



The Response of Some Growth Indices, Yield and Forage Quality of Two Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to Different Levels of Plant Density in the Bavi region, Khuzestan Province

H. Sharifat¹, M. R. Moradi-Telavat¹, A. Koochekzadeh^{1*}, A. Moshattati¹, H. Aboodeh¹

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

(*- Corresponding author's Email: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 04 November 2025
Revised: 04 November 2025
Accepted: 17 February 2026
Available Online: 12 May 2026

Sharifat, H., Moradi-Telavat, M. R., Koochekzadeh, A., Moshattati, A. & Aboodeh, H. (2026). The response of some growth indices, yield and forage quality of two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to different levels of plant density in the Bavi region, Khuzestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(3), 363-374. (In Persian)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2026.96318.1432>

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is an annual plant of the legume family, native to Latin America. In addition to its high nutritional value, this plant has a remarkable ability to tolerate a variety of abiotic stresses, including drought, salinity, and cold, as well as to grow on marginal lands. Due to its relative tolerance to drought and salinity stresses, extensive genetic diversity, and ability to adapt to different climatic conditions and high water use efficiency, it is considered a suitable plant for the exploitation of limited water resources and saline soils. In terms of nutritional value, quinoa seeds, the main product of this plant, contain between 14 and 20% protein and are rich sources of essential amino acids such as lysine and methionine, substances that are found in low amounts in most cereals.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different plant densities and cultivars of quinoa on growth, physiology and forage yield, a field experiment was conducted as a factorial experiment in a randomized complete block design with four replications in the fall and winter of the 2023-2024 crop year at the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. Experimental factors included plant density at three levels (30, 50 and 70 plants m⁻²) and quinoa cultivars (Rahmat and Sadooq). The evaluated traits were chlorophyll a, b, carotenoid, spad number, leaf area index, forage protein percentage, forage protein yield and forage yield.

Results and Discussion

In this study, neither planting density nor cultivar had a significant effect on chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid content, or SPAD values. However, analysis of variance showed that planting density significantly affected leaf area index, forage protein concentration, and forage protein yield, whereas cultivar significantly affected forage protein yield and dry forage yield. In addition, the interaction between planting density and cultivar had a significant effect on forage protein concentration and forage protein yield. The results showed that the highest and lowest of leaf area index with an average of (3.87) and (3.11) were observed in the density treatment of 70 and 30 plants per square meter, respectively. Also, the highest percentage of forage protein (6.35



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2026.96318.1432>

and 6.03 percent, respectively) was observed in the density of 30 plants per square meter and the lowest were (4.10 and 4.88 percent, respectively) in the density of 70 plants per square meter in two varieties of Sadooq and Rahmat. The highest forage protein yield (1163 kg ha^{-1}) was observed at densities of 30 plants per square meter, in Sadooq cultivar and the lowest (540 kg ha^{-1}) was obtained at densities of 70 plants per square meter, in Rahmat cultivar. Also, the highest dry forage yield with an average of 18259 kg ha^{-1} was observed in the Sadooq cultivar and the lowest dry forage yield with an average of 10633 kg ha^{-1} was observed in the Rahmat cultivar. Therefore, the significant difference between the two studied cultivars were present.

Conclusion

Increasing plant density to the optimum level, without creating intense intraspecific competition, by making optimal use of environmental resources such as light, water, and nutrients, improved leaf area index and increased forage yield in quinoa. The results showed that choosing the right cultivar plays an important role in forage yield, especially through its effect on maturity time and weed resistance. Significant differences in forage yield were observed among the evaluated cultivars, with Sadooq producing the highest forage yield. These findings indicate that selecting an appropriate cultivar in combination with an optimal planting density can be an effective strategy for improving quinoa forage production.

Keywords: Ash, Carotenoid, Chlorophyll, Crude protein, Fiber

واکنش برخی شاخص‌های رشدی، عملکرد و کیفیت علوفه دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به سطوح مختلف تراکم بوته در منطقه باوی، استان خوزستان

حسن شریفیات^۱، محمدرضا مرادی تلاوت^۱، احمد کوچک زاده^{۱*}، علی مشتقی^۱، هنا عبوده^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

چکیده

با هدف بررسی اثرات تراکم‌های مختلف بوته و ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) بر رشد و عملکرد علوفه، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۵۰ و ۷۰ بوته در مترمربع) و دو رقم کینوا (شامل رحمت و صدوق) بود. براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تراکم بوته بر شاخص سطح برگ، درصد پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه و اثر رقم بر عملکرد پروتئین علوفه و عملکرد علوفه معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تراکم بوته و رقم بر درصد پروتئین و عملکرد پروتئین علوفه معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ (به‌ترتیب با میانگین ۳/۸۷ و ۳/۱۱) در تراکم ۷۰ و ۳۰ بوته در مترمربع حاصل شد. همچنین بیشترین درصد پروتئین علوفه در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب در رقم صدوق (۶/۳۵ درصد) و رقم رحمت (۶/۰۳ درصد) و بیشترین عملکرد پروتئین علوفه (با ۱۱۶۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در ۳۰ بوته در مترمربع و رقم صدوق به‌دست آمد. ضمن اینکه بیشترین عملکرد علوفه خشک (با میانگین ۱۸۲۵۹ کیلوگرم در هکتار) در رقم صدوق و کمترین آن (با میانگین ۱۰۶۳۳ کیلوگرم در هکتار) در رقم رحمت مشاهده شد که نسبت به هم اختلاف معنی‌داری داشتند. در مجموع، کاربرد بهینه تراکم بوته موجب افزایش شاخص سطح برگ، درصد و عملکرد پروتئین علوفه گردید. علاوه بر این رقم صدوق عملکرد بهتری را جهت افزایش کمیت و کیفیت علوفه کینوا در شرایط منطقه مورد نظر تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، خاکستر، فیبر، کاروتنوئید، کلروفیل

مقدمه

خاک‌های شور محسوب می‌شود (García et al., 2015). از نظر ارزش تغذیه‌ای، دانه‌های کینوا که محصول اصلی این گیاه هستند، دارای ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین بوده و منبع غنی اسیدهای آمینه ضروری مانند لایسین و متیونین هستند، موادی که در اکثر غلات به‌میزان کم یافت می‌شوند (Iqbal et al., 2019). بنابراین سطح زیرکشت کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است، به‌نحوی که سطح زیرکشت جهانی این گیاه از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۱۶۶ هزار هکتار در سال ۲۰۲۳ رسیده است. در سال ۲۰۲۳، تولید جهانی کینوا حدود ۱۱۲ هزار تن برآورد شده است که نشان می‌دهد میانگین جهانی عملکرد در واحد سطح مزرعه کمتر از یک تن در هکتار (حدود ۶۷۷ کیلوگرم در هکتار) بوده است. کشورهای بولیوی، پرو و اکوادور در قاره آمریکای جنوبی به‌ترتیب مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده این محصول به‌شمار می‌روند. در این کشورها،

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی یک‌ساله از تیره تاج‌خروس و با خاستگاه آمریکای لاتین است. این گیاه علاوه بر داشتن ارزش غذایی بالا، توانایی قابل توجهی در تحمل انواع تنش‌های غیرزنده از جمله تنش خشکی، شوری و سرما و همچنین رشد در زمین‌های کم‌بازده را دارد (Präger et al., 2018). این گیاه به‌دلیل تحمل نسبی به تنش‌های خشکی و شوری، تنوع ژنتیکی گسترده، قابلیت تطابق با شرایط اقلیمی مختلف و بهره‌وری بالا در مصرف آب، گیاهی مناسب برای بهره‌برداری از منابع آبی محدود و

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*) نویسنده مسئول: koochehzadeh@asnrukh.ac.ir (Email: koochehzadeh@asnrukh.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2026.96318.1432>

برای تولید علوفه، ارتفاع بوته بین ۱۵۰ تا ۱۶۴ سانتی متر نیز می‌رسد. همچنین عملکرد ماده خشک بین ۵۵۰۰ تا ۶۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد علوفه تر بین ۴۵۲۵۰ تا ۶۳۳۸۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Papastylianou et al., 2014). در بررسی برهم کنش رقم و تراکم بوته، رقم کیو ۱۲^۲ در تراکم ۱۶/۶ بوته و ۳۳/۳ بوته در مترمربع به ترتیب با تولید ۷/۸ و ۷/۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد و رقم گیزا یک^۳ کمترین عملکرد علوفه خشک را در مقایسه با سایر ارقام داشتند (Najafinezhad et al., 2021).

این پژوهش با هدف بررسی اثر تراکم‌های مختلف بوته و ارزیابی دو رقم کینوا از نظر برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد و کیفیت علوفه، در شرایط آب‌وهوایی اهواز انجام شد.

مواد و روش‌ها

با هدف بررسی واکنش رشد، فیزیولوژی و عملکرد و کیفیت علوفه دو رقم کینوا به سطوح مختلف تراکم بوته در منطقه باوی، استان خوزستان، یک آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی 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. براساس آمار هواشناسی بلندمدت، متوسط بارندگی سالیانه ۲۶۹ میلی‌متر و دمای حداکثر، متوسط و حداقل به ترتیب ۳۶، ۲۳ و ۵/۹ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل تراکم بوته در سه سطح (۳۰، ۵۰، ۷۰ بوته در مترمربع) (Nabipour et al., 2023) و دو رقم کینوا (رحمت و صدوق) بود. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول سه متر و ۵۰ سانتی‌متر عرض بین ردیف‌ها و ۵۰ سانتی‌متر فواصل بین کرت‌های مجاور بود. کلیه نمونه‌برداری‌ها 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 به وسیله دیسک با خاک مخلوط شد (جدول ۲). کود نیتروژن به میزان یک‌سوم به صورت پایه، یک‌سوم در مرحله چهارتا شش برگی و یک‌سوم در مرحله گرده‌افشانی به خاک داده شد. روش کشت به صورت جوی و پشته و تراکم بوته براساس تیمارهای آزمایشی (۳۰، ۵۰، ۷۰ بوته در مترمربع) (Nabipour et al., 2023) و فاصله بین بوته‌ها به ترتیب ۱۰، شش و چهار سانتی‌متر بود. کشت بر روی داغ آب در هر

بسته به کشت آبی و دیم، میانگین عملکرد کینوا از ۳۲۰ تا ۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بوده است (FAO, 2023). این تنوع در عملکرد در واحد سطح می‌تواند به دلیل محدودیت‌های مختلف محیطی، زراعی و ژنتیکی باشد. با توجه به محتوای بالای پروتئین و عناصر معدنی مهم نظیر پتاسیم، سدیم، کلسیم، آهن، کاروتنوئیدها و همچنین اسید آسکوربیک، برگ‌های کینوا به عنوان یک منبع علوفه‌ای با ارزش برای تغذیه دام‌ها مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند (Bhargava et al., 2007). یکی از عوامل تأثیرگذار در تعیین عملکرد گیاهان زراعی، تراکم بوته در واحد سطح است. تراکم بیش از حد بهینه موجب افزایش رقابت درون گونه‌ای و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد. این موضوع در حالی است که در تراکم بوته کمتر از حد بهینه، استفاده از سایر منابع محیطی مانند نور، فضا، آب و خاک به طور مطلوب انجام نشده و در نهایت، عملکرد کاهش می‌یابد. مطالعات نشان دادند که تراکم بوته اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه کینوا دارد و بالاترین عملکرد دانه از حداکثر تراکم بوته (۱۶۷ هزار بوته در هکتار) به دست آمد که حدود ۳۴/۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه کینوا در تراکم ۵۶ هزار بوته در هکتار بود. همچنین مشاهده شد که افزایش تراکم بوته با کاهش وزن هزاردانه و درصد پروتئین دانه کینوا همراه است (Eisa et al., 2018).

تعیین تراکم بوته بهینه کشت، یکی از عوامل کلیدی در دستیابی به عملکرد نهایی هر رقم به شمار می‌رود. این شاخص تحت تأثیر عواملی نظیر ویژگی‌های ژنتیکی گیاه، خصوصیات رقم، وضعیت حاصلخیزی خاک و شرایط اقلیمی منطقه قرار دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در ایالات متحده آمریکا، تراکم بوته پیشنهاد شده برای ارقام تجاری کینوا حدود ۱۵۰ هزار بوته در هکتار گزارش شده است (Jacobsen, 2011). این تراکم بوته در کشور شیلی ۲۴۰ هزار بوته در هکتار و در آرژانتین ۳۳۰ هزار بوته در هکتار توصیه شده است (Bertero & Ruiz, 2008). براساس مطالعه‌ای، همواره افزایش تراکم بوته کاشت از ۷۰ هزار تا ۴۶۰ هزار بوته در هکتار منجر به کاهش عملکرد دانه از ۵۳۸۹ کیلوگرم در هکتار به ۳۰۴۹ کیلوگرم در هکتار شد (Erassú et al., 2016). در یک مطالعه انجام شده در برزیل، با افزایش تراکم بوته کاشت کینوا از ۱۰۰ هزار تا ۳۰۰ هزار بوته در هکتار، ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدگی کاهش یافت. با این حال، صفات عملکردی دانه، زیست‌توده کل^۱ و شاخص برداشت تحت تأثیر تراکم کاشت قرار نگرفتند. این مقاومت نسبی به تغییرات تراکم بوته، به ظرفیت بالای کینوا در تولید شاخه‌های فرعی نسبت داده شده است (Spehar & Rocha, 2009).

رابطه بین تراکم بوته و رقم، تأثیر قابل توجهی بر رشد، عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای علوفه در محصولات مختلف دارد. در ارقام مناسب

دو طرف پشته در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متری خاک انجام شد، سپس اقدام به پوشاندن بذرها با ماسه و کود پوسیده گردید و در نهایت با انجام اولین آبیاری، تاریخ کاشت آزمایش در ۳۰ مهر ثبت شد. تمامی عملیات داشت برای تمام کرت‌ها به‌طور یکنواخت انجام شد. این عملیات شامل آبیاری، تنک کردن و وجین علف‌های هرز می‌باشد.

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

ماه‌های سال	حداقل دمای هوا	حداکثر دمای هوا	بارندگی	تبخیر
Months of the year	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Rainfall (mm)	Evaporation (mm)
آبان	15.16	29.28	85.99	2.11
November				
آذر	8.86	21.73	13.06	1.27
December				
دی	7.51	20.96	7.25	1.28
January				
بهمن	8.15	21.46	30.24	2.11
February				
اسفند	9.31	23.12	63.34	3.11
March				
فروردین	14.71	29.8	85.67	6.26
April				
اردیبهشت	18.96	34.72	35.47	8.17
May				
خرداد	23.16	44.18	0	10.70
June				

جدول ۲- خصوصیات خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

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

عمق	هدایت الکتریکی	نیترژن	فسفر	پتاسیم	pH	بافت
Depth (cm)	EC (dS m ⁻¹)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)		Texture
0-30	2.81	0.05	9.36	138	7.5	رسی سیلتی
						Silty clay

اسپد^۳ قرائت شد. سپس عدد کلروفیل در آن کرت به‌وسیله میانگین نه عددی که قرائت گردید، محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها، در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، نیم گرم برگ تر گیاه کینوا در هاون با استون ۸۰ درصد ساییده شد. در مرحله بعد، به‌مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ^۴ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. عصاره حاصل به بالن شیشه‌ای انتقال یافت. مقداری از نمونه داخل بالن را برداشته و مقدار جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر^۵ به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر^۶ به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها قرائت شد. در نهایت با استفاده از معادله‌های ۱، ۲ و ۳ میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها به‌دست آمد (Arnon, 1967).

با هدف تعیین عملکرد علوفه، برداشت نهایی از دو خط وسط کرت انجام شد. این عمل در سطحی معادل یک مترمربع و پس از حذف اثر حاشیه ۰/۵ متر از بالا و پایین انجام گردید. پس از برداشت، علوفه تر به محل اندازه‌گیری منتقل و بلافاصله وزن شد. سپس به‌طور تصادفی از بین تمام بوته‌های برداشت‌شده پنج بوته جهت بررسی رطوبت و محاسبه عملکرد بیولوژیک^۱ انتخاب گردید.

شاخص سطح برگ توسط دستگاه پارسنج^۲ (PAR/LAL Ceptometer) مدل DECAGON DEVICES, INC کشور آمریکا اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری عدد کلروفیل در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی از دستگاه کلروفیل‌متر دستی استفاده گردید. بدین منظور، از هر کرت به‌طور تصادفی سه بوته کینوا و از هر بوته، آخرین برگ توسعه‌یافته انتخاب و از سه نقطه به‌طور جداگانه عدد

3- Spade number

4- Centrifuge

5- Spectrophotometer

6- Nanometer

1- Biological yield

2- Parsing

$$(۱) \text{ a} = \text{کلروفیل}$$

$$[(\text{جذب در } 645 \text{ nm}) - 2/69 (\text{جذب در } 663 \text{ nm})] \times 100 / (1000 \times W)$$

$$(۲) \text{ b} = \text{کلروفیل}$$

$$[(\text{جذب در } 663 \text{ nm}) - 4/69 (\text{جذب در } 645 \text{ nm})] \times 100 / (1000 \times W)$$

که در آن، W : حجم نمونه استخراج شده و W : وزن تر نمونه است (Ashraf et al., 1994).

$$(۳) = \text{کاروتنوئیدها}$$

$$100 \times \frac{104 (b) - 3.27 (a) \text{ (میلی گرم کلروفیل)}}{227}$$

به منظور اندازه گیری و تعیین صفات علوفه ای، برداشت علوفه در مرحله آغاز خمیری و پایان مرحله شیری دانه برای هر رقم از دو خط میانی هر کرت در سطحی معادل یک مترمربع پس از حذف اثر حاشیه صورت گرفت. بلافاصله پس از برداشت، وزن علوفه تر اندازه گیری شد. جهت ارزیابی کیفیت علوفه، از هر کرت پنج بوته به صورت تصادفی نمونه برداری گردید. نمونه های جمع آوری شده پس از خشک کردن و آسیاب شدن، به منظور انجام تجزیه های مرتبط با کیفیت علوفه، به آزمایشگاه ارسال شدند. جهت تعیین وزن خشک علوفه، از علوفه تر بلافاصله پس از برداشت، یک نمونه تهیه و پس از توزین، با قرار دادن نمونه ها در آون در دمای ۶۸ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و مجدداً توزین شدند. درصد رطوبت علوفه نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید. که در آن، FW^1 : وزن تر نمونه و DW^2 : وزن خشک نمونه است (Phillips et al., 2019).

$$(۴) = \text{درصد رطوبت علوفه} = [(FW - DW / FW) \times 100]$$

اندازه گیری ارتفاع بوته و تعداد انشعاب بارور در مرحله آغاز خمیری شدن دانه، با انتخاب تصادفی پنج بوته از هر کرت انجام گرفت. همچنین نسبت برگ به زیست توده کل از طریق پنج بوته تصادفی خشک شده در آون برای هر کرت مورد ارزیابی قرار گرفت. از روش ون سوئست و همکاران (Van Soest et al., 1991) جهت تجزیه ترکیبات دیواره سلولی شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی و درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی استفاده شد. این روش مستلزم آماده سازی محلول های شوینده خنثی و اسیدی است. پس از تهیه محلول ها، اندازه گیری صفات مذکور با استفاده از دستگاه فایبر تک^۳ مدل TM در آزمایشگاه تجزیه کیفیت علوفه، واقع در بخش تحقیقات دانشکده علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. نیتروژن کل نمونه های علوفه خشک نیز به روش

کجلدال^۴ و با بهره گیری از دستگاه کجل تک^۵ اندازه گیری گردید. به منظور محاسبه پروتئین خام، مقدار نیتروژن کل در ضریب ۶/۲۵ ضرب شد (Phillips et al., 2019). در نهایت، عملکرد پروتئین علوفه بر اساس رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$(۵) = \text{عملکرد پروتئین علوفه (کیلوگرم در هکتار)}$$

$$\text{محتوای پروتئین کل بوته (درصد)} \times \text{عملکرد علوفه (کیلوگرم در هکتار)}$$

100

تجزیه آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. مقایسه میانگین ها نیز توسط آزمون دانکن^۶ در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. لازم بذکر است اندازه گیری صفات شاخص سطح برگ، کلروفیل و کاروتنوئیدها و آنالیز آماری آن ها در چهار تکرار انجام شد. در حالی که صفات کمی و کیفی علوفه با استفاده از نمونه برداری از سه تکرار اندازه گیری و مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: این پژوهش بیانگر این است که شاخص

سطح برگ تحت تأثیر معنی دار تراکم بوته در واحد سطح زمین قرار گرفت (جدول ۳).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین شاخص سطح برگ (با میانگین ۳/۸۷) در تیمار تراکم ۷۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. کمترین شاخص سطح برگ (با میانگین ۳/۱۱) نیز در تیمار تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۴). شاخص سطح برگ، معیاری است که نسبت کل سطح برگ های موجود در واحد سطح زمین زیر کشت بوته ها را نشان می دهد و معمولاً به صورت مترمربع برگ در مترمربع زمین گزارش می شود (Zafari Ghalehrodkhani et al., 2017). فرآیند نمو سطح برگ بیانگر تحولات جمعیت برگ ها در طول دوره رشد بوده و شامل مراحل مختلف از جمله تشکیل برگ های جدید، گسترش برگ های جوان و زوال تدریجی برگ های مسن است (Soltani, 2009). در مطالعه حاضر، افزایش تراکم بوته در واحد سطح زمین، با افزایش معنی دار شاخص سطح برگ همراه بود. این موضوع نشان می دهد که علی رغم افزایش رقابت بین بوته ای در تراکم های بوته بالاتر، افزایش شاخص سطح برگ در واحد سطح مزرعه مشاهده شده است. بر این اساس، شاخص سطح برگ یکی از ابزارهای اساسی رقابت بین بوته ها در یک سایه انداز گیاهی است و بنابراین طبیعی است که گیاهان سعی در جلوگیری از کاهش شاخص سطح برگ در شرایط مختلف داشته باشند. می توان گفت که افزایش

4- Kjeldahl
5- Kjelltech
6- Duncan

1- Fresh weight
2- Dry weight
3- Fibertech

تعداد بوته در واحد سطح در آزمایش حاضر، عامل اصلی افزایش شاخص سطح برگ در هر واحد سطح زمین بوده است و این موضوع کاهش نسبی احتمالی شاخص سطح برگ در هر بوته را به‌نوعی جبران نموده است (Karami et al., 2020).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیک کینوا (شاخص سطح برگ، عدد کلروفیل، کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها)

Table 3- Analysis of variance of some physiological traits of quinoa (leaf area index, spade, chlorophyll a and b, carotenoids)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		شاخص سطح برگ LAI	عدد کلروفیل Spad	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids
تکرار Replication	3	0.07 ^{ns}	17.12 ^{ns}	0.00011 ^{ns}	0.00056 ^{ns}	0.00050 ^{ns}
تراکم بوته (D) Plant density	2	1.14 ^{**}	4.77 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.00011 ^{ns}	0.00014 ^{ns}
رقم (C) Cultivar	1	0.007 ^{ns}	16.25 ^{ns}	0.00034 ^{ns}	0.00006 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
D × C	2	0.001 ^{ns}	1.69 ^{ns}	0.000002 ^{ns}	0.00020 ^{ns}	0.00016 ^{ns}
خطا Error	15	0.16	32.19	0.00008	0.00023	0.00043
ضریب تغییرات CV (%)		11.6	11.2	3.5	2.7	2.4

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

LAI= leaf area index

یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی، میزان کلروفیل موجود در گیاهان است. به‌طور کلی هرچه شرایط تغذیه‌ای و محیطی از جمله عناصر غذایی، دما، نور، رطوبت، آفات و بیماری‌ها برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد، توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تمامی تیمارها از جمله اثرات اصلی و اثر دوگانه نیز بر عدد کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها معنی‌دار نبود (جدول ۳). کلروپلاست‌ها^۳ به‌عنوان اندامک‌های اصلی انجام فرآیند فتوسنتز در گیاهان شناخته می‌شوند و کارایی این فرآیند به‌طور مستقیم با ساختار و سلامت کلروپلاست‌ها مرتبط است. کاهش در تعداد کلروپلاست‌ها و ساختارهای درونی آن‌ها از جمله گرانا^۴ سبب افت میزان رنگزه‌های فتوسنتزی^۵ می‌گردد. این پدیده می‌تواند ناشی از رقابت در جذب نور که یکی از عوامل کلیدی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شود و یا رقابت در جذب عناصر غذایی از جمله منیزیم باشد. این عنصر نقش مرکزی در ساختمان مولکول کلروفیل ایفا می‌کند. در نتیجه، این رقابت موجب اختلال در سنتز کلروفیل و کاهش تولید آن شده و در پی آن، میزان فتوسنتز، تولید مواد آلی و در نهایت رشد و نمو گیاه کاهش می‌یابد (Antonietta et al., 2014). معنی‌دار نشدن اثر

در پژوهشی روی اثر تراکم بوته بر کینوا، نتایج نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۴/۴۵ در تیمار با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر به دست آمد. این تیمار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی شامل فاصله بین ردیف‌های ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر داشت. همچنین کمترین شاخص سطح برگ نیز با میانگین ۲/۹۱ به تیمار با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر تعلق گرفت که اختلاف معنی‌داری با تیمار فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر با میانگین ۳/۰۲ نشان نداد (Vahedi et al., 2022). نتایج مطالعه‌ای روی کلزا (*Brassica napus* L.) نشان داد که اثر تراکم بوته تنها برای شاخص‌های رشدی ماده خشک کل و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار ماده خشک کل (۹۱۰ گرم در مترمربع) و شاخص سطح برگ (۳/۵۳) در رقم هایولا^۱ ۴۰۱ و در تراکم ۸۸ بوته در مترمربع مشاهده شد. کمترین مقدار ماده خشک کل (۳۹۳ گرم در مترمربع) و شاخص سطح برگ (۲/۲۶) نیز در رقم تراپر^۲ و در تراکم ۴۲ بوته در مترمربع به دست آمد (Alizadeh et al., 2021).

عدد کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها:

³- Chloroplasts

⁴- Grana

⁵- Photosynthetic pigments

1- Hayola

2- Trapper

شاخص سطح برگ اهمیت به مراتب پایین تری دارد و تنها در صورتی که شرایط رشد گیاه با تنش های محیطی و یا کمبود شدید منابع غذایی به خصوص نیتروژن مواجه باشد، همبستگی بالایی با وضعیت رشد گیاه خواهد داشت (Forghani et al., 2010).

تراکم بوته در واحد سطح و رقم بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها در آزمایش حاضر می تواند نشان دهنده وضعیت مطلوب تک بوته از نظر فضای تغذیه ای و تأثیر اندک رقابت بر سر منابع غذایی جهت تشکیل کلروفیل برگ ها باشد. همچنان که در منابع مختلف، اثر میزان کلروفیل برگ بر ویژگی های رشد و عملکرد در مقایسه با صفت

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ براساس اثر اصلی (تیمار تراکم بوته در مترمربع)

Table 4- Mean comparison of leaf area index based on main effect (plant density treatment per square meter)

تراکم Density (plant m ⁻²)	شاخص سطح برگ LAI
30	3.11b*
50	3.42b
70	3.87a

۳۰، ۵۰ و ۷۰: به ترتیب نشان دهنده تراکم بوته در مترمربع می باشند.

* میانگین های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف آماری معنی داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

30, 50 and 70: indicate the plant density per square meter, respectively.

LAI= leaf area index

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on Duncan test at the 5% probability level

(Najafinezhad et al., 2021).

درصد پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه: اثر

تراکم بوته و برهم کنش تراکم و رقم بر درصد پروتئین علوفه معنی دار بود (جدول ۵). نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین درصد پروتئین علوفه (به ترتیب ۶/۳۵ و ۶/۰۳ درصد) در تراکم های ۳۰ بوته در مترمربع و دو رقم صدوق و رحمت به دست آمد. اما کمترین درصد پروتئین علوفه (به ترتیب ۴/۱۰ و ۴/۸۸ درصد) در تراکم های ۷۰ بوته در مترمربع حاصل گردید (جدول ۶). تغییرات درصد پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه همراه با کاهش تراکم بوته، روند صعودی داشت. تراکم های بوته مختلف نه تنها بر عملکرد بلکه بر کیفیت تغذیه نیز تأثیر می گذارد. احتمالاً این موضوع به دلیل استفاده بهینه از منابع محیطی مانند آب، نور، دما، رطوبت و مواد غذایی باشد. زیرا تراکم های بوته بالاتر اغلب منجر به رقابت برای منابع محیطی می شود که می تواند بر محتوای پروتئین دانه های کینوا تأثیر منفی بگذارد. افزایش درصد پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه با کاهش تراکم بوته در پژوهش های متعددی گزارش شده است (Van Minh et al., 2020; Najafinezhad et al., 2022).

اثر تراکم بوته، رقم و همچنین برهم کنش تراکم بوته و رقم بر عملکرد پروتئین علوفه معنی دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین دو رقم مورد بررسی اختلاف معنی داری وجود دارد. به طوری که بیشترین عملکرد پروتئین علوفه (به ترتیب ۱۱۶۳ و ۱۰۴۹ درصد) در تراکم ۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع و رقم صدوق مشاهده شد. کمترین عملکرد پروتئین علوفه (به ترتیب ۵۴۰ و ۵۶۷ درصد) در تراکم ۷۰ و ۵۰ بوته در مترمربع و رقم رحمت حاصل گردید (جدول ۶). در مطالعه ای که توسط پژوهشگران در مصر انجام شد، اثر دو

درصد خاکستر، درصد فیبر نامحلول در شوینده

اسیدی و درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی: نتایج تجزیه واریانس صفات علوفه ای کینوا از جمله خاکستر، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر تیمارهای تراکم بوته و رقم و برهم کنش این دو عامل معنی دار نبود (جدول ۵). در مطالعه ای روی کینوا گزارش گردید که میزان خاکستر علوفه ای این گیاه حدود ۱۸/۲ درصد بود. همچنین مقدار فیبر نامحلول در شوینده اسیدی بین ۲۸ تا ۳۲ درصد و میزان پروتئین خام موجود در آن بین ۱۱/۱ تا ۱۴/۷ درصد بود (Najafinezhad et al., 2021). فیبر نامحلول در شوینده خنثی نشان دهنده بخش دیواره سلولی گیاه (سلولز، همی سلولز و لگنین) و به عنوان شاخصی از قابلیت هضم علوفه محسوب می شود. علوفه ای با میزان فیبر کمتر، معمولاً از سرعت هضم بالاتری برخوردار بوده و در نتیجه می تواند انرژی بیشتری برای دام فراهم کند (Waghorn et al., 2007). براساس گزارش باسکوتا و اسلام (Baskota & Islam, 2017)، میانگین پروتئین خام علوفه کینوا بین ۱۳ تا ۲۴ درصد، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (سلولز، همی سلولز و لگنین) بین ۳۱ تا ۳۶ درصد و مقدار فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (سلولز و لگنین) بین ۲۲ تا ۳۱ درصد بود. همچنین نتایج پژوهش نجفی نژاد و همکاران (Najafinezhad et al., 2014) نشان داد که میزان فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی در ذرت (*Zea mays* L.) سیلویی به ترتیب ۳۰ و ۵۸/۲ درصد و در علوفه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به ترتیب ۳۴/۳ و ۶۲/۸ درصد بود. مقایسه مقادیر فیبر علوفه کینوا با ذرت و سورگوم بیانگر آن است که علوفه کینوا به دلیل دارا بودن فیبر کمتر، از کیفیت تغذیه ای بالاتری برای مصرف دام برخوردار است

به‌طور معمول، ذخیره پروتئین در دانه پیش از ذخیره کربوهیدرات آغاز می‌شود. بنابراین، می‌توان دلیل درصد بالاتر پروتئین علوفه در تراکم‌های بوته پایین را دسترسی بیشتر به منابع تغذیه‌ای به‌ویژه نیتروژن دانست که این موضوع موجب افزایش سنتز پروتئین در دانه‌ها می‌گردد (Eslami et al., 2024).

سطح تراکم بوته (۱۶۷ هزار و ۶۵ هزار بوته در هکتار) بر کیفیت ترکیبات غذایی گیاه کینوا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی این گیاه داشت، به‌گونه‌ای که افزایش تراکم سبب کاهش درصد پروتئین علوفه، عملکرد پروتئین علوفه و وزن دانه گردید (Eisa et al., 2018).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات علوفه‌ای کینوا درصد خاکستر، درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی، درصد پروتئین علوفه، عملکرد پروتئین علوفه و عملکرد علوفه

Table 5- Analysis of variance of some forage traits of quinoa ASH percentage, acid detergent fiber (ADF) percentage, neutral detergent fiber (NDF) percentage, forage protein percentage, forage protein yield (kg ha⁻¹) and forage yield (kg ha⁻¹)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		درصد خاکستر ASH percentage	درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی ADF percentage	درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی NDF percentage	درصد پروتئین علوفه FPP	عملکرد پروتئین علوفه FPY (kg ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک DFY (kg ha ⁻¹)
تکرار Replication	2	0.002 ^{ns}	0.00051 ^{ns}	0.00025 ^{ns}	0.06 ^{ns}	132752.42 ^{**}	45095245 ^{**}
تراکم بوته Plant density (D)	2	3.69 ^{ns}	0.00021 ^{ns}	0.00168 ^{ns}	4.49 ^{**}	99256.21 ^{**}	46803 ^{ns}
رقم Cultivar (C)	1	0.11 ^{ns}	0.00026 ^{ns}	0.00352 ^{ns}	0.03 ^{ns}	745741.16 ^{**}	261674319 ^{**}
D×C	2	1.40 ^{ns}	0.00087 ^{ns}	0.00178 ^{ns}	0.54 [*]	49185.33 [*]	727351 ^{ns}
خطا Error	10	2.93	0.00108	0.00211	0.09	9496.23	4177963
ضریب تغییرات C.V (%)		21.6	8.4	7.7	5.6	12.5	14.1

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

ADF= acid detergent fiber, NDF= neutral detergent fiber, FPP= forage protein percentage, FPY= forage protein yield, DFY= dry forage yield

جدول ۶- مقایسه میانگین درصد پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه (کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر برهم کنش تراکم بوته (در مترمربع) و رقم (براساس برش دهی فیزیکی)

Table 6- Mean comparison of forage protein percentage and forage protein yield (kg ha⁻¹) as influenced by plant density (per square meter) and cultivar (based on physical harvesting)

تراکم Density (plant m ⁻¹)	رقم Cultivar	درصد پروتئین علوفه FPP	عملکرد پروتئین علوفه FPY (kg ha ⁻¹)
30	صدوق Sadooq	6.35a*	1163a
50		5.69a	1049a
70		4.10b	741b
30	رحمت Rahmat	6.03a	624a
50		5.49b	567b
70		4.88c	540b

۳۰، ۵۰ و ۷۰: به ترتیب نشان‌دهنده تراکم بوته در مترمربع می‌باشند.

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

FPP: درصد پروتئین علوفه، FPY: عملکرد پروتئین علوفه

30, 50 and 70: indicate the plant density per square meter, respectively.

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on Duncan test at the 5% probability level

میانگین ۱۸۲۵۹ کیلوگرم در هکتار) در رقم صدوق به دست آمد. کمترین عملکرد علوفه خشک (با میانگین ۱۰۶۳۳ کیلوگرم هکتار) در رقم رحمت مشاهده شد (جدول ۷). براساس نتایج پژوهش حاضر،

عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار): اثر رقم بر عملکرد علوفه (کیلوگرم در هکتار) معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک (با

در رقم صدوق مشاهده شود. نجفی‌نژاد و همکاران (Najafinezhad et al., 2021) گزارش کردند که بیشترین عملکرد علوفه کینوا با میانگین به‌ترتیب ۳۸/۴۸ و ۳۵/۱۲ تن در هکتار در رقم کینوا ۱۲ مشاهده شد. کمترین عملکرد علوفه این گیاه نیز با میانگین ۲۳/۱۳ تن در هکتار در رقم گیزا یک به دست آمد. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های برخی محققان هم‌خوانی دارد (Saber, 2024).

این‌گونه می‌توان اظهار نظر نمود که رقم صدوق عملکرد بیشتری نسبت به عملکرد رقم رحمت داشت. برتری رقم صدوق از نظر عملکرد علوفه می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام مورد بررسی باشد که منجر به کارایی بالاتر این رقم در تبدیل منابع موجود به زیست‌توده شده است. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به پتانسیل بالاتر در تولید ماده خشک و پاسخ مناسب‌تر به شرایط محیطی منطقه، آزمایش اشاره کرد. این موضوع باعث شد که بیشترین عملکرد علوفه،

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر رقم

Table 7- Mean comparison of forage yield (kg ha⁻¹) as influenced by cultivar

رقم Cultivar	عملکرد علوفه خشک DFY (kg ha ⁻¹)
صدوق Sadooq	18259a*
رحمت Rahmat	10633b

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون دانکن اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

DFY= dry forage yield

* Means with similar letters in each column are not significantly different based on Duncan test at the 5% probability level

نتیجه‌گیری

عملکرد پروتئین علوفه (۱۱۶۳ کیلوگرم در هکتار) را به همراه داشت. عملکرد علوفه در رقم صدوق با میانگین ۱۸۲۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم رحمت با میانگین ۱۰۶۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین تراکم ۳۰ بوته در مترمربع همراه با رقم صدوق عملکرد بهتری را جهت افزایش کمیت و کیفیت علوفه کینوا در شرایط منطقه باوی، استان خوزستان تولید کرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌دلیل حمایت از این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش تراکم بوته تا حدی که باعث ایجاد رقابت در جذب منابع محیطی نشود و استفاده از این منابع به‌صورت بهینه انجام شود، همراه با انتخاب رقم مناسب، همواره منجر به افزایش عملکرد علوفه گردید. بهبود عملکرد علوفه کینوا، تابعی از اصلاح ویژگی‌های صفاتی چون شاخص سطح برگ است. افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۷۰ بوته در مترمربع باعث افزایش شاخص سطح برگ شد. بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۳/۸۷ در تراکم ۷۰ بوته در مترمربع و کمترین آن با میانگین ۳/۱۱ در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. نتایج نشان داد که تراکم ۳۰ بوته در مترمربع همراه با رقم صدوق بیشترین درصد پروتئین علوفه (۶/۳۵ درصد) و

References

- Alizadeh, F., Zaefarian, F., Torabi, B., & Abbasi, R. (2021). Investigation of the effect of plant density on growth indices of different cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Mazandaran climatic conditions. *Journal of Crop Production*, 14(3), 107-124. (in Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18883.2409>
- Antonietta, M., Fanello, D. D., Acciaresi, H. A., & Guimet, J. J. (2014). Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Research*, 155(1), 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.016>
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., & Ala, S. A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 16(3), 185-191.
- Baskota, S., & Islam, A. (2017). Evaluation of forage nutritive value of quinoa cultivars. *Field Days Bulletin*, LREC Long Reports.
- 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>
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Effect of sowing dates and row spacings on yield and quality

- components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) leaves. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 77(11), 748-751.
8. 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. *Journal of Applied Sciences*, 8(2), 515-522.
9. 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 Agronomía Y Zootecnia*, 53(1), 12-22.
10. Eslami, M., Salek Mearaji, H., Jamshidi, D., Taghavi, A., & Adinevand, I. (2024). Investigation the effect of planting distance on morphological traits, yield and yield components and quality of grain quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(2), 381-394. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.403211.1349>
11. FAO. (2023). FAO Statistic Service, [Online]. Available at: www.FAO.org/crop/statistics.
12. Forghani, A., Khoda Bandeh, N., Habibi, D., & Bankehsaz, A. (2010). Reaction of chlorophylls a and b, proline and yield of corn (SC704) to light stress and different density levels. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)*, 2(1), 29-37. (in Persian).
13. García, M., Condori, B., & Del Castillo, C. D. (2015). Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in South America. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*, 3(2), 25-46. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch3>
14. 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>
15. 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>
16. 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.). *Journal of Crop Production*, 13(1), 111-124. (in Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17603.2296>
17. Nabipour, Z., Zamani, G., & Gheisari, Y. (2023). 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. (In Persian).
18. Najafinezhad, H., Tahmasebi Sarvestani, Z. A., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2014). Evaluation of forage yield and quality of maize and sorghum under water stress and application of barley residue, zeolite and super absorbent polymer in terms of minimum tillage. 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran (in Persian).
19. Najafinezhad, H., Shakeri, P., & Amirpour Robat, M. (2021). Effect of planting date and plant density on forage yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties in cold temperate region of Kerman province in Iran. *Seed and Plant Journal*, 36(4), 439-460. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/spji.2021.123894>
20. 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. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.311672.654761>
21. Papastylianou, P., Kakabouki, I., Tsiplakou, E., Travlos, I., Bilalis, D., Hela, D., Chachalis, D., Anogiatis, G., & Zervas, G. (2014). Effect of fertilization on yield and quality of biomass of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and green amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). *Bulletin Uasvm Horticulture*, 71(2), 288-292. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:10411>
22. Phillips, K. M., Haytowitz, D. B., & Pehrsson, P. R. (2019). Implications of two different methods for analyzing total dietary fiber in foods for food composition databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84(3), 1-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103253>
23. 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), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>
24. Saberi, A. (2024). The effects of plant density and irrigation management on forage production of quinoa and forage sorghum. *Journal of Crop Production*, 17(1), 82-98. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.21796.2602>
25. Soltani, A. (2009). Mathematical Modeling in Field Crops. Mashhad Scientific Press, Mashhad, Iran. 175 p. (in Persian).
26. 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*, 25(3), 53-58.
27. Vahedi, M. R., Tohidi Nejad, E., & Pasandi Pour, A. (2022). Evaluation of yield and yield components of quinoa

- (*Chenopodium quinoa Willd.*) in as affected by different planting densities. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, 15(4), 593-608. (In Persian).
28. 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(12), 1977-1982. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.12.2849>
29. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
30. Waghorn, G. C., Burke, J. L., & Kolver, E. S. (2007). Principles of feeding value. *New Zealand Society of Animal Production: Hamilton, New Zealand*, 42(3), 35-59.
31. Zafari Ghalehrodkhani, B., Soltani, A., Zeinali, E., Kamkar, B., & Firozfar, M. (2017). Effect of plant density on allometric relationships between leaf area and vegetative traits of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(3), 546-558. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i3.46036>