نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۶- شماره ۱- پیاپند ۱۳۸ بهار ۱۴۰۲

اثرات کاربرد کودزیستیونانو کود پتاسیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*Willd) تحت تنش خشکی

Effects of application of biofertilizer and potassium nanofertilizer on yield and physiological traits of quinua (*Chenopodium quinoa*Willd) under drought stress

محمد میرطیبی[۱]،امیر بستانی[۲]،مرجان دیانت[۳*]،امین آزادی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. دانشیاردانشگاه شاهد، تهران،ایران.
۳. دانشیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نگارنده مسئول)
۴. استادیار دانشگاه ازاد اسلامی یادگار امام شهر ری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷ - شناسانهٔ برنمود رقمی: aj.2024.359942.1625/10.22092

چکیده

میرطیبی، م.، بستانی ، ا.، دیانت، م.، آزادی، ا.، . **اثرات کاربرد کودزیستیونانو کود پتاسیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa*Willd) تحت تنش خشکی**
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۶ - شماره ۱- پیاپند ۱۳۸ بهار ۱۴۰۲ صفحه: ۶۵-۴۲

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزاء عملکرد سیاهدانه، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان در دو سال زراعی۱۴۰۰-۱۳۹۸ اجرا شد. در این آزمایش چهار تاریخ کاشت (۱۵ مهر، ۱۵ آبان، ۱۵ آذر و ۱۵ دی) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم کاشت در چهار سطح (۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ بوته در متر مربع) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد تاخیر در کاشت اثر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن داشت به‌طوریکه سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه به‌ترتیب ۶۴،۴۰، ۳۲ و ۲۲ درصد گردید. همچنین صفات فوق با افزایش تراکم از ۴۰ به ۱۲۰ بوته در مترمربع روند افزایشی داشتند، ولی افزایش بیشتر تراکم از ۱۲۰به ۱۶۰بوته در مترمربع،کاهش این صفات به‌غیر از ارتفاع بوته و عملکرد زیست توده را در پی داشت. بیشترین عملکرد دانه (۱۴۵۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۱۵ آبان و تراکم ۱۲۰ بوته در متر مربع حاصل شد که با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع به علت بالا بودن قدرت جبرانی سیاهدانه تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌داری را با تعداد شاخه جانبی (r=۰/۸۹*) و تعداد فولیکول در بوته (r=۰/۹۴) داشت. به‌طورکلی نتایج دو ساله آزمایش نشان داد به‌منظور رسیدن به عملکرد اقتصادی مطلوب در زراعت سیاهدانه در منطقه گرگان، کشت زود هنگام (ترجیحا اواسط آبان) و تراکم۸۰ بوته در مترمربع را میتوان توصیه نمود.**

واژه های کلیدی: ارتفاع گیاه، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیستی

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Ma_dyanat@yahoo.com

مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd از خانواده‌ی Amaranthaceae گیاهی یک ساله و دارای شباهت ظاهری و قرابت با علف هرز سلمه تره است (Sephovan *et al.*, ۲۰۰۹). کینوا دارای توانایی برای انطباق با محیط زیست و آب و هوای مختلف است. این گیاه مقاومت بالایی در برابر خشکی، خاک‌های فقیر و شوری بالا دارد و می‌تواند نقش مهمی در از بین بردن گرسنگی، سوء تغذیه و فقر را بازی کند، به همین دلیل سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۳ را سال کینوا نام گذاری کرد (Fao, 2013).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که به دلایل مختلفی از قبیل کاهش بارش باران، شوری، درجه حرارت بالا و پایین و شدت زیاد نور درگیاهان رخ می‌دهد. تنش خشکی، تنش چند بعدی در گیاهان است و شامل تغییرات در صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی می‌شود. بسیاری از گیاهان برای تحمل تنش خشکی سازوکارهای تحمل خود را بهبود داده‌اند، اما این سازوکارها متنوع هستند و به گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Hossain *et al.*, 2016). کینوا به دلیل توانایی رشد در شرایط تنش های گوناگون مانند شوری خاک، اسیدیته، خشکی، سرما و غیره مورد توجه جهانی قرار گرفته است (Bhargava *et al.*, 2006). بررسی اثر چهار تیمار تنش خشکی (آبیاری زمانی که محتوای آب خاک به ۹۵، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد آب قابل استفاده خاک برسد) روی سه ژنوتیپ کینوا نشان داد ظرفیت آنتی اکسیدانی در بذرهای گیاهان در معرض تنش آب بیشتر (۲۰ درصد آب قابل استفاده خاک) زمانی که بذرها بین مرحله فنولوژیکی شیر و خمیر قرار داشتند، افزایش یافت، اما عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها کاهش یافت (Fischer *et al.*, 2013). گزارش شده که تنش خشکی منجر به کاهش ۱۷ درصدی عملکرد بیولوژیک کینوا شده است (Keshtkar *et al.*, 2019).

درحال حاضرکشاورزی پایدار و ارگانیک به بهره‌برداری از منابع زیستی استوار هستند. کودهای زیستی ریز جاندارانی هستند که در ارتباط با تثبیت زیستی نیتروژن یا فراهمی فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها در خاک فعالیت می‌کنند و به طور عمده شامل باکتری‌های ریزوسفری تثبیت کننده نیتروژن مولکولی به‌صورت همزیست، آزادزی و همیار، باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات، قارچ‌های حل کننده سیلیکات، قارچ‌های میکوریزا و غیره و مواد حاصل از فعالیت آن ها می باشند (Zahir *et al.*, 2004). طی آزمایشی معلوم شد که همزیستی میکوریزای سبب افزایش مقاومت گیاه سورگوم به تنش‌های خشکی و شوری شد (Cho *et al.*, 2006). تحت شرایط پایدار، مزایای متعدد همزیستی آربوسکولار میکوریزا می توانند نقش مهمی در حفظ حاصل‌خیزی خاک، تثبیت ساختار خاک، افزایش جذب آب گیاه و کیفیت مواد غذایی داشته باشد (Ellouze *et al.*, 2014). پژوهشگران گزارش کردند که همزیستی میکوریزایی می تواند از

طریق توسعه‌ی سیستم ریش‌های و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب بهبود غلظت عناصر در اندام‌های هوایی گیاه لوبیا گردد (Parsa Motlagh *et al*., 2011). بیشترین عملکرد دانه کینوا به مقدار ۳۶۱۶ کیلوگرم در هکتار در رقم ساجاما و تحت تیمار تلفیق کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به همراه مصرف اوره و سوپرفسفات تریپل حاصل شده است (Amir Yousefi *et al*., 2014).

استفاده از نانوکودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می تواتند گامی موثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. به دلیل آنکه با به کارگیری نانوکودها زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. با به کارگیری فناوری نانو در بهینه کردن فرمولاسیون کودهای شیمیایی می‌توان به دستاوردهای شگرفی از جمله کاهش مصرف انرژی، صرفه جویی در هزینه‌های تولید و جلوگیری از معضلات زیست محیطی نائل آمد (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013).

پتاسیم از عناصر ضروری گیاهان عالی و فراوان ترین عنصر موجود در پیکره گیاه پس از نیتروژن است که علاوه بر دخالت در فرایندهای فیزیولوژیکی، در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی نیز جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. مهم‌ترین بخش تأمین کننده پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم محلول در خاک است (Salardini, ۲۰۱۲). تحقیقات نشان داده است پتاسیم سبب مقاومت به خشکی شده و با افزایش سطح برگ و بالا بردن میزان کلروفیل موجب افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نهایت عملکرد می‌شود (Cakmak, 2002). گزارش شده است پتاسیم بیشتر آنزیم‌هایی را که باعث تجمع مولکول‌های کوچک شده و مولکول‌های بزرگ مانند نشاسته را تولید می کنند را فعال می نماید (Salardini, ۲۰۱۲).

امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی رویه کودهای شیمیایی بوجود آورده است، استفاده از کودهای بیولوژیک به عنوان فرآورده ای دوستدار طبیعت و کمک کننده به کشاورزان برای تولید محصولات سالم، مورد توجه قرار گرفته است و با توجه به قرار داشتن ایران در زمره کشورهای خشک، هدف از این تحقیق بررسی اثر کودهای زیستی و نانوکود پتاسیم بر میزان تحمل به خشکی گیاه کینوا بود.

مواد و روش ها

این آزمایش در تابستان دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه ای در جنوب غرب تهران (احمد آباد مستوفی، مزرعه تحقیقاتی شرکت پیش گامان توسعه کشاورزی کوثر) با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۳۲۱ متر انجام شد. پس از مشخص کردن محل دقیق آزمایش، از خاک مزرعه که در سال قبل از آزمایش زیر کشت گندم بود به منظور تشخیص دقیق خصوصیات خاک زراعی در ده نقطه مختلف مزرعه به صورت زیگزاک و از

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی متر)

Table 1. Soil analysis results of the test field (depth 0-30 cm)

مشخصات نمونه Soil sample	2018	2019
فسفر قابل جذب P (ppm)	9.2	11.3
پتاسیم قابل جذب K (ppm)	285	315
هدایت الکتریکی EC (μ mos cm^{-1})	1.25	1.28
نیتروژن N (%)	0.38	0.39
اسیدیته pH	7.4	7.3
کربن آلی Organic carbon (%)	0.95	0.97
آهن قابل جذب Fe (ppm)	11.3	10.2
منگنز قابل جذب Mn (ppm)	7.1	7.3
روی قابل جذب Zn (ppm)	0.28	0.28
مس قابل جذب Cu (ppm)	0.65	0.65
بافت خاک Soil texure	Loam	Loam

عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر نمونه‌برداری به عمل آمد و سپس نمونه‌ای از خاک در آزمایشگاه تجزیه گردید (جدول ۱).

بر اساس آمار آب وهوایی و با توجه به منحنی آمبروترمیک، منطقه مورد نظر جزء مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. آزمایش به صورت کرت خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در تابستان دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. عوامل مورد مطالعه شامل تنش خشکی در چهار سطح (شاهد (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال) به عنوان عامل اصلی و کود زیستی ترکیبی از باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن (*Rhodopseudomonas palustris* and *Bacillus subtilis, Bacillus megaterium, Bacilius licheniformis, Bacillus amyloliquefaciend*) و قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices, G. aggregatum,) G.etunicatum, G.mosseae, Rhizopogon villosulus, R.amylopogon, R.fluvigleba, R.luteolus, Scleroderma cepa, S.citrinum, Pisolithus tincrorious*) برای رهاسازی عناصر تثبیت شده با محوریت فسفر در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) و کاربرد ۱، ۲ و ۳ درصد کود زیستی) و نانوکود پتاسیم در دو سطح (عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (شاهد) و کاربرد نانوکود پتاسیم ۳ درصد) به عنوان عوامل فرعی که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. رقم کینوای مورد استفاده تی‌تی کاکا بود.

هر سال بر اساس نتایج آزمون خاک مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره مصرف گردید که در زمان کاشت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌صورت یکنواخت پاشیده شد و به وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط گردید. در کرت‌هایی که از قارچ مایکوریزا استفاده شد، ۲۵ درصد میزان توصیه شده کود فسفره استفاده شد. خطوط کاشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر با استفاده از فاروئر ایجاد گردید (Hosseini *et al.*, ۲۰۲۱). هر کرت فرعی شامل ۴ خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی متر و طول ۵ متر بود. فاصله میان کرت های اصلی ۳

متر، کرت‌های فرعی دو خط نکاشت و میان تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت به صورت دستی انجام شد. بدین منظور به وسیله فوکا در وسط هر پشته به عمق حدود ۵ سانتی شیار ایجاد شد و ابتدا کود زیستی به صورت نواری در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱، ۲ و ۳ درصد (به میزان ۱، ۲ و ۳ لیتر در ۱۰۰ لیتر آب در هر هکتار) در کف شیار قرار داده شد، سپس ۴ سانتی متر خاک روی کود زیستی ریخته و کاشت بذر کینوا انجام و روی آن ها به ارتفاع یک سانتی‌متر خاک ریخته شد. عملیات تنک کردن در مرحله ۴ برگی انجام شد و با رعایت فاصله ۱۰ سانتی متر بین بوته ها روی هر ردیف، به تراکم کاشت ۲۰ بوته در مربع رسیدند. تاریخ کاشت دهه اول تیرماه هر سال بود. در طول دوره رشد گیاه مراقبت‌ها و عملیات زراعی لازم شامل آبیاری و وجین به نحو مطلوب انجام شد. تیمارهای تنش خشکی از مرحله ۶-۴ برگی، یعنی پس از استقرار کامل گیاه در مزرعه اعمال گردید. حجم آب در هر بار آبیاری و برای هر پلات اصلی بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$V_W = (FC - \theta)*BD*A*D/E_a$$

که در آن V_W: حجم آب آبیاری (متر مکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه، θ: درصدوزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۶ گرم بر سانتی متر مکعب)، A: مساحت پلات (اصلی) آزمایش (متر مربع)، D: عمق ریشه (متر)، Ea: راندمان کاربرد آب آبیاری که حدود ۹۰ درصد بود. پس از محاسبهٔ مقدار آب لازم بر اساس تیمارهای تنش خشکی، کرت‌های اصلی با استفاده از شیلنگ که روی نازل های سیستم آبیاری بارانی نصب می‌شد و از دبی خروجی مشخص برخوردار بود تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. برای تعیین طول مدت آبیاری هر پلات از رابطهٔ زیر استفاده شد:

$$t = V/Q$$

که در آن V: حجم آب آبیاری برحسب لیتر و Q: دبی خروجی پمپ آب بر حسب لیتر در ثانیه بود. برای جلوگیری از نفوذ آب از پلات‌های تحت آبیاری به سایر پلات‌ها یک خط کشت نکاشت بین پلات‌های فرعی و ۳ متر فاصله بین پلات‌های اصلی در نظر گرفته شد. با توجه به محصور بودن کرت‌های آزمایشی هدررفت آب صفر بود. به‌منظور توزیع یکنواخت آب در هر پلات، ابتدا و انتهای کرت‌ها مسدود گردید. حجم آب آبیاری براساس کسر آبیاری برای هر کرت با توجه به درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری محاسبه و با نصب شیلنگ بر روی نازل‌های سیستم آبیاری بارانی با دبی خروجی مشخص تا رسیدن رطوبت منطقه ریشه به حد ظرفیت مزرعه اعمال گردید. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه تانسیومتر استفاده شد.

کود کلات نانو پتاسیم) شرکت سپهر پارمیس(در میزان ۳ کیلوگرم در هکتار قبل از گل دهی طی دو مرحله با فاصله ۵ روز از یکدیگر بر اندام هوایی گیاه محلول پاشی شد. برای یکنواختی شرایط آزمایش، پلات‌های شاهد با آب محلول پاشی شدند. در زمان

برداشت ۱۰ نمونه گیاهی به طور تصادفی از دو ردیف وسط هر کرت با رعایت ۲۵ سانتی متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر کرت، برداشت و صفات عملکرد دانه و عملکرد زیست توده اندازه‌گیری و محاسبه شد.

برای تعیین محتوی رطوبت نسبی از هر کرت ۳ عدد برگ انتخاب و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافت و در آنجا با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد (وزن تر). سپس این برگ ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و دوباره توزین شد (وزن اشباع). در نهایت آن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون نگهداری و سپس وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. محتوی رطوبت نسبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Smart & Bingham, 1974).

$$\% \text{ RWC}=\frac{FW-DW}{SW-DW}$$

FW: وزن تر، DW: وزن خشک و SW: وزن اشباع بود.

در مرحله گل دهی نمونه هائی از برگ های بالایی گیاه جهت اندازه گیری غلظت کلروفیل a، کلروفیلb ، محتوی قندهای محلول، درصد پروتئین و محتوی پرولین به آزمایشگاه منتقل شد. برای انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم به ترتیب از روابط زیر استفاده شد.

$$Chl_a(mgml^{-1}) = (12.25\times A\ 663)-(2.79\times A\ 646)$$
$$Chl_b(mgml^{-1}) = (21.21\times A\ 646)-(5\times A\ 663)$$
$$h_{total}(mgml^{-1}) = Chl_{a+}\ Chl_b$$

در روابط فوق، A_{645} و A_{663} به ترتیب میزان جذب در طول موج های ۶۴۵ و ۶۶۳ می‌باشند (Lichtenthaler & Buschmann, 2001)

برای سنجش میزان قندهای محلول از روش(۱۹۷۸) Kochert استفاده شد. غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Bates *et al*., 1973). میزان روغن دانه های هر کرت آزمایشی با استفاده از دستگاه سوکسله (مدل ۱۴۸SER/۶ ساخت کشور ایتالیا) اندازه گیری شد و برای محاسبه درصد نیتروژن و درصد پروتئین دانه از روابط زیر استفاده گردید (Andersen *et al*., 1996).

$$Q_c=63.3-7.37\ Ng + 3.93$$
$$P=N_g\times 6.25$$

که در آن Q_c: درصد روغن دانه P: درصد پروتئین و N_g: درصد نیتروژن دانه می باشد.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات با استفاده از نرم‌افزارSAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس خطای مورد نظر هر منبع تغییر مطابق امید ریاضی در تجزیه واریانس انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون بارتلت برای صفات اندازه گیری شده در جدول ۲ آورده شده است. معنی دار نشدن شاخص کای–اسکور نشان دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش برای صفات و مجاز بودن تجزیه مرکب در دو منطقه است. آزمون های F جدول تجزیه واریانس مرکب براساس نتایج امید ریاضی منابع تغییرات صورت گرفت.

جدول ۲- نتایج آزمون بارتلت برای صفات اندازه گیری شده در آزمایش

Table 2. Result of Barttlet's test for the measured traits in the experiment

	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست توده Biological yield	محتوی رطوبت نسبی Relative water effiency	غلظت کلروفیل a Chlorophyll a	غلظت کلروفیل b Chlorophyll b	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوی پرولین Proline	محتوی قندهای محلول Soluble carbohydrate	درصد پروتئین دانه Grain protein (%)	درصد روغن دانه Grain oil (%)
Chi-square	0.70 ns	0.61 ns	0.131 ns	0.26 ns	0.014 ns	0.080 ns	0.019 ns	0.176 ns	0.24 ns	0.033 ns

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

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و یک درصد و ns عدم اختلاف معنی دار

عملکرد دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی و نانوکود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانوکود پتاسیم و کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود

(جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه را تیمار آبیاری نرمال و کاربرد سه درصد کود زیستی (۲۸۰۹ کیلوگرم در هکتار) نشان داد که در این سطح تنش تنها با عدم کاربرد کود زیستی تفاوت معنی‌داری داشت و کمترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد کود زیستی (۱۵۶۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با کاربرد دو درصد کود زیستی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در تأیید این نتایج گزارش کردند که عملکرد دانه در تیمار عدم تنش معادل ۲۹۷۳ کیلوگرم در هکتار و در تیمار تنش، معادل ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که نشان دهنده کاهش ۲۳ درصدی عملکرد کینوا در شرایط از تنش خشکی است (Keshtkar *et al.*, 2021). کودهای آلی با بهبود ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک و زیستی آن، افزایش ظرفیت نگهداری آب، گسترش مناسب سیستم ریشه، تولید تنظیم کننده‌های رشدی و انتقال مواد مغذی موجب رشد و نمو بهتر گیاه می‌شوند (Fatma *et al.*, 2008). مزیت مهم استفاده از کودهای زیستی این است که این ریزجانداران در محلول سازی فسفر از کمپلکس های فسفات کلسیم نقش دارند و تنها بخش کوچکی از فسفر را از ترکیبات فسفات آهن و فسفات آلومینیوم آزاد می سازند. از این رو، ریزجانداران نقش مؤثری در جذب عناصر غذایی خاک توسط گیاهان دارد. علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی، تولید پیش ماده

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم

Table 4. Combined analysis of variance for the studied traits of quinoa under drought stress, biofertilizer and potassium nanofertilizer.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares		
		عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	محتوی رطوبت نسبی Relative water content
سال Year	1	9644318**	1084438**	14.7**
تکرار× سال Year× Replication	4	980.41 ns	8943 ns	0.266642ns
تنش خشکی Drought stress	3	29932710**	11351731**	1961**
سال× تنش خشکی Drough stress× Year	3	8271.65ns	3072.43ns	0.009906ns
خطای اول Error a	12	4087.85 ns	1327.05 ns	0.171176 ns
کود زیستی Biofertilizer	3	9013.46 ns	3302.78 ns	2.229**
نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer	1	263367**	116846**	9.909**
سال× کود زیستی Biofertilizer×Year	3	424.19 ns	44526 ns	0.035 ns
سال× نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer×Year	1	519.85 ns	26.39 ns	0.003 ns
تنش خشکی × کود زیستی Biofertilizer×Drough stress	9	60846**	22739**	5.079**
تنش خشکی × نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Drough stress	3	29867**	6119**	0.06669 ns
کود زیستی × نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer	3	11434*	4744*	1.005**
سال× تنش خشکی × کود زیستی Biofertilizer×Drought stress×Year	9	521.56 ns	382.66 ns	0.0342 ns
سال× تنش خشکی × نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Drought stress× Year	3	1538.79 ns	716.42 ns	0.01181 ns
سال× کود زیستی × نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer× Year	3	670.97 ns	88.59 ns	0.069ns
تنش خشکی × کود زیستی× نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer× Drought stress	9	5226.94 ns	2361.71 ns	0.465**
سال× تنش خشکی × کود زیستی× نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer× Drought stress×Year	9	838.09 ns	3818.21 ns	0.093 ns
خطای دوم Error b	112	4277.1	1475.87	0.103171
ضریب تغییرات (درصد) C.V	-	18.3	16.7	8.93

ns: غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: non-significant, * and ** significant at five and one percent probability levels, respectively

هورمون‌های گیاهی به وسیله ریزجانداران در ریزوسفر گیاه، توان کنترل پاتوژن های گیاهی، قدرت حل کنندگی فسفات و تولید سیدروفور از جمله سازوکار های افزایش رشد و عملکرد در گیاهان توسط کودهای زیستی در دراز مدت محسوب می شوند (Alori *et al.*, 2017).

مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد نانوکود پتاسیم (۲۸۱۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در جدول ۴.

شرایط تنش شدید (۰/۹- مگاپاسکال) و

Table 2 continued.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares						
		غلظت کلروفیل a Chlorophyll a	غلظت کلروفیل b Chlorophyll b	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوی پرولین Proline	محتوی قندهای محلول Soluble carbohydrate	درصد پروتئین دانه Grain protein	درصد روغن دانه Grain oil
Year سال	1	71.4**	15.485**	156.1**	0.0075*	11.87**	91.4**	2.48**
تکرار× سال Year× Replication	4	0.026812 ns	0.076175 ns	0.060125 ns	0.001492 ns	0.003426 ns	0.034477 ns	0.0035344 ns
تنش خشکی Drought stress	3	40.3**	5.395**	81.5**	0.412**	0.857**	79.2**	11.3**
سال× تنش خشکی Drough stress× Year	3	0.001669 ns	0.002092 ns	1.559052 ns	0.000396 ns	0.000908 ns	0.001669 ns	0.000684 ns
خطای اول Error a	12	042113	0.173732	0.777008	0.000429	0.00107	0.033817	0.002057
کود زیستی Biofertilizer	3	31.6**	3.418**	34.4*	0.034**	0.791**	40.6**	2.394**
نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer	1	150.5**	8.714*	114.1 ns	0.335*	0.291*	159.8**	5.532**
سال× کود زیستی Biofertilizer×Year	3	0.000539 ns	0.000322 ns	2.634*	0.000336 ns	0.000753 ns	0.000539 ns	0.000694 ns
سال× نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer×Year	1	0.003663 ns	0.004168 ns	19.4**	0.001008 ns	0.001519 ns	0.003763 ns	3.4E-07 ns
تنش خشکی × کود زیستی Biofertilizer×Drough stress	9	0.315**	0.102**	0.331619 ns	0.0012**	0.0043**	0.285**	0.00252 ns
تنش خشکی × نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Drough stress	3	0.793*	0.969**	3.72 ns	0.001876 ns	0.002192 ns	1.199**	0.011*
کود زیستی × نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer	3	0.903**	0.160779 ns	0.337067 ns	0.0037**	0.0323**	0.709**	0.001633 ns
سال× تنش خشکی × کود زیستی Biofertilizer×Drought stress×Year	9	0.011198 ns	0.000644 ns	0.21545 ns	0.000152 ns	0.000281 ns	0.0111 ns	0.000822 ns
سال× تنش خشکی × نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Drought stress×Year	3	0.037188 ns	0.005971 ns	0.644473 ns	0.001801 ns	0.003791 ns	0.03718 ns	0.000775 ns
سال× کود زیستی × نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer×Year	3	0.01687 ns	0.001299 ns	1.03541 ns	6.67E-05 ns	0.000401 ns	0.01687 ns	0.002489 ns
تنش خشکی × کود زیستی × نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer× Drought stress	9	0.322**	0.117**	0.961*	0.001246 ns	0.0069 ns	0.448**	0.0126**
سال× تنش خشکی × کود زیستی× نانو کود پتاسیم Potassium nanofertilizer× Biofertilizer× Drought stress×Year	9	0.012682 ns	0.006349 ns	0.29222 ns	0.001643 ns	0.003545 ns	0.01268 ns	0.00180 ns
خطای دوم Error b	112	0.039657	0.11701	0.814532	0.001432	0.003402	0.037597	0.009683
ضریب تغییرات (درصد) C.V	-	1.331	7.756	4.661	9.015	1.397	1.178	1.579

ns: non-significant, * and ** significant at five and one percent probability levels, respectively

ns غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که که در کلیه سطوح کود زیستی کاربرد نانوکود پتاسیم عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۵). تلقیح بذر با کودهای زیستی فسفره باعث بهبود رشد گیاه و اجزای عملکرد دانه شده و از این طریق سبب افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Vance, 2011). استفاده از نانوکود پتاسیم میزان جذب فسفر خاک را افزایش می دهد و از این طریق نیز باعث بهبود عملکرد دانه می‌شوند (Hassanzadeh *et al.*, 2014). گزارش شده که استفاده از نانو لایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین های دو ساله اثر متقابل تنش خشکی در کود زیستی بر برخی صفات کینوا

Table 3. Two-year average comparison of the interaction effect of drought stress and biofertilizer on some quinoa traits

تنش خشکی Drought stress (MPa)	کود زیستی Biofertilizer (%)	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (Kg ha^{-1})	محتوی پرولین Proline (mg g^{-1} Fw)	محتوی قندهای محلول Soluble carbohydrate (mg g^{-1} Fw)
شاهد Control	عدم کاربرد Non-application	2749.29	8833.54	0.334	4.169
	1	2787.8	8893.07	0.297	3.989
	2	2789.25	8907.79	0.277	3.94
	3	2809.09	8926.10	0.256	3.857
-0.3	عدم کاربرد Non-application	2388.91	8249.26	0.457	4.354
	1	2405.85	8284.98	0.404	4.150
	2	2423.66	8291.16	0.398	4.102
	3	2448.05	8348.08	0.379	4.044
-0.6	عدم کاربرد Non-application	2107.43	7796.26	0.511	4.430
	1	2097.25	7778.3	0.485	4.268
	2	2095.11	7775.166	0.484	4.239
	3	2105.28	7786.02	0.469	4.168
-0.9	عدم کاربرد Non-application	1560.4	5279.17	0.526	4.462
	1	1692.93	627.917	0.488	4.253
	2	1599	6969.49	0.465	4.417
	3	1696.46	6898.52	0.478	4.167
LSD (0.05)		53.46	53.46	0.030	0.030

جدول ۴. مقایسه میانگین های دو ساله اثر متقابل تنش خشکی در نانوکود پتاسیم بر عملکرد دانه و زیستی کینوا

Table 4. Two-year average comparison of the interaction effect of drought stress and potassium nanofertilizer on grain and biolocical yield of quinoa

تنش خشکی Drought stress (MPa)	نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (Kg ha^{-1})
شاهد Control	عدم کاربرد Non- application	2752.26	8841.28
	کاربرد Application	2815.45	8938.92
-0.3	عدم کاربرد Non- application	2399.47	8274.74
	کاربرد Application	2433.77	8312
-0.6	عدم کاربرد Non- application	2088.08	7769.86
	کاربرد Application	2114.44	7798.26
-0.9	عدم کاربرد Non- application	1600.45	6960.97
	کاربرد Application	1673.95	7093.96
LSD (0.05)		30.655	51.958

نانو کود پتاسیم به میزان ۳ کیلوگرم در هکتار استفاده شده است.

Potassium nano-fertilizer was used at a rate of 3 kg ha^{-1}.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین های دو ساله اثر متقابل کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر برخی صفات کینوا

Table 5. Two-year average comparison of the interaction effect of biofertilizer and potassium nanofertilizer on some quinoa traits

کود زیستی Biofertilizer (%)	نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer	عملکرد دانه Grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد زیست توده Biological yield (Kg ha^{-1})	پرولین Proline (mg g^{-1} Fw)	قندهای محلول Soluble carbohydrate (mg g^{-1} Fw)
0	عدم کاربرد Non- application	2199.68	7950.2	0.489	4.372
	کاربرد Application	2271.36	8012.9	0.425	4.336
1	عدم کاربرد Non- application	2231.08	7938.6	0.458	4.195
	کاربرد Application	2260.83	8040.3	0.379	4.135
2	عدم کاربرد Non- application	2196.66	7991.6	0.447	4.144
	کاربرد Application	2256.86	8033.4	0.364	4.081
3	عدم کاربرد Non- application	2212.84	7966.3	0.449	4.136
	کاربرد Application	2248.56	8056.3	0.342	3.982
LSD (0.05)		42.859	73.55	0.025	0.040

نانو کود پتاسیم در میزان ۳ کیلوگرم در هکتار استفاده شده است.

Potassium nano-fertilizer was used at a rate of 3 kg ha^{-1}.

شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی و متعاقبا عملکرد محصول خواهد شد (De Rosa *et al*., 2010).

عملکرد زیست توده

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی و نانوکود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانوکود پتاسیم و کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر عملکرد زیست توده معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی نشان داد که بیشترین میزان عملکرد زیست توده در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد سه درصد کود زیستی (۸۹۲۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که تنها با عدم کاربرد کود زیستی تفاوت معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد کود زیستی کمترین میزان عملکرد زیست توده (۵۲۷۹ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۳). گزارش شده که عملکرد بیولوژیکی در شرایط دیم به طور معنی‌داری کمتر از شرایط آبیاری مطلوب بود، به طوری که در طی دو سال آزمایش عملکرد بیولوژیک از ۵۸۰۹ و ۵۳۳۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به ۳۱۹۲ و ۴۸۱۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم تقلیل یافته است (Gan *et al*., 2009). کاهش عملکرد بیولوژیک در نتیجه تنش خشکی با نتایج سایر محققان هم خوانی دارد (Sanchez *et al*., 2033 a, b; Razzaghi *et al*., 2012). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در نانوکود پتاسیم نشان

داد که بیشترین میزان عملکرد زیست توده در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد نانوکود پتاسیم (۸۹۳۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۶۹۶۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان عملکرد زیست توده در شرایط کاربرد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۸۰۵۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۶). تأمین فسفر کافی با کاربرد کود زیستی باعث افزایش عملکرد زیست توده گیاه شد (Wu *et al*., 2005).

محتوی آب نسبی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی و کود زیستی در نانوکود پتاسیم و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر محتوی آب نسبی معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین محتوی آب نسبی در سال اول ۸۸/۹ درصد و در سال دوم ۸۸/۴ درصد بود. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان محتوی آب نسبی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۹۶/۲ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۷۹/۱ درصد) به دست آمد (جدول ۶). گیاهان در شرایط تنش خشکی، پتانسیل آب سلول‌های خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل میرسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش محتوی نسبی آب در شرایط

تنش خشکی می گردد (Alori *et al*., 2017). تحقیقات انجام شده روی گیاه کینوا نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی به‌دلیل تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می دهد و در نتیجه محتوای آب نسبی و به دنبال آن فتوسنتز و کلروفیل برگ کاهش می یابد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Sharifan *et al*., ۲۰۱۸).

غلظت کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانوکود پتاسیم، کود زیستی در نانوکود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان کلروفیل a اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a اندام هوایی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۸/۳ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۲/۰ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول ۶). با توجه به اینکه تنش بسیاری از فعل

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین های دو ساله اثر متقابل تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم بر برخی صفات کینوا

Table 6. Two-year average comparison of the interaction effect of drought stress, biofertilizer and potassium nanofertilizer on some traits of quinoa

تنش خشکی Drought stress (MPa)	کود زیستی Biofertilizer (%)	نانوکود پتاسیم Potassium nanofertilizer	محتوی آب نسبی (%) Relative water content	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} fw)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} fw)	درصد پروتئین دانه Grain protein (%)	درصد روغن دانه Grain oil (%)
Control	عدم کاربرد Non-application	عدم کاربرد Non-application	95.1	14.40	4.132	18.88	12.98	6.383
		کاربرد Application	95.4	15.71	4.781	20.94	14.29	6.734
	1	عدم کاربرد Non-application	95.2	15.60	4.579	5520	14.18	6.704
		کاربرد Application	95.7	16.94	5.112	22.07	15.52	6.004
	2	عدم کاربرد Non-application	95.4	15.83	4.861	20.89	14.41	6.740
		کاربرد Application	95.8	17.07	5.169	21.81	15.65	7.107
	3	عدم کاربرد Non-application	95.6	15.83	4.850	20.81	14.41	6.874
		کاربرد Application	96.1	18.31	5.209	22.76	16.89	7.309
-0.3	عدم کاربرد Non-application	عدم کاربرد Non-application	90.8	13.06	4.061	14.68	14.21	5.798
		کاربرد Application	90.5	14.654	4.079	18.94	15.83	6.278
	1	عدم کاربرد Non-application	91.1	14.29	4.303	18.85	15.47	6.135
		کاربرد Application	91.2	15.92	4.776	20.39	10.17	6.4912
	2	عدم کاربرد Non-application	91.3	14.64	4.270	19.24	15.82	6.284
		کاربرد Application	91.7	16.24	4.581	20.42	17.42	6.618
	3	عدم کاربرد Non-application	91.2	14.92	4.843	20.18	16.10	6.398
		کاربرد Application	91.8	16.61	4.87	20.93	17.79	6.698

و انفعالات گیاه را دچار وقفه و اختلال می کند و مصرف پتاسیم با تأثیر مثبت بر توسعه سلولی، ذخیره آسیمیلات ها، فعالیت آنزیم‌ها و آماس سلولی و بسیاری دیگر از مکانیسم‌های درونی گیاه سبب کاهش اثرات تنش می‌شود و در نهایت مصرف این عنصر گیاه را در برابر تنش خشکی تا حدودی سازگارتر می‌کند. نتایج مطالعات سایر محققان نیز نتایج به‌دست آمده

	عدم کاربرد Non-application	عدم کاربرد Non-application	87.1	12.39	3.685	16.74	16.65	5.559
		کاربرد Application	87.7	14.06	4.184	18.46	18.07	5.791
	1	عدم کاربرد Non-application	87.0	13.62	4.201	18.15	16.65	5.901
		کاربرد Application	87.3	14.96	4.259	18.90	19.10	6.246
-0.6		عدم کاربرد Non-application	86.7	13.65	4.337	18.58	15.28	6.037
	2	کاربرد Application	87.5	15.07	4.467	19.04	17.31	6.393
		عدم کاربرد Non-application	87.0	13.65	4.490	18.82	16.70	5.274
	3	کاربرد Application	87.2	16.10	4.648	20.18	18.86	5.598
	عدم کاربرد Non-application	عدم کاربرد Non-application	79.1	12.02	38713	15.92	18.09	5.559
		کاربرد Application	79.2	14.05	4.087	17.77	19.91	5.871
	1	عدم کاربرد Non-application	81.7	13.44	3813	16.87	17.65	5.653
		کاربرد Application	81.0	15.60	4.490	19.62	19.76	5.996
-0.9		عدم کاربرد Non-application	79.5	13.83	3.790	17.24	0.244	5.819
	2	کاربرد Application	80.4	16.13	4.656	20.13	16.65	6.098
		عدم کاربرد Non-application	81.2	13.87	3.992	17.93	18.07	0.140
	3	کاربرد Application	82.1	15.98	4.543	19.63	16.65	5.901
	LSD		0.539	0.258	0.566	1.231	19.10	6.246

نانو کود پتاسیم در میزان ۳ کیلوگرم در هکتار استفاده شده است.

Potassium nano-fertilizer was used at a rate of 3 kg ha^{-1}.

را تأیید می‌کند (Tawfik, 2007).گزارش شده که همزیستی میکوریزی باعث افزایش ۲۰ درصدی غلظت کلروفیل کل در برگ‌های گیاه بادام گردید. غلظت کلروفیل نوع a و کلروفیل کل در گیاهان تلقیح شده با هر یک از گونه‌های قارچ دارای اختلاف معنی دار با گیاهان شاهد تلقیح نشده بودند ولی بین گیاهان تلقیح شده اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (Aghababai & Raisi, ۲۰۱۸). افزایش غلظت کلروفیل در همزیستی با قارچ‌های میکوریزایی در لوبیا نیز گزارش شده است (Parsa Motlagh *et al.*, 2011). افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها در اثر همزیستی میکورایزیی می تواند به دلیل افزایش جذب فسفر از خاک توسط این قارچ‌ها باشد. افزایش فسفر قابل جذب در خاک می تواند به میزان قابل توجهی باعث

افزایش غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل بادام گردید (Aghababai & Raisi, ۲۰۱۸).

غلظت کلروفیل b

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانوکود پتاسیم و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان کلروفیل b اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b اندام هوایی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۵/۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه) حاصل شد که در این سطح تنش تنها با عدم کاربرد کود زیستی و کاربرد یک درصد کودزیستی بدون کاربرد نانوکود پتاسیم تفاوت معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، کاربرد دو درصد کود زیستی و نانوکود پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b اندام هوایی شد (جدول ۶). افزایش غلظت کلروفیل با افزایش مصرف سولفات پتاسیم در گیاه موز (Kumar & Kumar, 2008) و گلرنگ (Azizabadi *et al*., 2014) قبلا گزارش شده است. این محققان اعلام داشتند بالارفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش محتوی نسبی کلروفیل در برگ‌ها به واسطه نقش پتاسیم در سنتز پیش ماده رنگدانه‌های کلروفیل می‌تواند باشد و افزایش محتوی نسبی کلروفیل در برگ‌ها تبدیل انرژی تابشی به شکل انرژی شیمیایی اولیه در شکل ATP و NADPH را در کلروپلاست بهبود می‌بخشد.

غلظت کلروفیل کل

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی و کود زیستی و اثرات متقابل دوگانه سال در کود زیستی و سال در نانوکود پتاسیم اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان کلروفیل کل اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل اندام هوایی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۲۲/۸ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۵/۹ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول ۶). تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل کل کینوا شد. یکی از دلایل بالاتر بودن غلظت کلروفیل کل در تیمارهای قطع تنش خشکی می تواند بالا بودن غلظت کاروتنوئیدها باشد که نقش حفاظتی نیز دارند (Jaleel *et al*., 2009). در این تحقیق استفاده از نانوکود پتاسیم باعث افزایش کلروفیل کل در کینوا شد. در تایید این نتایج نیز گزارش شده که محلول پاشی کود نانو پتاسیم در غلظت ۰/۱۵ ۰/۳ و ۰/۶ درصد موجب افزایش میزان کلروفیل گندم رقم N8019 در مقایسه با شاهد شد (Tavan *et al.*, ۲۰۱۳). پتاسیم از فاکتورهای مهم در بهبود وضعیت رویشی برگ، مقدار

کلروفیل و فعالیت ماده‌سازی برگ می باشد. میزان فتوسنتز همزمان با رشد برگ‌های جوان به‌سرعت افزایش می‌یابد و نهایت آن زمانی است که برگ‌ها به اندازه کامل خود می رسند. در این زمان عواملی مانند اقلیم، رقم، رطوبت و میزان نیتروژن و پتاسم در خاک روی مقدار کلروفیل تاثیر زیادی دارند (Fox *et al*., 1994).

محتوی پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی و کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان پرولین اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی نشان داد که بیشترین میزان پرولین اندام هوایی در شرایط تنش شدید خشکی و عدم کاربرد کود زیستی (۰/۵۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد سه درصد کود زیستی (۰/۲۵۶ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی گیاه به منظور ادامه جذب آب، انواع مواد محلول سازگار با وزن مولکولی کم مانند قندهای محلول، پرولین، گلیسین بتائین، برخی یون های معدنی(کلسیم و پتاسیم(، هورمون ها و پروتئین ها را در سلول‌های خود تجمع داده و باعث کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش جذب آب می شود (Liang *et al*., 2013). پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی نقش های محافظتی داشته و باعث حفظ شکل و ساختار طبیعی آنزیم ها و پروتئین‌ها، ثبات غشا، کاهش میزان ترکیبات سمی سلولی مانند گونه‌های اکسیژن واکنش گر و تنظیم pH می‌شود و به رشد و فتوسنتز کمک می کند (Matysik *et al*., 2002). تنظیم اسمزی با تجمع مواد محلول سازگار باعث کاهش پتانسیل اسمزی و در نتیجه افزایش شیب برای ورود آب به سلول و حفظ توروژسانس و باعث کاهش اثرات مضر ناشی از تنش خشکی می‌شود (Ahuja *et al*., 2010). محتوای آب نسبی بالاتر گیاه به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است که ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی یک گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق جهت جذب آب دارد (Heydari *et al*., ۲۰۱۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان پرولین اندام هوایی در شرایط عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۰/۴۸۹ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۰/۳۴۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول ۴). مصرف پتاسیم در شرایط تنش رطوبتی منجر به کاهش تولید پرولین در برگ شد که با نتایج گزارش شده در خصوص بررسی اثر تنش خشکی و مقادیر مختلف پتاسیم بر تجمع اسمولیت‌ها و کلروفیل دو گونه کلزا و خردل هندی مطابقت دارد (Fanaei *et al*., (2011).

غلظت قندهای محلول

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب نشان

داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی و کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان قندهای محلول اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول اندام هوایی در شرایط تنش شدید خشکی و عدم کاربرد کود زیستی (۴/۶۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد سه درصد کود زیستی (۳/۸۶ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول۳). افزایش مواد محلول در پاسخ به خشکی راهی برای حفظ آماس است (Sanchez *et al*., 2003a). در تأیید این نتایج نیز گزارش شده که میزان قندهای محلول کل در کینوا با اعمال تنش خشکی به طور معنی داری افزایش یافته است (Solimaninya *et al*., 2021). مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول اندام هوایی در شرایط عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۴/۳۷ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کمترین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۳/۹۸ میلی گرم بر گرم وزن تازه) به دست آمد (جدول ۶).

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانوکود پتاسیم، کود زیستی در نانوکود پتاسیم و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان پروتئین دانه معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش شدید، کاربرد دو درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۹/۹ درصد) و کمترین آن در شرایط نرمال آبیاری، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۱۳/۰ درصد) به دست آمد (جدول ۶). پتاسیم در فعال سازی تعداد زیادی ازآنزیم های فتوسنتزی، ساختن پروتئین ها، فرآیندهای اکسیداتیو و تعادل بار الکتریکی غشاهای سلولی نقش دارد (Shabala, 2003). پتاسیم فعال کننده آنزیم های زیادی در گیاه است و این آنزیم‌ها به عنوان کاتالیزور در ساخت موادی نظیر نشاسته و پروتئین دخالت می‌کنند (Khuldbrin & Islam Zadeh, ۲۰۱۷). در مورد درصد پروتئین دانه، نتایج متناقضی در منابع گزارش گردیده است. عدم تأثیرپذیری میزان پروتئین دانه ذرت از تنش خشکی قبلا گزارش شده است (Guan *et al*., 2009). درحالی که برخی گزارش ها افزایش درصد پروتئین تحت شرایط تنش خشکی را اعلام داشتند (Bouchereru *et al*., 1996 ; Sinaki *et al*., 2007).

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانوکود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم و اثر متقابل سه

گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم بر میزان روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانوکود پتاسیم نشان داد که بیشترین درصد روغن دانه در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم (۷/۳۱ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم (۵/۲۷ درصد) به دست آمد (جدول ۶). بنابراین تنش خشکی باعث کاهش میزان روغن دانه شد. در تای‌ید این نتایج گزارش شده است که تنش خشکی به واسطه کاهش در اندازه دانه سبب کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن کلزا (Walton, 1998) و کینوا (Salek mearaji *et al*., 2020) شده است.

نتیجه گیری کلی

تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست توده و عملکرد دانه شد. در کلیه سطوح کود زیستی، کاربرد نانوکود پتاسیم عملکرد دانه را افزایش داد. محتوی آب نسبی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم بیشترین مقدار را داشت. بیشترین میزان کلروفیل aو b اندام هوایی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانوکود پتاسیم حاصل شد. در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانوکود پتاسیم میزان پرولین و قندهای محلول اندام هوایی افزایش یافت. تنش خشکی به ترتیب باعث افزایش و کاهش درصد پروتئین و درصد روغن دانه کینوا شد. کاربرد کود زیستی و نانوکود پتاسیم میزان پروتئین و روغن دانه را بهبود بخشید.

References

Aghababai, F., and Raisi, F. ۲۰۱۸. The effect of mycorrhizal symbiosis on the amount of chlorophyll, photosynthesis and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal and Bakhtiari province. Agricultural sciences and techniques and natural resources. *Water and soil sciences*, ۵۸, ۱۰۱-۹۱. (In Persion with English Summary)

Ahuja, I., Devos, R.C., Bones, A.M., and Hall R.D. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Plant Science*, 15, 664-674.

Alori, E.T., Glick, B.R., and Babalola, O.O. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontier Microbiology*, 8, 10-18.

Amir Yousefi, M., Tadayyon, M.R., and Ebrahimi, R. 2014. The effect of chemical and biochemical fertilizers on the biochemical and functional characteristics of two quinoa varieties. *Plant process and Function*, 36, 299-314. (In Persion with English Summary)

Azizabadi, E., Golchin, A., and Delavar, M. 2014. Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. *Journal of Soil and Plant Interactions -Isfahan University of Technology*, 5 (3): 65-80. (In Persion with English Summary)

Andersen, M.N., Heidman, T., and Plauborg, F. 1996. The effects of drought and nitrogen on light interception, growth and yield of winter oilseed rape. *Soil and Plant Science*, 46, 55-67.

Bates, L.S., Waldren, RP., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-208.

Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D. 2006. *Chenopodium quinoa*. An Indian perspective. *Inernational Crops Production*, 23, 73-87.

Bouchereru, A., Clossais-Besnard, N., Bansaoud, A., Leport, L., and Renard, M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*, 5(1-2): 19-30.

Cakmak, I. 2002. The role of potassium in alleviating detrimental effect of abiotic stresses in plants. In: proceeding of the IPI congress on feed the soil to feed

the people. The Role of Potash in Sustainable Agriculture. Pp: 8-10.

Cho, K.H., Toler, H., Lee, J., and Augé, R.M. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *Journal of Plant Physiology*, 163(5): 517-28

De Rosa, M.R., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5*,* 91-92.

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

Ellouze, W., Hamel, C., Depauw, R., and Singh, A.K. 2014. Potential to breed for mycorrhizal association in durum wheat. *Canadian Journal of Microbioogy*, 62(3*)*: 263-271.

Fanaei, H.R., Galoy, M.V., Shirani Rad, A.H., Ghanbari Benjar, A. and Kafi, M. 2011. Effect of drought stress and different amounts of potassium on the accumulation of osmolites and chlorophyll of two species of rapeseed and mustard*.* *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 57*,* 141-156.

Fao.org/quinoa-2013/mobile/home/en/

Fatma, A.G., Lobna, A.M., and Osman, N.M. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth yield and essential oil of (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agricultural and Biology*, 10(4): 381-387.

Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., and Aranda, M. 2013. Variation in antioxidant capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Will) subjected to drought stress. *Industrial Crops Production*, 46, 341-349.

Fox, R.H., Piekielex, W.P., and Macheal, K.M. 1994. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Communication Soil Science Plant Anales*, 25(3-4): 171-181.

Gan, Y., Campbell , C.A, Liu, L., Basnyat, P., and McDonald, C.L. 2009. Water use and distribution profile under pulse and oilseed crops in semiarid northern high latitude areas. *Agricultural Water Management*, 96, 337- 348.

Guan, Y.J., Hu, J., Wang, X.J., and Shao, C.X. 2009. Seed priming with chitosan

improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Zhejiang University-Science*, 10, 427-433.

Hassanzadeh, A., Qajarspanloo, M., and Bahmaniaram, M.A. 2014. The effect of potassium and manure application on yield and concentration of some of the high nutrient elements in wheat under water stress. *Agricultural Engineering*, 36(1)*:* 77-85.

Heydari, N., Poriosov, M., and Tawakli, A. ۲۰۱۲. Effect of drought stress on photosynthesis, parameters and relative water content of Anise. *Plant Research Journal*, ۲۷, ۸۳۹-۸۲۹. (In Persion with English Summary)

Hossain, M.A., Wani, S.H., Hattacharjee, S.B., and Burritt, D.J. 2016. Phan Tran, L. Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1Physiology and Biochemistry. Springer http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/en/?no_mobile=1

Hosseini, N., Jalilian, J., and Gholinejad, A. 2021. The effect of some stress modifiers on morphological characteristics and quantitative and qualitative characteristics of quinoa under water stress conditions. *Agricultural knowledge and sustainable production*, 31, 111-128. (In Persion with English Summary)

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural Biology*, 11, 100–105.

Keshtkar, A., Ain, A., Taqwa, H., and Najafi Najad, H. 2019. Effect of jasmonic acid branch and leaf application and drought stress on yield and some agronomic and physiological characteristics of quinoa varieties. *Environmental stresses in agricultural plants*, 14, 403-414. (In Persion with English Summary)

Khuldbrin, B., and Islam Zadeh, T. ۲۰۱۷. Nutrition of mineral elements of higher plants. Shiraz University Press. ۴۹۵ pages

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method in Helebust. In: Handbook physiological methods. (ed. Craig, J. S.) 96-97. Cambridge University Press, Cambridge.

Kumar, A.R., and Kumar, M. 2008. Studies on the efficacy of sulphate of potash on physiological, yield and quality parameters of Banana cv. Robusta (Cavendish- AAA). *Asian Journal of Biolgical Science*, 2*,* 102-109.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., and Becker, D.F. 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling*, 19, 998-1011.

Lichtenthaler, H.K., and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry,* F4.3.1-F4.3.8.

Matysik, J., Alia, B.B., and Mohanty, P. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 82, 525-532.

Naderi, M.R., and Danesh-Shahraki, A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agricultural Crop Science*, 5(19): 2229–2232.

Parsa Motlagh, B., Mahmoodi, S., Hassan, M.S.Z., and Naghizadeh, M. 2011. Interaction effect of saline irrigation water, mycorrhiza Fungi and phosphorus fertilizer on yield and yield components of common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Advances in Environmental Biology*, 5(8): 2269-2276.

Rafiee, M., Lari, H., and Abdipoor, F. 2008. Change of corn cultivars carbohydrate under drought stress. 10th Iranian Cong. of Agron and Plant Breeding Sci. 318p.

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

Salardini, A. ۲۰۱۲. Principles of plant nutrition. Tehran University Publications.

Salek mearaji, H., Tavakoli, A., and Sepahvand, N. A. 2020. The effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, 22, 419-432.

Sanchez, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., and Ayerbe, L. 2003a. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum*

sativum L.) subjected to water stress. *Field Crop Research*, 86, 81-90.

Sanchez, H.B., Lemeur, R., Damme, P.V., and Jacobsen, S.E. 2003b. Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd). *Food Reviews International*, 19, 111-119.

Sephovand, N.H., Tovem, M., and Shahbazi, M. ۲۰۰۹. Quinoa, a useful plant for food security and sustainable agriculture in Iran. ۱۱th Congress of Agriculture and Plant Breeding, Tehran, Iran.

Sharifan, H, Jamali, S., and Sajjadi, F. 2018. Investigating the effect of different salinity levels on some morphological characteristics of quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Sciences*, 22 (2): 15-27. (In Persion with English Summary)

Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Annual of Botany*, 92, 627-634.

Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). *American- Eurasian Journal of Agriultural Environmental Science,* 2(4): 417-422.

Smart, R.E., and Bingham, G.E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53(2): 258-260.

Solimaninya, Z., Mohtadi, A., and Movahhedi Dehnavi, M. 2021. Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10 (41): 171-186. (In Persion with English Summary)

Tavan, T., Nikan, M., and Norinia, A.A. 2013. Effect of nanopotassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein level of N8019 wheat plant. *Plant environmental ecophysiology*, 35, 61-71. (In Persion with English Summary)

Tawfik, K.M. 2008. Effect of water stress in addition to potassiomag application on mungbean. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 2, 42-52.

Vance, C.P. 2011. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in world of declining renewable resources. *Journal of Plant*

Physiology, 127, 390-397.

Walton, G.H. 1998. Variety and environmental impact on canola quality. *Department of Agriculture, Western Australian News Letter*, 11, 3-4.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125 (1-2): 155-166.

Zahir, A. Z., Arshad, M., and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168.

Effects of application of biofertilizer and potassium nanofertilizer on yield and physiological traits of quinua (*Chenopodium quinoa*Willd)

Mohammad Mirtayebi[1], Amir Bostani[2],Marjan Diyanat [*3], Amin Azadi[4]

1. Ph.D Student, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran .
2. Associate Professor of Shahed University, Tehran, Iran
3. Associate Professor of Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.(Corresponding author)
4. Assistant Professor Islamic Azad University,Yadegar Imam, Shahr Rey, Iran.

Received: September 2022 Accepted: August 2024- DOI: 10.22092/aj.2024.359942.1625

Extended Abstract

Mirtayebi, M., Bostani, A., Diyanat, M., Azadi, A., **Effects of application of biofertilizer and potassium nanofertilizer on yield and physiological traits of quinua (*Chenopodium quinoa*Willd) Applied Research in Field Crops Vol 36, No. 1, 2023 7-9:** 42-65(in Persian)

Introduction

Quinoa, scientifically known as *Chenopodium quinoa* Willd., is an annual plant from the Chenopodiaceae family. It has similar appearance and is related to the weed species lamb's quarters (Sepahvand *et al*., 2009). Quinoa has the ability to adapt to different environmental conditions and climates. This plant has a high resistance to drought, poor soils and high salinity levels and can play an important role in eradicating hunger, malnutrition and poverty. Recognizing this potential, the United Nations declared 2013 as the "International Year of Quinoa" (Fao, 2013). Currently, sustainable and organic agriculture relies on the use of biological fertilizers. Biofertilizers are microorganisms that facilitate the biological fixation of nitrogen or the provision of phosphorus, sulfur, and other nutrients, particularly micronutrients, in the soil. They primarily include rhizospheric bacteria that fix molecular nitrogen, phosphate-solubilizing bacteria and fungi, silicate-solubilizing fungi, and mycorrhizal fungi (Zahir *et al*., 2004).

Email address of the corresponding author: Ma_dyanat@yahoo.com

Materials & Methods

In order to investigate the effect of drought stress, biofertilizer and potassium nanofertilizer on yield and physiological traits of quinoa, a split-factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in 2018 and 2019 in Tehran province. The studied factors included drought stress (control, -0.3, -0.6 and -0.9 MPa) as the main factor and two biofertilizer factors (a combination of nitrogen-fixing bacteria and mycorrhiza fungi (non-application, 1%, 2% and 3%) and potassium nanofertilizer (non-application and application) as sub-factors. Potassium nanofertilizer chelate (Sephehr Parmis Company) was applied at a rate of 3 kg ha^{-1} to the aerial parts of the plants before flowering with a 5-day interval between applications. At harvest, 10 plant samples were randomly collected from the middle two rows of each plot, with a margin of 25 cm from the beginning and end of each plot. The traits of grain yield and biological yield were then measured and calculated. Variance analysis of the data obtained from the measurement of the traits was done using SAS software (version 9.1) and the means were compared by the LSD test at a probability level of 5%.

Results & Discussion

The results showed that under normal irrigation conditions, the application of 3% biofertilizer resulted in the greatest biological yield and grain production, measuring 8926 and 2809 kg ha^{-1}, respectively, which was only different from the control in which no biofertilizer was applied under the same stress conditions. The greatest amount of proline (0.526 mg g^{-1} fresh weight) and the least (0.256 mg g^{-1} fresh weight) were obtained under the severe drought stress and lack of application of biofertilizer and normal irrigation condition and the application of 3% biofertilizer, respectively. The highest chlorophyll content (22.8 mg g^{-1} fresh weight) in the entire aerial part was observed under normal irrigation conditions, with the application of three percent biofertilizer and potassium nanofertilizer. The lowest chlorophyll content (15.9 mg g^{-1} fresh weight) was recorded under severe stress conditions, without the application of biofertilizer or potassium nanofertilizer. The relative water content significantly decreased under stress condition. The highest amount of soluble carbohydrates (4.37 mg g^{-1} fresh weight)

was achieved without the application of biofertilizer or potassium nanofertilizer. The mean comparison of the triple interaction effect of drought stress in biofertilizer and potassium nanofertilizer showed that the highest amount of seed protein was obtained in severe stress conditions, the use of 2% biofertilizer and the use of potassium nanofertilizer (19.9%) and the lowest was obtained in normal irrigation conditions, non-use of biological fertilizer and non-use of potassium nanofertilizer (0.13%). The highest amount of seed oil was achieved under normal irrigation conditions, the application of 3% biofertilizer and potassium nanofertilizer application (31.7%) and the lowest was obtained in severe stress conditions, non-use of biological fertilizer and non-use of potassium nano fertilizer (5.27%).

Conclusion

Relative water content had the highest value in normal irrigation conditions, application of 3% biofertilizer and application of potassium nanofertilizer. The highest amounts of chlorophyll a and b in the aerial parts of the plant were also observed under these conditions. The use of biofertilizers and nano-potassium fertilizer improved the amount of protein and seed oil. Therefore, the application of biofertilizer and potassium nanofertilizer improved the growth of quinoa under drought stress.

Key words: Grain yield, proline, seed oil, soluble carbohydrate, total chlorophyll

References:

Fao.org/quinoa-2013/mobile/home/en/

Sephovand, N.H., Tovem, M., and Shahbazi, M. 2009. Quinoa, a useful plant for food security and sustainable agriculture in Iran. 11th Congress of Agriculture and Plant Breeding, Tehran, Iran.

Zahir, A. Z., Arshad, M., and Frankenberger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168.