



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۱ | فروردین ۱۴۰۱ (ص ۱۴۰-۱۲۹)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.329540.669058>

(مقاله علمی- پژوهشی)

The Effect of Vermicompost and Biochar Application on Morphophysiological Characteristics of Quinoa under Drought Stress Conditions

ALI MOHKAMI¹, NAJME YAZDANPANAHI^{1*}, AMIRHOSEIN SAEID NEJAD²

1. Department of Water Engineering, Faculty of Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.

2. Department of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran.

(Received: Aug. 27, 2021- Revised: Oct. 30, 2021- Accepted: Nov. 6, 2021)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of vermicompost and biochar fertilizers on physiological characteristics, growth indices, and grain yield of quinoa in different irrigation frequencies, a split-plot experiment based on randomized complete block design was carried out in the research farm of Kerman in 2020. In this study, the reaction of quinoa (Titicaca cultivar) to three irrigation frequencies (70, 100, and 130 mm from class A evaporation pan) and four organic fertilizers (control, vermicompost, biochar, and vermicompost + biochar) were investigated. The results showed that increasing irrigation frequency significantly reduced the plant height (23.9%), panicle length (17.6%), 1000-seed weight (22.6%), and quinoa grain yield (21.6%). Application of biochar + vermicompost treatment (in equal proportions of 10 tons per hectare) with irrigation frequency of 130 mm from class A evaporation pan increased total chlorophyll (96%) and leaf area index (15.5%) and decreased proline content (48%) compared to control with the same irrigation frequency. In this study, the highest plant height (97 cm), panicle length (15.4 cm), 1000-seed weight (3.141 g), and grain yield (321.94 g/m²) were observed from biochar + vermicompost treatment, which was not significantly different from vermicompost treatment in none of the mentioned traits. In general, it can be concluded that the application of biochar + vermicompost in equal proportions of 10 tons per hectare by increasing the water holding capacity of the soil and also soil nutrients improves the growth and development of quinoa under drought stress.

Keywords: Biochar, Chlorophyll, Grain yield, Protein, Quinoa.

اثر کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار بر خصوصیات مرفوفیز یولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی

علی محکمی^۱، نجمه یزدان پناه^{۱*}، امیرحسین سعیدنژاد^۲

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

۲. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۸ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۱۵)

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد کودهای ورمی کمپوست و بیوجار بر خصوصیات فیزیولوژیک، شاخص‌های رشد و عملکرد دانه کینوا در دوره‌های آبیاری مختلف، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهر کرمان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. در این مطالعه واکنش گیاه کینوا (رقم Titicaca) با سه دور آبیاری (۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A) و چهار تیمار کود آلی (شاهد، ورمی کمپوست، بیوجار و ترکیب ورمی کمپوست و بیوجار) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری از ۷۰ به ۱۳۰ میلی‌متر باعث کاهش ارتفاع بوته (۲۳/۹ درصد)، طول پانیکول (۱۷/۶ درصد)، وزن هزار دانه (۲۲/۶ درصد)، و عملکرد دانه (۲۱/۶ درصد) کینوا شد. استفاده از تیمار کود آلی بیوجار+ ورمی کمپوست (به نسبت مساوی ۱۰ تن در هکتار) در دور آبیاری ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر موجب افزایش کلروفیل کل (۹۶ درصد) و شاخص سطح برگ (۱۵/۵ درصد) و کاهش مقدار پرولین (۴۸ درصد) در مقایسه با شاهد با دور آبیاری یکسان شد. در این مطالعه همچنین بیشترین ارتفاع بوته (۹۷ سانتی‌متر)، طول پانیکول (۱۵/۴ سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (۳/۱۴۱ گرم) و عملکرد دانه (۳۲۱/۹۴ گرم در مترمربع) در تیمار کود آلی بیوجار+ ورمی کمپوست مشاهده شد که در هیچ یک از صفات نامبرده اختلاف معنی‌داری با تیمار ورمی کمپوست نداشت. در مجموع می‌توان گفت که کاربرد کود آلی بیوجار+ ورمی کمپوست از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین عناصر غذایی خاک باعث بهبود رشد و نمو گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیوجار، پروتئین، کینوا، کلروفیل، عملکرد دانه.

مقدمه

افزایش تولید محصولات کشاورزی از مهمترین راه‌های دستیابی به امنیت غذایی است (Anonymus, 2012) که تحت‌تأثیر انواع تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرد (Wani and Sah, 2014). خشکی شایع‌ترین تنش غیرزنده است (Daryanto et al., 2016) که به‌طور میانگین سبب حدود ۵۰ درصد کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Zlatev and Lidon, 2012).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) به دلیل ارزش غذایی بالا و همچنین تحمل بالا به شرایط نامساعد محیطی از اصلی‌ترین منابع غذایی می‌باشد (Vega-Galvez et al., 2010). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن، پتاسیم، مس، روی و فسفر است و نیز حاوی ویتامین‌های گروه B از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن نیز بیشتر است (Hasanzadeh et al., 2013). این گیاه مقاومت زیادی در برابر تنش‌های غیرزنده داشته و به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های

حاشیه‌ای و فقیر را دارد (Jacobsen et al., 2009). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی گسترش برگ ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد (Sun et al., 2014). هر چند در پژوهشی دیگر گزارش گردیده که تنش خشکی بر تعداد برگ گیاه کینوا تأثیر نداشت (González et al., 2009). در بافت‌های تنش دیده گیاه کینوا افزایش غلظت پرولین نیز گزارش شده است (Dashab and Omid, 2021). تجمع پرولین در برگ به‌منظور حفظ فشار تورژانس سلول‌های گیاهی قسمتی از مکانیسم‌های مقاومت در برابر تنش رطوبتی است. گزارشات محدودی در ارتباط با اثر تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کینوا وجود دارد. در همین راستا گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش ۲۹ درصدی شاخص سبزیگی گیاه کینوا در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب شد (Salek Mearaji et al., 2020). کاهش عملکرد گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی به‌طور عمده به علت کاهش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی است (Dawood, 2018). پژوهش‌های مختلفی کاهش عملکرد دانه

از آنجا که گزارش‌های محدودی در مورد نقش کودهای آلی بر عملکرد گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی وجود دارد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد کودهای ورمی کمپوست و بیوجار در دوره‌های مختلف آبیاری بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و میزان تولید گیاه کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل تیمار دور آبیاری با سه سطح ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A به عنوان فاکتور اصلی و چهار تیمار کود آلی شامل شاهد (بدون کاربرد ماده آلی)، ورمی کمپوست (به میزان ۲۰ تن در هکتار، انتخاب شده براساس نیاز کینوا، تجزیه خاک، محتوای عنصری ورمی کمپوست و بررسی منابع)، بیوجار حاصل از ضایعات درختان پسته (به میزان ۲۰ تن در هکتار)، و ترکیب ورمی کمپوست و بیوجار به نسبت مساوی ۱۰ تن در هکتار از هر کدام، به عنوان فاکتور فرعی انجام شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی کمپوست و بیوجار مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. قبل از انجام عملیات زراعی به منظور تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری با الگوی تصادفی از دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی-متری خاک انجام و نتایج آزمون خاک ارائه شد (جدول ۲). جهت آماده‌سازی زمین در اواسط بهار ۱۳۹۹ زمین مورد نظر شخم و دیسک زده شد سپس تیمارهای کود آلی شامل ورمی کمپوست و بیوجار در سطح کرت‌های فرعی پخش شده و با بستر کاشت مخلوط شد. کاشت کینوا در مزرعه در خرداد ماه در کرت‌هایی با پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر به فواصل ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز موجود در کرت‌ها چندین بار با دست وجین شدند. آبیاری به صورت غرقابی و براساس دوره‌های آبیاری تعریف شده انجام شد. میزان آب در هر دور آبیاری براساس حد ظرفیت زراعی خاک و با استفاده از لایسیمتر حجمی تعیین و میزان آب ورودی به هر کرت با استفاده از کنتور کنترل شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی برگ، روز قبل از آبیاری، دیسک‌هایی از برگ تهیه و بلافاصله نمونه‌ها در ظروف حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از به‌دست آوردن وزن تازه، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در تاریکی قرار داده شد و مجدد توزین شد (وزن اشباع). این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت و سپس توزین شد (وزن خشک). محتوای رطوبت نسبی برگ با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Hayat et al., 2005).

محتوای رطوبت نسبی = (وزن تازه - وزن خشک) ÷ (وزن اشباع - وزن خشک) × ۱۰۰

ارقام مختلف کینوا را تایید کرده‌اند (Elewa et al., 2017; (Telahigue et al., 2017; Dawood et al., 2018).

افزودن موادی مانند بقایای گیاهی، مواد پلیمری سوپرجاذب و کودهای آلی به خاک می‌تواند علاوه بر اینکه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد، امکان بهره‌وری بیشتر در مصرف آب را فراهم آورد و بستری مطلوب ایجاد نماید (Behbahani et al., 2009). کودهای آلی با بهبود ساختمان و ظرفیت نگهداری آب در خاک از بهترین گزینه‌ها برای افزایش تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌روند (Gresta et al., 2008). ورود مواد آلی به خاک با افزایش مقدار و قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه سبب افزایش سطح حاصلخیزی و بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شود. امروزه استفاده از موادی نظیر ضایعات کشاورزی و مواد زائد صنعتی، به عنوان منابع آلی رو به گسترش است (Ahmad Abadi et al., 2012). ورمی کمپوست و بیوجار از مهمترین کودهای آلی موثر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به شمار می‌روند. این مواد از جرم مخصوص ظاهری پایین و ساختار متخلخل برخوردارند و بنابراین اختلاط آنها با خاک سبب کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Mukherjee et al., 2014; Guo et al., 2016). استفاده از ورمی کمپوست در کشاورزی پایدار بواسطه بهبود وضعیت تخلخل خاک موجب فراهمی بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌شود (Claudio et al., 2009). بیوجار حاصل فرایند حرارتی مواد آلی در نبود اکسیژن می‌باشد (Lehmann & Joseph, 2009). این ماده به عنوان ابزاری برای بهبود باروری خاک، کارکردهای اکوسیستم و ترسیب کربن در جهت کاهش تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود (Sohi et al., 2010). گزارش شده است تنش کمبود آب با اثر بر صفاتی مانند رنگدانه‌ها و کاهش قابلیت دسترسی عناصر منجر به کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی و در نتیجه افت عملکرد می‌شود ولی استفاده از کودهای آلی می‌تواند تا حدی اثرات خشکی را کاهش دهد (Gholinezhad et al., 2016). همچنین گزارش شده است که استفاده از ورمی کمپوست به میزان چهار درصد، در افزایش رشد، زیست توده و عملکرد کلزا در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی دارای اثرات مثبت می‌باشد (Rashtbari and Alikhani, 2012). در خاک‌های غرقاب تحت کشت برنج در چین مشاهده شد که بیوجار عملکرد دانه را تا ۱۴ درصد افزایش داد (Zhang et al., 2010). گزارش Suhane (2008) نشان داد که کاربرد ۲۵۰۰ کیلوگرم ورمی کمپوست در هکتار در مزرعه گندم، نتیجه بهتری نسبت به کودهای شیمیایی به‌همراه داشته است، به علاوه ورمی کمپوست توانست نیاز آبی گیاه را به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش دهد.

جدول ۱- ویژگی های ورمی کمپوست و بیوجار مورد استفاده

نوع کود آلی	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	ماده آلی (%)	فسفر (%)	نیترژن (%)
ورمی کمپوست	۵/۲۳	۸/۱	۱۵/۵	۰/۲۱	۰/۸
بیوجار	۴/۰۶	۷/۸	۳۲/۵	۰/۰۷	۰/۳

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش

مشخصات خاک	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	کربن آلی (%)	آهک (%)	فسفر (ppm)	نیترژن (%)	بافت خاک
عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متر	۲/۲۳	۷/۴۲	۰/۴	۲۰/۴	۶/۱	۰/۰۵۱	عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متر
عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر	۲/۰۶	۷/۳۴	۰/۴	۲۱/۷	۵/۸	۰/۰۴۹	عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر

(۲) سرعت رشد محصول

$$CGR = 1/GA \times [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)]$$

در این روابط LA سطح برگ، GA سطح زمین، W وزن

اندام هوایی و T زمان می باشد.

عملیات برداشت در تاریخ ۲۰ مهر ماه انجام شد. به این منظور در مرحله رسیدگی با رعایت اثر حاشیه ای از هر کرت فرعی، گیاهان برای محاسبه عملکرد دانه برداشت شد. جهت محاسبات آماری از نرم افزار SAS v. 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت نسبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد

که اثرات ساده تیمارهای دور آبیاری و کود آلی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.001$) بر محتوای رطوبت نسبی معنی دار بود (جدول ۳). افزایش دور آبیاری منجر به کاهش معنی دار محتوای رطوبت نسبی شد (جدول ۴). این نتایج با یافته های Sharifan et al., 2018 مطابقت داشت. محتوای رطوبت نسبی شاخص مناسبی از وضعیت آب برگ ها می باشد، به طوری که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش یافته و سبب تغییر در غشای سلولی و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از سلول می شود. طبق گزارش Paknejad et al., 2007 اولین تأثیر تنش خشکی، کاهش محتوای آب نسبی برگ و بسته شدن روزنه ها است که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می شود. همان طور که در جدول (۵) مشاهده می شود، بیشترین محتوای رطوبت نسبی مربوط به تیمار کودی بیوجار+ ورمی کمپوست (۸۰/۷۳ درصد) بود که تفاوت معنی داری با تیمار ورمی کمپوست (۷۷/۶ درصد) نداشت، درحالی که تفاوت بین ترکیبات کودی نامبرده با تیمار شاهد و بیوجار معنی دار بود. اثر متقابل دور آبیاری در کود آلی برای این صفت معنی دار نشد (جدول ۳). به نظر

به منظور اندازه گیری محتوای پرولین یک نمونه برگ تازه با

اسید ۵-سولفوسالسیلیک ۳ درصد عصاره گیری شد. محلول صافی شده با اسید ناین هدرین و اسید استیک گلاسیال مخلوط و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. غلظت پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (Bates 1973).

برای سنجش مقدار رنگیزه های فتوسنتزی ۰/۱ گرم از برگ های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد و پس از عبور از کاغذ صافی، جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر (SCO-TECH مدل SPUV-26) در طول موج های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد (Lichtenthaler, 1987).

برای اندازه گیری محتوای پروتئین دانه مقدار ۲۰۰ میلی گرم بذر از هر نمونه جدا و در نیترژن مایع به صورت پودر درآمد. سپس پودر حاصل در یک میلی لیتر محلول بافر تریس (محتوی تریس پایه ۰/۰۵ مولار، آسکوربیک اسید ۰/۱ درصد، سیستئین هیدروکلراید ۰/۱ درصد، پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰۰ ۰/۱ درصد، اسید سیتریک ۰/۱۵ درصد و ۲-مرکاپناتانول ۰/۰۰۸ درصد) کاملاً مخلوط شد. نمونه ها به مدت بیست دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد و دور ۱۹۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی لیتر از مایع رویی با ۳ میلی لیتر از معرف برادفورد (محتوی کوماسی برلیانت بلو ۰/۰۱ درصد، ۴/۷ درصد اتانول ۹۵ درصد و ۸/۵ درصد اسید فسفریک ۸۵ درصد) مخلوط شد. جذب پس از پنج دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد (Bradford, 1976).

در این تحقیق شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد محصول (CGR) با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Gardner et al., 1985). برای اندازه گیری سطح برگ از دستگاه WINAREA مدل UT-11 ساخت ایران استفاده شد.

$$LAI = LA/GA$$

(۱) شاخص سطح برگ

بوده و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بستر کشت به وسیله ورمی کمپوست دلیل افزایش رشد گیاه نسبت به تیمار شاهد می‌باشد (Chanda et al., 2011).

می‌رسد کودهای آلی شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشیده و با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، گیاه کمتر با خشکی مواجه شده است. در همین خصوص گزارش شده است که رشد و نمو گیاه شدیداً وابسته به پارامترهای حاصلخیزی خاک

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و شاخص های رشد کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای رطوبت نسبی	پرولین	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای پروتئین	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول
بلوک	۲	۱۰/۵۲۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۳۶۸	۰/۰۲۷۸	۰/۰۶۱۸
آبیاری	۲	۱۴۴۷**	۴/۱۴۱**	۱/۰۴۵**	۰/۰۷۱**	۱۵/۸۶۲**	۱/۳۲۴**	۵۰/۹۴**
خطای a	۴	۲۶/۰۱۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۹	۰/۳۷۸	۰/۰۱۱۵	۰/۰۲۷
کود آلی	۳	۲۱۱/۹**	۰/۲۷۵**	۱/۷۹۶**	۰/۰۴۴**	۱۷/۴۳۷**	۱/۰۶۶**	۵/۳۷۴**
اثر متقابل	۶	۶۵/۲۱۵ns	۰/۰۹۶**	۰/۰۵۵*	۰/۰۰۱۵ns	۱/۳۳۹ns	۰/۱۳۳*	۰/۱۶۷ns
خطا	۱۸	۳۸/۱۱۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۰۲۵	۱/۱۷۰	۰/۰۴۱۳	۰/۳۹۱
ضریب تغییرات	-	۸/۲۱	۴/۰۴	۹/۴۲	۱۱/۷۲	۶/۳۵	۶/۴۴	۷/۲۵

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر محتوای رطوبت نسبی، کاروتنوئید، محتوای پروتئین و سرعت رشد محصول کینوا

دور آبیاری	محتوای رطوبت نسبی (%)	کاروتنوئید (mg g ⁻¹ FW)	محتوای پروتئین (mg g ⁻¹)	سرعت رشد محصول (g m ⁻² day ⁻¹)
۷۰ میلی‌متر (تبخیر از تشتک تبخیر)	a۸۵/۹	a۰/۵۰۶	a۱۸/۲۵	a۹/۳۵
۱۰۰ میلی‌متر	b۷۵/۶	b۰/۴۲۰	b۱۶/۸۷	b۷/۷۲
۱۳۰ میلی‌متر	c۶۳/۹	c۰/۳۵۲	b۱۵/۹۷	c۵/۲۵

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر محتوای رطوبت نسبی، کاروتنوئید، محتوای پروتئین و سرعت رشد محصول کینوا

کود آلی	محتوای رطوبت نسبی (%)	کاروتنوئید (mg g ⁻¹ FW)	محتوای پروتئین (mg g ⁻¹)	سرعت رشد محصول (g m ⁻² day ⁻¹)
شاهد	۷۰/۳c	۰/۳۶۰c	۱۵/۷۱b	۶/۷۲c
بیوجار	۷۱/۹۹bc	۰/۳۸۱c	۱۵/۹۷b	۶/۹۳c
ورمی کمپوست	۷۷/۶۰ab	۰/۴۵۲b	۱۷/۹۵a	۷/۷۰b
بیوجار + ورمی کمپوست	۸۰/۷۳a	۰/۵۱۳a	۱۸/۴۸a	۸/۴۱a

تنش کمبود آب، از غشاء محافظت می‌کند (Yin et al., 2009). افزایش محتوای پرولین در اثر تنش خشکی در گندم (Hong-Bo et al., 2006) گزارش شده است. مقادیر بالای پرولین باعث کاهش میزان رادیکال‌های آزاد در پاسخ به تنش اسمزی گردیده و سبب بهبود عملکرد گیاه می‌شود. در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است که پرولین به‌عنوان یک اسمولیت با تنظیم بیوسنتز گیاهان باعث تعدیل تنش اکسایشی ناشی از رادیکال‌های آزاد می‌شود (Hong et al., 2003). افزایش پرولین در هنگام تنش، نشان‌دهنده نقش آن در تنظیم فشار اسمزی است (Ashraf and Foolad, 2007). به طور کلی، آسیب غشای سلولی در گیاهان کینوای تیمار شده با کود آلی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی) براساس محتوای پرولین کمتر بود که نشان‌دهنده محدودیت آب کمتر برای کینوا در خاک تیمار شده با بیوجار + ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارها است. این نتایج با یافته‌های سایر مطالعات مطابقت داشت (Dashab and Omid, 2007).

محتوای پرولین: اثرات ساده تیمارهای دور آبیاری و کود

آلی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.001$) بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که به‌طور کلی با افزایش دور آبیاری در هر یک از سطوح کود آلی مورد بررسی میزان پرولین افزایش یافت (جدول ۶). در دور آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در دور آبیاری ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بیشترین محتوای پرولین (۱/۷۴۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار شاهد و کمترین آن با ۴۸ درصد کاهش از تیمار بیوجار + ورمی کمپوست به‌دست آمد (جدول ۶). پرولین از طریق تنظیم اسمزی باعث کاهش آسیب به غشاء سلول می‌شود. از طرف دیگر پرولین از طریق مکانیسم‌هایی غیر از تنظیم اسمزی نیز باعث مقاومت به کمبود آب در گیاه می‌شود. پرولین با فسفولیپیدهای غشاء در ارتباط است و از طریق کاهش تولید رادیکال‌های آزاد تشکیل شده طی

جدول ۶- اثر متقابل دور آبیاری و کود آلی بر محتوای پرولین، کلروفیل کل و شاخص سطح برگ کینوا

شاخص سطح برگ	کلروفیل کل	پرولین	کود آلی	دور آبیاری (تبخیر از تشتک تبخیر)
۳/۰۱cd	۱/۲۰۶ef	۰/۱۲۶h	شاهد	۷۰ میلی متر
۳/۰۵cd	۱/۲۲۸ef	۰/۱۲۹h	بیوچار	
۳/۹۶a	۲/۲۱۰a	۰/۱۳۲h	ورمی کمپوست	
۴/۰۲a	۲/۲۴۹a	۰/۱۵۰h	بیوچار + ورمی کمپوست	
۲/۸۱de	۱/۰۳۱fg	۰/۸۵۱e	شاهد	۱۰۰ میلی متر
۲/۸۵de	۱/۰۴۹fg	۰/۵۰۹f	بیوچار	
۳/۲۱bc	۱/۶۸۰bc	۰/۵۲۵f	ورمی کمپوست	
۳/۵۱b	۱/۸۲۱b	۰/۴۰۴g	بیوچار + ورمی کمپوست	
۲/۶۴e	۰/۷۷۹h	۱/۷۴۵a	شاهد	۱۳۰ میلی متر
۲/۸۱de	۰/۹۱۱gh	۱/۳۰۳b	بیوچار	
۲/۹۲cde	۱/۳۱۸de	۱/۲۳۶c	ورمی کمپوست	
۳/۰۵cd	۱/۵۳۰cd	۰/۹۰۷d	بیوچار + ورمی کمپوست	

آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه می شوند و با کاهش کلروفیل، تغییرات قابل توجهی در گیاهان ایجاد می نمایند. گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی شاخص سبزی رنگی برگ کینوا به عنوان شاخصی از غلظت کلروفیل کاهش می یابد (Salek Mearaji et al., 2020). احتمالاً کاربرد ترکیب کود آلی بیوچار+ورمی کمپوست بواسطه بهبود وضعیت تغذیه خاک و مهمتر از آن بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، اثرات تنش خشکی از جمله تولید رادیکال های آزاد اکسیژن را کاهش و محتوای کلروفیل را افزایش می دهد و منجر به بهبود فتوسنتز و رشد مطلوب گیاه کینوا تحت تنش خشکی می شود. افزایش میزان مصرف کود آلی با افزایش غلظت عناصر غذایی مانند نیتروژن، آهن و منیزیم که نقش اساسی در کلروفیل سازی دارند، منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ می شوند (Nasrolahzadeh et al., 2017). نتایج یک پژوهش نشان داد که مصرف ورمی کمپوست به میزان ۱۰ تن در هکتار بر غلظت کلروفیل تأثیر معنی داری داشت، به طوری که محتوای کلروفیل از ۱/۳۶ به ۱/۹۳ میلی گرم بر گرم افزایش یافت (Amyanpoori et al., 2015).

محتوای پروتئین: محتوای پروتئین به طور معنی داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای دور آبیاری و کود آلی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین دوره های مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین مربوط به تیمار دور آبیاری ۷۰ میلی متر از تشتک تبخیر بود و افزایش دور آبیاری به ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی متر از تشتک تبخیر به ترتیب منجر به کاهش ۷/۵ و ۱۲/۴ درصدی این صفت گردید (جدول ۴). کاهش سرعت فتوسنتز خالص تحت شرایط تنش خشکی، موجب صدمه زدن به فرآیندهای بیوشیمیایی و عوامل غیر روزنه ای گیاه می شود، از

محتوی کلروفیل کل و کاروتنوئید: محتوای کلروفیل

کل تحت تاثیر تیمارهای دور آبیاری و کود آلی (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آنها (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل در دور آبیاری ۱۳۰ میلی متر از تشتک تبخیر کاربرد تیمارهای کودی بیوچار، ورمی کمپوست و ترکیبی بیوچار+ورمی کمپوست به ترتیب منجر به افزایش ۱۶/۹، ۶۹/۲ و ۹۶/۴ درصدی محتوای کلروفیل کل در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی) شد (جدول ۶). بیشترین محتوای کلروفیل کل در تیمار دور آبیاری ۷۰ میلی متر در حضور بیوچار + ورمی کمپوست مشاهده شد که با تیمار ورمی کمپوست تفاوت معنی دار نداشت و کمترین محتوای کلروفیل در دور آبیاری ۱۳۰ میلی متر بدون استفاده از مواد آلی مشاهده شد که تفاوت معنی داری با تیمار کاربرد بیوچار در این دور آبیاری نداشت (جدول ۶). در این تحقیق اثرات ساده تیمارهای مورد بررسی اثر معنی داری بر محتوای کاروتنوئید ($P < 0.01$) داشت ولی اثر متقابل تیمارها معنی دار نبود (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین تیمارهای دور آبیاری، بیشترین و کمترین مقدار کاروتنوئید به ترتیب با میانگین های ۰/۵۰۶ و ۰/۳۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ متعلق به دوره های آبیاری ۷۰ و ۱۳۰ میلی متر از تشتک تبخیر بود (جدول ۴). مقایسه تیمارهای کودی نشان داد کاربرد ترکیب بیوچار+ورمی کمپوست منجر به افزایش ۴۲ درصدی محتوای کاروتنوئید در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵). کمترین مقدار کاروتنوئید در تیمار شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی داری با تیمار بیوچار نشان نداد (جدول ۵). به نظر می رسد کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش رادیکال های آزاد اکسیژن در سلول است. این رادیکال های

باعث کاهش تعداد برگ در بوته، اندازه برگ‌ها و طول عمر آنها شده (Anjum *et al.*, 2011) و در نهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌شود. پژوهش‌های متعددی نشان دادند که در شرایط تنش خشکی گسترش برگ ارقام مختلف کینوا کاهش می‌یابد (Sun *et al.*, 2014; Salek Mearaji *et al.*, 2020). به نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی از طریق کاهش شدت تنش، بهبود رشد شاخساره و تحریک تولید شاخه‌های جانبی سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش سطح برگ با مصرف کودهای آلی علاوه بر افزایش تولید برگ می‌تواند به دلیل افزایش دوام سطح برگ و تأخیر در پیری و زرد شدن برگ‌ها باشد (Hakan, 2002).

سرعت رشد محصول (CGR): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) برای سرعت رشد محصول معنی‌دار بود (جدول ۳). در این تحقیق افزایش دور آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب منجر به کاهش ۱۷/۴ و ۴۳/۸ درصدی سرعت رشد محصول شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد علت کاهش سرعت رشد محصول در شرایط تنش خشکی کاهش سطح و تعداد برگ، اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید ماده خشک باشد. در شرایط تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب برگ سرعت رشد محصول نیز کاهش می‌یابد که دلیل آن افزایش سرعت تنفس همراه با افزایش دمای گیاه و کاهش فتوسنتز است. از طرف دیگر تغییر در سطح برگ که عامل مهمی در جذب کربن است، در شرایط تنش خشکی موجب تغییراتی در سرعت رشد محصول می‌شود. بیشترین سرعت رشد محصول با میانگین ۸/۴۱ گرم بر مترمربع در روز در تیمار ترکیبی بیوجار+ورمی کمپوست اندازه‌گیری شد (جدول ۵). در یک بررسی با استفاده از مقادیر ۵ و ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار، مشخص گردید که کاربرد ورمی کمپوست، به طور معنی‌داری سطح برگ و سرعت رشد را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد (Arancon *et al.*, 2004). پژوهشگران این برتری را به افزایش جمعیت میکروبی خاک و تولید مواد محرک رشد مانند هورمون‌های گیاهی توسط کرم‌های خاکی طی فرآیند تولید ورمی کمپوست نسبت دادند.

ارتفاع بوته: طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب با میانگین‌های ۹۷/۸ و ۷۴/۴ سانتی‌متر از دورهای آبیاری ۷۰ و ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر بدست آمد (جدول ۸).

جمله باعث ایجاد تغییر در ساختمان پروتئین می‌شود. به نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در واکنش پروتئین به رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسید آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد می‌باشد (Ranjan *et al.*, 2017). مشابه با نتایج این تحقیق گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش محتوای پروتئین گیاه کینوا شد (Dashab and Omid, 2021). بیشترین محتوای پروتئین دانه با میانگین ۱۸/۴۸ میلی‌گرم بر گرم در تیمار کودی بیوجار+ورمی کمپوست اندازه‌گیری شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ورمی کمپوست به تنهایی اختلاف معنی‌دار نشان نداد. کمترین محتوای پروتئین در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد که با تیمار بیوجار اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد کود ورمی کمپوست از طریق فراهمی عناصر میکرو و ماکرو به خصوص نیتروژن برای گیاه موجب افزایش درصد پروتئین دانه شده است. نتایج این پژوهش با نتایج Rashtbari and Alikhani (2012) مبنی بر اثرات مثبت استفاده از ورمی کمپوست بر میزان پروتئین گیاه مطابقت داشت. نتایج گزارش Jat and Ahlawat (2008) نشان داد که اثر مطلوب ورمی کمپوست احتمالاً به دلیل مقادیر بالاتر عناصر غذایی (بخصوص نیتروژن که برای پروتئین‌های ساختاری ضروری هستند) مرتبط است.

شاخص سطح برگ (LAI): اثرات ساده تیمارهای دور آبیاری و کود آلی (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آنها (در سطح احتمال پنج درصد) بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۴/۰۲ مربوط به دور آبیاری ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر همراه با کاربرد بیوجار+ورمی کمپوست بود که تفاوت معنی‌داری با مصرف ورمی کمپوست به صورت تنها نداشت (جدول ۶). در همه تیمارهای کود آلی مورد بررسی با افزایش دور آبیاری مقدار شاخص سطح برگ کاهش یافت اما به طور کلی کاربرد کود آلی در مقایسه با تیمار شاهد در هر کدام از سطوح آبیاری مورد بررسی منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد (جدول ۶). کاهش شاخص سطح برگ گیاه کینوا در شرایط تنش را می‌توان به کاهش رشد طولی، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و ریزش برگ‌های پایینی نسبت 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

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول پانیکول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
بلوک	2	۲۷/۲۲۹	۱/۲۴۱	۰/۱۲۰	۹۱۲/۶۵
آبیاری	2	۱۶۴۳**	۲۲/۹۷**	۱/۴۸۷**	۱۴۲۳۸**
خطای a	4	۲۴/۲۰۲	۲/۱۱۶	۰/۰۷۴	۵۶۳/۶
کود آلی	3	۸۱۸/۶**	۱۳/۵۶۸**	۱/۲۰۷**	۱۱۹۴۰**
اثر متقابل	6	۵۹/۶۳ns	۰/۹۷۲ns	۰/۰۹۶ns	۷۵۲/۱ns
خطا	18	۵۵/۹۰۱	۱/۴۴۶	۰/۰۷۱	۷۷۸/۳
ضریب تغییرات	-	۸/۶۴	۸/۵۲	۹/۷۴	۹/۸۷

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری بر ارتفاع بوته، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاه کینوا

دور آبیاری	ارتفاع بوته	طول پانیکول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
(تبخیر از تشتک تبخیر)	(cm)	(cm)	(g)	(g m ⁻²)
۷۰ میلی‌متر	۹۷/۸a	۱۵/۵۷a	۳/۰۵a	۳۱۲/۹۳a
۱۰۰ میلی‌متر	۸۷/۲b	۱۳/۹۲b	۲/۸۱a	۲۸۹/۷a
۱۳۰ میلی‌متر	۷۴/۴c	۱۲/۸۲b	۲/۳۶b	۲۴۵/۱۵b

از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. افزایش ارتفاع گیاه در تیمارهای کود آلی می‌تواند ناشی از بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و تأمین عناصر غذایی در کرتهای تحت تیمار این کودها باشد. ورمی‌کمپوست با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات-کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Nardi et al., 2009). Hosseinzadeh و همکاران (2016) گزارش کردند ورمی‌کمپوست دارای هیومیک، فولویک و دیگر اسیدهای آلی است که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید شده و می‌تواند موجب تحریک رشد گیاهان شود. نتایج سایر پژوهشگران نیز افزایش ارتفاع بوته ناشی از مصرف کودهای آلی را تایید کرد (Feizabadi et al., 2021).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که محسوس‌ترین اثر کم آبی روی گیاه را کاهش ارتفاع یا اندازه برگ‌ها است (Babai et al., 2010). کاهش ارتفاع ارقام مختلف کینوا تحت شرایط تنش خشکی در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است (Telahigue et al., 2017; Dawood, 2018; Sun et al., 2014; Yang et al., 2016; Eleva et al., 2017). اثر تیمار کود آلی نیز بر روی این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۶). کاربرد ترکیب بیوچار+ ورمی‌کمپوست منجر به افزایش ۲۵/۴ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۹). همچنین بین تیمار شاهد و کاربرد بیوچار

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاه کینوا

کود آلی	ارتفاع بوته	طول پانیکول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
	(cm)	(cm)	(g)	(g m ⁻²)
شاهد	۷۷/۲b	۱۲/۹b	۲/۴۴۳b	۲۵۰/۳۲b
بیوچار	۷۹/۶b	۱۳/۲b	۲/۴۲۷b	۲۵۲/۹۴b
ورمی‌کمپوست	۹۲/۱a	۱۴/۹a	۲/۹۷۶a	۳۰۵/۱۹a
بیوچار+ ورمی‌کمپوست	۹۷/۰a	۱۵/۴a	۳/۱۴۱a	۳۲۱/۹۴a

تیمار کودی بیوچار+ورمی‌کمپوست (۱۵/۴ سانتی‌متر) بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار ورمی‌کمپوست (۱۴/۹ سانتی‌متر) نداشت، درحالی‌که تفاوت بین ترکیبات این دو تیمار با تیمارهای شاهد و بیوچار معنی‌دار بود. اثر متقابل دور آبیاری در کود آلی برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۷). کاهش طول خوشه اصلی و فرعی در گیاهان تحت تنش خشکی به طور غیر مستقیم

طول پانیکول: بین دوره‌های آبیاری مورد بررسی از نظر طول پانیکول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ملاحظه شد (جدول ۷). دور آبیاری ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با طول پانیکول ۱۵/۵۷ سانتی‌متر بیشترین میانگین معنی‌دار را به نسبت سایر دوره‌های آبیاری داشت (جدول ۸). همان‌طور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، بیشترین طول پانیکول مربوط به

کاهش آب در بافت‌های گیاه رابطه معنی‌داری وجود دارد. با کاهش رشد سلول، رشد برگ، میزان جذب نور خورشید، فتوسنتز و تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (Hong-Bo *et al.*, 2008). در این مطالعه بیشترین تاثیر تیمار کود آلی بر عملکرد دانه مربوط به تیمار ترکیبی بیوجار + ورمی کمپوست بود که موجب افزایش ۲۸/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد تیمار ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش ۲۱/۹ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۹). افزایش عملکرد دانه کلزا (Azimzadeh *et al.*, 2017)، کنجد (Sajadi Nik *et al.*, 2011)، ذرت (Oo *et al.*, 2015) و نخود (Pezeshkpour *et al.*, 2015) با کاربرد ورمی کمپوست گزارش شده است. این موضوع به تاثیر مثبت ورمی کمپوست بر افزایش قدرت جذب و نگهداری رطوبت در خاک (Pezeshkpour *et al.*, 2015)، افزایش غلظت و فراهمی عناصر غذایی (Truong *et al.*, 2018)، افزایش فعالیت میکروبی زیست توده خاک (Oo *et al.*, 2015) و بهبود عملکرد آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد (Sajadi Nik *et al.*, 2011) نسبت داده می‌شود. جرم مخصوص ظاهری کم، تخلخل زیاد، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و ظرفیت نگهداری رطوبت قابل ملاحظه‌ی بیوجار (Fathi Gerdelidani and Mirseyed, 2015)، منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک، افزایش رشد گیاه و توسعه ریشه می‌شود. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که بیوجار عملکرد برنج را تا ۱۴ درصد بهبود داد (Zhang *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری

مدیریت حاصلخیزی خاک با استفاده از کودهای آلی مانند بیوجار و ورمی کمپوست می‌تواند در دستیابی به حداکثر عملکرد و حاصلخیزی پایدار خاک، بسیار مهم باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست و بیوجار + ورمی کمپوست در مقایسه با عدم کاربرد آنها توانست شاخص سطح برگ گیاه کینوا را در شرایط تنش خشکی بهبود بخشد. با توجه به این که عامل مؤثر بر رشد گیاه میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آنها به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت منجر به افزایش تولید ماده خشک می‌شود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که انتخاب منبع کود آلی اهمیت ویژه‌ای دارد به طوری که کاربرد بیوجار به تنهایی در مورد بسیاری از ویژگی‌های مورد ارزیابی تأثیر قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمار شاهد نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش به نظر می‌رسد که کاربرد ورمی کمپوست به همراه بیوجار با افزایش قدرت جذب و

با کاهش پیام‌رسانی سیتوکینین و کاهش تقسیم سلولی مرتبط است (Brenner *et al.*, 2012). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی طول خوشه اصلی و فرعی کینوا کاهش می‌یابد (Salek Mearaji *et al.*, 2020) که مشابه با یافته‌های این پژوهش است.

وزن هزار دانه: در این پژوهش صفت وزن هزار دانه در

سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تیمارهای دور آبیاری و کود آلی قرار گرفت ولی اثر متقابل آنها برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۷). براساس نتایج افزایش دور آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ میلی-متر از تشتک تبخیر وزن هزار دانه را کاهش داد ولی این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود در حالی افزایش دور آبیاری به ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر منجر به کاهش ۲۲/۶ درصدی این صفت در مقایسه با دور آبیاری ۷۰ میلی‌متر شد (جدول ۸). در طول دوره رشد، تقاضا برای دریافت مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و تنفس و نگهداری زیست توده، همزمان افزایش می‌یابد. بنابراین وقوع تنش در هنگام پر شدن دانه‌ها بیشترین تأثیر را بر کاهش وزن دانه بر جای می‌گذارد. بیشترین و کمترین میانگین وزن هزار دانه به ترتیب با میانگین‌های ۳/۱۴۱ و ۲/۴۴۳ گرم مربوط به تیمارهای کودی بیوجار + ورمی کمپوست و شاهد بود (جدول ۹). در واقع به نظر می‌رسد هم‌افزایی ورمی کمپوست و بیوجار در کاربرد تلفیقی آنها سبب ایجاد محیط کشتی مناسب از طریق فراهمی عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز، انتقال و ذخیره مواد غذایی در دانه شده و در نهایت وزن هزاردانه را افزایش داده است.

عملکرد دانه: این صفت به طور معنی‌داری (در سطح

احتمال یک درصد) تحت تاثیر اثرات ساده دور آبیاری و کود آلی قرار گرفت (جدول ۷). مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که کمترین عملکرد دانه مربوط به دور آبیاری ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر بود. این در حالی بود که بین عملکرد دانه در دوره‌های آبیاری ۷۰ و ۱۰۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸). در پژوهش حاضر، افزایش دور آبیاری منجر به کوچک شدن سطح برگ، کاهش شاخص سطح برگ، کاهش طول سنبله، کوچک شدن دانه، کاهش وزن هزار دانه و به دنبال آن کاهش عملکرد دانه شد. نتایج مربوط به کاهش عملکرد دانه با افزایش تنش خشکی با نتایج سایر پژوهشگران همسو بود (Eleva *et al.*, 2017; Telahigue *et al.*, 2017; Dawood, 2018). اولین نشانه تنش خشکی در گیاهان کاهش فشار تورگور و در ادامه کاهش رشد سلول‌ها می‌باشد. کاهش رشد سلول منجر به کاهش ارتفاع گیاه و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. بنابراین، بین کاهش اندازه سلول و



را به همراه دارد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

نگهداری رطوبت در خاک، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش فعالیت میکروبی زیست‌توده خاک سبب بهبود شاخص‌های رشد و مراحل نموی گیاه شده که در نهایت افزایش عملکرد دانه کینوا

REFERENCE

- Ahmad Abadi, Z. Ghajar Sepanlou, M and Rahimi Alashti, S. (2012). Effect of Vermicompost on Physical and Chemical Properties of Soil. *Journal of Water and Soil Science*. 15(58), 125-137. (In Farsi).
- Amyanpoori, S., Ovassi, M and Fathinejad, E. (2015). Effect of Vermicompost and Triple superphosphate on yield of Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 3(6), 494-499.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y. Wang, L.C. Saleem, M.F. Man, C and Lei, W. (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.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C and Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*. 93, 145-153.
- Ashraf, M and Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59(2), 206-216.
- Azimzadeh, S. J., Nassiri Mahallati, M and Koocheki, A. (2017). Study on replacement probability of organic with chemical fertilizers in canola (*brassica napus*) under two deficit and full irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 14(4), 587-598. (In Farsi)
- Babai, K., M. Amini Dehagi, Modares-Sanavi, S. A. M and Jabbari, R. (2010). Effect of water stress on morphological characteristics, content of proline and thymol in thyme. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 26 (2), 251-239. (In Farsi).
- Bates, L. S., Waldren, R. P and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*. 39, 205-207.
- Bazile, D., Bertero, H. D and Nieto, C. 2015. State of the art report on quinoa around the world in (2013). FAO/CIRAD. Pp, 1-2.
- Behbahani M. R., Mashhadi R., Rahimi Khoub A and Nazarifar M. H. (2009). Study of super absorption polymer (sap) stakasorb on moisture front of trickle and irrigation physical properties of soil. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 3(1), 91-100. (In Farsi).
- Bradford, M. M. (1976). A rapid, sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry*. 72, 248-254.
- Brenner, W. G., Ramireddy, E. Heyl, A and Schmülling, T. (2012). Gene regulation by cytokinin in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*. 3 (8), 1-22.
- Chanda, G. K., Bhunia, G and Chakraborty, S. K. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry*. 3(2), 42-45.
- Claudio, P. J., Raphael, B. Alves, F. Kamiila, L. R. Brunade, S. N. and Priscila, M. B. (2009). Zn(II) adsorption from syntheyic solution and kaolin wastewater on vermicompost. *Science of the Total Environment*. 162, 804-811.
- Daryanto, S., Wang, L. X and Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *Plos One*. 11(5), 1-15.
- Dashab, S and Omidi, H. (2021). Investigation the effect of drought tension and seed pretreatment on physiological and biochemical traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Scientific Journal of Crop Physiology*. 12(48): 5-23. (In Farsi)
- Dawood, M. G. (2018). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 19(5): 245-254.
- Elewa, T. A., Sadak, M. S and Saad, A. M. (2017). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*. 14(1), 21-33.
- Fathi Gerdelidani, A and Mirseyed, H. (2015). Different aspects of biocurrent effects in improving soil quality. International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran, 22 May: 1-12. (In Farsi)
- Feizabadi, A. Noormohammadi, Gh and Fatehi, F. (2021). Study of some morphophysiological characteristics of several rapeseed cultivars using vermicompost fertilizer in drought tension conditions. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 12(48), 133-153. (In Farsi)
- Gardner, F. P., Pearce, R. B. and Mitchell, R. L. (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 327 pp.
- Gholinezhad, R., Sirousmehr, A and Fakheri, B. (2016). Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitative and quantitative yield of borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Crop Ecology*. 3(39), 683-696.
- González, J. A., Gallardo, M., Hilal, M. B., Rosa, M. D and Prado, F. E. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa*) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning.

- Botanical Studies*. 50(1), 35-42.
- Gresta, F., Lombardo, G. M., Siracusa, L and Ruberto, G. (2008). Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28, 95-112.
- Guo, L., Wu, G., Li, Y., Li, C., Liu, W., Meng, J., Liu, H., Yu, X and Jiang, G. (2016). Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research*. 156, 140-147.
- Hakan, O. (2002). Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *Agronomy Journal*. 19, 453-463.
- Hasanzadeh, H., Shakerdargah, Gh and Darjani, F. (2013). Determination of the best planting date of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in South coast of Iran. The First National Electronic Conference on Advanced Topics in Horticultural Science. 19 and 20 November, Jahrom University. (In Farsi).
- Hayat, S., Fariduddin, Q. Ali, B and Ahmad, A. (2005). Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*. 53, 433-437.
- Hong, S. W., Kwon, S. J., Sohn, S. I., Kim, N. S and Kim, J. C. (2003). Characterization of embryogenesis related Pmbyb genes during in vitro differentiation of *Pimpinella brachycarpa*. *Korean Journal of Genetics*. 25(4), 293-300.
- Hong-Bo, S., Li-Ye, C. Cheruth A. j and Chang-Xing, Z. (2008). Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331, 215-225.
- Hong-Bo, S., Xiao-Yan, C., Li-Ye, C., Xi-Ning, Z., Gang, W., Yong-Bing, Y., Chang-Xing Z and Zan-Min, H. (2006). Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids and Surfaces*. 53, 113-119.
- Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H and Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*. 54 (1), 87-92.
- Jacobsen, S. E., Liu, F. and Jensen, C. R. (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.
- Jat, R. S and Ahlawat, I. P. S. 2008. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture*. 28(1), 41-54.
- Lehmann, J and Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: an introduction. In J. Lehmann and S. Joseph (eds). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, p. 1-12.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology*. 148, 350-382.
- Mukherjee, A., Lal, R and Zimmerman, A. R. (2014). Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*. 487, 26-36.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A and Vianello, A. (2009). Physiological effects of vermicomposting and humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34, 1527-1536.
- Nasrolahzadeh, S., Shirkhani, A., Zehtab Salmasi, S. and Choukan, R. (2017). Effects of biofertilizer and chemical fertilizer on maize yield and leaf characters in different irrigation conditions. *Journal of Applied Crop Research*. 29(113), 72-86.
- Oo, A. N., Iwai, C. B., and Saenjan, P. (2015). Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms. *Land Degradation and Development*. 26(3), 300-310.
- Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A and Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 5, 162-169.
- Pezeshkpour, P., Ardakani, M. R., Paknejad, F and Vazan, S. (2015). Effects of vermicompost, microorganisms mycorrhiza and phosphate biofertilizer on some morphophysiological characteristics and seed protein percent of chickpea in autumn plantation. *Plant Ecophysiology*. 7(22), 190-204. (In Farsi).
- Ranjan, A., Archana, K and Ranjan, S. (2017). *Gossypium herbaceum* ghcypl regulates water-use efficiency and drought tolerance by modulating stomatal activity and photosynthesis in transgenic tobacco. *Biosciences. Biotechnology Research Asia*. 14(3), 869-880.
- Rashtbari, M and Alikhani, H. A. (2012). Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science*. 22(2), 113-127.
- Rashtbari, M and Alikhani, H. A. (2012). Effect and efficiency of municipal solidwaste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 22(2), 113-127.
- Sajadi Nik, R., Yadavi, A., Balouchi, H. R. and Farajee, H., (2011). Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 21(2), 87-



101.

- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A and Sepahvand, N. A. (2020). Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 14(4), 479-498.
- Sharifan, H. Jamali, S and Sajadi, F. (2018). Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Science*. 22(2), 15-27.
- Sohi, S., Krull, E., Lopez-Capel, E and Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*. 105, 47-82.
- Suhane, R. K., Sinha, R. K and Singh, P. K. (2008). Vermicompost, cattle-dung compost and chemical fertilizers: Impacts on yield of wheat crops. Communication of Rajendra Agriculture University, Pusa, Bihar, India.
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S and 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.
- Telahigue, D. C., Yahia, L. B. Aljane, F. Belhouchett, K and Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*. 1, 222-232.
- Truong, H. D., Wang, C. H and Kien, T. T. (2018). Effect of vermicompost in media on growth, yield and fruit quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under net house conditions. *Compost Science and Utilization*. 26(1), 52-58.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L and 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(15), 2541-2547.
- Wani, S. H and Sah, S. K. (2014). Biotechnology and abiotic stress tolerance in rice. *Journal of Rice Research*. 2(2), 1-2.
- Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S and 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.
- Yin, C. X., Pang, X and Lei, Y. (2009). Populous from high altitude has more efficient protective mechanisms under water stress than from low altitude habitats: a study in greenhouse for cuttings. *Physiologia Plantarum*. 137, 22-35.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J and Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139(4), 469-475.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J and Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 139(4), 469-475.
- Zlatev, Z and 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.