Influence of Municipal Sewage Sludge and Triple Superphosphate Application on Some Growth Traits and P uptake of Quinoa under Non-saline and Saline Conditions

H. Hatami[1*]

نسخه پیش از انتشار

Abstract

The objective of this study was to compare the effect of municipal sewage sludge (MSS) and triple superphosphate (TSP) application on some growth traits and P uptake of quinoa under saline and non-saline conditions. Therefore, a pot experiment was conducted in a completely randomized factorial design with 3 TSP levels (0, 29 and 38 mg kg^{-1} soil which were named T_0, T_1, and T_2, respectively), 3 MSS levels (0, 0.25 and 0.5% w/w which were named M_0, M_1 and M_2, respectively), 2 irrigation water salinity levels (2 and 12 dS m^{-1}, which were named non-saline and saline, respectively) and 3 replicates. As results demonstrate, although all growth properties of quinoa significantly decreased by increasing of irrigation water salinity, application of MSS and TSP (especially combined treatments) was able to diminish the negative effect of salinity. In non-saline condition, the highest amounts of shoot dry weight, seed yield and P uptake were observed for T_2M_2 which 2.8, 3.1 and 13.7 times more than T_0M_0. In saline condition although T_2M_2 had the greatest enhancement in all measured parameters, there was no statistically difference between this treatment and T_1M_2. Hence, this result suggested that application of T_1M_2 in saline condition was more convenient for improving the growth of quinoa as well as fertilizer management. T_2M_2 and T_1M_2 were the best in non-saline and saline conditions respectively, probably due to improve of P uptake by quinoa as well as increase of soil organic content.

Keywords: Organic carbon, Pseudo-cereal, Salinity, Seed yield.

Background & Objective: Due to the P reactions with soil components not all the P applied to soils is available to plants, hence, it is necessary to improve P use efficiency. Application of organic compound (e.g. municipal sewage sludge) as a P fertilizer into soil is one the way to enhance soil P supply. The P availability issue is much more important in saline lands because in addition to soil components, salinity directly affects nutrient uptake and translocation (Bouras et al., 2022). Therefore, this study was performed to compare the effect of the single and combined applications of municipal sewage sludge (MSS) and triple superphosphate (TSP) on some growth properties and P uptake of quinoa under non-saline and saline conditions.

1- National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
* Corresponding author, Email: h.hatami@areeo.ac.ir

Materials and Methods: A pot experiment was laid in a completely randomized factorial design with 3 MSS levels (0, 0.25 and 0.5% w/w which were named M_0, M_1 and M_2, respectively), 3 TSP levels (0, 29 and 38 mg kg^{-1} soil which were named T_0, T_1, and T_2, respectively), 2 f irrigation water salinity levels (2 and 12 dS m^{-1}, which were named non-saline and saline, respectively) and 3 replicates. Three months after planting, the plants were harvested for recording plant height, stem diameter and panicle length. The shoots were oven dried at 70°C and the shoot dry weight, 1000-seed weight and seed yield were measured. Additionally, the shoot dry was crushed, ashed at 450°C and extracted in 0.1 M HCl solution to determine the content of P by molybdate method (Murphy and Riley, 1962). Furthermore, soil within the pots was air dried, crushed gently and analyzed for determination of EC and soil organic carbon. Statistical analyses were performed with MSTATC 1.42 and the means were compared by Duncan's test at $p < 0.05$.

Results: Regarding the three-fold interaction, all of the studied parameters in saline condition were significantly lower than non-saline condition. In other words, increase of salinity had a negative effect on growth of quinoa. However, application of MSS and TSP (especially combined treatments) could improve its growth traits. In non-saline condition, the maximum values of shoot dry weight, 1000-seed weight and seed yield were found in T_2M_2 which were 2.8, 1.2 and 3.1 times higher than that of the T_0M_0 treatment, respectively. Likeness, the higher amount of shoot P uptake (86.9 mg pot^{-1}) was observed in the T_2M_2. Nevertheless, T_1M_2 was the best treatment in the saline condition due to there was no significant difference between studied parameters of this treatment and T_2M_2. Furthermore, the absence significant effect of MSS on soil EC and its positive effect on soil organic carbon were another advantageous aspect of this compound.

Conclusion: The effectiveness of the treatments on studied parameters were as follow: single application of TSP< single application of MSS<combined application of TSP and MSS. Therefore, the results suggested that using of organic resource with mineral P fertilizer can minimize the adverse effects of salinity and improve yield of quinoa.

References:

1- Bouras, H., Choukr-Allah, R., Amouaouch, Y., Bouaziz, A., Devkota, K.P., El Mouttaqi, A., Bouazzama, B., Hirich, A., 2022. How does quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) respond to phosphorus fertilization and irrigation water salinity? Plants 11 (2), 216. https://doi.org/10.3390/plants11020216.

2- Murphy, J.A.M.E.S., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27, 31–36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.

تأثیر کاربرد لجن فاضلاب شهری و سوپرفسفات تریپل بر برخی ویژگی‌های رشدی و جذب فسفر کینوا در شرایط غیرشور و شور

حدیث حاتمی[1*]

چکیده

هدف پژوهش حا ضر برر سی تأثیر کاربرد جداگانه و توأم دو منبع آلی و معدنی ف سفر بر ویژگی‌های ر شدی، عملکرد و جذب ف سفر گیاه کینوا در شرایط غیرشور و شور بود. برای اجرای آن از یک مطالعه گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل ۳ سطح لجن فا ضلاب شهری (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ در صد وزنی/وزنی به‌ترتیب M_0، M_1 و M_2)، ۳ سطح سوپر ف سفات تریپل (صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب T_0، T_1 و T_2)، ۲ سطح شوری آب آبیاری (۲ و۱۲ د سی‌زیمنس بر متر) و ۳ تکرار ا ستفاده شد. نتایج ن شان داد که افزایش شوری منجر به کاهش معنی‌دار تمام ویژگی‌های ر شدی، عملکرد و جذب ف سفر در گیاه گینوا در مقای سه با شرایط غیر شور شد اما افزودن تیمارها به‌ویژه کاربرد توأم دو منبع کودی تا حدی اثرات منفی شوری را تعدیل بخشید. در شرایط غیر شور، تیمار T_2M_2 بیش‌ترین تأثیر را در بهبود وزن خ شک اندام هوایی، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و جذب ف سفر دا شت به نحوی‌که این پارامترها را به‌ترتیب ۲/۸، ۱/۵، ۳/۱ و ۱۳/۷ برابر در مقای سه با شاهد افزایش داد. در شرایط شور، اگرچه بیش‌ترین مقدار پارامترهای مورد برر سی در تیمار T_2M_2 مشاهده شد اما با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار میان این تیمار و T_1M_2 از یک‌سو و لزوم مدیریت صحیح مصرف کود از سویی دیگر، تیمار T_1M_2 در مقای سه با تیمار T_2M_2 دارای برتری تو صیه بود. افزایش جذب ف سفر در تیمارهای T_2M_2 و T_1M_2 و بهبود ماده آلی خاک از دلایل برتری این تیمارها در افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه کینوا بود.

واژه‌های کلیدی: شبه‌غله، شوری، عملکرد دانه، کربن آلی.

مقدمه

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به‌عنوان یک شبه‌غله در چند سال اخیر به‌دلیل غنی بودن از نظر پروتئین، مواد معدنی (آهن، مس، فسفر، روی و منیزیم)، فیبر، انواع ویتامین ها و همچنین فاقد گلوتن بودن (Maleki et al., 2019) توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده ا ست. علاوه‌بر این، در منابع از آن به‌عنوان گیاهی مقاوم در برابر تنش های محیطی (شوری، رطوبتی و دما) یاد شده است (Bouras et al., 2022). اگرچه گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری در نظر گرفته

۱- مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.hatami@areeo.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

می‌شود اما نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که با افزایش شوری به‌ویژه شوری‌های بالاتر از حد آستانه گیاه (بین ۴/۳ تا ۸/۷ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک بسته به نوع ژنوتیپ و رقم (Salehi and Dehghany, 2024))، عملکرد این گیاه کاهش می‌یابد (Jamali and Sharifan 2018; Khalili et al., 2019). یکی از مهم‌ترین راهبردهای کاهش اثرات منفی شوری در گیاهان، مدیریت صحیح کودی است به عبارت دیگر بسته به شدت تنش می‌توان با در اختیار قرار دادن عناصر غذایی محدودکننده، تحمل گیاه به شوری را افزایش داد (Bouras et al., 2022). به‌طور کلی در شرایط تنش شوری، فراهمی فسفر در خاک به‌دلیل کاهش حلالیت کانی‌های تأمین‌کننده فسفر (Ca-P) و همچنین کاهش فعالیت یون‌های اورتوفسفات کاسته می‌شود (Wagdi et al., 2013) بنابراین، این عنصر به‌عنوان یکی از عناصر غذایی محدودکننده رشد گیاه در شرایط شور محسوب می‌شود. نتایج یک مطالعه مزرعه‌ای نشان داد که اگرچه وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه کینوا با افزایش شوری آب آبیاری (از ۵ تا ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش یافت اما افزودن فسفر به‌ویژه در سطح ۶۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار سبب کاهش اثرات منفی شوری و افزایش ۱۶ و ۱۳ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب در شوری‌های ۱۲ و ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Bouras et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر اثر سطوح مختلف شوری و سوپرفسفات تریپل بر ویژگی‌های گیاه کینوا مورد بررسی قرار گرفت و عنوان گردید که افزودن کود فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۱۲/۳ و ۱۲/۵ درصدی ارتفاع بوته و غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه گردید (Khalili et al., 2019).

کودهای فسفر پس از کاربرد آن‌ها در خاک‌های آهکی، به‌دلیل واکنش با کاتیون‌های خاک به‌ویژه کلسیم به‌سرعت به ترکیبات نامحلول و یا کم محلول تبدیل می‌شوند و فقط ۱۵ تا ۲۵ درصد از کود فسفره مصرف شده در زمان کوتاهی پس از کاربرد آن، به‌صورت قابل دسترس برای گیاه باقی خواهد ماند (Ardalan and Savaghebi Firouz Abadi, 2002). بنابراین افزایش مقدار زیادی از این عنصر لازم است تا فراهمی آن در خاک به حد مناسب برای رشد گیاه برسد که این امر خود منجر به بروز مشکلاتی مانند مسمومیت فسفری و کاهش فعالیت مایکوریزایی می‌شود (Sharpley, 1995). علاوه‌بر این، منابع حاوی فسفر به‌عنوان منابع غیرقابل تجدید محسوب شده و همواره نگرانی‌هایی درباره اتمام آن‌ها وجود دارد (Yu et al., 2015). از این‌رو هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اکولوژیکی ارائه راه‌کارهایی به‌منظور افزایش و بهبود کارایی استفاده از فسفر ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا پتانسیل تأمین فسفر از ترکیبات آلی از جمله لجن فاضلاب شهری در جهت مدیریت پایدار فسفر در محیط‌های کشاورزی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است زیرا صرف‌نظر از تجدیدپذیر بودن، دارای ویژگی‌هایی مثل غنی بودن از فسفر (۰/۱ در صد تا بیش از ۱۴ درصد بسته به نوع و ماهیت لجن خام تصفیه شده و فرآیند تهیه آن (McLaughlin et al., 1984))، ارزان بودن در مقایسه با کودهای شیمیایی و بهبوددهندگی کیفیت خاک است (Jalali et al., 2021; Rehman et al., 2021). در مطالعات مختلف اثر مثبت لجن فاضلاب شهری در افزایش فسفر قابل دسترس خاک (Vaseghi et al., 2005; Hejazi Mehrizi et al., 2013; Frišták and Soja, 2015) و بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهانی مانند گندم (Shahbazi et al., 2018)، چغندرقند (Franco et al., 2010) ذرت (Shahbazi et al., 2019) و آفتاب‌گردان (Rasouli Sadaghiani and Sepehr, 2011; Najafi and Mardomi, 2012) گزارش شده است. در مورد گیاه کینوا نیز نتایج یک مطالعه نشان داده است که کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند با بهبود شرایط تغذیه‌ای، سبب افزایش رشد این گیاه شود (Afzalinejad et al., 2021). در مطالعه مذکور اگرچه مقدار هدایت الکتریکی (EC) اولیه خاک نسبتاً بالا بوده است (۱۳/۰۹ دسی‌زیمنس بر متر) اما آبیاری گیاه در مراحل رشد با آب مقطر انجام شده و گیاه در ابتدای مرحله گلدهی برداشت شده است. درحالی‌که به نظر می‌رسد بررسی گیاه کینوا پس از تکمیل چرخه رشدی آن و در شرایط آبیاری با آب شور احتمالاً

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Selected physicochemical properties of the studied soil

مقدار Value	روش‌های اندازه‌گیری و منابع مربوطه Measurement methods and their references	واحد Unit	ویژگی Property
7.2	Electrometric		pH_e
14	Platinum Electrode	dS m^{-1}	EC_e
68.7	Hydrometry (Gee and Bauder, 1986)	%	شن Sand
14	Hydrometry (Gee and Bauder, 1986)	%	سیلت Silt
17.3	Hydrometry (Gee and Bauder, 1986)	%	رس Clay
32	Titrimetric (Allison and Moodie, 1965)	%	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent
0.08	Titrimetric (Walkley and Black, 1934)	%	کربن آلی Organic carbon
70	Kjeldahl (Bremner, 1996)	mg kg^{-1}	نیتروژن کل Total nitrogen
172	Ammonium acetate (Knudsen and Peterson, 1982)	mg kg^{-1}	پتاسیم قابل دسترس Available potassium
4.2	Olsen (Olsen and Sommer, 1982)	mg kg^{-1}	فسفر قابل دسترس Available phosphorus

نتایج نزدیک‌تر به واقعیتی را فراهم خواهد ساخت. بنابراین، این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد جداگانه و توأم لجن فاضلاب شهری و کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به‌عنوان دو منبع آلی و معدنی فسفر بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد گیاه کینوا و جذب فسفر در اندام هوایی گیاه در شرایط غیر شور و شور طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب شهری و سوپرفسفات تریپل بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و جذب فسفر در اندام هوایی گیاه کینوا، مطالعه‌ای گلدانی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل لجن فاضلاب شهری در سه سطح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد وزنی/وزنی به‌ترتیب M0، M_1 و M_2، کود سوپرفسفات تریپل در سه سطح صفر، ۲۹ (معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار) و ۳۸ (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب T_0، T_1 و T_2 و شوری آب آبیاری در دو سطح ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. بنابراین، با احتساب ۳ تکرار تعداد کل گلدان‌ها ۵۴ عدد بود.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از یکی از زمین‌های کشت نشده مرکز ملی تحقیقات شوری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱). لجن فاضلاب شهری نیز به‌صورت خشک از تصفیه خانه فاضلاب شهری یزد تهیه و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب شهری و حد استاندارد گزارش شده برای عناصر سرب و کادمیم در جدول (۲) نشان داده شده است. پس از آماده‌سازی

نسخه پیش از انتشار

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب شهری کاربردی

Table 2. Selected physicochemical properties of municipal sewage sludge used

ویژگی Property	واحد Unit	روش‌های اندازه‌گیری و منابع مربوطه Measurement methods and their references	مقدار Value	حد مجاز فلزات سنگین در لجن فاضلاب (USEPA, 1995) Maximum permitted content of heavy metals in sewage sludge (USEPA, 1995)
pH (1:10)		Electrometric	6.4	
EC (1:10)	dS m^{-1}	Platinum Electrode	4.1	
کربن آلی Organic carbon	%	Titrimetric (Walkley and Black, 1934)	39.9	
نیتروژن کل Total nitrogen	g kg^{-1}	Kjeldahl (Bremner, 1996)	60	
پتاسیم کل Total potassium	g kg^{-1}	Dry ash (AOAC, 2005)	6	
فسفر کل Total phosphorus	g kg^{-1}	Wet ash (AOAC, 2005)	24	
کادمیم کل Total cadmium	mg kg^{-1}	Aqua regia (Amacher, 1996)	nd*	34
سرب کل Total lead	mg kg^{-1}	Aqua regia (Amacher, 1996)	38.6	300

*: Not-detected

خاک و لجن فاضلاب شهری، سطوح مورد نظر از هر یک از منابع کاربردی با ۱۰ کیلوگرم خاک خشک مخلوط و به داخل گلدان‌های پلاستیکی منتقل شد. برای آبیاری گلدان‌ها از آب با شوری ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد که این آب‌ها از اختلاط آب شهری و آب انتقال یافته از خارج محل آزمایش با شوری بسیار بالا تهیه گردید. برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آب آبیاری مورد استفاده در جدول (۳) نمایش داده شده است.

قبل از کاشت گیاه کینوا، گلدان‌ها چندین بار توسط آب با شوری‌های مورد نظر (۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌نحوی آبیاری شدند تا شوری خاک به شوری آب آبیاری نزدیک شود. در ادامه و در طول فصل رشد نیز آبیاری با هدف کنترل شوری خاک تا ۱/۵ برابر شوری آب آبیاری برنامه‌ریزی شد. برای این منظور در هر آبیاری جزء آب شویی ۱۵ در صد به‌کار برده شد. برای تعیین حجم آب مورد نیاز، ابتدا حجم آب مصرفی جهت اشباع خاک و وقوع ۱۵ درصد آب‌شویی در گلدان‌های بدون گیاه تعیین شد. در ادامه و در طول فصل رشد این حجم آب با دور آبیاری متغیر (از ۲ تا ۶ روز) به‌گونه‌ای در اختیار گیاه قرار داده شد تا از وقوع هرگونه تنش خشکی جلوگیری شود. برای اطمینان از وقوع آب‌شویی مدنظر، پس از هر سه نوبت آبیاری حجم آب زهکشی شده اندازه‌گیری شد و در صورتی‌که آب‌شویی کم‌تر از ۱۵ درصد بود دور آبیاری کاهش داده می‌شد. در مجموع حجم آب کاربردی در طول فصل رشد ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود.

در تاریخ ۲۴ مهر ۱۴۰۱ کاشت تعداد ۱۵ عدد بذر گیاه کینوا (رقم تیتیکاکا) در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری کشت شد و پس از رسیدن به مرحله چهاربرگی، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۴ عدد رسانده شد. برای تیمار سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌منظور اطمینان از استقرار گیاه؛ آبیاری تا مرحله جوانه‌زنی با آب با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد و

نسخه پیش از انتشار

جدول ۳. برخی از ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده آب آبیاری

Table 3. Selected physicochemical properties of irrigation water used

SAR	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	pH	EC
	meq L^{-1}							dS m^{-1}
6.5	1.2	1.1	27.9	16.8	4.3	9.1	8	2
13.7	4.1	2.9	111	70	17	35	7.9	12

پس از آن، شوری مورد نظر اعمال گردید. با توجه به مقادیر کم غلظت پتاسیم و نیتروژن در تجزیه خاک (جدول ۱) مقدار ۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود اوره (سه قسط: پس از سبز شدن، مرحله غنچه‌دهی و مرحله گرده افشانی) و ۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود سولفات پتاسیم قبل از کاشت استفاده شد. علاوه‌بر این، مقادیر ۱۰۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب از کودهای سولفات آهن و سولفات روی به‌منظور تأمین عناصر آهن و روی قبل از کاشت به خاک افزوده شد.

سه ماه پس از کاشت و با تکمیل شدن مراحل رشد رویشی و زایشی، گیاهان کف‌بر شدند و بعد از اندازه‌گیری ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول، به مدت ۳ روز در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، پارامترهای وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری گردید. غلظت فسفر در خاکستر تهیه شده از اندام هوایی گیاهان به‌روش رنگ‌سنجی (Murphy J and Riley, 1962) پس از هضم شدن در اسید کلریدریک ۲ نرمال قرائت شد. در نمونه‌های خاک پس از برداشت پارامترهای EC و کربن آلی اندازه‌گیری شد. پردازش داده‌ها و رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزارهای MSTAT-C و Excel و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مورد بررسی در گیاه کینوا تحت تأثیر تیمارهای مختلف در جدول (۴) نشان داده شده است. اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی برای تمام صفات مورد بررسی (به جزء اثر سوپرفسفات تریپل بر طول پانیکول و وزن هزار دانه) معنی‌دار بود اما معنی‌داری در مورد اثرات متقابل بسته به پارامتر مورد نظر متفاوت بود. به‌طور کلی به نظر می‌رسد که تغییر شوری آب آبیاری و افزودن لجن فاضلاب شهری و سوپرفسفات تریپل بر عملکرد و جذب فسفر در گیاه کینوا اثرگذار بوده است که در ادامه نتایج مربوط به روند تغییرات اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سطح شوری افزودن کود سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب شهری سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و قطر ساقه گیاه کینوا در مقایسه با تیمار شاهد شد اما مقادیر این پارامترها در شرایط شور به صورت معنی‌داری کم‌تر از تیمارهای هم‌ارز در شرایط غیر شور بود (جدول ۵). بیش‌ترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در شوری‌های ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۸۳/۹ و ۴۱/۷ سانتی‌متر در تیمارهای T_2M_2 و T_1M_2 و بیش‌ترین قطر ساقه به ترتیب در شوری‌های ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس به مقدار ۶/۴ و ۴/۲ میلی‌متر در تیمار T_2M_2 مشاهده شد. بین مقادیر ارتفاع بوته در تیمارهای T_2M_2 و T_1M_2 در شرایط شور تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط غیر شور روند تغییرات طول پانیکول در تیمارهای آزمایشی مشابه با پارامترهای ارتفاع بوته و قطر ساقه بود به‌نحوی‌که بلندترین طول پانیکول (۱۷/۲ سانتی‌متر) به تیمار T_2M_2 تعلق داشت (جدول ۵). با افزایش شوری، هیچ‌یک از تیمارهای آزمایشی قادر به افزایش معنی‌دار طول پانیکول در مقایسه با تیمار شاهد نشدند (جدول ۵). کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول پانیکول کینوا با افزایش شوری در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است (Khalili et al., 2019; Beyrami et al., 2020).

نسخه پیش از انتشار

جدول ۴. تجزیه واریانس برخی صفات رشدی، عملکرد و جذب فسفر در اندام هوایی گیاه کینوا

Table 4. Analysis of variance for some growth traits, yield and P uptake of quinoa

منابع تغییر Sources	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of Squares						
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول پانیکول Panicle length	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	جذب فسفر در اندام هوایی Shoot P uptake
شوری (Salinity)	1	13994.1**	40.2**	691.8**	2976.3**	2.3**	414.4**	5143.1**
لجن فاضلاب (Sewage sludge)	2	1253.5**	3.2**	15.8**	627.2**	0.4**	125.1**	7253.4**
سوپرفسفات تریپل (Triple superphosphate)	2	223.3*	1.5*	11.6	110.9**	0.1	45.6**	1839.6**
شوری × لجن فاضلاب (Salinity × Sewage sludge)	2	258.7*	1.2*	7.6*	150.2**	0.0	16.6**	867.4**
شوری × سوپرفسفات تریپل (Salinity × Triple superphosphate)	2	52	0.9	6.8	28.7*	0.0	2.5*	235.3*
لجن فاضلاب × سوپرفسفات تریپل (Sewage sludge × Triple superphosphate)	4	34.2	0.2	0.8	6.9*	0.0	1.6	326.8*
شوری × لجن فاضلاب × سوپرفسفات تریپل (Salinity × Sewage sludge × Triple superphosphate)	4	38.1	0.2	1.3	2.9	0.0	2.7**	15.3
خطا (Error)	36	59.1	0.3	2.4	1.3	0.0	0.6	65.7
ضریب تغییرات (٪) (Coefficient of Variation)		14.5	11.9	13.9	5.7	7.8	7.3	28.3

*و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

به‌طور مشابه بیش‌ترین وزن هزار دانه در شرایط غیر شور (۳/۱ گرم) و شور (۲/۷ گرم) در تیمار T_2M_2 مشاهده شد (جدول ۵) اما در شرایط شور میان این تیمار و تیمار T_1M_2 تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد. علاوه بر این، اگرچه افزایش شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در مقایسه با تیمارهای هم‌ارز در شرایط غیر شور شد اما کاربرد تیمارهای آز مایشی به‌ویژه افزودن توأم لجن فاضلاب شهری و سوپرفسفات تریپل توانست تا حدی اثرات منفی شوری را

نسخه پیش از انتشار

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری، سوپرفسفات تریپل و شوری بر برخی صفات رشدی گیاه کینوا

Table 5. Mean comparisons of different levels of municipal sewage sludge, triple superphosphate and salinity on some growth traits of quinoa

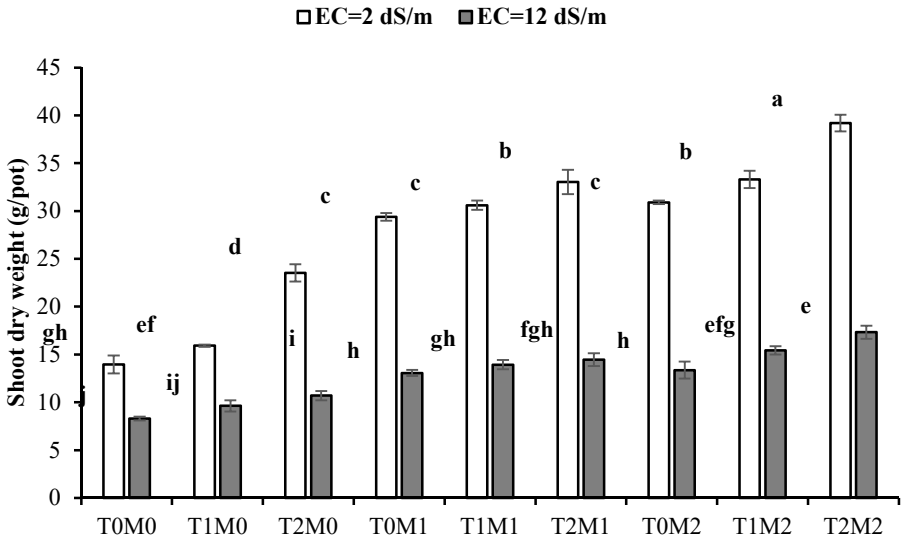
وزن هزاردانه 1000-seed weight (g)	طول پانیکول Panicle length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	سطوح مختلف سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب شهری Different levels of municipal sewage sludge sand triple superphosphate	شوری Salinity ($dS\ m^{-1}$)
2.1 klm	10.4 c	3.8 d	47.6 ef	T_0M_0	
2.3 ij	14.0 b	5.2 c	57.2 de	T_1M_0	
2.4 ghi	14.8 ab	5.6 abc	61.2 cd	T_2M_0	
2.6 defg	14.3 b	5.4 bc	73.9 ab	T_0M_1	
2.7 bcd	15.8 ab	5.9 abc	78.4 ab	T_1M_1	2
2.8 bc	15.6 ab	5.9 abc	79.4 ab	T_2M_1	
2.7 cde	15.0 ab	5.9 abc	72.7 abc	T_0M_2	
2.9 b	16.4 ab	6.2 ab	69.3 bcd	T_1M_2	
3.1 a	17.2 a	6.4 a	83.9 a	T_2M_2	
1.9 m	7.3 d	3.6 d	27.1 h	T_0M_0	
2.0 lm	7.4 d	3.8 d	32.7 gh	T_1M_0	
2.2 jkl	7.4 d	3.7 d	35.7 fgh	T_2M_0	
2.2 jk	7.4 d	3.9 d	38.8 fgh	T_0M_1	
2.5 fgh	7.9 cd	3.8 d	39.0 fgh	T_1M_1	12
2.5 efgh	7.8 d	4.0 d	41.2 fg	T_2M_1	
2.4 hij	7.6 d	3.9 d	38.4 fgh	T_0M_2	
2.6 def	8.2 cd	4.0 d	41.7 fg	T_1M_2	
2.7 cde	8.0 cd	4.2 d	39.3 fgh	T_2M_2	

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند. T_0، T_1 و T_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم سوپرفسفات تریپل بر کیلوگرم خاک و M_0، M_1 و M_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند.

In every column numbers followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$). T_0, T1, T_2 are 0, 29 and 38 mg kg^{-1} triple superphosphate and M_0, M1, M_2 are 0, 0.25, 0.5% (w/w) municipal sewage sludge, respectively.

کاهش دهد به‌نحوی‌که وزن هزار دانه در تیمار T_2M_2 در شوری ۱۲ د سی‌زیمنس بر متر، تنها از تیمارهای T_1M_2 و T_2M_2 مربوط به شوری ۲ د سی‌زیمنس بر متر به صورت معنی‌داری کوچک‌تر بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اثر سمّی بودن تجمع نمک و مختل شدن جذب عناصر غذایی در شرایط شور از جمله عوامل مؤثر بر عدم توسعه و تکامل دانه گیاه کینوا با شور شدن محیط رشد عنوان شده است (Papan et al., 2020). با کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی به‌دلیل انتقال بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه با افزایش سطح برگ گیاه و همچنین آزاد سازی عناصر غذایی از کود آلی در مرحله پر شدن دانه، عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری می‌تواند افزایش یابد (Iqbal et al., 2019). در یک مطالعه که با هدف بررسی تأثیر

نسخه پیش از انتشار

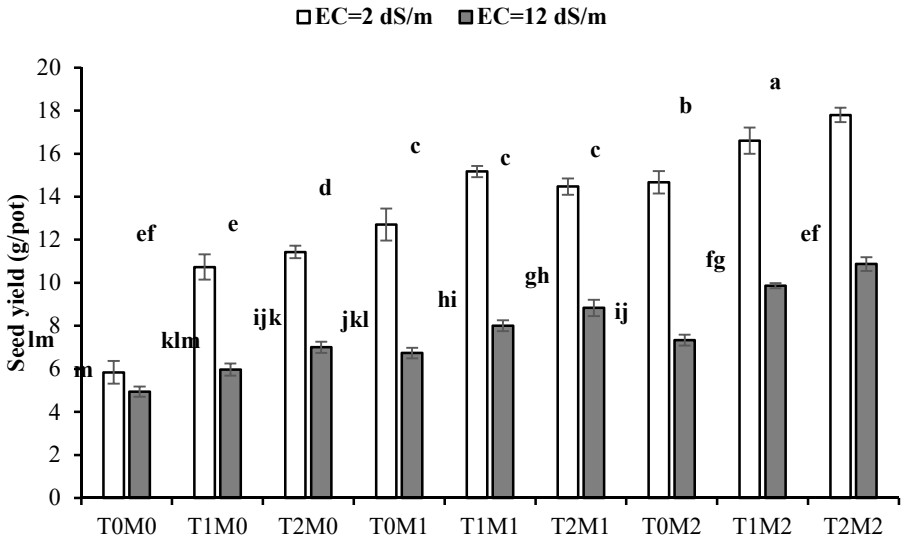


شکل ۱. وزن خشک اندام هوایی کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری، سوپرفسفات تریپل و شوری؛ میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (T_0، T_1 و T_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم سوپرفسفات تریپل در هر کیلوگرم خاک و M_0، M_1 و M_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند.)

Fig. 1. Shoot dry weight of quinoa as affected by municipal sewage sludge, triple superphosphate and salinity; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$)
(T_0, T_1, T_2 are 0, 29 and 38 mg kg^{-1} triple superphosphate and M_0, M_1, M_2 are 0, 0.25, 0.5% (w/w) municipal sewage sludge, respectively)

کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات فیزیولوژی و عملکردی گیاه کینوا انجام شد، گزارش شد که کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه داشته است (Amiryousefi et al., 2021).

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، وزن خشک اندام هوایی در تمام تیمارهای مربوط به هدایت الکتریکی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌صورت معنی‌داری کم‌تر از تیمارهای هم‌ارز آن در هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. با افزودن لجن فاضلاب شهری و سوپرفسفات تریپل در هر دو شوری وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت به‌نحوی‌که بیش‌ترین مقدار وزن خشک در شوری‌های ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب به مقدار ۳۹/۲ و ۱۷/۳ گرم بر گلدان در تیمار T_2M_2 مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد آن‌ها به‌ترتیب موجب افزایش ۲/۸ و ۲/۱ برابری این پارامتر گردید. مقادیر وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای T_2M_2 و T_1M_2 در شرایط شور تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نشان ندادند که این روند در مورد پارامترهای بررسی شده قبلی نیز مشاهده شده بود. تأثیر مثبت کاربرد منابع آلی در افزایش عملکرد کینوا و دیگر گیاهان در تعدای از مطالعات گزارش شده است. به‌عنوان مثال Youssef and Farag (2021) اثر کاربرد کود دامی و کود زیستی را بر ویژگی‌های رشدی کینوا و حاصلخیزی خاک در مقایسه با کود غیرآلی (NPK) مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که تمام پارامترهای گیاهی مورد بررسی از جمله ارتفاع، وزن خشک، عملکرد دانه و غیره با کاربرد منابع آلی به‌ویژه با کاربرد همزمان کود دامی و کود زیستی در مقایسه با کود غیرآلی افزایش یافت. در مطالعه‌ای دیگر تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی مونوفسفات پتاسیم را بر شاخص‌های رشدی گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت و عنوان شد که کاربرد توأم این منابع موجب افزایش ۳۲/۵ درصدی ماده خشک در مقایسه با کاربرد جداگانه لجن فاضلاب و ۱۷۰ درصدی آن در مقایسه با



شکل ۲. وزن دانه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری، سوپرفسفات تریپل و شوری؛ میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (T_0، T_1 و T_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم سوپرفسفات تریپل در هر کیلوگرم خاک و M_0، M_1 و M_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند.)

Fig. 2. Seed yield of quinoa as affected by municipal sewage sludge, triple superphosphate and salinity; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$)
(T_0, T_1, T_2 are 0, 29 and 38 mg kg^{-1} triple superphosphate and M_0, M_1, M_2 are 0, 0.25, 0.5% (w/w) municipal sewage sludge, respectively)

کاربرد جداگانه کود شیمیایی شد (Shahbazi et al., 2019). نتایج مشابه دیگری نیز برای گیاه گندم توسط Moeini et al. (2016) گزارش شده است.

مشابه با نتایج وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه در تمام تیمارهای آزمایشی (به جزء T_0M_0) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌صورت معنی‌داری کم‌تر از شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۲). تیمارهای T_0M_1، T_0M_2، T_1M_0 و T_2M_0 اگرچه عملکرد دانه تولیدی را در مقایسه با شاهد (T_0M_0) در هر دو شوری افزایش دادند اما میان عملکرد تیمارهای T_0M_1 و T_0M_2 و همچنین T_1M_0 و T_2M_0 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر با کاربرد جداگانه هر یک از منابع کودی، سطوح مختلف آن‌ها دارای سهم یکسانی در افزایش عملکرد بوده‌اند؛ درحالی‌که کاربرد توأم آن‌ها (T_1M_1، T_1M_2، T_2M_1 و T_2M_2) به‌ویژه در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر، نتایج رضایت‌بخش‌تری در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نشان داد. تیمار T_2M_2 توانست بیش‌ترین عملکرد دانه را به مقدار ۱۷/۸ و ۱۰/۹ گرم بر گلدان به‌ترتیب در شوری‌های ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کسب نماید که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳/۱ و ۲/۲ برابر بیش‌تر بود. لازم به ذکر است در شرایط شور میان عملکرد دانه تیمارهای T_2M_2 و T_1M_2 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی در منابع افزایش ماده آلی خاک، بهبود برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین مناسب عناصر غذایی را از جمله دلایل تأثیر مثبت کاربرد توأم منابع آلی و شیمیایی دانسته‌اند (Akhtar et al., 2002; Frišták and Soja, 2015; Bai et al., 2022; Achkir et al., 2023). در مطالعه حاضر نیز تغییرات کربن آلی خاک در تیمارهای لجن فاضلاب شهری دلالت بر تأثیر مثبت این ماده در افزایش کربن آلی خاک در مقایسه با تیمارهای شاهد و سوپر فسفات تریپل داشت که خود می‌تواند از دلایل افزایش وزن دانه در این تیمارها باشد (جدول ۶). علاوه بر این، توجه به درصد عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نمونه لجن فاضلاب شهری به‌کار رفته (جدول ۲) حاکی از محتوای بالای این عناصر در این نمونه

جدول ۶. اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری، سوپرفسفات تریپل و شوری بر کربن آلی و EC خاک پس از برداشت

Table 6. Effect of different levels of municipal sewage sludge, triple superphosphate and salinity on soil organic carbon and EC after harvesting

EC (dS m^{-1})	کربن آلی Organic carbon (%)	سطوح مختلف سوپرفسفات تریپل و لجن فاضلاب شهری Different levels of municipal sewage sludge sand triple superphosphate	شوری Salinity (dS m^{-1})
5.37 c	0.10 h	T_0M_0	
5.13 c	0.10 h	T_1M_0	
5.43 c	0.13 gh	T_2M_0	
5.27 c	0.17 fg	T_0M_1	
5.17 c	0.20 ef	T_1M_1	2
6.07 c	0.20 ef	T_2M_1	
5.60 c	0.23 de	T_0M_2	
5.27 c	0.20 ef	T_1M_2	
5.43 c	0.30 bc	T_2M_2	
29.60 a	0.20 ef	T_0M_0	
29.13 a	0.20 ef	T_1M_0	
24.27 b	0.17 fg	T_2M_0	
28.53 ab	0.17 fg	T_0M_1	
29.53 a	0.20 ef	T_1M_1	12
28.17 ab	0.27 cd	T_2M_1	
27.97 ab	0.33 b	T_0M_2	
27.83 ab	0.30 b	T_1M_2	
29.70 a	0.4 a	T_2M_2	

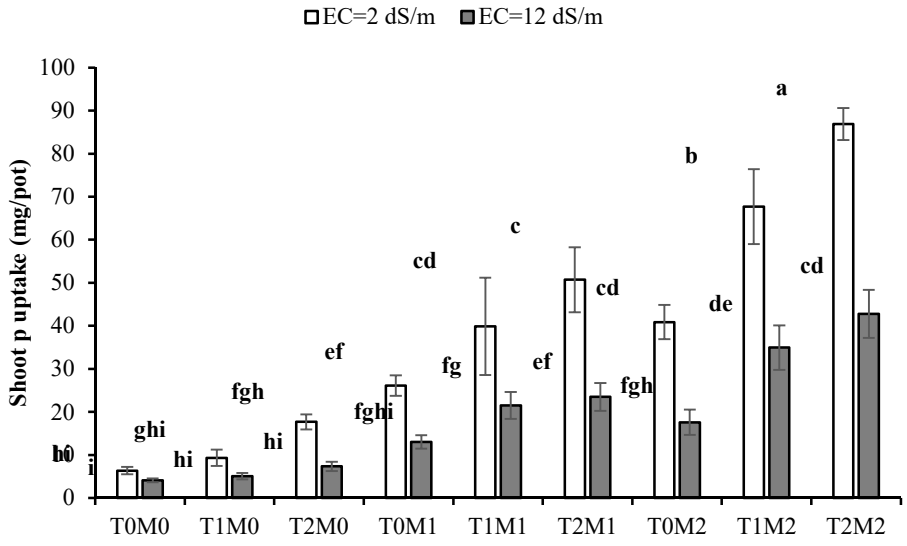
در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند. T_0، T_1 و T_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم سوپرفسفات تریپل در هر کیلوگرم خاک و M_0، M_1 و M_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند.

In every column numbers followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$). T_0, T1, T_2 are 0, 29 and 38 mg kg^{-1} triple superphosphate and M_0, M1, M_2 are 0, 0.25, 0.5% (w/w) municipal sewage sludge, respectively.

است که می‌تواند نقش مهمی در تأمین عناصر غذایی گیاه در طی رشد داشته باشد که در ادامه نتایج جذب فسفر در تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

علاوه‌بر کربن آلی، پارامتر EC در نمونه‌های خاک پس از برداشت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب شهری و کود سوپرفسفات تریپل، تأثیر قابل توجهی بر EC خاک در تیمارهای شوری مدنظر نداشت (جدول ۶). عدم تغییر EC خاک با افزودن لجن فاضلاب شهری، از اثرات مثبت این ترکیب محسوب می‌شود. با این حال و با وجود کنترل آب شویی در طول فصل رشد، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در انتهای فصل رشد منطبق بر جزء آب شویی ۱۵ درصدی نبود و مقدار آن به‌طور متوسط در تیمارهای شوری ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب برابر با ۵/۴ و ۲۸/۳ دسی‌زیمنس بر متر (معادل جزء آبشویی ۱۰ درصد) بود

نسخه پیش از انتشار



شکل ۳. جذب فسفر در اندام هوایی کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب شهری، سوپرفسفات تریپل و شوری؛ میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند (T_0، T_1 و T_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۲۹ و ۳۸ میلی-گرم سوپرفسفات تریپل در هر کیلوگرم خاک و M_0، M_1 و M_2 به‌ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند.)

Fig. 3. P uptake of quinoa as affected by municipal sewage sludge, triple superphosphate and salinity; Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$)
(T_0, T_1, T_2 are 0, 29 and 38 mg kg^{-1} triple superphosphate and M_0, M_1, M_2 are 0, 0.25, 0.5% (w/w) municipal sewage sludge, respectively)

(جدول ۶). به‌عبارت دیگر حداقل در بخش‌هایی از فصل رشد، ریشه گیاه با میزان شوری بیش‌تر از شوری آب آبیاری در تماس بوده است. همان‌طورکه قبلاً نیز اشاره شد حد آستانه تحمل به شوری در گیاه کینوا (رقم تیتکاکا) برابر با ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک گزارش شده است (Salehi and Dehghany, 2024) بنابراین، افزایش شوری خاک در تیمارهای تحت شوری آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر محدودکننده نبوده است. در رابطه با شوری آب آبیاری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نیز مقادیر هدایت الکتریکی بالاتر از ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک متناظر با کاهش ۵۰ درصدی عملکرد گزارش شده است (Razzaghi et al., 2014) که در این پژوهش نیز مقادیر عملکرد مشاهده شده در شرایط شور تقریباً به نصف مقادیر تیمارهای غیرشور رسید (شکل ۲).

نتایج مربوط به جذب فسفر در اندام هوایی گیاه کینوا در شکل (۳) نمایش داده شده است. روند افزایش جذب فسفر در هر دو شوری به‌صورت: کاربرد توأم دو منبع > کاربرد جداگانه لجن فاضلاب > کاربرد جداگانه سوپر فسفات تریپل > شاهد بود که این روند مشابه با نتایج ذکر شده در بخش‌های قبلی بود. حداکثر جذب فسفر در تیمار T_2M_2 به مقدار ۸۶/۹ و ۴۲/۸ میلی‌گرم بر گلدان به‌ترتیب در شوری‌های ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد که به‌ترتیب موجب افزایش ۱۳/۷ و ۱۰/۴ برابری جذب در این تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد شده بود. لازم به ذکر است میزان جذب فسفر در دو تیمار T_1M_2 و T_2M_2 در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد که مشابه با دیگر پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه بود. این نتایج علاوه بر این که بیانگر اهمیت کاربرد توأم منابع آلی و معدنی فسفر در افزایش جذب این عنصر توسط گیاه کینوا است؛ نشان‌دهنده نقش اساسی عنصر فسفر در افزایش پارامترهای رشدی گیاه است زیرا همان‌طور که نتایج این تحقیق نشان داد، جذب بیش‌تر فسفر در تیمارها منجر

به افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه در آن‌ها شده است.

در مطالعات مختلف حداکثر عملکرد تولیدی برای گیاه کینوا در سطوح مختلفی از کود فسفر گزارش شده است. به‌عنوان مثال، در یک مطالعه تأثیر سطوح مختلف N (صفر، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار)، P_2O_5 (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم بر هکتار) و K_2O (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار) بر رشد و تولید کینوا مورد بررسی قرار گرفت و عنوان شد که بیش‌ترین مقدار وزن خشک و عملکرد دانه در ترکیب کودی ۱۲۰-۶۰-۴۰ به‌دست آمد که میزان جذب فسفر در این تیمار معادل با ۲۷/۶ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار بود (Taaime et al., 2023). در مطالعه‌ای دیگر حداکثر عملکرد تولیدی برای گیاه کینوا در سطح ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار (معادل با ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار) مشاهده شد (Khalili et al., 2019). به نظر می‌رسد که پاسخ گیاه کینوا به میزان کود مصرفی بسته به رقم، نوع خاک، شرایط اقلیمی و مدیریت زراعی متفاوت خواهد بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی الگوی اثرگذاری تیمارها در بهبود صفات مورد مطالعه در گیاه کینوا به‌صورت: کاربرد توأم دو منبع > کاربرد جداگانه لجن فاضلاب > کاربرد جداگانه سوپر فسفات تریپل > شاهد تغییر کرد. بر این اساس، کاربرد توأم منابع آلی و معدنی فسفر به‌دلیل جذب بیش‌تر فسفر در اندام هوایی گیاه کینوا و بهبود ماده آلی خاک می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش عملکرد این گیاه در شرایط شور و کاهش اثرات منفی شوری داشته باشد. از میان سطوح مختلف به‌کار برده شده در این پژوهش، مصرف هم‌زمان ۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۰/۵ در صد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری دارای بهترین پاسخگویی به افزایش عملکرد کینوا در شرایط شور بود. اگرچه غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در نمونه لجن فاضلاب شهری به‌کار رفته در این پژوهش پایین‌تر از حدود مجاز این عناصر بود اما با این وجود، به‌دلیل احتمال تغییر ترکیبات لجن فاضلاب شهری در طی زمان، انجام مطالعات تکمیلی و مزرعه‌ای به‌منظور اطمینان از بی‌خطر یا کم‌خطر بودن این ترکیب پس از افزوده شدن به خاک کاملاً ضروری و قابل پیشنهاد است.

تشکر و سپاسگزاری

تضاد منافع

منابع مورد استفاده

1. Achkir, A., Aouragh, A., El Mahi, M., Labjar, N., Bouch, M.E., Ouahidi, M.L., Badza, T., Farhane, H., Moussaoui, T.E., 2023. Implication of sewage sludge increased application rates on soil fertility and heavy metals contamination risk. Emerg. Contam. 9(1), 100200. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.100200.
2. Afzalinejad, F., Ghasemi, S., Seyfati, S.E., Shahbazi, Sh., 2021. The effect of sewage sludge on the growth and some nutrient elements of three quinoa genotypes in a calcareous and saline soil. JWSS, 24(4), 127–139. https://doi.org/10.47176/jwss.24.4.42021. (In Persian with English abstract).
3. Akhtar, M., McCallister, D.L., Eskridge, K.M., 2002. Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludge-amended soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33(13-14), 2057–2068. https://doi.org/10.1081/CSS-120005748.
4. Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison , pp. 1379–1394.
5. Amacher, M.C., 1996. Nickel, cadmium, and lead. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3. American Society of Agronomy, Madison , pp. 1011–1069.
6. Amiryousefi, M., Tadayon, M., Ebrahimi, R., 2021. The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on some Physiological and Yield Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Drought Stress in Saline Soil. J. Agroecol. 13(2), 251–270. https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.84128. (In Persian with English abstract).

نسخه پیش از انتشار

7. Ardalan, M., Savaghebi Firouz Abadi, Gh., 2002. Soil fertility management for sustainable agriculture, First ed. Tehran University Press, Tehran. (In Persian).
8. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2005. Official method of analysis, 18th ed. Maryland.
9. Bai, J., Sun, X., Xu, C., Ma, X., Huang, Y., Fan, Z., Cao, X., 2022. Effects of sewage sludge application on plant growth and soil characteristics at a Pinus sylvestris var. mongolica plantation in Horqin sandy land. Forests 13(7), 984. https://doi.org/10.3390/f13070984.
10. Beyrami, H, Rahimian, M.H., Salehi, M., Yazdani-Biouki, R., 2020. Effect of different levels of irrigation water salinity on quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and yield components in spring planting. Crop Prod. 12(4), 111–120. https://doi.org/10.22069/EJCP.2020.16239.2209. (In Persian).
11. Bouras, H., Choukr-Allah, R., Amouaouch, Y., Bouaziz, A., Devkota, K.P., El Mouttaqi, A., Bouazzama, B., Hirich, A., 2022. How does quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) respond to phosphorus fertilization and irrigation water salinity? Plants 11 (2), 216. https://doi.org/10.3390/plants11020216.
12. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3. American Society of Agronomy, Madison, pp. 1085–1121.
13. Franco, A., Abreu Junior, C.H., Perecin, D., Oliveira, F.C., Granja, A.C.R., Braga, V.S., 2010. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. Rev. Bras. Cienc. Solo. 34, 553–561. https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200029.
14. Frišták, V., Soja, G., 2015. Effect of wood-based biochar and sewage sludge amendments for soil phosphorus availability. Nova Biotechnol. Chim. 14(1), 104–115. https://doi.org/10.1515/nbec-2015-0020.
15. Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, pp. 383–411.
16. Hejazi-Mehrizi, M., Shariatmadari, H., Afyuni, M., 2013. Cumulative and Residual Effect of Sewage Sludge on Inorganic P Fractions and P Availability in a Calcareous Soil. JWSS, 17(64), 33–42. https://doi.org/20.1001.1.24763594.1392.17.64.12.2. (In Persian with English abstract).
17. Iqbal, A., He, L., Khan, A., Wei, S., Akhtar, K., Ali, I., Ullah, S., Munsif, F., Zhao, Q., Jiang, L., 2019. Organic manure coupled with inorganic fertilizer: An approach for the sustainable production of rice by improving soil properties and nitrogen use efficiency. J. Agron. 9(10), 651. https://doi.org/10.3390/agronomy9100651.
18. Jalali, M., Jalali, M., Antoniadis, V., 2021. Impact of sewage sludge, nanoparticles, and clay minerals addition on cucumber growth, phosphorus uptake, soil phosphorus status, and potential risk of phosphorus loss. Environ. Technol. Innov. 23, 101702. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101702.
19. Jamali, S., Sharifan, H., 2018. Investigation the effect of different salinity levels on yield and yield components of quinoa (Cv. Titicaca). J. Water Soil Conserv. 25(2), 251–261. https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.13721.2841. (In Persian with English abstract).
20. Khalili, S., Bastani, A., Bagheri, M., 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. J. Soil Res. 33(2), 155–166. https://doi.org/10.22092/IJSR.2019.119757. (In Persian with English abstract).
21. Maleki, P., Saadat, S., Bahrami, H.A., Rezaei, H., Esmaeelnejad, L., 2019. Accumulation of ions in shoot and seed of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity stress. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 50(6), 782–793. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1589486.
22. McLaughlin, M.J., 1984. Land application of sewage sludge: Phosphorus considerations. S. Afr. J. Plant Soil. 1(1), 21–29. https://doi.org/10.1080/02571862.1984.10634104.
23. Moeini, M., Hejazi Mehrizi, M., Jafari, A., 2016. Assessment of Phosphorus Status in a Saline Soil after Sewage Sludge and Chemical P Fertilizer Application Using a Chemical Fractionation Procedure. J. Agric. Eng. 38(2), 125–144. https://doi.org/10.22055/agen.2016.11670. (In Persian).
24. Murphy, J.A.M.E.S., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27, 31–36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.
25. Najafi, N., Mardomi, S., 2012. The effects of waterlogging, sewage sludge and manure on the growth characteristics of sunflower in a sandy loam soil. JSW. 25(6), 1264–1276. https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.12127. (In Persian with English abstract).
26. Olsen, S.R., Sommer, L.E., 1982. Phosphorus. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, pp. 403–430.
27. Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., 1982. Lithium, sodium, and potassium. In: Page, A.L., Miller R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, pp. 225–246.
28. Papan, P., Moezzi, A., Chorom, M., Rahnama, A., 2020. The effect of nitrogen fertilizer on some growth traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) irrigated with sugar-cane fields drainage water. Iran J. Soil Water Res. 51(6), 1441–1455. https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.294227.668432. (In Persian with English abstract).
29. Rasouli Sadaghiani, M.H., Sepehr, E., 2011. The Effect of sewage sludge and manures application on nitrogen

mineralization and rhizosphere characteristics in corn and sunflower plants. JSW. 25(2), 327–337. https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.9386. (In Persian with English abstract).
30. Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2014. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought–mechanisms of tolerance. Funct. Plant Biol. 42(2), 136–148. https://doi.org/10.1071/FP14132.
31. Rehman, R.A., Qayyum, M.F., Haider, G., Schofield, K., Abid, M., Rizwan, M., Ali, S., 2021. The sewage sludge biochar and its composts influence the phosphate sorption in an alkaline-calcareous soil. Sustainability 13(4), 1779. https://doi.org/10.3390/su13041779.
32. Salehi, M., Dehghany, F., 2024. Determination of salinity stress tolerance threshold of quinoa genotypes under field conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 16(4), 1123–1137. https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5309.2138. (In Persian with English abstract).
33. Shahbazi, F., Ghasemi, S., Sodaeizadeh, H., Pourdara, H., Ayaseh, K., 2018. The Effects of sewage sludge on some physical and chemical properties of soil and wheat yield. Water-Soil 28(2), 191–203. (In Persian with English abstract).
34. Shahbazi, F., Hosseinpur, A.R., Motaghian, H.R., 2019. Effect of P fertilizer and sewage sludge on availability and factions of P and maize (*Zea Mays* L.) indices in a calcareous soil. JSMS. 9(2), 45–63. http://ejsms.gau.ac.ir doi:10.22069/ejsms.2019.15468.1832. (In Persian with English abstract).
35. Sharpley, A.N., 1995. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. Ecol. Eng. 5(2-3), 261–279. https://doi.org/10.1016/0925-8574(95)00027-5.
36. Taaime, N., El Mejahed, K., Choukr-Allah, R., Bouabid, R., Oukarroum, A., El Gharous, M., 2023. Optimization of macronutrients for improved grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) crop under semi-arid conditions of Morocco. Front. Plant Sci. 14, 1146658. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1146658.
37. United States Environment Protection Agency (USEPA), 1995. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
38. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., Mobli, M., 2005. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. J. Water Wastewater. 16(1), 15–22. (In Persian with English abstract).
39. Wagdi, E.M., Metwally, S.M., Matar, M.K., Yousef, N.N., 2013. Effect of phosphorus in alleviation of adverse impacts of salinity on wheat grown on different soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 44(13), 1921–1936. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.795227.
40. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37(1), 29–38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.
41. Youssef, M.A., Farag, M.I.H., 2021. Co-application of organic manure and bio-fertilizer to improve soil fertility and production of quinoa and proceeding Jew's mallow crops. J. Soil Sci. Plant Nutr. 21(3), 2472–2488. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00538-5.
42. Yu, Q., Zheng, Y., Wang, Y., Shen, L., Wang, H., Zheng, Y., He, N., Li, Q., 2015. Highly selective adsorption of phosphate by pyromellitic acid intercalated ZnAl-LDHs: assembling hydrogen bond acceptor sites. J. Chem. Eng. 260, 809–817. https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.059.