Plant Prod., 2026, 49(3), 447-463
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49372.2267
Received: 24 April 2025
Accepted: 04 October 2025

Plant Productions

Research Article

Response of growth, yield and absorption of some nutrients in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars to different levels of plant density and photosynthetic source limitation

Hassan Sharifat[1], Mohammad Reza Moradi Telavat[1], Ahmad Koochekzadeh*[1], Ali Moshatati[1], Hana Aboodeh[1]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

Citation: Sharifat, H., Moradi Telavat, M.R., Koochekzadeh, A., Moshatati, A., & Aboodeh, M. (2026). Response of growth, yield and absorption of some nutrients in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars to different levels of plant density and photosynthetic source limitation. *Plant Productions*, 49(3), 447-463.

Abstract

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an annual plant of the family Amaranthaceae. The crop is of interest for growing in environments that experience drought and saline soils. Quinoa has considerable genetic diversity and is able to grow in a variety of environments and with water of poor quality. In addition to its favorable agronomic characteristics, quinoa is also of high nutritional value. The harvested part of the plant is the seed, which contains about 14–20% protein and all the required amino acids, especially lysine and methionine, that are often in short supply in cereals.

Materials and Methods

To investigate the response of yield, grain yield components, morphological and qualitative characteristics of quinoa cultivars to different levels of plant density and photosynthetic sources limitation under the climatic conditions of Ahvaz, a field experiment was conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design with four replications during the fall and winter of the 2023-2024 cropping season at the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. The experimental factors included three levels of plant density (30, 50 and 70 plant.m^{-2}), four levels of defoliation at the beginning of the flowering stage (1. control (no leaf removal), 2. removal of one-third of the lower leaves of the plant, 3. removal of one-third of the middle leaves of the plant and 4. removal of one-third of the upper leaves of the plant), and quinoa cultivars (including Rahmat and Sadooq).

Results and Discussion

* **Corresponding Author:** Ahmad Koochekzadeh
E-mail: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Plant density significantly affected plant height, the number of branches per plant, grain yield, biological yield, plant nitrogen content, grain nitrogen content, and soil nitrogen uptake. Defoliation also had a significant effect on thousand-grain weight. The highest thousand-grain weights were recorded in the non-defoliated control and the treatment involving the removal of leaves from the lower third of the plant, with values of 2.983 and 2.702 g, respectively. In contrast, defoliation of the upper third of the plant resulted in the lowest thousand-grain weight (2.567 g). The highest numbers of grains per panicle (1428 and 1416) were obtained at plant densities of 30 and 50 plants m^{-2}, respectively, under the non-defoliated control treatment. Conversely, the lowest numbers of grains per panicle (1211 and 1228) were recorded at plant densities of 30 and 70 plants m^{-2}, respectively, when the upper third of the leaves was removed. Overall, the highest grain yields were obtained at a plant density of 70 plants m^{-2} under the non-defoliated control and lower-third defoliation treatments, yielding 6333 and 5771 kg ha^{-1}, respectively. The lowest grain yield (1451 kg ha^{-1}) was observed at a plant density of 30 plants m^{-2} when the upper third of the leaves was removed.

Conclusion

Increasing plant density to 70 plants. m^{-2}, within the range of acceptable competition for environmental resources, can increase quinoa grain yield. Planting at lower densities could lead to inefficient use of space, light, water and nutrients with resulting decreased crop growth and lower yields than could be obtained at higher densities. The amount of defoliation at flowering also affected grain yield. Removing the lower third of leaves on plants slightly reduced grain yield. However, removing the upper third of leaves on plants greatly reduced grain yield more than the middle or lower third of leaves. This finding reveals that maintenance of the upper canopy is important during reproductive growth to support high levels of photosynthesis and assimilate production. Increased plant density and retention of upper leaves can enhance quinoa grain yield under the conditions examined. Therefore, optimizing plant density and minimizing the removal of photosynthetically active leaves are important considerations for enhancing quinoa productivity.

Keywords: Biomass, Defoliation, Nitrogen, Photosynthesis rate

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۳)، ٤٤۷-٤٦۳
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49372.2267
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

واکنش رشد، عملکرد و جذب برخی عناصر غذایی در ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به سطوح متفاوت تراکم بوته و محدودیت مبدأ فتوسنتزی

حسن شریفات[۱]، محمدرضا مرادی تلاوت[۱]، احمد کوچک زاده*[۱]، علی مشتطی[۱]، هنا عبوده[۱]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

چکیده

کینوا، به‌عنوان گیاهی با کاربرد خوراکی (تولید دانه)، در سال‌های اخیر مورد استقبال جهانی قرار گرفته است. سطح زیر کشت این گیاه در حال گسترش است. با وجود این روند، دانش فیزیولوژیک و رشدی این گیاه هنوز کامل نمی‌باشد. عملکرد دانه کینوا که ارزش اقتصادی آن را تعیین می‌نماید، تحت تأثیر روابط مبدأ-مقصد فتوسنتزی قرار دارد. این روابط در غلات مانند گندم، ذرت، جو و برنج به‌خوبی و تا حدود زیادی شناخته شده اند، اما در گیاهان تقریباً نوظهور مانند کینوا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. هدف از اجرای این آزمایش شناخت روابط مبدأ و مقصد فتوسنتزی ارقام کینوا تحت تأثیر تراکم بوته در واحد سطح زمین است. یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در پاییز و زمستان سال زراعی ۱٤۰۳-۱٤۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۵۰ و ۷۰ بوته در مترمربع)، چهار سطح حذف برگ به عنوان محدودیت مبدأ در آغاز مرحله گل‌دهی (۱. شاهد (بدون حذف برگ)، ۲. حذف یک‌سوم برگ‌های پایینی بوته، ۳. حذف یک‌سوم برگ‌های وسط بوته و ٤. حذف یک‌سوم برگ‌های بالای بوته)، و ارقام کینوا (شامل رحمت و صدوق) بود. براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تراکم بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خوشه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، درصد نیتروژن کل بوته، درصد نیتروژن دانه و برداشت نیتروژن از خاک معنی‌دار بود. همچنین اثر حذف برگ بر وزن هزاردانه و نیز اثر برهمکنش تراکم و حذف برگ بر تعداد دانه در خوشه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. تیمارهای شاهد (بدون حذف برگ) و حذف برگ یک‌سوم پایینی با مقدار (به ترتیب ۲/۹۸۳۲ و ۲/۷۰۲۱ گرم)، بیشترین و حذف برگ یک‌سوم بالایی با مقدار (۲/۵٦۷۰ گرم)، کمترین وزن هزاردانه را داشتند. مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد خوشه در بوته (٤/۵) در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع بدست آمد. کمترین آن نیز (به ترتیب ۳/٤ و ۳/۸) در تراکم‌های ۷۰ و ۵۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. بیشترین تعداد دانه در خوشه (به ترتیب ۱٤۲۸ و ۱٤۱٦) در تراکم‌های ۳۰ و ۵۰ بوته در متر مربع و شرایط تیمار شاهد (بدون حذف برگ) مشاهده شد. اما

نویسنده مسئول: احمد کوچک زاده
رایانامه: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

حذف برگ‌های بالایی باعث شد کمترین تعداد دانه در خوشه (به ترتیب ۱۲۱۱ و ۱۲۲۸) به تیمارهای تراکم ۳۰ و ۷۰ بوته در متر مربع و حذف برگ یک‌سوم بالایی تعلق گیرد. به‌طور کلی، بیشترین عملکرد دانه با میانگین (به ترتیب ۶۳۳۳ و ۵۷۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای تراکم ۷۰ بوته در متر مربع و شاهد (بدون حذف برگ) و همچنین تراکم ۷۰ بوته در مترمربع و حذف برگ یک‌سوم پایینی مشاهده شدشد.

کلیدواژه‌ها: زیست توده، حذف برگ، سرعت فتوسنتز، نیتروژن

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی یکساله از تیرهٔ تاج‌خروس (Amaranthaceae) و با خاستگاه آمریکای لاتین است. این گیاه با ارزش غذایی بالا، تحمل زیادی در برابر طیف گسترده از تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و سرما دارد و قابلیت رشد در زمین‌های حاشیه‌ای را دارد (Präger *et al.*, 2018). کینوا به دلیل تحمل نسبتاً بالا به تنش‌های خشکی و شوری، تنوع ژنتیکی بالا و تطابق پذیری به اقلیم‌های مختلف می‌تواند گیاه مناسبی برای استفاده از منابع آب محدود و خاک‌های شور باشد (Adolf *et al.*, 2013). از نظر ارزش غذایی نیز دانهٔ کینوا که محصول اصلی این گیاه است، حاوی آهن، فسفر، منیزیم، پروتئین، فیبر و ویتامین B_2 بوده و بین ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین دارد. این محصول سرشار از اسیدهای آمینهٔ ضروری مانند لایسین و متیونین است که در بیشتر گیاهان غله‌ای، به‌میزان کمی وجود دارند (Iqbal *et al.*, 2019; Hajizadeh *et al.*, 2022).

سطح زیر کشت جهانی این گیاه از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۱۶۶ هزار هکتار در سال ۲۰۲۳ رسیده است. کشورهای بولیوی، پرو و اکوادور در قاره آمریکای جنوبی به‌ترتیب مهم‌ترین کشورهای تولید کننده این محصول به‌شمار می‌روند. در سال ۲۰۲۳، تولید جهانی کینوا حدود ۱۱۲ هزار تن برآورد شده است که نشان می‌دهد میانگین جهانی عملکرد در واحد سطح، کمتر از یک تن در هکتار (حدود ۶۷۷ کیلوگرم در هکتار) بوده است (FAO, 2023). این موضوع می‌تواند به دلیل کشت سنتی و دیم در مناطق عمدهٔ کشت این گیاه باشد. در حالی که در مطالعات دیگر در کشت‌های تحت آبیاری، عملکردهای بالاتر از ۳ تا ۴ تن در هکتار نیز گزارش شده است (Saeidi *et al.*, 2019).

تراکم مناسب کاشت در واحد سطح مزرعه، نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد نهایی هر رقم دارد و بسته به نوع گیاه، رقم، حاصلخیزی خاک و شرایط اقلیمی هر منطقه متفاوت است. در ایالات متحده آمریکا، تراکم توصیه شده برای ارقام تجاری کینوا، ۱۵۰ هزار بوته در هکتار است (Jacobsen, 2011). در شیلی ۲۴۰ هزار بوته در هکتار و در آرژانتین ۳۳۰ هزار بوته در هکتار توصیه شده است (Bertero and Ruiz, 2008). در یک پژوهش، با افزایش تراکم کاشت از ۷۰ هزار تا ۴۶۰ هزار بوته در هکتار، عملکرد دانهٔ کینوا از ۵۳۸۹ کیلوگرم در هکتار به ۳۰۴۹ کیلوگرم در هکتار کاهش نشان داد (Erazzú *et al.*, 2016). در آزمایشی در برزیل با افزایش تراکم کاشت کینوا از ۱۰۰ هزار تا ۳۰۰ هزار بوته در هکتار، ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدگی کاهش یافت، اما عملکرد دانه و تعداد دانه در خوشه، مادهٔ خشک کل، شاخص برداشت و وزن هزاردانه تحت تأثیر تراکم کاشت قرار نگرفتند که علت آن، ناشی از ظرفیت بالای کینوا در تولید شاخه‌های فرعی بیان شده است (Spehar and Rocha, 2009).

در اغلب گیاهان زراعی برگ‌های بالغ گیاه به‌عنوان مبدأ فتوسنتزی و سایر اندام‌های در حال نمو به خصوص اندام‌های تشکیل‌دهنده عملکرد اقتصادی (مانند دانه‌ها در گیاهان دانه‌ای)، مقصد فتوسنتزی نامیده می‌شوند. از یک‌طرف حرکت مواد فتوسنتزی از مبدأ به‌محل مصرف مبتنی بر ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی (مبدأ) و از طرف دیگر ظرفیت مصرف مواد فتوسنتزی است که در صورت عدم تعادل بین این دو، عملکرد کاهش می‌یابد

(Andrew and Walker, 1994). موازنهٔ صحیح بین مبدأ و مقصد فیزیولوژیک عامل مهم دست‌یابی به عملکرد مطلوب است. برای این کار شناخت محدودیت مبدأ یا مقصد فتوسنتزی از طریق طراحی آزمایش‌های مزرعه‌ای ضروری است. با این هدف، از طرق دستکاری در مبدأ و مقصد می‌توان به شناخت این محدودیت‌ها پرداخت. بر این اساس، یکی از معمول‌ترین روش‌ها، تیمارهای حذف برگ در آغاز مراحل گل‌دهی است. این کار در سطوح مختلفی انجام می‌شود. در این آزمایش‌ها چنانچه در اثر حذف برگ، تفاوت قابل‌توجهی در عملکرد دانه روی ندهد، نشان‌دهنده محدودیت در مقاصد فتوسنتزی (میوه‌ها و دانه‌ها) است. در زمینه اثر حذف برگ با هدف بررسی محدودیت مبدأ و مقصد فتوسنتزی پژوهش‌های متعددی در گیاهان زراعی نظیر گندم، آفتابگردان و کلزا انجام شده است (Joudi *et al.*, 2006; Afshari Behbahani Zadeh *et al.*, 2012; Mozafari *et al.*, 2010). در این راستا تعدادی از محققان گزارش کردند که اثر حذف برگ بر عملکرد دانه بسته به زمان، شدت و نحوه اعمال تیمارها متفاوت است (Zhu *et al.*, 2004). این اثر ممکن است از طریق تغییر در الگوی تبادلات گازی، تخصیص مواد فتوسنتزی و یا تغییر در الگوی نمو دانه و در نتیجه تفاوت وزن دانه بروز کند (Joudi *et al.*, 2006).

در مطالعه‌ای بر آفتابگردان به این نتیجه رسیدند که؛ برگ‌های یک‌سوم تحتانی ساقه نسبت به برگ‌های فوقانی و میانی از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشند. این موضوع در حالی است که برگ‌های بالایی ۶۰ تا ۸۰ درصد سطح فتوسنتزی گیاه را به خود اختصاص می‌دهند، بیشترین تأثیر را بر عملکرد آفتابگردان دارند (Abdi *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد که مرحله قبل از گلدهی حساس‌ترین مرحله رشدی به اثرات حذف برگ در آفتابکردان است. در این مرحله حذف صد در صد برگ‌ها سبب کاهش ۹۲ درصدی عملکرد گردیده است (Muro *et al.*, 2001).

انتخاب تراکم کاشت و رقم مناسب نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد گیاه ایفا می‌نمایند. همچنین واکنش گیاه در صورت مقابله با تنش، مانند سطوح مختلف حذف برگ (تنش غیر متعارف)، و تأثیر آن بر عملکرد که در این پژوهش انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در پاییز و زمستان سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه و ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه با ارتفاع حدود ۲۰ متر از سطح دریا، در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز اجرا شد. برخی پارامترهای آب و هوایی ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت نیشکر دهخدا واقع در شمال شهرستان اهواز، در ۲۳ کیلومتری منطقه ملاثانی طی دوره رشد گیاه در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در جدول (۱) ارائه شده است. فاکتورهای آزمایشی شامل تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۵۰، ۷۰ بوته در متر مربع)، چهار سطح حذف برگ یا مبدأ در آغاز مرحله گل‌دهی (۱. شاهد (بدون حذف برگ)، ۲. حذف یک‌سوم برگ‌های پایینی بوته، ۳. حذف یک‌سوم برگ‌های وسط بوته و ۴. حذف یک‌سوم برگ‌های بالای بوته) و دو رقم کینوا (رحمت و صدوق) بود (Nabipour *et al.*, 2021; Mozafari *et al.*, 2010). حذف برگ‌های بوته‌ها در مرحله گل‌دهی به‌صورت حذف یک‌سوم برگ‌های پایین، حذف یک‌سوم برگ‌های وسط و حذف یک‌سوم برگ‌های بالایی بوته انجام شد. کلیه نمونه برداری‌ها با رعایت اثر حاشیه از وسط کرت‌ها صورت گرفت. کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل هر کدام به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار طبق

آزمون خاک و قبل از کاشت به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط شد (جدول ۲). مابقی کود نیتروژن در مرحله ۴ تا ۶ برگی و یک‌سوم در مرحله گل‌دهی به خاک داده شد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به‌طول ۳ متر و ۵۰ سانتی‌متر عرض بین ردیف‌ها و ۵۰ سانتی‌متر فواصل بین کرت‌های مجار بود. کشت بر روی داغ آب هر دو طرف پشته در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متری خاک انجام شد. برای پوشاندن بذرها از ماسه و کود پوسیده استفاده شد، سپس آبیاری که به‌عنوان تاریخ کاشت، در (۳۰ مهر) ثبت شد. کلیه عملیات داشت شامل آبیاری، تنک‌کردن (در مرحله ۴ برگی) و وجین علف‌های هرز برای تمام کرت‌ها به‌طور یکنواخت انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۱۵ اسفندماه)، ۵ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد (تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه) مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور تعیین وزن هزاردانه، دو نمونه تصادفی ۵۰۰ تایی پس از بوجاری نمودن دانه‌ها جدا و توزین شد.

با هدف تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیست توده برداشت نهایی از دو خط وسط و پس (۲۵ اسفندماه)، از دو خط وسط و پس از حذف حاشیه ۰/۵ متر از بالا و پایین به‌مساحت یک‌مترمربع به‌صورت دستی از کف زمین صورت گرفت و به‌محل اندازه‌گیری منتقل و بلافاصله وزن شد. سپس به‌طور تصادفی از بین تمام بوته‌های برداشت شده ۵ بوته برای بررسی رطوبت انتخاب شد و عملکرد زیست توده (وزن کل ماده خشک) محاسبه شد. جهت محاسبه عملکرد دانه، بوجاری و توزین نمونه‌های مربوط به‌هر کرت آزمایشی جدا انجام شد و بعد از قرار گرفتن در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ثابت ماندن وزن خشک، مجدداً وزن شد و به این صورت درصد رطوبت دانه بدست آمد. در مرحله بعد عملکرد دانه با احتساب ۱۲ درصد محاسبه شد (Safara *et al.*, 2016).

میزان نیتروژن دانه و بوته

به‌منظور اندازه‌گیری نیتروژن دانه و بوته از دستگاه کجلدال استفاده شد (Bremner, 1996). به‌منظور بدست آوردن مقدار نیتروژن برداشت‌شده از خاک در واحد سطح توسط گیاه (کینوا) از فرمول زیر استفاده شد.

نیتروژن کل بوته × زیست‌توده = برداشت نیتروژن از خاک (کیلوگرم در هکتار)

میزان پتاسیم دانه

به‌منظور اندازه میزان پتاسیم موجود در دانه از روش خاکسترگیری خشک با اسیدکلریدریک استفاده شد. به این منظور پس از تهیه عصاره از خاکستر نمونه‌ها، در نهایت میزان پتاسیم توسط دستگاه فیلم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Rouhanipour, 2010).

میزان فسفر دانه

اندازه‌گیری فسفر نمونه‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی استفاده شد. مقادیر نیز توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید (Nelson and Sommers, 1982).

تجزیه آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با نرم افزار SAS v. 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل دوگانه، برش‌دهی فیزیکی اثر متقابل در صفات مربوطه انجام شد و سپس مقایسه میانگین صفات بر اساس برش‌دهی انجام شد. جهت رسم نمودار از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت نیشکر دهخدا اهواز در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Table 1. Meteorological statistics of the Dehkhoda Sugarcane Agricultural and Industrial Meteorological Station of Ahvaz in 2024-2025

Months of the year	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Rainfall (mm)	Evaporation (mm)
November	15.16	29.28	85.99	2.11
December	8.86	21.73	13.06	1.27
January	7.51	20.96	7.25	1.28
February	8.15	21.46	30.24	2.11
March	9.31	23.12	63.34	3.11
April	14.71	29.8	85.67	6.26
May	18.96	34.72	35.47	8.17
June	23.16	44.18	0	10.70

جدول ۲- خصوصیات خاک مزرعهٔ محل اجرای آزمایش

Table 2. Soil characteristics of the farm where the experiment was conducted

Soil texture	pH	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	N (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	Depth of soil (cm)
Silty clay	7.5	138	9.36	0.05	2.81	0-30

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک

ارتفاع بوته و فاصلهٔ اولین شاخه از زمین

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک کینوا نشان داد که اثر تراکم بوته در واحد سطح زمین بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در حالی که اثر هیچ‌کدام از فاکتورهای مورد بررسی و همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آنها بر فاصلهٔ اولین شاخه از زمین معنی‌دار نبود (جدول ۳).

یافته‌های حاصل از مقایسه میانگین‌ها، نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (به ترتیب ۹۶/۹۵ و ۹۶/۱۲ سانتی‌متر) با تراکم ۷۰ و ۵۰ بوته در متر مربع بدست آمد. کمترین ارتفاع بوته از تراکم ۳۰ بوته در متر مربع (۸۹/۴۸ سانتی‌متر) بود (جدول ۴). تراکم گیاهی نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتفاع بوته دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی تأثیر گذاشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، بر ارتفاع بوته تأثیر می‌گذارد. یکی از جنبه‌های سازگاری رشد گیاهان، افزایش ارتفاع بوته در سایه‌اندازهای متراکم گیاه در مزرعه است. این موضوع از طریق مکانیسم‌های هورمونی القاشده از جمله افزایش غلظت هورمون اکسین در اثر نور غیرمستقیم و بیشتر از طریق افزایش طول میانگره‌های پایینی ساقه روی می‌دهد که به‌طور معمول با کاهش قطر ساقه همراه است. افزایش ارتفاع بوته در این شرایط می‌تواند ناشی از سازگاری بدست آمده گیاه جهت رقابت برای کسب نور بیشتر در پوشش‌های گیاهی متراکم و فشرده در نظر گرفته شود (Koochekzadeh *et al.*, 2018; Pasban Eslam, 2014). سایر محققان نیز افزایش ارتفاع بوته کینوا در اثر افزایش تراکم بوته در واحد سطح زمین را گزارش کرده‌اند که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی دارد (Karami *et al.*, 2020; Najafinezhad *et al.*, 2022).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک تحت تأثیر عوامل آزمایشی

Table 3. Analysis of variance of plant morphological characteristics affected by experimental factors.

S.O.V	df	Plant height	Height of the first branch from the ground	Number of branches	Panicle length
Repetition (R)	3	87.79*	37.70**	0.64ns	33.04ns
Plant Density (D)	2	537.65**	1.54ns	11.68**	5.01ns
Cultivars (C)	1	26.43ns	0.51ns	0.07ns	12.04ns
Defoliation (S)	3	18.86ns	4.67ns	0.05ns	29.56ns
D×C	2	25.36ns	0.54ns	0.10ns	1.63ns
D×S	6	14.88ns	4.91ns	0.35ns	7.37ns
C×S	3	9.40ns	0.87ns	0.06ns	8.40ns
D×C×S	6	4.89ns	2.77ns	0.17ns	7.66ns
Error	69	23.11	2.58	0.22	13.48
CV (%)		5.10	12	24.99	21.10

*، ** و ns نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال خطای پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌دار بودن است.

ns, * and **: non significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته در سطوح مختلف تراکم بوته

Table 4. Mean comparison of plant height and number of branches at different levels of plant density

Plant density (plant.m^{-2}) (D)	Plant height (cm)	Number of branches
30	89.48^{b}	3^{a}
50	96.12^{a}	1.5^{b}
70	96.95^{a}	1.6^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test

تعداد شاخه در بوته و طول خوشه

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر تراکم بوته در واحد سطح زمین بر تعداد شاخه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۳). اما اثر اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی مورد بررسی بر طول خوشه معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد شاخه در بوته با میانگین (۳) در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. کمترین تعداد شاخه در بوته با میانگین (به ترتیب ۱/۵ و ۱/۶) در تراکم‌های ۵۰ و ۷۰ بوته در متر مربع مشاهده شد (جدول ۴). بر این اساس می‌توان اینگونه اظهار نظر نمود که گیاه کینوا در تراکم پایین (۳۰ بوته در متر مربع) می‌تواند با تولید شاخه فرعی بیشتر، کاهش تراکم را از نظر تعداد شاخه در بوته جبران نماید. که با یافته‌های برخی محققان مطابقت دارد (Spehar and Rocha, 2009). این موضوع به دلیل کاهش رقابت بین بوته‌ها در تراکم‌های پایین‌تر جهت کسب نور، آب و مواد غذایی است. کرمی و همکاران (Karami *et al.*, 2020) در مطالعه‌ای بر کینوا به این نتیجه رسیدند که، به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد شاخه در بوته از تراکم ۶۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع بدست آمده است.

عملکرد و اجزای عملکرد

تعداد خوشه در بوته

اثر تراکم بر تعداد خوشه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان داد که افزایش تراکم منجر به کاهش تعداد خوشه در بوته گردیده. بیشترین تعداد خوشه در بوته با میانگین (۴/۵) در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع بدست آمد. کمترین تعداد خوشه در بوته نیز با میانگین (به ترتیب ۳/۴ و ۳/۸) در تراکم‌های ۷۰ و ۵۰ بوته در متر مربع مشاهده شد (جدول ۶). در تراکم‌های بالاتر از طریق کاهش نفوذ نور به داخل کنوپی و افزایش غالبیت انتهایی، منجر به کاهش تعداد

خوشه در بوته می‌گردد (Wang *et al*., 2020). در اثر افزایش تراکم بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد خوشه در بوته کاسته می‌شود. این موضوع نهایتاً با کاهش عملکرد تک بوته همراه است (Seifati *et al*., 2015).

تعداد دانه در خوشه

نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش تراکم بوته و حذف برگ بر تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم و حذف برگ نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خوشه) (به ترتیب ۱۴۲۸ و ۱۴۱۶) در تیمارها با تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در متر مربع و شاهد (بدون حذف برگ) مشاهده شد. کمترین تعداد دانه در خوشه (به ترتیب ۱۲۱۱ و ۱۲۲۸) در تیمارهای ۳۰ و ۷۰ بوته در متر مربع و حذف برگ یک‌سوم بالایی بدست آمد (جدول ۷). به‌طور کلی و براساس برش‌دهی فیزیکی و مقایسه میانگین داده‌ها، حذف برگ‌های بوته در تیمار ۳۰ بوته در متر مربع سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خوشه گردید، در حالی که در تراکم ۵۰ و ۷۰ بوته تفاوتی بین سطوح حذف برگ از نظر تعداد دانه در خوشه نبود. به نظر می‌رسد که در تراکم‌های بالاتر، با توجه به تعداد خوشه کمتر در هر بوته (۲ الی ۳ خوشه در بوته)، رقابت کمتری بین آغازه‌های دانه‌ها در هر خوشه بوده است و بنابراین با کاهش مواد فتوسنتزی، آسیب کمتری از لحاظ کاهش تعداد دانه در خوشه نشان دادند. مظفری و همکاران (Mozafari *et al*., 2010) در مطالعه‌ای بر کلزا به این نتیجه رسیدند که اثر حذف برگ بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود. صدقی و همکاران (Sedghi *et al*., 2008) نیز گزارش کردند که با افزایش تراکم، به علت رقابت درون‌گونه‌ای، تعداد دانه در هر طبق در آفتابگردان کاهش می‌یابد.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه و اجزای عملکرد

Table 5. Analysis of variance of seed yield and yield components

S.O.V	df	Number of panicles per plant	Number of seed per panicle	1000 -seeds weight	Seed yield	Biological yield
Block (R)	3	1.37^{*}	3256.17^{ns}	0.78^{*}	3672101^{*}	1266674^{ns}
Plant density (D)	2	4.62^{**}	73009.88^{**}	0.05^{ns}	103142205^{**}	1049813229^{**}
Cultivars (C)	1	0.26^{ns}	2901.84^{ns}	0.86^{ns}	596448^{ns}	80505^{ns}
Defoliation (S)	3	0.09^{ns}	8607.09^{*}	0.85^{*}	2635531^{ns}	3702^{ns}
D×C	2	0.66^{ns}	1971.96^{ns}	0.26^{ns}	1977096^{ns}	168391^{ns}
D×S	6	0.45^{ns}	18070.59^{*}	0.53^{ns}	2556440^{*}	1708126^{ns}
C×S	3	0.14^{ns}	5115.62^{ns}	0.18^{ns}	1019115^{ns}	166248^{ns}
D×C*S	6	0.88^{ns}	5611.03^{ns}	0.27^{ns}	529000^{ns}	1261803^{ns}
Error	69	1.03	10031.75	0.28	1138180	1897649
CV (%)		23.79	7.37	19.55	13.34	28.19

*، ** و ns نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال خطای پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌دار بودن است.

ns, * and **: non significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین تعداد خوشه در هر بوته در سطوح مختلف تراکم بوته

Table 6. Mean comparison of number of panicles per plant at different levels of plant density

Plant density (plant.m^{-2}) (D)	Number of panicles per plant
30	4.5^{a}
50	3.8^{b}
70	3.4^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test.

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد دانه در خوشه تحت تأثیر تراکم و حذف برگ

Table 7. Mean comparison for density and defoliation on the number of seed per panicle

Plant density	Defoliation	Number of seed per panicle
30	Control	1428[a]
	Cutting 1.3 of upper leaves	1211[b]
	Cutting 1.3 of middle leaves	1363[b]
	Cutting 1.3 of bottom leaves	1317[b]
50	Control	1416[a]
	Cutting 1.3 of upper leaves	1328[a]
	Cutting 1.3 of middle leaves	1386[a]
	Cutting 1.3 of bottom leaves	1380[a]
70	Control	1395[a]
	Cutting 1.3 of upper leaves	1228[b]
	Cutting 1.3 of middle leaves	1353[a]
	Cutting 1.3 of bottom leaves	1378[a]

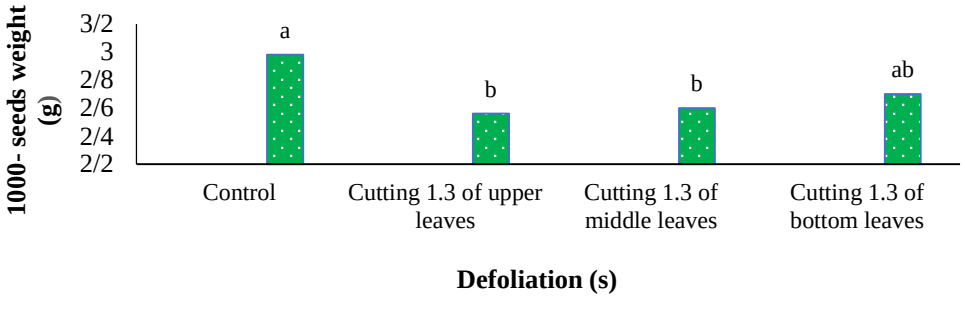
در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test.

وزن هزاردانه

بر اساس یافته‌های این پژوهش اثر حذف برگ بر وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه (به ترتیب ۲/۹۸ و ۲/۷۰ گرم) در تیمارهای شاهد (بدون حذف برگ) و حذف برگ یک‌سوم پایینی مشاهده شد. کمترین وزن هزاردانه (۲/۵۶ گرم) از میان سطوح حذف برگ به یک‌سوم بالایی بوته تعلق گرفت (شکل ۱). وزن دانه تحت تأثیر میزان مواد فتوسنتزی تولید شده، به‌ویژه در مراحل اولیه پر شدن دانه و همچنین توانایی دانه در جذب و بهره‌برداری از این مواد قرار دارد. ژنوتیپ گیاه با تعیین هر دو عامل یاد شده، نقش کلیدی در تعیین وزن نهایی دانه ایفا می‌کند اما درصورتی که تحت تنش‌های مختلف قرار گیرد، ممکن است باعث کاهش وزن هزاردانه شود.

معماری و همکاران (Memari *et al*., 2016) در مطالعه‌ای بر کلزا دریافتند که وزن هزاردانه مستقیماً تحت تأثیر میزان مواد فتوسنتزی در مرحله پر شدن دانه قرار می‌گیرد. حذف اندام‌های بالایی و بخش فعال تولید مواد فتوسنتزی گیاه در آغاز مرحله پر شدن دانه، موجب کاهش وزن هزاردانه می‌شود. مالون و کاوینز (Malone and Caviness, 1985) اظهار داشتند که وزن هزاردانه در تیمار ۱۰۰ درصد حذف برگ در گیاه سویا نسبت به تیمارهای ۳۳ و ۶۶ درصد حذف برگ تفاوت معنی‌دار نشان داد. کمترین مقدار وزن هزاردانه در تیمار ۱۰۰ درصد حذف برگ مشاهده شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن هزاردانه تحت تأثیر سطوح مختلف حذف برگ

Figure 1. Mean comparison for 1000-seeds weight under the influence of different levels of defoliation

عملکرد دانه

براساس یافته‌های تجزیه واریانس اثر برهمکنش تراکم بوته و حذف برگ بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین (به ترتیب ۶۳۳۳ و ۵۷۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای تراکم ۷۰ بوته در متر مربع و شاهد (بدون حذف برگ) و همچنین تراکم ۷۰ بوته در متر مربع و حذف برگ یک‌سوم پایینی مشاهده شد. کمترین عملکرد دانه با میانگین (۱۴۵۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای ۳۰ بوته در متر مربع و حذف برگ یک‌سوم بالایی بدست آمد (جدول ۸). براساس نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که حذف برگ (محدودیت مبدأ) تنها در سطح تراکم ۳۰ بوته در متر مربع سبب کاهش عملکرد دانه شده است و در سطح بالاتر تراکم، تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه در سطح حذف برگ مشاهده نمی‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در سطوح تراکم ۵۰ و ۷۰ بوته در متر مربع، محدودیت مبدأ (حذف برگ) عامل محدودیت مطلق عملکرد نبوده است، چرا که با وجود حذف برگ، تغییر چندانی در عملکرد رخ نداده است. پس نتیجه می‌گیریم که در این سطوح تراکم مبدأ محدود نبوده است و در واقع، محدودیت مقصد در گیاه کینوا روشن‌تر است. در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، کاهش مبدأ فتوسنتزی در اثر برگ‌زدایی با کاهش تعداد بوته در متر مربع همزمان بوده است که در نتیجه، کاهش معنی‌دار عملکرد در این سطوح تیماری را قابل‌انتظار و بدیهی می‌نماید. همچنان که شاخص سطح برگ نیز در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از سایر سطوح تراکم بوده است. در مطالعه‌ای بر روی ذرت اثر متقابل حذف برگ با سطوح مختلف تراکم معنی‌دار شد. تیمار حذف برگ (حذف برگ‌های بالای بلال به همراه گل آذین نر و ساقه) در تراکم‌های ۷۵ هزار بوته در هکتار و ۶۵ هزار بوته در هکتار بیشترین تعداد ردیف در بلال را داشتند. در تراکم‌های بالاتر اعمال تیمار حذف برگ (حذف برگ‌های بالای بلال به همراه گل‌آذین نر و ساقه) پس از مرحله گرده‌افشانی نمی‌تواند اثر کاهشی گل‌های عقیم را جبران نماید لذا در سطوح پایین‌تر تراکم تعداد دانه‌های بارور نسبتاً بیشتر شده است (Tahmasbi Sarvestani *et al.*, 2001). اعمال هر گونه حذف برگ باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. چنانچه تیمار حذف برگ روی برگ‌های نزدیک بلال انجام نشود، میزان کاهش عملکرد کمتر خواهد بود (Edmeades and Lafitte, 1993). محققان طی آزمایشی در شهرستان ممسنی استان فارس با بررسی تراکم ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع گیاه کینوا گزارش کردند که، همراه با افزایش تراکم بوته، عملکرد دانه نیز افزایش یافت. بطوریکه بیشترین عملکرد دانه در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع بدست آمد (Karami *et al.*, 2020). در پژوهشی روی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ حذف برگ در میانه ابریشم دهی با کمترین افت عملکرد دانه نسبت به شاهد همراه بود. اما افزایش شدت حذف برگ باعث کاهش عملکرد دانه شد (Emam *et al.*, 2013).

عملکرد زیست توده

اثر تراکم بوته بر عملکرد زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد زیست توده با میانگین (۲۰۰۰۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۷۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. کمترین عملکرد زیست توده با میانگین (۸۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۳۰ بوته در متر مربع بدست آمد (جدول ۹). تراکم گیاهی به‌عنوان یکی از عوامل موثر بر عملکرد و اجزای عملکرد می‌باشد. این عامل از طریق بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع محیطی، کاهش رقابت نوری و افزایش فتوسنتز، موجب بهبود انتقال آسیمیلات به دانه و در نهایت افزایش عملکرد زیست توده گیاه می‌گردد. امامی بیستگانی و

همکاران (Emami Bistgani *et al*., 2011) نشان دادند که تراکم بوته بر عملکرد زیست توده آفتابگردان معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین عملکرد زیست توده به ترتیب از تراکم ۱۲ و ۶ بوته در متر مربع بدست آمد. روند تغییرات عملکرد زیست توده در اثر افزایش تراکم بوته در واحد سطح صعودی بود. به‌طوری که با افزایش تراکم، عملکرد زیست توده نیز افزایش یافت. تیمار ۷۰ بوته در متر مربع بیشترین ماده خشک را داشت. به نظر می‌رسد که با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ افزایش یافته و توانایی بیشتری برای جذب تشعشع داشته، در طول دوره رشد ماده خشک بیشتری تولید شده و به دنبال آن عملکرد زیست توده افزایش یافت. فریرا و آبرو (Ferreira and Abreu, 2001) گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته آفتابگردان، ماده خشک افزایش یافت زیرا در تراکم‌های بالا، شاخص و جذب تشعشعات خورشیدی بیشتر است. موسی‌بیگی و همکاران (Mosabeygi *et al*., 2022) گزارش کردند که بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا در تراکم کاشت ۱۲۰ بوته در متر مربع به میزان ۸۲۲۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تراکم ۸۰ بوته در متر مربع ۱۷/۳۵ درصد افزایش یافت.

جدول ۸- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر تراکم بوته و حذف برگ

Table 8. Mean comparison for seed yield under the influence of plant density and defoliation

Plant density (D)	Defoliation (S)	Seed yield (kg.ha^{-1})
30	Control	2252^{a}
	Cutting 1.3 of upper leaves	1451^{c}
	Cutting 1.3 of middle leaves	1917^{b}
	Cutting 1.3 of bottom leaves	2187^{a}
50	Control	4580^{a}
	Cutting 1.3 of upper leaves	3361^{b}
	Cutting 1.3 of middle leaves	3241^{b}
	Cutting 1.3 of bottom leaves	4249^{a}
70	Control	6333^{a}
	Cutting 1.3 of upper leaves	5023^{b}
	Cutting 1.3 of middle leaves	5033^{b}
	Cutting 1.3 of bottom leaves	5771^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test.

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر تراکم بوته

Table 9. Mean comparison for average biological yield (kg.ha^{-1}) under the influence of plant density

Plant density (D)	Biological yield (kg.ha-1)
30	8584^{c}
50	15077^{b}
70	20004^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test.

صفات کیفی

درصد نیتروژن کل بوته و دانه

اثر تراکم بوته بر درصد نیتروژن کل بوته و دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۰). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن کل بوته با میانگین (۲/۲۳) در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. تراکم‌های ۵۰ و ۷۰ بوته در متر مربع نیز به ترتیب با میانگین‌های (۱/۹۹ و ۱/۹۲)، کمترین مقادیر را داشتند (جدول ۱۱). طهماسبی و همکاران (Tahmasebi *et al*., 2025) در مطالعه‌ای بر کینوا به این نتیجه رسیدند که، همراه با افزایش تراکم بوته، میزان پروتئین کل بوته روند کاهشی داشت. این موضوع به دلیل رقابت بیش از حد درون‌گونه‌ای بر جذب آب و مواد غذایی و کاهش فتوسنتز است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه با میانگین (۱/۲۱) در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع بدست آمد. تراکم‌های ۵۰ و ۷۰ بوته در متر مربع تقریباً به همدیگر نزدیک بودند و به ترتیب با میانگین‌های (۰/۹۹ و ۰/۹۷) کمترین مقادیر را داشتند (جدول۱۱). کوچک‌زاده و همکاران (Koochekzadeh *et al*., 2018) در بررسی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ به تراکم‌های مختلف بوته دریافتند که، بیشترین و کمترین مقدار پروتئین دانه به ترتیب در تراکم‌های ۲۰ و ۵۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. معنی‌دار نشدن درصد نیتروژن دانه در اثر حذف برگ، همراه با کاهش وزن هزاردانه در سطوح تیمار حذف برگ بوده است. همچنان که در مطالعات سایر محققان، کاهش وزن هزاردانه در اثر کاهش فتوسنتز جاری ناشی از عوامل مختلف محیطی و تیمارهای مورد بررسی، اثری بر درصد نیتروژن دانه بر جای نگذاشته است و حتی در برخی مواقع به دلیل کاهش ورود کربوهیدرات‌ها به دانه، درصد نیتروژن و پروتئین دانه افزایش یافته است (Abodeh *et al*., 2020).

جدول ۱۰- تجزیه واریانس نیتروژن کل بوته و دانه، فسفر و پتاسیم دانه و جذب نیتروژن از خاک

Table 10. Analysis of variance of total plant nitrogen, seed nitrogen, seed phosphorus, seed potassium, nitrogen uptake from the soil

S.O.V	df	Total plant nitrogen	Seed nitrogen	Seed pHosphorus	Seed Potassium	Nitrogen uptake from the soil
Repetition (R)	2	0.13^{ns}	0.01^{ns}	7.05^{ns}	0.00001^{ns}	932^{ns}
Plant Density (D)	2	0.63^{**}	0.44^{**}	438.18^{ns}	0.14^{ns}	219158^{**}
Cultivars (C)	1	0.02^{ns}	0.16^{ns}	17.01^{ns}	0.70^{ns}	1.1184^{ns}
Defoliation (S)	3	0.02^{ns}	0.003^{ns}	255.56^{ns}	0.34^{ns}	1146^{ns}
D×C	2	0.05^{ns}	0.02^{ns}	270.59^{ns}	0.31^{ns}	2066^{ns}
D×S	6	0.04^{ns}	0.01^{ns}	173.95^{ns}	0.20^{ns}	340^{ns}
C×S	3	0.09^{ns}	0.005^{ns}	125.38^{ns}	0.20^{ns}	1776^{ns}
D×C×S	6	0.01^{ns}	0.02^{ns}	205.52^{ns}	0.24^{ns}	370^{ns}
Error	49	0.04	0.05	209.57	0.23	1486
CV (%)		10.48	21.65	9.41	27.54	13.30

*، ** و ns نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال خطای پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌دار بودن است.

ns, * and **: non significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

جدول ۱۱- مقایسه میانگین نیتروژن کل بوته، دانه و جذب نیتروژن از خاک تحت تأثیر تراکم بوته در متر مربع

Table 11. Mean comparison of the total plant and seed nitrogen content, and nitrogen uptake from the soil under the influence of plant density per unit area.

Plant density ($plant.m^{-2}$) (D)	Total plant nitrogen content (%)	Seed nitrogen content (%)	Nitrogen uptake from the soil ($kg.ha^{-1}$)
30	2.23^{a}	1.21^{a}	190.66^{c}
50	1.99^{b}	0.99^{b}	296.87^{b}
70	1.92^{b}	0.97^{b}	381.37^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با همدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون دانکن ندارند.

Means with common letters at each planting density level are not significantly different from each other at the 5% probability level according to Duncan's test.

درصد فسفر و پتاسیم دانه

طبق یافته‌های حاصل از تجزیه واریانس، اثر تراکم بوته، رقم، حذف برگ و برهمکنش دوگانه و برهمکنش سه‌گانه این تیمارها بر درصد فسفر و پتاسیم دانه کینوا معنی‌دار نبود (جدول ۱۰). در پژوهشی روی کینوا گزارش شد که درصد فسفر و پتاسیم دانه تحت تأثیر تراکم بوته قرار نگرفت (Eisa *et al*., 2018).

برداشت نیتروژن از خاک

اثر تراکم بر جذب نیتروژن از خاک در واحد سطح مزرعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۰). بیشترین برداشت نیتروژن از خاک (۳۸۱/۳۷ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۷۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. و کمترین مقدار آن (۱۹۰/۶۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در تراکم ۳۰ بوته در متر مربع بدست آمد (جدول ۱۱). افزایش تراکم منجر به افزایش جذب نیتروژن از خاک توسط گیاه شد. می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تراکم مقدار برداشت نیتروژن از خاک بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد مقدار نیتروژن برداشت‌شده در تک بوته در تراکم‌های پایین بیشتر از تراکم‌های بالاتر باشد (به‌علت اینکه از سایر عوامل محیطی مانند نور، فضا، آب، خاک و رطوبت به نحو مطلوب می‌تواند استفاده کند). ولی به‌دلیل تعداد بیشتر بوته در تراکم‌های بالاتر و همچنین عملکرد زیست توده بالاتر، در مجموع مقدار نیتروژن برداشت شده از تراکم‌های بالاتر بیشتر بود. به عبارت دیگر عامل برتری تراکم‌های بالاتر نسبت به تراکم‌های پایین‌تر در برداشت نیتروژن بیشتر از خاک توسط گیاه را تنها می‌توان تعداد بیشتر بوته در متر مربع دانست.

نتیجه‌گیری

افزایش تراکم بوته (تا حدودی که بر جذب منابع محیطی رقابت ایجاد نشود و استفاده از این منابع بصورت بهینه صورت گیرد)، همچنین حذف برگ یک‌سوم پایینی بوته منجر به کاهش ناچیز عملکرد دانه کینوا گردید. کاهش تراکم بوته، باعث شد که از سایر عوامل محیطی نظیر، فضا، نور، آب و خاک و غیره به نحوه مطلوب استفاده نشد و گیاه به پتانسیل عملکرد نهایی خود نرسد و این موضوع با کاهش عملکرد دانه مشاهده شد. حذف برگ‌های پایینی گیاه در زمان آغاز گل‌دهی، منجر به کاهش ناچیز عملکرد دانه کینوا شد. همچنین با انتخاب رقم مناسب علاوه بر تعیین زمان رسیدگی، بواسطه مقاومت به علف‌های هرز، باعث افزایش عملکرد گردید. نتایج نشان داد که بهبود عملکرد دانه کینوا تابعی از بهبود ویژگی‌های صفاتی چون، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، و عملکرد زیست توده است. طبق نتایج این پژوهش با افزایش تراکم بوته از ۳۰ بوته در متر مربع به ۷۰ بوته در متر مربع عملکرد افزایش یافت، و در مجموع در تراکم ۷۰ بوته در متر مربع، از بین ارقام مورد بررسی تفات معنی‌داری از نظر عملکرد مشاهده نشد و بنابراین هر دو رقم وضعیت تقریباً یکسانی داشتند. حذف برگ یک‌سوم بالایی نسبت به حذف برگ یک‌سوم میانی و پایینی بوته تأثیر بیشتری بر روی عملکرد داشت و موجب کاهش آن شد. با توجه به اینکه برگ‌های پایین‌تر ساقه در مراحل ابتدایی دوره رشد گیاه شکل می‌گیرند. لذا این برگ‌ها زودتر از سایر برگ‌های دیگر که در مراحل بعدی از دوره رشد شکل گرفته پیر می‌شوند. به همین دلیل حذف این برگ‌ها آسیب کمتری به عملکرد متحمل نمود.

سپاس گزاری

بدین وسیله از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و همچنین معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت حمایت مادی و معنوی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdi, S., Fayaz, M. A., & Chadimzade, M. (2007). Effect of different levels of defoliation at reproductive stage on grain yield and oil percent of two hybrid sunflower. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(4), 245-255. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22518517.1386.11.40.20.5 [In Persian].

Abodeh, H., Moradi Telavat, M. R., Moshatati, A., & Mousavi, S. H. (2020). The response of morphology, yield and yield components of spring safflower genotypes to different sowing dates. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(4), 215-227. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.9.4.22255 [In Persian].

Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92 (2), 43-54. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004

Afshari Behbahani Zadeh, S., Akbari, G. A., Irannejad, H., Farrokhi, E., & Zaman, S. (2012). Evaluate The Response of Growth Stages and Some Yield Dependant Characteristics of Sunflower Hybrids to Removing Leaf and seed stress in different plant densities. *Journal of crop ecophysiology*, 3(4), 280-295. https://sanad.iau.ir/fa/Article/1125274?FullText=FullText [In Persian].

Andrew J., Walker., & Robert, K. M. Hay. (1994). Physiological origin and destination. Y. Emam and M. niknejad. An introduction to the Physiology of crop performance. (pp. 210-218). Shiraz University Press.

Bertero, H. D., & Ruiz, R. A. (2008). Determination of seed number in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 186-194. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.002

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5 (1): 1085-1121. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37

Edmeades, G. O., & Lafitte, H. R. (1993). Defoliation and plant density effects on maize selected for reduced plant height. *Agronomy Journal*, 85(4): 850-857. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040014x

Eisa, S. S., Abd El Samad, E. H., Hussin, S. A., Ali, E. A., Ebrahim, M., González, J. A., & Abdel-Ati, A. A. (2018). Quinoa in Egypt-plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. Middle East. *Journal of Applied Sciences*, 8(2), 515-522. http://hdl.handle.net/11336/86404

Emam, Y., Sedaghat, M., & Bahrani, H. (2013). Responses of maize (SC704) yield and yield components to source restriction. *Iran Agricultural Research*, 32(1), 31-40. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10139885.2013.32.1.4.2 [In Persian].

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshande, A., Alami Saeid, K. H., & Shiresmaeili, G. H. (2011). Effect of plant density on yield and quality traits of four sunflower genotypes. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 1(2), 91-103. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22518517.1390.1.2.7.2 [In Persian].

Erazzú, L. E., González, J. A., Buedo, S. E., & Prado, F. E. (2016). Effects of sowing density on *Chenopodium quinoa* (quinoa). Incidence on morphological aspects and grain yield in Var. CICA growing in Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina). *Journal lilloa facultad de agronomia y zootecnia*, 31 (2), 12-22.

FAO. (2023). FAO Statistic Service, [Online]. Available at: www.FAO.org/crop/statistics

Ferreira, A. M., & Abreu, F. G. (2001). Description of development, light interception and growth of sunflower at two sowing dates and two densities. *Mathematics and Computers in simulation*, 56(4-5), 369-384. https://doi.org/10.1016/S0378-4754(01)00308-1

Hajizadeh, Z., Balouchi, H., Salehi, A., Moradi, A., & Rezaei, R. (2022). Evaluation of the effect of bio-priming and seed coating on seed germination and seedling growth indices of *Chenopodium quinoa* in cadmium stress. *Plant Productions*, 45(2), 215-228. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.38615.1994 [In Persian].

Iqbal, S., Basra, S. M., Afzal, I., Wahid, A., Saddiq, M. S., Hafeez, M. B., & Jacobsen, S. E. (2019). Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(1), 13-21. https://doi.org/10.1111/jac.12290

Jacobsen, S. E. (2011). The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 390-399. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00475.x

Joudi, M., Ahmadi, A., Poustini, K., & Sharifzadeh, F. (2006). Effects of leaf removal on photosynthetic activity of flag leaf and grain growth in bread wheat. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(2), 203-211. [In Persian].

Karami, R., Farajee, H., Movahedi Dehnavi, M., & Khoshroo, A. (2020). Interaction of nitrogen and plant density on growth and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Electronic Journal of crop production*, 13(1), 111-124. https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17603.2296 [In Persian].

Koochekzadeh. A., Ebdali Mashhadi, A. R., & Badavi, V. (2018). Response of yield and yield components of safflower cultivars to different densities of plant. *Crop Physiology*, 10(38), 5-21. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1397.10.38.1.3 [In Persian].

Malone, S. R., & Caviness, C. E. (1985). Cut-off, break-over, and defoliation effects on a determinate soybean cultivar. *Agronomy Journal*, *77*(4), 585-588. https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700040018x

Meamari, M., Faraji, A., Arabi, Z., & Mosanaiey, H. (2016). Investigate the effect of resource limitations on the physiological traits, yield and yield components of canola in wet weather conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(2), 53-67. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1395.8.30.4.6 [In Persian].

Mosabeygi, H., Zeidali, E., & Fathi, A. (2022). The effect of tillage systems and plant density on element concentration, yield, yield components, density, and weed biomass in quinoa. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(1), 147-164. https://doi.org/10.22034/csrar.2023.347589.1249 [In Persian].

Mozafari, S., Pirdashti, H., Esmaili, M. A., Ramea, V., Heidarzade, A., & Mostafayian, S. R. (2010). Effect of planting date and source-sink limitation on grain yield and yield components in three rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(4), 482-498. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1389.12.4.9.2 [In Persian].

Muro, J., Irigoyen, I., Militino, A. F., & Lamsfus, C. (2001). Defoliation effects on sunflower yield reduction. *Agronomy Journal*, 93(3), 634-637. https://doi.org/10.2134/agronj2001.933634x

Nabipour, Z., Zamani, G., & gheisari, Y. (2021). Effect of different levels of nitrogen application on yield and yield components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) under different planting densities. *Applied Soil Research*, 10(4), 61-75. https://doi.org/10.30466/asr.2023.121297 [In Persian].

Najafinezhad, H., Koohi, N., & Darvishi, D. (2022). Evaluation of grain yield and quality of quinoa cultivars as affected by planting date and plant density in Jupar region of Kerman. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 113-129. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.311672.654761 [In Persian].

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. USA: Purdue University west lafayette, Indiana. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Pasban Eslam, B. (2014). Effect of planting arrangment on seed yield and its components of fall safflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 169-177. [In Persian].

Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, 8(10),197-216. https://doi.org/10.3390/agronomy8100197

Rouhanipour, A. (2010). Studying the effect of silicon on corn (*Zea mays*) grown under salt stress and hydroponic cultivation. M.Sc. thesis in soil science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. [In Persian].

Saeidi, S. M., Siadat, S. A., Moshatati, A., Moradi Telavat, M. R., & Sepahvand, N. A. (2019). Effect of sowing time and nitrogen fertilizer rates on growth, seed yield and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Ahvaz, Iran. *Iranian journal of crop sciences*, 21(4), 354-367. http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.4.354 [In Persian].

Safara, N., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., & Mousavi, S. H. (2014). The effect of heat stress caused by late planting dates and sulfur fertilizer on the yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). M.Sc. thesis of Agronomy, Khuzestan University of Agricultural sciences and natural Resources. Ahvaz. [In Persian].

Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., Namvar, A., Khandan-e-Bejandi, T., & Molaei, P. (2008). Responses of sunflower yield and grain filing period to plant density and weed interference. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(9), 1048-1053. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1393.27.2.7.7 [In Persian].

Seifati, S. E., Ramazanpour, S. S., Soltanloo, H., Salehi, M., & Sepahvand, N. A. (2015). Study on some morpho-phenological traits related to yield and early maturity in quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa*. Wild.). *Crop Production*, 8(2), 153-169. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.2.8.0 [In Persian].

Spehar, C. R., & Rocha, J. D. S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. *Journal of Bioscience*, 11(4): 53-58.

Tahmasbi Sarvestani, Z., Omidy, H., & Choukan, R. (2001). Effects of plant density and source limitation on yield, yield components and dry matter and nitrogen remobilization in corn. *Seed and Plant Journal*, 17(3), 294-314. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110876 [In Persian].

Tahmasebi, A., Kamali, H., & Zakeri Darbaghi, Z. (2025). Effect of planting density on the seed nutritional quality of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under hot and humid conditions (case study: Minab county). *Journal of Research in Plant Metabolites*, 3(1), 5-19. https://doi.org/10.22034/jrpsm.2025.517031.1064 [In Persian].

Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C., & Qiao, L. (2020). Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. *Agronomy*, 10(3), 445-460. https://doi.org/10.3390/agronomy10030445

Zhu, G. X., Midmore, D. J., Radford, B. J., & Yule, D. F. (2004). Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum* L.) in central Queensland: 1. Crop response and yield. *Field Crops Research*, 88(2-3), 211-226. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.014