش تعداد برگ در بوته، اندازه برگ‌ها و طول عمر آنها شده (Anjum *et al.*, 2011) در نهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌گردد. تحقیقات نشان داده ارقامی از کینوا که در شرایط مطلوب رطوبتی سطح برگ کمتری دارند به کمبود آب مقاوم‌تر هستند (Sun *et al.*, 2014). نتایج تحقیقات مختلف نشان‌دهنده تأثیر تنش خشکی و سیتوکینین بر تعداد برگ و سطح برگ است. هر چند در پژوهشی گزارش گردیده که تنش خشکی بر تعداد برگ گیاه کینوا تأثیری نداشت (González *et al.*, 2009). سان و

تیمارهای آبیاری، هورمون، رقم و اثر متقابل آبیاری  $\times$  رقم بر صفت طول خوشه فرعی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری مطلوب از نظر طول خوشه فرعی تفاوتی بین ارقام مشاهده نگردید ولی در شرایط تنش از طول خوشه‌های فرعی کاسته شد. ارقام Red Carina و Q 26 بیشترین طول خوشه فرعی را دارا بودند (جدول ۴). محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش طول خوشه فرعی گردید و بالاترین طول خوشه فرعی (۱۱/۲۵ سانتی‌متر) در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد که طول خوشه اصلی، مهم‌ترین صفت در تعیین عملکرد دانه کینوا باشد، به‌خصوص در ارقامی که شاخه فرعی کمتری تولید می‌نمایند. کاهش طول خوشه اصلی و فرعی در گیاهان تحت تنش خشکی به‌طور غیرمستقیم با کاهش پیام‌رسانی سیتوکینین و کاهش تقسیم سلولی مرتبط است (Brenner *et al.*, 2012). گزارش گردیده که در شرایط تنش خشکی کاربرد سیتوکینین سبب افزایش تعداد سنبلچه و طول سنبله گندم می‌گردد (Zaheer *et al.*, 2019) که مشابه با نتایج یافته‌های این تحقیق است.

### تعداد برگ و سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر تیمار آبیاری، رقم، هورمون و اثر متقابل آبیاری  $\times$  رقم بر تعداد برگ و سطح برگ بود (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ در بوته تحت شرایط آبیاری مطلوب در رقم Q 29 مشاهده گردید ولی تحت شرایط تنش خشکی بین ارقام تفاوتی از نظر تعداد برگ وجود نداشت (جدول ۴). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش تعداد برگ در بوته گردید. بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته (۲۸۸/۵۴ و ۲۴۳/۳۹) به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰

گیاهان عنوان شده است (Arunyanark *et al.*, 2009). گزارش گردیده که روابط نزدیکی میان محتوای کلروفیل، سطح ویژه برگ، نیتروژن برگ و کارایی تعرق وجود دارد (Arunyanark *et al.*, 2008). همچنین، گزارش گردیده که کل ماده خشک با محتوای کلروفیل (Arunyanark *et al.*, 2008) و محتوای کلروفیل با میزان نیتروژن گیاه در ارتباط بوده و می‌تواند شاخص مفیدی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاح ژنتیک با هدف افزایش تحمل به تنش باشد (Anithakumari *et al.*, 2012; Cabello *et al.*, 2013). گزارش‌های ضد و نقیضی در رابطه با شاخص سبزی‌نگی گیاه و تنش خشکی وجود دارد. تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر تنش خشکی بر شاخص سبزی‌نگی برگ کینوا ارایه نگردیده است. در شرایط تنش خشکی، شاخص سبزی‌نگی گیاه گندم (Kilic and Yağbasanlar, 2010) و بادام زمینی (Arunyanark *et al.*, 2008) کاهش و در گیاه آفتابگردان افزایش می‌یابد (Nezami *et al.*, 2008). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش بیانگر کاهش شاخص سبزی‌نگی برگ گیاه کینوا تحت شرایط تنش خشکی بود.

#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر تیمار آبیاری، رقم و هورمون و اثر متقابل رقم × هورمون بر عملکرد دانه بود (جدول ۲). بیشترین کمترین عملکرد دانه با ۲۳۶۴/۷ و ۱۷۰۱/۸ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی سبب کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه گردید (جدول ۳). بالاترین عملکرد دانه در رقم Giza 1 (۲۷۴۶/۶ کیلوگرم در هکتار) و Red Carina (۲۵۸۹/۷ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد

همکاران (Sun *et al.*, 2014) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی گسترش برگ ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد. افزایش سطح برگ و تعداد برگ با کاربرد سیتوکینین در گندم (Zaheer *et al.*, 2019), ذرت (Ali *et al.*, 2019; Mahrokh *et al.*, 2015) و کنجد (Hussein *et al.*, 2011) نیز گزارش گردیده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

#### شاخص سبزی‌نگی

سبزی‌نگی گیاه (شاخص کلروفیل) تحت تأثیر آبیاری، رقم و اثر متقابل آبیاری × رقم قرار گرفت ولی کاربرد سیتوکینین تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل نداشت (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ۲۹ درصدی سبزی‌نگی گیاه گردید (جدول ۳). بالاترین میزان کلروفیل تحت شرایط آبیاری مطلوب در رقم Giza 1 مشاهده گردید و بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سبزی‌نگی وجود نداشت (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی شاخص سبزی‌نگی برگ بین همه ارقام مورد بررسی یکسان بود (جدول ۴). شاخص سبزی‌نگی تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد که این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ و نیتروژن دارد (Gholizadeh *et al.*, 2017). محتوای کلروفیل برگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای رویشی، نه تنها در مورد وضعیت فیزیولوژیکی بلکه در مورد خصوصیات فنوتیپی گیاهان اطلاعات ارزشمندی را ارایه می‌دهد (Ainsworth *et al.*, 2014; Fiorani and Schurr, 2013). مقدار کلروفیل موجود در برگ‌ها در بسیاری از گیاهان زراعی با ظرفیت فتوسنتزی ارتباط نزدیکی دارد (Arunyanark *et al.*, 2008). توانایی حفظ غلظت کلروفیل در شرایط کمبود آب به‌عنوان مکانیسم مقاومت به خشکی در برخی



کاربرد سیتوکینین در شرایط مطلوب و تنش خشکی افزایش پیدا کرد (Zaheer *et al.*, 2019) که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. نتایج نشان داد که کارآیی هورمون سیتوکینین در شرایط تنش بالاتر می‌رود که با نتایج سایر پژوهش‌ها همخوانی دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

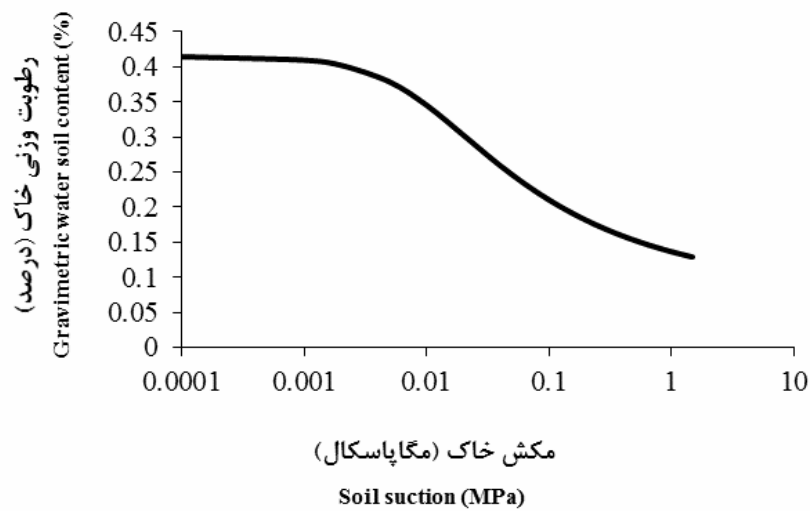
نتایج نشان‌دهنده اثرات نامطلوب تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد کینوا بود. تنش خشکی با کاهش سطح و تعداد برگ سبب کاهش توان فتوسنتزی گیاه گردیده است. با کاهش میزان فتوسنتز، صفات مرتبط با عملکرد مثل طول خوشه اصلی و فرعی و تعداد شاخه گل‌دهنده کاهش و در نهایت عملکرد دانه کاهش یافت. محلول‌پاشی با سیتوکینین هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی سبب افزایش صفات مورفولوژیکی مانند تعداد برگ، سطح برگ، طول خوشه اصلی و فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده و در نهایت عملکرد گردید. بهترین رقم از نظر عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین، رقم Giza 1 بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، رقم Giza 1 جهت کشت در شرایط مطلوب و تنش خشکی توصیه می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به تأثیر مثبت سیتوکینین هم در شرایط تنش و هم در شرایط مطلوب آبیاری، کاربرد این هورمون می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت افزایش عملکرد کینوا باشد.

۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل گردید (جدول ۶). محلول‌پاشی سیتوکینین اثر معنی‌داری بر عملکرد ارقام Q 26 و Q 29 نداشت (جدول ۶). در رقم Giza 1، غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین عملکرد را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد در حالی که در رقم Red Carina، فقط غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۶). لذا، به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش، کاهش تعداد برگ و سطح برگ سبب کاهش فتوسنتز در گیاه شده و در نهایت میزان عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است. کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌علت بسته شدن روزنه‌ها بسته شدن روزنه‌ها و کاهش غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای و در نهایت کاهش فتوسنتز باشد (Mafakheri *et al.*, 2010). به‌عقیده داوود (Dawood, 2018) کاهش عملکرد گیاه کینوا به‌طور عمده به‌علت کاهش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی است. کاهش عملکرد دانه ارقام کینوا در پژوهش‌های مختلفی گزارش گردیده است (Elewa *et al.*, 2017; Dawood, 2018; Telahigue *et al.*, 2017). به‌نظر می‌رسد کاربرد هورمون سیتوکینین از طریق کاهش اثرات نامطلوب تنش، سبب افزایش تعداد برگ و سطح برگ شده و به تبع آن سطح فتوسنتز کننده گیاه را افزایش داده باشد. با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه، تعداد شاخه گل‌دهنده و طول خوشه فرعی افزایش یافته و در نهایت عملکرد دانه افزایش پیدا کرده است. نتایج پژوهشی نشان داده که عملکرد دانه گندم با

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical characteristics of field soil

آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	مواد آلی O.M (%)	آهک Lime (%)	نیترژن N (%)	بافت خاک Soil texture
mg.g <sup>-1</sup>											
2.01	0.35	0.24	0.41	156.1	21.3	7.4	1.24	0.46	15.2	0.23	لومی شنی Sandy Loam



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش

Figure 1- The curve moisture of soil location of test

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر صفات مورد ارزیابی کینوا تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

**Table 2-** Analysis of variance of the effect foliar application of cytokinin on studied traits of quinoa in optimal irrigation and drought stress condition

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Height plant	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه فرعی Number of lateral branch	تعداد شاخه گل دهنده Number of branch flowering
Block بلوک	3	47.15 <sup>ns</sup>	1.21 <sup>ns</sup>	113.03*	23.20 <sup>ns</sup>
Irrigation آبیاری	1	19527.07**	195.59**	654.95**	233.59*
Main Error خطای اصلی	3	7.02	1.31	9.73	12.80
Cultivar رقم	3	3666.64**	30.40**	267.14**	58.23**
Hormone هورمون	2	1456.93**	10**	129.50**	47.26**
آبیاری × رقم (I × C)	3	307.52**	11.13**	18.31*	1.14 <sup>ns</sup>
آبیاری × هورمون (I × H)	2	60.71 <sup>ns</sup>	3.14**	2.01 <sup>ns</sup>	1.64 <sup>ns</sup>
رقم × هورمون (C × H)	6	154.13**	1.38*	1.29 <sup>ns</sup>	0.81 <sup>ns</sup>
آبیاری × رقم × هورمون (I × C × H)	6	54.95 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	3.26 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>
Total Error خطای کل	66	2372.85	0.535	372.85	119.86
ضریب تغییرات C.V. (%)	---	3.33	5.36	11.34	12.05

\*, \*\*, و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم معنی داری.

\*, \*\*, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

## ادامه جدول ۲

**Table 2-** Continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	طول خوشه اصلی Length of main ear	طول خوشه فرعی Length of lateral ear	تعداد برگ Number of leaf	سطح برگ Leaf area	شاخص سبزیگی Greenness index (SPAD)	عملکرد دانه Grain yield
Block بلوک	3	12.21 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	2221.68 <sup>ns</sup>	376627.36 <sup>ns</sup>	193.81 <sup>ns</sup>	2080.34 <sup>ns</sup>
Irrigation آبیاری	1	1491.5**	292.42**	306032.3**	29143216.5**	10709.43**	105461.4**
Main Error خطای اصلی	3	3.74	0.31	2564.75	702378.66	149.73	983.09
Cultivar رقم	3	62.93**	2.84**	25856.79**	3070785.52**	308.50*	30805.35**
Hormone هورمون	2	105.47**	12.98**	16340.45**	2949042.54**	160.94 <sup>ns</sup>	12571.97**
آبیاری × رقم (I × C)	3	6.09 <sup>ns</sup>	5.23**	20724.67**	1237083.41**	345.71*	541.53 <sup>ns</sup>
آبیاری × هورمون (I × H)	2	6.88 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	890.24 <sup>ns</sup>	112859.26 <sup>ns</sup>	15.79 <sup>ns</sup>	169.09 <sup>ns</sup>
رقم × هورمون (C × H)	6	4.93 <sup>ns</sup>	0.68 <sup>ns</sup>	416.01 <sup>ns</sup>	15544.43 <sup>ns</sup>	18.71 <sup>ns</sup>	2121.17*
آبیاری × رقم × هورمون (I × C × H)	6	3.76 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>	133.89 <sup>ns</sup>	24807.52 <sup>ns</sup>	55.96 <sup>ns</sup>	260.03 <sup>ns</sup>
Total Error خطای کل	66	162.80	36.54	58709.36	9353725.19	7027.69	53685.59
ضریب تغییرات C.V. (%)	---	6.15	6.97	11.23	16.37	16.50	14.02

\*, \*\*, و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم معنی داری.

\*, \*\*, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

**جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی کینوا با کاربرد سیتوکینین در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی**  
**Table 3- Mean comparisons of morphological traits of quinoa with cytokinin application under optimal irrigation and drought stress condition**

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Height plant (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد شاخه فرعی Number of lateral branch	تعداد شاخه گل‌دهنده Number of branch flowering	طول خوشه اصلی Length of main ear (cm)
سطوح آبیاری (Irrigation level)					
مطلوب (Optimal)	193.80 a	15.06 a	23.56 a	12.73 a	29.47 a
خشکی (Drought)	165.27 b	12.21 b	18.34 b	9.61 b	21.59 b
رقم (Cultivar)					
Giza 1	166.65 c	12.88 c	16.18 c	9.54 b	27.84 a
Q 26	188.66 a	12.63 c	22.97 a	12.21 a	24.51 c
Q 29	191.46 a	15.10 a	23.51 a	12.77 a	24.30 c
Red Carina	171.36 b	13.92 b	21.14 b	10.18 b	25.46 b
سیتوکینین (میکرومولار) (Cytokinin ( $\mu\text{m}$ ))					
0	186.27 a	13.11 c	18.93 c	9.98 c	23.87 c
50	179.56 b	13.56 b	20.96 b	11.14 b	25.41 b
100	172.77 c	14.22 a	22.96 a	12.41 a	27.40 a

در هر ستون، سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.  
 In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

**ادامه جدول ۳**  
**Table 3- Continued**

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Height plant (cm)	طول خوشه فرعی Length of lateral ear (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	سطح برگ هر بوته Leaf area per plant ( $\text{cm}^2$ )	شاخص سبزی‌نگی Greenness index (SPAD)	عملکرد دانه Grain yield ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
سطوح آبیاری (Irrigation level)						
مطلوب (Optimal)	193.80 a	12.41 a	321.84 a	2850.2 a	73.06 a	2364.700 a
خشکی (Drought)	165.27 b	8.92 b	208.91 b	1748.2 b	51.94 b	1701.800 b
رقم (Cultivar)						
Giza 1	166.65 c	10.39 b	248.10 c	2091.7 c	67.68 a	2400.100 a
Q 26	188.66 a	10.80 ab	231.58 c	1959.3 c	61.10 b	1663.800 b
Q 29	191.46 a	10.35 b	306.52 a	2767.2 a	59.46 b	1795800 b
Red Carina	171.36 b	11.10 a	275.32 b	2378.5 b	61.75 ab	2273.300 a
سیتوکینین (میکرومولار) (Cytokinin ( $\mu\text{m}$ ))						
0	186.27 a	9.99 c	243.39 c	1196.95 c	60.14 a	1829.200 c
50	179.56 b	10.77 b	264.20 b	2296.54 b	62.76 a	2045.300 b
100	172.77 c	11.25 a	288.54 a	2604.08 a	64.60 a	2225.100 a

در هر ستون، سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.  
 In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × رقم بر خصوصیات مورفولوژیکی کینوا تحت شرایط تنش خشکی

**Table 4-** Mean comparisons of the interaction effect irrigation × cultivar on morphological traits of quinoa under drought stress condition

آبیاری Irrigation	رقم Cultivar	ارتفاع بوته Height plant (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد شاخه فرعی Number of lateral branch	طول خوشه فرعی Length of lateral ear (cm)	تعداد برگ Number of leaf per plant	سطح برگ Leaf area per plant (cm <sup>2</sup> )	شاخص سبزیگی Greeness index (SPAD)
مطلوب Optimal	Giza 1	176.31±8.1c	14.22±0.8c	18.78±3.7d	12.67±0.9a	282.6±2.5c	2463.06±29.6b	83.71±8.8a
	Q 26	202.33±5.4a	13.45±0.8d	24.47±3.2b	12.06±0.8a	259.33±2.9c	2305.35±34.9bc	69.84±10.1b
	Red Carina	207.03±16a	17.49±0.9a	27.14±3.6a	12.36±0.8a	388.6±6.6a	3454.01±56.4a	66.92±14.5b
خشکی Drought	Giza 1	157±6.4d	11.55±0.9f	13.50±3.7e	8.11±0.7c	213.6±3.8de	1720.42±38.7d	51.64±6.2c
	Q 26	175±5.4c	11.81±0.9f	21.47±2.1c	9.55±1.4b	203.83±3.3de	1613.34±34.3d	52.37±9.3c
	Red Carina	175.89±10.2c	12.7±1.1e	19.87±3.1cd	8.41±0.7c	224.43±3.2d	2080.39±87.1c	52±5.1c
	Red Carina	153.2±6.5d	12.77±0.1e	18.52±4.1d	9.63±1b	193.81±2e	1578.69±20.5d	51.72±7.6c

در هر ستون، سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × هورمون بر خصوصیات مورفولوژیکی کینوا تحت شرایط تنش خشکی

**Table 5-** Mean comparisons of the interaction effect hormone × irrigation on morphological traits of quinoa under drought stress condition

آبیاری Irrigation	هورمون Hormone	قطر ساقه Stem diameter (mm)
مطلوب Optimal	0	14.87±1.4a
	50	14.95±1.7a
	100	15.36±2.1a
تنش Drought	0	11.36±0.9d
	50	12.17±0.83c
	100	13.09±0.83b

در هر ستون سطوح، تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × هورمون بر خصوصیات مورفولوژیکی کینوا تحت شرایط تنش خشکی

**Table 6-** Mean comparisons of the interaction effect cultivar × hormone on morphological traits of quinoa under drought stress condition

رقم Cultivar	هورمون Hormone	ارتفاع بوته Height plant (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
Giza 1	0	162.93±13.8f	12.9±2.2fg	2071.500±62.3de
	50	162.65±6.6f	12.54±1.5g	2382.200±55.7bc
	100	174.37±12.3e	13.3±1.1ef	2746.600±60.1a
Q 26	0	184.12±16.7cd	12.11±1.5g	1490.100±28.6g
	50	189.62±11.7bc	12.89±1.1fg	1723.100±28.5fg
	100	192.25±16.6b	12.88±0.7fg	1778.200±42.2efg
Q 29	0	179.27±16.2de	14.15±2.9cd	1646.100±33.7g
	50	191.75±17.5b	15.16±2.1b	1955.300±39.3def
	100	203.37±22.3a	15.99±2.5a	1786.100±32.4efg
Red Carina	0	164.78±19.8f	13.29±1.5ef	2109.400±39.7cd
	50	174.21±20.2e	13.75±1.4de	2120.800±56.3cd
	100	175.09±19.9e	14.73±1.4bc	2589.700±45.5ab

در هر ستون، سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

## References

## منابع مورد استفاده

- Ainsworth, E.A., S.P. Serbin, J.A. Skoneczka, and P.A. Townsend. 2014. Using leaf optical properties to detect ozone effects on foliar biochemistry. *Photosynthesis Research*. 119: 65–76.
- Akter, N., M.R. Islam, M.A. Karim, and T. Hossain. 2014. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 17(1): 41-48.
- Ali, Z., S.M.A. Basra, H. Munir, A. Mahmood, and S. Yousaf. 2011. Mitigation of drought stress in maize by natural and synthetic growth promoters. *Journal of Agriculture, Forestry and the Social Sciences*. 7(2): 56-62.
- Alizadeh, A. 2015. Irrigation systems design. (38 Edition Revised), Imam Reza University Publication. 452 pages. (In Persian).
- Anithakumari, A.M., K.N. Nataraja, R.G. Visser, and C.G. van der Linden. 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding*. 30: 1413–1429.
- Anjum, S.A., X.Y. Xie, L.C. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. 6(9): 2026-2032.
- Anonymus. 2012. FAO, WFP and IFAD. The State of Food Insecurity in the World. 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. FAO, Rome.
- Arbona, V., M. Manzi, C. Ollas, and A. Gómez-Cadenas. 2013. Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 14(3): 4885-4911.
- Argueso, C.T., F.J. Ferreira, and J.J. Kieber. 2009. Environmental perception avenues: the interaction of cytokinin and environmental response pathways. *Plant, Cell and Environment*. 32(9): 1147-1160.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, T. Kesmla, R.C. Nageswara Rao, G.C. Wright, and A. Patanothai. 2008. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(2): 113-125.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmla, and A. Patanothai. 2009. Chlorophyll meter readings in peanut across different drought stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*. 8(2): 102-110.
- Azizi, P., M.Y. Rafii, M. Maziah, S.N.A. Abdullah, M.M. Hanafi, M.A. Latif, A.A. Rashid, and M. Sahebi. 2015. Understanding the shoot apical meristem regulation: a study of the phytohormones, auxin and cytokinin, in rice. *Mechanisms of Development*. 135: 1-15.
- Bartrina, I., E. Otto, M. Strnad, T. Werner, and T. Schmülling. 2011. Cytokinin regulates the activity of reproductive meristems, flower organ size, ovule formation, and thus seed yield in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*. 23(1): 69-80.

- Bhargava, S., and K. Sawant. 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*. 132 (1): 21-32.
- Brenner, W.G., E. Ramireddy, A. Heyl, and T. Schmülling. 2012. Gene regulation by cytokinin in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*. 3 (8): 1-22.
- Cabello, R., P. Monneveux, F. De Mendiburu, and M. Bonierbale. 2013. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica*. 193: 147–156.
- Daryanto, S., L.X. Wang, and P.A. Jacinthe. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE*. 11(5): 1-15.
- Dawood, M.G. 2018. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 19(5): 245-254 .
- Ding, Y., Y. Tao, and C. Zhu. 2013. Emerging roles of micro RNAs in the mediation of drought stress response in plants. *Journal of Experimental Botany*. 64(11): 3077-3086.
- Doustipour, S., M. Barmaki, D. Hassanpanah, and S. Khomari. 2016. Study the effects of synthetic cytokinin on growth and yield of potato cultivares. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (In Persian).
- Elewa, T.A., M.S. Sadak, and A.M. Saad. 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*. 14(1): 21-33.
- Fahad, S., S. Hussain, A. Bano, S. Saud, S. Hassan, D. Shan, F.A. Khan, F. Khan, Y. Chen, C. Wu, and M.A. Tabassum. 2015. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. *Environmental Science and Pollution Research*. 22(7): 4907-4921.
- Farooq M., M. Hussain, A. Wahid, and K. Siddique. 2012. Drought stress in plants: an overview. In plant responses to drought stress. Edited by Aroco R. Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1-33.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D.B.M.A. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*. 29(1): 185-212.
- Fiorani, F., and U. Schurr. 2013. Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*. 64: 267–291.
- Gholizadeh, A., M. Saberioon, L. Borůvka, A. Wayayok, and M.A.M. Soom. 2017. Leaf chlorophyll and nitrogen dynamics and their relationship to lowland rice yield for site-specific paddy management. *Information Processing in Agriculture*. 4(4): 259-268.
- González, J.A., M. Gallardo, M.B. Hilal, M.D. Rosa, and F.E. Prado. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*. 50(1): 35–42.



- Gordon, S.P., V.S. Chickarmane, C. Ohno, and E.M. Meyerowitz. 2009. Multiple feedback loops through cytokinin signaling control stem cell number within the Arabidopsis shoot meristem. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106(38): 16529-16534.
- Hossain, M.A., S.H. Wani, S. Bhattacharjee, D.J. Burritt, and L.S.P. Tran. 2016. Drought stress tolerance in plants, Volume 1: Physiology and Biochemistry. Springer.
- Hussein, Y., G. Amin, A. Azab, and H. Gahin. 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. *Journal of Plant Sciences*. 10(4): 128-141.
- Jacobsen, S.E., F. Liu, and C.R. Jensen. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*. 122(2): 281-287.
- Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H. Al-Juburi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International of Journal Agriculture and Biology*. 11(1): 100-105.
- Kang, N.Y., C. Cho, N.Y. Kim, and J. Kim. 2012. Cytokinin receptor-dependent and receptor-independent pathways in the dehydration response of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Physiology*. 169(14): 1382-1391.
- Kazan, K. 2015. Diverse roles of jasmonates and ethylene in abiotic stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 20(4): 219-229.
- Kilic, H., and T. Yağbasanlar. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(1): 164-170.
- Mafakheri, A., A.F. Siosemardeh, B. Bahramnejad, P.C. Struik, and Y. Sohrabi. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*. 4(8): 580-585.
- Mahrokh, A., M. Nabipour, H. Roshanfekar, and R. Choukan. 2019. Response of some grain maize physiological parameters to drought stress and application of auxin and cytokinin hormones. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1):1-15. (In Persian).
- Marsch-Martinez, N., D. Ramos-Cruz, J. Irepan Reyes-Olalde, P. Lozano-Sotomayor, V.M. Zuniga-Mayo, and S. De Folter. 2012. Arabidopsis gynoecia and fruit morphogenesis and patterning. *The Plant Journal*. 72(2): 222-234.
- Mehraban, A., and H. Ghanjali. 2014. Effect of water stress and spraying cytokinin hormone on hamoon wheat variety in sistan region. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 4: 814-818.
- Mishra, A.K., and V.P. Singh. 2011. Drought modeling—A review. *Journal of Hydrology*. 403(1-2): 157-175.

- Nagar, S., S. Ramakrishnan, V.P. Singh, C.P. Singh, R. Dhakar, D.K. Umesh, and A. Arora. 2015. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. *Indian Journal of Plant Physiology*. 20(1): 31-38.
- Nezami, A., H.R. Khazaei, R.Z. Boroumand, and A. Hosseini. 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. *DESERT*. 12: 99-104.
- Nezhadahmadi, A., Z.H. Prodhan, and G. Faruq. 2013. Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*. 13:1-12.
- Nishiyama, R., Y. Watanabe, Y. Fujita, D.T. Le, M. Kojima, T. Werner, R. Vankova, K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki, T. Kakimoto, and H. Sakakibara. 2011. Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. *The Plant Cell*. 23(6): 2169-2183.
- O'Brien, J.A., and E. Benková. 2013. Cytokinin cross-talking during biotic and abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*. 4: 1-14.
- Opabode, J.T., and S. Owojori. 2018. Response of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) to foliar application of 6-benzylaminopurine and gibberellic acid. *Journal of Horticultural Research*. 26(2): 37-45.
- Raza, M.A.S., M.S. Zaheer, M.F. Saleem, H. Khan, F. Khalid, M.U. Bashir, M. Awais, R. Iqbal, S. Ahmad, M.U. Aslam, and I. Haider. 2017. Investigating drought tolerance potential of different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under reduced irrigation level. *International Journal of Biosciences*. 11: 257-265.
- Reyes-Olalde, J.I., V.M. Zúñiga-Mayo, J. Serwatowska, R.A.C. Montes, P. Lozano-Sotomayor, H. Herrera-Ubaldo, K.L. Gonzalez-Aguilera, P. Ballester, J.J. Ripoll, I. Ezquer, and D. Paolo. 2017. The bHLH transcription factor SPATULA enables cytokinin signaling, and both activate auxin biosynthesis and transport genes at the medial domain of the gynoecium. *PLoS Genetics*. 13(4): 1-14.
- Salehi-Lisar, S.Y., and H. Bakhshayeshan-Agdam. 2016. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In *Drought Stress Tolerance in Plants*, Springer, Cham. 1: 1-16.
- Sikuku, P.A., G.W. Netondo, D.M. Musyimi, and J.C. Onyango. 2010. Effects of water deficit on days to maturity and yield of three NERICA rainfed rice varieties. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*. 5(3): 1-9.
- Stikić, R., Z. Jovanović, M. Marjanović, and S. Đorđević. 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo i Povrtarstvo*. 52(2): 80-84.
- Sun, Y., F. Liu, M. Bendevis, S. Shabala, and S.E. Jacobsen. 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200(1): 12-23.

- Telahigue, D.C., L.B. Yahia, F. Aljane, K. Belhoucett, and L. Toumi. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*. 1: 222-232.
- Valiyari, M., and H. Nourafcan. 2018. Effect of IAA and BAP on morphophysiological traits of lemon balm. *Agroecology Journal*. 13(4): 23-32. (In Persian).
- Vega-Galvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente, and E.A. Martinez. 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(15): 2541-2547.
- Wani, S.H., and S.K. Sah. 2014. Biotechnology and abiotic stress tolerance in rice. *Journal of Rice Research*. 2(2): 1-2.
- Yang, A., S.S. Akhtar, M. Amjad, S. Iqbal, and S.E. Jacobsen. 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 202(6): 445-453.
- Zaheer, M.S., M.A.S. Raza, M.F. Saleem, K.O. Erinle, R. Iqbal, and S. Ahmad. 2019. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50(20): 2521-2533 .
- Zlatev, Z., and F.C. Lidon. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 24(1): 57-72.

Research Article

DOI: 10.30495/jcep.2021.679976

## Evaluating the Effect of Cytokinin Foliar Application on Morphological Traits and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Optimal Irrigation and Drought Stress Conditions

Hadi Salek Mearaji<sup>1</sup>, Afshin Tavakoli<sup>2\*</sup>, and Niaz Ali Sepahvand<sup>3</sup>

Received: June 2020, Revised: 26 October 2020, Accepted: 30 October 2020

### Abstract

Drought is the most important non-biotic stress which decreases growth and the yield of crop plants. Quinoa is a plant with high nutritional value and drought tolerant. To evaluate the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa cultivars, a split factorial experiment based on randomized complete block design was conducted during during 2017 cropping season with four replications at the research farm of Agriculture Faculty, the University of Zanjan. Experimental treatments were levels of irrigation (optimal irrigation, with -0.4 MPa and drought stress with -1.5 MPa) as main factor and sub factors were four quinoa cultivars (Q 26, Q 29, Giza1 and Red Carina) and foliar cytokinin with three levels (0, 50 and 100  $\mu$ M). Irrigation and cultivar treatment had significant effect on all evaluated traits. Foliar application with cytokinin had significant effect on all traits except length of main ear and greenness index (SPAD). The maximum and minimum of grain yield 2364.7 and 1701.8  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , obtained under optimal irrigation and drought stress conditions, respectively. Drought stress reduced seed yield by 28 percent. The highest yields obtained by Giza 1 (2746.7  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and Red Carina (2589.7  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) with the application 100  $\mu$ m of cytokinin. The foliar application of cytokinin did not affect seed yields of Q 26 and Q 29 cultivars significantly. According to the results, Giza 1 can be recommended as a suitable cultivar under both optimum and drought stress conditions at the experimental site.

**Key words:** Benzylaminopurine, *Chenopodium quinoa*, Cultivar, Grain Yield, Stress.

1-Ph.D. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2-Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3-Assistant Professor, Grain and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.

\*Corresponding Author: Tavakoli@znu.ac.ir