J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 4, Winter 2024, pp. 13-30. Research Article
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.03204

Effect of Calcium-Enriched Sepiolite on Some Nutrients Concentration of Cucumber Plant Under Salinity and Alkalinity Stresses in Hydroponic Culture

F.A. Hodaei[1], M. Hamidpour[1*], H. Shirani[1], A. Tajabadi Pour[1] and H.R. Roosta[2]

(Received: 28 August 2023; Accepted: 12 December 2023)

Abstract

In order to investigate the effect of calcium-enriched sepiolite under stress conditions on the concentration of nutrients in cucumber, an experiment was conducted with two factors of stress (control, salinity stress: 70 mM sodium chloride, alkalinity stress: 70 mM sodium bicarbonate, and combined salinity and alkalinity stresses: 70 mM sodium chloride + 70 mM sodium bicarbonate) and the levels of sepiolite (0, 10 and 20% w/w) in a completely randomized design. The results showed that calcium-enriched sepiolite had favorable effects on the concentration of nutrients and the dry weights of plant root and shoot. For example, in non-stressed conditions, with the application of 10 %w/w sepiolite, in addition to a 94% increase in the dry weight of the shoot, the concentrations of Mg and Ca in the shoot increased by 15 and 45%, respectively. With the application of 20% w/w sepiolite, the dry weight of the shoot increased by 80% in the conditions of salinity stress. Additionally, this treatment resulted in significant increases in the concentration of Cu in the shoot, Ca in the root, Mg in the root and shoot, and Fe in the root, with increases of 89, 63, 230, 38, and 656%, respectively. Overall, the findings of this research showed that the use of sepiolite in stressful conditions can be beneficial in improving the concentration of nutrients, especially Fe, Mg and Ca, and reducing sodium accumulation in cucumber.

Keywords: Bicarbonate, Clay, Environmental stress, Ion toxicity.

Background and Objective: Previous studies have shown that salinity and alkalinity stresses caused a reduction in growth of plants (Roosta, 2011). Sepiolite mineral has been found in different regions of Iran and its agricultural and industrial uses have been started (Galan, 1996). Although some researches have been done on the environmental applications of this mineral as an adsorbent, there is very little information about the use of calcium-enriched sepiolite in the plant culture environment. Therefore, considering the role of salinity and alkalinity in reducing the production of products and the characteristics of sepiolite clay, this research was conducted to investigate the effect of calcium-enriched sepiolite as a soil conditioner to reduce the adverse effects of salinity and alkalinity stresses on cucumber.

Methods: The studied sepiolite was obtained from a mine in Fariman and after being grinding it was

1- Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan.
2- Department of Horticulture Science, College of Agriculture, Arak University, Arak.
* Corresponding author, Email: m.hamidpour@vru.ac.ir

saturated with calcium chloride. This research was carried out in the greenhouse of Vali-e-Asr University of Rafsanjan as a hydroponic culture in a medium containing perlite and Ca-enriched sepiolite. The experiments included three levels of sepiolite (0, 10% and 20% w/w) and four levels of stress (no-stress conditions as control, salinity stress by 70 mM sodium chloride, alkalinity stress by 70 mM sodium bicarbonate, and combined salinity and alkalinity stresses by sodium chloride 70 mM and sodium bicarbonate 70 mM). The treatments were arranged in a factorial way in the form of a completely randomized design with three replications. At the end of experiment, the plants were completely removed from the pots and the aerial and root parts were separated, and after washing with distilled water, they were dried at 70 ºC for 48 hours and then powdered. The total concentrations of Ca, Mg, Na, Cl, Zn, Cu, Fe and Mn in plants shoot and root were determined according to standard methods.

Results: The results showed that the use of Ca-enriched sepiolite reduced the adverse effects of stress on the concentration of nutrients. In non-stressed conditions, the concentrations of Mn and Mg in the root and shoot increased due to 10% sepiolite application. The concentration of Ca in the root and shoot increased in all sepiolite-treated pots, and Ca-enriched sepiolite decreased Na concentration in the root and shoot. Under salinity stress, the concentration of Cu in the shoot, Fe and Ca concentrations in the root and Mn concentration in the shoot and root increased, but the concentrations of Zn and Mn in the root and shoot decreased due to 20% sepiolite application. Under alkalinity stress, the concentration of Cu in the shoot, Mn and Ca concentrations in the root, and Mg and Fe concentrations in the root and shoot increased while the Na concentration in the root decreased. Under the combined salinity and alkalinity stresses, the concentrations of Cu and Mn in the shoot, and Fe and Mg concentrations in the shoot and root increased.

Conclusions: Based on the results of this research, calcium-enriched sepiolite had favorable effects on the concentration of nutrients such as calcium, magnesium, and iron in cucumber plants, and by removing sodium from the reach of the plant, it reduced the adverse effects of salinity and alkalinity stresses of the culture medium. Therefore, calcium-enriched sepiolite can be suggested as an amendment under salinity and alkalinity stress conditions.

References:

1. Roosta, H.R., 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentration in lettuce. J. Plant Nutr. 34, 717–731. https://doi.org/10.1080/01904167.2011.540987.

2. Galan, E., 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. Clay Miner. 31(4), 443–435. https://doi.org/10.1180/claymin.1996.031.4.01.

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲ / صفحات ۳۰-۱۳
مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.03204 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

کاربرد سپیولیت غنی‌شده با کلسیم بر غلظت عناصر غذایی خیار تحت تنش‌های شوری و قلیاییت در سیستم آبکشت

فرنازالسادات هدایی[۱]، محسن حمیدپور[۱*]، حسین شیرانی[۱]، احمد تاج‌آبادی‌پور[۱] و حمیدرضا روستا[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۱)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سپیولیت غنی‌شده با کلسیم در شرایط تنش شوری و قلیاییت بر غلظت عناصر غذایی خیار گلخانه‌ای، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو عامل تنش در چهار سطح (بدون تنش، تنش شوری حاصل از کلرید سدیم با غلظت ۷۰ میلی‌مولار، تنش قلیاییت حاصل از بی‌کربنات سدیم با غلظت ۷۰ میلی‌مولار و تنش همزمان شوری و قلیاییت با غلظت ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۷۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) و سطوح کاربرد سپیولیت غنی‌شده با کلسیم (صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی در گلدان) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. بر اساس نتایج این پژوهش، سپیولیت غنی‌شده با کلسیم آثار مطلوبی بر غلظت عناصر غذایی و وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه داشت. به‌عنوان مثال در شرایط بدون تنش با کاربرد ۱۰ درصد وزنی سپیولیت، علاوه بر افزایش ۹۴ درصدی وزن خشک شاخساره، غلظت منیزیم و کلسیم در شاخساره گیاه به‌ترتیب ۱۵ و ۴۵ درصد افزایش یافت. با کاربرد ۲۰ درصد وزنی سپیولیت، در شرایط تنش شوری، وزن خشک شاخساره ۸۰ درصد، غلظت مس در شاخساره ۸۹ درصد، غلظت کلسیم در ریشه ۶۳ درصد، غلظت منیزیم در ریشه و شاخساره به‌ترتیب ۲۳۰ و ۳۸ درصد و آهن ریشه ۶۵۶ درصد افزایش یافت. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد سپیولیت در شرایط تنش می‌تواند در بهبود غلظت عناصر غذایی به‌ویژه آهن، منیزیم و کلسیم گیاه و کاهش تجمع سدیم در گیاه خیار سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: بی‌کربنات، تنش، رس، سمیّت یونی.

مقدمه

امروزه به دلیل کاهش کمّی و کیفی منابع آب، کشت و تولید محصولات کشاورزی در دنیا با محدودیت مواجه شده است. شوری و قلیاییت آب و خاک یک مشکل محیطی گسترده و از تنش‌های غیرزنده مهم است که رشد و بهره‌وری محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند (Shi and Wang, 2005). شوری

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.hamidpour@vru.ac.ir

یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زا در گیاه بوده که تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی (فائو) در حدود ۲۰ تا ۳۰ میلیون هکتار زمین کشاورزی در اثر شوری به‌شدت تخریب شده است (Mannaf et al., 2016). شوری به‌ویژه در غلظت‌های زیاد کلرید سدیم، باعث کاهش جذب عناصر غذایی شده و کمبود عناصر غذایی در گیاه ایجاد می‌شود. همچنین غلظت‌های زیاد کلرید سدیم، منجر به تجمع یون‌های سدیم و کلرید در گیاه می‌شود. شوری با تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک مانند جوانه‌زنی بذر، بر رشد گیاه و جذب آب و عناصر غذایی اثر دارد (Mannaf et al., 2016). با توجه به این‌که ایران دارای مناطق بسیار وسیع خشک و نیمه‌خشک است در این مناطق رشد گیاه و تولید محصول با محدودیت مواجه است (Siringam et al., 2011). قلیاییت توسط یون‌های هیدروکسید، کربنات و بی‌کربنات ایجاد می‌شود (Shi and Wang, 2005). pH قلیایی در محلول خاک منجر به تشکیل شکل‌های غیرمحلول عناصر غذایی به‌ویژه آهن، روی و مس می‌شود که برای گیاه قابل جذب نمی‌باشند و علاوه بر کاهش جذب عناصر غذایی، منجر به آثار منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک ریشه می‌گردد (Liu et al., 2010). بسترهای کشت و آب‌های آبیاری که دارای غلظت زیاد بی‌کربنات هستند به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در بسیاری از گونه‌های گیاهان زردی ناشی از کمبود آهن ایجاد می‌کنند. نتایج پژوهشی روی گیاه خیار نشان داد که شوری سبب کاهش طول ریشه و وزن خشک و تازه ریشه و ساقه می‌شود (Rouphael et al., 2010). همچنین در پژوهشی عنوان شد که در گیاه کاهو تیمار بی‌کربنات منجر به کاهش غلظت عناصر غذایی در شاخساره نسبت به شاهد شد اما تجمع عناصر غذایی در ریشه رخ داد و رشد شاخساره در اثر تیمار بی‌کربنات به‌شدت کاهش یافت (Roosta et al., 2011). از راهکارهای کاهش پیامدهای منفی تنش شوری و قلیاییت در بسترهای کشت، استفاده از کانی‌های رسی غنی‌شده با کلسیم و دارای توانایی جذب و نگه‌داشت سدیم است. رس‌های غنی‌شده با کلسیم در شرایط تنش شوری ناشی از سدیم می‌توانند یون سدیم را جذب نموده و یون کلسیم کنند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که یون کلسیم با افزایش انتخاب‌پذیری پتاسیم نسبت به سدیم، پیامدهای نامطلوب سدیم در شرایط تنش شوری در گیاه را کاهش می‌دهد (Tavallali.et al., 2008). همچنین زیادی یون کلسیم در حضور بی‌کربنات می‌تواند منجر به تشکیل آهک و کاهش آثار سمّی بی‌کربنات گردد.

سپیولیت یک کانی رسی با فرمول شیمیایی کلی $Si_{12}Mg_8O_{30}(OH)_4.8H_2O$ و سرشار از منیزیم است. مقدار منیزیم این کانی از ۲۱۰ تا ۲۵۰ گرم در هر کیلوگرم متغیر است و این عنصر ۹۰ تا ۱۰۰ درصد موقعیت‌های هشت‌وجهی ساختار کانی را اشغال کرده است؛ بنابراین سپیولیت یک کانی فیبری تری‌اکتاهدرال است (Singer et al., 1989). کانی‌های هشت‌وجهی سه‌تایی به‌علت وجود آهن و منیزیم بیش‌تر نسبت به کانی‌های دوتایی، قابلیت تجزیه و انحلال بیش‌تری داشته و زودتر هوازده می‌شوند. سپیولیت به دلیل دارابودن کانال‌های با مقطع مستطیلی به ابعاد ۳/۶ در ۱۰/۵ آنگستروم در ساختار خود با سایر کانی‌های ورقه‌ای متفاوت بوده و طول رشته‌های آن ۱۰ تا ۲۰ میکرون و عرض آن‌ها ۱۵ تا ۴۰ نانومتر است. سطح ویژه این کانی ۱۷۵ تا ۱۸۹ مترمربع در هر گرم و گنجایش تبادل کاتیونی آن ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم است (Singer et al., 1989). این کانی به دلیل سطح ویژه، تخلخل و گنجایش تبادل کاتیونی زیاد، توانایی زیادی در جذب آب و نگه‌داشت عناصر غذایی دارد؛ بنابراین می‌تواند بر ترکیب یونی محلول خاک و کاتیون‌های تبادلی تأثیر بگذارد (Galan, 1996). کانی سپیولیت در مناطق مختلفی از ایران یافت شده و برای استفاده در کشاورزی و صنعت مورد توجه قرار گرفته است. با وجود این‌که پژوهش‌هایی در مورد کاربردهای زیست‌محیطی این کانی به‌عنوان جاذب عناصر انجام شده ولی در رابطه با کاربرد سپیولیت غنی‌شده با کلسیم در محیط کشت گیاه دانسته‌های بسیار اندکی موجود است.

خیار یکی از پرمصرف‌ترین صیفی‌جات خانواده کدوئیان است. از نظر سطح زیر کشت خیار، ایران در رتبه دوم آسیا و چهارم جهان قرار دارد. به‌طوری‌که سطح زیر کشت خیار ۸۲ هزار هکتار و مقدار تولید آن ۴/۲ میلیون تن در سال برآورد شده است (Kamkar et al., 2008). بنابراین با توجه به تأثیر شوری و قلیاییت در کاهش تولید محصولات و ویژگی‌های رس سپیولیت غنی‌شده با کلسیم، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سپیولیت غنی‌شده با کلسیم به‌عنوان یک اصلاح‌کننده معدنی خاک، برای کاهش آثار منفی تنش شوری و قلیایی بر گیاه خیار انجام شد.

مواد و روش‌ها

سپیولیت مورد استفاده

سپیولیت مورد استفاده به‌صورت پودری نرم از معدنی در شهرستان فریمان تهیه شده و از الک ۲۷۰ مش (اندازه چشمه ۵۳ میکرون) عبور داده شد. سپس سپیولیت توسط محلول یک مولار کلرید کلسیم طی سه مرحله اشباع شد. بدین منظور ۱۰۰ گرم سپیولیت در تماس با ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول یک مولار کلرید کلسیم قرار گرفت، توسط شیکر به‌مدت ۲۴ ساعت تکان داده شد و سپس توسط سانتریفیوژ محلول رویی جدا شده و دوباره در تماس با محلول جدید قرار گرفت. این مرحله سه بار تکرار شد و در انتها دوباره سانتریفیوژ صورت گرفت و این‌بار چند مرحله سپیولیت در تماس با آب مقطر قرار گرفت و سانتریفیوژ شد تا کلرید اضافی خارج شده و رسانایی الکتریکی (EC) به زیر ۳۰۰ دسی‌زیمنس بر متر برسد. سپس سپیولیت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت یک شب در آون خشک شد (Hamidpour et al., 2010). گنجایش تبادل کاتیونی سپیولیت با استفاده از استات آمونیوم در pH برابر با ۷ و سطح ویژه به روش N_2-BET اندازه‌گیری شد (Estafan et al., 2013).

کشت هیدروپونیک خیار

این پژوهش در گلخانه دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان به‌صورت کشت هیدروپونیک و در بستر کشت پرلیت به‌عنوان نگهدارنده گیاه و سپیولیت غنی با کلسیم، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح کاربرد سپیولیت (صفر، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) و چهار سطح از تنش شامل شرایط بدون تنش به‌عنوان شاهد، تنش شوری توسط کلرید سدیم (۷۰ میلی‌مولار)، تنش قلیاییت توسط بی‌کربنات سدیم (۷۰ میلی‌مولار) و تنش همزمان شوری و قلیاییت توسط کلرید سدیم (۷۰ میلی‌مولار) + بی‌کربنات سدیم (۷۰ میلی‌مولار) بود. تعیین تنش‌ها با پیش آزمایش و بر اساس آستانه تحمل گیاه خیار انجام شد. ابتدا بذرها با هیپوکلریت سدیم دو درصد ضدعفونی شده و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرها به‌منظور جوانه‌زنی به مدت ۶ روز در پارچه مرطوب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. سپس در انتهای گلدان کاغذ صافی قرار داده شد. مقدار کمی پرلیت در انتهای گلدان قرار داده شد و مخلوط پرلیت و رس افزوده شد و دوباره سطح گلدان با پرلیت پوشانده شد تا رس در منطقه ریشه گیاه قرار گیرد. وزن رس افزوده‌شده بر اساس وزن پرلیت موجود در هر گلدان محاسبه شد. در هر گلدان چهار بذر کشت شد. گلدان‌ها پس از کشت تا ظاهرشدن ۲ برگ حقیقی دو بار در روز با آب مقطر آبیاری شدند. مقدار آب مورد استفاده برای هر گلدان بر اساس رطوبت گنجایش مزرعه محاسبه شد. پس از ظاهرشدن ۲ برگ اول، تعداد گیاه در هر گلدان به ۲ بوته کاهش داده شد. پس از بزرگ‌ترشدن گیاهان، محلول غذایی نیم‌هوگلند به‌مدت یک هفته و سپس محلول‌دهی با هوگلند کامل صورت گرفت. دو هفته پس از محلول‌دهی با محلول کامل هوگلند، اولین تنش با غلظت ۲۰ میلی‌مولار بر گیاهان اعمال شد. به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک به گیاه، تنش‌ها به‌صورت تدریجی و با فاصله ۳ روز یک‌بار افزایش یافت. برای کنترل دمای گلخانه از ترموستات محیطی متصل به سیستم گرمایشی و سرمایشی استفاده شد. دمای بیشینه و کمینه بین ۲۵ و ۱۹ درجه سلسیوس تنظیم شد به‌گونه‌ای‌که در دمای بیش‌تر از ۲۵ درجه سلسیوس

جدول ۱. تجزیه عنصری سپیولیت مورد بررسی.

Table 1. Elemental analysis of the studied sepiolite.

					درصد (%)					
SiO_2	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	K_2O	MnO	P_2O_5	Na_2O	Loss on ignition
44.39	31.2	2.0	1.6	0.51	0.048	0.07	0.016	0.008	0.008	19.9

سیستم خنک‌کننده و در دمای کم‌تر از ۱۹ درجه سلسیوس سیستم گرمایشی فعال می‌شد. همچنین از پنکه برای تهویه و یکنواخت‌نمودن هوای سالن استفاده شد. رطوبت نسبی هوای سالن در حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد بود. در مرحله آخر گیاهان تحت تنش ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۷۰ میلی‌مولار بی-کربنات سدیم به‌ترتیب برای اعمال تنش شوری و تنش قلیاییت، و مجموع ۷۰ میلی مولار کلرید سدیم و ۷۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به‌منظور اعمال تنش همزمان شوری و قلیاییت قرار گرفتند. مدت زمان اعمال تنش‌ها در مجموع یک‌ماه بود. در پایان دوره آزمایش (۲ ماه پس از کاشت)، گیاهان به‌طور کامل از گلدان خارج شده، قسمت‌های هوایی (شاخساره) و ریشه از هم جدا شده، پس از شستشو با آب مقطر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شده و سپس آسیاب شدند. اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی شاخساره و ریشه‌های گیاه به روش هضم خشک انجام شد. بدین منظور ۰/۵ گرم نمونه آسیاب‌شده شاخساره و ریشه ابتدا در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت نیم ساعت و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت سه ساعت گرما داده شد تا نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شوند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال به هر نمونه افزوده شد تا به‌صورت محلول درآیند و در پایان حجم نمونه‌ها با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در عصاره به‌دست آمده، غلظت آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی (مدل GBC 1.33, Avanta, Australia) اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم با دستگاه شعله‌سنج (مدل PFP7,Germany) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون انجام شد (Estafan et al., 2013).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تعیین انحراف معیار و ضریب تغییر (CV) و تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. ترسیم نمودارها و جداول با استفاده از نرم‌افزار Excel و Word (نسخه ۲۰۱۳) انجام شد.

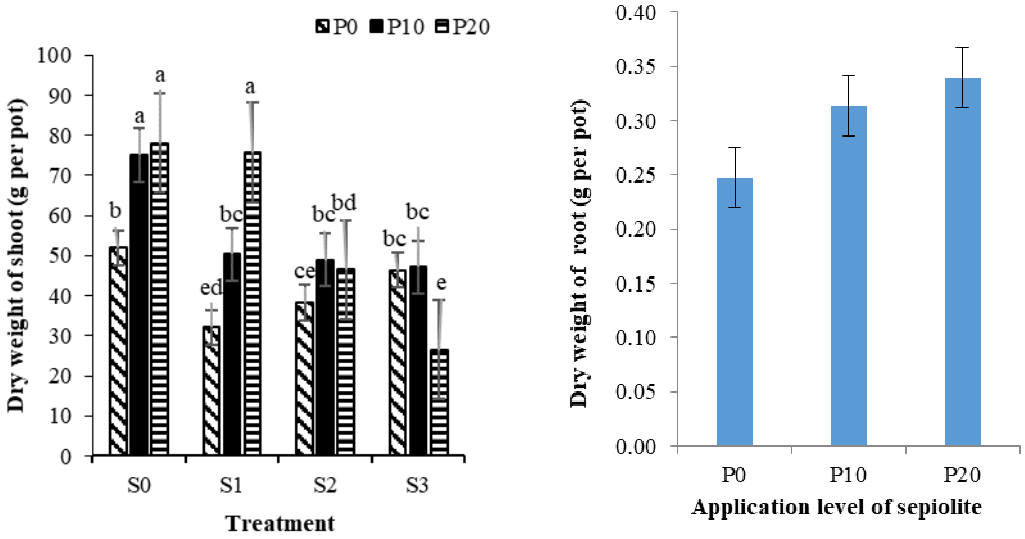
نتایج و بحث

سپیولیت مورد بررسی

نتایج مربوط به ترکیب عنصری کانی سپیولیت مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است. هر چند کانی سپیولیت دارای مقادیر قابل توجهی سیلیسیم و منیزیم است (Galan, 1996)، اما بر پایه ترکیب عنصری این کانی، میزان آلومینیم، سدیم، پتاسیم، فسفر، منگنز و تیتانیم در نمونه کانی ناچیز بود (جدول ۱). گنجایش تبادل کاتیونی و سطح ویژه این کانی به‌ترتیب برابر ۱۲ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و ۱۸۵ متر مربع بر گرم بود.

وزن خشک ریشه و شاخساره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کاربرد سطوح سپیولیت بر وزن خشک ریشه و اثر برهم‌کنش سطوح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در نمونه‌های بدون تنش در اثر افزودن سپیولیت، وزن خشک شاخساره افزایش یافت. به‌طوری‌که کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت باعث افزایش ۹۴ درصدی وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد شد. تفاوت تأثیر



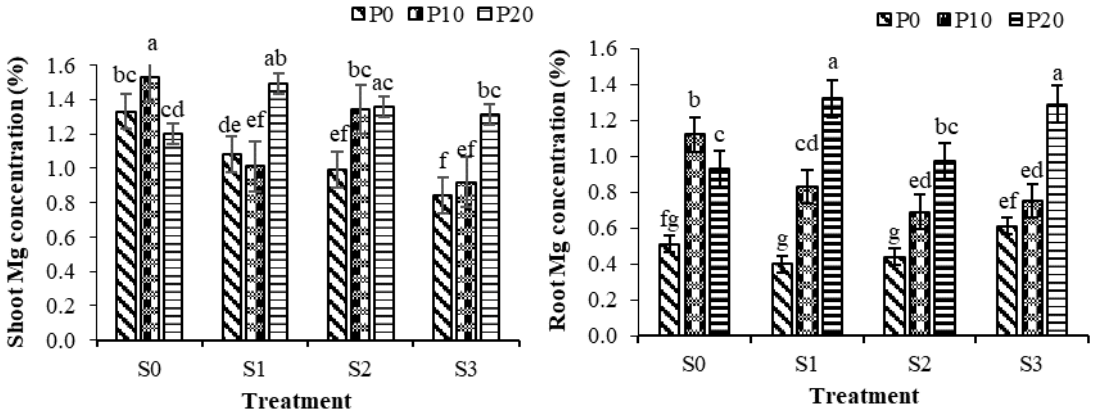
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر وزن خشک شاخساره و اثر اصلی تیمار سپیولیت بر وزن خشک ریشه. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 1. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2: alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on dry weight of shoot and main effect of sepiolite on dry weight of root. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

تیمار ۱۰ و ۲۰ درصد رس بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار نبود. در نمونه‌های تحت تنش شوری، افزودن درصدهای مختلف سپیولیت باعث افزایش وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد شد. این افزایش در تیمار حاوی ۲۰ درصد رس ۸۰ درصد نسبت به شاهد بیش‌تر بود. در تنش همزمان شوری و قلیاییت و در سطح کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت، کاهش وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد مشاهده شد. در نمونه‌های بدون رس در اثر تنش‌های مختلف، کاهش در وزن خشک شاخساره مشاهده شد و این کاهش در تنش شوری معنی‌دار و ۲۷ درصد بود. در تیمار ۱۰ درصد سپیولیت در تنش شوری، تنش قلیاییت و تنش همزمان به‌ترتیب کاهش ۶۳، ۴۸ و ۵۱ درصدی نسبت به شاهد بدون تنش مشاهده شد. در تیمار ۲۰ درصد سپیولیت در تنش شوری افزایش ۵۱ درصدی در وزن خشک شاخساره مشاهده شد و تنش قلیاییت و تنش همزمان شوری + قلیاییت با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). افزودن رس باعث افزایش وزن خشک ریشه شد. تفاوت معنی‌داری میان ۱۰ و ۲۰ درصد رس وجود نداشت ولی تیمار حاوی ۲۰ درصد رس بیش‌ترین وزن خشک را داشت و نسبت به شاهد ۲۷ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱).

کاهش رشد گیاهان در اثر تنش شوری ناشی از سمیّت یون‌های سدیم و کلرید و همچنین تداخل در جذب عناصر غذایی به‌ویژه پتاسیم گزارش شده است. بی‌کربنات سدیم باعث مختل‌شدن تغذیه گیاه می‌شود و رشد و نمو گیاه تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد که به دلیل pH زیاد ناشی از اثر بی‌کربنات سدیم بر جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاه یا در رابطه با رقابت یون سدیم با یون‌های غذایی در گیاه است. قلیاییت زیاد در محیط کشت ریشه باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود، به‌طوری‌که کاهش رشد کاهو در حضور مقادیر زیاد بی‌کربنات گزارش شده است (Roosta et al., 2011) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

سپیولیت یک کانی با ساختار ویژه است که سطوح بیرونی نسبت به سطوح درونی بیش‌تری دارد و قادر به جذب مقادیر



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیایی ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیایی ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت منیزیم ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 2. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2: alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on Mg concentration in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

زیادی آب است. این ویژگی‌ها بر فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه مؤثر بوده و رشد رویشی گیاه را افزایش می‌دهد. در شرایط تنش شوری، سپیولیت با جذب یون‌های مضر مانند سدیم از آثار مخرب آن بر گیاه می‌کاهد. در تنش قلیایی، کلسیم موجود در کانی با بی‌کربنات تشکیل رسوب بی‌کربنات کلسیم داده و با کاهش pH محیط جذب عناصر به‌ویژه عناصر کم مصرف افزایش می‌یابد که باعث بهبود صفات رویشی گیاه در شرایط تنش می‌شود. افزایش جذب منیزیم و آهن توسط گیاه در تیمارهای دارای رس سپیولیت می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش وزن خشک گیاه در شرایط تنش شوری باشد. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که منیزیم در بهبود آثار مضر سدیم در شرایط شور نقش مهمی ایفا می‌کند (Zhao et al., 2021).

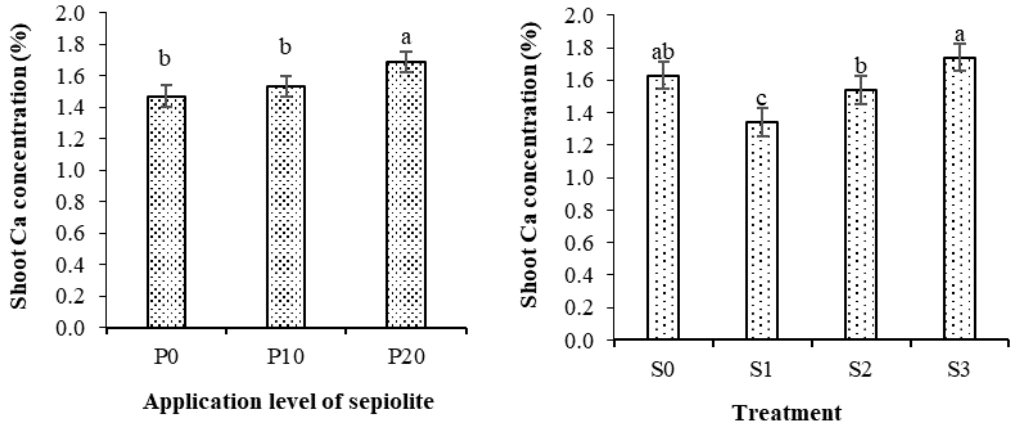
منیزیم گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سطوح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت منیزیم در ریشه و شاخساره معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد با کاربرد سپیولیت در سطح ۱۰ درصد وزنی، غلظت منیزیم شاخساره در شرایط بدون تنش، ۱۵ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش شوری نیز با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت منیزیم شاخساره ۳۸ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش قلیایی در اثر افزودن هر دو سطح سپیولیت غلظت منیزیم در شاخساره ۳۷ درصد افزایش یافت و سطوح مختلف سپیولیت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیایی، غلظت منیزیم در شاخساره با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت افزایش ۵۶ درصدی داشت (شکل ۲). غلظت منیزیم ریشه در شرایط بدون تنش با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب ۱۱۸ و ۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد سپیولیت) افزایش یافت. در شرایط تنش شوری غلظت منیزیم ریشه در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب ۱۰۷ و ۲۳۰ درصد نسبت به تیمار بدون کاربرد سپیولیت (شاهد) افزایش یافت. تحت تنش قلیایی با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت غلظت منیزیم ریشه به‌ترتیب ۵۶ و ۱۲۰ درصد نسبت به شاهد بدون رس افزایش یافت. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیایی، تیمار ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت منیزیم ریشه را ۱۱۱ درصد نسبت به نمونه بدون رس افزایش داد (شکل ۲). منیزیم یک عنصر پرمصرف در گیاه بوده

و مهم‌ترین نقش آن در گیاهان شرکت در ساختار کلروفیل است. در یک پژوهش آزادسازی منیزیم از کانی سپیولیت در ریزوسفر گیاهان مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که جذب منیزیم توسط یونجه، جو و کلزا از بستر کشت حاوی سپیولیت پس از گذشت ۱۰۰ روز به‌ترتیب برابر ۲۳، ۳۸ و ۶۲ میلی‌گرم در گلدان بود. در برخی پژوهش‌ها، حل‌شدن سپیولیت و نوتشکیلی کانی کائولینیت در ریزوسفر گیاهان مذکور گزارش شده است (Khademi and Arocena, 2008). گزارش شده است با افزایش شوری در گلدان‌های حاوی سپیولیت، جذب منیزیم توسط گیاه پسته افزایش یافت (Nejadasadi et al., 2021). وجود تنش شوری می‌تواند سبب تشدید آزادسازی عناصر از کانی‌های خاک شود. زیرا با افزایش شوری، قدرت یونی محلول افزایش می‌یابد و قدرت یونی محلول نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مهم اثرگذار بر انحلال کانی‌های رسی و آزادسازی عناصر از ساختار آن‌ها محسوب می‌شود (Cama and Ganor, 2015). پژوهشگران گزارش نمودند با افزایش شوری خاک، انحلال سپیولیت و به تبع آن، آزادسازی عناصر سیلیسیم و منیزیم از ساختار این کانی افزایش یافت. ایشان دلیل احتمالی این افزایش را تمایل سطوح کانی در جذب کاتیون‌های محلول و به‌هم‌خوردن تعادل بار در کانی و در نتیجه، تضعیف قدرت پیوندی و هوادیدگی کانی بیان کردند (Nejadasadi et al., 2021). پژوهش‌ها نشان داده است که تنش‌های مختلف محیطی از جمله شوری موجب تخریب و کاهش غلظت کلروفیل در گیاه می‌شود (Evelin et al., 2009). کاهش غلظت منیزیم گیاه در اثر تنش قلیاییت در ارقام ذرت (Celik et al., 2006) و هندوانه (Colla et al., 2010) گزارش شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. در این پژوهش کاربرد سپیولیت در شرایط تنش و بدون تنش سبب افزایش غلظت منیزیم گیاه شد. سپیولیت غنی از منیزیم بوده و هوازدگی آن به دلیل ساختار ویژه‌اش به‌سرعت رخ می‌دهد (Galan, 1996). به‌نظر می‌رسد منیزیم از ساختار سپیولیت خارج شده و در اختیار گیاه قرار گرفته است. علاوه بر مقادیر زیاد منیزیم در ساختار سپیولیت، سطوح و لبه‌های ساختاری آن موجب جذب سدیم شده و همچنین وجود کلسیم همراه با کانی که به رسوب بی‌کربنات موجود در محیط کمک می‌کند علت افزایش جذب منیزیم در شرایط تنش بوده است. بنابر نتایج این پژوهش، کاربرد سپیولیت غنی‌شده با کلسیم راهکار بسیار خوبی برای بهبود وضعیت منیزیم در شرایط بدون تنش و همچنین تنش‌های مختلف مورد بررسی است.

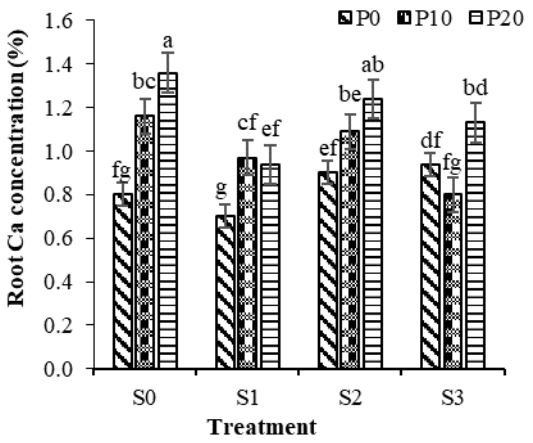
کلسیم گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت کلسیم ریشه و آثار اصلی تیمارها بر غلظت کلسیم شاخساره معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). با افزایش سطح کاربرد سپیولیت غنی‌شده، غلظت کلسیم شاخساره گیاه افزایش یافت به‌طوری‌که با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت غلظت کلسیم شاخساره ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (شکل ۳). با توجه به این‌که رس سپیولیت مورد استفاده در این پژوهش غنی از کلسیم بود، کلسیم تبادلی آن می‌تواند بخشی از نیاز گیاه را برطرف نماید. هم‌چنین غلظت کلسیم شاخساره در تنش‌های شوری و قلیاییت به‌ترتیب ۱۸ و ۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۳). کاهش غلظت کلسیم ریشه و شاخساره در گیاه زیتون (De La Guardia and Alcantra, 2002) و گل رز در اثر تنش قلیاییت در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد که علت آن از دسترس خارج شدن کلسیم با تشکیل رسوب کربنات کلسیم در تیمار قلیاییت است. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش نوع تنش و سطوح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD در مورد غلظت کلسیم ریشه نشان داد در شرایط بدون تنش با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، افزایش ۴۵ و ۶۳ درصدی در غلظت کلسیم ریشه نسبت به شاهد مشاهده شد. در شرایط تنش شوری، تیمار ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت کلسیم ریشه را ۳۸ و ۳۴ درصد نسبت به شاهد بدون رس افزایش داد و بین سطوح مختلف سپیولیت تفاوت



شکل ۳. مقایسه میانگین آثار اصلی تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیایی ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیایی ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت کلسیم شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 3. Mean comparisons of main effects of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2: alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on shoot Ca concentration. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).



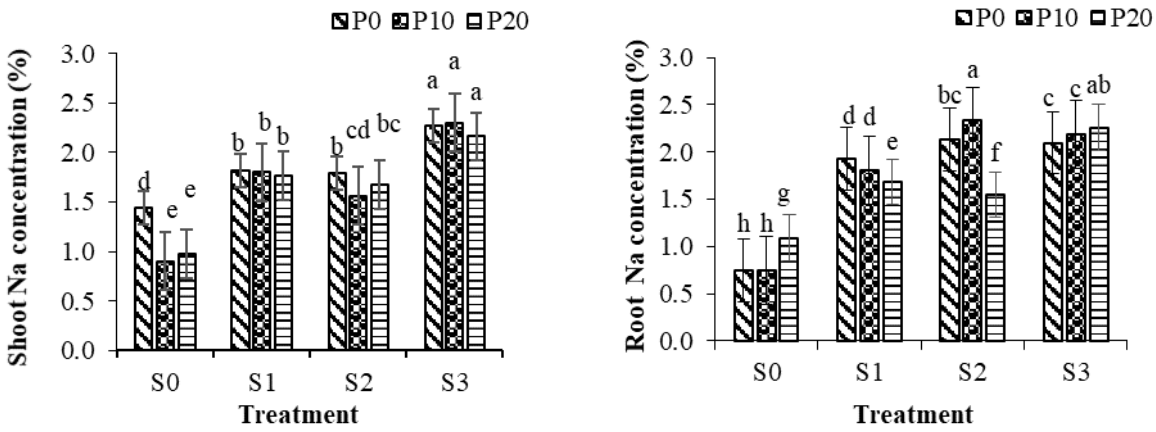
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیایی ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیایی ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و۲۰ درصد وزنی) بر غلظت کلسیم ریشه. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 4. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on root Ca concentration. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط تنش قلیایی، با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت غلظت کلسیم ریشه ۳۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۴). افزایش غلظت کلسیم گیاه در اثر افزودن رس در شرایط تنش و بدون تنش به دلیل آزادسازی کلسیم از رس است. به دلیل ساختار ویژه این رس که بخش بزرگی از سطوح آن سطوح بیرونی قابل تبادل است و همچنین سطح ویژه، تخلخل و قدرت جذب زیاد آن (Galan, 1996)، احتمالاً در مرحله اشباع‌سازی مقدار زیادی کلسیم توسط کانی جذب شده که در مرحله کشت در اختیار گیاه قرار گرفته است.

سدیم گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت سدیم در شاخساره و ریشه معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم کنش تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر غلظت سدیم شاخساره بر اساس آزمون LSD نشان داد در شرایط بدون تنش با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت غلظت سدیم در شاخساره به‌ترتیب ۳۷ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در



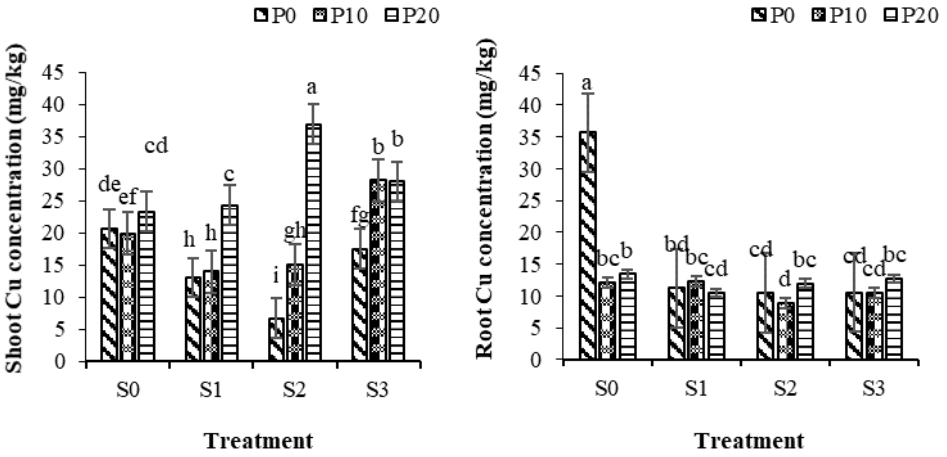
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت سدیم در ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 5. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on concentration of Na in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

شرایط تنش قلیاییت کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت باعث کاهش معنی‌دار و ۱۳ درصدی غلظت سدیم شاخساره شد (شکل ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزودن ۱۰ درصد سپیولیت، غلظت سدیم ریشه در نمونه‌های بدون تنش ۳۸ درصد کاهش یافت. تحت تنش شوری، کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت غلظت سدیم ریشه را ۱۳ درصد کاهش داد. در شرایط تنش قلیاییت کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت باعث کاهش ۲۷ درصدی غلظت سدیم ریشه شد. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت، تیمار حاوی ۲۰ درصد سپیولیت باعث افزایش ۱۸ درصدی غلظت سدیم ریشه شد (شکل ۵). افزایش غلظت سدیم در گیاه از نتایج اولیه تنش شوری است (Meneguzzo et al., 2000). فراوانی یون سدیم در فاز محلول و سطوح کلوییدهای خاک باعث جذب بیش‌تر سدیم توسط ریشه گیاه شده و غلظت سدیم در گیاه افزایش می‌یابد. جایگزینی یون سدیم در غشای سلولی به‌جای کلسیم باعث افزایش نفوذپذیری غشاء و افزایش ورود و تجمع سدیم در سپتوپلاسم سلول می‌شود (Cramer et al., 1986) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. کاهش سدیم ریشه و شاخساره در اثر افزودن رس احتمالاً به دلیل جذب سطحی سدیم توسط رس و کاهش قابلیت جذب آن توسط گیاه بوده و در غلظت‌های زیاد سدیم در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت اثربخشی حضور سپیولیت کاهش یافته است. هم‌چنین کاهش غلظت سدیم در گیاه می‌تواند به دلیل افزایش جذب منیزیم توسط گیاه در تیمارهای حاوی رس باشد. در برخی پژوهش‌ها به روابط آنتاگونیستی منیزیم و سدیم اشاره شده است (Zhao et al., 2021).

مس گیاه

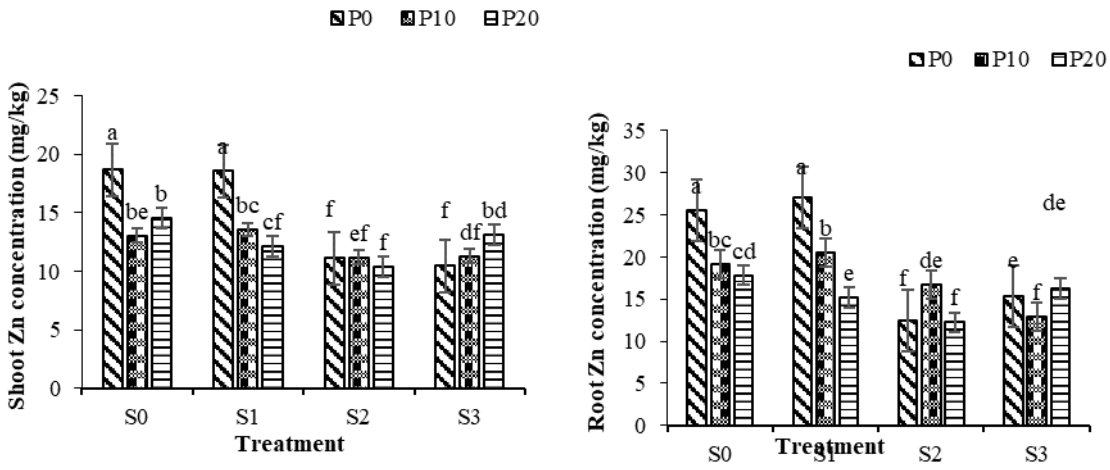
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت مس ریشه و شاخساره معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نوع تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد در نمونه‌های تحت تنش شوری با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت مس شاخساره ۸۹ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش قلیاییت، غلظت مس شاخساره با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب ۱۲۲ و ۴۴۶ درصد نسبت به شاهد افزایش



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت مس در ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 6. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on concentration of Cu in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

یافت. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت غلظت مس شاخساره به‌ترتیب ۶۰ و ۵۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که تفاوت سطوح مختلف رس با یکدیگر معنی‌دار نبود (شکل ۶). همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد در نمونه‌های بدون رس، تیمارهای شوری، قلیاییت و تنش همزمان به‌ترتیب باعث کاهش ۳۷، ۶۷ و ۱۵ درصدی غلظت مس در شاخساره شد. در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد سپیولیت برای تنش شوری کاهش ۳۰ درصدی، در شرایط تنش قلیاییت کاهش ۲۵ درصدی و برای تنش همزمان افزایش ۴۱ درصد در غلظت مس شاخساره مشاهده شد. در نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد سپیولیت برای تنش شوری ۵ درصد، تنش قلیاییت ۵۸ درصد و تنش همزمان ۲۰ درصد افزایش در غلظت مس شاخساره مشاهده شد (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نوع تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد در نمونه‌های بدون تنش با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت مس ریشه به‌ترتیب ۶۶ و ۶۲ درصد کاهش یافت. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت، تفاوت معنی‌داری در غلظت مس ریشه بین تیمارهای مختلف رس مشاهده نشد (شکل ۶). همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد در نمونه‌های بدون رس، تیمار شوری، قلیاییت و تنش همزمان به‌ترتیب باعث کاهش ۶۸، ۷۰ و ۷۰ درصدی در غلظت مس ریشه شد. در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد سپیولیت برای تنش قلیاییت کاهش ۲۶ درصدی در غلظت مس ریشه مشاهده شد. در نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد سپیولیت برای تنش شوری کاهش ۲۱ درصدی در غلظت مس ریشه مشاهده شد (شکل ۶). مس از عناصر کم‌مصرف گیاه بوده و بر فعال‌سازی برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز نقش دارد. کمبود مس می‌تواند به کاهش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مختلف منجر شود. در این پژوهش کاهش مس در شاخساره و ریشه در تنش‌های مختلف به‌جز تنش همزمان مشاهده شد که احتمالاً به دلیل به‌هم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه در اثر مقادیر زیاد یون‌های سدیم، کلرید و بی‌کربنات است. کاهش غلظت مس در ریشه و شاخساره در شرایط تنش شوری در دانهال‌های پسته گزارش شده است (Eskandari and Mozaffari, 2014). هم‌چنین کاهش غلظت مس در اثر تنش شوری در گیاه نخود



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت روی در ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 7. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on concentration of Zn in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

(Yildirim et al., 2008) گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. استفاده از سپیولیت غنی‌شده با کلسیم توانست تا حدودی از آثار منفی تنش‌ها بر غلظت مس شاخساره گیاه بکاهد که احتمالاً ناشی از رسوب بی‌کربنات و کاهش اثر منفی آن بر جذب عناصر غذایی و همچنین کاهش سمیّت سدیم از طریق جذب سطحی سدیم توسط رس است.

روی گیاه

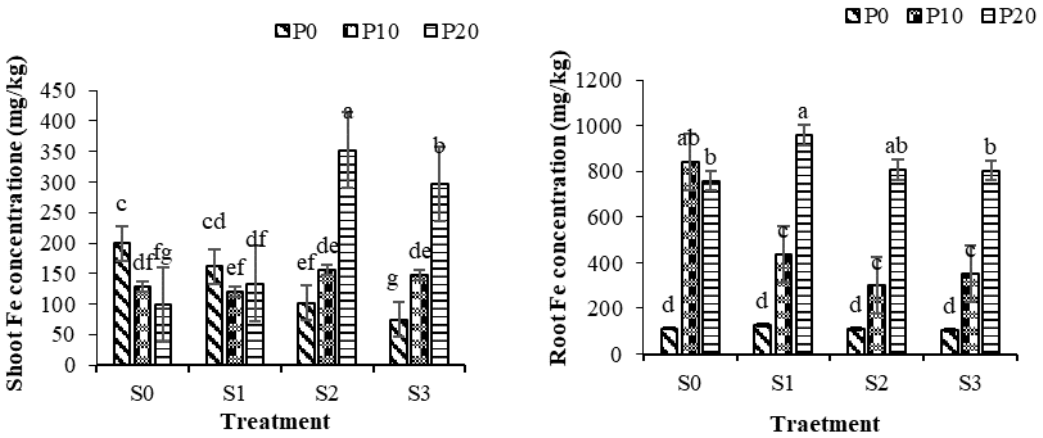
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت روی ریشه و شاخساره معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت روی شاخساره در نمونه‌های بدون تنش به‌ترتیب ۳۰ و ۲۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در نمونه‌های تحت تنش شوری کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت غلظت روی شاخساره را ۲۷ درصد کاهش داد و کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت موجب کاهش ۲۲ درصدی آن شد. درحالی‌که در نمونه‌های تحت تنش همزمان شوری و قلیاییت، غلظت روی شاخساره با افزودن ۲۰ درصد سپیولیت ۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت روی ریشه در شرایط بدون تنش در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت ۲۷ و ۳۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در نمونه‌های تحت تنش شوری کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت روی ریشه را به‌ترتیب ۲۴ و ۴۳ درصد کاهش داد. در شرایط تنش قلیاییت، با کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت غلظت روی ریشه ۳۴ درصد افزایش یافت. در نمونه‌های تحت تنش همزمان شوری و قلیاییت کاربرد تیمار ۱۰ درصد سپیولیت باعث کاهش ۱۵ درصدی غلظت روی ریشه شد (شکل ۷). در نمونه‌های بدون رس، تنش قلیاییت باعث کاهش ۵۱ درصدی و تنش همزمان شوری و قلیاییت باعث کاهش ۴۰ درصدی غلظت روی ریشه شد. در نمونه‌های دارای ۱۰ درصد سپیولیت در تنش همزمان، کاهش ۳۲ درصدی در غلظت روی ریشه مشاهده شد. نمونه‌های دارای ۲۰ درصد سپیولیت نیز در تنش شوری کاهش ۱۴درصدی، در تنش قلیاییت ۳۱ درصدی و تنش همزمان کاهش ۹ درصدی مشاهده شد (شکل ۷). کاهش غلظت روی ریشه و شاخساره در اثر

تنش همزمان و تنش قلیاییت در عدم حضور رس سپیولیت با نتایج پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد. بررسی‌های پیشین نشان داده است که قلیاییت باعث کاهش روی در شاخساره و ریشه هندوانه (Colla et al., 2010) و کاهو (Roosta et al., 2011) شده است. در حضور بی‌کربنات PH افزایش یافته و رسوب روی به‌صورت $Zn(OH)_2$، روی را از دسترس گیاه خارج کرده است. فراهمی عناصر کم‌مصرف برای گیاه بسته به نوع عنصر با افزایش pH کاهش می‌یابد. در اثر افزودن سپیولیت در شرایط تنش شوری، غلظت روی ریشه و شاخساره کاهش یافت که مشابه شرایط بدون تنش بود؛ این یافته احتمالاً به دلیل تمایل کانی به روی و از دسترس خارج شدن آن برای جذب توسط گیاه است. همچنین کانی دارای مقدار زیادی آهن است که علت کاهش جذب روی می‌تواند اثر آنتاگونیستی آهن و روی باشد. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت، کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت منجر به افزایش غلظت روی شاخساره نسبت به شاهد شد. در تنش قلیاییت نیز ۱۰ درصد سپیولیت باعث افزایش غلظت روی ریشه نسبت به شاهد شد. افزایش غلظت روی در گیاه را می‌توان به این موضوع نسبت داد که کلسیم در حد بهینه قادر است به‌طور غیرمستقیم از طریق حفظ پایداری و نفوذپذیری انتخابی غشاهای سلولی باعث حفظ تعادل تغذیه‌ای روی شود (Zekri and Parsons, 1990). به‌طور کلی در اثر افزودن ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت روی ریشه و شاخساره در تنش‌های مختلف وضعیت بهتری داشت.

آهن گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت آهن ریشه و شاخساره معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد با افزودن رس سپیولیت، غلظت آهن شاخساره در نمونه‌های بدون تنش با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب کاهش ۳۵ و ۵۰ درصدی داشت. در شرایط تنش شوری کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت باعث کاهش ۲۵ درصدی غلظت آهن شاخساره شد. در شرایط تنش قلیاییت، غلظت آهن شاخساره با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت ۱۷۰ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت نیز غلظت آهن شاخساره با افزودن ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب ۹۷ و ۳۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۸). در نمونه‌های بدون رس، در اثر تنش قلیاییت کاهش ۴۹ درصدی و در تنش همزمان، کاهش ۶۳ درصدی در غلظت آهن شاخساره نسبت به شاهد بدون تنش مشاهده شد. در نمونه‌های دارای ۱۰ درصد سپیولیت تفاوت معنی‌داری در غلظت آهن شاخساره بین نمونه‌های دارای تنش و بدون تنش مشاهده نشد. در نمونه‌های دارای ۲۰ درصد سپیولیت در شرایط تنش قلیاییت افزایش ۲۵۴ درصدی و در شرایط تنش همزمان افزایش ۱۹۸ درصدی غلظت آهن شاخساره مشاهده شد (شکل ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد غلظت آهن ریشه در شرایط بدون تنش در تیمار ۱۰ درصد سپیولیت ۶۵۲ درصد افزایش یافته و در تیمار ۲۰ درصد سپیولیت ۵۷۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در شرایط تنش شوری، کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت غلظت آهن ریشه را به‌ترتیب ۲۴۲ و۶۵۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش قلیاییت نیز کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت آهن ریشه را به‌ترتیب ۱۷۲ و ۶۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت، کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب باعث افزایش ۲۳۶ و ۶۷۰ درصدی غلظت آهن ریشه شد (شکل ۸).

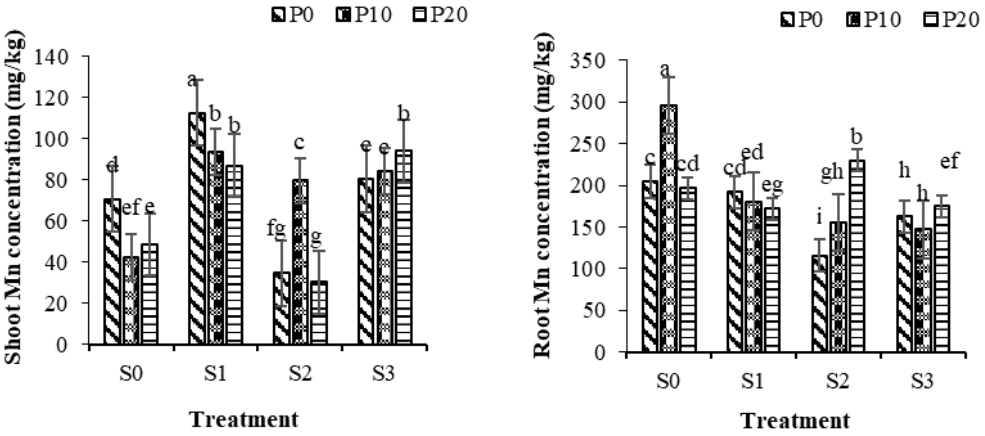
کاهش آهن در شرایط تنش قلیاییت در برگ گیاه خیار گزارش شده است (Rouphael et al., 2010). حضور بی‌کربنات می‌تواند با رسوب عناصر غذایی مانع جذب آهن توسط گیاه شود (Kopittk et al., 2004). همچنین کاهش آهن شاخساره در گیاه ذرت در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Turan et al., 2010). که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. آهن می‌تواند از طریق رقابت با سایر عناصر کم‌مصرف و یا در اثر تغییر pH در گیاه کاهش یابد. کاهش غلظت آهن ریشه در اثر



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت آهن در ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 8. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on concentration of Fe in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

تنش قلیاییت در اثر رسوب آهن در مقادیر pH زیاد و همچنین رقابت با سایر عناصر کم‌مصرف است. نتایج این پژوهش افزایش غلظت آهن ریشه و شاخساره را در اثر افزودن سپیولیت غنی‌شده با کلسیم در تمامی تیمارهای تنش (به‌جز تنش شوری در آهن شاخساره) نشان می‌دهد. کاربرد ۲۰ درصد وزنی سپیولیت عملکرد بهتری در افزایش فراهمی آهن نسبت به تیمار ۱۰ درصد وزنی سپیولیت داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت آهن در تیمارهای بدون سپیولیت در ریشه به‌طور معنی‌داری کم‌تر از تیمارهای دارای رس است. نتایج تجزیه عنصری رس وجود مقادیر زیاد آهن در کانی را نشان داد. کانی سپیولیت به هوازدگی حساس است و احتمالاً آهن از کانی خارج شده و در اختیار گیاه قرار گرفته است. علت غلظت زیاد آهن در ریشه، خارج‌شدن آهن از شکل محلول و غیرمتحرک‌شدن آن در ریشه است. گزارش شده است که برخی لیگاندهای آلی با وزن مولکولی کم ترشح‌شده از ریشه گیاه در انحلال سپیولیت و آزادسازی آهن نقش دارند (Shirvani and Nourbakhsh, 2010). غلظت زیاد آهن در ریشه و شاخساره در تیمار حاوی ۲۰ درصد سپیولیت در شرایط تنش همزمان و در شرایط تنش قلیاییت نشان‌دهنده این است که کاربرد سپیولیت مانع از رسوب آهن با بی‌کربنات شده است. در حضور سپیولیت غنی‌شده با کلسیم، کلسیم آزادشده از رس با بی‌کربنات تشکیل رسوب داده و از آثار منفی بی‌کربنات و pH زیاد در جذب آهن کاسته شده و جذب آهن توسط گیاه افزایش یافته است. همچنین ممکن است رس با تثبیت سایر عناصر کم‌مصرف باعث افزایش غلظت آهن در گیاه شده باشد. بیش‌ترین غلظت آهن شاخساره در شرایط تنش قلیاییت و با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت و در ریشه نیز در شرایط تنش شوری و قلیاییت و با کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت مشاهده شد. بی‌کربنات جذب‌شده در گیاه می‌تواند باعث افزایش رسوب آهن و غیرفعال‌شدن آهن در ریشه‌ها شود و وجود آن در آپوپلاست با ممانعت از فعالیت آهن ردوکتاز از احیا آهن جلوگیری می‌کند (Zribi and Gharsalli, 2002) در پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز غلظت زیاد آهن در ریشه خیار نسبت به شاخساره در محیط پرلیت گزارش شده است. به‌عنوان مثال در یک پژوهش انجام‌شده در مورد خیار، غلظت آهن ریشه در دامنه ۱۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه گزارش شده است (Moghaddasi et al., 2015).



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش (S0 شاهد بدون تنش، S1 تنش شوری ۷۰ میلی‌مولار، S2 تنش قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار و S3 تنش همزمان شوری و قلیاییت ۷۰ میلی‌مولار + ۷۰ میلی‌مولار) و سپیولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) بر غلظت منگنز در ریشه و شاخساره. بر اساس آزمون LSD، میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 9. Mean comparisons of interaction effect of stress (S0: control, S1: salinity 70 mM, S2 alkalinity 70 mM, S3: salinity and alkalinity 70 mM + 70 mM) and sepiolite percentage (P0: 0, P10: 10, P20: 20 %w/w) on concentration of Mn in root and shoot. Means with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

منگنز گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سطح کاربرد سپیولیت و نوع تنش بر غلظت منگنز در ریشه و شاخساره معنی‌دار بود ($p <$ ۰/۰۵). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش و سطح کاربرد سپیولیت بر اساس آزمون LSD نشان داد با افزودن رس، غلظت منگنز شاخساره در شرایط بدون تنش در تیمار ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت به‌ترتیب ۴۰ و ۳۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در شرایط تنش شوری با کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت، غلظت منگنز شاخساره ۱۷ و ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در شرایط تنش قلیاییت، غلظت منگنز شاخساره در اثر افزودن ۱۰ درصد سپیولیت ۱۲۸ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت نیز غلظت منگنز شاخساره با افزودن ۲۰ درصد سپیولیت ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۹). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در نمونه‌های بدون رس، تنش قلیاییت باعث کاهش ۴۳ درصدی و تنش همزمان باعث کاهش ۲۶ درصدی غلظت منگنز ریشه شد. در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد سپیولیت برای تنش شوری کاهش ۳۹ درصدی و در تنش قلیاییت و تنش همزمان کاهش ۵۰ درصدی غلظت منگنز ریشه مشاهده شد. در نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد سپیولیت برای تنش شوری کاهش ۱۲ درصدی، تنش قلیاییت افزایش ۱۷ درصدی و تنش همزمان کاهش ۱۱ درصدی در غلظت منگنز ریشه مشاهده شد. غلظت منگنز ریشه در شرایط بدون تنش در تیمار ۱۰ درصد سپیولیت ۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در شرایط تنش شوری ۲۰ درصد سپیولیت غلظت منگنز ریشه را ۱۰ درصد کاهش داد. در شرایط تنش قلیاییت، کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد سپیولیت غلظت منگنز ریشه را به‌ترتیب ۳۴ و ۹۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تنش همزمان شوری و قلیاییت، تفاوت معنی‌داری در غلظت منگنز ریشه نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۹). حلالیت و فراهمی عناصر کم‌مصرف کاتیونی مانند روی، منگنز، آهن و مس در شرایط قلیاییت بسیار کم بوده و گیاهان رشدیافته در این شرایط علایم کمبود این عناصر را نشان می‌دهند (Oadir et al., 1997). در تیمارهای دارای بی‌کربنات در نمونه‌های بدون رس به‌دلیل pH زیاد جذب منگنز ریشه کاهش یافته است. در تنش قلیاییت، کاربرد سطوح مختلف سپیولیت باعث افزایش غلظت منگنز

ریشه شد. احتمالاً سپیولیت با تعدیل pH با تشکیل بی‌کربنات کلسیم، جذب منگنز را افزایش داده است. در تنش قلیاییت، کاربرد ۱۰ درصد سپیولیت و در تنش همزمان، کاربرد ۲۰ درصد سپیولیت باعث افزایش غلظت منگنز شاخساره شد که ممکن است به دلیل تعدیل pH و کاهش سمیّت بی‌کربنات باشد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش سپیولیت غنی‌شده با کلسیم آثار مطلوبی بر غلظت عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم و آهن گیاه خیار داشت و با خارج‌کردن سدیم از دسترس گیاه آثار نامطلوب تنش‌های شوری و قلیایی بودن بستر کشت را کاهش داد. کاربرد سپیولیت اثر مطلوبی بر وزن خشک ریشه و شاخساره داشت. بنابراین می‌توان سپیولییت غنی‌شده با کلسیم را در سطوح تنش مورد بررسی در این پژوهش به‌عنوان یک عامل اصلاحی در بستر کشت پرلیت به کار برد.

تشکر و سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی دانشگاه ولی عصر رفسنجان برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Cartmill, A.D., Valdez-Aguilar, L.A., Bryan, D.L., Alarcon, A., 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. Sci. Hortic. 115(3), 275–284. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.019.
2. Cama, J., Ganor, J., 2015. Dissolution kinetics of clay minerals. In: Tournassat, C., Steefel, C.I., Bourg, I.C., Bergaya, F. (Eds.), Developments in Clay Science. Elsevier, pp. 101–153.
3. Celik, H., Vahap-Katkal, A., Basta, H., 2006. Effect of bicarbonate induced iron chlorosis and selected nutrient contents and nutrient ratios of shoots and roots of different maize varieties. J. Agron. 5, 369–374. https://doi.org/10.3923/ja.2006.369.374.
4. Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., Rea, E., 2010. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. Environ. Exp. Bot. 68(3), 283–291. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.12.005.
5. Cramer, G.R., Lauchli, A., Epstein, E., 1986. Effects of NaCl and $CaCl_2$ on ions activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. Plant Physiol. 81, 792–797. https://doi.org/10.1104/pp.81.3.792.
6. De la Guardia, M.D., Alcantara, E., 2002. Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. J. Plant Nutr. 25, 1021–1032. https://doi.org/10.1081/PLN-.120003936.
7. Eskandari, S., Mozaffari, V., 2014. Interactive effect of soil salinity and copper application on growth and chemical composition of pistachio seedlings (*cv. Badami*). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45(5), 688–702. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.874022.
8. Estefan, G., Sommer, R., Ryan, J., 2013. Methods of Soil, Plant and Water Analysis: A Manual for The West Asia and North Africa region. ICARDA, Beirut.
9. Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Ann. Bot. 104(7), 1263–1280. https://doi.org/10.1093/aob/mcp251.
10. Galan, E., 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. Clay Miner, 31(4), 443–435. https://doi.org/10.1180/claymin.1996.031.4.01.
11. Hamidpour, M., Afyuni, M., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Inglezakis., V.J. 2010. Mobility and plant-availability of Cd(II) and Pb(II) adsorbed on zeolite and bentonite. Appl. Clay Sci. 48(3), 342–348. https://doi.org/10.1016/j.clay. 2010.01.004.
12. Kamkar, B., Ghaffari, H., Entesari, M., 2008. The study of temperature and salinity effects on germination components of canola cultivars. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 5(15), 38–27. (In Persian with English abstract)
13. Khademi, H., Arocena, J.M., 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. Clays Clay Miner. 56(4), 429–436. https://doi.org/10.1346/CCMN.2008.560404.

14. Kopittk, P.M., Menzies, N.W., 2004. Control of nutrient solution for studies at high pH. Plant Soil. 266, 343–354.
15. Liu, J., Guo, W.Q., Shi, D. C., 2010. Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions. Photosynthetica 48(2), 278–286. https://doi.org/10.1007/s11099-010-0034-3..
16. Manaf, H.H., 2016. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. Ann. Agric. Sci. 61(1), 41–48. https://doi.org/10.1016/j.aoa.2016.04.003.
17. Meneguzzo, S., Navari-Izzo, F. and Izzo, R. 2000. NaCl effects on water relation and accumulation of mineral nutrients in shoots, roots and cell sap of wheat seedlings. J. Plant Physiol. 156(5-6), 711–716. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80236-9.
18. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Chaney, R., 2015. Fate and effect of tire rubber ash nano-particles (RANPs) in cucumber. Ecotoxicol. Environ. Saf. 115, 137–143. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.020.
19. Navarro, J., Martinez, V., Carvajal, M., 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. Plant Sci. 157(1), 89–96. https://doi.org/10.1016/so168-9452(00)00272-7.
20. Nejadasadi, R., Esfandiarpour-Boroujeni, I., Hamidpour, M., Abbaszadeh-Dahaji, P., Hosseinifard, S.J., 2021. Sepiolite dissolution by different silicate solubilizing bacteria. J. Plant. Nutr. Soil Sci. 21, 3232–3246. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00602-0.
21. Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmed, N., 1997. Nutrient availability in a calcareous saline-sodic soil during vegetative bioremediation. Arid Soil Res. Rehabil. 11, 343–352. https://doi.org/10.1080/15324989709381487.
22. Roosta, H.R., 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentration in lettuce. J. Plant Nutr. 34, 717–731. https://doi.org/10.1080/01904167.2011.540987.
23. Rouphael, Y., Cardarelli, M., Mattia, E.D., Tullio, M., Rea, E., Colla, G., 2010. Enhancement of alkalinity tolerance in tow cucumber genotypes inoculated with an arbuscular mycorrhizal biofertilizer containing glomus intraradices. Biol. Fertil. Soils. 46, 499–509. https://doi.org/10.1007/s00374-010-0457-9.
24. Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G., 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. Photosynthetica 50(2), 180–188. https://doi.org/10.1007/s11099-012-0002-1.
25. Sadreghaen, H., 2012. Effect of three methods of micro irrigation systems on cucumber water use efficiency and yield. J. Water Soil (Former: J. Agri. Sci. Technol.), 26(2), 515–522. (In Persian with English abstract).
26. Shi, D., Wang, D., 2005. Effects of various salt-alkaline mixed stress on *Aneurolepidium chinenes* (Trin.) Kitage. Plant Soil 271, 15–26. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.05.003.
27. Singer, A., 1989. Palygorskite and sepiolite group minerals. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), Minerals in Soil Environments. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 829–872.
28. Shirvani, M., Nourbakhsh, F., 2010. Desferrioxamine-B adsorption to and iron dissolution from palygorskite and sepiolite. Appl. Clay Sci. 48, 393–397. https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.01.012..
29. Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S., Kirdmanee, C., 2011. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp, indica) roots under isosmotic conditions. Afr. J. Biotechnol. 10(8), 1340–1346. https://doi.org/10.5897/Ajb10.1805.
30. Tavallali, V., Rahemi, M., Panahi, B., 2008. Calcium induces salinity tolerance in pistachio rootstocks. Fruits 63(5), 285–296. https://doi.org/10.1051/fruits:2008024.
31. Turan, M.A., Abdelkarim, H.A. E.,Taban, N., Taban, S. 2010. Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant. J. Agric. Res. 5(7), 584–588.
32. Yildirim, B., Yasar, F., Terzioglu, O., Tamkoc, A., Turkozu, D., 2008. Effect of salinity stress on nutrient composition of field pea genotypes (*Pisum sativum* sp. arvense L.). J. Anim. Vet. Adv. 7, 944–948.
33. Zhao, D., Gao, S., Zhang, X., Zhang, Z. Zheng, H., Rong, K., Zhao, W., Khan, S.A., 2021. Impact of saline stress on the uptake of various macro and micronutrients and their associations with plant biomass and root traits in wheat. Plant Soil Environ. 67(2), 61–70. https://doi.org/10.17221/467/2020-PSE.
34. Zekri, M., Parsons, L.R., 1990. Calcium influence growth and leaf mineral concentration of citrus under saline condition. Hortscience 25, 784–786.
35. Zribi, K., Gharsalli, M., 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. J. Nutr. 25(10), 2143–2149. https://doi.org/PLN-120014066.