تأثیر تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم برشاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و کیفیت دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۲۷)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم بر گیاه کینوا آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در استان تهران منطقه احمد آباد مستوفی اجرا شد. عوامل مورد مطالعه شامل تنش خشکی در چهار سطح (۰/۰۱۵- (شاهد)، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال) به‌عنوان عامل اصلی و دو عامل کود زیستی (ترکیبی از باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن و قارچ میکوریزا در چهار سطح (عدم کاربرد (شاهد) و ۱، ۲ و ۳ درصد) و نانو کود پتاسیم در دو سطح (عدم کاربرد (شاهد) و کاربرد) به‌عنوان عوامل فرعی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۳۸)، وزن هزار دانه (۲/۵۶ گرم) و شاخص برداشت (۳۱/۷ درصد) در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد. بیشترین میزان پتاسیم (۰/۱۱۵ درصد)، آهن (۱۵۴ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) و کربوهیدرات‌های دانه (۷۶/۸ درصد) در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم و کمترین میزان آنها در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود پتاسیم به‌دست آمد. با افزایش شدت تنش، میانگین کلسیم و منیزیوم دانه به‌ترتیب از ۰/۲۷۳و۰/۲۴۰ درصد در شرایط نرمال آبیاری به ۰/۱۴۵ و ۰/۱۴۲ درصد در شرایط تنش شدید کاهش یافت. تنش خشکی باعث افزایش پروتئین و کاهش روغن دانه کینوا شد، اما کاربرد کود زیستی و نانو کود پتاسیم آنها را بهبود بخشید. بنابراین هم در شرایط نرمال آبیاری و هم در شرایط وجود تنش خشکی، کاربرد ۳ درصد کود زیستی و نانوکود پتاسیم جهت بهبود کیفیت دانه کینوا توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، روی، فسفر، وزن هزار دانه

۱ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۴. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی یادگار امام شهر ری، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ma_dyanat@yahoo.com , m.diyanat@srbiau.ac.ir

مقدمه

گیاه کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd یک‌ساله، پهن برگ، با ارتفاع یک تا دو متر است که از آمریکای لاتین منشأ گرفته است. گیاه کینوا با وجود ارزش غذایی بالا، مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزیستی مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان داده است و قابلیت رشد در زمین‌های زیادی را دارد (۳۰). این عوامل سبب شده است که گسترش کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد (۳۹) دانه کینوا نسبت به غلات متداول مانند برنج، گندم و جو دارای پروتئین، اسیدهای آمینه، ویتامین‌های ضروری و مواد معدنی بیشتر و بهتری است (۲۳).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات گیاهی در سرتاسر جهان محسوب می‌شود و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو و سایر فرایندهای متابولیکی گیاهان دارد (۲۰). بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، بنابراین خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در این منطقه است و کشت گیاهان مقاوم به خشکی، مانند کینوا، بهترین راهکار برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (۴۰). تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه کینوا می‌شود (۹ و ۲۱). افزایش میزان تنش خشکی سبب کاهش محتوای نیتروژن دانه گیاه کینوا می‌شود (۲۶).

استفاده طولانی مدت و بی‌رویه از کودهای شیمیایی، علاوه بر ایجاد مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی فراوان، ماده آلی خاک را بیشتر از آنچه که بقایای گیاهی به خاک اضافه می‌کنند، کاهش می‌دهد. کودهای زیستی در برخی موارد به‌عنوان جایگزین و در اکثر موارد به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های کشاورزی را تضمین کنند (۱۷). این کودها بیش از یک نقش کارکردی دارند، یعنی علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص، باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمّی و کیفی محصول و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی می‌شوند (۴۲). کودهای زیستی، ریز جاندارانی هستند که در ارتباط با تثبیت زیستی نیتروژن یا فراهمی فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی، به‌ویژه ریزمغذی‌ها، در خاک فعالیت می‌کنند و عمدتًا 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، مواد حاصل از فعالیت آنها هستند (۴۸). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا شبکه جذب را افزایش داده و این شبکه را فراتر از مناطق خالی از مواد غذایی، گسترش می‌دهند. در این قسمت‌ها ریشه نمی‌تواند نفوذ کند، اما میسلیوم قارچ، دسترسی گیاه را به این بخش‌ها فراهم می‌سازد (۲۷). باکتری‌های موجود در کودهای زیستی، علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم کننده رشد از جمله اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک موجب رشد قسمت‌های هوایی می‌شود. همچنین این باکتری‌ها می‌توانند با سایر میکروارگانیسم‌های ریزوسفر اثر هم‌افزایی مفیدی بر گیاهان داشته باشند (۴۲).

پتاسیم نقش ویژه‌ای در زندگی و بقای گیاهان تحت تنش محیطی دارد. در شرایط کمبود پتاسیم، حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد، به‌طوری که در شرایط تنش، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاهان به شدت تحریک می‌شود (۴ و ۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد نیاز به پتاسیم در شرایط تنش، در تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و اکسید شدن NADPH مرتبط است (۴). این عنصر فعال کننده بسیاری از آنزیم‌های دخیل در تنش و فتوسنتز است و نقش مهمی در باز و بسته شدن روزنه‌ها دارد (۸ و ۱۸).

استفاده از فناوری‌های جدید در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در قرن اخیر رشد چشمگیری داشته است. یکی از این موارد، کاربرد عناصر معدنی به شکل‌های مختلف است که

می‌توان به فناوری نانو و نقش آن در افزایش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از ترکیبات نانو در تغذیه گیاه است (۴۶). نانو کودها مواد مغذی خود را به‌آرامی و به‌طور پیوسته رها می‌کنند، بنابراین کودهای نانو می‌توانند میزان رهاسازی موادغذایی خود را تنظیم کنند. این مساله بازده استفاده از این کودها را بهبود می‌بخشد (۷). ترکیبات نانو از منابعی هستند که توانایی جایگزنی کودهای شیمیایی را دارند. کودهای نانو می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند و عناصر یا موادغذایی که به شکل نانو کود به گیاهان داده می‌شود به تدریج در خاک آزاد می‌شوند. به‌طورکلی، فناوری نانو امکان استفاده از عناصر غذایی و کاهش هزینه‌های حفاظت از محیط زیست را فراهم کرده است (۷). در پژوهشی گزارش شده که بیشترین وزن هزار دانه در گیاه ریحان از برگ پاشی با نانو کود کلسیم با غلظت دو در هزار و نانو کود پتاسیم با غلظت شش در هزار به‌دست آمده است (۱۰).

با توجه به گسترش استفاده از کودهای زیستی و نانو کودها در نظام‌های کشاورزی پایدار، هدف از این تحقیق بررسی اثر خشکی، کودهای زیستی ترکیبی از باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن و قارچ میکوریزا و نانو کود پتاسیم بر شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و کیفیت دانه گیاه کینوا بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان دو سال زراعی متوالی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای در جنوب غرب تهران (احد آباد مستوفی، مزرعه تحقیقاتی شرکت پیشگامان 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 شدن محل دقیق آزمایش، قبل از کاشت از خاک مزرعه که در سال قبل از آزمایش زیر کاشت گندم بود، به‌منظور تشخیص دقیق خصوصیات خاک زراعی و تعیین میزان عناصر غذایی آن و رفع کمبودهای موجود در ده نقطه از مزرعه به صورت زیگزاک نمونه برداری به عمل آمد و سپس نمونه‌ای مرکب از این نمونه‌ها تهیه و در آزمایشگاه تجزیه شد (جدول ۱).

براساس آمار آب وهوایی و با توجه به منحنی آمبروترمیک، منطقه مورد نظر جزء مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رقم کینوای مورد استفاده Titicaca بود که از موسسه اصلاح بذر کرج تهیه شد. عوامل مورد مطالعه شامل تنش خشکی در چهار سطح (۰/۰۱۵- (شاهد)، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال) به‌عنوان عامل اصلی و کود زیستی ترکیبی از باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن (*Rhodopseudomonas palustris, Bacillus subtilis, B. megaterium, B. licheniformis, B. 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*) در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) و کاربرد ۱، ۲ و ۳ درصد کود زیستی) و به‌همراه نانو کود پتاسیم در دو سطح (عدم کاربرد یا شاهد و کاربرد) به‌عنوان عوامل فرعی که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح به وسیله لولر در حد مطلوب انجام شد. هر سال بر اساس نتایج آزمون خاک مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف شد 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 به صورت 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. آنگاه خطوط کاشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر با استفاده از فاروئر ایجاد شد. هر کرت فرعی شامل

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایش

مشخصات نمونه	سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶	سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷
فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۹/۲	۱۱/۳
پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۲۸۵	۳۱۵
هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)	۱/۲۵	۱/۲۸
درصد نیتروژن	۰/۰۹	۰/۰۸۸
اسیدیته (PH)	۷/۴	۷/۳
کربن آلی (درصد)	۰/۹۵	۰/۹۷
آهن قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۱۱/۳	۱۰/۲
منگنز قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۷/۱	۷/۳
روی قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۰/۳۰	۰/۲۸
مس قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۰/۹۲	۰/۶۵
بافت خاک	لومی	لومی

۴ خط کـــاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول ۵ متر بود. فاصله میان کرت‌های اصلی ۲ متر، کرت‌های فرعی دو خط نکاشت و میان تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت به‌صورت دستی انجام شد. بدین منظور به‌وسیله فوکا در وسط هر پشته به عمق حدود ۵ سانتی‌متر شیار ایجاد شد. ابتدا کود زیستی به‌صورت 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 حدود ۴ سانتی‌متر خاک روی کود زیستی ریخته و کاشت بذر کینوا انجام و روی آنها به ارتفاع یک سانتی‌متر خاک ریخته شد. عملیات تنک کردن در مرحله ۴ برگی انجام شد و با رعایت فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها روی هر ردیف، تراکم کاشت به ۲۰ بوته در مترمربع رسید. تاریخ کاشت هشتم تیرماه هر سال بود. در طول دوره رشد گیاه مراقبت‌ها و عملیات زراعی لازم شامل آبیاری و وجین انجام شد. تیمارهای مختلف کمبود آب در مرحله ۶-۴ برگی، یعنی پس از استقرار کامل گیاه در مزرعه اعمال شد. زمان آبیاری کرت‌های اصلی پس از ۰/۰۱۵- (شاهد)، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسگال بود. حجم آب در هر بار آبیاری و برای هر پلات اصلی بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$V_W = \frac{(FC - \theta) \times BD \times A \times d}{Ea} \quad (1)$$

که در آن V_W: حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه، θ: درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A: مساحت پلات (اصلی) آزمایش (مترمربع)، 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 نازل‌های 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:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

که در آن t: طول مدت آبیاری، V: حجم آب آبیاری بر حسب لیتر و Q: دبی خروجی پمپ آب بر حسب لیتر در ثانیه بود. با توجه به محصور بودن کرت‌های آزمایشی هدر رفت آب صفر بود. حجم آب آبیاری بر اساس 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 شد. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه تانسیومتر استفاده شد. کود کلات نانو پتاسیم خریداری شده از شرکت سپهر پارمیس به میزان ۳ کیلوگرم در هکتار قبل از گل‌دهی طی دو مرحله با فاصله ۵ روز از یکدیگر بر اندام هوایی گیاه محلول‌پاشی شد. برای یکنواختی شرایط آزمایش، پلات‌های شاهد با آب محلول‌پاشی شدند.

هر سال در مرحله گلدهی برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک در زمان گلدهی از هر کرت آزمایشی با رعایت حاشیه، ۵ بوته به‌طور تصادفی در مرحله گلدهی انتخاب و سطح برگ محاسبه شد. سپس از تقسیم سطح برگ بر سطحی که نمونه‌ها برداشت شده بودند شاخص سطح برگ محاسبه شد. در زمان برداشت (اول آذر ماه) ۱۰ نمونه گیاهی تصادفی از هر کرت برداشت و صفات عملکرد دانه و عملکرد زیستی اندازه‌گیری و شاخص برداشت محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری عناصر معدنی، نمونه‌های دانه بعد از برداشت به دقت شسته شدند و در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین شدند. عناصر ریزمغذی نیز از روش هضم، سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استخراج شدند. برای اندازه‌گیری مواد معدنی، نمونه‌های دانه‌ها بعد از آرد شدن با آسیاب برقی مخصوص، با ترازو (با دقت۰/۰۰۰۱ گرم)، مقدار دو گرم نمونه توزین شد و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۶ ساعت خاکستر شد (۴۱). پتاسیم توسط فلیم فتومتر (مدل PERKIN3110PFP7) (۳۶)، فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل UV150 -Shimadzu) (۴۱) و عناصر آهن، منیزیوم، روی و مس با دستگاه جذب اتمی (مدل Varian) اندازه‌گیری شدند (۲۸). مقدار عناصر ماکرو برحسب درصد و میکرو برحسب پی‌پی‌ام گزارش شدند. میزان روغن دانه‌های هر کرت آزمایشی با استفاده از دستگاه سوکسله (مدل SER۱۴۸/۶ ساخت کشور ایتالیا) اندازه‌گیری شد و برای محاسبه درصد نیتروژن و درصد پروتئین دانه از روابط زیر استفاده شد (۱). اندازه‌گیری‌های صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دانه در آزمایشگاه فیزیولوژی و خاک‌شناسی دانشگاه شاهد انجام شد.

$$Q_c = 63.3 - 7.37\ Ng\ +\ 3.93 \qquad (۳)$$

$$P = N_g \times 6.25 \qquad (۴)$$

که در آن Q_c درصد روغن دانه P درصد پروتئین و N_g درصد نیتروژن دانه است.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و همچنین اثر متقابل دوگانه سال در نانو کود پتاسیم و تنش خشکی در نانو کود پتاسیم بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد کود زیستی موجب افزایش شاخص سطح برگ شد، به‌طوری که میانگین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی ۲/۹۴ ولی در شرایط عدم کاربرد ۲/۶۱ بود (جدول ۳). میانگین شاخص سطح برگ در سال اول ۳/۰۲ و در سال دوم ۲/۵۵ بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد نانو کود پتاسیم (۳/۳۸) و کمترین آن در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم (۲/۰۷) به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی گیاه سطح برگ خود را برای کاهش تعرق، کاهش می‌دهد. مکومبی و همکاران (۲۳) اظهار داشتند که میزان فتوسنتز خالص، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، درصد رطوبت نسبی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در ذرت در اثر تنش کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش سطح برگ می‌تواند کاهش تورژسانس سلولی باشد که منجر به کاهش تقسیم سلولی و تمایز زودرس می شود.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه	شاخص برداشت
سال	۱	۱۰/۸**	۰/۱۶	۶/۲۷**
تکرار× سال	۴	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹^{ns}
تنش خشکی	۳	۳/۹۱**	۲/۴۳**	۵۶۳**
سال× تنش خشکی	۳	۰/۷۶^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۱/۴۸**
خطای اول	۱۲	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۰۸
کود زیستی	۳	۰/۹۱**	۰/۶۰*	۰/۳۸**
نانو کود پتاسیم	۱	۱۰/۶**	۵/۴۴**	۶/۷۲**
سال × کود زیستی	۳	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۵^{ns}
سال × نانو کود پتاسیم	۱	۰/۹۵*	۰/۰۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
تنش خشکی × کود زیستی	۹	۰/۱۹^{ns}	۰/۱۸	۱/۵۳**
تنش خشکی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۵۲*	۰/۷۱*	۰/۳۲*
کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۱۵^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۳۳*
سال× تنش خشکی × کود زیستی	۹	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۲^{ns}
سال× تنش خشکی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۳^{ns}
سال× کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}
تنش خشکی × کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۹	۰/۲۷^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۲۰*
سال × تنش خشکی × کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۹	۰/۰۰۸۴^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۹^{ns}
خطای دوم	۱۱۲	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۰۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۲	۱۷/۳	۱۰/۳

ns: غیر معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص سطح برگ و وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر ساده کود زیستی و سال

تیمار		شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه (گرم)
کود زیستی (درصد)	عدم کاربرد	۲/۶۰۵	۱/۹۵۳
	۱	۲/۸۱۲	۲/۱۲۱
	۲	۲/۷۹۸	۲/۰۹۷
	۳	۲/۹۴۰	۲/۲۲۵
LSD		۰/۱۷۵	۰/۱۷۹
سال	اول	۳/۰۳	۲/۰۷
	دوم	۲/۵۵	۲/۱۳

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص سطح برگ و وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و نانو کود پتاسیم

تنش خشکی (مگاپاسکال)	نانو کود پتاسیم	شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه (گرم)
۰/۰۱۵- (شاهد)	عدم کاربرد	۲/۸۹۷۱	۲/۱۹
	کاربرد	۳/۳۷۹۶	۲/۵۶۰۲
۰/۳-	عدم کاربرد	۲/۶۹۱۹	۲/۰۶۱۸
	کاربرد	۳/۰۱۸۳	۲/۲۳۳۱
۰/۶-	عدم کاربرد	۲/۵۵۰۸	۱/۹۷۳۸
	کاربرد	۲/۸۶۴۷	۲/۱۱۰۷
۰/۹-	عدم کاربرد	۲/۰۷۲۱	۱/۴۹۸۸
	کاربرد	۲/۸۳۷۸	۲/۱۶۷۹
LSD		۰/۴۰۳	۰/۳۹۸

وزن هزار دانه

جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در نانو کود پتاسیم بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد کود زیستی به میزان ۳ درصد موجب افزایش وزن هزار دانه شد، به‌طوری که میانگین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی ۲/۲۳ گرم ولی در شرایط عدم کاربرد ۱/۹۵ گرم بود (جدول ۳). تیمارهای کود زیستی از طریق جذب مواد غذایی توسط ریشه موجب افزایش وزن هزار دانه در کینوا شده‌اند که این موضوع با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد (۱۲). همچنین گزارش شده است که تیمار کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن و فسفر موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ و عملکرد زیستی کینوا نسبت به تیمار شاهد شده است (۱۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در شرایط نرمال آبیاری و کاربرد نانو کود پتاسیم (۲/۵۶ گرم) و کمترین آن در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم (۱/۵۰ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). تنش آبی با اثر بر فرایند باز شدن روزنه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و به طور مستقیم موجب کاهش وزن دانه‌ها شود (۴۸). طبق نتایج پژوهشگران بر گیاه کینوا، شدت تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، از طریق کاهش فتوسنتز سبب کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود (۱۳).

شاخص برداشت

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه سال در تنش خشکی، تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم و کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۱/۷ درصد) در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم و کمترین آن (۲۲/۳ درصد) در شرایط تنش شدید، کاربرد یک درصد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۵). شاخص برداشت معیاری از نسبت وزن دانه به کل گیاه است و ارقام پرمحصول شاخص برداشت بالاتری دارند (۳۳) در تایید این نتایج مبنی بر کاهش شاخص برداشت در نتیجه تنش خشکی سایر محققان نیز گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش پارامترهای رشد و عملکرد در کینوا می‌شود (۱۴). کاهش فشار آماس در

جدول ۵. مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تأثیر اثر متقابل تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم

تنش خشکی (مگاپاسکال)	کود زیستی	نانو کود پتاسیم	شاخص برداشت (درصد)
-۰/۰۱۵	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۳۰/۸۸
		کاربرد	۳۱/۳
	۱	عدم کاربرد	۳۱/۱۸
		کاربرد	۳۱/۵۱
	۲	عدم کاربرد	۳۱/۲۱
		کاربرد	۳۱/۴۱
	۳	عدم کاربرد	۳۱/۲۴
		کاربرد	۳۱/۶۹
-۰/۳	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۲۸/۷۰
		کاربرد	۲۹/۲۰
	۱	عدم کاربرد	۲۸/۹۳
		کاربرد	۲۹/۱۳
	۲	عدم کاربرد	۲۹/۱۱
		کاربرد	۲۹/۳۴
	۳	عدم کاربرد	۲۹/۲۲
		کاربرد	۲۹/۴۱
-۰/۶	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۲۶/۸۱
		کاربرد	۲۷/۲۳
	۱	عدم کاربرد	۲۶/۸۸
		کاربرد	۲۷/۰۲
	۲	عدم کاربرد	۲۶/۸۰
		کاربرد	۲۷/۰۶
	۳	عدم کاربرد	۲۶/۹۶
		کاربرد	۲۷/۱۰
-۰/۹	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۲۳/۳۸
		کاربرد	۲۴/۱۴
	۱	عدم کاربرد	۲۲/۲۹
		کاربرد	۲۳/۸۳
	۲	عدم کاربرد	۲۳/۷۵
		کاربرد	۲۳/۵۳
	۳	عدم کاربرد	۲۲/۴۲
		کاربرد	۲۲/۷۷
LSD (0.05)			۰/۴۵

شرایط کمبود آب معمولاً منجر به کاهش انبساط سلولی شده، که منجر به کاهش پارامترهای رشد گیاه مانند سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک و عملکرد دانه می‌شود (۳۸). کاربرد کود زیستی و نانو کود پتاسیم به‌جز در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت کینوا شد (جدول ۵). افزایش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر کودهای زیستی حل‌کننده فسفر و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نیز گزارش شده است (۱۹).

فسفر دانه

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تنها اثر ساده تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم بر فسفر دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر ساده تنش خشکی بر میزان فسفر دانه نشان داد که با افزایش شدت تنش، میانگین فسفر دانه از ۰/۵۷۱ درصد در شرایط نرمال آبیاری به ۰/۲۸۸ درصد در شرایط تنش شدید کاهش یافت (جدول ۷). در پژوهشی گزارش شده است که در شرایط عدم تنش خشکی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بیشترین فسفر دانه به میزان ۰/۴۵۷ درصد در کینوا به‌دست آمد و کمترین میزان در تیمار تنش خشکی شدید و عدم مصرف کود نیتروژن به میزان ۰/۲۷۷ درصد بود (۳۷).

کاربرد کود زیستی موجب افزایش فسفر دانه شد، به‌طوری که میانگین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی ۰/۴۴۷ درصدوولی در شرایط عدم کاربرد ۰/۳۱۳ درصد بود (جدول ۷). در تایید نتایج مطالعه حاضر در پژوهشی گزارش شده که میزان جذب فسفر در گندم (*Triticum aestivum* L.) تلقیح شده با باکتری *B. subtilis* نسبت به عدم تلقیح بیشتر بود (۳۱). کاربرد نانو کود پتاسیم نیز موجب افزایش فسفر دانه از ۰/۳۷۵ درصد در تیمار عدم کاربرد به ۰/۴۱۶ درصد در تیمار کاربرد نانو کود پتاسیم شد (جدول ۷). گزارش شده است که بیشترین مقدار فسفر کاسنی (*Cichorium intybus*) مربوط به تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با کود نانو کلات پتاسیم و کمترین مقدار آن مربوط به اعمال تنش شدید خشکی و عدم مصرف کود بود (۳۲).

پتاسیم دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر پتاسیم دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین میزان پتاسیم (۰/۱۱۵ درصد) در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد که در همین سطح آبیاری با کاربرد یک درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان پتاسیم (۰/۵۶ درصد) در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۸). در شرایط تنش شدید بیشترین میزان پتاسیم (۰/۹۱۷ درصد) در تیمار کاربرد کود زیستی به میزان دو درصد همراه با کاربرد نانو کود پتاسیم حاصل شد (جدول ۸). گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش شدید رشد ریشه ماش می‌شود که یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش جذب پتاسیم در خاک است (۱۵). رضایی‌نیا و همکاران (۳۲) گزارش کردند که بیشترین مقدار پتاسیم کاسنی مربوط تیمار آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد کود نانو کلات پتاسیم و کمترین مقدار آن نیز مربوط به تنش شدید خشکی و تیمار شاهد کودی بود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

کلسیم دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تنها اثر ساده تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم بر کلسیم دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). با افزایش شدت تنش، میانگین کلسیم دانه از ۰/۲۷۳ درصد در شرایط نرمال آبیاری به ۰/۱۴۵ درصد در شرایط تنش شدید کاهش یافت (جدول ۷). مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر جریان توده‌ای، انتشار و یا

جدول ۶. تجزیه واریانس مرکب صفات بیوشیمیایی دانه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		فسفر دانه	پتاسیم دانه	کلسیم دانه	منیزیوم دانه	آهن دانه	مس دانه	روی دانه	پروتئین دانه	روغن دانه	کربوهیدرات دانه
سال	۱	۰/۴۳۴۱۵۱^{ns}	۳/۵۳۴**	۰/۰۲۸۲۷۶^{ns}	۰/۳۳۷۵۱۳^{ns}	۲۴۷۸۵/۹**	۲۳۱/۴**	۹۵/۴**	۹۱/۴**	۲/۴۸**	۱/۳۵۸**
تکرار× سال	۴	۰/۰۹۷۵۸۲^{ns}	۰/۰۸۰۱۳	۰/۰۹۴۲۹	۰/۰۷۱۵۸۶^{ns}	۲/۲۲۰۹۱^{ns}	۰/۴۹۶۶۶^{ns}	۱/۳۷۵۹۳۸^{ns}	۰/۰۳۴۴۷۷^{ns}	۰/۰۰۳۵۳۴^{ns}	۰/۰۴۹۴۸۹^{ns}
تنش خشکی	۳	۷۹/۶**	۶۸/۹۸**	۱۶/۱۲**	۹/۰۸۳**	۱۰۶۶/۴**	۹۰/۵**	۳۷۹/۰**	۷۹/۲**	۱۱/۳**	۰/۶۶۱**
سال× تنش خشکی	۳	۰/۰۲۰۸۶۴^{ns}	۰/۰۲۰۵۶۶^{ns}	۰/۰۲۰۲۲۱^{ns}	۰/۰۱۵۳۱۹^{ns}	۰/۰۱۵۳۲^{ns}	۰/۰۱۴۰۱^{ns}	۰/۰۰۱۵۱۵^{ns}	۰/۰۰۱۶۶۹^{ns}	۰/۰۰۰۶۸۴^{ns}	۰/۰۰۵۲۲۸^{ns}
خطای اول	۱۲	۰/۳۰۵۳۴۲	۰/۳۲۸۱۲۱	۰/۲۹۳۵۲۷	۰/۲۱۷۴۲۹	۱/۳۵۱	۰/۴۳۶۶۱	۳/۹۵۵۸۲۲	۰/۰۳۳۸۱۷	۰/۰۰۲۰۵۷	۰/۱۱۷۲۹۱
کود زیستی	۳	۱۶/۰۸**	۹/۶۳۶**	۱/۷۵۲*	۰/۱۲۹**	۳۴۰/۸**	۳۴۸۰/۸**	۳۶/۷**	۴۰/۶**	۲/۳۹۴**	۰/۰۸۳۵**
نانو کود پتاسیم	۱	۸/۲۴**	۱۵۵/۷*	۲/۶۴۳*	۰/۲۷۵۲۷۶^{ns}	۹۷۹۲/۵**	۴۲۰/۱**	۴۹۲/۷**	۱۵۹/۸**	۵/۵۳۲**	۰/۱۶۵۰۸۸^{ns}
سال× کود زیستی	۳	۰/۰۰۴۸۷۱^{ns}	۰/۰۰۴۰۵۳^{ns}	۰/۰۰۳۷۴۶^{ns}	۰/۰۰۲۳۳۴^{ns}	۰/۰۰۲۳۳۳^{ns}	۰/۰۰۲۲۹^{ns}	۰/۰۰۶۹۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۵۳۹^{ns}	۰/۰۰۰۶۹۴^{ns}	۰/۰۰۱۷۲۴^{ns}
سال× نانو کود پتاسیم	۱	۰/۰۴۹۰۸۸^{ns}	۰/۰۴۳۵۰۱^{ns}	۰/۰۳۹۹۶۳^{ns}	۰/۰۲۸۲۷۶^{ns}	۰/۰۲۸۲۸^{ns}	۰/۰۲۶۳۷^{ns}	۰/۰۳۵۳۷۳^{ns}	۰/۰۰۳۷۶۳^{ns}	۰/۰۰۰۳۴۷^{ns}	۰/۰۰۳۵۸۸^{ns}
تنش خشکی × کود زیستی	۹	۰/۳۱۶۵۴۷^{ns}	۰/۳۵۹۵۲۵^{ns}	۰/۱۵۱۳۵۲^{ns}	۰/۰۹۹۳۵^{ns}	۸/۵۱**	۱۲/۳**	۳/۱۶۹**	۰/۲۸۵**	۰/۰۰۲۵۲^{ns}	۰/۰۹۷**
تنش خشکی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۲۵۷۸۰۲^{ns}	۱/۹۵۸^{ns}	۰/۲۸۰۷۷۳^{ns}	۰/۱۹۶۲۸۷^{ns}	۷۱/۸**	۱۱/۴**	۲۵/۶**	۱/۱۹۹**	۰/۰۱۱*	۰/۵۳۳**
کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۲۵۲۸۷^{ns}	۰/۱۳۴۰۱۴^{ns}	۰/۰۳۸۰۶۲^{ns}	۰/۰۸۹۸۲۷^{ns}	۱۳/۳**	۸۰/۰**	۶/۳۶۲**	۰/۷۰۹**	۰/۰۰۱۶۳۳^{ns}	۰/۲۴۵**
سال× تنش خشکی × کود زیستی	۹	۰/۱۷۲۴۲۲^{ns}	۰/۱۷۲۵۶۳^{ns}	۰/۱۷۴۳۵۱ $^{n.s}$	۰/۱۳۱۳۱۲^{ns}	۰/۱۳۱۳۱^{ns}	۰/۱۳۰۶۳^{ns}	۰/۰۱۱۵۸۶^{ns}	۰/۰۱۱۱۹۸^{ns}	۰/۰۰۰۸۲۲^{ns}	۰/۰۰۱۹۳۵^{ns}
سال× تنش خشکی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۴۸۸۲۰۵^{ns}	۰/۴۷۱۰۳۹^{ns}	۰/۴۵۲۵۳۹^{ns}	۰/۳۳۰۵۵۹^{ns}	۰/۳۳۰۵۶^{ns}	۰/۳۲۹۴۴^{ns}	۰/۰۳۳۶۲۱^{ns}	۰/۰۳۷۱۸۸^{ns}	۰/۰۰۰۷۷۵^{ns}	۰/۰۰۵۷۶۳^{ns}
سال× کود زیستی × نانو کود پتاسیم	۳	۰/۲۶۰۹۳۱^{ns}	۰/۲۶۹۴۴۶^{ns}	۰/۲۷۴۷۹۸^{ns}	۰/۲۱۰۱۶۹^{ns}	۰/۲۱۰۱۷^{ns}	۰/۲۰۸۲۸^{ns}	۰/۰۱۱۸۵۱^{ns}	۰/۰۱۶۸۷^{ns}	۰/۰۰۲۴۸۹^{ns}	۰/۰۰۲۰۴۵^{ns}
تنش خشکی × کود زیستی× نانو کود پتاسیم	۹	۰/۴۱۴۳۵^{ns}	۰/۴۹۹*	۰/۳۰۴۴۶۹^{ns}	۰/۲۰۶۴۹۲^{ns}	۶/۱۹**	۲۰/۲**	۶/۴۰۶**	۰/۴۴۸**	۰/۰۱۲۶**	۰/۰۷۴۸**
سال× تنش خشکی × کود زیستی× نانو کود پتاسیم	۹	۰/۱۸۸۲۵۱^{ns}	۰/۱۷۷۷۶۱^{ns}	۰/۱۷۴۷۵۹^{ns}	۰/۱۲۸۹۸۳^{ns}	۰/۱۲۸۹۸^{ns}	۰/۱۳۲۶۶^{ns}	۰/۰۱۸۳۱۸^{ns}	۰/۰۱۲۶۸۲^{ns}	۰/۰۰۱۸۰۵^{ns}	۰/۰۰۲۰۹۴^{ns}
خطای دوم	۱۱۲	۰/۴۷۱۴۴۴	۰/۴۷۱۸۶	۰/۴۶۲۶۵۲	۰/۳۴۴۹۸۱	۰/۶۳۱۵۲	۰/۵۹۶۸۹	۳/۵۳۳۱۲۴	۰/۰۳۷۵۹۷	۰/۰۰۹۶۸۳	۰/۰۶۶۵۹۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۳۶۸	۸/۲۶۷	۱۵/۱	۱۲/۴	۰/۵۸۳	۱/۲۱۵	۴/۰۰۸	۱/۱۷۸	۱/۵۷۹	۱/۳۵۸

ns غیر معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۷. مقایسه میانگین فسفر، کلسیم و منیزیوم دانه کینوا تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و کود زیستی

تیمار		فسفر دانه (درصد)	کلسیم دانه (درصد)	منیزیوم دانه (در صد)
تنش خشکی	۰/۰۱۵- مگاپاسکال	۰/۵۷۱	۰/۲۷۲	۰/۲۴۰
	۰/۳- مگاپاسکال	۰/۴۱۰	۰/۲۰۰	۰/۱۸۶
	۰/۶- مگاپاسکال	۰/۳۱۰	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶
	۰/۹- مگاپاسکال	۰/۲۸۸	۰/۱۴۴	۰/۱۴۲
LSD		۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۳۷
کود زیستی (درصد)	عدم کاربرد	۰/۳۱۲	۰/۱۶۷	۰/۱۸۴
	۱ درصد	۰/۴۰۸	۰/۲۰۰	۰/۱۸۵
	۲ درصد	۰/۴۱۳	۰/۱۹۴	۰/۱۷۳
	۳ درصد	۰/۴۴۷	۰/۲۱۲	۰/۱۸۱
LSD		۰/۰۳۷	۰/۰۳۳	۰/۰۱۳
نانو کود پتاسیم	عدم کاربرد	۰/۳۷۴	۰/۱۸۱	–
	کاربرد	۰/۴۱۰	۰/۲۰۵	–
سال	اول	۰/۳۹۰	–	–
	دوم	۰/۴۰۰	–	–

جذب و انتقال به وسیلهٔ پدیدهٔ اسمز همگی، کم و بیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌شود. جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت دارد و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند جذب منفی نشان می‌دهند (۳۸). کاربرد کود زیستی موجب افزایش کلسیم دانه شد، به‌طوری که میانگین آن در شرایط کاربرد سه درصد کود زیستی ۰/۲۰۵ درصد ولی در شرایط عدم کاربرد ۰/۱۸۲ درصد بود. کاربرد نانو کود پتاسیم نیز موجب افزایش کلسیم دانه از ۰/۷۴۱ درصد در تیمار عدم کاربرد به ۰/۹۲۱ درصد در تیمار کاربرد نانو کود پتاسیم شد (جدول ۷). کودهای زیستی از طریق ترشح اسیدهای آلی و معدنی باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در ریزوسفر می‌شوند. همچنین، ریزجانداران موجود در کودهای زیستی با ترشح پیش‌ماده هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاه و کنترل پاتوژن‌های گیاهی باعث افزایش رشد ریشه گیاهان می‌شوند (۱۱).

منیزیم دانه

نتایج نشان داد که تنها اثر ساده تنش خشکی و کود زیستی بر میزان منیزیم دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر ساده تنش خشکی بر میزان منیزیم دانه نشان داد که با افزایش شدت تنش، میانگین منیزیم دانه از ۰/۲۴۰ درصد در شرایط نرمال آبیاری به ۰/۱۴۲ درصد در شرایط تنش شدید کاهش یافت (جدول ۷). در میان سطوح کاربرد کود زیستی، میانگین منیزیم دانه در شرایط کاربرد یک درصد کود زیستی بیشترین مقدار (۰/۲۰۵ درصد) را داشت و تنها تفاوت آن با کاربرد دو درصد کود زیستی (۰/۱۷۴ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۷).

آهن دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و

جدول ۸ مقایسه میانگین پتاسیم، آهن، مس، روی، پروتئین، روغن و کربوهیدرات دانه کینوا تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم

تنش خشکی (مگاپاسکال)	کود زیستی (درصد)	نانو کود پتاسیم	پتاسیم دانه (درصد)	آهن دانه (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم)	مس دانه (میلی‌گرم بر ۱۰۰گرم)	روی دانه (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم)	پروتئین دانه (درصد)	روغن دانه (درصد)	کربوهیدرات دانه (درصد)
	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۰/۸۶۵	۱۳۳/۲	۵۰/۶۱	۳۷/۲۱	۱۲/۹۸	۶/۳۸۳	۷۲/۲۸
		کاربرد	۰/۹۹۸	۱۴۴/۱	۵۱/۸۲	۵۱/۷۹	۱۴/۲۹	۶/۷۳۴	۷۴/۳۱
	۱	عدم کاربرد	۰/۹۲۸	۱۳۷/۱	۶۲/۵۲	۴۸/۶۵	۱۴/۱۸	۶/۷۰۴	۷۳/۷۰
-۰/۰۱۵		کاربرد	۰/۱۰۸	۱۴۸/۲	۶۳/۹۴	۵۲/۹۴	۱۵/۵۲	۶/۰۰۴	۷۵/۸۶۲
	۲	عدم کاربرد	۰/۹۳۹	۱۳۷/۹	۶۴/۹۰	۴۹/۸۲	۱۴/۴۱	۶/۷۴۰	۷۴/۰۹
		کاربرد	۰/۱۰۵	۱۴۸/۷	۶۶/۰۰	۵۱/۹۵	۱۵/۶۵	۷/۱۰۷	۷۶/۹۱۰
	۳	عدم کاربرد	۰/۹۴۰	۱۳۷/۹	۶۴/۹۱	۴۹/۳۷	۱۴/۴۱	۶/۸۷۴	۷۴/۶۵
		کاربرد	۰/۵۱۱۵	۱۵۴/۰	۷۵/۹۶	۴۹/۲۶	۱۶/۸۹	۷/۳۰۹	۷۶/۷۶۴
	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۰/۶۸۴	۱۲۶/۰۷۵	۵۰/۶۱	۴۵/۱۴	۱۴/۲۴	۵/۷۹۸	۷۱/۲۴
		کاربرد	۰/۸۴۵	۱۳۹/۶i	۵۲/۱۰	۴۶/۶۶	۱۵/۸۳	۶/۲۷۸	۷۲/۸۳
	۱	عدم کاربرد	۰/۷۶۷	۱۳۰/۱۵	۶۲/۷۲	۴۵/۸۰	۱۵/۴۷	۶/۱۳۵	۷۲/۴۷
-۰/۳		کاربرد	۰/۹۴۳	۱۴۳/۸	۶۴/۳۵	۴۹/۲۳	۱۰/۱۷	۶/۴۹۱۲	۷۴/۱۰
	۲	عدم کاربرد	۰/۷۸۵	۱۳۱/۳	۶۶/۳۰	۴۶/۰۵	۱۵/۸۲	۶/۲۸۴	۷۲/۸۲
		کاربرد	۰/۹۴۸	۱۴۴/۹	۶۷/۸۲	۴۸/۵۱	۱۷/۴۲	۶/۶۱۸	۷۴/۴۲
	۳	عدم کاربرد	۰/۸۱۴	۱۳۲/۲	۶۸/۸۳	۴۸/۶۳	۱۶/۱۰	۶/۳۹۸	۷۳/۱۰
		کاربرد	۰/۹۷۱	۱۴۶/۱c	۷۱/۴۳	۴۹/۶۲	۱۷/۷۹	۶/۶۹۸	۷۴/۷۹۴
	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۰/۶۰۱	۱۲۲/۵	۵۰/۷۰	۴۲/۶۵	۱۴/۸۷	۵/۵۵۹	۷۱/۸۷
		کاربرد	۰/۸۰۹	۱۳۵/۸	۵۲/۵۹	۴۷/۴۰	۱۶/۵۴	۵/۷۹۱	۷۳/۵۴
	۱	عدم کاربرد	۰/۶۷۶	۱۲۶/۵	۶۲/۷۲	۴۴/۰۶	۱۶/۱۰	۵/۸۲۱	۷۳/۱۰
-۰/۶		کاربرد	۰/۸۰۷	۱۳۸/۵	۶۴/۱۷	۴۵/۷۰	۱۷/۷۸	۶/۱۴۳	۷۴/۷۸
	۲	عدم کاربرد	۰/۶۸۱	۱۲۶/۱	۶۵/۳۶	۴۵/۶۶	۱۶/۶۵	۵/۹۰۱	۷۳/۶۵
		کاربرد	۰/۷۹۶	۱۳۸/۷	۶۶/۴۶	۴۶/۱۶	۱۸/۰۷	۶/۲۴۶	۷۵/۰۷۱
	۳	عدم کاربرد	۰/۶۸۲	۱۲۶/۱	۶۵/۳۷	۴۶/۲۲	۱۶/۶۵	۶/۰۳۷	۷۳/۶۵
		کاربرد	۰/۸۷۹	۱۴۲/۱	۷۶/۲۹	۴۷/۶۳	۱۸/۰۴	۶/۳۹۳	۷۶/۱۰۸
	عدم کاربرد	عدم کاربرد	۰/۵۶۲	۱۲۰/۵	۵۰/۸۵	۴۰/۹۰	۱۵/۲۸	۵/۲۷۴	۶۹/۹۸
		کاربرد	۰/۷۶۶	۱۳۷/۶	۵۲/۷۳	۴۴/۴۷	۱۷/۳۱	۵/۵۹۸	۷۱/۲۹
	۱	عدم کاربرد	۰/۶۳۶	۱۲۵/۲	۶۵/۱۴	۴۰/۶۴	۱۶/۷۰	۵/۵۵۹	۷۱/۱۸
-۰/۹		کاربرد	۰/۸۸۹	۱۴۲/۸	۶۷/۴۶	۴۷/۱۱	۱۸/۸۶	۵/۸۷۱	۷۲/۵۲
	۲	عدم کاربرد	۰/۶۲۹	۱۲۶/۵	۶۹/۶۳	۴۱/۰۷	۱۸/۰۹	۵/۶۵۳	۷۱/۴۱
		کاربرد	۰/۹۱۷	۱۴۵/۶	۷۲/۶۰	۴۱/۷۰	۱۹/۹۱	۵/۹۹۶	۷۲/۶۵
	۳	عدم کاربرد	۰/۶۵۷	۱۲۶/۱	۷۱/۷۰	۴۲/۶۹	۱۷/۶۵	۵/۸۱۹	۷۱/۴۱
		کاربرد	۰/۸۷۲	۱۴۳/۵	۷۴/۴۷	۴۶/۶۷	۱۹/۷۶	۶/۰۹۸	۷۳/۸۹
	LSD (۰/۰۵)		۰/۰۷۹۵	۱/۱۹۴	۱/۰۵	۳/۰۶۷۶	۰/۲۴۴	۰/۱۴۰	۰/۲۴۴

اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم، کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان آهن دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان آهن (۱۵۴/۰ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم و کمترین آن (۱۲۰/۵ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۸). در کلیه سطوح آبیاری افزایش مصرف کود زیستی به همراه کاربرد نانو کود پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار آهن دانه شد. برات‌زاده و همکاران (۳) گزارش کردند که محلول پاشی چهار لیتر در هکتار نانو کلات پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار آسکوربیک اسید باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه لوبیا چشم بلبلی شد. کاربرد گونه‌های مختلف *Pseudomonas* وزن خشک گره، تعداد گره، عملکرد و جذب عناصر غذایی در سویا (*Glycine max* L.) را افزایش داد (۳۵). گزارش شده است که باکتری‌های حل کننده فسفات سبب افزایش مقدار آهن در گیاهان گندم تلقیح شده با باکتری شدند (۶).

مس دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم، کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان مس دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین میزان مس (۷۶/۳ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) در شرایط تنش ۰/۶- مگاپاسکال، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد. کاربرد کود زیستی به میزان سه درصد و نانو کود پتاسیم در شرایط تنش ۰/۹- مگاپاسکال، منجر به افزیش مس دانه از به ۵۰/۸۵ به ۷۴/۴۷ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک شد (جدول ۸). کاربرد کود پتاسیم هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود غلظت عناصر مس، روی و منگنز در برگ گیاه لوبیا چشم بلبلی شد (۳). قارچ‌های میکورایزایی با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارآیی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی، مس افزایش و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (۲۴).

روی دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم، کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان روی دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان روی در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد یک درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم (۵۲/۹ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) حاصل شد که در این سطح تنش با سایر سطوح کود زیستی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). در تیمار تنش شدید، کاربرد یک درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم، کمترین میزان روی (۴۰/۶ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) به‌دست آمد و با کاربرد نانو کود پتاسیم میزان آن (۴۷/۱۱ میلی‌گرم بر صد گرم ماده خشک) افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). کاربرد کود زیستی موجب افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف آهن و روی، در دانه ماش شد (۱۵). جذب عناصر کم مصرف ممکن است مربوط به توانایی تولید آهن‌برهای (Siderophore) گیاهی یا میکروبی باشد (۲۹). آهن‌برها ترکیبات آلی با وزن مولکولی اندک هستند که تمایل زیادی برای ترکیب شدن با کاتیون‌های مختلف از جمله آهن دارند (۲). تولید آهن‌بر در باکتری‌های حل کننده فسفات از جمله سودوموناس‌ها و باسیلوس به اثبات رسیده است (۴۳). به‌واسطه حضور آهن‌برها، قابلیت استفاده و تحرک آهن در محیط ریشه افزایش یافته و کمپلکس آهن‌بر- آهن تشکیل شده می‌تواند در محلول خاک همراه

با جریان تودهای آهن‌برهای ترشحی توسط باکتری‌ها با روی، کمپلکس تشکیل دهند. باکتری‌های خاک از جمله باکتری‌های موجود در کود زیستی می‌توانند ترکیبات نامحلول روی را به شکل محلول درآورند (۲).

پروتئین دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم، کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان پروتئین دانه در شرایط تنش شدید، کاربرد دو درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم (۱۹/۹ درصد) و کمترین آن در شرایط نرمال آبیاری، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم (۱۳/۰ درصد) به‌دست آمد (جدول ۸). شرایط محیطی مانند تنش خشکی بر محتوای پروتئین دانه کینوا اثرگذار است (۱۴). در تایید این نتایج گزارش شده است که کاربرد نانو کود پتاسیم باعث افزایش پروتئین دانه کینوا می‌شود (۲۶). در این تحقیق کاربرد نانو کود پتاسیم باعث افزایش پروتئین دانه کینوا شد. پتاسیم در فعال سازی تعداد زیادی از آنزیم‌های فتوسنتزی، ساختن پروتئین‌ها، فرایندهای اکسیداتیو و تعادل بار الکتریکی غشاهای سلولی نقش دارد (۳۴).

روغن دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و نانو کود پتاسیم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم (۷/۳۱ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، عدم کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم (۵/۲۷ درصد) به‌دست آمد (جدول ۸). تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن کینوا شد. مظاهری لقب و همکاران (۲۵) نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش درصد روغن در آفتابگردان در شرایط تنش ارائه کردند به‌طوری که روغن از ۳۳ درصد در حالت تنش به ۴۱ درصد بعد از آبیاری در مرحله گلدهی و به ۳۶ درصد بعد از آبیاری در مرحله دانه‌بندی رسید. در کلیه سطوح تنش کاربرد کود زیستی باعث افزایش معنی‌دار روغن دانه کینوا شد. یوسف‌پور و یدوی (۴۵) نیز گزارش کردند که کود زیستی نیتروکسین نیز اثر معنی‌داری بر درصد روغن دانه آفتابگردان داشته است، به‌طوری که میزان روغن دانه‌ی گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشتر بود و تلقیح با نیتروکسین باعث افزایش ۲/۹۱ درصدی در درصد روغن شده است.

کربوهیدرات‌های دانه

اثر ساده سال، تنش خشکی، کود زیستی و اثرات متقابل دوگانه تنش خشکی در کود زیستی، تنش خشکی در نانو کود پتاسیم، کود زیستی در نانو کود پتاسیم و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم بر میزان کربوهیدرات‌های دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در کود زیستی در نانو کود پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان کربوهیدرات‌های دانه در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم (۷۶/۸ درصد) و کمترین آن در شرایط تنش شدید، کاربرد یک درصد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم (۶۹/۹ درصد) به‌دست آمد (جدول ۸). تنش خشکی ممکن است فعالیت ADP- گلوکز پیروفسفریلاز و نشاسته سینتاز را تحت تأثیر قرار دهد که این آنزیم‌ها به‌طور مستقیم مرتبط با ساخت نشاسته هستند (۴۴). در این تحقیق نانو کود پتاسیم در افزایش کربوهیدرات دانه کینوا موثر بود. پتاسیم فعال کننده آنزیم‌های زیادی در گیاه است و این آنزیم‌ها به-

عنوان کاتالیزور در ساخت موادی نظیر نشاسته و پروتئین دخالت می‌کنند (۱۶). در تایید این نتایج مبنی بر کاهش کربوهیدرات های دانه در اثر تنش خشکی زاهدی و همکاران (۴۷) گزارش کردند که اثر سطوح مختلف تنش بر غلظت کربوهیدرات‌های برگ لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و استفاده از میزان بالای پتاسیم در شرایط تنش منجر به افزایش میزان کربوهیدرات‌ها شد.

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین میزان شاخص برداشت، روغن دانه و کربوهیدرات دانه در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد سه درصد کود زیستی و کاربرد نانو کود پتاسیم و کمترین آن در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد نانو کود پتاسیم به‌دست آمد. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عناصر پتاسیم، فسفر، مس، روی، آهن، منیزیوم و کلسیم دانه کینوا شد. کاربرد کود زیستی و نانو کود پتاسیم باعث افزایش درصد این عناصر در دانه شد. تنش خشکی به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش پروتئین و روغن دانه کینوا شد. کاربرد کود زیستی و نانو کود پتاسیم میزان پروتئین و روغن دانه را بهبود بخشید. بنابراین هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط تنش خشکی کاربرد سه درصد کود زیستی و نانو کود پتاسیم توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Andersen, T., S. Nintemann and M. Marek. 2016. Improving analytical methods for protein-protein interaction through implementation of chemically inducible dimerization. *Science Report* 6: 1-11.
2. Arzanesh, M. H., H. A. Alikhani, K. Khavazi, H. A. Rahimian and M. Miransari. 2009. In vitro growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings, inoculated with *Azospirillum* sp., under drought stress. *International Journal of Botany* 5: 244-249.
3. Barat Zadeh, S., T. Saki Nejad and T. Babaei Nejad. 2019. Effect of potassium nano-chelate and ascorbic acid on grain yield and some qualitative characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L., Kamran cultivar). *Journal of Plant Production Science* 9: 149-160. (In Farsi).
4. Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247(1): 3-24.
5. Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition* 168: 521-530.
6. Chang, C. H. and S. S. Yang. 2009. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional bio-fertilizer preparation. *Bioresource Technology* 100: 1648-1658.
7. Chinnamuthu, C. R. and P. M. Boopathi. 2009. Nanotechnology and Agroecosystem. *Madras Agricultural Journal* 96(1/6): 17-31.
8. Fischer, R. A. 1971. Role of potassium in stomatal opening in the leaf of *Vicia faba*. *Plant Physiology* 47(4): 555-558.
9. Fuentes, F. and A. Bhargava. 2011. Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 124-134.
10. Ghahremani, A., K. Akbar, M. Yousefpour and H. Ardalani. 2014. Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum*. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars* 3(1-2): 235-241.
11. Ghobady, M., S. Hahanbin, H. R. Owliaie, R. Motalebifard and K. Parvizi. 2012. The effect of phosphorus bio-fertilizers on yield and phosphorus uptake in potato. *Water and Soil Science* 23(2): 125-138. (In Farsi).
12. Gomaa, E. F. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on quinoa plant. *Journal of Applied Sciences Research* 9: 5210-5222.
13. Gomez-Pando, L. 2015. Quinoa breeding. pp: 87-108, In: K. S. Murphy and J. Matanguihan (eds.), Quinoa: improvement and sustainable production. Wiley, Blackwell.
14. Hinojosa, L., J. A. González, F. H. Barrios-Masias, F. Fuentes and K. M. Murphy. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants* 7(4): 106.
15. Jafardokht, A., M. Kafi, A. Nezami and H. Seyaed hosseini. 2006. Effect of water stress and foliar micronutrient

application on physiological characteristics and nutrient uptake in mung bean. *Electronic Journal of Crop Production* 8: 121-141. (In Farsi).
16. Khold-e-barin, B. and T. Islamzadeh. 2005. Mineral Nutrition of Higher Plants (translated). Shiraz University Press. Shiraz. (In Farsi).
17. Khorshidi, Y. R., M. R. Ardakani, M. R. Ramezanpour, K. Khavazi and K. Zargari. 2011. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to *Pseudomonas flouresence* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 10(3): 387-395.
18. Koocheki, A. and M. Banayan Aval. 1994. Crop Yield Physiology. Mashhad University Press, Mashhad. (In Farsi).
19. Kumar, B., P. Trivedi and A. Pandey. 2007. Pseudomonas corrugates: A suitable bacterial inoculant for maize grown under rain fed conditions of Himalayan region. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 3093-3100.
20. Lum, M. S., M. M. Hanafi, Y. M Rafii and A. S. N. Akmar. 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *Journal of Animal and Plant Sciences* 24: 1487-1493.
21. Mahmoud, A. H. and S. Sallam. 2017. Response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) plant to nitrogen fertilization and irrigation by saline water. *Alexandria Science Exchange Journal* 38(2): 326-334.
22. Makumbi, D., J. F. Betraun, M. Baunziger and J. M. Ribaut. 2011. Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. *Euphytica* 180: 143-162.
23. Maradini-Filho, A. M. 2017. Quinoa: nutritional aspects. *Journal of Nutraceuticals and Food Science* 2: 1-5.
24. Marschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
25. Mazaherilaghab, H. A., F. Noori and F. Zare Abyaneh. 2003. Effects of the reduction of drought stress using supplementary Irrigation for Sunflower (*Helianthus annuus*) in dry farming conditions. *Pajouhesh and Sazandegi* 58: 81-86. (In Farsi).
26. Movahedi Dehnavi, M. and S. A. M. Modares Sanavi .2007. Effect of Zn and Mn micro nutrients foliar application on yield and yield components of three winter safflower under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 13: 1-11. (In Farsi).
27. Nakmee, P. S., S. Techapinyawat and S. Ngamprasit. 2016. Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of sorghum bicolor Linn. *Agriculture and Natural Resources* 50(3): 173-178.
28. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Jeeney. 1992. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Mineralogical Properties. SSSA Pub, Madison.
29. Pourebrahimi, M., S. M. R Ehteshami, K. Khavazi and M. Ramezani. 2013. Evaluate the effect of seed inoculation with *Pseudomonas fuorescens* strain 103 and application of phosphorus on nutrients uptake, chlorophyll content and biological yield of two forage barley cultivars in Fuman. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 104: 152-159. (In Farsi).
30. Pulvento, C., M. Riccardi, A. Lavini, G. Iafelice and E. Marconi. 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 254-263.
31. Rashidi, Z., M. J. Zare, F. Rejali and A. Ashraf mehrabi. 2011. Effect of soil tillage and integrated chemical fertilizer and biofertilizer on quantity and quality and quality and quality wheat and soil biological activity under dry land farming. *Electronic Journal of Crop Production* 4(2): 189-206. (In Farsi).
32. Rezaienia, N., M. Ramroudi, M. Galavi and M. Fofouzandeh. 2018. Effects of bio-fertilizers on physiological traits and absorption of some nutrients of chicory (*Cichorium intybus* L.) in response to drought Stress. *Iranian Journal of Field Crop Research* 15: 925-938. (In Farsi).
33. Roshdi, M., S. Rezadost, J. Khalil Mahaleh and N. Haji Nasab. 2009. The impact of biofertilizers on yield of three varieties of sunflower. *Journal of Agricultural Sciences and Technology* 10: 11-24. (In Farsi).
34. Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Annual of Botany* 92: 627-634.
35. Srivastava, A. K., T. Singh, T. K. Jana and D. K. Arora. 2011. Induced resistance and control of charcoal rot in *Cicer arietinum* (Chickpea) by *Pseudomonas fluorescence*. *Canadian Journal of Botany* 7: 787-795.
36. Stamford, N. P., C. E. R. S. Santos, S. Silva Junior, M. A. Lira Junior, M. V. B. Chapman and P. F. Pratt. 1978. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley.
37. Taheri, F., A. Maleki and A. Fathi. 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop physiology* 50: 135-149. (In Farsi).
38. Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, Massachusetts.
39. Telahigue, D., L. B. Yahia, F. Aljane, K. Belhouchett and L. Toumi. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Science of Food and Agriculture* 1: 222- 232.

40. Vega-Galvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe. L. Puente and E. A. Martinez. 2010. Nutrition Facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2541-2547.
41. Westerman, R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America book series, Madison, USA.
42. Wu, S. C., Z. H. Cao, Z. G. Li, K. C. Cheung and M. H. Wong. 2005. Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K. solubilizer and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166.
43. Yang, M. M., D. V. Mavrodi, O. V. Mavrodi, R. F. Bonsall, J. A. Parejko, T. C. Paulitz, L. S. Thomashow, H. T. Yang, D. M. Weller and J. H. Guo. 2011. Biological control of take-all by fluorescent *Pseudomonas* spp. from Chinese wheat fields. *Phytopathology* 101: 1481-1491.
44. Yang, J. C., J. Zhang, Z. Wang and Q. Zhu. 2004. Activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling. *Plant Physiology* 135: 1621-1629.
45. Yousefpoor, Z. and A. R. Yadavi. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24: 95-112. (In Farsi).
46. Yousefzadeh, S., H. A. Naghdi Badi, N. Sabaghnya and M. Jahmohammadi. 2016. The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Medicinal Plants* 4(60): 152-160. (In Farsi).
47. Zahedi, S. M., F. Rasoli and G. R. Gohari. 2018. The effect of potassium on the yield and concentrations of microelements in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology* 12: 25-34. (In Farsi).
48. Zahir, A. Z., M. Arshad and W. F. Frankenberger. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy* 81: 97-168.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Drought Stress, Biofertilizer and Potassium Nano Fertilizer on Leaf Area Index, 1000-Seed Weight, Harvest Index and Quality of Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Seed

M. Mirtayebi[1], A. Bostani[2], M. Diyanat[3*] and A. Azadi[4]

(Received: October 16-2021; Accepted: December 18-2021)

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress, biofertilizer and potassium Nano fertilizer on quinoa plant, a split-factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Ahmadabad Mostofi, Tehran, Iran in two growing seasons (2017-2018 and 2018-2019). The studied factors included drought stress at four levels (-0.015 (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 at four levels (non-application (control) and 1, 2 and 3%) and potassium Nano fertilizer at two levels (non-application (control) and application) as sub-factors were factorially placed in sub-plots. The results showed that the highest leaf area index (3.38), 1000-seed weight (2.56 g) and harvest index (31.7%) is attainable in normal irrigation condition and application of potassium Nano fertilizer. The highest potassium (0.115%), iron (154.0 mg/100 g dry matter), and grain carbohydrates (76.8%) contents were obtained under normal irrigation condition with application of 3% biofertilizer and application of Nano fertilizer and the lowest ones were obtained under condition of severe stress with non-application of biofertilizer and non-application of potassium Nano fertilizer. With increasing stress intensity, the mean calcium and magnesium of the seed decreased from 0.273% and 0.240% in normal irrigation conditions to 0.145% and 0.142% in severe stress conditions, respectively. Drought stress increased and decreased quinoa protein and seed oil, respectively, but the application of biofertilizer and potassium Nano fertilizer improved them. Therefore, both under normal irrigation and drought stress conditions, the use of 3% biofertilizer and potassium Nano fertilizer is recommended to improve the quality of quinoa seed.

Keywords: 1000-grain weight, Harvest index, Phosphorus, Protein, Zinc

1, 3. PhD Student and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy and Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Yadegar Imam, Shahr Rey, Iran
*: Corresponding Author, Email: Ma_dyanat@yahhoo.com, m.diyanat@srbiau.ac.ir