نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۷۲-۵۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681006

اثر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

حسین عبداله‌پور[۱]، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد[۲*] و امین پسندی‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۷

چکیده

اثر مقادیر مختلف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه رقم Titicaca کینوا، طی اجرای آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۹۸ بررسی شد. هفت ترکیب کودی شامل عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم (۱۸۰:۱۵۰:۱۲۰، ۱۵۰:۱۲۵:۱۰۰، ۱۲۰:۱۰۰:۸۰، ۹۰:۷۵:۶۰، ۶۰:۵۰:۴۰، ۳۰:۲۵:۲۰ N,P,K بر مبنای کیلوگرم در هکتار به همراه عدم کاربرد کود) و صفات مورد بررسی شامل از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، پروتئین دانه و عناصر غذایی دانه بودند. نتایج نشان داد که اثر تیمار کود شیمیایی بر همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار گردید. بیشترین میانگین کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و محتوای پروتئین دانه از کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم با ترکیب ۱۲۰:۱۰۰:۸۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد، اما در مورد صفات کلروفیل a و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری با ترکیب ۹۰:۷۵:۶۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. در این مطالعه همچنین بیشترین تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه از ترکیب کودی ۱۲۰:۱۰۰:۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که در مورد صفات طول پانیکول و عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری با ترکیب ۹۰:۷۵:۶۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم با نسبت ۹۰:۷۵:۶۰ کیلوگرم در هکتار منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه کینوا و همچنین پرهیز از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در شرایط آب و هوایی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان می‌شود.

واژگان کلیدی: پروتئین، سرعت رشد محصول، کینوا، کلروفیل، عملکرد دانه.

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۲-دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) e_tohidi@uk.ac.ir
۳-گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مقدمه

تعیین نیاز غذایی گیاه از لحاظ عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم از جنبه‌های بسیاری از جمله بهبود رشد گیاه و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی حایز اهمیت می‌باشد (Pasandi Pour and Farahbakhsh, 2017). متاسفانه مصرف کودهای شیمیایی در ایران نامتعادل بوده و با نیاز واقعی گیاه انطباق ندارد و با تداوم روند فعلی مصرف بی‌رویه، نامتعادل و نابهنگام کودهای شیمیایی خسارت‌های جبران ناپذیری به اکوسیستم‌های طبیعی مختلف وارد می‌گردد (Malakooti, 2000). بنابراین، در ترمیم سیستم‌های کشاورزی باید با استفاده منطقی از کودهای شیمیایی تا حدود زیادی از هدر رفت آنها جلوگیری کرد (Pasandi Pour and Farahbakhsh, 2017).

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی علفی یک‌ساله از تیره تاج‌خروس و زیرتیره اسفناج، سه کربنه و با تولید دانه‌های با ارزش اقتصادی بالا است که جزو شبه غلات دسته بندی می‌شود (Bazile *et al*., 2015). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن و پتاسیم، مس، روی و فسفر و حاوی ویتامین‌های گروه B از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن نیز بیشتر است (Hasanzadeh *et al*., 2013).

نیتروژن مهم‌ترین عنصر محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی است. نیتروژن نقش مهمی در بسیاری از فرآیندها از جمله بیوشیمی گیاه، ساختمان آنزیم‌ها، ساختمان کلروفیل‌ها، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌های ذخیره‌ای، دیواره سلول و دیگر ترکیبات سلولی دارد، در نتیجه، کمبود این عنصر بقای گیاه، عملکرد و پروتئین دانه را متأثر می‌سازد (Gan *et al*., 2011). مطالعات نشان داده است که عملکرد دانه کینوا با افزایش کود نیتروژن افزایش می‌یابد، و توصیه شده است که این کود طی دو مرحله، یکی زمان کاشت و دیگری شروع تشکیل جوانه به گیاه داده شود (Aguilar and Jacobsen,. 2003). همچنین، گزارش شده است که نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی و روند سوخت و ساز و افزایش تجمع ماده خشک در کینوا می‌شود (Gomaa, 2013). در تحقیقی با بررسی سطوح مختلف کود نیتروژن (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر روی گیاه کینوا گزارش کردند که بیشترین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه از سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است (Kakabouki *et al*., 2019).

کمبود فسفر بعد از نیتروژن، اغلب محدود کننده‌ترین عامل در تولید گیاهان می‌باشد. فسفر در ساختمان اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها، دی‌نوکلئوتیدها و آدنوزین تری فسفات‌ها شرکت دارد. فسفر در فرآیندهای ذخیره و انتقال انرژی، فتوسنتز، تنظیم فعالیت برخی آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها نقش دارد. خلیلی و همکاران (Khalili *et al*., 2019) گزارش کردند که با افزایش سطح فسفر به خاک تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار، ارتفاع گیاه و طول پانیکول کینوا در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۲/۳ و ۸/۷۹ درصد افزایش یافت.

پتاسیم به‌دلیل داشتن نقش مکمل با سایر عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و کلسیم و نیز اثر مثبت بر فرایند تطابق اسمزی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با شرایط نامساعد خاک و اتمسفر، سبب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی

مورد نیاز گیاه شده و زمینه افزایش عملکرد را فراهم می‌آورد (Sobhani and Hamidi, 2013).

شناخت نیازهای اکولوژیکی گیاه کینوا یکی از الزامات اساسی در توسعه کشت آن می‌باشد. از این رو، ضروری به نظر می‌رسد تا خصوصیات این گونه بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد. بنابراین، هدف از اجرای این تحقیق تعیین مقادیر مناسب کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تولید گیاه کینوا جهت افزایش راندمان تولید و کاهش آلـودگی‌های زیست محیطی ناشـی از مصـرف بی‌رویه منابع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در استان کرمان، مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا گردید. محل انجام آزمایش با مختصات ۵۷ درجه و ۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۷۵۳ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی طول فصل رشد ۱۱/۱۲ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای هوا در طول فصل رشد نیز به‌ترتیب برابر ۲۸/۴۷ و ۰/۳۳درجه سلسیوس بود.

تیمارهای آزمایش شامل شش ترکیب از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم (۱۲۰:۱۵۰:۱۸۰، ۸۰:۱۰۰:۱۲۰، ۱۰۰:۱۲۵:۱۵۰، ۴۰:۵۰:۶۰، ۶۰:۷۵:۹۰، ۲۰:۲۵:۳۰ N,P,K بر مبنای کیلوگرم در هکتار) به همراه عدم کاربرد کود (شاهد) بودند. در این مطالعه از کود اوره حاوی ۴۶/۷ درصد نیتروژن به‌عنوان منبع نیتروژن و کودهای سوپرفسفات ساده (حاوی ۱۴ درصد P_2O_5) و کلرید پتاسیم (حاوی ۶۰ درصد K_2O) به‌ترتیب به‌عنوان منابع فسفر و پتاسیم استفاده شد.

عملیات تهیه فیزیکی و شیمیایی زمین دو هفته قبل از کاشت صورت گرفت. یک سوم کود نیتروژنه و تمامی کود فسفره و پتاسه به صورت پیش کاشت و مابقی کود نیتروژنه به صورت سرک طی دو مرحله مصرف شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. کاشت در مزرعه در تاریخ سوم تیر ماه در کرت‌هایی با پنج خط کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و طول دو متر با فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز موجود در کرت‌ها چندین بار با دست وجین شدند. آبیاری به صورت غرقابی و هر هفت روز یک‌بار انجام شد.

در این تحقیق مؤلفه‌های آنالیز رشد از قبیل شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد محصول (CGR) محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه WINAREA مدل UT-11 ساخت ایران استفاده شد. به‌منظور انجام آنالیز رشد، شش مرحله نمونه‌برداری به فاصله دو هفته یک‌بار انجام و جهت محاسبه آنها از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید (Gardner *et al*., 1985):

(۱) شاخص سطح برگ

$$LAI= [(LA_2+ LA_1)/ 2] \times 1/ GA$$

(۲) سرعت رشد محصول

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

در این روابط LA سطح برگ، GA سطح زمین، W وزن خشک اندام هوایی و T زمان می‌باشد.

برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچتنتالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. به این صورت که ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد و پس از عبور از کاغذ صافی، جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر SCO-

TECH مدل SPUV-26 در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد.

محتوای پروتئین دانه با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم بذر از هر نمونه جدا و در نیتروژن مایع به‌صورت پودر درآمد. پودر حاصل در یک میلی‌لیتر محلول بافر تریس (محتوی تریس پایه ۰/۰۵ مولار، آسکوربیک اسید ۰/۱ درصد، سیستئین هیدروکلراید ۰/۱ درصد، پلی اتیلن گلایکول ۴۰۰۰ ۰/۱ درصد، اسید سیتریک ۰/۱۵ درصد و ۲- مرکاپتواتانول ۰/۰۰۸ درصد) کاملاً مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت بیست دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و دور ۱۹۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۳ میلی‌لیتر از معرف برادفورد (محتوی کوماسی برلیانت بلو ۰/۰۱ درصد، ۴/۷ درصد اتانول ۹۵ درصد و ۸/۵ درصد اسید فسفریک ۸۵ درصد) مخلوط گردید. جذب پس از پنج دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. میزان نیتروژن دانه بر اساس روش کجلدال، فسفر با روش کاربرد نیترو واناد و مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند (Emami, 1996).

در این مطالعه همچنین صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. جهت محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS v. 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار تغذیه در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته از تیمارهای کودی N:۱۸۰;P: ۱۵۰;K:۱۲۰، N:۱۵۰;P:۱۲۵; K:۱۰۰ و N:۱۲۰;P:۱۰۰; K:۸۰ به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، کمترین ارتفاع بوته (۶۵/۲۵ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) بود. به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن از طریق افزایش دوام و شاخص سطح برگ باعث شده تا شرایط مطلوب‌تری برای استفاده از نور خورشید و تولید مواد فتوسنتزی فراهم گردد که در نهایت سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گردیده است (Mousavi *et al.*, 2015). نتایج مشابهی نیز توسط رزاق و همکاران (Razaq *et al.*, 2017) گزارش شده است. پژوهشگران بر این باور هستند که فسفر کافی، سبب ازدیاد رشد گیاه و توسعه و گسترش ریشه می‌شود. بدین ترتیب گیاه می‌تواند از حجم بیشتری از خاک به‌منظور جذب عناصر غذایی و رطوبت استفاده کند که در چنین شرایطی جذب و کارآیی استفاده از اکثر عناصر غذایی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، اهمیت فسفر می‌تواند از طریق افزایش رشد ریشه و جذب رطوبت باشد (Vaziri Kateshori *et al.*, 2013). همچنین، گزارش شده است که افزایش مصرف پتاسیم موجب افزایش ارتفاع شاخه‌دهی در گلرنگ (Vafaie *et al.*, 2015) و زیره سبز (Shekofteh and Dehghani Fatehabad, 2016) و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه را به همراه داشته است. پتاسیم به دلیل نقش‌های زیاد در گیاه به ویژه نقش‌های آنزیمی، تأثیر زیادی بر رشد رویشی و

ارتفاع گیاه داشته و با افزایش مقدار کود پتاسیم ارتفاع گیاه افزایش نشان می‌دهد.

تعداد شاخه جانبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار تغذیه در سطح احتمال یک درصد (P<0.001) بر تعداد شاخه جانبی معنی‌دار بود (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد شاخه جانبی مربوط به ترکیب کودی K:۱۰۰ ; P: ۱۲۵ ; N:۱۵۰ معادل ۱۷/۹۹ بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کودی K:۱۲۰;P:۱۵۰ ; N:۱۸۰ با ۱۷/۴۰ عدد و K:۸۰ ; P:۱۰۰ ; N:۱۲۰ با ۱۸/۲۹ عدد نداشت. درحالی‌که تفاوت بین ترکیبات کودی مذکور با سایر ترکیبات کودی بررسی شده معنی‌دار بود. مصرف نیتروژن موجب تحریک رشد رویشی گیاه شده، طول مدت گلدهی را افزایش داده و از طریق افزایش سطح فتوسنتزی، میزان آسیمیلات‌هایی را که در اختیار جوانه‌های جانبی قرار می‌گیرد، افزایش می‌دهد. این عامل موجب تحریک رشد جوانه‌های جانبی و به وجود آمدن شاخه‌های جانبی بیشتر می‌شود (Safikhani *et al*., 2015). همچنین، پتاسیم اثرات مطلوبی بر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد زمینه‌ای رشد دارد که این مواد در متابولیت‌های سازنده بافت‌های گیاهی و فرآیندهای نمو ظاهر می‌شوند و از این طریق می‌تواند بر رشد و نمو گیاه تاثیر گذاشته و موجب افزایش فتوسنتز و رشد در گیاه می‌شود (Vafaei *et al*., 2015). خانی‌نژاد و همکاران (Khaninejad *et al*., 2013) گزارش کردند که افزایش مقدار نیتروژن در خاک منجر به افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) شد در حالی که به افزایش مقدار فسفر پاسخی نداد. تعداد شاخه جانبی در گیاه گلرنگ با مصرف کود پتاسیم (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد، ۱۳/۲ درصد افزایش نشان داد (Vafaei *et al*., 2015).

طول پانیکول: بین تیمارهای تغذیه مورد بررسی از نظر طول پانیکول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ملاحظه شد (جدول ۲). تیمارهای کودی K:۴۰ ; P:۵۰ ; N:۶۰، K:۶۰ ; N:۶۰ ; P:۷۵، K:۸۰ ; N:۹۰ ; P:۱۰۰، K:۱۰۰ ; N:۱۲۰ ; P:۱۲۵، K:۱۲۰ ; N:۱۵۰ ; P:۱۵۰، و K:۱۲۰ ; N:۱۸۰ ; P:۱۵۰ به ترتیب با طول پانیکول ۱۷/۴۰، ۱۹/۱۰، ۲۰/۸۰، ۱۹/۸۰ و ۱۹/۳۰ سانتی‌متر ضمن اینکه بیشترین میانگین این صفت را دارا بودند همچنین تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای تغذیه‌ایی نیز داشتند (جدول ۳). گزارش شده است که مصرف فسفر به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد به‌ترتیب منجر به افزایش ۵/۲۱ و ۸/۷۹ درصد در طول پانیکول گیاه کینوا شده است. در حالی که طول پانیکول با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپر فسفات تریپل در مقایسه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار، ۳/۴۱ درصد کاهش یافت (Khalili *et al*., 2019). همچنین، افزایش طول خوشه در گندم (Hagin and Tucker, 2012) و طول پانیکول در سورگوم (Mehraban and Fazeli-Nasab, 2017) به‌واسطه افزایش مصرف پتاسیم نسبت به شاهد گزارش شده است.

وزن هزار دانه: در این تحقیق صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تیمارهای تغذیه قرار گرفت (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین میانگین وزن هزار دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۳/۷۵۰ و ۱/۶۴۶ گرم مربوط به تیمارهای کودی K:۸۰ ; P:۱۰۰ ; N:۱۲۰ و شاهد (عدم مصرف) بود (جدول ۳). مشابه با نتایج این تحقیق گزارش شده است که مصرف پتاسیم تاثیر مثبتی در افزایش وزن صد

دانه گلرنگ داشته است (Vafaei *et al*., 2015). پتاسیم با افزایش سرعت فتوسنتز برگ‌های گیاه، موجب جذب بیشتر دی‌اکسیدکربن و بهبود انتقال فتوسینتات‌ها می‌شود. افزایش مقدار فسفر محلول، میزان ذخیره فیتین بذر را افزایش می‌دهد و می‌تواند نقش مهمی در اندازه و وزن بذر داشته باشد. گزارش شده است که افزایش سطح فسفر موجب افزایش وزن هزار دانه در گیاه کلزا شد (Tavajjoh *et al*., 2016).

عملکرد دانه: این صفت به طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر کاربرد کودهای شیمیایی قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تیمار کاربرد کودهای شیمیایی نشان داد کاربرد تیمار کودی ۷۵;K:۶۰ N:۹۰;P:، موجب افزایش ۵۸/۹۳ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شد ولی افزایش بیشتر مقدار عناصر در ترکیب‌های کودی (در مقایسه با این تیمار کودی) تغییر معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد نکرد (جدول ۳). در این بررسی بیشترین تاثیر کود نیتروژن بر افزایش عملکرد دانه به صورت افزایش طول پانیکول و وزن هزار دانه بود که این امر را می‌توان به افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ در گیاه و ایجاد سطح فتوسنتزی بیشتر مربوط نمود. افزایش عملکرد دانه به‌واسطه افزایش مصرف فسفر در گیاه ذرت (Aminian *et al*., 2018) و کلزا (Liu *et al*., 2009; Tavajjoh *et al*., 2016) نیز گزارش شده است. فسفر از طریق افزایش رشد شاخه‌ها و غلاف‌های گیاه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Liu *et al*., 2009). در یک مطالعه مشاهده گردید که کوددهی فسفر، رشد گیاه کلزا را بهبود بخشید و جذب نیتروژن را حتی بیش از کوددهی نیتروژن، افزایش داد (Graciano *et al*., 2006).

پتاسیم در بیشتر فرآیندهای مربوط به فعالیت آنزیم‌ها، فتوسنتز، انتقال قندها، سنتز پروتئین، نشاسته، استقرار بهتر گیاه در شرایط تنش رطوبتی به‌وسیله تنظیم سرعت و میزان باز و بسته شدن روزنه‌ها، بهبود مقاومت به ورس و حمله آفات و بیماری‌ها نقش اساسی دارد (Hoeft *et al*., 2000) که از این طریق اثر مستقیم بر میزان عملکرد دانه تولیدی در هر گیاهی دارد. ساوان و همکاران (Sawan *et al*., 2006) نشان دادند که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه پنبه را ٪۳۰ در مقایسه با شاهد افزایش داد. آنها این افزایش را به واسطه تأثیر مطلوب پتاسیم بر اجزای عملکرد دانستند.

محتوی کلروفیل و کاروتنوئید: محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تاثیر تیمار کاربرد کودهای شیمیایی (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفتند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر تیمار تغذیه بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کل در تیمار شاهد (عدم مصرف کودها) به‌ترتیب برابر ۶۵/۵۰، ۴۵/۵۰ و ۱۰۵/۲۰ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بوده و با افزایش میزان مصرف عناصر غذایی، به‌طور معنی‌داری مقدار آنها افزایش یافت (جدول ۵). تیمار کودی N:۹۰;P:۷۵;K:۶۰، موجب افزایش ۱۲۹ درصدی محتوای کلروفیل a در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شد ولی افزایش بیشتر مقدار عناصر در ترکیب‌های کودی در مقایسه با تیمار کودی مذکور تغییر معنی‌داری در محتوای کلروفیل a ایجاد نکرد (جدول ۵).

در این تحقیق تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید (P<0.01) داشت (جدول ۴). بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین مقدار کاروتنوئید به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۷/۵۰ و ۲۵/۳۰ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ متعلق به تیمارهای کودی K:۸۰; N:۱۲۰;P:۱۰۰ و شاهد (عدم مصرف کودها) بود (جدول ۵). کود پتاسیم موجب افزایش جذب دو عنصر ضروری آهن و منیزیم برای سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود (Hayati *et al*., 2012). لرکی و همکاران (Larki *et al*., 2015) با بررسی اثر مصرف پتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیک گندم بیان کردند که مصرف پتاسیم نقش بسیار مهمی در بهبود محتوای کلروفیل کل و همچنین شاخص کلروفیل در شرایط تجمع کادمیوم داشته است. از آنجا که نیترژون نقشی اساسی در ساختار و ساختمان رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل دارد، بدیهی است که با افزایش میزان نیتروژن، میزان این رنگیزه‌ها افزایش یابد (Zubillaga *et al.,* 2006). این نتایج با یافته‌های حق‌جو و بحرانی (Haghjoo and Bahrani, 2014) مبنی بر اینکه افزایش میزان مصرف نیتروژن موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید می‌شود مطابقت داشت. افزایش میزان کلروفیل با کاربرد کود شیمیایی فسفر، احتمالاً به علت وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان کوددهی شده باشد (Zarea *et al*., 2013).

شاخص سطح برگ (LAI): اثر کاربرد کودهای شیمیایی در سطح احتمال یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). کاربرد تیمار کودی N:۹۰;P:۷۵;K:۶۰ موجب افزایش ۳۶/۳ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شد و افزایش بیشتر مقدار عناصر در ترکیب‌های کودی (در مقایسه با تیمار کودی N:۹۰;P:۷۵;K:۶۰) تغییر معنی‌داری در شاخص سطح برگ ایجاد نکرد (جدول ۵). افزایش سطح برگ با مصرف کودهای شیمیایی و آلی علاوه بر افزایش تولید برگ می‌تواند به دلیل افزایش دوام سطح برگ و تأخیر در پیری و زرد شدن برگ‌ها باشد (Hakan, 2002). بنا به گزارش محققان افزایش کاربرد کود نیتروژن موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در گیاه گندم (Garofalo and Rinaldi, 2015) و جو (Hokmalipour and SeyedSharifi, 2014) می‌شود.

سرعت رشد محصول (CGR): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار تغذیه در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) برای سرعت رشد محصول معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این تحقیق افزایش مقدار کود در نسبت‌های اعمال شده منجر به افزایش معنی‌دار سرعت رشد محصول گردید به گونه‌ای که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به نسبت‌های کودی N:۱۲۰;P:۱۰۰;K:۸۰ و شاهد بود (جدول ۵). نتایج حاکی از آن است که روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای کودی با شاخص سطح برگ و عملکرد دانه هماهنگ است(جداول ۳ و ۵). گزارش شده است مصرف نیتروژن موجب افزایش سرعت رشد محصول و در نتیجه افزایش ماده خشک کل در گیاه گلرنگ می‌شود (Koutroubas *et al*., 2008). حاتمی و همکاران (Hatami *et al*., 2010) نیز نتایج مشابهی از تاثیر کود پتاسیم بر شاخص سرعت رشد محصول گزارش کردند.

محتوای پروتئین: محتوای پروتئین به‌طور معنی‌داری (P<0.01) تحت تاثیر تیمار تغذیه قرار

گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین سطوح مختلف تیمار تغذیه نشان داد که کمترین محتوای پروتئین مربوط به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) بود و افزایش مقدار عناصر در ترکیب‌های کودی منجر به افزایش معنی‌دار این صفت گردید (جدول ۵). بیشترین محتوای پروتئین دانه با میانگین ۲۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم از نسبت کودی کودی N:۱۲۰;P:۱۰۰;K:۸۰ به‌دست آمد (جدول ۵). مشابه با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گزارش شده است که افزایش سطح فسفر موجب افزایش عملکرد پروتئین در گیاه کلزا شد (Tavajjoh *et al.*, 2016). منگل و فورستر (Mengel and Forester, 2002) با انجام تحقیقی، افزایش درصد نیتروژن از طریق تأثیر کود پتاسیم بر انتقال تولیدات فتوسنتزی در ذرت را گزارش نموده‌اند.

درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه: محتوای عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه تحت تاثیر کاربرد کودهای شیمیایی (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفتند (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر تیمار تغذیه بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد که درصد این عناصر در تیمار شاهد (عدم مصرف کودها) به‌ترتیب برابر ۱/۲۰، ۰/۳۱ و ۰/۹۵ درصد بوده و با افزایش میزان عناصر غذایی، به‌طور معنی‌داری مقدار آنها افزایش یافت (جدول ۷). بر این اساس بیشترین درصد نیتروژن دانه (۲/۸۱ درصد)، فسفر دانه (۰/۶۴ درصد) و پتاسیم دانه (۱/۷۳ درصد) از تیمار کودی N:۱۲۰;P:۱۰۰;K:۸۰ به‌دست آمد (جدول ۷). یکی از اثرات مثبت استفاده از نیتروژن، افزایش جذب کاتیون‌ها است. بنابراین جذب نیتروژن توسط گیاه یک افزایش نسبی در جذب سایر عناصر غذایی از جمله پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم به وجود می‌آورد (Rajiv and Misra, 2011). همچنین بیان شده است که با افزایش مصرف کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر)، نیتروژن برگ افزایش یافته که از طریق بهبود فتوسنتز ترکیبات نیتروژنه بیشتر به بذر منتقل شده و همچنین بخشی از این نیتروژن افزوده شده به برگ از طریق انتقال مجدد می‌تواند به بذر منتقل شده و باعث افزایش درصد نیتروژن بذر گردد (Yadavi and Yuosefpur, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار عناصر غذایی در ترکیبات کودی مورد بررسی در مقایسه با عدم مصرف کود شیمیایی توانست رشد و عملکرد گیاه کینوا را بهبود بخشد. در عین حال افزایش بیش از حد مقدار عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نتوانست تغییر معنی‌داری در صفات مورد بررسی از جمله عملکرد دانه ایجاد نماید.

در مجموع، با توجه به نتایج به‌دست آمده از این بررسی به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین نسبت ترکیبی کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم جهت به‌دست آوردن بالاترین عملکرد دانه کینوا و در عین حال پرهیز از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نسبت کودی N:۹۰;P:۷۵;K:۶۰ می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش

Table 1- Soil physic-chemical properties of experimental field

مشخصات خاک Soil properties	بافت خاک Soil texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته اشباع خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر 0 to 30 cm depth	Sandy-Loam	0.02	15	204	0.04	7.42	4.23
عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر 30 to 60 cm depth	Loam	0.03	16	217	0.04	7.85	4.06

جدول ۲- تجزیه واریانس ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کینوا

Table 2- Variance analysis of plant height, number of branch, panicle length, 1000 grain weight and seed yield of quinoa

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول پانیکول Panicle length	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	93.299	1.814	6.770	0.0189	766.19
تغذیه گیاه Plant nutrition	6	436.88**	27.125**	16.656*	2.082**	9781.8**
خطا Error	12	24.980	0.2574	4.318	0.0415	482.01
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.23	3.30	11.51	7.08	7.50

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

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاه کینوا

Table 3- Mean comparison the effect of fertilizer on plant height, number of branch, panicle length, 1000 grain weight and seed yield of quinoa

تغذیه گیاه Plant nutrition (N:P:K)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of branch	طول پانیکول Panicle length (cm)	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
0:0:0	65.25^{d}	10.50^{e}	14.50^{b}	1.646^{d}	201.55^{c}
30:25:20	65.53^{d}	12.30^{d}	15.40^{b}	1.950^{d}	232.24^{c}
60:50:40	75.54^{c}	14.70^{c}	17.40^{ab}	2.550^{c}	275.44^{b}
90:75:60	80.51^{bc}	16.40^{b}	19.10^{a}	3.253^{b}	320.33^{a}
120:100:80	88.55^{ab}	18.29^{a}	20.80^{a}	3.750^{a}	345.33^{a}
150:125:100	90.57^{a}	17.99^{a}	19.80^{a}	3.550^{ab}	340.24^{a}
180:150:120	95.56^{a}	17.40^{a}	19.30^{a}	3.450^{ab}	331.55^{a}

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۴- تجزیه واریانس محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و محتوای پروتئین دانه کینوا

Table 4- Variance analysis of photosynthetic pigment content, leaf area index, crop growth rate and seed protein content of quinoa

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	محتوای پروتئین protein content
بلوک Block	2	259.26	44.432	166.25	3.892	0.025	0.5457	1.249
تغذیه گیاه Plant nutrition	6	6426.2**	3646.5**	19645**	763.21**	0.934**	15.70**	54.038**
خطا Error	12	410.92	54.937	174.46	12.621	0.1636	0.4311	0.848
ضریب تغییرات C.V. (%)		15.54	7.43	5.89	7.06	11.41	8.04	5.12

ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و محتوای پروتئین دانه کینوا

Table 5- Mean comparison the effect of fertilizer on photosynthetic pigment content, leaf area index, crop growth rate and seed protein content of quinoa

تغذیه گیاه Plant nutrition (N:P:K)	کلروفیل a Chlorophyll a (µg g^{-1} FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (µg g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (µg g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoid (µg g^{-1} FW)	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR (g m^{-2} day^{-1})	محتوای پروتئین protein content (mg g^{-1})
0:0:0	65.50^{c}	45.50^{e}	105.20^{e}	25.30^{e}	2.75^{c}	4.65^{d}	11.35^{f}
30:25:20	75.50^{bc}	65.20^{d}	135.60^{d}	33.50^{d}	2.95^{c}	5.66^{d}	13.55^{e}
60:50:40	110.50^{b}	85.60^{c}	190.40^{c}	45.60^{c}	3.25^{bc}	7.45^{c}	16.65^{d}
90:75:60	150.30^{a}	110.50^{b}	250.40^{b}	57.40^{b}	3.75^{ab}	9.05^{b}	19.65^{c}
120:100:80	175.40^{a}	135.40^{a}	305.50^{a}	67.50^{a}	4.15^{a}	10.52^{a}	22.55^{a}
150:125:100	170.30^{a}	130.19^{a}	295.50^{a}	62.50^{ab}	4.05^{a}	10.02^{ab}	21.35^{ab}
180:150:120	165.30^{a}	125.10^{a}	285.50^{a}	60.40^{b}	3.90^{ab}	9.75^{ab}	20.75^{bc}

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۶- تجزیه واریانس محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کینوا

Table 6- Variance analysis of seed nitrogen, phosphorous and potassium content of quinoa

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorous	پتاسیم Potassium
بلوک Block	2	0.1086	0.0032	0.0135
تغذیه گیاه Plant nutrition	6	1.3914**	0.44**	0.3035**
خطا Error	12	0.0735	0.00074	0.0021
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.30	5.98	3.41

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کینوا

Table 7- Mean comparison the effect of fertilizer on seed nitrogen, phosphorous and potassium content of quinoa

تغذیه گیاه Plant nutrition (N:P:K)	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorous (%)	پتاسیم Potassium (%)
0:0:0	1.20^{c}	0.31^{e}	0.95^{d}
30:25:20	1.24^{c}	0.33^{e}	0.92^{d}
60:50:40	1.64^{bc}	0.38^{d}	1.22^{c}
90:75:60	2.10^{b}	0.47^{c}	1.54^{b}
120:100:80	2.81^{a}	0.64^{a}	1.73^{a}
150:125:100	2.62^{a}	0.54^{b}	1.53^{b}
180:150:120	2.64^{a}	0.51^{bc}	1.52^{b}

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

References منابع مورد استفاده

- Aguilar, P.C., and S.E. Jacobsen. 2003. Cultivation of quinoa on the *Peruvian Altiplano*. *Food Reviews International*. 19(1-2): 31-41.
- Aminian, R., H. Sadat Tabasi, F. Habibzadeh, and S. Parsamehr. 2018. Effect of phosphorus fertilizer and some agronomic traits relationships of two grain corn hybrids (*Zea mays* L.) under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*. 37(10): 5-20. (In Persian).
- Bazile, D., H.D. Bertero, and C. Nieto. 2015. State of the art report on quinoa around the world in 2013. FAO/CIRAD. Pp, 1-2.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid, sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. *Annals of Biochemistry*. 72: 248–254.
- Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. *Soil and Water Research Institute*. 982: 128-128. (In Persian)
- Gan, Y., S.S. Malhi, S. Brandt, F. Katepa-Mupondwa, and C. Stevenson. 2011. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of Jancea canola under diverse environments. *Agronomy Journal*. 100: 285-295.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 327 pp.
- Garofalo, P., and M. Rinaldi. 2015. Leaf gas exchange and radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different deficit irrigation strategies: From solar radiation to plant growth analysis. *European Journal of Agronomy*. 64: 88-97.
- Gomaa, E.F. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on quinoa plant (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Applied Sciences Research*. 9: 5210-5222.
- Graciano, C., J.F. Goya, J.L. Frangi, and J.J. Guiamet. 2006. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management*. 236: 202-210.
- Haghjoo, M., and A. Bahrani. 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of maize cv. SC 260. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16(4): 278-292. (In Persian).
- Hagin, J., and B. Tucker. 2012. Fertilization of dryland and irrigated soils. Springer Science and Business Media. 190 pp.
- Hakan, O. 2002. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapseed cultivars. *Agronomy Journal*. 19: 453-463.
- Hasanzadeh, H., Gh. Shakerdargah, and F. Darjani. 2013. Determination of the best planting date of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in South coast of Iran. The First National Electronic Conference on Advanced Topics in Horticultural Science. 19 and 20 November, Jahrom University. (In Persian).
- Hatami, H., A. Aynehband, M. Azizi, A. Soltani, and A.R. Dadkhah. 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of soybean cultivars in North Khorasan. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2(2): 75-90. (In Persian).
- Hayati, A., M. Ramroudi, and M. Galavi. 2012. Effect of timing of potassium application on millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 1(2): 35-44.

- Hoeft, R.G., E.D. Nafziger, R.R. Johnson, and R. Aldrich. 2000. Modern corn and soybean production, MCSP Publications, USA. 353 pp.
- Hokmalipour, S., and R. Seyedsharifi. 2014. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) affected by different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and some physiological parameters of barley (*Hordeum vulgar* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(4): 822-833. (In Persian).
- Kakabouki, I.P., I.E. Roussis, P. Papastylianou, P. Kanatas, D. Hela, N. Katsenios, and F. Fuentes. 2019. Growth analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to fertilization and soil tillage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 47(4): 1025-1036.
- Khalili, S., A. Bastani, and M. Bagheri. 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. *Journal of Soil Research*. 33(2): 155-167. (In Persian).
- Khaninejad, S., M. Kafi, H. Khazaee, J. Shabahang, and J. Nabati, 2013. Evaluation of nitrogen and phosphorous levels on forage yield and characteristics of *Kochia scoparia* in irrigating with two saline waters. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 11(2): 275-284. (In Persian).
- Koutroubas, S.D., D.K. Papkosta, and A. Doitsinis. 2008. Nitrogen utilization efficiency of safflower hybrids and open-pollinated varieties under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*. 107: 56-61.
- Larki, S., A. Rahnama, and A. Aynehband. 2015. Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum (Desf.) Husn.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(3): 223 -235. (In Persian).
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymolgy*. 148: 350-382.
- Liu, H., C. Hu, X. Sun, Q. Tan, Zh. Nie, J. Su, J. Liu, and H. Huang. 2009. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on grain yield and quality of *Brassica napus*. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7(3-4): 266-269.
- Malakooti, M.J. 2000. Sustainable agriculture and yield increment by optimum fertilizer utilization in Iran. Agricultural Extension Publications. (In Persian).
- Mehraban, A., and B. Fazeli-Nasab. 2017. The effect of potassium chloride on vegetative parameters of sorghum inoculated with mycorrhizal fungi (*Glumus mossea*) under water stress condition. *Journal of Microbial World*. 10(3): 275-288.
- Mengel, K., and H. Forester. 2002. The effect of potassium on translocation of photosynthesis and yield pattern of *Zea mays*. *Journal of Science, Food and Agronomy*. 24: 1479-1487.
- Mousavi, S.Gh., A.L. Mohammadi, R. Baradaran, M.G. Seghatol eslami, and A. Amiri. 2015. Effect of nitrogen fertilizer rates on morphological traits, yield and yield components of three cultivar of rice. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 13(1): 146-152.
- Pasandi Pour, A., and H. Farahbakhsh. 2017. Investigation of the NPK nutrition of henna ecotypes (*Lowsonia inermis* L.) based on photosynthetic and growth indices in Shahdad area. *Journal of Crop Ecophysiology*. 4(44): 821-836. (In Persian).

- Rajiv, K., and R.L. Misra. 2011. Studies on nitrogen application in combination with phosphorus or potassium on gladiolus cv. Jester Gold. *Indian Journal Horticultural*. 68(4): 535-539.
- Razaq, M., P. Zhang, and H.L. Shen. 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *Plos one*. 12(2): e017132.
- Safikhani, S., A. Biabani, A. Faraji, A. Rahemi, and A. Gholizadeh. 2015. Response of some agronomic characteristic of canola (*Brassica napus* L.) to nitrogen fertilizer and sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology*. 35(3): 429-446. (In Persian).
- Sawan, Z.M., S.A. Hafez, A.E. Basyony, and A.E.R. Alkassas. 2006. Cotton seed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2(1): 56-65.
- Shekofteh, H., and R. Dehghani Fatehabad. 2016. Effect of water stress and potassium on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Production Technology*. 16(2): 167-178.
- Sobhani, A., and H. Hamidi. 2013. Effect of different potassium levels on yield and growth indices of potato in Mashad climate condition. *Journal of Crop Ecophysiology*. 3(27): 341-356. (In Persian).
- Tavajjoh, M., N. Karimian, A. Ronaghi, J. Yasrebi, R. Hamidi, and V. Olama. 2016. Yield, yield components and seed quality of two rapeseed cultivars as affected by different levels of phosphorus and boron under greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 6 (4): 99-113.
- Vafaie, A., A. Ebadie, and G. Parmoon. 2015. Effect of potassium and magnesium application on grain yield and oil content of safflower. *Journal of Crop Production and Processing*. 5(17): 111-122.
- Vaziri Kateshori, S., M. Daneshvar, A. Sohrabi, and F. Nazarian Firouzabadi. 2013. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of chick pea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Crops Improvement*. 15(2): 17-30.
- Yadavi, A., and Z. Yuosepur. 2015. Effect of nitrogen and phosphorus sources on soil chemical properties and elements concentration in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Water and Soil*. 29(1): 210-224.
- Zarea, M.J., P. Chordia, and A. Varma. 2013. Piriformospora indica versus salt stress. In: Piriformospora indica, Soil biology. Varma, A., K. Gerhard, and O. Ralf. (eds.). pp 33-56. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Zubillaga, M.M., J.P. Aristi, and R.S. Lavado. 2006. Effect of phosphorus and nitrogen fertilization on sun flower (*Helianthus annuus* L.) nitrogen uptake and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 188: 267-274.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681006

Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizers on Morpho-Physiological Characteristics and Seed Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Hossein Abdolahpour[1], Enayatolah Tohidi Nejad[2]*, and Amin Pasandi Pour[3]

Received: October 2019 , Revised: 1 May 2020, Accepted: 18 August 2020

Abstract

To evaluate the effect of different levels of NPK nutrition on some morpho-physiological characteristics and seed yield of quinoa, a randomized complete block design experiment was carried out in Shahid Bahonar University of Kerman in 2019. In this study, response of quinoa (Titicaca variety) to seven fertilizer combinations, consisting of nitrogen, phosphorus and potassium (N: K: P, 30:25:20, 60:50:40, 90:75:60, 120:100:80, 150:125:100, 180:150:120 $kg.ha^{-1}$) were investigated for plant height, number of branch, panicle length, 1000 seed weight, seed yield, content of photosynthetic pigments, leaf area index, crop growth rate, seed protein content and seed nutrients. The results indicated that the effect of NPK nutrition treatments on all measured traits were significant. The highest mean of Chl a, Chl b, Chl a+b, carotenoid, LAI, CGR and seed protein content belonged to combination of 120: 100: 80 which was not significantly different from combination of 90: 75: 60, in terms of Chl a and LAI. In this study, the highest mean of panicle lengths, number of branches, 1000 seed weight and seed yield were recorded for combination of 120: 100: 80 which were not significantly different from combination of 90: 75: 60, in terms of panicle length and seed yield. According to the results, thus, it can be concluded that combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers with a ratio of 90: 75: 60 are appropriate to achieve maximum seed yield for research location under Kerman climatic conditions and avoid overuse of chemical fertilizers.

Key words: Chlorophyll, Crop growth rate, Seed yield, Protein, Quinoa.

1-M.Sc. Student of Agronomy, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
2-Associate Prof., Department of Agronomy and plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
3-Department of Agronomy and plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
**Corresponding Author: e_tohidi@uk.ac.ir*