

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)

**Pages
05-19**

A. Tahmasebi¹, H. Kamali^{2*} and Z. Zakeri Darbaghi³

- 1) Department of Agriculture, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- 2) Department of Water Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- 3) Department of Horticultural Science, College of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

*Corresponding author : hr.kamali@hormozgan.ac.ir

Received date: 2025.01.29

Accepted date: 2025.04.13

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa*), a member of the Amaranthaceae family, has gained significant interest due to its exceptional salinity and drought tolerance, high nutritional value, and early harvestability. This study investigated the effects of planting density (91,000, 150,000, and 175,000 plants per hectare) on the nutritional quality of seeds from four quinoa cultivars (Titicaca, Gizal, Q26, and Q29) in the Minab region. The experiment followed a split-plot factorial arrangement within a completely randomized block design, with four replications, conducted at the Minab Higher Education Center during the 2022–2023 growing season. Key nutritional parameters including total phenols, soluble carbohydrates, protein content, and antioxidant activity were analyzed. Results showed that planting density of 91,000 plants per hectare yielded the highest total protein and soluble carbohydrate levels, whereas the greatest antioxidant activity and total phenol content were observed at 175,000 plants per hectare. The Gizal cultivar showed the highest total phenol content and antioxidant activity compared to other cultivars, and the highest total phenol content was obtained in the Gizal cultivar and a density of 150,000 plants per hectare. Also, the Titicaca and Q29 cultivars showed the highest total protein content compared to other cultivars, and the highest total protein content was observed in the Titicaca cultivar and a density of 91,000 plants per hectare. The Titicaca, Gizal and Q29 cultivars showed the highest soluble carbohydrates content. Statistical analysis revealed that both cultivar and planting density significantly influenced the nutritional traits (total phenols, protein, and antioxidant activity) at a 1% significance level. Given its superior performance in most nutritional parameters, the Gizal cultivar is recommended as the most desirable choice for cultivation in the region based on nutritional value.

Keywords: Antioxidant activity, Carbohydrate, Nutrition, Plant competition, Protein and Quinoa.

بررسی تأثیر تراکم بوته بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا (*Chenopodium quinoa willd*) در شرایط گرم

و مرطوب (مطالعه موردی: شهرستان میناب)

شماره صفحات

۰۵-۱۹

امین الله طهماسبی^۱، حمیدرضا کمالی^{۲*} و زهرا ذاکری درباغی^۳

- (۱) گروه مهندسی کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- (۲) گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- (۳) گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

* نویسنده مسئول: hr.kamali@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

چکیده

کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) گیاهی از خانواده تاج خروسیان است که به دلیل تحمل بالا در برابر شوری و خشکی، ارزش غذایی بالای بذر و زودرس بودن آن مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، اثر تراکم بوته (۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار) بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا (*Gizal*, *Titicaca*, *Q26* و *Q29*) در شهرستان میناب مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به منظور بررسی کیفیت تغذیه‌ای چهار رقم کینوا تحت تأثیر تراکم بوته به صورت کرت خرد شده-فاکتوریل و در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در لایسیمترهای مجتمع آموزش عالی میناب در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. صفات فنول کل، کربوهیدرات محلول، پروتئین کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در بذر کینوا اندازه‌گیری شدند. نتایج حاکی از بیشترین میزان پروتئین کل و کربوهیدرات‌های محلول در تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار و بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنول کل در تراکم ۱۷۵۰۰۰ بود. رقم *Gizal* بالاترین میزان فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به سایر ارقام نشان داد و بیشترین میزان فنول کل در رقم *Gizal* و تراکم ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار بدست آمد. همچنین، رقم *Titicaca* و *Q29* بیشترین میزان پروتئین کل را نسبت به سایر ارقام نشان دادند و بیشترین میزان پروتئین کل در رقم *Titicaca* و تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار مشاهده شد. ارقام *Gizal*, *Titicaca* و *Q29* بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول را نشان دادند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار رقم و تراکم بوته بر صفات مرتبط با تغذیه نظیر فنول کل، پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر کینوا در سطح معنی‌داری یک درصد بود. رقم *Gizal* کینوا با توجه به اینکه در اغلب صفات تغذیه‌ای مورد بررسی دارای برتری بود، به عنوان مطلوب‌ترین رقم از لحاظ ارزش غذایی برای کاشت در منطقه معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تغذیه، رقابت گیاه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کربوهیدرات و کینوا.

مقدمه

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) از خانواده Amaranthaceae حاوی ترکیبات تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی عالی می‌باشد (Chen *et al.*, 2023). این گیاه دولپه، یکساله و با ارتفاع یک تا دو متر می‌باشد که به دلیل تحمل بالا به شرایط محیطی و کیفیت تغذیه‌ای بالای بذر در مناطق زیادی از دنیا کشت می‌شود (Sepahvand *et al.*, 2010). با توجه به رشد این گیاه در شرایط محیطی مختلف نظیر خشکی، شوری خاک و سرما و نیاز کم به آب و مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Bhargava *et al.*, 2006;). در سالیان اخیر، بذر گیاه کینوا از لحاظ اقتصادی و علمی به عنوان منبع مهم غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Carciochi *et al.*, 2016). اگرچه گیاه کینوا غالباً در ناحیه آند آمریکای جنوبی کشت می‌شود، اما در سالیان اخیر در مناطق وسیعی از دنیا نظیر ایالات متحده، اروپا، کانادا، استرالیا، چین و هند کشت آن توسعه پیدا کرده است (Jacobsen, 2003; Stikic *et al.*, 2012). گیاه کینوا در کشور پرو به عنوان محصول بومی برای صبحانه و تزئین سالاد استفاده می‌شود (Gómez *et al.*, 2021). این گیاه به واسطه دارا بودن سازگاری بالا به شرایط محیطی مختلف و تنوع ژنتیکی وسیع نسبت به شوری و خشکی متحمل بوده و توانایی رشد در خاک‌های کم بازده را دارا می‌باشد (Stikic *et al.*, 2012). بذر کینوا با ارزش غذایی بالا بوده و بسیاری از فاکتورهای تغذیه‌ای در این محصول بالاتر از محصولات مصرفی روزانه نظیر گندم، برنج و ذرت می‌باشد (Nowak *et al.*, 2016). نتایج مطالعات اخیر نشان داد که بذر کینوا حاوی کیفیت بالایی از مواد غذایی از لحاظ کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، مواد معدنی، پپتیدها، آمینواسیدها، اسیدهای چرب، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها نظیر ترکیبات پلی‌فنولی و فلاونوئیدی می‌باشد (Javanmard and Khakdan, 2021; Pedrali *et al.*, 2023). همچنین کینوا به عنوان غذای بدون گلوتن، برای بیماران مبتلا به سلیاک و در افراد با حساسیت به گندم مناسب است (Nowak *et al.*, 2016). بذر کینوا دارای ۲۰-۱۴ درصد پروتئین و غنی از آمینواسیدهای ضروری مانند لیزین، سیستئین و متیونین می‌باشد که در اغلب غلات به میزان کمتری یافت می‌شود (Matiasевич *et al.*, 2006). همچنین نشان داده شده است که مصرف کینوا باعث کاهش خطر بیماری‌هایی نظیر بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت، سرطان و ... در انسان می‌شود. برخی از اثرات مفید این محصول به فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی آن مربوط می‌شود که ناشی از ترکیباتی نظیر ترکیبات فنولی می‌باشد (Javanmard and Khakdan, 2021). بذر گیاه کینوا قابلیت استفاده در طبق وسیعی از محصولات غذایی را دارا می‌باشد (Kumar *et al.*, 2024). علاوه بر استفاده از بذر کینوا در تغذیه انسان، علوفه و کاه و کلش آن هم می‌تواند به عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار گیرد (Bazile *et al.*, 2015). تراکم گیاه به عنوان بزرگترین متغیر مدیریتی، اهمیت قابل توجهی در سازگاری گیاه با شرایط محیطی دارد (Smith and Hamel, 2005). نتایج مطالعه اخیر نشان داده است که تراکم بوته فاکتور کلیدی در تعیین عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد. به طوریکه بوته گیاه در تراکم بالا منجر به رقابت درون گونه‌ای و کاهش عملکرد می‌شود. همچنین کاشت گیاه در تراکم‌های پایین به دلیل عدم استفاده مناسب گیاهان از خاک، نور، فضا و آب، منجر به کاهش عملکرد

محصول می‌گردد (Xia et al., 2019). تراکم مناسب بوته روی عملکرد نهایی محصول تاثیر می‌گذارد و بسته به شرایط اقلیمی منطقه، رقم و گونه گیاهی متفاوت می‌باشد (Najafinezhad et al., 2022). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که تراکم کشت اثر قابل توجهی بر روی عملکرد بذر کینوا دارد و بیشترین عملکرد بذر در بیشترین تراکم (۱۶۷ هزار گیاه در هر هکتار) بدست آمد (Eisa et al., 2018). در مطالعه دیگر، صفات مرتبط با عملکرد بذر و میزان پروتئین و خاکستر در رقم‌های گیاه کینوا به طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم بوته قرار گرفت (Van Minh et al., 2020). بنابراین، تعیین تراکم بهینه گیاه نقش مهمی در استفاده از منابع در اکوسیستم‌های زراعی ایفا می‌کند. در تراکم مطلوب بوته، با حداقل رقابت درون و برون بوته‌ای و استفاده کامل گیاه از عوامل محیطی، بیشترین عملکرد با کیفیت مناسب حاصل می‌شود (Mostafaei et al., 2023). تولید کینوا در مناطق خشک و نیمه خشک کشور می‌تواند باعث تنوع در محصولات کشاورزی و امنیت غذایی شود (Jamali et al., 2016). منابع آب با کیفیت پایین مشکل عمده کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور ایران می‌باشد. همچنین، شوری آب و خاک باعث محدودیت در توسعه کشاورزی در کشور شده است. در نتیجه، کشت گیاهان متحمل به شوری و خشکی نظیر کینوا در مناطق جنوبی کشور در جهت تامین غذای مردم منطقه ضروری می‌باشد. از طرف دیگر، تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با اثر رقم و تراکم بوته بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر کینوا در شرایط گرم و مرطوب انجام نگرفته است. بنابراین، با توجه به اهمیت غذایی این محصول و فواید آن در سلامتی انسان و سازگاری این گیاه به شرایط محیطی مختلف نظیر خشکی و شوری و کوتاه بودن دوره رشد، نتایج این مطالعه با بررسی اثر تراکم بوته بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا در شهرستان میناب با آب و هوای گرم و مرطوب می‌تواند در انتخاب رقم مناسب و سازگار به شرایط محیطی و تعیین تراکم بهینه در منطقه مورد مطالعه حائز اهمیت باشد. با توجه به موارد ذکر شده، هدف از این تحقیق، تعیین مناسب‌ترین رقم و تراکم بهینه‌ی بوته در کینوا بر اساس ارزش تغذیه‌ای در شرایط منطقه میناب با اقلیم معتدل گرم و مرطوب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بررسی و ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا تحت تاثیر تراکم بوته به صورت کرت خرد شده-فاکتوریل و در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در لایسیمترهای مجتمع آموزش عالی میناب در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۳۶ متر از سطح دریا در مختصات طول و عرض جغرافیایی ۲۷.۰۹۱۷۶۴۹۴ و ۵۷.۰۹۵۰۱۹۳۹ قرار داشت. آزمایش در خاکی با بافت لومی-سیلتی اجرا گردید و قبل از انجام آزمایش، کود پوسیده دامی به میزان مناسب با خاک بستر مخلوط و بستر خاک (لایسیمترها) به صورت جوی و پشته درآمد، فاصله پشته‌ها برابر ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. آبیاری لایسیمترها به صورت غرقابی و بر اساس تامین کمبود رطوبتی خاک انجام گردید. تیمارها شامل چهار رقم گیاه کینوا (Gizal، Titicaca، Q26 و Q29) در سه تراکم (۹۱۰۰۰، ۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار) و فاکتورهای مورد بررسی صفات مرتبط با تغذیه در بذر گیاه کینوا نظیر فنول کل، کربوهیدرات، پروتئین و فعالیت آنتی

اکسیدانی بودند. ارقام مورد نظر از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج تهیه و در عمق حدود ۱ سانتی‌متر و بر روی پشته‌ها کاشته شدند و پس از آن بلافاصله آبیاری انجام شد. پس از پایان آزمایش و رشد کامل رویشی و زایشی گیاهان، صفات مختلف از قبیل فنول کل، کربوهیدرات، پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در بذر کینوا طبق پروتکل‌های استفاده شده در منابع علمی معتبر اندازه‌گیری شدند.

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری ظرفیت تخریب رادیکال‌های فعال از روش Mohd-Esa و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. نمونه‌های بذری آسیاب شده با متانول ۸۰ درصد به مدت یک ساعت در دمای اتاق با استفاده از شیکر (KS 260 basic, IKA, Janke & Kunkel, Staufen, Germany) استخراج شدند. نسبت ماده بذر به متانول ۸۰ درصد، ۰/۱ درصد (وزنی/حجمی) بود و قبل از اندازه‌گیری از طریق کاغذ صافی واتمن فیلتر شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان ۱ میلی‌لیتر از محلول ۱ میلی‌مولار ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) حل شده در متانول ۸۰ درصد به ۵ میلی‌لیتر از عصاره بذر اضافه شد. برای نمونه‌های کنترل از ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به جای عصاره بذر استفاده شد. تمام نمونه‌ها در دمای اتاق و در تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند و مقادیر جذب آنها در طول موج ۵۱۷ نانومتر (Mohd-Esa *et al.*, 2010) با استفاده از اسپکتروفتومتر (DR3900, Hach, Germany) اندازه‌گیری شد. درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی طبق رابطه ۱ محاسبه شد:

$$100 \times (\text{جذب کنترل} / (\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل})) = \text{درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی}$$

سنجش پروتئین کل

نمونه‌های بذری آسیاب شده در بافر استخراج (۵۰ میلی‌مولار Tris HCl pH 8) و ۲-مرکاپتواتانول (۲٪) به نسبت ۱:۱۰ همگن شدند و عصاره به مدت ۱ ساعت ورتکس و تکان داده شدند و سپس به مدت پنج دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شدند (PIT320 R, Pole Ideal Tajhiz Co., Tehran, Iran). سپس معرف برادفورد با ۱۰۰ میکرولیتر مایع رویی عصاره ترکیب شد و بعد از ورتکس در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه نگهداری شد. اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها در ۵۹۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (DR3900, Hach, Germany) انجام شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های آلبومین سرم گاوی (۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) ترسیم شد (Tahmasebi *et al.*, 2023).

سنجش فنول کل

اندازه‌گیری میزان فنول کل با استفاده از روش فولین-سیوکالتو (Folin-Ciocalteu) انجام شد. ۰/۱ گرم نمونه بذر آسیاب شده در هر تیوب ۱۵ میلیلیتری اضافه شد و با ۶ میلیلیتر عصاره (استون: آب: اسید استیک = ۷۰: ۲۹/۵: ۰/۵، v/v)، تحت

استخراج اولتراسونیک در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. پس از آن، نمونه‌ها در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد، ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. مایع رویی حاصل از عصاره فنول کل استخراج شده بود. سپس مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتو و ۰/۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد (وزنی/حجمی) به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره بذر اضافه شد. روش مشابه اندازه‌گیری میزان فنول کل برای غلظت‌های مختلف محلول استاندارد گالیک اسید (۰ تا ۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به عنوان شاهد انجام شد. واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انجام شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (DR3900, Hach, Germany) انجام شد (Chen *et al.*, 2023).

سنجش کربوهیدرات‌های محلول

برای اندازه‌گیری محتوای کربوهیدرات‌های محلول، مقدار ۰/۵ گرم بذر آسیاب شده به ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه و همگن شد. قسمت رویی محلول جدا گردید. عمل استخراج دو بار دیگر و هر بار با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. سپس محلول در سانتریفیوژ با دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه (rpm) به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد. سپس مقدار ۰/۱۵ گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد حل گردید. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره الکلی سانتریفیوژ شده در لوله آزمایش ریخته شد و سه میلی‌لیتر معرف آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه گردید. این محلول پس از مخلوط شدن به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آبگرم با دمای ۹۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از سرد شدن، جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (DR3900, Hach, Germany) در طول موج ۶۲۵ نانومتر انجام (Rezaee *et al.*, 2002) و میزان کربوهیدرات‌های محلول طبق رابطه ی ۲ محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۲: } ۱۰۰ \times (\text{وزن نمونه} \times ۰/۵ \times \text{حجم عصاره} \times ۱۵) \times (OD_{625}/۱۰۰۰) = \text{کربوهیدرات نهایی } (\%)$$

تجزیه آماری

آنالیز داده‌ها از روش تجزیه واریانس و با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت. آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه اثر تراکم بوته (۹۱۰۰۰، ۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار) بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا (Gizal, Titicaca, Q26 و Q29) در شهرستان میناب مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تراکم بوته و رقم روی صفات مرتبط با تغذیه نظیر فنول کل، پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر کینوا در سطح یک درصد معنی‌داری بود، در حالیکه اثر رقم و تراکم روی کربوهیدرات‌های محلول در سطح پنج درصد معنی دار بود. برهمکنش رقم-تراکم روی

فنول کل، پروتئین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر کینوا در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما روی کربوهیدرات اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف رقم و تراکم

Table 1 – Analysis of variance of the studied traits under different treatments of cultivar and density

میانگین مربعات					
کربوهیدرات	فنول	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	پروتئین	درجه آزادی	تکرار
0.4 ^{ns}	0.2 ^{ns}	3 ^{ns}	29 ^{ns}	2	رقم
1.6 [*]	186 ^{**}	77 ^{**}	2507 ^{**}	3	تراکم
1.6 [*]	348 ^{**}	59 ^{**}	5085 ^{**}	2	رقم × تراکم
0.3 ^{ns}	82 ^{**}	32 ^{**}	1084 ^{**}	6	خطا
0.4	2	7	141	24	ضریب تغییرات
56.6	4.7	16.9	11.9		

^{ns}، * و ** بترتیب به معنی عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تراکم ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار میزان بالاتری نسبت به دو تراکم ۹۱۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار قرار داشت، در حالیکه بین دو تراکم ۹۱۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱ و جدول ۲، $P < 0.05$). همچنین رقم Gizal بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به سایر ارقام نشان داد (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر میانگین آنتی‌اکسیدان (%) در تیمارهای مختلف رقم و تراکم

Table 2 – Average antioxidant values (%) in various treatments of cultivar and density

رقم	تراکم (بوته در هکتار)			میانگین
	91000	150000	175000	
Titicaca	11.9 ^{de}	13.2 ^{cd}	14.9 ^{bcd}	13.3 ^B
Gizal	19.3 ^{ab}	20.1 ^a	18.6 ^{ab}	19.3 ^A
Q26	7.3 ^f	15.7 ^{abcd}	18.6 ^{ab}	13.8 ^B
Q29	13.2 ^{cde}	9.6 ^{ef}	17.2 ^{abc}	13.3 ^B
میانگین	12.9 ^β	14.6 ^β	17.3 ^α	

مقادیری که با حروف غیرمشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمالاتی ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار شده است.

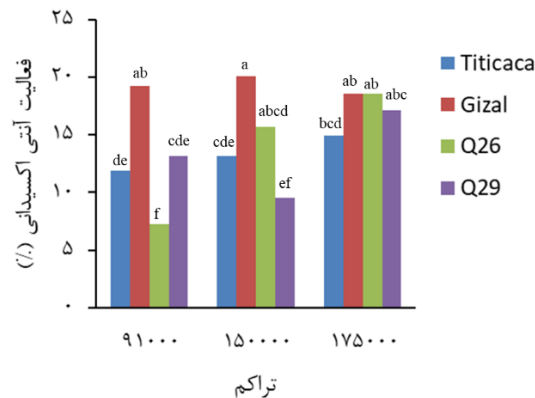
بیشترین میزان پروتئین کل در تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار مشاهده شد و بین هر سه گروه تراکم تفاوت معنی‌داری حاصل شد (شکل ۲ و جدول ۳، $P < 0.05$). همچنین رقم Titicaca و Q29 بیشترین میزان پروتئین کل را نسبت به سایر ارقام نشان داد و بیشترین میزان پروتئین کل در رقم Titicaca و تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار بدست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر میانگین پروتئین کل (میکروگرم/ میلی لیتر) در تیمارهای مختلف رقم و تراکم

Table 3 - Average total protein values (micrograms/milliliter) in various treatments of different cultivars and densities

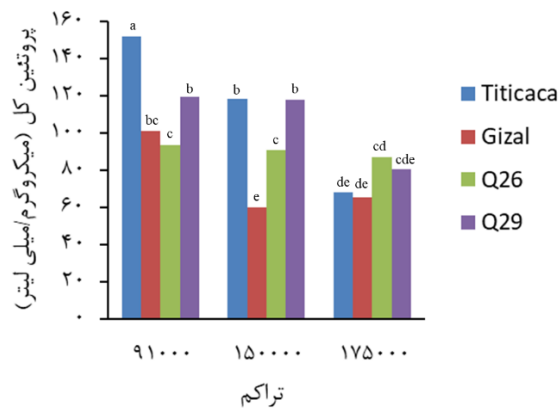
رقم	تراکم (بوته در هکتار)			میانگین
	91000	150000	175000	
Titicaca	152 ^a	118.5 ^b	67.8 ^{de}	112.7 ^A
Gizal	100.8 ^{bc}	59.8 ^e	65.5 ^{de}	75.3 ^C
Q26	93.6 ^c	90.9 ^c	87.1 ^{cd}	90.5 ^B
Q29	119.3 ^b	117.8 ^b	80.7 ^{cde}	105.9 ^A
میانگین	116.4 ^α	96.7 ^β	75.3 ^γ	

مقادیری که با حروف غیرمشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمالاتی ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار شده است.



شکل ۱. بررسی تأثیر تراکم بوته بر روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی در بذر چهار رقم کینوا

Figure 1. The study of the effect of planting density on antioxidant activity in seeds of four quinoa cultivars



شکل ۲. بررسی تأثیر تراکم بوته بر روی میزان پروتئین کل در بذر چهار رقم کینوا

Figure 2. The study of the effect of planting density on the total protein content in the seeds of four quinoa cultivars

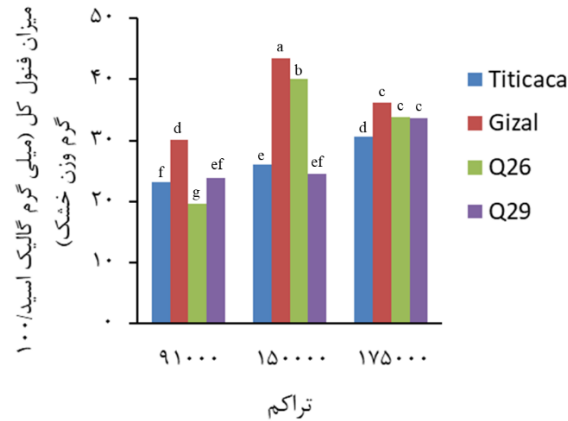
میزان فنول کل در تراکم ۱۷۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار میزان بالاتری نسبت به تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار نشان داد، در حالی که بین دو تراکم ۱۷۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳ و جدول ۴، $P < 0.05$). همچنین رقم Gizal بیشترین میزان فنول کل را نسبت به سایر ارقام نشان داد و بیشترین میزان فنول کل در رقم Gizal و تراکم ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار بدست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر میانگین فنول کل (میلی گرم گالیک اسید / ۱۰۰ گرم وزن خشک) در تیمارهای مختلف رقم و تراکم

Table 4 - Average values of total phenol content (milligrams of gallic acid / 100 grams of dry weight) in various treatments of cultivar and density

رقم	تراکم (بوته در هکتار)			میانگین
	91000	150000	175000	
Titicaca	23.2 ^f	26.1 ^e	30.7 ^d	26.7 ^C
Gizal	30.2 ^d	43.4 ^a	36.1 ^c	36.6 ^A
Q26	19.6 ^g	40.1 ^b	33.8 ^c	31.2 ^B
Q29	23.9 ^{ef}	24.5 ^{ef}	33.7 ^c	27.3 ^C
میانگین	24.2 ^β	33.5 ^α	33.7 ^α	

مقادیری که با حروف غیرمشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمالاتی ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار شده است



شکل ۳. بررسی تأثیر تراکم بوته بر روی میزان فنول کل در بذر چهار رقم کینوا

Figure 3. The study of the effect of planting density on the total phenol content in seeds of four quinoa cultivars

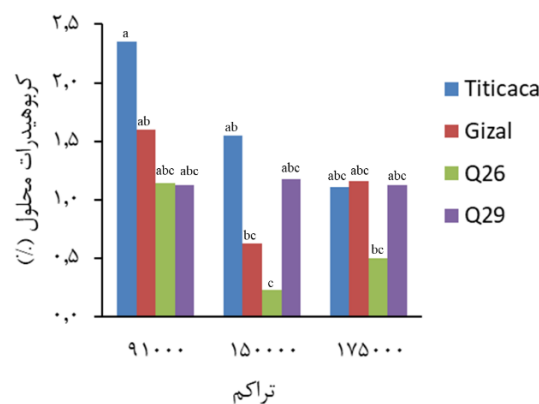
میزان کربوهیدرات‌های محلول در تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار می‌تواند بالاتری نسبت به دو تراکم ۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار نشان داد، در حالی که بین دو تراکم ۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴ و جدول ۵، $P < 0.05$). همچنین ارقام Titicaca، Gizal و Q29 بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول را نشان دادند (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر میانگین کربوهیدرات محلول (%) در تیمارهای مختلف رقم و تراکم

Table 5 - Average values of soluble carbohydrates (%) in various treatments of cultivar and density

رقم	تراکم (بوته در هکتار)			میانگین
	91000	150000	175000	
Titicaca	2.35 ^a	1.55 ^{ab}	1.11 ^{abc}	1.67 ^A
Gizal	1.60 ^{ab}	0.63 ^{bc}	1.16 ^{abc}	1.13 ^{AB}
Q26	1.15 ^{abc}	0.23 ^c	0.50 ^{bc}	0.62 ^B
Q29	1.13 ^{abc}	1.18 ^{abc}	1.13 ^{abc}	1.14 ^{AB}
میانگین	1.56 ^a	0.97 ^β	0.90 ^β	

مقادیری که با حروف غیرمشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمالاتی ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار شده است



شکل ۴. بررسی تأثیر تراکم بوته بر روی میزان کربوهیدرات‌های محلول در بذر چهار رقم کینوا

Figure 4. The study of the effect of planting density on the soluble carbohydrate content in the seeds of four quinoa cultivars

بیشترین میزان پروتئین کل و کربوهیدرات‌های محلول در تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار، بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تراکم ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار و بیشترین میزان فنول کل در تراکم‌های ۱۵۰۰۰۰ و ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار مشاهده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر در تراکم ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار می‌تواند به دلیل میزان ترکیبات فنولی بیشتر در بذر کینوا باشد. مطالعه انجام شده توسط Yang و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی در بذر کینوا همبستگی مثبت وجود دارد (Yang *et al.*, 2024). همچنین نتایج مربوط به بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول کل در بیشترین تراکم (۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار) مطابق با یافته‌های دیگران در گیاهان مختلف بود که نشان دادند فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش تراکم بوته بیشتر می‌شود (Taleie *et al.*, 2012; Lombardo *et al.*, 2009; Danesi *et al.*, 2014; Hosseini *et al.*, 2022). رقابت بیشتر درون گونه‌ای گیاهان برای جذب مقادیر کافی آب، نور و مواد غذایی در تراکم‌های بالاتر مشاهده می‌شود که منجر به پاسخ بیوشیمیایی گیاه و در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و القای سنتز محتوای فنول کل می‌شود (Hosseini *et al.*, 2022; Lombardo *et al.*, 2009). همچنین گزارش شده است که بعضی از ترکیبات فنولی ممکن است به عنوان عوامل آللوپاتیک عمل کنند و باعث اثر بازدارندگی روی فرایندهای رشدی، دسترسی، سرعت جذب و تجمع بسیاری از مواد غذایی معدنی در خاک شوند (Lombardo *et al.*, 2009). با افزایش تراکم بوته، میزان پروتئین کل و کربوهیدرات‌های محلول کاهش یافتند که دلیل آن را می‌توان به افزایش رقابت گیاه برای آب مواد غذایی و کاهش فتوسنتز مرتبط دانست. به نظر می‌رسد که از تراکم‌های بیش از ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار، محدودیت در جذب نور و آب و توسعه ریشه شروع می‌شود. تراکم بوته از عوامل مؤثر بر روی عملکرد بذر محسوب می‌شود که روی جذب و استفاده از عوامل محیطی و رقابت گیاهان اثر می‌گذارد (Prasad and Yadav, 1990). در مطالعه انجام شده توسط اعتباری و همکاران (۲۰۲۲)، با افزایش تراکم بوته، وزن پانیکول کینوا کاهش یافت که به افزایش رقابت گیاه در مرحله رشد زایشی نسبت داده شد. بیشترین میزان پروتئین کل در ارقام Titicaca و Q29، بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بیشترین میزان فنول کل در رقم Gizal و بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در ارقام Gizal، Titicaca و Q29 مشاهده شد. مطالعات اخیر نشان داده اند که اختلافات ژنتیکی بین ارقام مختلف گیاهان زراعی عملکرد نهایی گیاه را تحت‌تاثیر قرار می‌دهند (Najafinejad *et al.*, 2008; Corraliza *et al.*, 2019). تفاوت‌های ژنتیکی در ارقام مختلف یک گونه گیاهی روی جذب نور، میزان فتوسنتز و عملکرد ارقام مختلف تأثیر دارند (Corraliza *et al.*, 2019). تفاوت بین ارقام در صفات اندازه‌گیری شده، می‌تواند به خصوصیات ژنتیکی و توانایی هر رقم در دریافت تشعشع خورشیدی، توان فتوسنتزی، دریافت و انتقال مواد پرورده به بذر مرتبط باشد (Najafinezhad *et al.*, 2022). بالا بودن درصد پروتئین خام در بذر کینوا باعث سازگاری این گیاه به خشکی می‌شود. میزان متفاوت پروتئین خام در ارقام مختلف کینوا به ساختار ژنتیکی و واکنش متفاوت رقم به شرایط محیطی مربوط می‌شود (Gonzalez *et al.*, 2012; Miranda *et al.*, 2013). مطالعه اخیر نشان داد که میزان پروتئین بذر در ارقام کینوا تحت شرایط

محیطی مختلف تغییر می‌کند (Gonzalez *et al.*, 2012). بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در رقم Gizal با بیشترین میزان فنول کل مشاهده شد که بیانگر اثر ترکیبات فنولی بر روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذر کینوا می‌باشد. آنتی‌اکسیدان‌ها نقش مهمی در حفاظت بافت‌ها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کنند و باعث جلوگیری از بیماری‌هایی نظیر عوارض قلبی، سرطان، آلزایمر و ... می‌شوند (Ames *et al.*, 2003). بنابراین، استفاده از بذر گیاهان کینوا با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر در محصولات غذایی می‌تواند فواید قابل توجهی در سلامتی انسان ایفا کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط اقلیمی گرم و مرطوب میناب و وجود بحران آب، کاشت گیاهان سازگار به این شرایط در این منطقه از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. گیاه کینوا با دارا بودن خصوصیات تحمل بالا در برابر شوری و خشکی، ارزش غذایی بالای بذر و دوره رشد کوتاه می‌تواند گزینه مناسبی جهت کشت در این منطقه باشد. در این مطالعه، اثر تراکم بوته بر روی کیفیت تغذیه‌ای بذر چهار رقم کینوا بررسی شد و نتایج نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنول کل در تراکم ۱۷۵۰۰۰ بوته در هکتار و میزان پروتئین کل و کربوهیدرات‌های محلول در تراکم ۹۱۰۰۰ بوته در هکتار عملکرد بهتری داشتند. رقم Gizal کینوا در صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و کربوهیدرات‌های محلول عملکرد بالایی نشان داد، در حالی که ارقام Titicaca و Q29 کینوا بیشترین میزان پروتئین کل و کربوهیدرات‌های محلول را به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج این تحقیق، گیاه کینوا به دلیل تحمل در برابر شوری و خشکی می‌تواند در منطقه میناب به خوبی رشد نموده و عملکرد قابل توجهی داشته باشد. نتایج حاضر نشان داد که کیفیت تغذیه‌ای کینوا تحت تأثیر رقم و تراکم بوته قرار می‌گیرد. رقم Gizal کینوا با توجه به اینکه در اغلب صفات تغذیه‌ای مورد بررسی دارای برتری بود، به عنوان مطلوب‌ترین رقم از لحاظ ارزش غذایی برای کاشت در منطقه معرفی می‌گردد. همچنین، تراکم بهینه بوته کینوا بسته به صفت تغذیه‌ای متفاوت بود. در نتیجه، مطالعات بیشتری در جهت تعیین اثر رقم و تراکم بوته روی عملکرد دانه کینوا ضروری می‌باشد که بتوان بر اساس مجموعه‌ای از صفات تغذیه‌ای و عملکردی، بهترین رقم و تراکم بوته را در منطقه انتخاب کرد.

منابع

Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17): 7915–7922.

Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (2015). State of the art report on quinoa around the world in 2013. In: Bazile, D (Ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Santiago, Chile. 605 p.

Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*. An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23: 73–87.

- Carciochi, R. A., Galván-D'Alessandro, L., Vandendriessche, P., & Chollet, S. (2016).** Effect of germination and fermentation process on the antioxidant compounds of quinoa seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71: 361–367.
- Chen, X., Zhang, Y., Cao, B., Wei, X., Shen, Z., & Su, N. (2023).** Assessment and comparison of nutritional qualities of thirty quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed varieties. *Food Chemistry: X*, 19, 100808.
- Arenas-Corraliza, M. G., Rolo, V., López-Díaz, M. L., & Moreno, G. (2019).** Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions. *Scientific Reports*, 9(1), 9547.
- Danesi, F., Valli, V., Elementi, S., & D'Antuono, L. F. (2014).** The agronomic techniques as determinants of the phenolic content and the biological antioxidant effect of palm–tree kale. *Food and Nutrition Sciences*, 5(1):1–7.
- Eisa, S. S., Abd El Samad, E. H., Hussin, S. A., Ali, E. A., Ebrahim, M., González, J. A., Ordano, M. A., Erazzú, L. E., El Bordeny, N. E., & 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: 515–522.
- Etebari, A. R., Galeshi, S., Anaghali, A., & Torabi, B. (2022).** Investigation of the effect of planting date and density on quinoa in saline and rainfed conditions. *Crop Production Journal*, 15 (2): 219–236.
- Gómez, M. J. R., Prieto, J. M., Sobrado, V. C., & Magro, P. C. (2021).** Nutritional characterization of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) varieties cultivated in Southern Europe. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99: 103876.
- Gonzalez, J. A., Konishi, Y., Bruno, M., Valoy, M. & Prado, F. E. (2012).** Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa* – willd.) cultivars from two different agroecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1222–1229.
- Hosseini, S. A., Karimzadeh, K., Mozafari, H., Sani, B., & Mirza, M. (2022).** Cattle manure influences plant yield, antioxidant capacity and essential oil quality of Sahandi savory (*Satureja sahendica* bornm.) under different plant densities. *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 11(Special): 77–85.
- Jacobsen, S. E. (2003).** The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1–2): 167–177.
- Jamali, S., Sharifan, H., Hezarjaribi, A. & Sepahvand, N. A. (2016).** The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of quinoa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 6: 98–110.
- Javanmard, A. S., & Khakdan, F. (2021).** Antioxidant potential of *Chenopodium quinoa* as a nutraceutical. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology*, 6(2): 71–79.
- Kumar, R., Bhardwaj, S., Sikarwar, M., Kumar, A., Singh, B. R., Gupta, M., & Shukla, R. (2024).** Innovative food applications of quinoa: exploring novel insights into its nutritional potential and biological activities. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107133.
- Lombardo, S., Pandino, G., Mauro, R., & Mauromicale, G. (2009).** Variation of phenolic content in globe artichoke in relation to biological, technical and environmental factors. *Italian Journal of Agronomy*, 4(4): 181–189.
- Matiacevich, S. B., Castellió, M. L., Maldonado, S. B., & Buera, M. P. (2006).** Water-dependent thermal transitions in quinoa embryos. *Thermochimica Acta*, 448(2): 117–122.

Miranda, M., Vega–Galvez, A., Martinez, E. A., Lopez, J., Marin, R., Aranda, M. & Fuentes, F. (2013). Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: Nutritional and functional properties. *Journal of Agricultural Research*, 73: 108–116.

Mohd–Esa, N., Hern, F. S., Ismail, A., & Yee, C. L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food chemistry*, 122(4): 1055–1060.

Mostafae, M., Al–Ahmadi, M. J., Salehi, M., & Shahidi, A. (2023). Investigation of physiological and yield characteristics of quinoa as affected by different levels of irrigation and plant density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(1): 29–46.

Najafinejad, H., Farzamnia, M & Javaheri, M. A. (2008). The effect of planting pattern on yield, agronomic characteristics and water use efficiency of grain maize. *Journal of Pajouhesh Va Sazandgi*, 2: 53–47.

Najafinezhad, H., Koochi, 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.

Nowak, V., Du, J., & Charrondièrre, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193: 47–54.

Pedrali, D., Giupponi, L., De la Peña–Armada, R., Villanueva–Suárez, M. J., & Mateos–Aparicio, I. (2023). The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors. *Food Chemistry*, 402: 133531.

Prasad, T., & Yadav, D. S. (1990). Effect of irrigation and plant density on yield attributes and yield of green gram and black gram. *Indian Journal of Agronomy*, 35: 99–151.

Rezaee, M. B., Naderi Hagybagercandy, M., & Moalemi, M. A. H. M. O. U. D. (2002). Determination of solution carbohydrate in Jell of *Aloe vera* (L.) Burm. f. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 15(1): 83–89.

Sepahvand, N.A., Tavazoa, M. & Kohbazi, M. (2010). Quinoa valuable plant for alimentary security and adaptation agricultural in Iran. 11th National Iranian Crop Science Congress. 24–26 Jul. Tehran.

Smith, D. L. & C. Hamel. (2005). (Emam, Y. and Seghateleslami, M. J.) Crop Yield Physiology and Processes. Shiraz University Press 376 pp.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic–Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic–Opsenica, D., ... & Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55(2): 132–138.

Tahmasebi, A., Roach, T., Shin, S. Y., & Lee, C. W. (2023). *Fusarium solani* infection disrupts metabolism during the germination of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1225426.

Taleie, N., Hamidoghli, Y., Rabiei, B., & Hamidoghli, S. (2012). Effects of plant density and transplanting date on herbage, stevioside, phenol and flavonoid yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(6): 298–302.

Van Minh, N., Hoang, D. T., Van Loc, N., & Long, N. V. (2020). Effects of plant density on growth, yield, and seed quality of quinoa genotypes under rain–fed conditions on red basalt soil regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14: 1977–1982.

Xia, H., Wang, L., Xue, Y., Kong, W., Xue, Y., Yu, R., Xu, H., Wang, X., Wang, J., & Liu, Z. (2019). Impact of increasing maize densities on agronomic performances and the community stability of productivity of maize/peanut intercropping systems. *Agronomy Journal*, 9(3): 150.

Yang, C., Zhu, X., Liu, W., Huang, J., Xie, Z., Yang, F., ... & Wei, Y. (2024). Quantitative analysis of the phenolic compounds and antioxidant activities of six quinoa seed grains with different colors. *LWT*, 203: 116384.