نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۴(۶۰)، زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۶۰۸-۵۹۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2022.689808

عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در واکنش به تراکم‌های مختلف کاشت

محمدرضا واحدی [۱]، عنایت‌الله توحیدی‌نژاد [۲*] و امین پسندی‌پور [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۵

چکیده

تاثیر تراکم‌های مختلف کاشت بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشد کینوا (رقم Titicaca)، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان در سال ۱۳۹۸ بررسی شد. دو فاصله کاشت بین ردیف (۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) به‌عنوان فاکتور اول و چهار فاصله کاشت روی ردیف شامل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر به عنوان فاکتور دوم مورد بررسی قرار گرفتند. افزایش فاصله روی ردیف بین ردیف کاشت منجر به کاهش معنی‌دار سرعت رشد محصول گردید. به گونه‌ای که، کمترین مقدار شاخص رشد محصول در هر دو فاصله بین ردیف و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. کمترین عملکرد دانه (۲۲۵/۷۶ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر حاصل شد و کاهش فاصله روی ردیف کاشت تا ۱۰ سانتی‌متر منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. این در حالی بود که در فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر، بین فواصل روی ردیف کاشت از لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و بیشترین مقدار آن نیز از فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با میانگین ۳۸۶/۳۶ گرم در متر مربع به‌دست آمد. به‌طورکلی، فاصله بین ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر با فاصله روی ردیف ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر برای دستیابی به بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح و همچنین وزن هزار دانه بیشتر، برای کاشت کینوا در منطقه مورد این پژوهش مناسب به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، فاصله بین ردیف، فاصله روی ردیف.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول e_tohidi@uk.ac.ir

مقدمه

عامل مهم در تغییرات عملکرد گیاهان زراعی مدیریت‌های زراعی می‌باشد که می‌تواند عملکرد را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. یکی از مهم‌ترین مدیریت‌ها برای به حداکثر رساندن عملکرد گیاهان زراعی رعایت تراکم مناسب در واحد سطح می‌باشد. در واقع با رعایت تراکم بوته مناسب در واحد سطح، بوته‌ها می‌توانند از منابع محیطی حداکثر استفاده را داشته باشند و در نهایت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بالایی را تولید کنند (Zeinali *et al*., 2014). به‌عنوان یک اصل کلی همواره در تراکم‌های بیش از تراکم مطلوب، رقابت درون گونه‌ای باعث کاهش عملکرد شده و بالعکس در تراکم‌های کمتر از حد مطلوب از امکانات محیطی اعم از نور، فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده و در نهایت عملکرد نیز کاهش خواهد یافت (Martin and Deo, 2000). لذا، حداکثر بهره‌برداری از عوامل لازم جهت رشد گیاه وقتی حاصل می‌شود که جمعیت گیاهی حداکثر فشار را بر تمام عوامل تولید وارد نماید. تراکم کاشت به‌عوامل مختلفی مانند خصوصیات گیاه زراعی و طول دوره رشد آن، زمان و روش کاشت، وضعیت حاصل‌خیزی خاک، عملیات مدیریتی در مزرعه و روش برداشت بستگی دارد (Nour-Mohamadi *et al*., 2013). نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی تاثیر گذاشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، بر عملکرد در واحد سطح تاثیر می‌گذارد. باکاهش فاصله بین ردیف، تراکم بوته بیشتری در واحد سطح حاصل می‌شود و در صورت ثابت ماندن فاصله بین ردیف‌ها، کاهش متعادل فاصله روی ردیف‌ها یعنی افزایش متعادل تراکم بوته، سبب تسریع بسته شدن تاج پوشش، افزایش شاخص سطح برگ، بهره‌وری بیشتر از عوامل محیطی، بیشتر شدن تعداد اجزای عملکرد در واحد سطح و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (Valadabadi *et al*., 2011).

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی علفی یک‌ساله از تیره‌ی تاج خروس و زیرتیره‌ی اسفناج، سه کربنه و با تولید دانه‌های با ارزش اقتصادی بالا است که جزو شبه غلات دسته‌بندی می‌شود (Bazile *et al*., 2015). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن و پتاسیم، مس، روی و فسفر است و نیز حاوی ویتامین‌های گروه ب از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است (Khalili *et al*., 2019). بذور کینوا به‌طور میانگین دارای ۱۶ درصد پروتئین هستند که بالاتر از مقدار پروتئین در بذر سایر غلات است. از سوی دیگر، پروتئین کینوا دارای کیفیت بالایی است که این گیاه را به معیارها و استانداردهای فائو به‌منظور تغذیه انسان‌ها، نزدیک کرده است (Seyfati *et al*., 2015). کینوا، همچنین دارای تعادل اسیدهای آمینه‌ی بهتر از گندم و جو بوده و همچنین دارای میزان بالایی آهن و کلسیم است (James, 2009). مزیت اصلی استفاده از بذر کینوا به‌عنوان یک مکمل غذایی در صنعت آرد، پاسخ‌گویی کینوا به تقاضای رو به رشد بین‌المللی برای محصولات فاقد گلوتن می‌باشد (Seyfati *et al*., 2015). با توجه به کارایی‌ها و قابلیت تحمل کینوا به شوری و خشکی، مهم‌ترین عاملی که کینوا را مناسب برای کشت در مناطق خشک و بیابانی مستعد کشت، می‌نماید، زودرسی آن است (Jacobsen, 2003).

کینوا گیاهی با پتانسیل بالای رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی است. گزارش شده است کینوا به‌دلیل تحمل به تنش‌های خشکی و

شوری می‌تواند در دامنه‌ای از شوری خاک که گندم، جو و یا سایر گیاهان زراعی قادر به تولید نیستند، بذر تولید کند (James, 2009).

بررسی‌ها نشان می‌دهد تاکنون هیچ‌گونه تحقیق و مطالعه‌ای در زمینه بررسی تراکم مناسب کاشت گیاه کینوا در استان کرمان صورت نگرفته است. کشت کینوا از نظر تولید به‌ویژه در مناطق جنوبی استان کرمان موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد. از این‌رو ضروری به نظر می‌رسد تا مطالعه‌ای دقیق در زمینه بررسی تراکم مناسب کاشت گیاه کینوا در منطقه جیرفت در راستای شناخت بیشتر و حل مشکلات کشت و کار این گیاه صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان اجرا گردید. تغییرات دما و بارندگی این منطقه در طول اجرای این آزمایش در سال ۱۳۹۸ در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمارهای آزمایش شامل فاصله بین ردیف‌های کاشت (۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر) و فاصله روی ردیف‌های کاشت (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) بود. آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و نمونه‌گیری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر دو هفته قبل از کاشت صورت گرفت. یک سوم کود نیتروژنه (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و تمامی کود فسفره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسه (۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پیش کاشت و مابقی کود نیتروژنه به‌صورت سرک طی دو مرحله (۳۰ و ۶۰ روز بعد از کاشت) مصرف شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. کاشت بذور کینوا رقم Titicaca (تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان) در مزرعه در تاریخ اول مهر ماه در کرت‌هایی با پنج خط کاشت و با طول پنج متر انجام شد. در طول دوره رشد، علف های هرز موجود در کرت‌ها چندین بار با دست وجین شدند. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و هر هفت روز یک‌بار انجام شد. برداشت در تاریخ ۱۵ بهمن ماه هنگامی که رطوبت دانه‌ها به حدود ۲۰ درصد رسیده بود انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) نمونه‌برداری در ابتدای مرحله گلدهی به فاصله دو هفته یک‌بار از سه بوته در هر کرت آزمایشی انجام و جهت محاسبه آنها از روابط زیر استفاده گردید (Gardner *et al.*, 1985):

(۱) شاخص سطح برگ

$$LAI= [(LA2+ LA1)/ 2] \times 1/ GA$$

(۲) سرعت رشد محصول

$$CGR= 1/ GA \times [(W2- W1)/ (T2- T1)]$$

(۳) سرعت جذب خالص

$$NAR= CGR/LAI$$

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

در این تحقیق برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچتنتالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. محتوای پروتئین دانه با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. همچنین، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه گیری شدند. جهت محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS v. 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به

روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a تنها تحت تاثیر تیمار فاصله روی ردیف (در سطح احتمال یک درصد) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تیمار فاصله روی ردیف بر این صفت نشان داد که محتوای کلروفیل a در فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر برابر ۱۷۹/۳۴ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بوده و با کاهش فاصله روی ردیف، به‌طور معنی‌داری مقدار آن کاهش یافت (شکل ۱).

مطابق با این نتایج گزارش شده است که با افزایش تراکم میزان کلروفیل a در گیاه گشنیز کاهش یافت (Arvin and Firouzeh, 2019). کلروپلاست ساختار اصلی فتوسنتز است و از سویی فتوسنتز در ارتباط مستقیم با ساختار کلروپلاست می‌باشد. کاهش در تعداد کلروپلاست و گرانا منجر به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد زیرا رقابت در جذب نور که یک فاکتور اصلی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شود و یا رقابت در جذب عناصر غذایی از جمله منیزیم که عنصر اصلی و مرکزی در ساختمان مولکول کلروفیل به شمار می‌آید در تراکم‌های بالا بیشتر دیده می‌شود، از این رو به‌دلیل رقابت ایجاد شده سنتز مولکول کلروفیل در آنها تحت تاثیر قرار گرفته و کاهش می‌یابد و پیامد آن کاهش میزان فتوسنتز، میزان ماده‌سازی و رشد و نمو می‌باشد (Antonietta *et al*., 2014). نتایج نشان داد که محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تمامی اثرات ساده و متقابل مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۳). بر این اساس بیشترین مقادیر کلروفیل b و کلروفیل کل از فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر با فواصل روی ردیف ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر و همچنین از فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر با فواصل روی ردیف ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

در این تحقیق اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید ($P<0.001$) داشت (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین مقدار کاروتنوئید به‌ترتیب با میانگین‌های ۷۱/۲۹ و ۳۸/۹۹ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ متعلق به تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

گزارش شده است کاهش سطح برگ در اثر تراکم کاشت می‌تواند منجر به کاهش میزان کلروفیل در برگ گردد (Emadi *et al*., 2013). کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر افزایش بیش از حد تراکم باعث کاهش جذب نور، کاهش فتوسنتز، کاهش مواد پرورده و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد.

محتوای پروتئین

در این مطالعه محتوای پروتئین تحت تاثیر هیچ یک از تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول ۳). نحوه تغییرات این صفت در پاسخ به فواصل بین ردیف و روی ردیف مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است.

شاخص سطح برگ (LAI)

اثر تیمارهای فاصله بین ردیف‌ها و روی ردیف و همچنین اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۴۵) مربوط

به تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی داشت و کمترین شاخص سطح برگ نیز با میانگین ۲/۹۱ متعلق به تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر (۳/۰۲) نداشت (جدول ۶). همچنین، روند تغییرات رگرسیونی شاخص سطح برگ تحت تاثیر فواصل کاشت روی ردیف و بین ردیف نشان داد که افزایش فاصله روی ردیف در هر یک از فواصل بین ردیف مورد بررسی منجر به کاهش شاخص سطح برگ شده است که این روند کاهش در فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر با شیب بیشتری اتفاق افتاده است (شکل ۲). دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ در آرایش کاشت ۵×۳۰ می‌تواند بیشتر بودن تعداد گیاه در واحد سطح باشد. این نتایج با یافته‌های سایر محققین مطابقت داشت (Armin *et al*., 2008; Moradhajati and Shokuhfar, 2016; Bannayan *et al*., 2010; Kuhlase *et al*., 2009).

سرعت رشد محصول (CGR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار فاصله روی ردیف و اثر متقابل فواصل روی ردیف و بین ردیف در سطح احتمال یک درصد برای سرعت رشد محصول معنی‌دار گردید (جدول ۵). در این تحقیق افزایش مقدار فاصله روی ردیف در هر یک از فواصل بین ردیف کاشت منجر به کاهش معنی‌دار سرعت رشد محصول گردید به گونه‌ای که کمترین مقدار این شاخص در هر دو فاصله بین ردیف کاشت مربوط به فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود (جدول ۶). روند تغییرات رگرسیونی سرعت رشد محصول نیز مشابه با شاخص سطح برگ با افزایش فاصله روی ردیف در هر یک از فواصل بین ردیف ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر به صورت کاهشی بود (شکل ۳). مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده است که با افزایش تراکم در گیاه جو (Moradhajati and Shokuhfar, 2016) و آفتابگردان (Ghalandari *et al*., 2009) سرعت رشد محصول نیز افزایش یافت. افزایش سرعت رشد محصول در فواصل کاشت کمتر را می‌توان به دلیل افزایش تعداد گیاه در واحد سطح و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ دانست که در این تحقیق نیز با کاهش فاصله کاشت شاخص سطح برگ افزایش یافت.

سرعت جذب خالص (NAR)

اثر تیمارهای فاصله بین ردیف‌ها و روی ردیف و همچنین اثر متقابل آنها بر سرعت جذب خالص معنی‌دار گردید (جدول ۵). بیشترین سرعت جذب خالص (۳/۶۰ گرم بر مترمربع در درجه روز رشد) مربوط به تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی داشت و کمترین سرعت جذب خالص نیز با میانگین ۱/۹۰ گرم بر مترمربع در درجه روز رشد متعلق به تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی متر و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (۲/۱۵ گرم بر مترمربع در درجه روز رشد) نداشت (جدول ۶). در این تحقیق روند تغییرات سرعت جذب خالص در تراکم‌های مختلف کاشت با تغییرات محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی مشابه بود. به نظر می‌رسد در تراکم‌های بالای کاشت به‌دلیل افزایش سطح برگ و همچنین افزایش رقابت در جذب نور و مواد غذایی میزان سرعت جذب خالص کاهش یافته ولی در

تراکم‌های پایین‌تر که شاخص سطح برگ کم است برگ‌ها به‌طور کامل در معرض نور قرار داشتند بنابراین، سرعت جذب خالص آنها در حداکثر مقدار بود. نتایج مشابهی در تحقیقات اوزونی دوجی و همکاران (Ozoni Davaji *et al*., 2008) گزارش شده است. روند تغییرات رگرسیونی سرعت جذب خالص تحت تاثیر فواصل کاشت روی ردیف و بین ردیف در شکل ۴ نشان داده شده است.

ارتفاع بوته

طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار فاصله روی ردیف در سطح یک درصد برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین ارتفاع بوته (۹۱/۱۲ سانتی‌متر) از تیمار فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر حاصل شد که با تیمار فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). همچنین، کمترین ارتفاع بوته (۷۸/۰۵ سانتی‌متر) از تیمار فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. افزایش ارتفاع بوته به‌واسطه کاهش فاصله روی ردیف توسط شهسواری و همکاران (Shahsavary, 2012) در گیاه کرچک قرمز (*Ricinus communis* L.)، در گیاه نخود (Moazzamnia *et al*., 2011) و در گیاه زوفا (*Thymbra spicata* L.) توسط مالک ملکی و همکاران (Malek Maleki *et al*., 2018) گزارش شده است. در حالی‌که ارتفاع گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) با افزایش فاصله روی ردیف افزایش یافت (Panbekar *et al*., 2015). در اثر تراکم بالاتر، رقابت برای دست‌یابی به‌نور و مواد غذایی در بین بوته‌ها افزایش یافته و موجب طویل شدن ساقه می‌گردد (Malek Maleki *et al*., 2018). همچنین، نتایج مشابهی در تحقیقات مجنون حسینی و همکاران (Majnon Hosseini *et al*., 2003) گزارش شده است.

تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات ساده و متقابل مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد برای تعداد شاخه جانبی معنی‌دار گردید (جدول ۵). همان‌طورکه در جدول ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد شاخه جانبی مربوط به تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر نداشت، درحالی‌که تفاوت بین آرایش‌های کاشت مذکور با سایر آرایش‌های کاشت بررسی شده معنی‌دار بود. در هر دو فاصله بین ردیف ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر با افزایش فاصله روی ردیف تعداد شاخه جانبی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶). این نتایج با یافته‌های پژوهشگران دیگر که گزارش کردند در فواصل زیادتر بوته روی ردیف، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته افزایش می‌یابد مطابقت می‌کند (Al-Ramamneh, 2009; Taheri *et al*., 2013; Naghdi Badi *et al*., 2004). با افزایش فاصله روی ردیف (کاهش تراکم) در اثر فضای بیشتری که در اختیار بوته‌ها قرار می‌گیرد، تعداد انشعابات در گیاه افزایش می‌یابد. سایر محققین نیز گزارش نمودند با افزایش تراکم به دلیل کاهش کانوپی گیاه، فعالیت جوانه‌های تشکیل دهنده شاخه کاهش می‌یابد (Majnon Hosseini *et al*., 2003; Moazzamnia *et al*., 2011).

وزن هزار دانه

صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات ساده و متقابل قرار گرفت (جدول ۵). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین

و کمترین میانگین وزن هزار دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۴/۰۱۶ و ۲/۰۴۶ گرم مربوط به تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تیمار فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود (جدول ۶). عدم کفایت مواد فتوسنتزی در دوره پر شدن دانه در تراکم‌های بالا ممکن است دلیلی بر کاهش وزن هزار دانه باشد (Panbekar *et al*., 2015). در تراکم پایین، رقابت درون گونه‌ای کاهش و مواد فتوسنتزی بیشتری به هر دانه در گیاه اختصاص یافته و اثر خود را با افزایش وزن هزار دانه نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج تحقیقات سایر محققان مبنی بر افزایش وزن هزار دانه با کاهش تراکم مطابقت دارد (Torabi Jefrodi *et al*., 2005; Moazzamnia *et al*., 2011; Hayat *et al*., 2003).

عملکرد دانه

این صفت به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر تیمارهای فاصله بین ردیف و فاصله روی ردیف و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین آرایش‌های کاشت مختلف نشان داد که کمترین عملکرد دانه (۲۲۵/۷۶ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود و کاهش فاصله روی ردیف کاشت تا ۱۰ سانتی‌متر منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید (جدول ۶). این در حالی بود که در فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر، بین فواصل روی ردیف مختلف از لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و بیشترین مقدار آن نیز از فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با میانگین ۳۸۶/۳۶ گرم در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۶). شباهنگ و همکاران (Shabahang *et al*., 2010) گزارش کردند که افزایش فاصله روی ردیف از ۲۰ به ۴۰ سانتی‌متر باعث کاهش عملکرد دانه کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) شد. نتایج این آزمایش با نتایج سایر محققان مبنی بر کاهش عملکرد دانه به‌واسطه افزایش فاصله روی ردیف مطابقت دارد (Kashiri *et al*., 2007; Siadat *et al*., 2012). همچنین ترابی جفرودی و همکاران (Torabi Jefrodi *et al*., 2005) با انجام آزمایشی روی لوبیا اعلام کردند که با کاهش فواصل بین ردیف به دلیل نزدیک‌تر شدن به کشت مربعی، رقابت بین بوته‌ها جهت دسترسی به نور، مواد غذایی و رطوبت کاهش یافته و فضای مناسب جهت رشد بیشتر بوته‌ها فراهم شده و در اثر آن عملکرد افزایش می‌یابد. محققین دیگر نیز بر این عقیده‌اند که از لحاظ نظری انتخاب الگوی کشت مربعی سبب استفاده بهتر از منابع تولید و تاخیر در زمان آغاز رقابت درون گونه‌ای خواهد گردید و عملکرد افزایش خواهد یافت (Yazdi Samadi and Postini, 1994).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در میان تیمارهای مورد بررسی، فاصله بین ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر برای دست‌یابی به بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح و همچنین وزن هزار دانه بیشتر، برای کاشت کینوا در شرایط مشابه با شرایط این پژوهش می‌تواند مد نظر قرار بگیرد.

جدول ۱- تغییرات دما و بارندگی طی دوره آزمایش در سال ۱۳۹۸

Table 1- A synopsis of temperature and precipitation in 2019

ماه Month		دمای هوا (درجه سلسیوس) Air temperature (°C)		بارندگی Rainfall (mm)
		بیشینه دما Maximum temperature	کمینه دما Minimum temperature	
Oct	مهر	36.7	20	0.7
Nov	آبان	28.4	12.5	51.1
Dec	آذر	22	8	39.9
Jan	دی	18.8	5.3	92.4
Feb	بهمن	20.9	5.8	24.2

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

Table 2- Soil physic-chemical properties of experimental field

مشخصات خاک	Soil properties	عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر 0 to 30 cm depth
بافت خاک	Soil texture	Sandy-Loam
فسفر (قسمت در میلیون)	Phosphorus (ppm)	13.2
پتاسیم (قسمت در میلیون)	Potassium (ppm)	198.5
نیتروژن کل (درصد)	Total nitrogen (%)	0.04
کربن آلی (درصد)	Organic carbon (%)	0.21
کربنات کلسیم (درصد)	$CaCO_3$ (%)	17.5
پی اچ	pH	7.9
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	EC ($ds.m^{-1}$)	2.1

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات آگروفیزیولوژیک در گیاه کینوا

Table 3- Results of analysis variance for agro-physiological traits in quinoa

منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	محتوای پروتئین protein content
Block	بلوک	2	162.71	32.566	372.09	1.043	1.4882
Inter-row space	فاصله بین ردیف	1	493.49ns	370.127**	2090.85**	38.456*	0.1600 ns
Intra-row space	فاصله روی ردیف	3	2998.9**	3194.5**	13340.6**	853.81**	0.0326 ns
Interaction	اثر متقابل	3	471.64ns	392.817**	1769.29**	136.73**	0.0694 ns
Error	خطا	14	168.61	21.969	183.81	4.84	2.7826
C.V.	ضریب تغییرات (٪)	-	8.07	3.97	4.79	3.72	7.92

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.

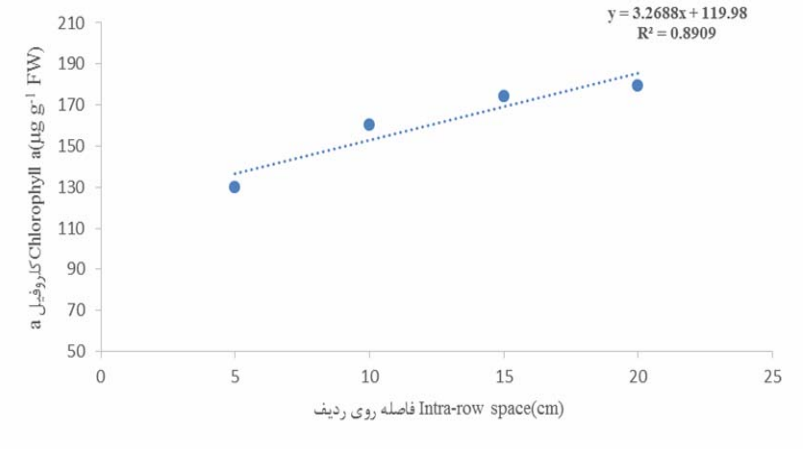
جدول ۴- اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه کینوا

Table 4- The interaction of experimental treatments on photosynthetic pigment in quinoa

فاصله بین ردیف Inter-row space	فاصله روی ردیف Intra-row space	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($\mu g.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئید Carotenoid ($\mu g.g^{-1}$ FW)	محتوای پروتئین protein content ($mg.g^{-1}$ FW)
30 cm	5 cm	78.45d	201.87c	38.99e	21.13a
	10 cm	102.97b	247.89b	50.86c	21.02a
	15 cm	138.06a	318.31a	71.29a	21.28a
	20 cm	136.75a	325.17a	69.89a	21.06a
50 cm	5 cm	93.14c	233.03b	46.32d	20.83a
	10 cm	130.50a	309.48a	64.50b	21.16a
	15 cm	132.31a	310.89a	65.35b	20.95a
	20 cm	131.70a	314.51a	64.99b	20.89a

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan's test.



شکل ۱- پاسخ محتوای کلروفیل a به تغییرات فاصله کاشت روی ردیف

Figure 1- Response of chlorophyll a content to changes in intra-row space

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات آگروفیزیولوژیک در گیاه کینوا

Table 5- Results of analysis variance for agro-physiological traits in quinoa

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	سرعت جذب خالص NAR	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of branches	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield
بلوک Block	2	0.0645^{ns}	0.7807^{ns}	0.164^{ns}	64.170^{ns}	0.0305^{ns}	0.0943^{ns}	18.806^{ns}
فاصله بین ردیف Inter-row space	1	2.0533^{**}	1.3254^{ns}	2.041^{**}	145.87^{ns}	22.214^{**}	0.8626^{**}	28208^{**}
فاصله روی ردیف Intra-row space	3	1.2350^{**}	11.392^{**}	0.324^{*}	183.18^{**}	70.286^{**}	3.8342^{**}	3992.1^{**}
اثر متقابل Interaction	3	0.2825^{**}	1.945^{**}	0.709^{**}	8.692^{ns}	9.7177^{**}	0.6204^{**}	7713.7^{**}
خطا Error	14	0.0198	0.4196	0.0668	32.776	0.2399	0.0372	197.37
ضریب تغییرات (٪) C.V.		3.67	6.70	10.06	6.83	2.73	5.80	4.11

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.

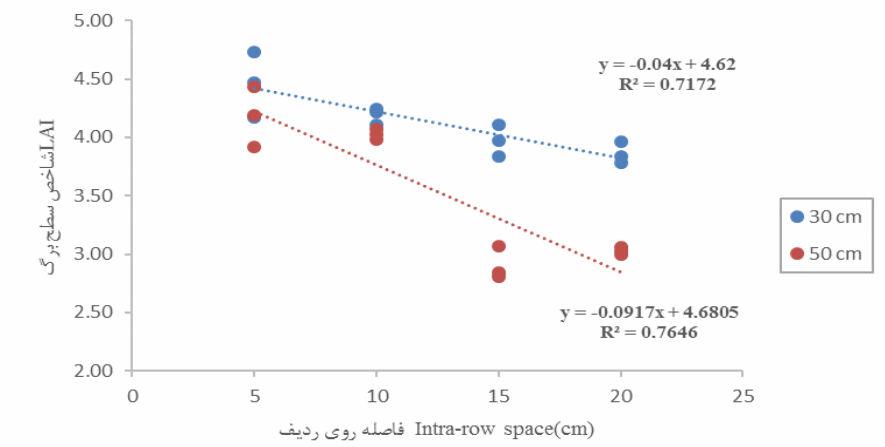
جدول ۶- اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر صفات آگروفیزیولوژیک در گیاه کینوا

Table 6- The interaction of experimental treatments on agro-physiological traits in quinoa

فاصله بین ردیف Inter-row space	فاصله روی ردیف Intra-row space	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	سرعت جذب خالص NAR ($g.m^{-2}.gdd^{-1}$)	تعداد شاخه جانبی Number of branches	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)
30 cm	5 cm	4.45a	11.18a	1.90d	11.55e	2.046c	363.24ab
	10 cm	4.19b	10.64a	2.15cd	14.85d	2.563b	369.18ab
	15 cm	3.97bc	8.53b	2.51bc	20.13b	3.903a	383.14a
	20 cm	3.86c	7.34c	2.54bc	21.34a	4.016a	386.36a
50 cm	5 cm	4.18b	10.68a	2.57bc	15.51d	2.430b	352.12b
	10 cm	4.02bc	10.23a	2.54bc	19.14c	3.850a	357.01b
	15 cm	2.91d	10.41a	2.73b	19.91bc	3.796a	292.77c
	20 cm	3.02d	8.26b	3.60a	21.01a	3.970a	225.76d

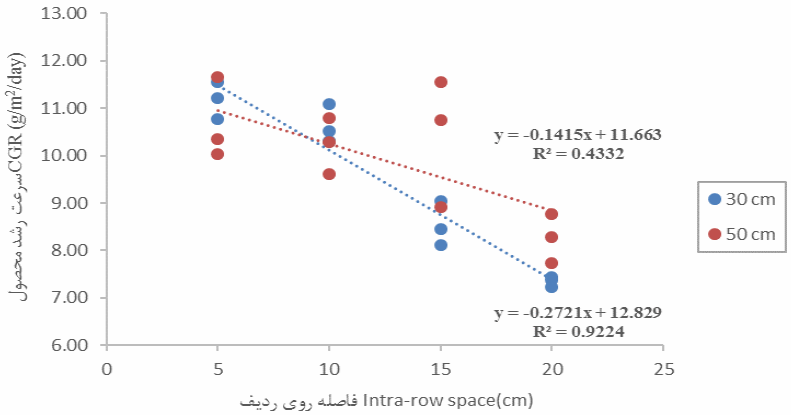
میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan's test.



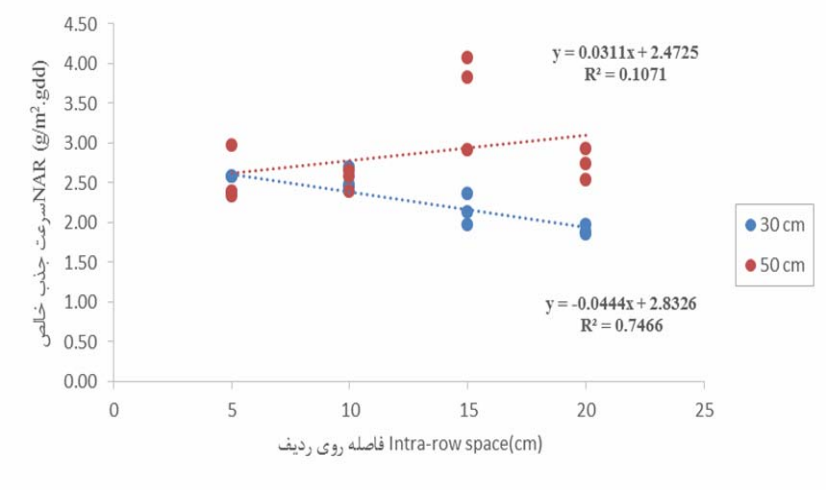
شکل ۲- پاسخ شاخص سطح برگ به تغییرات فاصله کاشت روی ردیف و بین ردیف

Figure 2- Response of LAI to changes in intra-row and inter row spaces



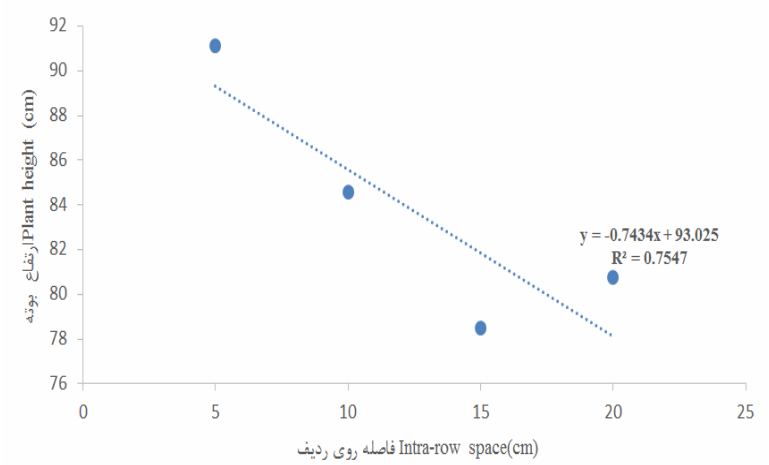
شکل ۳- پاسخ سرعت رشد محصول به تغییرات فاصله کاشت روی ردیف و بین ردیف

Figure 3- Response of CGR to changes in intra-row and inter row spaces



شکل ۴- پاسخ سرعت جذب خالص به تغییرات فاصله کاشت روی ردیف و بین ردیف

Figure 4- Response of NAR to changes in intra-row and inter row spaces



شکل ۵- پاسخ ارتفاع بوته به تغییرات فاصله کاشت روی ردیف

Figure 5- Response of plant height to changes in intra-row space

References منابع مورد استفاده

- Al-Ramamneh, E.D. 2009. Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crop and Products*. 30: 389-394.
- Antonietta, M., D.D. Fanello, H.A. Acciaresi, and J.J. Guiamet. 2014. Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Research*. 155: 111-119.
- Armin, M., Gh. Nour-mohamadi, E. Zand, M. Baghestani, and F. Darvish. 2008. Study on some ecophysiological difference in more and less competitive winter wheat cultivars on competition with wild oat at different wheat densities. *Journal of Pajouhesh Sazandegi*. 80: 119-127. (In Persian).
- Arvin, P., and R. Firouzeh. 2019. Study of plant density and gibberellin on some morphological and physiological traits and essential oil content of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant*. 34(6): 888-908. (In Persian).
- Bannayan, M., M. Rahmati, A. Ghani, and H. Ghavidel. 2010. Quantitative analysis of growth and production of two local and commercial cultivars of radish (*Rhaphanus sativus* L.) in response to different levels of planting density. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 8(6): 1002-1011. (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.
- 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.
- Emadi, N., S. Jahanbin, and H.R. Balouchi. 2013. Effect of drought stress and plant density on yield and some physiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Yasouj region. *Journal of Crop Production and Processing*. 3(8): 25-36. (In Persian).
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Ghalandari, R., F. Rhimzadeh Khoei, M. Toorchi, and B. Behtari. 2009. Effect of plant density on growth and yield of three sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) as a second crop. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 2(20): 27-40. (In Persian).
- Hayat, F., M. Arif, and K.M. Kakar. 2003. Effects of seed rates on mung bean varieties under dry land conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*. 5(1): 160- 161.
- Jacobsen, S.E. 2003. The world wide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*. 19: 167-177.

- James, L.E.A. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*. 58 (1): 1-31.
- Kashiri, H., M. Kashiri, E. Zeynali, and M. Bagheri. 2007. Investigating effects of row-spacing and plant density on yield and yield components of three soybean cultivars in summer cultivation. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 13: 147-156. (In Persian).
- 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. *Iranian Journal of Soil Research*. 33(2): 155-166. (In Persian).
- Kuhlase, L.M., E.M. Ossom, and R.L. Rhykerd. 2009. Effects of plant populations on morphological and physiological parameters of intercropped sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Academic Journal of Plant Sciences*. 2(1): 16-24.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymolgy*. 148: 350-382.
- Majnoon Hosseini, N., H. Mohammadi, K. Postini, and H. Zeinali. 2003. Effect of plant density on yield, chlorophyll content and remobilization of stems of pea cultivars. *Journal of Agricultural Science*. 4: 1011-1019. (In Persian).
- MalekMaleki, F., N. Abbasi, E. Sharifi Ashoorabadi, M. Barari, and M.J. Zare. 2018. Effects of row distance on yield of two ecotypes of *Thymbra spicata* L. under field growing conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 34(1): 62-76. (In Persian).
- Martin, R.J., and B. Deo. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 28(1): 37-44.
- Moazzamnia, A., A. Nasrollah Zadeh Asl, and A.R. Eivazi. 2011. The effect of the distance between and on the planting rows on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L. CV, Ghazvin) in west Azerbaijan. *Journal of Research in Crop Sciences*. 4(13): 29-39. (In Persian).
- Moradhajati, P., and A. Shokuhfar. 2016. Growth analysis, yield and yield components of three barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) under different seeding rates. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(2): 461-476. (In Persian).
- Naghdi Badi, H., D. Yazdani, S. Mohammad Ali, and F. Nazari. 2004. Effect of spacing and harvesting time on herbage yield and quality/quantity of oil in *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Product*. 19: 231-236.
- Nour-Mohamadi, Gh., A. Siadat, and A. Kashani. 2013. Agronomy; cereal crops. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Persian).
- Ozoni Davaji, A., M. Esfahani, H. Sami Zadeh, and M. Rabiei. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of

apetalous flowres and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 9 (4): 382-400. (In Persian).

- Panbekar, N.A., S. Dastan, R. Yadi, and A. Shahidifar. 2015. Effect of nitrogen splitting and planting row space on yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.) barkat cultivar. *Journal of Crop Production Research*. 6(4): 341-354. (In Persian).
- Seyfati, S.E., S.S. Ramazanpour, H. Soltanlo, M. Salehi, and N.A. Sepahvand. 2015. Study on some morphophenological traits related to yield and early maturity in quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa*, Wild.). *Journal of Crop Production.* 8(2): 153-169. (In Persian).
- Shabahang, J., S. Khorramdel, G.A. Asadi, E. Mirabi, and H. Nemati. 2010. The effects of intra and inter-row spaces and planting pattern on the yield components, seed and oil yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Agroecology.* 2(3): 417-427. (In Persian).
- Shahsavary, M.R. 2012. Effect of inter and intra row spacing on some agronomic traits of red castor (*Ricinus communis* L.). *Seed and Plant Production.* 28(2): 145-155. (In Persian).
- Siadat, S.A., S. Bahrami, H. Pourhadian, and A. Moshatati. 2012. Effects of intra row space on yield and yield components of soybean cultivars in summer cultivation in Khormabad. *Crop Physiology*. 4(15): 5-15. (In Persian).
- Taheri, R., M.H. Lebaschi, R. Zakerin, M. Bakhtiari Ramezani, A. Borjian, and M. Makkizadeh Tafti. 2013. Effects of plant densities on quantitative and qualitative characteristics of four Thymus species under dry farming condition of Damavand. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 29(3): 709-713. (In Persian).
- Torabi Jefrodi, A., A. Fayaz Moghaddam, and A. Hassanzadeh ghoort tapeh. 2005. Effect of planting pattern and plant density on yield, yield components and growth characteristics of red bean varieties. *Journal of Agricultural Science.* 36: 639- 646. (In Persian).
- Valadabadi, S.A.R., M. Alimohammadi, B. Aref, and J. Daneshian. 2011. Effects of levels of nitrogen and plant density on oil yield and its components of castor (*Ricinus communis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology.* 2(4): 312-318. (In Persian).
- Yazdi Samadi, B., and K. Postini. 1994. Principles of crop production. Tehran University Press. (In Persian)
- Zeinali, E., A. Soltani, M. Khadempir, M. Tourani, and F. Sheikh. 2014. Studying the response of yield components, grain and green pod yield of two faba bean cultivars to inter- row spacing in normal and late seeding dates. *Journal of Crop Improvement*. 15(4): 195-210. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2022.689808

Evaluation of Yield and Yield Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in as affected by Different Planting Densities

Mohammad-Reza Vahedi[1], Enayatolah Tohidi Nejad[2*] and Amin Pasandi Pour[3]

Received: May 2020 , Revised: 12 September 2020, Accepted: 27 October 2020

Abstract

To investigate the effect of different planting densities on yield and yield components of quinoa (Titicaca cultivar), a factorial experiment based on complete randomized block design was studied at the Research Farm of the Agricultural and Natural Resources Research and Training Center of Kerman province in 2018-2019. Two inter-row space (30 and 50 cm) considered as the first factor and four intra-row space including 5, 10, 15 and 20 cm as the second factor. Increasing the intra-row and inter-row spacing resulted in significant reduction in CGR. Thus, the lowest value of this index, at both intra-row spacing attributed to 20 cm the inter-row spacing. The lowest grain yield (225.76 $g.m^{-2}$) was related to the treatment of 50 cm inter-row and 20 cm intra-row spacings, Reduction intra-row spacing up to 10 cm resulted in a significant increase in seed yield. However, at in the inter-row spacing of 30 cm, there was no significant difference between the intra-row spacings in seed yield. The highest seed yield value was obtained from the intra- row spacing of 20 cm, with an average of 386.36 $g.m^{-2}$. In general, the inter-row spacing of 30 cm and intra-row spacing of 15 and 20 cm resulted in highest seed yield and 1000 seed weight of quinoa in this research.

Key words: Crop growth rate, Inter-row space, Intra-row space, Leaf area index.

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