



به‌زرای کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۹

صفحه‌های ۴۱۹-۴۳۲

تأثیر سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیک و صفات مرتبط با عملکرد کینوا تحت شرایط تنش خشکی

هادی سالک معراجی^۱، افشین توکلی^{۲*}، نیاز علی سپهوند^۳

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

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

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی بنزیل‌آمینوپورین بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم Q26) پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۳۹۶ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری مطلوب (پتانسیل آب خاک ۰/۴- مگاپاسکال) و تنش خشکی (پتانسیل آب خاک ۱/۵- مگاپاسکال) به‌عنوان عامل اول و محلول‌پاشی با بنزیل‌آمینوپورین در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. تیمار آبیاری بر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز کلروفیل b و کارتنوئید اثر معنی‌داری داشت. تنش خشکی سبب افزایش نشت یونی، پرولین و شاخص برداشت گردید ولی بر سایر صفات اثر کاهشی داشت. اثر متقابل آبیاری و هورمون بر صفات مورد ارزیابی به‌جز کلروفیل b، کلروفیل کل، وزن هزاردانه و عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد دانه (۲۱۵/۷۵ گرم در مترمربع) تحت شرایط مطلوب رطوبتی، در غلظت ۵۰ میکرومولار و در شرایط تنش خشکی با ۱۴۹/۷۶ گرم در مترمربع در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید. بالاترین شاخص برداشت نیز با ۲۵/۶ درصد در تیمار خشکی شاهد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که کاربرد سیتوکینین سبب کاهش اثرات تنش در گیاه کینوا می‌گردد، بنابراین محلول‌پاشی با این هورمون می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری جهت افزایش عملکرد کینوا در شرایط تنش خشکی باشد.

کلیدواژه‌ها: بنزیل‌آمینوپورین، تنش خشکی، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده، محلول‌پاشی، وزن هزاردانه.

The Effect of Cytokinin on Physiological and Related Traits with Yield of Quinoa under Drought Stress Conditions

Hadi Salek Mearaji¹, Afshin Tavakoli^{2*}, Niaz Ali Sepahvand³

1. Ph.D. Candidate, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

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

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

Received: November 24, 2019

Accepted: February 19, 2020

Abstract

In order to investigate the effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on physiological traits, yield and yield components of quinoa (cultivar Q26) an factorial experiment has been conducted, based on randomized complete block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty, the University of Zanjan, during cropping seasons of 2017. The experimental factors include optimal irrigation (-0.4 MPa) and drought stress (-1.5 MPa) as primary factor and foliar 6-benzylaminopurine in three levels (0, 50, and 100 μM) as the secondary one. Irrigation treatment has significant effect on all traits, except chlorophyll b and carotenoids. Drought stress increases electrolyte leakage (EL), proline, and Harvest index (HI) though it has a declining effect on other traits. The effect of irrigation and hormone interaction has been considerable, except for chlorophyll b, total chlorophyll, thousand weight grain, and biomass yield. The highest grain yield (215.75 g.m^{-2}) in optimal irrigation is observed in 50 μM and in drought stress condition with 149.76 g.m^{-2} , obtained in 100 μM of cytokinin. The maximum harvest index (25.6%) can be observed in the control treatment of drought stress. Results show that applying cytokinin reduces the unfavorable effects on quinoa; therefore, this hormone's foliar can be a solution to enhance the grain yield of quinoa under drought stress conditions.

Keywords: Benzylaminopurine, biological yield, drought stress, foliar application, harvest index, thousand grain weight.

۱. مقدمه

شاخه گل‌دار، عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد، کربوهیدرات، پروتئین، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کینوا می‌گردد (Dawood, 2018). با بررسی چند رقم کینوا در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند که کاهش سطح برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای نقش مهمی در مقاومت به تنش داشته و ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس از محتوای کلروفیل a و b بالاتری برخوردار بودند (Fghire et al., 2017).

گیاهان از مکانیسم‌های پیچیده و گوناگونی جهت پاسخ به تنش استفاده می‌کنند (Zwack & Rashotte, 2015) مشخص گردیده است که هورمون‌های گیاهی اثرات مطلوبی بر حفظ و بقای گیاهان در شرایط تنش‌های غیر زنده دارند (Wani et al., 2016). سیتوکینین نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم رشد و پایداری سیستم فتوسنتزی در طول دوره تنش داشته و همچنین بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی القا شده توسط تنش خشکی را تعدیل می‌نماید (Werner et al., 2010). گزارش‌ها حاکی از آن است کاربرد خارجی سیتوکینین اثر مثبتی بر مقاومت گیاهان به خشکی دارد.

کاربرد سیتوکینین تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش عملکرد دانه، سطح برگ، عملکرد زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و وزن هزاردانه گندم گردید (Nagar et al., 2015). کاربرد سیتوکینین شاخص سطح برگ، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، محتوای کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ هدایت روزنه‌ای گندم را افزایش داد (Zaheer et al., 2019). محلول‌پاشی سیتوکینین در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ارتفاع، برداشت، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و وزن هزاردانه ذرت گردید (Akter et al., 2014). اثر مطلوب سیتوکینین بر ذرت تحت شرایط تنش در آزمایش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Ali et al., 2011).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یکی از مغذی‌ترین گیاهان دانه‌ای بوده (Ruiz et al., 2014) که به دلیل ارزش غذایی بالا (Fuentes & Paredes, 2013) و همچنین تحمل به شرایط نامساعد محیطی، آن را اصلی‌ترین منبع جایگزین غلات عنوان کرده‌اند (Vega-Gálvez et al., 2010). کینوا دارای ریشه عمیق بوده و مقاومت بالایی در برابر تنش خشکی (Jacobson et al., 2012) از خود نشان می‌دهد و به خوبی قابلیت رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک را دارد (Elewa et al., 2017). رشد و نمو کینوا همانند سایر گیاهان در شرایط تنش کاهش می‌یابد. تنش‌های غیر زنده، اصلی‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان در سراسر جهان می‌باشد (Kafi et al., 2009). از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده تنش خشکی و شوری است (Sanghera et al., 2011). خشکی، شایع‌ترین تنش غیر زنده بوده که به‌طور میانگین بیش از ۵۰ درصد عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (Zlatev & Lidon, 2012).

در شرایط تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی بذور کینوا کاهش می‌یابد (Mamedi et al., 2017). Yang et al. (2016) گزارش کردند که در شرایط کم‌آبایی، ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، سرعت فتوسنتز برگ و هدایت روزنه‌ای، شاخص محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ کینوا کاهش یافت. در آزمایشی دیگر، گزارش شده است که کم‌آبایی سبب کاهش عملکرد، وزن خشک شاخساره و ارتفاع گردید (Talebnejad & Sepaskhah, 2015). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه کینوا می‌شود (Telahigue et al., 2017; Sun et al., 2014). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، رنگیزه‌های کلروفیلی (González et al., 2009)، تعداد شاخه فرعی، تعداد

ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سیتوکینین بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در شرایط مطلوب و تنش خشکی طراحی و اجرا گردید.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان با مختصات جغرافیایی ۴۸° ۲۴' ۱۵" طول شرقی و ۳۷° ۴۰' ۳۶" عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اطلاعات هواشناسی سال اجرای آزمایش به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است. 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) به عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی با بنزیل‌آمینوپورین در سه سطح (صفر به عنوان شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده کینوا (Q۲۶) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. پس از استقرار کامل بوته‌ها (مرحله ۴ تا ۶ برگی) تیمار تنش خشکی اعمال گردید.

(Mahrokh *et al.*, 2019). پژوهش‌های اخیر مبنی بر افزایش ارتفاع، عملکرد دانه و وزن هزاردانه در گندم (Mehraban & Ghanjali, 2014)، عملکرد زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و پرولین در کنجد (Hussein *et al.*, 2015)، کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل در بادمجان (Opabode & Owojori, 2018)، افزایش درصد روغن، عملکرد و اجزای عملکرد در گلرنگ (Mohammadi *et al.*, 2014)، افزایش کربوهیدرات‌های نامحلول در گوجه‌فرنگی (Niakan & Ahmadi, 2014)، بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بادام‌زمینی (Sepehri & Rouhi, 2017) همگی بیانگر این است که کاربرد خارجی سیتوکینین ممکن است باعث مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی شود (Veselov *et al.*, 2017).

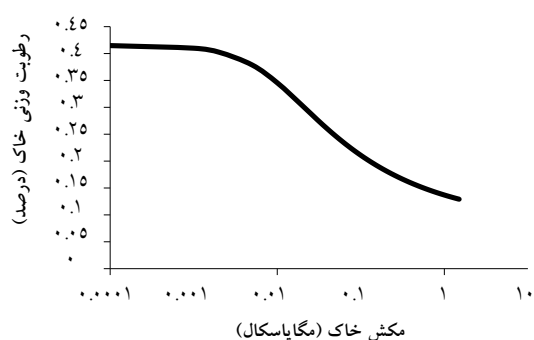
تاکنون گزارشی در رابطه با تأثیر سیتوکینین در گیاه کینوا ارائه نشده است. تنها گزارش‌ها مربوط به محلول‌پاشی پرولین (Elewa *et al.*, 2017) و تروهالوز (Dawood, 2018) بوده که نتایج، بیانگر تأثیر مطلوب ترکیبات نامبرده روی گیاه کینوا تحت شرایط تنش خشکی است. با توجه به اهمیت کینوا در تغذیه انسان، تأمین امنیت غذایی و همچنین مقاومت بالای آن به شرایط نامساعد محیطی، انجام پژوهش‌هایی روی سازگاری و قابلیت کشت گیاه کینوا در داخل کشور

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه اجرای طرح

ذرات تشکیل‌دهنده خاک (%)	باقول خاک	پتروزن (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	مواد آلی (%)	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته (pH)	آهک (%)	روی (mg/g)	مس (mg/g)	منگنز (mg/g)	آهن (mg/g)
شن ۵۱												
سیلت ۳۲	لومی شنی	۰/۲۳	۲۱/۳	۱۵۶/۱	۰/۴۶	۱/۲۴	۷/۴	۱۵/۲	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۳۵	۲/۲۱
رس ۱۷												

جدول ۲. اطلاعات هواشناسی زنجان در طی ماه‌های اجرای آزمایش

اطلاعات	خرداد (June)	تیر (July)	مرداد (August)	شهریور (September)	مهر (October)
مجموع بارش ماهانه (cm)	۰	۱/۲۷	۴/۸۳	۰	۰
میانگین دمای ماهانه (°C)	۲۵/۲	۲۸	۲۷/۵	۲۳/۷	۱۵/۷
حداکثر دما (°C)	۳۲/۵	۳۵/۲	۳۵/۱	۳۱/۹	۲۲/۹
حداقل دما (°C)	۱۲/۹	۱۷/۷	۱۶/۲	۱۲/۵	۶/۳
رطوبت نسبی (%)	۲۵/۳	۲۷/۴	۲۵	۲۶/۷	۳۴/۲



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش

به منظور آماده‌سازی بستر کشت، ابتدا زمین موردنظر در فصل بهار شخم، سپس مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات‌تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم به زمین افزوده و بلافاصله عملیات دیسک‌زنی و تسطیح زمین انجام گردید. کشت در نیمه اول خردادماه و به صورت هیرم‌کاری انجام پذیرفت. به این منظور پس از پیاده‌سازی سیستم آبیاری قطره‌ای، مزرعه یک مرتبه آبیاری گردید و پس از گاو رو شدن خاک، کشت بذور انجام شد. 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. جهت رسیدن به تراکم موردنظر، کشت به صورت کپه‌ای انجام و پس از ظهور دو برگ حقیقی، تنک شد. سایر عملیات داشت شامل مبارزه با

به منظور تعیین پتانسیل‌های موردنظر جهت اعمال تیمار آبیاری از منحنی رطوبتی خاک استفاده شد (شکل ۱). به این منظور هر دو روز یکبار از قسمت‌های مختلف مزرعه به صورت تصادفی تا عمق ۴۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه و در 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 سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس دوباره توزین گردید تا میانگین وزن خاک خشک به دست آید. طبق فرمول زیر، درصد رطوبت خاک برحسب وزنی به دست آمد (Alizadeh, 2002):

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

که در آن W : درصد رطوبت وزنی خاک، W_1 : وزن خاک مرطوب و W_2 : وزن خاک خشک می‌باشد. جهت ترسیم منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری صورت گرفت و پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی (درصد رطوبت وزنی و مکش خاک) ترسیم و با کمک این منحنی، پتانسیل‌های موردنظر 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).

FW: وزن تر نمونه، A663: جذب در طول موج ۶۶۳،
A645: جذب در طول موج ۶۴۵، V: حجم نهایی نمونه
استخراج شده (میلی لیتر)، W: وزن تر نمونه (گرم).
رابطه (۲) $FW (\mu\text{m proline/g}) =$
 $[(\mu\text{g proline} \div \text{ml} \times \text{ml toluene}) \div (115.5 \mu\text{g}/\mu\text{mole})]$
 $\div [(g \text{ sample}) \div 5]$

رابطه (۳) $RWC \% =$
 $(FW - DW) \div (TW - DW) \times 100$
RWC: محتوای نسبی آب برگ (درصد)، FW: وزن تر
نمونه، DW: وزن خشک نمونه، TW: وزن آماس یافته نمونه.
رابطه (۴) $EL \% = (EC_1 \div EC_2) \times 100$
EL: نشت الکترولیت یا یونی (درصد)، EC₁: هدایت
الکتریکی محلول پس از ۲۴ ساعت قرارگرفتن در دمای
۳۰ درجه، EC₂: هدایت الکتریکی محلول پس از اتوکلاو
کردن در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه.

برای اندازه گیری عملکرد دانه، عملکرد زیست توده،
وزن هزاردانه و شاخص برداشت پس از رسیدگی کامل
بوته ها (۱۸ مهرماه) و حذف حاشیه تیمارها، مساحت دو
مترمربع از هر تیمار برداشت و پس از شمارش تعداد
بوته ها صفات موردنظر اندازه گیری گردید. پس از
اندازه گیری ها، تجزیه ی واریانس داده ها با استفاده از
نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. مقایسه میانگین ها
با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال
پنج درصد و جهت رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel
(نسخه ۲۰۱۶) استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. محتوای نسبی آب برگ

تیمار آبیاری، سیتوکینین و اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین بر
محتوای نسبی آب برگ اثر معنی داری در سطح یک درصد
داشت (جدول ۳). بیشترین (۹۳/۸ درصد) و کمترین
(۷۳/۹ درصد) میزان محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در

علف های هرز به صورت وجین دستی و مبارزه با آفات
برگ خوار و شته توسط حشره کش دیازینون (Diazinon
EC 60 %) با غلظت یک در هزار انجام شد. هم چنین در
طول دوره رویشی گیاه یک مرتبه کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰
گرین پلنت ایتالیا (GREEN PLANT®) به مقدار ۵۰
کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری تزریق گردید.

محلول پاشی هورمون سیتوکینین (بنزیل آمینوپورین®)،
شرکت سیگما آلد ریچ، ساخت کشور ایالات متحده
آمریکا) نیز یک مرتبه در شروع گلدهی و مرحله دوم دو
هفته پس از محلول پاشی نوبت اول انجام شد. به این
منظور، ابتدا غلظت های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار از هورمون
سیتوکینین توسط سود (NaOH) یک دهم نرمال آماده و
در هنگام غروب آفتاب روی گیاه اسپری گردید. به منظور
کاهش کشش سطحی آب و در نتیجه جذب بهتر، مقدار
پنج سی سی ماده توئین ۲۰ رقیق شده (۰/۰۱ درصد) به
مخزن سمپاش اضافه گردید. تیمار شاهد (غلظت صفر)
شامل آب شهری با همان مقدار توئین ۲۰ بود.

اندازه گیری رنگی های فتوسنتزی، پرولین، نشت یونی و
محتوای نسبی آب برگ دو هفته پس از محلول پاشی نوبت
دوم انجام شد. رنگی های فتوسنتزی از رابطه (۱) (Arnon, 1949)،
پرولین از رابطه (۲) (Bates et al., 1973)، محتوای
نسبی آب برگ رابطه (۳) (Ferrat & Lovat, 1999) و نشت
یونی از رابطه (۴) (Lutts et al., 1996) و طبق روش های
گفته شده در پروتکل ها اندازه گیری گردید.

رابطه (۱) $Chlorophyll a (mg /g FW) =$
 $[(12.25(A 663) - 2.79(A 645)) \times V] \div (1000 \times W)$

$Chlorophyll b (mg /g FW) =$
 $[21.5 (A 645) - 5.1(A 663)] \times V \div (1000 \times W)$

$Chlorophyll a+b (mg /g FW) =$
 $[(18.71(A 645) + 7.15(A 663)) \times V] \div (1000 \times W)$

$Carotenoid (mg /g FW) =$
 $[(1000 (A 470) - 1.82 (Chl a) - 85.02 (Chl b) \div 198]$
 $\times V \div (1000 \times W)$

شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کینوا کاهش یافته و محلول‌پاشی با تروهالوز سبب افزایش آن می‌شود (Dawood, 2018). همچنین گزارش شده که کاربرد خارجی پرولین سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ کینوا در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Elewa et al., 2017). کاهش محتوای نسبی آب برگ کینوا تحت شرایط تنش خشکی در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (González et al., 2009). تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر سیتوکینین بر محتوای نسبی آب برگ کینوا ارائه نشده است ولی گزارش‌های اخیر روی گیاهانی مانند گندم (Arjenaki et al., 2012; Zaheer et al., 2019; Nagar et al., 2015; Kumari et al., 2018) و کنجد (Hussein et al., 2015) حاکی از تأثیر مثبت سیتوکینین بر محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش است.

آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده گردید. کاربرد سیتوکینین در شرایط مطلوب رطوبتی بر محتوای نسبی آب برگ تأثیر معنی‌داری نداشت ولی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ۱۲ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴).

محتوای نسبی آب برگ شاخص مهمی از وضعیت آبی گیاهان بوده (Lugojan & Ciulca, 2011) که در تعیین حساسیت و تحمل به تنش آبی در گیاهان کاربرد فراوانی دارد (Rampino et al., 2006; Sanchez-Rodriguez et al., 2010). گزارش‌ها حاکی از کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، شوری و گرما بوده و گیاهانی که بتوانند آب برگ خود را در سطوح بالا حفظ نمایند از مقاومت بیشتری برخوردار هستند. گزارش کردند که در

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیکی کینوا تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

میانگین مربعات							درجه آزادی	منبع تغییرات
پرولین	کارتونوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	نشست یونی	محتوای نسبی آب برگ		
۰/۲۱ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۲ns	۱/۴۶ns	۵/۰۳ns	۳	تکرار
۳۴/۴۳**	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۴**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۴**	۱۷۴۵/۹۲**	۱۱۶۰/۲۳**	۱	آبیاری
۵/۲۲**	۰/۰۰۰۸**	۰/۱۴**	۰/۰۱**	۰/۰۶**	۳۱۹/۹۲**	۵۲/۹۹**	۲	سیتوکینین
۳/۹۸**	۰/۰۰۰۶*	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱**	۵۴۷/۴۷**	۴۱/۲۶**	۲	آبیاری × سیتوکینین
۰/۱۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۲/۸۸	۲/۵۸	۱۵	خطای آزمایشی
۲۰/۸۷	۱۰/۵۰	۱۲/۵۴	۲۷/۷۲	۱۱/۱۹	۳/۶۸	۱/۸۵	-	ضریب تغییرات (درصد)

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیکی کینوا

پرولین (µg/g FW)	کارتونوئید (mg/g FW)	کلروفیل a (mg/g FW)	نشست یونی (%)	محتوای نسبی آب برگ (%)	سیتوکینین
۰/۴۶±۰/۰۶c	۰/۱۲±۰/۰۰۵ab	۰/۲۹±۰/۰۴bc	۳۵/۵±۱/۷e	۹۳/۱±۱/۴a	۰
۰/۳۰±۰/۰۷c	۰/۱۲±۰/۰۰۱ab	۰/۵۱±۰/۰۴a	۳۷/۶±۱de	۹۳/۸±۱/۶a	۵۰
۰/۲۷±۰/۰۶c	۰/۱±۰/۰۰۲b	۰/۲۶±۰/۰۳bc	۳۹/۵±۰/۷d	۹۳/۶±۱/۳a	۱۰۰
۴/۴۸±۰/۴۲a	۰/۱±۰/۰۰۸b	۰/۲۳±۰/۰۲c	۷۰/۷±۲a	۷۳/۹±۲/۳c	۰
۱/۹۴±۰/۵۴b	۰/۱۳±۰/۰۰۱a	۰/۳۱±۰/۰۳b	۵۰/۸±۲/۲b	۸۲/۸±۱/۳b	۵۰
۱/۷۹±۰/۴۹b	۰/۱۱±۰/۰۰۱b	۰/۲۵±۰/۰۴c	۴۲/۳±۱/۳c	۸۱/۹±۲/۱b	۱۰۰

۲.۳. نشت یونی

نشت یونی در سطح یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، سیتوکینین و اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین قرار گرفت (جدول ۳). محلول پاشی سیتوکینین در شرایط تنش خشکی سبب کاهش نشت یونی شد ولی در شرایط مطلوب رطوبتی آن را افزایش داد (جدول ۴). کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین در شرایط آبیاری مطلوب، نشت یونی را به ترتیب ۶ و ۱۱ درصد افزایش داد ولی در شرایط تنش، غلظت ۵۰ میکرومولار به مقدار ۲۸ درصد و غلظت ۱۰۰ میکرومولار به میزان ۴۰ درصد نشت یونی را کاهش داد (جدول ۴).

تنش خشکی باعث تخریب غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری یونها در اثر افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی‌های غشا می‌شود (Saneoka et al., 2004) از این رو، نشت الکترولیت به عنوان یکی از معیارهای تشخیصی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Beltrano & Ronco, 2008). افزایش نشت یونی تحت شرایط تنش در گیاهان زیادی گزارش گردیده است. در شرایط تنش خشکی پایداری غشاهای سلولی برگ ذرت کاهش یافته و به علت افزایش نشت یونی، گیاه خسارت می‌بیند (Mahrokh et al., 2019). گزارش گردیده که محلول پاشی با سیتوکینین سبب کاهش نشت یونی در گیاهان ذرت تحت تنش خشکی گردید (Mahrokh et al., 2019). در پژوهشی دیگر گزارش گردیده که محلول پاشی گیاه ذرت با کیتین تحت شرایط تنش شوری سبب کاهش نشت یونی می‌گردد (Kaya et al., 2010). محلول پاشی ارقام برنج با کیتین تحت شرایط تنش خشکی سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش گردید و نشت یونی سلول‌ها را در همه ارقام کاهش داد (Salehifar et al., 2017). سیتوکینین از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و از بین بردن ROSها سبب افزایش پایداری غشای سلولی می‌گردد (Sayd et al.,

2010). نتایج به دست آمده در پژوهش‌های مختلف و پژوهش حاضر نشان‌دهنده اثر مطلوب سیتوکینین بر کاهش خسارت وارده به غشای سلولی و به تبع آن کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد.

۳.۳. رنگی‌های فتوسنتزی

تیماری آبیاری بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت ولی بر کلروفیل b و کارتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۳). کاربرد سیتوکینین بر تمام رنگی‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید) تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. هم‌چنین اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین نیز فقط بر کلروفیل a (در سطح یک درصد) اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بالاترین میزان کلروفیل a، هم در شرایط مطلوب رطوبتی (۰/۵۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و هم در شرایط تنش خشکی (۰/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، با کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید (جدول ۴). سطوح آبیاری بر میزان کلروفیل b اثر معنی‌داری نداشت. کاربرد سیتوکینین سبب افزایش کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد گردید، به طوری که بیش‌ترین میزان کلروفیل b با کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد (جدول ۵). میزان کلروفیل کل نیز در تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را دارا بود (جدول ۵). بالاترین میزان کلروفیل کل (۰/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید و بین تیمار شاهد و ۱۰۰ میکرومولار نیز تفاوتی از نظر کلروفیل کل وجود نداشت (جدول ۵). اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین اثر معنی‌داری بر کارتنوئید داشت، به طوری که در شرایط تنش خشکی، غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین بالاترین میزان کارتنوئید (۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را دارا بود و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

فتوستتزی است. بهبود رنگیزه‌های فتوستتزی با کاربرد سیتوکینین تحت شرایط تنش در گیاه ذرت (Ali et al., 2011)، گندم (Zaheer et al., 2019; Kumari et al., 2019; Sarfraz Ardakani, 2018)، بادمجان (Opabode & Owojori, 2018) بیانگر تأثیر مطلوب این هورمون در شرایط تنش خشکی است. علاوه بر این، کاربرد سیتوکینین منجر به تجمع کلروفیل شده و باعث تبدیل ایتوپلاست‌ها به کلروپلاست می‌شود (Davies, 2010) که برای حفظ سطح برگ سبز فعال فتوستتزی بسیار مهم است.

۴.۳. پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمار آبیاری، سیتوکینین و آبیاری × سیتوکینین بر محتوای پرولین در سطح یک درصد بود (جدول ۳). تنش خشکی سبب افزایش میزان پرولین در برگ شد، به طوری که بیش‌ترین میزان پرولین (۴/۴۸ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد تنش مشاهده گردید (جدول ۴). کاربرد سیتوکینین سبب کاهش محتوای پرولین در شرایط تنش شد ولی تحت شرایط مطلوب رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین نداشت (جدول ۴). هم‌چنین در شرایط تنش، بین غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین اختلاف معنی‌داری در محتوای پرولین مشاهده نشد (جدول ۴). پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی تحت شرایط تنش‌های غیر زنده بوده که سبب حفظ پایداری غشاها و پاکسازی رادیکال‌های آزاد می‌شود (Hoque et al., 2008). گزارش‌های زیادی در رابطه با تأثیر سیتوکینین بر افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش ارائه گردیده است. در پژوهشی گزارش گردیده که محلول‌پاشی ارقام گندم (Sarfraz Ardakani, 2019) و ذرت (Mehri, 2015) با کیتین سبب افزایش پرولین تحت تنش خشکی می‌گردد. کاربرد خارجی کیتین سبب

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیکی کینوا با کاربرد سیتوکینین تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

تیمار	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)
سطوح آبیاری		
آبیاری مطلوب	۰/۲۱۳a	۰/۵۶a
تنش خشکی	۰/۲۱۲a	۰/۴۸b
سیتوکینین (میکرومولار)		
۰	۰/۱۶b	۰/۴۲b
۵۰	۰/۲۶a	۰/۶۷a
۱۰۰	۰/۲۱ab	۰/۴۷b

کاهش کلروفیل یکی از علائم بارز تنش خشکی در برگ‌ها بوده (Dawood & Sadak, 2014; Sadak, 2016) که به نوعی بیانگر اختلال در کلروپلاست‌هاست. کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوستتزی از طریق کاهش فتوستتر سبب افت عملکرد می‌شود (Anjum et al., 2011). پژوهش‌های مختلف نشان‌دهنده تأثیر نامطلوب تنش خشکی بر رنگیزه‌های فتوستتزی در گیاهان است. کاهش عملکرد گیاه کینوا به طور عمده به علت کاهش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوستتزی است (Dawood, 2018). گزارش گردیده که کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه کینوا تحت شرایط تنش خشکی کاهش و محلول‌پاشی با تروهالوز سبب بهبود رنگیزه‌های فتوستتزی گردید (Dawood, 2018). Fghire et al. (2017) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی کلروفیل a و b ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد. محلول‌پاشی گیاه کینوا با پرولین سبب افزایش رنگیزه‌های فتوستتزی تحت شرایط تنش و مطلوب می‌گردد (Elewa et al., 2017). هرچند در پژوهشی گزارش گردیده که محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ کینوا در شرایط مطلوب و تنش خشکی با یکدیگر تفاوتی نداشتند (González et al., 2009). پژوهش‌های اخیر نشان‌دهنده تأثیر مطلوب سیتوکینین بر رنگیزه‌های

افزایش پرولین گیاه کنگد در شرایط تنش خشکی گردید (Hussein et al., 2015). کاربرد پرولین به صورت محلولپاشی سبب افزایش محتوای پرولین برگ کینوا در تیمار شاهد و تنش خشکی گردید (Elewa et al., 2017) که نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر همسو با نتایج سایر پژوهش‌ها می‌باشد.

۳.۵. وزن هزاردانه

وزن هزاردانه تحت تأثیر تیمار آبیاری و سیتوکینین قرار گرفت ولی اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین بر وزن هزاردانه معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزاردانه (۲/۶۵ و ۲/۲۵ گرم) به ترتیب در تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده گردید (جدول ۵). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش وزن هزاردانه گردید. کم‌ترین وزن هزاردانه (۲/۲۰ گرم) در تیمار شاهد و بیش‌ترین وزن هزاردانه (۲/۶۱ گرم) در سطح ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید. بین غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار تفاوتی از نظر وزن هزاردانه وجود نداشت (جدول ۵).

کمبود رطوبت سبب کاهش رشد و نمو گیاهان شده در نتیجه مانع تولید گل و پرشدن دانه‌ها در گیاه می‌شود از این‌رو، دانه‌های کوچک‌تر و کم‌تری تولید می‌شود

(Anjum et al., 2011). کمبود آب با کاهش تبادلات گازی برگ سبب کاهش اندازه منبع و مخزن می‌شود در نتیجه بارگیری، تخلیه و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه به هم می‌ریزد (Farooq et al., 2009). گزارش‌ها حاکی از کاهش وزن هزاردانه کینوا در شرایط تنش خشکی می‌باشد. Dawood (2018) گزارش کرد که در شرایط تنش خشکی وزن هزاردانه کینوا کاهش ولی محلولپاشی با تروپالوز سبب افزایش وزن هزاردانه گردید. محلولپاشی پرولین نیز تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن هزاردانه کینوا گردید (Elewa et al., 2017). افزایش وزن هزاردانه گندم (Zaheer et al., 2019; Mehraban & Ghanjali, 2014; Nagar et al., 2015; Emam et al., 2013; Sarfraz Ardakani, 2019) و ذرت (Akter et al., 2014) با کاربرد سیتوکینین بیانگر تأثیر مثبت سیتوکینین بر گیاهان در شرایط تنش می‌باشد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

۳.۶. عملکرد زیست‌توده

اثر تیمار سیتوکینین و آبیاری بر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین معنی‌دار نشد (جدول ۶).

جدول ۶. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد سیتوکینین بر صفات مرتبط با عملکرد کینوا تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن هزاردانه	عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه
تکرار	۳	۰/۱۵ ^{ns}	۱۵۳۵۱/۲۵ ^{ns}	۲۰۱/۸۳ ^{ns}
آبیاری	۱	۰/۹۶ ^{**}	۱۳۲۶۶۳۹/۴۰ ^{**}	۹۳/۸۸ ^{**}
سیتوکینین	۲	۰/۳۹ ^{**}	۵۳۹۳۴۲/۵۹ ^{**}	۱۲۶/۵۸ ^{**}
آبیاری × سیتوکینین	۲	۰/۰۵ ^{ns}	۵۶۹۳/۰۲ ^{ns}	۱۶/۶۵ [*]
خطای آزمایشی	۱۵	۰/۰۶	۳۷۱۶۵/۹۹	۴/۷۱

۱۱/۹۸	۷/۲۰	۲۳/۱۵	۱۰/۰۹	-	ضریب تغییرات (%)
-------	------	-------	-------	---	------------------

۳.۷. عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری و سیتوکینین قرار گرفت. اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین نیز در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار مطلوب آبیاری کاهش پیدا کرد. محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین تحت شرایط مطلوب رطوبتی عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۳ و ۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۷). عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین نیز به‌ترتیب ۱۳ و ۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۷). کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها و به‌دنبال آن کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز باشد (Flexas et al., 2004). به‌عقیده Dawood (2018) کاهش عملکرد گیاه کینوا به‌طور عمده به‌علت کاهش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی است. گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد دانه ارقام مختلف کینوا را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Telahigue et al., 2017). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد کینوا گردید ولی محلول‌پاشی با پرولین با کاهش اثرات تنش سبب افزایش عملکرد دانه گردید (Elewa et al., 2017).

بیش‌ترین میزان عملکرد زیست‌توده در شرایط آبیاری مطلوب با ۱۰۶۷/۷ گرم در مترمربع حاصل شد. تنش خشکی اثر نامطلوبی بر عملکرد زیست‌توده داشت و سبب کاهش ۴۴ درصدی این صفت نسبت به تیمار آبیاری مطلوب گردید. محلول‌پاشی با سیتوکینین سبب افزایش عملکرد زیست‌توده گردید. غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار به‌ترتیب سبب افزایش ۴۸/۳ و ۹۱/۴ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۵). کاهش رشد و عملکرد زیست‌توده گیاه در شرایط کمبود آب می‌تواند به‌علت کاهش جذب آب و مواد مغذی و همچنین کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت فتوسنتز باشد (Yang et al., 2016). گزارش‌ها حاکی از کاهش عملکرد زیست‌توده مختلف کینوا در شرایط تنش خشکی است (Telahigue et al., 2017; Hirich et al., 2014; Yang et al., 2016; Dawood, 2018). در شرایط تنش عملکرد زیست‌توده کینوا کاهش و محلول‌پاشی با تروهالوز عملکرد زیست‌توده را در شرایط مطلوب و تنش خشکی افزایش داده است (Dawood, 2018). افزایش عملکرد زیست‌توده کینوا در شرایط تنش و مطلوب آبیاری با کاربرد پرولین نیز گزارش گردیده است (Elewa et al., 2017). محلول‌پاشی کنجد (Hussein et al., 2015) و گندم (Zaheer et al., 2019) با هورمون سیتوکینین سبب افزایش عملکرد زیست‌توده گردید که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین بر صفات مرتبط با عملکرد کینوا

آبیاری	سیتوکینین	وزن هزاردانه (g.m ²)	عملکرد زیست‌توده (g.m ²)	عملکرد دانه (g.m ²)	شاخص برداشت (%)
۰	۰	۲/۳۱±۰/۲۹b	۷۷۷/۸۱±۲۹/۶۹c	۱۷۵/۳۲±۴/۳۱c	۱۸/۵±۰/۵۳b
مطلوب	۵۰	۲/۸۰±۰/۲۱a	۱۱۰۵/۶۲±۲۴/۳۰ab	۲۱۵/۷۵±۸/۰۴a	۱۶/۶±۰/۷۱bc
	۱۰۰	۲/۸۶±۰/۲۳a	۱۳۱۹/۶۹±۳۵/۷۱ a	۱۹۴/۸۷±۷/۳۷b	۱۳/۳±۰/۹۳c
	۰	۲/۰۹±۰/۱۴b	۳۵۸/۲۹±۴۵/۵۳ d	۱۲۲/۶۹±۶/۰۸e	۲۵/۶±۰/۸۹a

۱۹/۷±۰/۷۷b	۱۳۹/۳۱±۷/۷۴de	۵۷۹/۷۴±۳۶/۲۶ cd	۲/۳۱±۰/۲۴b	۵۰	خشکی
۱۴/۹±۰/۷۳c	۱۴۹/۷۶±۴/۰۱d	۸۵۴/۴۲±۳۱/۱۴ bc	۲/۳۱±۰/۴۳b	۱۰۰	

کاهش نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده شده، در نتیجه شاخص برداشت را کاهش داده است. این درحالی است که در بسیاری از پژوهش‌ها عکس این نتایج گزارش گردیده است. افزایش شاخص برداشت گندم (Nagar et al., 2015)، ذرت (Akter et al., 2014) با محلول‌پاشی سیتوکینین تحت شرایط تنش خشکی گزارش گردیده است که برخلاف نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده اثرات نامطلوب تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا بود. تنش خشکی با تأثیر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی سبب کاهش توان فتوسنتزی گیاه گردید. با کاهش میزان فتوسنتز، صفات مرتبط با عملکرد مانند عملکرد زیست‌توده، وزن هزاردانه نیز کاهش یافت در نتیجه عملکرد دانه پایین آمد. بالاترین عملکرد دانه (۲۱۵/۷۵ گرم در مترمربع) در شرایط مطلوب آبیاری و با کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین مشاهده گردید. بالاترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (۱۴۹/۷۶ گرم در مترمربع) نیز با محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد. این مطلب بیانگر آن است که سیتوکینین با تعدیل‌کردن اثرات نامطلوب تنش خشکی و با تأثیر بر صفات مختلف در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیتوکینین به‌عنوان راه‌کاری جهت افزایش عملکرد کینوا در شرایط مطلوب و تنش خشکی باشد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

همچنین گزارش کردند که عملکرد دانه کینوا با کاربرد تروهالوز در شرایط مطلوب و تنش خشکی افزایش یافت (Dawood, 2018). گزارش شده که عملکرد دانه گندم با کاربرد سیتوکینین در شرایط مطلوب و تنش خشکی افزایش پیدا کرد (Zaheer et al., 2019). نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که کارایی هورمون سیتوکینین در شرایط تنش بالاتر می‌رود که نتایج سایر پژوهش‌ها همخوانی دارد.

۸.۳. شاخص برداشت

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اثر سطوح آبیاری و سیتوکینین در سطح یک درصد و اثر متقابل آبیاری × سیتوکینین در سطح پنج درصد بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۶). بالاترین درصد شاخص برداشت (۲۵/۶ درصد) در تیمار تنش خشکی (تیمار صفر میکرومولار) و پایین‌ترین آن به‌طور مشترک در غلظت ۱۰۰ میکرومولار تنش خشکی و آبیاری مطلوب مشاهده گردید (جدول ۷). در شرایط آبیاری مطلوب، غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین شاخص برداشت را به‌میزان ۱۰ و غلظت ۱۰۰ میکرومولار به میزان ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۷). کاربرد سیتوکینین در شرایط تنش نیز سبب کاهش شاخص برداشت گردید. شاخص برداشت در شرایط تنش با کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب سبب کاهش ۲۶ و ۴۴ درصدی شاخص برداشت شد (جدول ۷). دلیل کاهش شاخص برداشت در این پژوهش را می‌توان به میزان تغییر نسبت بین عملکرد دانه و زیست‌توده ارتباط داد. به‌نظر می‌رسد نسبت افزایش اندام هوایی و شاخه‌های جانبی را بیش‌تر از عملکرد دانه افزایش داده و همین عامل سبب

- cytokinin. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 17(1), 41-48. <https://doi.org/10.1007/s12892-013-0117-3>.
- Ali, Z., Basra, S. M. A., Munir, H., Mahmood, A., & Yousaf, S. (2011). Mitigation of drought stress in maize by natural and synthetic growth promoters. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 7(2), 56-62.
- Alizadeh, A. (2002) Irrigation System Design. 8th Edition (Revised), Ferdowsi University Press, 655 p. (In Persian)
- Anjum, S. A., Xie, X., Farooq, M., Wang, L., Xue, L., Shahbaz, M., & Salhab, J. (2011). Effect of exogenous methyl jasmonate on growth, gas exchange and chlorophyll contents of soybean subjected to drought. *African Journal of Biotechnology*, 10(47), 9640-9646.
- Arjenaki, F. G., Jabbari, R., & Morshedi, A. (2012). Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(11), 726-729. DOI: 10.3923/rjes.2009.345.350
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Dawood, M. G. (2018). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), 245-254.
- Dawood, M. G., & Sadak, M. S. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4), 943-954.
- Elewa, T. A., Sadak, M. S., & Saad, A. M. (2017). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), 21-33.
- Emam, Y., Karimzadeh Soureshjani, H., Moori, S., Maghsoudi, K. (2013). Biochemical responses of two wheat cultivars to late season drought stress and auxin and cytokinin application. *Journal of Plant Process and Function*, 2(3), 65-74.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-194.
- Akter, N., Islam, M. R., Karim, M. A., & Hossain, T. (2014). Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and 212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Ferrat, I. I., & Lovat, C. J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Science*, 39, 467-470. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X0039000200028x>
- Fghire, R., Anaya, F., Issa, O. A., & Wahbi, S. (2017). Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(6), 2084-2093.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6(03), 269-279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
- Fuentes, F., & Paredes-González, X. I. M. E. N. A. (2013). Nutraceutical perspectives of quinoa: biological properties and functional applications. FAO and CIRAD: state of the art report of quinoa in the world in, 286-299.
- González, J. A., Gallardo, M., Hilal, M. B., Rosa, M. D., & Prado, F. E. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*, 50(1), 35-42.
- Hirich, A., Choukr-Allah, R. & Jacobsen, S. E. (2014). Deficit irrigation and organic compost improve growth and yield of quinoa and pea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(5), 390-398. <https://doi.org/10.1111/jac.12073>
- Hoque, M. A., Banu, M. N. A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., & Murata, Y. (2008). Proline and glycinebetaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells. *Journal of Plant Physiology*, 165(8), 813-824. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.07.013>
- Hussein, Y., Amin, G., Azab, A., & Gahin, H. (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. DOI: 10.3923/jps.2015.128.141
- Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Liu, F. (2012). Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 128, 34-47. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.001>
- Kafi, M., Zamani, G., & Ghorraishi, S. G. (2009). 6. منابع

- Relative salt tolerance of South Khorasan millets. *Desert*, 14, 63-70.
- Kaya, C., Tuna, A. L., & Okant, A. M. (2010). Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(6), 529-538. DOI: 10.3906/tar-0906-173
- Kumari, S., Kumar, S., & Prakash, P. (2018). Exogenous application of cytokinin (6-BAP) ameliorates the adverse effect of combined drought and high temperature stress in wheat seedling. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1176-1180.
- Lugojan, C., & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
- Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389-398.
- Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekar H.A., & Choukan, R. (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)
- Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R., & Sepahvand, N.A. (2017). Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(3), 615-623. (In Persian)
- Mehraban, A., & Ghanjali, H. (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. (In Persian)
- Mohammadi, M., Tavakoli, A. & Saba, J. (2014). Effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 73(3), 219-226. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9882-8>
- Nagar, S., Ramakrishnan, S., Singh, V. P., Singh, G. P., Dhakar, R., Umesh, D. K., & Arora, A. (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.
- Niakan, M., & Ahmadi, A. (2014). Effects of foliar spraying kinetin on growth parameters and photosynthesis of tomato under different levels of drought stress'. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 4(2), 939- 947. (In Persian)
- Opabode, J. T., & Owojori, S. (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. DOI: <https://doi.org/10.2478/johr-2018-0014>
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., & Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell & Environment*, 29(12), 2143-2152. doi: 10.1111/j.1365-3040.2006.01588.x
- Ruiz, K. B., Biondi, S., Osés, R., Acuna-Rodriguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Molina-Montenegro, M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349-359. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>
- Sadak, M. S. (2016) Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. *International Journal of Chemistry Technology Research*, 9, 147-155.
- Salehifar, M., Rabiei, B., Mohammadian, M. A., & Asghari, J. (2017). Physiological and fluorescence reaction of four rice genotypes to exogenous application of IAA and kinetin under drought stress. *Notulae Scientia Biologicae*, 9(3), 378-385.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001>
- Saneoka, H., Moghaieb, R. E., Premachandra, G. S., & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris*. *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.011>
- Sanghera, G. S., Wani, S. H., Hussain, W., & Singh, N. B. (2011). Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current Genomics*, 12(1), 30-43. doi: 10.2174/138920211794520178
- Sarfraz Ardakani, M. (2019). Effect of cytokinin and brassinosteroid on some biochemical and physiological traits of wheat cultivars under drought tension at generative stage. *Scientific*

- Journal of Crop Physiology, Islamic Azad university Ahvaz*, 11(43), 5-24. (In Persian)
- Sepehri, A., & Rouhi, H. R. (2017). Effect of cytokinin on morphological and physiological characteristics an antioxidant enzymes activity of aged groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(2), 181-198. (In Persian)
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1), 12-23. <https://doi.org/10.1111/jac.12042>
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2015). Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management*, 159, 225-238. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.005>
- Telahigue, D. C., Yahia, L. B., Aljane, F., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 222-232.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, 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(15), 2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- Veselov, D. S., Kudoyarova, G. R., Kudryakova, N. V., & Kusnetsov, V. V. (2017). Role of cytokinins in stress resistance of plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64(1), 15-27. <https://doi.org/10.1134/S1021443717010162>
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4(3), 162-176. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.010>
- Werner, T., Nehnevajova, E., Köllmer, I., Novák, O., Strnad, M., Krämer, U., & Schmölling, T. (2010). Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in Arabidopsis and tobacco. *The Plant Cell*, 22(12), 3905-3920. <https://doi.org/10.1105/tpc.109.072694>
- Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S., & Jacobsen, S.E. (2016). Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(6), 445-453. <https://doi.org/10.1111/jac.12167>
- Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Erinle, K. O., Iqbal, R., & Ahmad, S. (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. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1667376>
- 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(1), 57-72
- Zwack, P. J., & Rashotte, A. M. (2015). Interactions between cytokinin signalling and abiotic stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4863-4871. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv172>