University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 2, pp. 229-242 (Summer 2024)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5683.2166

Original article

Investigating the effect of different levels of irrigation and vermicomposting on yield and element concentration of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd.)

D. Sheykhi Sanandaji[1], Gh.R. Heidari[2*], P. Fathi[3], Z. Sharifi[4], H. Khodaverdiloo[5]

1. *PhD student in Agrotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
2. *Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
3. *Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
4. *Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
5. *Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran*

Received 5 October 2022; Accepted 27 November February 2022

Extended abstract

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a member of Amaranthaceae family. This plant is annual and has seeds with high nutritional value. Quinoa seeds contain a high percentage of protein and essential amino acids, which are low in other plants. Using high-efficiency irrigation systems such as drip irrigation system, increasing water productivity and modifying the cultivation pattern and using alternative low-consumption plants are among the effective solutions for saving water consumption and sustainable development in the agricultural sector. The use of vermicompost, which is obtained as a result of the continuous and slow passage of organic materials through the digestive system of surface earthworm species and the removal of these materials from the worm's body, is a sustainable solution to maintain production and improve fertility. The soil is especially in arid and semi-arid areas that face a lack of soil organic matter.

Materials and methods

This experiment was conducted as a split plot based on randomized complete block design in the research farm of University of Kurdistan located in Dehgolan in 1400. The experimental factors included 4 levels of irrigation equal to 50, 75, 100 and 125% of the water requirement of the quinoa plant were assigned to main plots and 4 levels of vermicompost fertilizer equal to zero, 5, 10 and 15 tons per hectare were assigned to sub plots. The irrigation method used in this experiment was drip-strip irrigation system. In this study, the irrigation cycle was considered constant and equal to seven days. The distance between irrigation strips in each plot was equal to 50 cm. The amount of irrigation water was measured by a volumetric meter installed on the main pipe. At the end of the growth period, by removing the marginal effect of two square meters from each plot, the aerial parts were harvested in order to obtain the seed yield. Nutrient elements in quinoa seeds include nitrogen by Kjeldahl titration method, phosphorus, potassium by flame diffusion method and with the help of film-photometer device, sodium

* Corresponding author: Gholamreza Heidari; E-Mail: g.heidari@uok.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

and calcium and micronutrient elements such as zinc, iron, copper and manganese by absorption device. atomic, were measured.

Results and discussion
The results of analysis of variance obtained from the data of this research showed that the interaction effect of different levels of irrigation × vermicompost on grain yield traits, concentration of nitrogen, calcium, zinc and iron elements was significant. However, the concentration of phosphorus, potassium and magnesium elements under the influence of independent effects of different levels of irrigation and vermicompost became significant at the probability level of 1%. The concentration of sodium and copper elements were significant only under the influence of different irrigation levels. The results showed that the highest grain yield (2374.51 $kg.ha^{-1}$), zinc concentration (20.22 $mg.kg^{-1}$) and iron concentration (400.92 $mg.kg^{-1}$) in The treatment was 125% of plant water requirement and 15 tons of vermi-compost per hectare. Also, the highest concentration of elements phosphorus (0.35%), potassium (4.31%) and copper (4.63 $mg.kg^{-1}$) was observed in the treatment of 125% of plant water requirement. The highest concentration of nitrogen (2.6%), sodium (1.37%) and manganese (55.61 $mg.kg^{-1}$) of quinoa seeds was observed in the treatment of 50% of plant water requirement.

Conclusion
The results of the present experiment showed that the application of different levels of vermicompost increases the concentration of elements in quinoa seeds. Due to the fact that vermicompost-containing substrates have a high percentage of nutrients and the release of these elements is gradual, therefore plant nutrition is more efficient and the result is an increase in the concentration of seed elements. On the other hand, due to the positive effects of vermi-compost in improving the physical and chemical properties of the soil and increasing the maintenance of soil moisture at stress levels, it increases the concentration of quinoa seed elements compared to the treatment without the use of vermi-compost.

Keywords: Micro irrigation, Micronutrients, Nitrogen, Organic fertilizer

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5683.2166

مقاله پژوهشی

بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و غلظت عناصر دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

دیبا شیخی‌سنندجی[۱]، غلامرضا حیدری[۲*]، پرویز فتحی[۳]، زاهد شریفی[۴]، حبیب خداوردیلو[۵]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۵. استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آبیاری میکرو
ریزمغذی‌ها
کود آلی
نیتروژن

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۹/۰۶

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۳

۱۷(۲): ۲۲۹-۲۴۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و غلظت عناصر دانه کینوا، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دهگلان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح آبیاری به ترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه کینوا و فاکتور فرعی شامل چهار سطح کود ورمی‌کمپوست به ترتیب برابر صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار بود. روش آبیاری مورداستفاده در این آزمایش از نوع سیستم آبیاری قطره‌ای–نواری بود. در این پژوهش دور آبیاری به‌صورت ثابت و برابر هفت روز در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (۲۳۷۴/۵۱ کیلوگرم در هکتار)، غلظت روی (۲۰/۲۲ $mg.kg^{-1}$) و غلظت آهن (۴۰۰/۹۲ $mg.kg^{-1}$) در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. همچنین بالاترین غلظت عناصر فسفر (۰/۳۵ درصد)، پتاسیم (۴/۳۱ درصد) و مس (۴/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. بیشترین محتوای نیتروژن (۲/۶ درصد)، سدیم (۱/۳۷ درصد) و منگنز (۵۵/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دانه کینوا در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. ورمی‌کمپوست دارای درصد بالایی از عناصر غذایی است. همچنین آزادسازی این عناصر نیز به‌صورت تدریجی انجام می‌شود، بنابراین تغذیه گیاه با آن کارآمدتر است. مصرف سطوح بالاتر ورمی‌کمپوست در آزمایش حاضر توانست موجب بهبود غلظت عناصر دانه کینوا گردد.

مقدمه

با توجه به تنوع اقلیمی ایران، ظرفیت بالایی برای کشت گونه‌های مختلف گیاهی در این کشور وجود دارد. رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز انسان به مواد غذایی و استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی، ایجاب می‌کند که از یک‌سو میزان تولید در بخش کشاورزی افزایش یافته و از سوی دیگر کیفیت این محصولات بهبود یابد (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2016). امروزه تنها سه گیاه گندم، برنج و ذرت تأمین‌کننده حدود ۶۰ درصد کالری و ۵۶ درصد پروتئین موردنیاز انسان می‌باشند، که این محدودیت موجب افزایش آسیب‌پذیری بخش کشاورزی و ضعف رژیم غذایی بشر می‌گردد (Rathore and Kumar, 2021). در راستای پایداری و اطمینان از تأمین نیازهای غذایی بشر، ضروری است نظام‌های کشاورزی از طریق افزایش کشت و کار گونه‌های زراعی جدید و یا گیاهان فراموش‌شده در الگوهای مختلف کشت،

* نگارنده پاسخگو: غلامرضا حیدری. پست الکترونیک: g.heidari@uok.ac.ir

زمینه را برای افزایش ثبات تولید و تأمین امنیت غذایی بشر فراهم سازد. کینوا[1] گیاهی با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd است. این گیاه یک‌ساله و دارای دانه‌هایی با ارزش غذایی بالا است. دانه گیاه کینوا حاوی درصد بالایی از پروتئین و اسیدآمینه‌های ضروری است که مقدار آن در سایر گیاهان کم است (Rathore and Kumar, 2021). سطح زیر کشت کینوا در جهان در سال ۲۰۲۰ معادل ۱۸۸۸۷۸ هکتار و میزان تولید آن ۱۷۵۱۸۸ تن بوده است (FAO, 2021). در بخش آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) هیچ گزارشی از سطح زیر کشت و میزان تولید کینوا در ایران ثبت نشده است. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی ازنظر ارزش غذایی، دانه کینوا را با شیر خشک مقایسه کرده است، همچنین کینوا به‌عنوان یک ماده غذایی کامل برای انسان معرفی‌شده و به‌عنوان تنها گیاه مونومری که می‌تواند تقاضای غذای اصلی انسان را برآورده کند معرفی شده است (FAO, 2021).

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در این نواحی خشکی و کم‌آبی یک واقعیت اقلیمی مسلم محسوب می‌شود. روند افزایشی تقاضای بخش‌های مختلف به آب در سال‌های آینده، مشکل کمبود آب را تشدید خواهد نمود. بخش کشاورزی با سهم ۹۳/۵ درصد مصرف، سهم عمده‌ای در مصرف آب تجدید پذیر را به خود اختصاص داده است (Afshar et al., 2020). به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا نظیر سیستم آبیاری قطره‌ای، افزایش بهره‌وری آب و اصلاح الگوی کشت و استفاده از گیاهان کم‌مصرف جایگزین ازجمله راهکارهای مؤثر در راستای صرفه‌جویی مصرف آب و توسعه پایدار در بخش کشاورزی محسوب می‌گردد. به‌کارگیری روش‌های جدید آبیاری علاوه بر اینکه باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی و باغی می‌شود، مقدار آب آبیاری مصرفی در طول دوره رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Valentín et al., 2020).

در نظام‌های کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. تأمین نیاز غذایی گیاهان توسط کودهای آلی، زیستی و افزایش ماده آلی خاک، رکن اصلی در این نظام کشاورزی است. کودهای آلی زیستی به‌صورت موادی متراکم شامل یک یا چند نوع موجود زنده خاک‌زی یا فعالیت متابولیکی حاصل از تجمع این موجودات در خاک می‌باشند، لذا باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی قابل‌دسترس و جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند. استفاده از ورمی‌کمپوست که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی سطحی‌زی و دفع این مواد از بدن کرم، حاصل می‌شود، راهکاری پایدار برای حفظ تولید و بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ که با کمبود ماده آلی خاک مواجه هستند. در کود ورمی‌کمپوست عناصر غذایی موردنیاز گیاهان شامل نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، روی، آهن، منیزیم و گوگرد به شکل‌های قابل‌دسترس وجود دارد و بنابراین در تغذیه گیاهان بسیار مؤثر است (Theunissen et al., 2010).

نتایج تحقیق محمدی و رضائی‌چیانه (Mohammadi and Rezaei-Chiyaneh, 2021) نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش غلظت عناصر دانه رازیانه و باقلا می‌شود. نتایج پژوهش دیگری نشان داد به‌موازات افزایش سطوح ورمی‌کمپوست، خصوصیات کمّی، کیفی و غلظت عناصر غذایی موجود در دانه زیره سبز نیز افزایش می‌یابد (Varnaseri Ghandali et al., 2020). پاپان و همکاران (Papan et al., 2021) نیز با انجام پژوهشی مشاهده کردند که با افزایش مقدار عناصر غذایی در ترکیبات کودی موردبررسی در مقایسه با عدم مصرف کود رشد، عملکرد و درصد عناصر دانه گیاه کینوا بهبود پیدا می‌کند.

با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی ازیک‌طرف و کاشت گیاهانی با نیاز آبی زیاد از طرف دیگر، انجام مطالعه روی گیاهانی کم‌توقع مانند کینوا به‌عنوان یک گیاه جدید و جایگزین گیاهان پرمصرف ازلحاظ آب ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه‌ی حاضر به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و کود ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر دانه کینوا و عملکرد آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان انجام شد. مزرعه مذکور در ۴۵ کیلومتری شرق سنندج واقع است. این مزرعه در مختصات جغرافیایی ۳۵/۱۸ درجه شمالی و ۴۷/۱۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین

[1] Quinoa

بارندگی سالیانه این منطقه برابر ۳۵۰ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، مدیترانه‌ای و از نوع نیمه‌خشک است. میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۲۳ و ۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین درجه حرارت ماهیانه و مجموع بارندگی ماهیانه در سال اجرای تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. این آزمایش در قالب کرت‌های خردشده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی طرح شامل چهار سطح آبیاری به ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه محصول کینوا و فاکتور فرعی شامل ۴ سطح کود ورمی‌کمپوست به ترتیب برابر صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار بود. رقم کینوا مورد کشت در این آزمایش، رقم زودرس تیتی کاکا بود. این رقم سازگار به کشت در مناطق کوهستانی است.

در این پژوهش، ابتدا زمین محل آزمایش توسط گاوآهن برگردان‌دار (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) شخم زده شد. قبل از کاشت بذر کینوا، برای خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین از دیسک و ماله استفاده شد. در تاریخ یک تیرماه بذر کینوا به‌صورت دستی کشت گردید. در پژوهش حاضر، ابعاد کرت‌های فرعی برابر با ۴ متر در ۳ متر بود. در هر کرت فرعی ۶ ردیف کشت با فاصله ردیف کشت برابر ۵۰ سانتی‌متر کشت گردید. فاصله مابین کرت‌های فرعی و اصلی به ترتیب برابر با ۱ متر و ۲ متر در نظر گرفته شد. بعد از اتمام شخم و جداسازی کرت‌های آزمایشی مقدار ورمی‌کمپوست مورداستفاده در هر کرت توزین شده و توسط تیلر دستی در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفت. همچنین وجین مزرعه به‌صورت دستی و هر هفته انجام شد. برداشت کینوا در تاریخ ۲۱ مهرماه قبل از شروع بارندگی پاییزه بود.

قبل از کاشت و تهیه بستر از شش نقطه محل آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱)، همچنین ورمی‌کمپوست مورداستفاده در این آزمایش مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۱. ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش

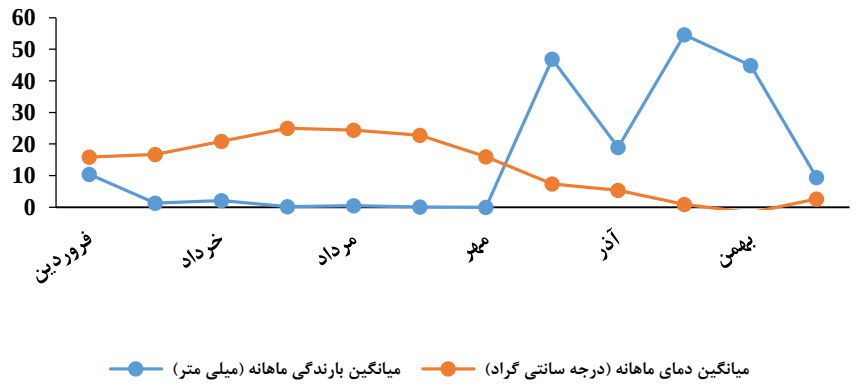
Table 1. Soil characteristics of the experimental site.

	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	ماده آلی O.C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu
			$dS.m^{-1}$	-------- % --------		---------- $mg.kg^{-1}$ ----------					
Soil	Clay loam	7.62	0.49	0.76	0.08	13.5	320	2.1	5.3	8.2	1.65

جدول ۲. ویژگی‌های ورمی‌کمپوست مورداستفاده در آزمایش

Table 2. Vermicompost characteristics used in the experiment

	اسیدیته pH	EC	ماده آلی O.C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu	کلسیم Ca
		$dS.m^{-1}$	------- % -------		$mg.kg^{-1}$	---------- % ----------					
ورمی‌کمپوست Vermicompost	7.95	1.12	16.69	0.9	0.76	0.98	0.8	0.52	0.9	0.85	2.8



شکل ۱. میانگین دما و بارندگی ماهیانه در سال ۱۴۰۰

Fig. 1. Average temperature and monthly rainfall in the year 2021

روش آبیاری مورداستفاده در این آزمایش از نوع سیستم آبیاری قطره‌ای–نواری بود. در این پژوهش دور آبیاری به‌صورت ثابت و برابر هفت روز در نظر گرفته شد. فاصله نوارهای آبیاری در هر کرت برابر ۵۰ سانتی‌متر بود. مقدار آب آبیاری توسط یک کنتور حجمی تعبیه‌شده بر روی لوله اصلی اندازه‌گیری گردید. علاوه بر این، برای کنترل و تنظیم مقدار آب آبیاری ورودی به هر کرت، شیرهای قطع و وصل در ابتدای لوله لاترال نصب شد. قطر لوله اصلی، آب‌رسان و نوارهای آبیاری به ترتیب برابر ۵۶، ۳۲ و ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای تعیین عمق آب آبیاری از روش بیلان رطوبتی خاک استفاده گردید. برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه و عمق آب آبیاری یک روز قبل از هر آبیاری پایش رطوبت ناحیه توسعه ریشه در کرت شاهد (برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی و صفر تن ورمی‌کمپوست) به روش وزنی صورت پذیرفت و عمق آب آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شد (Xu et al., 2016). درصد حجمی رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نیز در مزرعه و با احداث کرتی به مساحت ۱ مترمربع اندازه‌گیری گردید (Diallo and Marico, 2013).

$$Ig = Reff + (\theta fc - \theta I) \times Dr/\eta \quad [۱]$$

که در آن Ig عمق ناخالص آبیاری در هر بار آبیاری (mm)، $Reff$ بارندگی مؤثر در حد دو فاصل آبیاری (mm)، Θfc رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (٪)، ΘI رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری برحسب (٪)، Dr عمق توسعه ریشه (mm) و η راندمان سیستم آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) که برابر ۹۰٪ در نظر گرفته شد.

در پایان دوره رشد با حذف اثر حاشیه دو مترمربع از اندام هوایی هر کرت، به‌منظور به دست آوردن عملکرد دانه برداشت شد. عناصر غذایی موجود در بذر کینوا شامل نیتروژن به روش تیتراسیون با کجلدال (Nelson and Sommers, 1973)، فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با اسپکتروفوتومتر در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر (Tenninghoff and Houba, 2004)، پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم‌فوتومتر، سدیم و کلسیم (Tenninghoff and Houba, 2004) و عناصر ریزمغذی ازجمله روی، آهن، مس و منگنز توسط دستگاه جذب اتمیک (Karla, 1998)، اندازه‌گیری شدند.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD استفاده گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از صفحه گسترده Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه، محتوای عناصر نیتروژن، کلسیم، روی و آهن معنی‌دار شد. غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم تحت تأثیر اثرات مستقل سطوح مختلف آبیاری و ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. محتوای عناصر سدیم و مس تنها تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری معنی‌دار شدند (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد سطوح مختلف آبیاری و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و محتوای عناصر ماکرو دانه کینوا

Table 3. Analysis of variance for the effect of application different levels of irrigation and vermicompost on the yield and concentration of quinoa macro elements

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد دانه grain yield	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium
تکرار Replication	2	8924.86^{ns}	0.0001^{ns}	0.00006^{ns}	0.071^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	3	3019995.32**	0.92**	0.04**	10.68**
خطا ۱ Error 1	6	9602.69	0.006	0.0005	0.046
ورمی‌کمپوست Vermicompost (V)	3	223492.28**	3.68**	0.39**	4.73**
آبیاری × ورمی‌کمپوست I × V	9	20561.08*	0.13**	0.0005^{ns}	0.135^{ns}
خطا ۲ Error 2	24	7954.74	0.003	0.0006	0.078
ضریب تغییرات CV%	-	*5.41*	*4.6*	*8.31*	*8.59*

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد سطوح مختلف آبیاری و ورمی‌کمپوست بر محتوای عناصر میکرو دانه کینوا

Table 4. Analysis of variance for the effect of application different levels of irrigation and vermicompost on the concentration of quinoa micronutrient elements

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلسیم Calcium	سدیم Sodium	روی Zinc	آهن Ferrum	مس Copper	منگنز Manganese
بلوک Block (B)	2	0.005^{ns}	0.113^{ns}	0.38^{ns}	219.7^{ns}	0.68^{ns}	17.98^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	3	1.27**	0.61*	12.3**	31671**	17.77**	226.6**
خطا آبیاری B (I)	6	0.001	0.12	0.41	19.37	0.44	5.1
ورمی‌کمپوست Vermicompost(V)	3	1.11**	0.04^{ns}	3.36**	18536.5**	0.58^{ns}	411**
آبیاری × ورمی‌کمپوست I × V	9	0.023**	0.056^{ns}	0.97*	1136.1**	0.45^{ns}	19.4^{ns}
خطا Error	24	0.004	0.14	0.44	82.4	0.47	18.21
ضریب تغییرات CV%	-	*3*	*6.9*	*3.82*	*3.07*	*20.71*	*8.52*

ns غیر معنی‌دار، * و **به ترتیب معنی‌دار سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

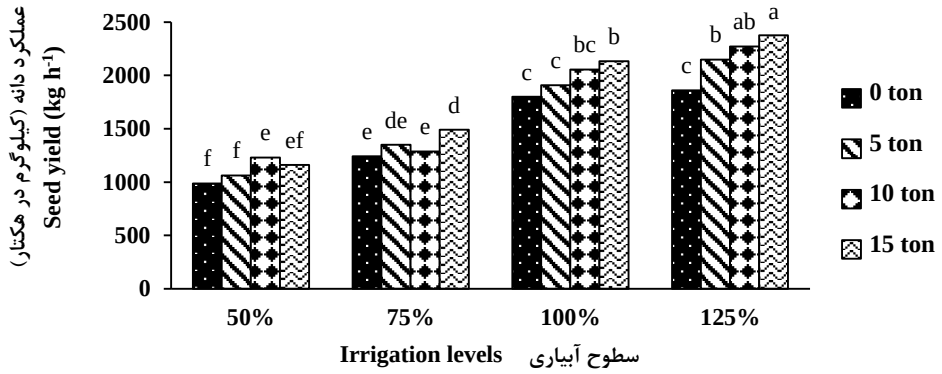
ns: non-significant, *: significant at P≤0.05, **: significant at P≤0.01, respectively.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه کینوا نشان داد که این صفت تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری × ورمی‌کمپوست در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بالاترین عملکرد دانه معادل ۲۳۷۴/۵۱ $kg.h^{-1}$ در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار آن معادل ۹۸۵/۸ $kg.h^{-1}$ در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بدون کاربرد کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد (شکل ۲). کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در همه سطوح آبیاری شده است. اثر مطلوب ورمی‌کمپوست احتمالاً ناشی از وجود مقادیر بالا عناصر غذایی و بهبود فراهمی عناصر ماکرو و میکرو خصوصاً در شرایط وجود رطوبت کافی برای گیاه است. علاوه بر این مقادیر بالایی مواد هیومیکی در ترکیبات ورمی‌کمپوست وجود دارد که این مواد موجب فراهمی عناصر غذایی خصوصاً روی و آهن را افزایش داده و موجب بهبود متابولیسم گیاهی و افزایش عملکرد می‌شود (Praveen et al., 2018). نتایج تحقیقات ال‌جمال و همکاران (El-Gamal et al., 2020) نشان داد که استفاده از کودهای آلی به‌طور قابل‌توجهی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد. همچنین آنان با مطالعه انواع مختلف خاک و پاسخ آن‌ها به ورمی‌کمپوست گزارش کردند این ترکیبات موجب افزایش عملکرد و رشد بیشتر محصول می‌شوند.

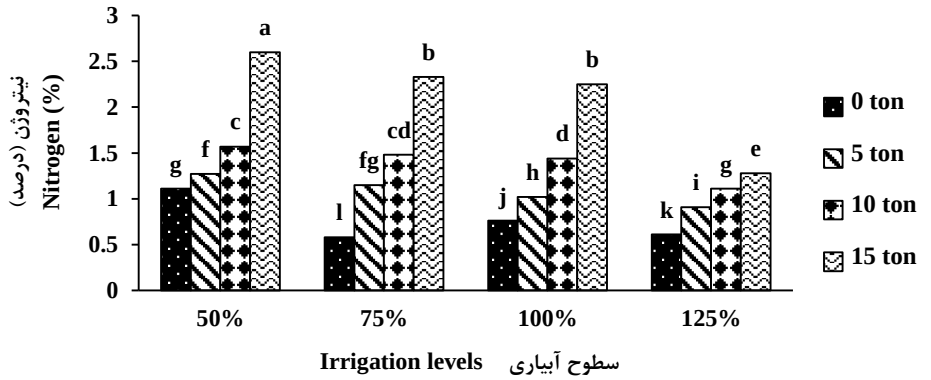
غلظت نیتروژن دانه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه در تیمار ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه معادل ۲/۶ درصد بود (شکل ۳). با افزایش سطوح آبیاری درصد نیتروژن دانه کینوا کاهش یافت؛ اما افزایش سطوح ورمی‌کمپوست مورداستفاده موجب افزایش درصد نیتروژن در تمام سطوح آبیاری گردید (شکل ۳). ورمی‌کمپوست از یکسو حاوی مقادیری نیتروژن است که گیاه می‌تواند از آن استفاده کند. از سوی دیگر این نوع ترکیب‌های آلی با تأثیر مثبتی که بر رشد ریشه دارند، شرایط را برای جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن فراهم می‌کنند (Khosravi et al., 2016). نتایج پژوهش ال‌تهان و همکاران (EL-Tahan et al., 2019) نشان داد که با افزایش سطوح آبیاری درصد نیتروژن دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که این نتیجه منطبق بر نتیجه حاصل از این پژوهش است. همچنین افزایش غلظت نیتروژن دانه در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد توسط سایر محققان گزارش شده است (Mohammadi and Rezaei-Chiyaneh, 2021).



شکل ۲. اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بر عملکرد دانه کینوا

Fig. 2. The effect of different levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% of the water crop requirement of the plant) and vermicompost (0, 5, 10 and 15 tons per hectare) on the seed yield of quinoa.



شکل ۳. اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بر درصد نیتروژن دانه

Fig. 3. The effect of different levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% of plant water crop requirement) and vermicompost (0, 5, 10 and 15 tons per hectare) on seed nitrogen percentage.

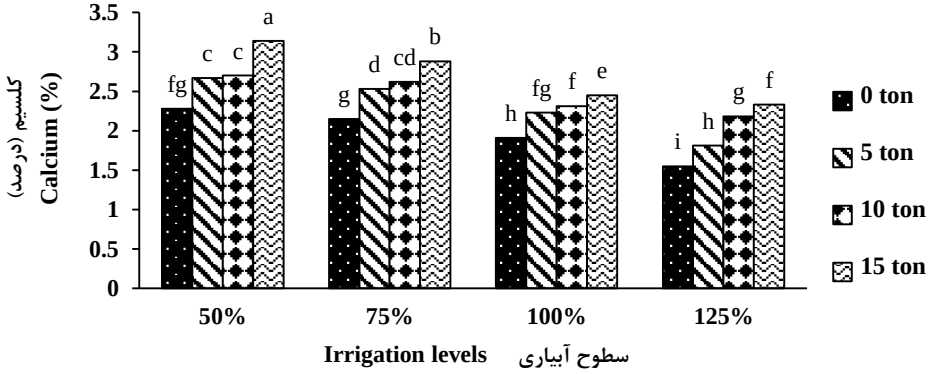
غلظت کلسیم دانه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که غلظت کلسیم دانه با افزایش سطوح آبیاری کاهش یافت به‌نحوی‌که کمترین مقدار معادل ۱/۵۵ درصد در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده شد (شکل ۴)؛ اما کاربرد ورمی‌کمپوست در همه سطوح آبیاری موجب افزایش غلظت کلسیم دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد و بیشترین محتوای کلسیم دانه معادل ۳/۱۴ درصد در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (شکل ۴). عنصر کلسیم نقش مهمی در فعال کردن مکانیسم‌های تنظیمی گیاهان در راستای سازگاری با شرایط خشکی دارد و بالاتر بودن غلظت کلسیم دانه در تیمارهای تنش نشان‌دهنده مکانیسم گیاه در راستای مقابله با خشکی بوده است (Xu and Zhang, 2013). علاوه بر این ماندگاری و اثرات کودهای آلی به‌ویژه ورمی‌کمپوست در خاک بالا است. ازآنجایی‌که ورمی‌کمپوست دارای تخلخل زیاد است و از سوی دیگر، بر ساختمان خاک اثر می‌گذارد، توانایی جذب و نگه‌داری عناصر غذایی خصوصاً کلسیم را افزایش خواهد داد؛ بنابراین افزایش محتوای کلسیم دانه در سطوح بالاتر کاربرد ورمی‌کمپوست در آزمایش حاضر قابل توجیه است. در مطالعه‌ی انجام‌گرفته توسط محمدی و رضائی‌چیانه (Mohammadi and Rezaei-Chiyaneh, 2021) افزایش غلظت کلسیم دانه در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست گزارش گردید. آن‌ها دلیل این امر را به غلظت بالای عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه موجود در ورمی‌کمپوست

نسبت دادند که می‌تواند موجب رشد گیاه شود. نتیجه حاصل از آزمایش حاضر منطبق بر نتیجه آزمایش مذکور است.

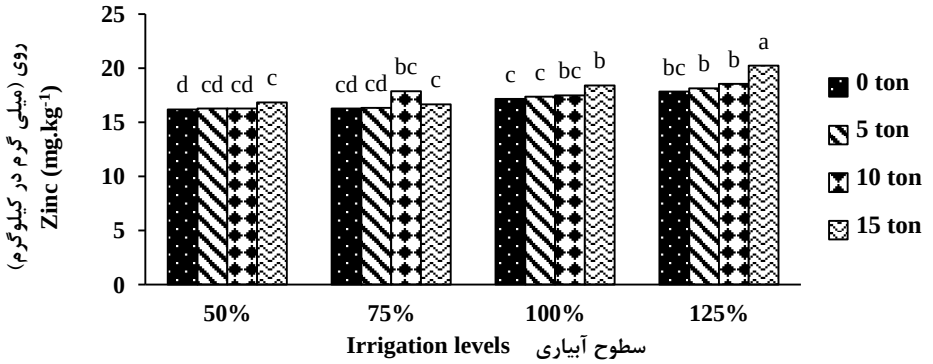
غلظت روی دانه

بالاترین غلظت روی دانه معادل (۲۰/۲۲ $mg.kg^{-1}$) در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار آن معادل (۱۶/۱۹ $mg.kg^{-1}$) در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده شد (شکل ۵). جذب عنصر روی در گیاه از طریق مکانیسم جذب فعال است، اما با کاهش سطوح آبیاری و خشک شدن خاک، عنصر روی به دلیل درگیری بین طبقات خاک، عملاً از دسترس گیاه خارج شده و غلظت آن در دانه کاهش می‌یابد (Marschner, 2012). کاهش غلظت روی در تیمار تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است که همسو با تحقیق حاضر است (Karimi et al., 2020). درصد مواد هیومیکی در ورمی‌کمپوست بالا بوده و این ترکیبات دارای وزن مولکولی پایین می‌باشند که با قرار گرفتن در غشاهای سلولی علاوه بر اینکه موجب پایداری غشاء می‌شوند، بلکه جذب گروهی از عناصر غذایی ازجمله روی را نیز بهبود می‌بخشند (Nardi et al., 2002). افزایش غلظت روی دانه با کاربرد ورمی‌کمپوست در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است که منطبق بر نتیجه حاصل از آزمایش حاضر است (Mohammadi and Rezaei-Chiyaneh, 2021).



شکل ۴. اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بر درصد کلسیم دانه

Fig. 4. The effect of different levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% of plant water crop requirement) and vermicompost (0, 5, 10 and 15 tons per hectare) on seed calcium percentage.

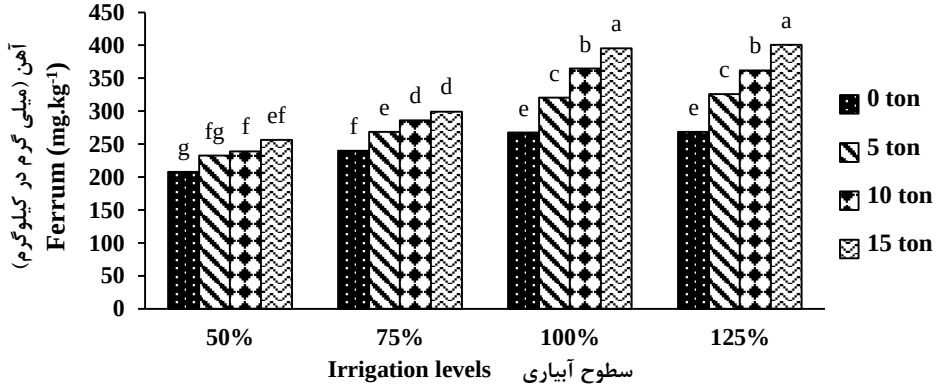


شکل ۵. اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بر غلظت روی دانه

Fig. 5. The effect of different levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% of the plant's water crop requirement) and vermicompost (0, 5, 10 and 15 tons per hectare) on zinc concentration in seeds.

غلظت آهن دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف غلظت آهن دانه کینوا تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌های مربوط به غلظت آهن دانه (شکل ۶) حاکی از آن بود که با افزایش سطوح آبیاری و ورمی‌کمپوست غلظت آهن در دانه کینوا افزایش یافت. رطوبت پایین خاک سبب کاهش جذب آهن توسط ریشه گیاه می‌شود، بنابراین کاهش غلظت آهن در تیمارهای تنش خشکی قابل توجیه می‌باشد (EL-Tahan et al., 2019). تجزیه مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست باعث آزادسازی اسیدهای آلی و کاهش pH خاک می‌شود و درنتیجه این فرآیند جذب آهن افزایش‌یافته و از رسوب آن جلوگیری می‌شود، علاوه بر این مواد آلی موجود در خاک، یون‌های آهن را کلات کرده و از رسوب آن‌ها ممانعت می‌کنند. همچنین ورمی‌کمپوست مصرفی دارای مقادیری آهن بوده که توسط گیاه جذب شده و باعث افزایش غلظت آهن دانه می‌شود (Rajaie and Tavakoly, 2016).



شکل ۶. اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و ورمی‌کمپوست (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بر غلظت آهن دانه

Fig. 6. The effect of different levels of irrigation (50, 75, 100 and 125% of plant water crop requirement) and vermicompost (0, 5, 10 and 15 tons per hectare) on seed iron concentration

غلظت فسفر دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که بیشترین (۰/۳۵ درصد) و کمترین (۰/۲۲ درصد) محتوی فسفر دانه کینوا در سطح ۱۲۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۵). جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان در شرایط کمبود آب، ناشی از کاهش تعرق، اختلال در سیستم انتقال فعال و نفوذپذیری غشاء و درنتیجه کاهش نیروی جذب‌کنندگی ریشه، کاهش می‌یابد. علاوه بر این کاهش رطوبت خاک، موجب کاهش سرعت انتشار مواد غذایی از محیط خاک به سطح جذب‌کننده ریشه می‌شود. در نتیجه کمبود میزان رطوبت خاک، کارایی سیستم ریشه گیاه نیز کاهش می‌یابد. تثبیت فسفر در خاک، در شرایط کم‌آبی، از دیگر دلایل کمبود این عنصر در گیاه ذکر شده است (Karimi et al., 2020). کاهش غلظت فسفر دانه کینوا در تیمارهای تحت تنش در مقایسه با تیمار شاهد توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (EL-Tahan et al., 2019).

بالاترین غلظت فسفر دانه معادل ۰/۳۵ درصد در تیمار کاربرد ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). بالا بودن درصد ماده آلی در ورمی‌کمپوست مانع تثبیت فسفر در طول رشد گیاه می‌شود همچنین به دلیل آزادسازی تدریجی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی، میزان فسفر خاک با افزودن ورمی‌کمپوست افزایش‌یافته و به دنبال آن غلظت این عنصر در دانه گیاه نیز افزایش می‌یابد (Agegnehu et al., 2016). در ارتباط با افزایش غلظت فسفر در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، محققان قبلی بیان داشتند که پسماند و مواد دفعی کرم‌های خاکی کمپوست‌کننده اغلب دارای فسفری به میزان ۵ تا ۱۱ برابر خاک است. علاوه بر این، ترشحات درون سیستم هاضمه کرم‌ها حلالیت عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را افزایش می‌دهد و در نتیجه‌ی آن جذب عنصر فسفر افزایش می‌یابد (Khosravi et al., 2016; Varnaseri Ghandali et al., 2020).

غلظت پتاسیم دانه

نتایج مقایسه میانگین داده‌های پژوهش حاضر نشان داد که بالاترین غلظت پتاسیم دانه در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. همچنین بررسی اثرات ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم دانه نیز نشان‌دهنده افزایش غلظت این عنصر در تیمارهای ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵). در تحقیقات زیادی کاهش غلظت پتاسیم در تنش خشکی گزارش شده است که دلیل این امر ناشی از کاهش قابلیت دسترسی پتاسیم در شرایط کمبود رطوبت است. در سطوح بالاتر آبیاری به دلیل افزایش رطوبت خاک، یون‌های تک‌ظرفیتی نظیر پتاسیم در محلول خاک بیشتر از یون‌های دوظرفیتی نظیر منیزیم و کلسیم است؛ بنابراین درصد بالاتری از پتاسیم توسط گیاه جذب‌شده و در دانه ذخیره می‌گردد، به‌تدریج با خشک شدن خاک، کلوئیدهای رس با قدرت بیشتری پتاسیم را به سطح خود جذب کرده و مانع از جدا شدن این یون‌ها می‌شوند (Karimi et al., 2020). افزایش غلظت پتاسیم در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست را می‌توان به بهبود چرخه عناصر غذایی و خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نسبت داد. علاوه بر این ورمی‌کمپوست موجب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک شده و فعالیت این موجودات موجب ترشح اسیدهای آلی و ایجاد محیط اسیدی در اطراف ریشه شده و این امر افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم را به دنبال دارد (Agegnehu et al., 2016).

غلظت سدیم دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که درصد سدیم دانه کینوا تنها تحت تأثیر سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین غلظت سدیم دانه کینوا (۱/۳۷ درصد) در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد و با افزایش سطوح آبیاری غلظت سدیم دانه کاهش یافت (جدول ۵). در شرایط تنش، تجمع سدیم در بافت‌های مختلف گیاهی خصوصاً دانه به دلیل جذب بیشتر توسط ریشه و تخلیه بیشتر از آوند چوبی به برگ است. این کار موجب ایجاد تعادل اسمزی در گیاه شده که منجر به جذب بیشتر آب می‌گردد (EL-Tahan et al., 2019). افزایش غلظت سدیم دانه تحت تنش خشکی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Karimi et al., 2020).

غلظت مس دانه

مقایسه میانگین غلظت مس دانه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین غلظت مس در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه معادل (۴/۶۳ $mg.kg^{-1}$) و کمترین مقدار آن معادل (۲/۳۰ $mg.kg^{-1}$) در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد (جدول ۵). تنش خشکی موجب کاهش میزان جذب فعال عناصر می‌گردد بنابراین کاهش غلظت عناصر غذایی در تیمارهای تنش خشکی منطقی به نظر می‌رسد (Marschner, 2012). کاهش غلظت مس دانه ذرت و کینوا در تیمارهای تنش خشکی در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب توسط کریمی و همکاران (Karimi et al., 2020) و ال‌طاحان و همکاران (EL-Tahan et al., 2019) نیز گزارش شده است که منطبق بر نتیجه آزمایش حاضر می‌باشد.

غلظت منگنز دانه

نتایج مقایسه میانگین‌های جذب منگنز تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین غلظت دانه منگنز معادل (۵۵/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌های جذب عناصر کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین غلظت دانه منگنز معادل (۵۵/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار و کمترین مقدار آن معادل (۴۳/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار عدم کاربرد کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد (جدول ۵). افزایش غلظت منگنز دانه با افزایش تنش خشکی می‌تواند از کاهش زیست‌توده در اثر تنش خشکی ناشی شود که سبب می‌گردد غلظت این عنصر در دانه افزایش پیدا کند. اضافه شدن ورمی‌کمپوست به خاک موجب افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف در اثر تغییرات در ویژگی‌های شیمیایی خاک ازجمله کاهش اسیدیته و تشکیل کمپلکس‌های محلول می‌گردد که این امر منجر به جذب بیشتر عناصر ازجمله منگنز توسط گیاه می‌شود (Mensah and Frimpong, 2016). کاهش غلظت منگنز دانه در تنش خشکی (EL-Tahan et al., 2019) و افزایش غلظت منگنز دانه در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست توسط نجفی و همکاران (Najafi et al., 2014) و رجایی و توکلی (Rajaie and Tavakoly, 2016) نیز گزارش شده است که همگی منطبق بر نتایج حاصل از آزمایش حاضر است.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات مستقل آبیاری و ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر دانه کینوا

Table 5. Means comparing of irrigation and vermicompost effects on the concentration of quinoa grain elements

تیمارها Treatments	سطوح Levels	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	سدیم Sodium	مس Copper	منگنز Manganese
		----------(%)----------			--------- $mg.kg^{-1}$ ---------	
آبیاری Irrigation	۵۰ درصد نیاز آبی گیاه 50% of the plant water requirement	0.22^{d}	2.07^{d}	1.37^{a}	2.30^{b}	55.61^{a}
	۷۵ درصد نیاز آبی گیاه 75% of the plant water requirement	0.27^{c}	3.02^{c}	1.19^{ab}	2.26^{b}	50.39^{b}
	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه 100% of the plant water requirement	0.31^{b}	3.6^{b}	1.01^{bc}	4.08^{a}	49.11^{b}
	۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه 125% of the plant water requirement	0.35^{a}	4.31^{a}	0.84^{c}	4.63^{a}	45.07^{c}
ورمی‌کمپوست Vermicompost	عدم کاربرد ورمی‌کمپوست Not use vermicompost	0.21^{d}	3.89^{a}	1.06^{a}	3.29^{a}	43.56^{b}
	۵ تن ورمی‌کمپوست 5 ton vermicompost	0.27^{c}	3.62^{b}	1.07^{a}	3.06^{a}	46.70^{b}
	۱۰ تن ورمی‌کمپوست 10 ton vermicompost	0.30^{b}	2.95^{c}	1.09^{a}	3.60^{a}	54.19^{a}
	۱۵ تن ورمی‌کمپوست 15 ton vermicompost	0.35^{a}	2.50^{d}	1.19^{a}	3.32^{a}	55.73^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD multiple range Test

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود ورمی‌کمپوست موجب افزایش غلظت عناصر در دانه کینوا می‌شود. بیشترین عملکرد دانه (۲۳۷۵/۵۱ کیلوگرم در هکتار)، محتوی روی دانه (۲۰/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) محتوی آهن دانه (۴۰۰/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. بیشترین محتوی نیتروژن و کلسیم دانه به ترتیب معادل ۱/۱۱ و ۲/۲۸ درصد در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار مشاهده شد. بیشترین مقادیر فسفر (۰/۳۵ درصد)، پتاسیم (۴/۳۱ درصد) و سدیم (۱/۱۹ درصد) در تیمار ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به دست آمد. با توجه به اینکه بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست دارای درصد بالایی از عناصر غذایی می‌باشند و آزادسازی این عناصر نیز به‌صورت تدریجی انجام می‌شود، بنابراین تغذیه گیاه با آن کارآمدتر است و نتیجه آن افزایش غلظت عناصر دانه می‌باشد. از سوی دیگر کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی از طریق اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش نگه‌داری رطوبت خاک، موجب افزایش غلظت عناصر دانه کینوا در مقایسه با تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست می‌گردد. با توجه به کمبود مواد آلی در اغلب خاک‌های ایران پیشنهاد می‌شود از کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست استفاده گردد تا علاوه بر افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی دانه، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز بهبود یابد.

منابع

Afshar, H., Sharifan, H., Ghahraman, B., Bannayan, M., 2020. Investigation of wheat water productivity in drip irrigation (tape) (Case study of Mashhad and Torbat Heydariyeh). Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 14, 39-48. [In Persian].

Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Bird, M.I., 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality: maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. Science of the Total Environment. 543, 295-306.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054

Diallo, D., Marico, A., 2013. Field capacity (FC) and permanent wilty point (PWP) of clay soils developed on quaternary alluvium in niger river loop (Mali). International Journal of Engineering Research and Applications. 3(1), 1085-1089.

El-Gamal B.A., Hanan, M., El-Fotoh, A., Mervat, A., 2020. Impact of organic and bio-fertilizers on soil health and production of quinoa and soybean. Middle East Journal of Agriculture Research. 9, 828-847. https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.4.65

EL-Tahan, A., Wali, M, Ibrahim, O.M., Kandil, E.E., 2019. Saline Water as Supplementary Irrigation and Plant Spacing in Relation to The Productivity and Quality of Quinoa under Calcareous Soil Conditions. Journal of Sustainable Agricultural Sciences. 45, 67-79. https://doi.org/10.21608/jsas.2019.12728.1146

FAO stat. 2021. Statistical of crop production. Available at: http://www.fao.org/faostat/en/#data (accessed April 13, 2021).

Karimi, A., Ghobadim M.E., Nosrati, I., 2020. Study the effect of not-irrigation at different growth stages of corn on content and amount of grain's elements. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 349-362. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2261.1577

Karla, Y.P., 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press is an imprint of taylor and francis group. New York, 291p. https://doi.org/10.1201/9780367802233

Khosravi, M., Rizi, S., Barzegar, R., Rabiei, G.R., 2016. Improving of quantitative and qualitative traits of sport turf by humic acid and vemicompot application. Journal of Crops Improvement. 18, 727-741. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56635

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., 2016. Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. Iranian Journal of Field Crops Research. 14, 1-20. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.51157

Marschner, P., 2012. Marschner's mineral nutrition mineral nutrition of higher plants. London Academi.

Mensah, A.K., Frimpong, K.A., 2018. Biochar and/or compost applications improve soil properties, growth, and yield of maize grown in acidic rainforest and coastal savannah soils in Ghana. International Journal of Agronomy. 7, 1-8. https://doi.org/10.1155/2018/6837404

Mohammadi, H., Rezaei-Chiyaneh, E., 2021. Effect of Vermicompost Application on Nutrient Uptake and Seed Yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Intercropping Patterns with Faba Bean (*Vicia faba* L.). Journal of Agroecology. 13, 423-448. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jag.v13i3.86789

Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Oustan, S., 2014. Effect of farmyard manure and intercropping of corn with bitter vetch on the bitter vetch seed yield and nutrients contents and concentrations. 1st International and 13th Iranian crop Science Congress 3rd Iranian Seed science and Technology Conference. 5, 1-4. [In Persian].

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34, 1527-1536. https://doi.org/10.1016/-0717(02)00174-8

Nelson, D.W. Sommers, L.E., 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal. 65, 109-112. https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010033x

Papan, P., Moezzi, A., Chorom, M., Rahnama, A., 2021. The effect of urea fertilizer application and sugarcane field drainage on some soil properties, grain yield and nutrient concentrations in quinoa seeds. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 11, 71-90. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18528.1988

Praveen Kadam, V., Suneetha Devi, K.B., Hussain, S.A., Uma Devi, M., 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, 2319-7706. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.398

Rajaie, M., Tavakoly, A.R., 2016. Effects of municipal waste compost and nitrogen fertilizer on growth and mineral composition of

tomato. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 5, 339-347. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0144-4

Rathore, sh., Kumar, R., 2021. Vermicompost fertilization and pinching improves the growth, yield, and quality of super food (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the western Himalaya. Acta Physiologiae Plantarum. 43, 234-251.

Tenninghoff, E., Houba, V., 2004. Plant Analysis Procedures (second edition). Kalwer Academic Publisher. 179P.

Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. and Laubscher, C.P., 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of Physical Sciences, 5, 964-1973.

Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A., Sánchez, J.M., Intrigliolo, D.S., Alarcón, J.J., López-Urrea, R., 2020. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. Irrigation Science. 38, 105-115. https://doi.org/10.1007/s00271-019-00657-z

Varnaseri Ghandali, V., Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian, H., Haghighat jou, P., 2020. Effects of vermicompost and humic acid application on the uptake of macro-elements, seed, and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 35, 950-966. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.125423.2521

Xu, C, Li, X., and Zhang, L., 2013. The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis, and antioxidant responses of Zoysia japonica under drought conditions. Plos One. 8, e68214. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068214

Xu, X., He, P., Pampolino, M.F., Li, Y., Liu, S., Xie, J., Hou, Y., Zhou, W., 2016. Narrowing yield gaps and increasing nutrient use efficiencies using the Nutrient Expert system for maize in Northeast China. Field Crops Research. 194, 75-82. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.005