Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

Study the relationship between agronomical traits and mineral elements of grain in three genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under effect of planting date and planting density

Barakatullah Rabbani [1], Mahmud Khoramivafa [2]✉, Mohsen Saeidi [3], Mahmoud Bagheri [4] & Leila Zarei [5]

[1] Ph.D. Student in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: sbarakatrabbani@gmail.com

[2]✉ Department of Plant Production and Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: khoramivafa@razi.ac.ir

[3] Department of Plant Production and Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: msaeidi@razi.ac.ir

[4] Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: m-bagheri@areeo.ac.ir

[5] Department of Plant Production and Genetics, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: lzarei1360@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as a members of the *Amaranthaceae* family is a dicotyledon pseudocereal. Quinoa is a plant that is very resistant to nonfavorable environmental conditions and shows high resistance to biotic and abiotic stresses. Quinoa seeds have a higher nutritional value than many cereal grains and contain higher quality protein and large amounts of carbohydrates, fat, vitamins and minerals, which are used both in human food and for feeding animals. The high adaptability of this product to different weather conditions has increased the yield of its various types in countries outside of South America. The existence of nutritious compounds of quinoa seeds, including the combination of amino acids, minerals and vitamins, has led to more research on the properties of this plant.

Materials and methods: The field experiment was conducted to study the relationship between agronomic traits (including plant height, panicle length, number of seeds per plant, plant yield, thousand seed weight, seed yield, biological yield and harvest index) and mineral elements of quinoa seeds (including Zn, Fe, Mn, Na, Ca, K, and P). The experiment was conducted in 2018-2019 growing season at the faculty of agriculture, Razi University, Kermanshah with a randomized complete blocks design as a split-plot factorial with three replications. The experimental treatments were included three planting dates (March 15, April 15 and May 15) as the main factor and the combination of planting densities (40 and 60 plants/m^2) with genotypes (Q29, Titicaca and Red Carina) as subplot factor.

Results: The results of the experiment showed that the seed yield (2297.5 kg/ha) in sowing date of April was significantly higher than March and May (1484.5 and 2137.7 kg/ha) sowing dates respectively. The effect of the studied treatments on the mineral elements of quinoa seed was insignificant. The mean comparison for plant density showed that the density 60 plants/m^2 had higher seed yield than the density 40 plants/m^2. The results of canonical correlation analysis showed that Wilk's lambda statistic was significant at 5% probability level in the case of the first function, indicating the existence of a significant correlation between the two groups of the studied traits.

Conclusion: The results of this evaluation showed that zinc (Zn) and phosphorus (P) had the highest correlation with the corresponding focal function among the mineral elements. Among the agronomical traits, the highest correlation was between the traits of 1000 seed weight and panicle length with the first focal function. Therefore, the plants with higher values of 1000 seeds weight and panicle length, can be used to select seeds with higher amount of zinc (Zn) and phosphorus (P).

Keywords: Canonical correlation, Sowing date, Mineral elements, Quinoa.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 04/08/2022, **Revised:** 23/08/2022, **Accepted:** 23/09/2022, **Published online:** 29/09/2022

Cite this article: Rabbani, B., Khoramivafa, M., Saeidi. M., Bagheri, M. & Zarei, L. (2022). Study the relationship between agronomical traits and mineral elements of grain in three genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under effect of planting date and planting density. Cereal Biotechnology and Biochemistry. 1 (3). 390-413. DOI: 10.22126/cbb.2022.8238.1017

© The Author(s).

10.22126/cbb.2022.8238.1017

Publisher: Razi University

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

بررسی ارتباط صفات زراعی با عناصر معدنی دانه در سه ژنوتیپ کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته

برکت اله ربانی [۱]، محمود خرمی وفا [۲] ✉، محسن سعیدی [۳]، محمود باقری [۴] و لیلا زارعی [۵]

[۱] دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران. رایانامه: sbarakatrabbani@gmail.com

[۲] ✉ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: khoramivafa@razi.ac.ir

[۳] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: msaeidi@razi.ac.ir

[۴] موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. رایانامه: m-bagheri@areeo.ac.ir

[۵] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: lzarei1360@yahoo.com

چکیده

مقدمه: کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یک شبه غله دو لپه‌ای است که به خانواده *Amaranthaceae* تعلق دارد. کینوا گیاهی بسیار مقاوم به-شرایط نامطلوب محیطی است که در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده مقاومت بالایی را از خود نشان می‌دهد. بذر کینوا دارای ارزش غذایی بالاتری نسبت به بسیاری از دانه‌های غلات بوده و حاوی پروتئین با کیفیت بالاتر و مقادیر زیادی از کربوهیدرات‌ها، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است که هم در غذای انسان و هم برای تغذیه حیوانات استفاده می‌شود. سازگاری بالای این محصول با شرایط مختلف آب و هوایی، باعث افزایش عملکرد انواع مختلف آن در کشورهای خارج از آمریکای جنوبی شده است. وجود ترکیبات مغذی دانه کینوا از جمله ترکیب اسید آمینه، مواد معدنی و ویتامین‌ها سبب شده است، تحقیقات بیشتری در خصوص ویژگی‌های آن انجام شود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با هدف بررسی صفات زراعی (شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در بوته، عملکرد بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) و عناصر معدنی دانه کینوا (شامل روی، آهن، منگنز، سدیم، کلیسم، پتاسیم و فسفر) به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۸ اجرا شد. در این آزمایش، تاریخ کاشت (۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱۵ اردیبهشت) به‌عنوان کرت اصلی، تراکم بوته (۴۰ و ۶۰ بوته در متر مربع) و ژنوتیپ‌های (Q29، Titicaca و Red Carina) به‌عنوان عامل‌های اول و دوم در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد دانه در تاریخ کاشت فروردین (۲۲۹۷/۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت اسفند (۱۴۸۴/۵ کیلوگرم در هکتار) و اردیبهشت (۲۱۳۷/۷ کیلوگرم در هکتار) بود. تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر عناصر معدنی دانه کینوا غیر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برای تراکم بوته نشان داد که تراکم ۶۰ بوته در متر مربع در مقایسه با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. نتایج تجزیه همبستگی کانونیک نشان داد که معنی‌دار شدن آماره ویلکس لمدا (Wilk's lambda) در سطح احتمال پنج درصد در ارتباط با تابع اول، حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار بین دو گروه صفات مورد مطالعه است

نتیجه‌گیری: نتایج این ارزیابی نشان داد که در بین عناصر معدنی دانه، روی (Zn) و فسفر (P) بیشترین همبستگی با تابع کانونی مربوطه را داشتند. از بین صفات زراعی، بیشترین همبستگی بین صفات وزن هزار دانه و طول خوشه با تابع کانونی اول بود. ازین‌رو، می‌توان از گیاهان دارای مقادیر بالاتر دو صفت وزن هزار دانه و طول خوشه، برای گزینش دانه‌های با مقدار روی و فسفر بالاتر استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: همبستگی کانونیک، زمان کاشت، عناصر معدنی، کینوا

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۳ **اصلاح:** ۱۴۰۱/۰۶/۰۱ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۷/۰۱، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

استناد: ربانی، ب.، خرمی‌وفا، م.، سعیدی، م.، باقری، م. و زارعی، ل. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط صفات زراعی با عناصر معدنی دانه در سه ژنوتیپ کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته. بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۳). ۳۹۰-۴۱۳. DOI: 10.22126/cbb.2022.8238.1017

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

CC BY NC

مقدمه

امروزه تقاضا برای مواد غذایی سالم با خواص عملکردی بالا موجب جستجو برای یافتن راهکارهایی در جهت افزایش ویژگی‌های مفید مواد غذایی شده است. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) یک شبه غله است که به خانواده *Amaranthaceae* و دولپه‌ای‌ها تعلق دارد (Pezeshky *et al*., 2022). کینوا گیاهی بسیار مقاوم به شرایط نامطلوب محیطی است که در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده مقاومت بالایی را از خود نشان می‌دهد. این گیاه با قدمتی بیش از ۵۰۰۰ سال، بومی منطقه آند در بولیوی، شیلی و پرو و دارای دانه‌های گرد و ریز است که به‌عنوان یک محصول چند منظوره کشت می‌شود و در کشورهای آمریکای جنوبی به نام برنج اینکا معروف است (Curti *et al*., 2018). تنوع ژنتیکی گیاه کینوا بسیار زیاد است، زیرا ارقام کینوا در محدوده وسیعی از محیط از ۲۰ درجه عرض شمالی در کلمبیا تا ۴۰ درجه عرض جنوبی در شیلی و از سطح دریا تا ارتفاع ۳۸۰۰ متر سازگار هستند. سازگاری بالای این محصول با شرایط مختلف آب و هوایی باعث افزایش عملکرد انواع مختلف در کشورهای خارج از آمریکای جنوبی، مانند ایالات متحده آمریکا، کانادا، اروپا، هند و چین شده است (Hernández-Ledesma, 2019). کینوا یکی از منابع پروتئین گیاهی با ارزش تغذیه‌ای بالا و فاقد گلوتن است. بنابراین می‌تواند جایگزین گندم در بیماران مبتلا به سلیاک شود. همچنین دانه کینوا حاوی آهن، منیزیم، فیبر، ویتامینE، مس، فسفر، پتاسیم، روی و اجزای زیست فعال متنوعی مانند پلی‌فنول‌ها، کاروتنوئیدها و اسید اولئیک می‌باشند که همگی این موارد برای سلامتی انسان مفید هستند (Filho *et al*., 2017). با توجه به روند افزایش جمعیت در جهان و کمبود منابع پروتئین حیوانی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که میانگین میزان دریافت پروتئین آن‌ها کمتر از نیاز طبیعی بدن می‌باشد، استفاده از پروتئین‌های گیاهی نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند. از میان پروتئین‌های گیاهی، دانه کینوا به علت درصد پروتئین و ارزش غذایی بالای آن مورد توجه می‌باشد (Safar *et al*., 2019). میزان کل پروتئین دانه کینوا (۱۶/۳ درصد) در مقایسه با دانه‌های غلات، بالاتر از جو (۱۱ درصد)، برنج (۷/۵ درصد) و ذرت (۱۳/۴ درصد) است و قابل مقایسه با گندم (۱۵/۴ درصد) می‌باشد. با این حال، دانه کینوا حاوی پروتئین نسبتاً کمتری در مقایسه با دانه حبوبات است (Awadalla & Morsy, 2017).

یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده بهره‌وری هر محصول جدید در منطقه خاص، شناسایی زمان بهینه کاشت گیاه است که نیازهای محیطی آن را برآورده می‌کند. زمان بهینه کاشت، به‌عنوان اولین مرحله در سیستم تولید محصول ارائه شده است که منجر به توسعه فناوری تولید به ویژه برای محصول جدید در منطقه می‌شود. تاریخ کاشت کینوا یکی از اصلی‌ترین عواملی است که نقش مهمی در تولید آن ایفا می‌کند (Awadalla & Morsy, 2017). این گیاه دامنه

تاریخ کاشت متفاوتی در مناطق مختلف دنیا دارد و شناخت این موضوع، یکی از مهمترین فعالیت‌های کشت و کار کینوا می‌باشد، چرا که بر ظهور گیاه‌چه، تراکم و در نهایت عملکرد تاثیرگذار است (Hirich *et al*., 2014). تراکم کاشت یکی از مهمترین اقدامات کشاورزی است که بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد. تراکم گیاه باعث تغییر روند رشد و نمو می‌شود و در نتیجه بر تولید و تقسیم کربوهیدرات تأثیر می‌گذارد. یک عامل کلیدی برای تولید موفق محصولات کشاورزی، حجم و ورودی‌های انرژی مانند شدت نور است. مقدار نوری که به کانوپی گیاه می‌رسد و توسط فرآیند فتوسنتز جذب می‌شود، عمدتاً با تراکم گیاه تغییر می‌کند (Eisa *et al*., 2018).

تجزیه همبستگی کانونی بیانگر ارتباط خطی بین دو سری از متغیرها می‌باشد. با استفاده از همبستگی‌های ساده بین صفات، نمی‌توان رابطه علت و معلولی بین این صفات به‌درستی تحلیل نمود. تجزیه همبستگی کانونی قادر به تحلیل هم‌زمان تعداد زیادی متغیر بوده که روابط بین آن‌ها را آشکار می‌سازد (Tahmasebpour *et al*., 2021). همبستگی کانونی مدلی چند متغیره است و می‌توان از طریق آن رابطه خطی بین دو گروه متغیر را مشخص نمود. این تجزیه در مطالعات تنوع ژنتیکی و یافتن رابطه بین صفات زراعی با صفات دیگر استفاده می‌شود (Protásio *et al*., 2012; Johnson & Wichern, 2002; Raykov & Marcoulides, 2008). همچنین، تجزیه همبستگی کانونی، همانند روش‌های آماری چندمتغیره دیگر، به‌منظور برآورد یا کاهش تعداد داده‌ها به‌کار می‌رود و شکل تعمیم یافته رگرسیون چندگانه است که برای آشکارسازی رابطه بین دو مجموعه از متغیرها استفاده می‌شود (Sharma, 1996). هدف از تجزیه همبستگی کانونی به‌دست آوردن ترکیب خطی از متغیرهای مستقل دارای حداکثر همبستگی با ترکیب خطی از متغیرهای وابسته است که به‌صورت ترکیب خطی به شکل زیر بیان می‌شود (Johnson & Wichern, 2002).

$$V= a'x= a_1 x_1 + a_2 x_2 +\ldots+ a_p x_p \qquad (۱)$$

$$W= b'y= b_1 y_1 + b_2 y_2 +\ldots+ b_q y_q \qquad (۲)$$

در معادله فوق، V و W به ترتیب عبارتند از ترکیب خطی مربوط به صفات زراعی و ترکیب خطی مربوط به عناصر معدنی دانه؛ X و Y به‌ترتیب عبارتند از صفات زراعی و عناصر معدنی دانه. اندیس‌های p و q نیز به‌ترتیب بیانگر تعداد صفات زراعی و عناصر معدنی دانه هستند. برای یافتن ارتباط بین خصوصیات گندم و انعکاس با ندهای طیفی مختلف که از راه دور کنترل می شود، از تجزیه همبستگی کانونی استفاده شده است (Korobov & Railyan, 1993). بررسی متغیرهای کانونیکی برای عملکرد و صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی نشان داد که افزایش زیست توده منجر به افزایش تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در سنبله و در نهایت سبب افزایش عملکرد بوته در گیاه گندم می‌شود (Saba *et al*., 2018). همچنین این روش برای آزمون ارتباط بین

خصوصیات خاک و جمعیت علف‌های‌هرز استفاده شده است (Dieleman *et al.*, 2000). در گیاه کینوا، تحقیقات کمتری با راهکار تجزیه کانونیک نسبت به دیگر گیاهان روی صفات مختلف زراعی یا فیزیولوژیکی انجام شده است. بنابراین، هدف از این آزمایش، بررسی روابط بین صفات زراعی با صفات کیفی (عناصر غذایی) و استفاده از این روابط در یافتن ارقام پر محصول و پر ارزش از نظر تغذیه، تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته در شرایط آب و هوایی کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، با عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۸ متری از سطح دریا اجرا شد. اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های نزدیکترین ایستگاه هواشناسی در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. در این آزمایش، تاریخ کاشت (۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین و ۱۵ اردیبهشت) به‌عنوان کرت اصلی، تراکم بوته (۴۰ و ۶۰ بوته در متر مربع) و ژنوتیپ‌ها (Q29، Titicaca و Red Carina) به‌عنوان عامل‌های اول و دوم در کرت‌های فرعی بودند. بذرهای کینوا از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بود. زمین محل اجرای این آزمایش در سال زراعی قبل، تحت کشت گندم بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک زمین محل اجرای آزمایش به‌صورت تصادفی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد و به‌منظور تعیین میزان ماده آلی، عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، pH و EC به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه.

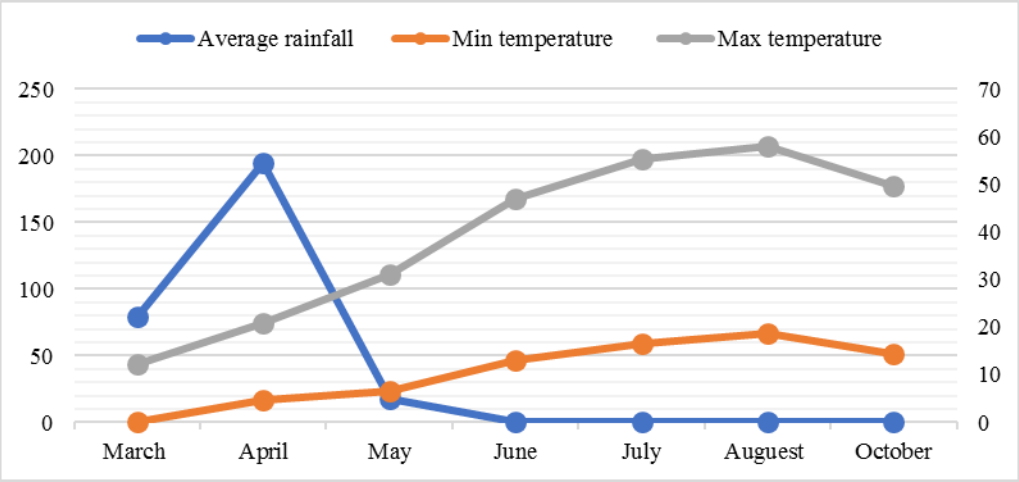
Table 1. Physical and chemical characteristics of farm soil.

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	OM (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	Texture	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
7.75	0.83	1.16	440	11.4	0.116	Loam	3.23	4.8	1.03	1.4

قبل از کاشت، به مقدار دو تن کود گاوی پوسیده به زمین اضافه و با خاک مخلوط شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی چهار متر مربع (۳/۲۵ در ۱/۲۰ متر) بود. در هر کرت، پنج ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد و بذرها روی پشته‌ها با فاصله ۷ و ۱۰ سانتی‌متر و در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متر به‌صورت کپه‌ای و در تاریخ‌های ذکر شده کشت شد. با رسیدن گیاه به ارتفاع پنج سانتی‌متر، عملیات تنک کردن انجام شد. آبیاری بر اساس ضرورت در کل دوره رشد با سیستم بارانی انجام گرفت. کنترل علف‌هرز به‌صورت وجین دستی و در مواقع لزوم انجام شد. در این آزمایش

هشت صفت زراعی و هفت صفت مرتبط با عناصر معدنی دانه به شرح زیر اندازه‌گیری گردید.

صفات زراعی شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در بوته، عملکرد بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بودند. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، از هر واحد آزمایشی پنج بوته در هنگام برداشت به طور تصادفی انتخاب و سپس ارتفاع آن‌ها از سطح زمین تا نوک گل آذین روی ساقه اصلی بر حسب سانتی‌متر اندازه-گیری شده و میانگین آن ثبت گردید. برای تعیین وزن هزار دانه، چهار نمونه ای ۱۰۰۰ عدد از هر تیمار توزین شده و میانگین به‌دست آمده به‌عنوان وزن هزار دانه ثبت گردید. برای اندازه گیری عملکرد نهایی دانه در هر کرت، بوته‌های سه ردیف میانی با در نظر گرفتن اثر حاشیه به‌طول نیم‌متر، برداشت شدند. شکل ۱ میانگین بارندگی و دمای مکان آزمایش را در سال اجرای آزمایش نشان می‌دهد.



شکل ۱- میانگین بارندگی (میلی‌متر) و دمای حد اکثر و حداقل (درجه سانتی‌گراد) منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۷ – ۱۳۹۸.

Figure 1. Mean rainfall (mm), maximum and minimum temperatures (°C) of the study area in 2018-2019 cropping year.

عناصر معدنی دانه کینوا فقط در یک تکرار مطابق روش میراندا و همکاران (Miranda *et al.*, 2012) اندازه‌گیری گردید، نمونه‌ها پس از سایه خشک شدن، با آسیاب برقی پودر شدند. در نهایت، روی نمونه‌های پودر شده تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی لازم انجام گردید. مقدار فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu Instruments, Inc., Spectrophotometer UV-120-02, Kyoto, Japan) در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین شد. مقدار پتاسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی فلم فتومتر (Flam atomic emission spectroscopy) اندازه‌گیری شد. مقادیر

کلسیم، سدیم، آهن، منگنز و روی با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Flame atomic absorption spectrophotometer model phoenix-986 (England) اندازه‌گیری شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف در نرم افزار SPSS IBM 23 بررسی شد و سپس داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم‌افزار SAS ver. 9.1 مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) قرار گرفتند ($p < 0.05$). رسم نمودارها با استفاده از محیط Excel انجام شد. برای تجزیه واریانس صفات شیمیایی، از اثرمتقابل سه‌گانه (اثر متقابل با کمترین اهمیت) به‌عنوان خطا برای آزمودن اثر سایر منابع تغییر استفاده گردید (Milliken & Johnson, 1990). برای تعیین ارتباط بین دو دسته صفات شامل صفات زراعی و عناصر معدنی دانه از تجزیه همبستگی کانونی به کمک نرم افزار SPSS IBM 23 استفاده شد

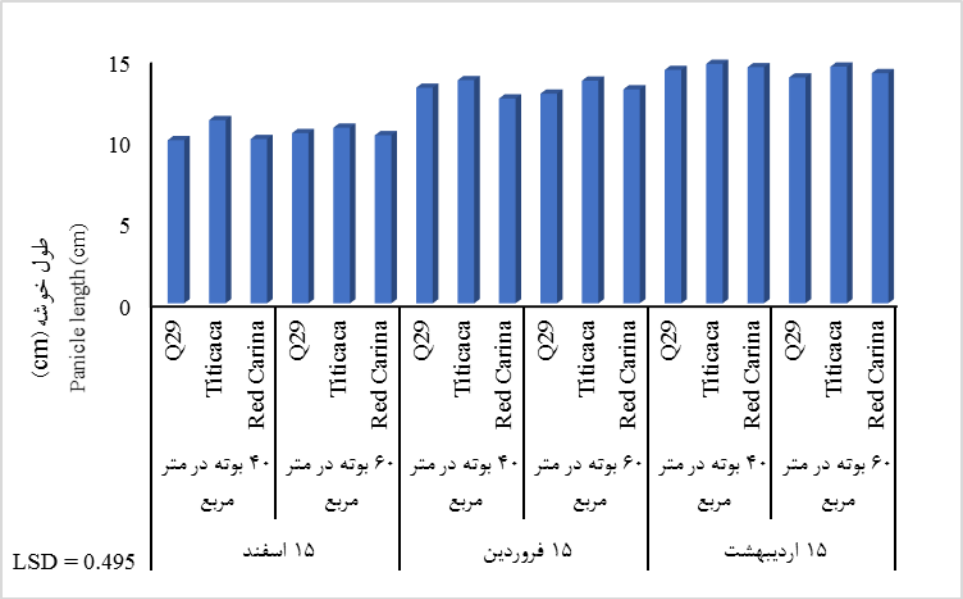
نتایج و بحث

ارتفاع بوته: براساس نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع بوته تحت تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته (۱۰۲/۴۸ و ۸۳/۳۳ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و ۱۵ اسفند مشاهده شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که تأخیر در کاشت از اسفند ماه به فروردین ماه، باعث افزایش ارتفاع بوته و از فروردین ماه به اردیبهشت ماه، سبب کاهش ارتفاع بوته گردیده است. علت اصلی افزایش ارتفاع بوته در تاریخ کاشت دوم (فروردین)، مناسب‌تر بودن شرایط آب و هوا می‌باشد. هرچ و همکاران (Hirich *et al*., 2014) گزارش کردند که در شرایط مواجه شدن مرحله رشد رویشی گیاه با دمای پایین محیط، ارتفاع بوته کینوا افزایش و در شرایط مواجه شدن با دمای بالای محیط، ارتفاع آن کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین برای تراکم بوته نشان داد که بیشترین (۹۷/۶۴ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته (۹۲/۱۷ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تراکم‌های ۶۰ و ۴۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۳). افزایش ارتفاع بوته با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، می‌تواند به‌دلیل رقابت گیاهان برای دریافت نور و مواد غذایی باشد. در صورتی‌که تراکم کاشت بیش از حد زیاد شود، گیاه علاوه بر نور، برای دیگر منابع و عوامل محیطی نیز رقابت می‌کند و با افزایش بیش از حد تراکم، ارتفاع آن کاهش خواهد یافت (Chegeni, 2014). شان و همکاران (Shan *et al*., 2022) مشاهده نمودند که افزایش تراکم، باعث افزایش ارتفاع بوته می‌گردد، زیرا در سطوح پایین تراکم، تخریب نوری اکسین، مانع از طویل شدن میان‌گره‌ها می‌گردد و در اثر آن، ارتفاع بوته نسبت به تراکم بالا کمتر می‌شود. مقایسه میانگین برای اثر ژنوتیپ نشان داد که بیشترین و کمترین ارتفاع بوته (۱۰۰/۱۲ و ۹۰/۲۳ سانتی‌متر) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Q29 و

Red Carina بود (جدول ۳). تفاوت ارتفاع بوته در بین ژنوتیپ‌های مختلف علاوه بر شرایط محیطی نظیر رطوبت، نور و تغذیه، تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی نیز قرار می‌گیرد (Yazdani *et al*., 2007).

طول خوشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت طول خوشه نشان داد که تاریخ کاشت، ژنوتیپ و اثر متقابل تاریخ کاشت × تراکم بوته × ژنوتیپ معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگی نشان داد که بیشترین طول خوشه (۱۴/۷۷ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ژنوتیپ Titicaca و کمترین طول خوشه (۱۰/۰۷ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و ژنوتیپ Q29 به‌دست آمد (شکل ۲). طول خوشه یک صفت ژنتیکی است اما تحت تأثیر عوامل محیطی مانند درجه حرارت، تاریخ کاشت، شرایط خاک و عملیات زراعی نیز قرار می‌گیرد (Sabri *et al*., 2020). آلتونر و همکاران (Altuner *et al*., 2019) گزارش کردند بیشترین (۴۲/۸ سانتی‌متر) و کمترین (۳۱/۱ سانتی‌متر) طول خوشه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ Valiente در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین ماه (۱۵ آوریل) و ژنوتیپ Titicaca در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند (۱۵ مارس) در کشور ترکیه بود.

ژنوتیپ Q29 به‌دست آمد (شکل ۲). طول خوشه یک صفت ژنتیکی است اما تحت تأثیر عوامل محیطی مانند درجه حرارت، تاریخ کاشت، شرایط خاک و عملیات زراعی نیز قرار می‌گیرد (Sabri *et al*., 2020). آلتونر و همکاران (Altuner *et al*., 2019) گزارش کردند بیشترین (۴۲/۸ سانتی‌متر) و کمترین (۳۱/۱ سانتی‌متر) طول خوشه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ Valiente در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین ماه (۱۵ آوریل) و ژنوتیپ Titicaca در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند (۱۵ مارس) در کشور ترکیه بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ بر طول خوشه کینوا.

Figure 2. Means comparison of planting date × plant density × genotype effect on quinoa panicle length.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات زراعی گیاه کینوا تحت تأثیر تاریخ و تراکم کاشت.

Table 2. Analysis of variance of quinoa agronomic traits influenced by planting date and plant density.

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares							
		ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه در بوته No. of seeds per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	16.44^{ns}	0.53^{ns}	3845^{ns}	0.25 ^{ns}	0.01 ^{ns}	6643 ^{ns}	37775 ^{ns}	3.77 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (P)	2	1866*	71.4**	1145550**	9.24**	4.70**	2145437**	17049641**	104*
خطا ۱ Error 1	4	122	0.42	13896	0.02	0.04	4431	102623	7.75
تراکم بوته Plant density (D)	1	403**	0.07^{ns}	3555346**	28.04**	0.42**	81511**	1519060**	39.6**
تاریخ کاشت × تراکم بوته P × D	2	17.8^{ns}	0.23^{ns}	12722^{ns}	0.31**	0.005 ^{ns}	2553 ^{ns}	4828 ^{ns}	4.5 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype (G)	2	443.5**	2.51**	364253**	0.89**	1.03**	93402**	2282871**	78**
تاریخ کاشت × ژنوتیپ P × G	4	11.6^{ns}	0.15^{ns}	1595^{ns}	0.05**	0.03 ^{ns}	13831**	41282*	17**
تراکم بوته × ژنوتیپ D × G	2	8.6^{ns}	0.17^{ns}	6026^{ns}	0.004 ^{ns}	0.001 ^{ns}	933 ^{ns}	2666 ^{ns}	1.2 ^{ns}
تاریخ کاشت × تراکم بوته × ژنوتیپ P × D × G	4	5.15^{ns}	0.27*	1597 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.003 ^{ns}	922 ^{ns}	11580 ^{ns}	2.4 ^{ns}
خطا ۲ Error 2	30	8.76	0.09	16899	0.01	0.013	2025	14356	1.45
ضریب تغیرات (%) CV Coefficient of variation		3.12	2.23	7.11	2.56	5.20	2.34	2.72	2.72

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

**, * Significant at 1 and 5% probability levels respectively. ns: no significant.

تعداد دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس حاکی از این بود که اثر تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برای تاریخ کاشت نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته (۲۰۶۸/۶۱ و ۱۵۶۵/۷۸ عدد) به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و ۱۵ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تحقیق آلتونر و همکاران (Altuner *et al*., 2019) با نتایج این تحقیق مشابه بوده و گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در بوته از تاریخ کاشت فروردین ماه و کمترین تعداد آن از تاریخ کاشت اسفند ماه به‌دست آمده است. ایزوب و همکاران (Isobe *et al*., 2016) نشان دادند که بیشترین تعداد دانه در بوته از تاریخ کاشت اسفند ماه در مقایسه با تاریخ‌های کاشت دیر هنگام به‌دست آمده است. مقایسه میانگین برای اثر تراکم بوته نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته (۲۰۸۵/۷۸ و ۱۵۷۲/۵۹ عدد) به‌ترتیب از تراکم‌های ۴۰ و ۶۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج آزمایش وان‌مین و همکاران (Van Minh *et al*., 2020) با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. آن‌ها گزارش کردند تراکم بوته به‌طور قابل توجهی صفت تعداد دانه در بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر آن، افزایش تراکم بوته از ۱۵ به ۶۰ بوته در متر مربع، موجب کاهش تعداد دانه در بوته گردید (Samadzadeh *et al*., 2020). مقایسه میانگین برای اثر ژنوتیپ نشان داد که بیشترین و کمترین (۱۹۸۴/۵۶ و ۱۷۰۵/۳۳ عدد) تعداد دانه در بوته به‌ترتیب از ژنوتیپ Q29 و Red Carina حاصل شد (جدول ۳).

عملکرد بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای عملکرد بوته نشان داد که تاریخ کاشت، تراکم بوته، ژنوتیپ، اثر متقابل تاریخ کاشت × تراکم بوته و تاریخ کاشت × ژنوتیپ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ نشان داد که بیشترین عملکرد بوته (۴/۷۵۵ گرم در بوته) در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و ژنوتیپ Titicaca و کمترین عملکرد بوته (۳/۰۸ گرم در بوته) در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و ژنوتیپ Red Carina ثبت شد (جدول ۴). در آزمایشی در جنوب ایتالیا گزارش شده است که میزان عملکرد بوته به شدت تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت، به‌طوری که بیشترین و کمترین عملکرد بوته از رقم Titicaca و به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۵ فروردین و ۱۵ اردیبهشت ماه حاصل گردید (Lavini *et al*., 2014). در مطابقت با نتایج این بررسی، دائو و همکاران (Dao *et al*., 2020) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا از نظر عملکرد بوته اختلاف معنی‌دار داشتند، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بوته (۷/۵۸ گرم) برای ژنوتیپ Titicaca و کمترین مقدار آن (۰/۶۰ گرم) از ژنوتیپ Collana به‌دست آمد.

وزن هزار دانه: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ برای صفت وزن هزار دانه معنی‌دار، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲).

بررسی وزن هزار دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزار دانه (۲/۷۳۸ و ۱/۷۱۷ گرم) به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ اسفند حاصل شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که تأخیر در کاشت از تاریخ ۱۵ اسفند به ۱۵ اردیبهشت منجر به افزایش وزن هزار دانه گردید. در ارتباط با نتایج این پژوهش، حمزه و همکاران (Hamza *et al*., 2021) گزارش کردند که بیشترین وزن هزار دانه (۲/۹ گرم) از کاشت کینوا در تاریخ ۱۴ نوامبر (۲۴ آبان) نسبت به کاشت زود هنگام و دیر هنگام به‌دست آمده است. آلتونر و همکاران (Altuner *et al*., 2019) بیان کردند که اثر تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا معنی‌دار نبود که با یافته‌های این پژوهش، مطابقت نداشت. مقایسه میانگین برای تراکم بوته نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزار دانه (۲/۳۰۴ و ۲/۱۲۷ گرم) به‌ترتیب از تراکم ۴۰ و ۶۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح افزایش می‌یابد و در نتیجه قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای هر دانه کمتر و منجر به کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Karami *et al*., 2020). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم Titicaca دارای وزن هزار دانه بالاتری (۲/۴۶۱ گرم) نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بود و پس از آن ژنوتیپ‌های Red Carina و Q29 به‌ترتیب با وزن هزار دانه ۲/۲۰ و ۱/۹۸ گرم قرار داشتند (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک: نتایج آزمایش نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تراکم بوته، ژنوتیپ و اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و ژنوتیپ نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۴۹۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) از تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و ژنوتیپ Titicaca و کمترین عملکرد بیولوژیک (۳۰۴۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار) از تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و ژنوتیپ Q29 ثبت گردید (جدول ۴). در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین، بوته‌ها به‌علت برخورد با شرایط مساعد محیطی برای رشد رویشی، توانسته‌اند به‌طور مناسب‌تری سطح مزرعه را پوشش دهند و از عوامل محیطی به‌نحو مطلوبی استفاده کنند. در نتیجه ماده خشک بیشتری در واحد سطح تولید کرده‌اند. کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه در تاریخ کاشت اول (۱۵ اسفند) به‌دلیل کاهش رشد رویشی در اثر کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی هوا در مرحله گیاهچـه‌ای کینوا بوده است. گزارش شده است که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت ۱۰ آبان و ژنوتیپ Regalona و کمترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت ۱۰ آبان و ژنوتیپ Q52 به‌دست آمده است (Awadalla & Morsy, 2017). با توجه به تیمار تراکم بوته در متر مربع، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از تراکم‌های ۶۰ و ۴۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش تراکم بوته در مترمربع، عملکرد بیولوژیک افزایش یافته است. در

تراکم‌های بالا، به‌دلیل استفاده بهتر گیاه از خاک و آب، مقدار عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد (Karami *et al.*, 2020).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ بر میانگین برخی صفات زراعی مورد مطالعه در کینوا.

Table 3. Means comparison of some quinoa agronomic traits influenced by planting date, plant density, and genotype.

وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	عوامل Factors
	تاریخ کاشت Planting date		
1.71	1853.16	83.32	۱۵ اسفند March 6th
2.19	2068.61	102.47	۱۵ فروردین April 4th
2.73	1565.77	98.9	۱۵ اردیبهشت May 5th
0.19	109.08	10.25	LSD (0.05)
	تراکم بوته Planting density		
2.30	2085.77	92.17	۴۰ بوته در متر مربع 40 plant/m^2
2.12	1572.59	97.63	۶۰ بوته در متر مربع 60 plant/m^2
0.063	72.248	1.645	LSD (0.05)
	ژنوتیپ Genotype		
100.11	100.11	100.11	Q29
94.36	94.36	94.36	Titicaca
90.23	90.23	90.23	Red Carina
0.07	88.48	2.01	LSD (0.05)

عملکرد دانه: اثر تاریخ کاشت، تراکم بوته، ژنوتیپ و اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۲۹۷/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ Titicaca در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و کمترین مقدار آن (۱۴۸۴/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ Redcarina در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین، دمای بهینه در فروردین ماه است که باعث رشد سریع تر گیاه، رشد گیاهان قوی‌تر و عملکرد دانه بیشتر می‌شود (Mirzaie *et al.*, 2020). نتایج این بررسی با نتایج

پژوهشی در جنوب ایتالیا (Lavini *et al*., 2014) مطابقت داشت که گزارش کردند میزان عملکرد دانه کینوا به شدت تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت، به‌طوری‌که عملکرد دانه ژنوتیپ Titicaca در تاریخ‌های ۱۵ فروردین و ۱۵ اردیبهشت به‌ترتیب ۳/۳ و ۱/۵ تن در هکتار بود. در ارتباط با تراکم بوته در واحد سطح، مقایسه میانگین نشان داد که تراکم ۴۰ بوته در متر مربع در مقایسه با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع از عملکرد دانه کمتری برخوردار بود. افزایش عملکرد دانه در تراکم بوته بالاتر، به‌دلیل بهره‌مندی بیشتر بوته‌ها از مواد غذایی و رطوبت خاک، تولید مواد فتوسنتز بیشتر و در نهایت عملکرد دانه افزایش یافت (Van Minh *et al*., 2020). نتایج مشابهی این آزمایش را عیسی و همکاران (Eisa *et al*., 2018) در کشور مصر گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته از ۵۶۰۰۰ به ۱۶۷۰۰۰ بوته در هکتار عملکرد دانه به میزان ۳۴/۷ درصد افزایش یافته است. در حالی‌که وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2020) گزارش کردند که افزایش تراکم بوته از ۷۰۰۰۰ به ۴۶۰۰۰۰ بوته در هکتار منجر به کاهش عملکرد دانه کینوا درکشور چین گردید که با یافته‌های این آزمایش در تضاد بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت، تراکم بوته و ژنوتیپ بر میانگین برخی صفات زراعی مورد بررسی در کینوا.

Table 4. Means comparison of the interaction effect of planting date, plant density and genotype on the average of some studied agronomic traits in quinoa.

تاریخ کاشت Planting date	ژنوتیپ Genotype	عملکرد بوته (گرم در مترمربع) Plant yield (g/m^2)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biologic yield (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
۱۵ اسفند March 6th	Q29	3.14	1517.83	3041.67	50.01
	Titicaca	3.30	1590.50	3734.17	42.69
	Red Carina	3.08	1484.50	3085.00	48.37
۱۵ فروردین April 4th	Q29	4.29	2070.00	4847.50	42.75
	Titicaca	4.75	2297.50	5498.33	41.78
	Red Carina	4.50	2171.67	4908.33	44.26
۱۵ اردیبهشت May 5th	Q29	4.24	2044.17	4752.00	43.06
	Titicaca	4.42	2131.67	5203.33	41.01
	Red Carina	4.16	2004.17	4540.83	44.20
LSD (0.05)		0.12	53.055	141.262	1.42

شاخص برداشت: براساس نتایج تجزیه واریانس، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته، ژنوتیپ و اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین شاخص برداشت کینوا (۵۰/۰۱ درصد) در تاریخ کاشت ۱۵

اسفند و ژنوتیپ Q29 به‌دست آمد. کمترین شاخص برداشت (۴۱/۰۱ درصد) نیز در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و ژنوتیپ Titicaca حاصل گردید (جدول ۴). شاخص برداشت، نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک گیاه زراعی می‌باشد و در طول فصل رشد معمولا تحت تأثیر تاریخ کاشت، تراکم گیاه، میزان آب و مواد غذایی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (Kadam *et al*., 2018). در آزمایشی، لاوینی و همکاران (Lavini *et al*. 2014) گزارش کردند که شاخص برداشت تحت تأثیر تاریخ کاشت و مکان کاشت قرار می‌گیرد، به‌طوری که شاخص‌های برداشت کینوا در شرایط اکولوژیکی ایتالیا، ترکیه و مراکش به‌ترتیب ۳۰-۵۷، ۵۹-۴۸ و ۲۴-۵۱ درصد بود.

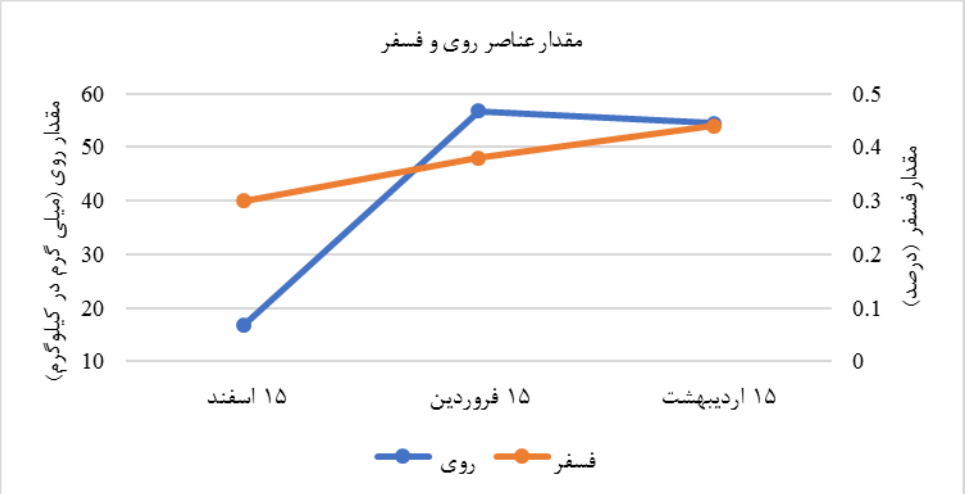
عناصر معدنی دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت تنها بر عناصر روی و فسفر معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین برای عنصر روی نشان داده است بیشترین و کمترین مقدار روی (۵۶/۷۴ و ۱۶/۷۷ میلی گرم در کیلو گرم) به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۵ فروردین و ۱۵ اسفند حاصل شد (شکل ۳). مقایسه میانگین برای عنصر فسفر نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار فسفر (۰/۴۴ و ۰/۳۰ درصد) به‌ترتیب از تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ اسفند حاصل شد (شکل ۳). نتایج مشابهی توسط ماتیاس و همکاران (Matías *et al*., 2021) گزارش شده است. آن‌ها نشان دادند که محتوای منیزیم، آهن و سدیم در میان ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نداشتند. گومز و همکاران (Gómez *et al*., 2021) بیان کردند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری برای عناصر فسفر، کلسیم و آهن مشاهده نشده است، در حالی‌که از لحاظ عناصر پتاسیم، منیزیم و سدیم تفاوت معنی‌دار بودند. آوادالا و مورسی (Awadalla & Morsy, 2017) بیان کردند که عناصر معدنی (P، K، Ca و Fe) به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تاریخ کاشت و ژنوتیپ قرار گرفتند. بیشترین مقادیر مربوط به ژنوتیپ Regalona در تاریخ کاشت اول نوامبر بود.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تاریخ و تراکم کاشت بر عناصر معدنی دانه کینوا

Table 5. Analysis variance of the seed mineral composition of quinoa influenced by planting date and plant density

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		روی (Zn)	آهن (Fe)	منگنز (Mn)	سدیم (Na)	کلیسم (Ca)	پتاسیم (K)	فسفر (P)
تاریخ کاشت Planting date (P)	2	6053.66*	2785150.73 ns	374.61 ns	0.00009 ns	0.031 ns	0.037 ns	0.029*
تراکم بوته Plant density (D)	1	176.41ns	407358.42 ns	60.32 ns	0.00012 ns	0.020 ns	0.067 ns	0.001 ns
تاریخ کاشت × تراکم بوته P × D	2	248.22 ns	573015.19 ns	360.60 ns	0.00012 ns	0.071 ns	0.002 ns	0.004 ns
ژنوتیپ Genotype (G)	2	157.26 ns	205495.18 ns	425..02 ns	0.00003 ns	0.021 ns	0.004 ns	0.0008 ns
تاریخ کاشت × ژنوتیپ P × G	4	159.94 ns	364288.23 ns	258.85 ns	0.00005 ns	0.018 ns	0.028 ns	0.004 ns
تراکم بوته × ژنوتیپ D × G	2	196.87 ns	51135.34 ns	31.43 ns	0.00004 ns	0.031 ns	0.002 ns	0.0004 ns
تاریخ کاشت × تراکم بوته × ژنوتیپ P × D × G	4	173.30	742166.03	122.42	0.00007	0.018	0.051	0.0009

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



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر عناصر روی و فسفر در دانه کینوا.

Figure 3. Means comparison of the effect of planting date on zinc and phosphorus elements in quinoa seeds.

* and ns: Significant at 1 % probability level and no significant, respectively.

همبستگی بین صفات

نتایج همبستگی بین صفات به روش پیرسون (جدول ۶) نشان داد که ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات عملکرد دانه (۰/۸۴۱)، طول خوشه (۰/۸۳۸)، عملکرد بیولوژیک (۰/۸۳۰) و عنصر روی (۰/۷۰۸) دارد. پروده و همکاران (Parwada *et al*., 2020) اعلام کردند که ارتفاع بوته با عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در گیاه کینوا همبستگی مثبت داشت. طول خوشه با صفات

وزن هزار دانه (۰/۶۸۹)، عملکرد دانه (۰/۹۹۴)، عملکرد بیولوژیک (۰/۹۸۰)، عناصر روی (۰/۸۵۷) و فسفر (۰/۶۴۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد. در مطالعه‌ای گزارش شده است که طول خوشه با عملکرد دانه و ارتفاع بوته در گیاه کینوا همبستگی منفی دارد (Manjarres-Hernández *et al*., 2021) که با یافته‌های این بررسی در تضاد بود. به همین ترتیب، عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را با صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۹۸۰)، وزن هزار دانه (۰/۶۷۰)، عنصر روی (۰/۸۴۲) و عنصر فسفر (۰/۶۱۱) داشت. بالا بودن ضریب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک حاکی از آن است که با افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. دانه حاصل فعالیت‌های فتوسنتزی اندام‌های هوایی مانند شاخ و برگ می‌باشد. بنابراین همبستگی بالای این دو صفت دور از انتظار نیست. نتایج به‌دست آمده با نتایج قرینه و همکاران (Gharineh *et al*., 2019) مبنی بر همبستگی عملکرد دانه با صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته در گیاه کینوا مطابقت داشت. آوادالا و مورسی (Awadalla & Morsy, 2017) گزارش کردند که وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه کینوا دارد. با توجه به همبستگی عملکرد دانه و عناصر معدنی، نتایج به‌دست آمده با یافته‌های پرادو و همکاران (Prado *et al*., 2014) مطابقت داشت. آن‌ها اعلام کردند که عملکرد دانه کینوا با عناصر معدنی مثل فسفر، آهن و روی همبستگی مثبت داشت، درحالی‌که با عناصر کلسیم همبستگی منفی را نشان داده است. شاخص برداشت با صفات ارتفاع بوته (۰/۶۱۸-)، طول خوشه (۰/۷۶۰-) وزن هزار دانه (۰/۵۷۲-)، عملکرد دانه (۰/۷۳۰-)، عملکرد بیولوژیک (۰/۸۴۷-)، عناصر روی (۰/۷۷۴-) و فسفر (۰/۶۵۶-) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت و تنها با عناصر سدیم (۰/۶۵۷) و پتاسیم (۰/۵۶۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). فاضلی و همکاران (Fazeli *et al*., 2021) گزارش کردند که تنها صفت ارتفاع بوته دارای همبستگی منفی و معنی‌داری با شاخص برداشت است که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع بوته، شاخص برداشت کاهش می‌یابد. بیرامی و همکاران (Beyrami *et al*., 2020) بیان کردند که عملکرد دانه با طول خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه کینوا همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد، درحالی‌که شاخص برداشت دارای همبستگی منفی با ارتفاع بوته و همبستگی مثبت با وزن هزار دانه و عملکرد دانه است. در بررسی همبستگی بین عناصر معدنی دانه کینوا، ارتباط معنی‌دار چندانی مشاهده نشد، به‌طوری‌که تنها بین عنصر روی با عناصر آهن (۰/۵) و فسفر (۰/۷۲)، عناصر آهن و منگنز (۰/۴۹) و همچنین بین عناصر کلسیم و فسفر همبستگی معنی‌دار مشاهده شد (۰/۴۹۸-) (جدول ۶). پرادو و همکاران (Prado *et al*., 2014) گزارش کردند که بین عناصر پتاسیم، روی، منگنز، سدیم و کوبالت در دانه کینوا همبستگی مثبت و معنی‌داری

مشاهده شد. علاوه بر آن، گزارش شده است که عناصر معدنی آهن، پتاسیم، سدیم، فسفر و روی در دانه گندم با هم همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند (Marcos-Barbero *et al.*, 2021).

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات زراعی و عناصر معدنی دانه کینوا.

Table 6. Correlation coefficients between agrronomical traits and mineral elements of quinoa seed.

فسفر (P)	پتاسیم (K)	کلیسم (Ca)	سدیم (Na)	منگنز (Mn)	آهن (Fe)	روی (Zn)	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000 seed weight	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	طول خوشه Panicle length	ارتفاع بوته Plant height	صفات Traits
0.43	-0.50*	0.07	-0.21	0.11	0.33	0.70**	-0.62**	0.83**	0.84**	0.40	-0.06	0.84**	1	ارتفاع بوته Plant height
0.64**	-0.37	0.26	-0.26	0.12	0.41	0.85**	-0.76**	0.98**	0.91**	0.69**	-0.01	1		طول خوشه Panicle length
-0.28	0.32	0.20	0.48*	0.44	0.41	-0.19	0.38	-0.11	-0.10	-0.29	1			تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant
0.81**	-0.26	-0.62**	-0.30	-0.25	0.08	0.65**	-0.57*	0.68**	0.67**	1				وزن هزار دانه 1000 seed weight
0.61**	-0.35	-0.25	-0.22	0.12	0.40	0.84**	-0.73**	0.98**	1					عملکرد دانه Seed yield
0.65**	-0.44	-0.28	-0.35	0.05	0.32	0.86**	-0.84**	1						عملکرد بیولوژیک Biological yield
-0.65**	0.56*	0.37	0.65**	0.08	-0.10	-0.77**	1							شاخص برداشت Harvest index
0.72**	-0.44	-0.33	-0.30	0.09	0.50*	1								روی (Zn)
0.27	-0.13	0.13	0.31	0.48*	1									آهن (Fe)
-0.31	0.22	0.23	0.18	1										منگنز (Mn)
-0.36	0.41	0.16	1											سدیم (Na)
-0.49*	0.00	1												کلیسم (Ca)
-0.37	1													پتاسیم (K)
1														فسفر (P)

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

* and **: Significant at 1 % and 5 % probability levels, respectively.

تجزیه همبستگی کانونی

نتایج همبستگی کانونی بین صفات مهم زراعی مرتبط با دانه (تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و طول خوشه) با عناصر معدنی اندازه‌گیری شده در دانه کینوا (فسفر، آهن، روی، منگنیز، سدیم، پتاسیم و کلسیم) در جدول ۷ نشان داده شده است. معنی‌دار شدن آماره ویلکس لمدا (Wilk's lambda) در سطح احتمال پنج درصد در مورد تابع اول، حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار بین دو گروه صفات مورد مطالعه بود. این تابع ۹۰ درصد از واریانس کل را توضیح داده است؛ بدین معنی که صفات زارعی مورد مطالعه ۹۰ درصد از تغیرات صفات مربوط عناصر معدنی دانه را توجیه نمود و همبستگی در ترکیب خطی خلاصه شده و ارتباط بین دو سری صفت را نشان داد. در تابع اول ضرایب مربوط به عناصر معدنی دانه (W_1) و صفات زراعی مهم (V_1) به‌شکل زیر است:

W_1 = ۰/۶۹۶ Zn + ۰/۴۳ Fe + ۰/۱۴۷ Mn + ۰/۱۲۳ Na + ۰/۰۳۵ Ca + ۰/۰۹۱ K + ۰/۵۵۳ P

V_1 = ۰/۲۱۴ تعداد دانه در بوته + ۰/۵۰۲ وزن هزار دانه + ۰/۵۱۴ طول خوشه

همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده یک گروه با توابع کانونی مربوط به همان گروه در جدول ۸ آمده است. ارتباط بین متغیرهای کانونی و متغیرهای اصلی از طریق ضرایب ساختاری (ضرایب استاندارد شده) ارزیابی می‌شوند. نتایج این ارزیابی نشان داد که در بین عناصر معدنی دانه، عنصر روی (Zn) بیشترین همبستگی با تابع کانونی مربوطه را داشت و از بین صفات زراعی، بیشترین همبستگی بین صفات وزن هزار دانه و طول خوشه با تابع کانونی اول بود (جدول ۸). این ضرایب ساختاری استاندارد شده، نقش آن‌ها در متغیر کانونی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، تابع W_1 بیشتر تحت تأثیر روی (Zn) و فسفر (P) و تابع V_1 بیشتر تحت تأثیر وزن هزار دانه و طول خوشه می‌باشد. ازین‌رو، از گیاهان دارای مقادیر بالاتر دو صفت وزن هزار دانه و طول خوشه می‌توان برای گزینش دانه‌های با مقدار روی و فسفر بالاتر استفاده نمود. کاروالو و همکاران (Carvalho *et al.*, 2015) از تجزیه همبستگی کانونی برای تعیین بیشترین عملکرد از همبستگی اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی گندم استفاده و گزارش کردند که قطر ساقه اصلی، قطر پنجه، تعداد کل پنجه و تعداد پنجه بارور در بوته برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد دانه و وزن هکتولیتر، باید در اولویت قرار گیرند. صبا و همکاران (Saba *et al.*, 2018) از تجزیه همبستگی کانونی برای تعیین بهترین صفات برای اصلاح غیر مستقیم عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل استفاده کردند. ویرگارا و همکاران (Vergara *et al.*, 2021) از تجزیه همبستگی کانونی برای تعیین بیشترین عملکرد دانه کینوا از طریق اجزای عملکرد استفاده و گزارش کردند که عملکرد دانه کینوا، بر اساس عملکرد مشترک صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در گل آذین و تعداد دانه در بوته است که در بین

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های برتر Altiplano و Salcedo در نظر گرفته شد.

جدول ۷- همبستگی‌های کانونی و سطح احتمال معنی‌دار بودن آن‌ها.

Table 7. Canonical correlations and the probability level of their significance.

متغیر کانونی Canonical Variable	همبستگی کانونی Canonical correlation	مقادیر ویژه Eigen value	ویلکس لمدا Wilk's Lambda	مقدار تقریبی F Approx. F	سطح احتمال P Prob. level
1	0.901	4.332	0.050	2.048	0.047
2	0.761	1.379	0.269	1.391	0.256
3	0.600	0.561	0.641	1.122	0.408

جدول ۸- ضرایب همبستگی کانونیک بین صفات زراعی و عناصر معدنی دانه کینوا.

Table 8. Canonical correlation coefficients between agronomical traits and mineral elements of quinoa seed.

متغیر Variable	صفات Traits	ضرایب کانونی استاندارد شده Standardized Canonical correlation			بارهای کانونی Canonical coefficients		
		1	2	3	1	2	3
صفات زراعی Agronomic traits	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	-0.214	-0.080	-1.032	-0.410	-0.304	-0.860
	وزن هزار دانه 1000 seed weight	0.502	1.191	-0.661	0.918	0.333	-0.216
	طول خوشه Panicle length	0.514	-1.281	0.208	0.880	-0.452	-0.147
عناصر معدنی دانه Seed minerals	روی (Zn)	0.696	-0.881	0.599	0.895	-0.406	-0.086
	آهن (Fe)	0.430	-0.233	-0.603	0.184	-0.610	-0.663
	منگنز (Mn)	0.147	-0.147	-0.361	-0.175	-0.644	-0.437
	سدیم (Na)	0.123	0.070	-0.336	-0.434	-0.071	-0.591
	کلیسم (Ca)	-0.035	-0.481	0.392	-0.546	-0.567	0.259
	پتاسیم (K)	-0.061	0.015	-0.212	-0.435	0.186	-0.402
	فسفر (P)	0.553	0.654	-0.577	9.887	0.206	-0.188

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش، می‌توان گفت که تاریخ کاشت یکی از عوامل مهم تعیین کننده عملکرد به‌شمار می‌رود. کشت زودهنگام به دلیل کاهش مراحل رشد و نمو در اثر دمای پائین و کشت تأخیری به‌دلیل تسریع در مراحل رشد و نمو در اثر دمای بالا و همچنین مصادف شدن دوره انتهایی رشد و نمو گیاه با تنش گرمای انتهای فصل، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. بیشترین عملکرد دانه کینوا در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین بر اساس عملکرد مشترک وزن هزار دانه، عملکرد بوته و تعداد دانه در بوته، به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های Titicaca و Q29 به‌دست آمد. بررسی ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عنصر روی و فسفر بود اما با صفت شاخص برداشت همبستگی منفی و معنی-داری داشت. همبستگی کانونی، اهمیت تجزیه همبستگی کانونی برای درک ارتباط بین صفات زراعی و عناصر معدنی دانه کینوا را نشان داد. با توجه به نتایج حاصل، تابع عناصر معدنی دانه، بیشتر تحت تأثیر روی (Zn) و فسفر (P) و تابع صفات زراعی، بیشتر تحت تأثیر وزن هزار دانه و طول خوشه می‌باشد. ازاین‌رو، می‌توان از گیاهان دارای مقادیر بالاتر دو صفت وزن هزار دانه و طول خوشه برای گزینش دانه‌های با مقدار روی و فسفر بالاتر استفاده نمود.

References

Altuner, F., Oral, E., & Kulaz, H. 2019. The impact of different sowing-times of the quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) & its varieties on the yield and yield components in Turkey-Mardin ecology condition. Applied Ecology and Environmental Research, 17, 10105–10117. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_1010510117

Awadalla, A., & Morsy, A. S. 2017. Influence of planting dates and nitrogen fertilization on the performance of quinoa genotypes under Toshka conditions. Egyptian Journal of Agronomy, 39, 27–40. https://dx.doi.org/10.21608/agro.2017.440.1047

Beyrami, H., Rahimian, M. H., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran-Tafti, M., & Nikkhah, M. 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (chenopodium quinoa) under saline condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3), 347–357. [In Persian]. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_11464_en.html

Carvalho, I. R., Souza, V. Q. D., Nardino, M., Follmann, D. N., Schmidt, D., & Baretta, D. 2015. Canonical correlations between morphological traits and yield components in dual-purpose wheat. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50, 690-697. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800007

Chegeni, H. 2014. Effect of plant density on yield & yield components of wheat cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandagi), 27 (104), 9–21. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.22092/aj.2014.101538

Curti, R. N., Sanahuja, M. D. C., Vidueiros, S. M., Pallaro, A. N., & Bertero, H. D. 2018. Trade-off between seed yield components and seed composition traits in sea level quinoa in response to sowing dates. Cereal Chemistry, 95, 734–741. https://doi.org/10.1002/cche.10088

Dao, A., Alvar-BeltrÃin, J., Gnanda, A., Guira, A., Nebie, L., & Sanou, J. 2020. Effect of different planting techniques and sowing density rates on the development of quinoa. African Journal of Agricultural Research, 16, 1325–1333. https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14904

Dieleman, J. A., Mortensen, D. A., Buhler, D. D., Cambardella, C. A., & Moorman, T. B. 2000. Identifying associations among site properties and weed species abundance. I. Multivariate analysis. Weed Science, 48 (5), 567–575. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0567:IAASPA]2.0.CO;2

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 (2), 515–522. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/86404

Fazeli, F., Akbari, G., Akbari, G. A., Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. 2021. The response of different quinoa (Chenopodium quinoa) genotypes to the planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar city. Iranian Journal of Field Crop Science, 52 (2), 41–49. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3743.1905

Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. 2017. Quinoa: nutritional, functional, and antinutritional aspects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57, 1618–1630. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811

Gharineh, M. H., Abdolmahdi, B., Bahram, A., & Mahvash, S. 2019. Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) in Khuzestan. Iranian Journal of Field Crop Science, 50 (3), 149–156. [In Persian]. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20209902862

Gómez, M. J. R., Matías Prieto, J., Cruz Sobrado, V., & Calvo Magro, P. 2021. Nutritional characterization of six quinoa (Chenopodium quinoa Willd) varieties cultivated in Southern Europe. Journal of Food Composition and Analysis, 99, 103876. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103876

Hamza, A., Usman, K., Malik, M. W. I., Saad, M., Ghulam, S., Khan, Z., & Ullah, A. 2021. Response of quinoa genotypes to sowing dates and sowing methods under agroclimatic condition of Dera Ismail Khan, KP Pakistan. Archives of Agronomy and Soil Science, 1–11. https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1939018

Hernández-Ledesma, B. 2019. Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) as source of bioactive compounds: a review. Bioactive Compounds in Health and Disease, 2, 27–47. https://doi.org/10.31989/bchd.v2i3.556

Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S. E. 2014. Quinoa in Morocco effect of sowing dates on development and yield. Journal of Agronomy and Crop Science, 200, 371–377. https://doi.org/10.1111/jac.12071

Isobe, K., Sugiyama, H., Okuda, D., Murase, Y., Harada, H., Miyamoto, M., Koide, S., Higo, M., & Torigoe, Y. 2016. Effects of sowing time on the seed yield of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) in South Kanto, Japan. Agricultural Sciences, 7, 146–153. https://www.scirp.org/html/3-3001355_64858.html

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. 2002. Applied multivariate statistical analysis. Prentice hall Upper Saddle River, New Jersey, USA. 5 (8), 808.

Kadam, V. P., Devi, K. S., Hussain, S. A., & Devi, M. U. 2018. Growth, yield attributes, yield and economics of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) as influenced by variable irrigation water supply through drip and surface methods. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7 (7), 3428–3438. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.398

Karami, R., Farji, H., Dehnavi, M. M., & Khoshro, A. R. 2020. Interaction of nitrogen and plant density on the growth and yield of quinoa (Chenopodium quinoa willd). Crop Production Journal, 13 (1), 111–124. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.22069/ejcp.2020.17603.2296

Korobov, R. M., & Railyan, V. Y. 1993. Canonical correlation relationships among spectral and phytometric variables for twenty winter wheat fields. Remote Sensing of Environment, 43 (1), 1–10. https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90059-7

Lavini, A., Pulvento, C., Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Belhabib, O., Yazar, A., Incekaya, C., Metin Sezen, S., Qadir, M., & Jacobsen, S. E. 2014. Quinoa's potential in the mediterranean region. Journal of Agronomy and Crop Science, 200, 344–360. https://doi.org/10.1111/jac.12069

Manjarres-Hernández, E. H., Arias-Moreno, D. M., Morillo-Coronado, A. C., Ojeda-Pérez, Z. Z., & Cárdenas-Chaparro, A. 2021. Phenotypic characterization of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) for the selection of promising materials for breeding programs. Plants, 10 (7), 1339. https://doi.org/10.3390/plants10071339

Marcos-Barbero, E. L., Pérez, P., Martínez-Carrasco, R., Arellano, J. B., & Morcuende, R. 2021. Genotypic variability on grain yield and grain nutritional quality characteristics of wheat grown under elevated CO2 and high temperature. Plants, 10 (6), 1043. https://doi.org/10.3390/plants10061043

Matías, J., Cruz, V., & Reguera, M. 2021. Heat stress impact on yield and composition of quinoa straw under mediterranean field conditions. Plants, 10 (5), 955. https://doi.org/10.3390/plants10050955

Milliken, G. A., & Johnson, D. E. 1990. Analysis of Messy Data, Vol. 2. Nonreplicated Experiments. Van Nostrand, Reinhold. New York.

Miranda, M., A. Vega-Galvez, J. Lopez, G. Parada, M. Sanders, M., & Aranda 2012. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.) Industrial Crops and Products, 32, 258–263. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.019

Mirzaie, A., Mohammadi, K., Parvini, S., Khoramivafa, M., & Saeidi, M. 2020. Yield quantity and quality of two linseeds (Linum usitatissimum L.) cultivars as affected by sowing date. Industrial Crops and Products, 158, 112947. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112947

Parwada, C., Mandumbu, R., Tibugari, H., Badze, D., & Mhungu, S. 2020. Effect of soil fertility amendment, planting density and growing season on Chenopodium quinoa Willd (Quinoa) in Zimbabwe. Cogent Food and Agriculture, 6 (1), 1792668. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1792668

Pezeshky, A., Daliri, H., Mohammadi, M., Hamishehkar, H., & Beyrami, H. 2022. Study of amino acid profile, solubility and antioxidant properties of quinoa protein hydrolysates. Journal of Food Research, 32 (1), 123–135. https://dx.doi.org/10.22034/fr.2021.41561.1759

Prado, F. E., Fernández-Turiel, J. L., Tsarouchi, M., Psaras, G. K., & González, J. A. 2014. Variation of seed mineral concentrations in seven quinoa cultivars grown in two agroecological sites. Cereal Chemistry, 91, 453-459. https://doi.org/10.1094/CCHEM-08-13-0157-R

Protásio, T. D. P., Trugilho, P. F., Neves, T. A., & Vieira, C. M. M. 2012. Canonical correlation analysis between characteristics of Eucalyptus wood and charcoal. Scientia Forestalis, 40 (95), 317–326. http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/

Raykov, T., & Marcoulides, G. A. 2008. An introduction to applied multivariate analysis. Routledge/Psychpress, 498 P.

Saba, J., Tavana, S., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F., & Jabbari, F. 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal

drought stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 20 (5), 1037–1048. http://jast.modares.ac.ir/article-23-19920-en.html

Sabri, R. S., Rafii, M. Y., Ismail, M. R., Yusuff, O., Chukwu, S. C., & Hasan, N. A. 2020. Assessment of agro-morphologic performance, genetic parameters and clustering pattern of newly developed blast resistant rice lines tested in four environments. Agronomy, 10 (8), 1098. https://doi.org/10.3390/agronomy10081098

Safar, R. Z. M., Aghkhani, M. H., Abbaspour, F. M. H., & Hosseini, F. 2019. The effects of alkaline extraction and ultrasound methods on some of the properties of quinoa protein isolate. Journal of Innovative Food Technologies, 6, 399–408. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=721179

Samadzadeh, A., Zamani, G., & Fallahi, H. 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. Applied Field Crops Research, 33(1), 82-104. https://doi:10.22092/aj.2020.125793.1392

Shan, F., Sun, K., Gong, S., Wang, C., Ma, C., Zhang, R., & Yan, C. 2022. Effects of Shading on the Internode Critical for Soybean (Glycine Max) Lodging. Agronomy, 12 (2), 492. https://doi.org/10.3390/agronomy12020492

Sharma, S. 1996. Applied multivariate techniques. John Wiley & Sons, Inc., USA. 493 pp.

Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Tarinejad, A., Mohammadi, H., & Ebadi, A. 2021. Canonical correlation analysis of phonological and other traits related to grain yield in different wheat genotypes under normal irrigation and stressed conditions at flowering time. Iranian Journal of Field Crop Science, 52 (2), 121–132. [In Persian]. https://dx.doi.org/10.22059/ijfcs.2020.290984.654650

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. https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.801217782263391

Vergara, R., Carvalho, I. R., Gadotti, G. I., Soares, V. N., Szareski, V. J., Pedo, T., & Villela, F. A. 2021. Canonical correlation and agronomic performance of quinoa (Chenopodium quinoa willd.). Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 11 (1), 252–258. https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/12051

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, 1-15. https://doi.org/10.3390/agronomy10030445

Yazdani, F., Allahdadi, I., & Akbari, G. A. 2007. Impact of super absorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (Glycine max L.) under drought stress. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10 (23), 4190–4196. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.4190.4196