



اثر سیلیسیم و اسید هیومیک بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک فلفل دلمه‌ای (*capsicum*) *annuum L.* در سطوح مختلف شوری

محمد کاظم دهقانی*، رضا قاسمی، صدیقه صفرزاده و محمد اعتمادی

دانشجوی دکتری، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز. رایانامه: mk.dehghani@hafez.shirazu.ac.ir

استاد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز. رایانامه: ghasemif@shirazu.ac.ir

استادیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز. رایانامه: safarzadeh@shirazu.ac.ir

استادیار، بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز. رایانامه: m.etemadi@shirazu.ac.ir

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۷ و پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۹

چکیده

تنش شوری، از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و توسعه گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. برای کشت گیاه در این مناطق می‌توان با بهره‌گیری از روش‌هایی از کاهش عملکرد جلوگیری کرد. یکی از این روش‌ها، استفاده از محرک‌های رشد می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر مصرف اسید هیومیک و سیلیسیم بر رشد گیاه فلفل دلمه‌ای در سطوح مختلف شوری بود. این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۸ به انجام رسید. تیمار با آب شور در ۴ سطح ۰، ۱/۷، ۳/۴ و ۵/۱ دسی زیمنس بر متر در طی دوره رشد به گلدان‌ها افزوده شد و از تیمارهای اسید هیومیک و سیلیسیم و کاربرد همزمان این دو برای کاهش اثرات شوری استفاده شد. اسید هیومیک در دو نوبت، هر نوبت ۰/۵ گرم در کیلوگرم خاک به صورت خاکی اضافه گردید، سیلیسیم نیز به صورت محلول‌پاشی از منبع سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱٪ اعمال شد. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که سطح ۵/۱ دسی زیمنس بر متر شوری سبب کاهش ۶۳٪ وزن خشک گیاه شد و در میان تیمارهای بهبود دهنده، تنها اسید هیومیک توانست با ۵۵٪ افزایش در زیست توده گیاه اثر معنی داری ایجاد کند. شوری همچنین سبب افزایش غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم در گیاه شد، به این صورت که سطح شوری ۵/۱ دسی زیمنس بر متر نسبت به شاهد، به ترتیب سبب افزایش ۷۵۰٪، ۱۷۶٪ و ۱۰۱٪ غلظت این عناصر شد. نتایج به دست آمده در خصوص تیمارهای بهبود دهنده نشان داد که کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیسیم سبب افزایش ۷۶٪ غلظت سدیم در گیاه و تیمار هیومیک سبب کاهش ۲۸٪ غلظت کلسیم ریشه شد. با توجه به نتایج این تحقیق، تیمار اسید هیومیک بیشتر از تیمار سیلیسیم و نیز کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیسیم توانست اثرهای شوری را بیشتر کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: آب شور، تنش شوری، محرک‌های رشد، مواد آلی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mk.dehghani@hafez.shirazu.ac.ir



مقدمه

که شامل ترکیبات آلی نظیر اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و مواد معدنی مانند سیلیسیم می‌باشد.

مواد آلی خاک عمدتاً از اسید هیومیک و فولویک اسید تشکیل شده که به آن‌ها مواد هیومیکی گفته می‌شود، که به طور معمول از ترکیبات نیتروژن‌دار حاوی اسید آمینه تجزیه شده ساخته می‌شوند (Andriess, 1988). مواد هیومیکی ۶۵ تا ۷۰ درصد ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهند. اسید هیومیک رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان را افزایش می‌دهد (Zandonadi et al., 2007) همچنین ممکن است رشد شاخه را تحریک کرده و مقاومت در برابر تنش محیطی را بهبود بخشد، اگرچه مکانیسم فیزیولوژیکی آن به خوبی مشخص نیست (Delfine et al., 2005). اسید هیومیک اثر مفیدی در جذب عناصر غذایی به‌ویژه برای انتقال و دسترس بودن عناصر کم‌مصرف در گیاهان اهمیت ویژه‌ای دارد (Böhme and Lua, 1996). گزارش شده است که تغذیه با اسید هیومیک باعث ایجاد دفاع آنزیمی گیاهان در برابر تنش شوری شد (Cimrin et al., 2010). سایر اثرات بالقوه اسید هیومیک شامل: افزایش رشد ریشه، تغییر جذب مواد معدنی و کاهش آسیب غشا است که می‌تواند اثرات مضر تنش شوری را کاهش داده و تحمل به نمک را افزایش دهد (Canellas et al., 2015). علاوه بر این، اعتقاد بر این است که کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود اجزای عملکرد گیاهان رشد یافته تحت تنش شوری می‌شود (Paksoy et al., 2010).

سیلیسیم (Si) دومین عنصر فراوان موجود در پوسته زمین بوده که در ترکیب با اکسیژن سیلیکات‌ها را تشکیل می‌دهد ۳۱ درصد وزن خاک و ۰/۱ تا ۰/۶ میلی مولار محلول خاک از سیلیسیم تشکیل شده است (Epstein, 1999). اگرچه هنوز سیلیسیم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان مطرح نیست با این حال تا حد زیادی در مورد اثرات آن در کاهش تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی در بسیاری از گونه‌های گیاهی مطالعه صورت گرفته است (Song et al., 2011; Zhu and Gong, 2014). کاربرد سیلیسیم عملکرد گیاهان را از

تنش‌های غیر زیستی مانند شوری، گرما و سرما به همراه تنش‌های زیستی بر رشد و عملکرد گیاهان اثر می‌گذارند (Winfield et al., 2010) و هر ساله منجر به ضررهای زیادی می‌شوند که در این میان شوری خاک مخرب‌تر از دیگر تنش‌ها می‌باشد (Shahbaz and Ashraf, 2013). شوری به عنوان غلظت بیش از حد نمک‌های محلول در خاک تعریف می‌شود. شوری بر مورفولوژی و عملکرد گیاه تأثیر منفی داشته و باعث کاهش زیست توده گیاه می‌شود (Parvaiz, 2014). در همه مناطق آب و هوایی، شور شدن خاک رخ می‌دهد اما به طور عمده در مناطق خشک و نیمه خشک رواج بیشتری دارد. این مشکل ممکن است در اثر فرآیندهای طبیعی مانند هوازدگی سنگ‌ها و یا در اثر فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از آب شور و کودهای معدنی باشد (Yiu et al., 2012). کمبود آب با کیفیت در مناطق خشک و نیمه خشک باعث تشویق کشاورزان برای مصرف آب شور برای آبیاری گیاهان می‌شود (Oron et al., 1999).

فلفل گونه حساس به شوری محسوب می‌شود (Maas and Hoffman, 1977) اما به طور کل فلفل‌ها بسته به نوع رقم و ژنوتیپ نسبت به شوری پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهند (Lycoskoufis et al., 2005; Aktas et al., 2006). کاهش رشد فلفل در اثر تنش شوری می‌تواند ناشی از اختلال در چندین فرآیند فیزیولوژیکی باشد مانند کمبود آب حاصل از افزایش پتانسیل اسمزی، سمیت یون ناشی از غلظت بالای سدیم و کلر، عدم تعادل یونی ناشی از تجمع یون سدیم در بافت گیاه، اختلال در جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و دخالتهای فتوسنتز (del Amor and Cuadra-Crespo, 2012) باشد. با توجه به حساسیت گیاه فلفل به شوری خاک می‌توان از روش‌هایی که گیاه را قادر به تحمل تنش شوری می‌کند استفاده کرد (Ashraf and Foolad, 2008; Ashraf et al., 2007). یکی از انواع این روش‌ها استفاده از موادی است که رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ و در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شیراز (با مختصات طول جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) انجام شد. خاک مورد استفاده در این پژوهش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری منطقه باجگاه شیراز نمونه‌برداری شد و پس از آماده‌سازی خاک ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1979)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتراژ با فروآمونیم سولفات (Nelson and Sommer, 1996)، pH خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی به نسبت ۱ به ۵ با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم (Watanabe and Olsen, 1965)، ظرفیت تبادل خاک به روش جان‌شین با استات سدیم (Sumner and Miller, 1996)، عناصر کم‌مصرف کاتیونی با عصاره‌گیری دی تی پی ای (Lindsay and Norvell, 1978) و قرائت با دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA-670 اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

شن	سیلت	رس	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ماده آلی	فسفر	آهن	مس	روی	منگنز
%			dS/m		%	mg/Kg				
30	34	36	0.13	7.4	1.1	8.8	5.16	1.4	1.88	14.84

شد. در هر نوبت صفر-۰/۶-۱/۲-۱/۸ گرم سدیم کلرید در نیم لیتر آب مقطر حل کرده و به هر گلدان داده شد. اسید هیومیک در دو نوبت، هر نوبت ۰/۵ گرم در کیلوگرم خاک به صورت خاکی اضافه گردید، سیلیسیم نیز به صورت محلول‌پاشی از منبع سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱ درصد اعمال شد، pH اسپری سیلیسیم در حدود ۵ (با اضافه کردن اسید فسفریک یک مولار) تنظیم شد. زمان مصرف

طریق افزایش راندمان فتوسنتز و افزایش مقاومت به آفت و بیماری بهبود می‌بخشد. اثر سیلیسیم در کاهش تنش‌های مختلف در گیاهان گوناگون از جمله خیار (Dragišić, 2007) و برنج (Maksimović et al., 2012) گزارش شده است. شوری منجر به تجمع یون‌های سدیم و کلرید در سیتوزول می‌شود که برای سلول مضر است (Tuteja, 2007). افزایش مقدار سدیم و کلر برهمکنش غیرکووالانسی بین اسیدهای آمینه را مختل می‌کند (Zhu, 2002) و منجر به کاهش غلظت عناصری مانند پتاسیم و کلسیم می‌شود (Wang and Han, 2007). کاربرد سیلیسیم یک رویکرد سازگار با محیط زیست است که نسبت بهینه یون سدیم به یون پتاسیم، تعادل مواد مغذی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را حفظ می‌کند (Almeida et al., 2017). نتایج نشان داد سیلیسیم تحمل به شوری را در گیاهانی مانند ذرت (Rohanipoor et al., 2013)، سورگوم (Yin et al., 2013)، خیار (Zhu et al., 2004) و برنج (Flam-Shepherd et al., 2018) و کلزا (Hashemi et al., 2010) افزایش می‌دهد. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیسیم و کاربرد خاکی اسید هیومیک بر واکنش فیزیولوژیکی لفل دلمه‌ای تحت سطوح مختلف شوری می‌باشد.

این آزمایش در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شوری آب آبیاری در چهار سطح ۰، ۱/۷، ۳/۴ و ۵/۱ (S₃, dSm⁻¹) (S₂, S₁, S₀) و مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی در چهار سطح شاهد، اسید هیومیک، سیلیسیم و کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیسیم بودند. در این تحقیق تیمار شوری از طریق آب آبیاری در ده نوبت به فاصله ۵ روز به گیاه افزوده

دانکن، در سطح معنی داری ۵ درصد و توسط نرم افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

اثر شوری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). با افزودن آب شور، وزن خشک گیاه کاهش یافت. به طوریکه که سطوح S₂ و S₃ به ترتیب سبب کاهش ۲۴ و ۶۹ درصدی وزن خشک اندام هوایی شدند (جدول ۳). افزایش شوری سبب کاهش وزن خشک ریشه گردید اما این کاهش تا سطح S₁ تفاوت معنی دار با شاهد نداشت. این حال، سطوح S₂ و S₃ توانستند به ترتیب سبب کاهش ۴۱ و ۷۷ درصدی وزن خشک ریشه شوند (جدول ۴). افزودن مواد بهبود دهنده سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه شدند اما تنها اسید هیومیک توانست افزایش معنی دار نسبت به شاهد ایجاد کند و باعث افزایش ۵۵ درصدی در وزن خشک اندام هوایی و ریشه شد که احتمالا می‌توان به خاطر نقش اسید هیومیک در بهبود شرایط خاک و جذب عناصر باشد (جدول ۳ و ۴).

سیلیسیم همزمان با مصرف اسید هیومیک یعنی ۵۰ و ۷۰ روز پس از کاشت بذر بود. برای این که تنها اثر اسپری بر گیاه اثر گذارد، سطح خاک با پلاستیک پوشانده شد. هر گلدان با ۳ کیلوگرم خاک پر شده و سپس با توجه به آزمون خاک محلول غذایی تهیه و به خاک اضافه شد. در هر گلدان ۴ عدد بذر لفلل دلمه‌ای رقم کالیفورنیا واندر^۱ کشت شد و یک هفته بعد تعداد گیاهچه‌ها به ۲ عدد کاهش یافت. پس از گذشت ۱۲ هفته گیاه را از محل طوقه قطع و ریشه نیز با دقت از خاک خارج کرده و به خوبی شستشو تا خاک اضافه از آن جدا شود و سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و سپس با آسیاب گیاهان خشک شده را آسیاب کرده و پس از آسیاب نیم گرم از نمونه را وزن و در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر و سپس در اسید کلریدریک دو مولار حل شد و از کاغذ صافی عبور داده و به حجم رسانده تا عصاره گیاه بدست آید. غلظت سدیم از عصاره به وسیله دستگاه فلیم فتومتری و غلظت عناصر کلسیم و منیزیم از عصاره گیاه به وسیله دستگاه جذب اتمی خوانده شد (Isaac and Kerber, 1971). تمام داده‌های به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل واریانس (GLM) قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر اسید هیومیک و سیلیسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه لفلل دلمه‌ای تحت تنش شوری

میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک		ارتفاع بوته	سدیم اندام هوایی	کلسیم		منیزیم	
		ریشه	اندام هوایی			ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
شوری	3	7.96**	1.19**	123**	6.09**	0.041**	1492598**	253079**	6638**
بهبود دهنده رشد	3	0.444 ⁿ _s	0.147 ⁿ _s	19.6 ^{ns}	0.101 ^{ns}	0.002 ^{ns}	625104**	241855**	635 ^{ns}
شوری × بهبود دهنده رشد	9	1.39 ^{ns}	0.079 ⁿ _s	24.2 ^{ns}	0.185 ^{ns}	0.001 ^{ns}	215209 ^{ns}	111244**	2126 ^{ns}
خطا	32	1.06	0.068	19.3	0.222	0.002	112546	10034	1282

ns و ** به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار می‌باشند.

¹ California Wonder

درد (Ferreira-Silva *et al.*, 2008). نتایج تحقیقی نشان داد که با وجود شوری زیاد در محیط ریشه، مقدار آب، در گیاهان را کاهش می‌دهد، به طوری که باعث محدودیت در تقسیم سلولی و کاهش حجم سلول‌های برگ شده و در نتیجه وزن تر اندام هوایی کاهش می‌یابد. Wang *et al.*, (2001). با افزایش سطح شوری فتوسنتز کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش وزن ریشه می‌شود (Munns *et al.*, 2000). شوری سبب اختلالاتی همچون کاهش پتانسیل اسمزی و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی می‌شود که این موارد در رشد ریشه و در نتیجه بر وزن ریشه اثر می‌گذارد (Khan *et al.*, 2009).

همانطور که از نتایج مشخص است شوری خاک باعث کاهش زیست توده گیاه می‌شود. این امر به دلیل مشکلاتی مانند جذب کم آب، عدم توانایی در جذب مواد مغذی و سمیت برخی عناصر رخ می‌دهد سایر محققین نیز به این نتایج دست پیدا کرده اند به عنوان مثال شوری رشد گیاه فلفل را از طریق اثر گذاری بر روی جذب آب و اختلال در فرایندهای بیوشیمیایی محدود می‌کند (Zhu and Gong, 2014). تنش شوری سبب کاهش رشد گیاه از طریق کاهش پتانسیل اسمزی و عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود (Munns and Tester, 2008) رشد گیاهان تحت شرایط شور کاهش پیدا می‌کند، اما مقدار کاهش آن به سطح نمک، شرایط محیطی، نوع گیاهان و مراحل رشد بستگی

جدول ۳- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر وزن خشک اندام هوایی فلفل دلمه‌ای (گرم بر گلدان)

سطوح شوری					
تیمار	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	میانگین
شاهد	1.84 bc	3.14 ab	1.26 bc	0.645 c	1.72 A
اسید هیومیک	2.13 a-c	4.06 a	2.23 a-c	0.840 c	2.31 A
سیلیسیم	2.51 a-c	2.51 a-c	1.77 bc	0.713 c	1.87 A
اسید هیومیک + سیلیسیم	3.02 ab	2.20 a-c	1.91 bc	0.663 c	1.95 A
میانگین	2.37 AB	2.98 A	1.79 BC	0.715 C	

سطوح بهبود دهنده ریشه

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

مورد نیاز برای رشد طبیعی گیاهان است (Cimrin *et al.*, 2010). (Daur and Bakhshwain, 2013) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک در غلظت ۲۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش کیفیت و رشد ذرت علوفه در شرایط مختلف محیطی شد. به طور مشابه، در سایر محصولات زراعی مانند لوبیا (Meganid *et al.*, 2015) و فلفل (Cimrin *et al.*, 2010)، کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود رشد آن‌ها در شرایط تنش شوری گردید.

از میان تیمارهای بهبود دهنده رشد استفاده از ۱ گرم اسید هیومیک در هر کیلوگرم خاک در طول دوره رشد، توانست تا حدی زیست توده گیاه را در شرایط شور افزایش می‌دهد. اسید هیومیک با بهبود جذب آب و مواد مغذی و همچنین کاهش سمیت عناصر، اثرات منفی شوری را تعدیل می‌کند. بنابراین، اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک عامل تعدیل کننده برای کاهش اثرات منفی شوری بر گیاهان و حفظ یا حتی افزایش زیست توده آنها مفید باشد.

در آزمایشی اثرات تنش شوری با محلول پاشی اسید هیومیک کاهش یافت و باعث بهبود رشد گیاه ذرت تحت تنش شوری شد (Kaya *et al.*, 2018). بهبود رشد ناشی از اسید هیومیک به دلیل وجود چندین ماده مغذی ضروری

جدول ۴- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر وزن خشک ریشه لفل دل‌مه‌ای (گرم بر گلدان)

سطوح شوری					
میانگین	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
0.463 B	0.233 d-f	0.303 c-f	0.626 b-f	0.690 a-e	شاهد
0.720 A	0.280 c-f	0.693 a-e	1.136 a	0.773 a-c	اسید هیومیک
0.666 AB	0.196 ef	0.606 b-f	0.753 a-c	1.10 ab	سیلیسیم
0.623 AB	0.133 f	0.543 c-f	0.726 a-d	1.09 ab	اسید هیومیک + سیلیسیم
	0.210 C	0.536 B	0.810 A	0.915 A	میانگین

سطوح بهبود دهنده

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمالاً پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

ارتفاع بوته

هندی کشت داده شده در محیط با شوری متوسط منجر به کاهش طول ساقه و سطح برگ شده است. Bhatt *et al.* (2008). محققان بیان کردند که تنش شوری که نتیجه آن کاهش پتانسیل اسمزی است موجب کاهش جذب آب و کاهش آب سلول می‌شود و از طول شدن سلول‌ها جلوگیری می‌کند، به طوریکه پس از رفع کاهش پتانسیل اسمزی طول شدن و گسترش سلول به کندی صورت می‌گیرد (Mashi *et al.*, 2008). تنش شوری می‌تواند از طریق کاهش در تقسیم سلولی سبب کاهش ارتفاع بوته شود (Soleymani *et al.*, 2008).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر شوری بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال ۱ معنی‌دار بود. نتایج اثر شوری نشان می‌دهد که سطوح S₀، S₁ و S₂ شوری تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته و تنها سطح S₃ شوری با کاهش ۶۵ درصدی نسبت به شاهد معنادار بوده است (جدول ۵). ارتفاع ساقه یک نماد مهم رشد و عملکرد نهایی گیاه می‌باشد که از غلظت بالای نمک در خاک تاثیر منفی می‌پذیرد. کاهش ارتفاع به علت افزایش غلظت نمک می‌تواند به خاطر کاهش حرکت عناصر غذایی از خاک به گیاه باشد (Alam *et al.*, 2020). مامتا گزارش داد که کنار

جدول ۵- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر ارتفاع بوته لفل دل‌مه‌ای (سانتی‌متر)

سطوح شوری					
میانگین	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
16.6 A	10.8 d	15.0 b-d	20.3 a-d	20.6 a-c	شاهد
21.2 A	17.2 b-d	22.1 ab	26.4 a	19.2 a-d	اسید هیومیک
18.3 A	11.9 d	19.5 a-d	22.7 ab	19.0 a-d	سیلیسیم
19.6 A	12.7 cd	21.4 ab	23.1 ab	21.3 ab	اسید هیومیک + سیلیسیم
	13.1 B	19.5 A	23.1 A	20.0 A	میانگین

سطوح بهبود دهنده

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمالاً پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه

جدول ۶). در ریشه نیز غلظت سدیم با افزایش شوری افزایش یافت اما این افزایش نسبت به اندام هوایی کمتر بوده به طوریکه سطوح S₁، S₂ و S₃ شوری به ترتیب سبب افزایش ۱۷۸، ۲۵۶ و ۴۵۳ درصدی غلظت سدیم ریشه نسبت به شاهد شدند (جدول ۷). افزودن تیمارها سبب

اثر شوری بر غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱ معنی‌دار بود (جدول ۲). سطوح S₁، S₂ و S₃ شوری به ترتیب سبب افزایش ۲۵۸، ۵۷۶ و ۷۴۵ درصدی غلظت سدیم اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (

افزایش غلظت سدیم اندام هوایی گیاه شد که این افزایش تنها در تیمار کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیسیم با ۷۶ درصد تغییر نسبت به شاهد معنی‌دار شد (جدول ۶).

جدول ۶- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت سدیم در اندام هوایی فلفل دلمه‌ای (درصد)

میانگین	سطوح شوری				تیمار	سطوح بهبود دهنده
	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀		
0.880 B	2.52 ab	1.62 b-d	1.39 c-e	0.115 f	شاهد	
1.36 AB	2.81 a	2.21 a-c	0.801 d-f	0.200 f	اسید هیومیک	
1.08 AB	2.40 ab	2.24 a-c	0.919 d-f	0.471 ef	سیلیسیم	
1.55 A	2.63 ab	2.24 a-c	1.47 c-e	0.448 ef	اسید هیومیک + سیلیسیم	
	2.69 A	2.15 A	1.14 B	0.318 C	میانگین	

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

2012؛ مطابقت دارد. در گیاه رزماری مشاهده شد که افزایش شوری سبب افزایش تجمع سدیم در گیاه شد (Vojodi et al., 2018). کاربرد سیلیسیم باعث افزایش فعالیت H⁺-ATPase در غشای پلاسمایی و تونوپلاست می‌شود. افزایش فعالیت H⁺-ATPase پس از کاربرد سیلیسیم، خروج یون سدیم را به خارج از سلول تسهیل می‌کند (Liang et al., 2006b).

اما مواد بهبود دهنده نتوانستند اثر معناداری روی غلظت سدیم ریشه نسبت به شاهد ایجاد کنند به نحوی که تیمارهای حاوی اسید هیومیک سبب افزایش غلظت سدیم و تیمار سیلیسیم سبب کاهش غلظت سدیم در گیاه شدند (جدول ۷). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش شوری سبب افزایش جذب سدیم شد که با مطالعات انجام شده توسط (Archangi et al., Mazloomi and Ronaghi, 2012)

جدول ۷- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت سدیم در ریشه فلفل دلمه‌ای (درصد)

میانگین	سطوح شوری				تیمار	سطوح بهبود دهنده
	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀		
0.106 AB	0.150 b-e	0.148 b-e	0.114 c-f	0.057 ef	شاهد	
0.140 A	0.261 a	0.153 b-e	0.116 c-f	0.072 d-f	اسید هیومیک	
0.092 B	0.250 ab	0.101 c-f	0.102 c-f	0.019 f	سیلیسیم	
0.110 AB	0.210 a-c	0.183 a-d	0.123 c-f	0.020 f	اسید هیومیک + سیلیسیم	
	0.227 A	0.146 B	0.114 B	0.041 C	میانگین	

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

سبب افزایش ۱۷۶ درصدی غلظت کلسیم نسبت به شاهد گردید (جدول ۸). افزایش شوری خاک سبب افزایش غلظت کلسیم ریشه نیز شد اما این افزایش تا سطح S₂ نسبت شاهد معنادار نبوده و تنها سطح S₃ با افزایش ۸۱ درصدی توانسته اثر معنی‌داری ایجاد کند (جدول ۹). اسید

غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه

اثر شوری و مواد بهبود دهنده بر غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). انجام آبیاری با آب شوری موجب افزایش غلظت کلسیم اندام هوایی گیاه گردید، به طوری که سطح S₃ شوری

آزمایشی با اعمال تنش شوری، مقدار پتاسیم و کلسیم در برگ، ساقه و ریشه کاهش یافت (Tunçtürk *et al.*, 2011). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که با افزایش شوری غلظت کلسیم افزایش می‌یابد که این نتایج با مطالعات سایر محققین همسویی ندارد. Ashraf *et al.*, (2004; Tunçtürk *et al.*, 2011). اما در این آزمایش باید به این نکته توجه کرد که بیومس گیاه در سطوح بالای شوری تا ۷۰ درصد کاهش یافته است و همین دلیل باعث شده است که اثر غلیظ شدن کلسیم در گیاه رخ دهد.

هیومیک سبب افزایش و سیلیسیم سبب کاهش غلظت کلسیم در اندام هوایی شده‌اند (جدول ۸) و در ریشه همه تیمارها سبب کاهش غلظت کلسیم شده‌اند، به دین صورت که تیمارهای اسید هیومیک، سیلیسیم و کاربرد همزمان اسید هیومیک و سیلیسیم به ترتیب ۲۸/۳۸، ۴۶/۶۷، و ۴۵/۴۴ درصد غلظت کلسیم ریشه نسبت به شاهد را کاهش دادند (جدول ۹).

در بیشتر گیاهان زراعی، شوری باعث کاهش سطح کلسیم می‌شود که منجر به نفوذپذیری غشا و سایر اثرات مضر آن می‌شود (Ashraf *et al.*, 2004). به عنوان مثال در

جدول ۸- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت کلسیم در اندام هوایی فلفل دلمه‌ای (درصد)

میانگین	سطوح شوری				تیمار	سطوح بهبود دهنده
	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀		
3.63 AB	5.89 a	3.64 b-e	3.35 c-g	1.64 d-g	شاهد	
3.70 A	4.00 bc	5.50 ab	3.84 bc	1.50 fg	اسید هیومیک	
2.18 C	2.97 c-g	2.47 c-g	1.72 d-g	1.58 e-g	سیلیسیم	
2.76 BC	3.68 b-d	2.90 c-g	3.43 c-f	1.34 g	اسید هیومیک + سیلیسیم	
	4.17 A	3.63 A	3.09 B	1.5 C	میانگین	

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. تأثیر اسید هیومیک بر جذب کلسیم در تولید هیدروپونیک گوجه فرنگی نشان داد که اسید هیومیک مقدار جذب کلسیم را افزایش داده اما میزان زیادی از اسید هیومیک باعث کاهش جذب کلسیم می‌شود (Türkmen *et al.*, 2004).

جدول ۹- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت کلسیم در ریشه فلفل دلمه‌ای (درصد)

میانگین	سطوح شوری				تیمار	سطوح بهبود دهنده
	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀		
2.06 A	4.04 a	1.39 c	1.52 bc	1.28 c	شاهد	
1.47 B	2.00 b	1.40 c	1.31 c	1.18 c	اسید هیومیک	
1.10 C	1.04 c	0.982 c	1.04 c	1.32 c	سیلیسیم	
1.12 C	1.41 c	1.17 c	1.01 c	0.901 c	اسید هیومیک + سیلیسیم	
	2.12 A	1.24 B	1.22 B	1.17 B	میانگین	

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شوری افزایش یافت بطوری که سطوح S₂ و S₃ شوری به ترتیب سبب افزایش ۲۷ و ۴۵ درصدی غلظت منیزیم اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول ۱۰). افزایش غلظت منیزیم با افزایش شوری در ریشه گیاه نیز مشاهده شد و

غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه

اثر شوری بر غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). نتایج آزمایش نشان داد که غلظت منیزیم اندام هوایی با افزایش

سطوح S₂ و S₃ شوری توانستند غلظت منیزیم ریشه را ۵۹ و ۱۰۱ درصد نسبت شاهد افزایش دهند (جدول ۱۱). هیچ یک از تیمارهای بهبود دهنده نتوانستند اثر معنی داری در غلظت منیزیم نسبت به شاهد در گیاه ایجاد کنند.

جدول ۱۰- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت منیزیم در اندام هوایی فلفل دلمه‌ای (درصد)

سطوح شوری					
میانگین	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
0.290 AB	0.299 b-d	0.345 b-d	0.318 b-d	0.199 cd	شاهد
0.331 A	0.502 a	0.365 a-c	0.249 cd	0.210 cd	اسید هیومیک
0.247 B	0.262 b-d	0.278 b-d	0.207 cd	0.243 cd	سیلیسیم
0.297 AB	0.422 ab	0.343 b-d	0.238 cd	0.185 d	اسید هیومیک + سیلیسیم
	0.371 A	0.333 A	0.253 B	0.209 B	میانگین

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

کاهش می‌یابد اما در ۵ نوع دیگر سبزیجات اثری ندارد (Bernstein et al., 1974). در مطالعه‌ای روند کاهشی منیزیم و کلسیم در شرایط شور گزارش شده است (Singh et al., 2016).

محققان دریافته‌اند که شوری حاصل از سدیم کلرید غلظت منیزیم برگ در مرکبات را کاهش می‌دهد (Ferreira et al., 1997)، با این حال افزایش شوری همیشه با کاهش منیزیم در برگ همراه نیست برنستین و همکاران دریافته‌اند که با افزایش شوری سدیم کلرید غلظت منیزیم در چغندر

جدول ۱۱- اثر سطوح شوری و کاربرد مواد بهبود دهنده شیمیایی و آلی بر غلظت منیزیم در ریشه فلفل دلمه‌ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

سطوح شوری					
میانگین	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	تیمار
0.290 AB	0.299 b-d	0.345 b-d	0.318 b-d	0.199 cd	شاهد
0.331 A	0.502 a	0.365 a-c	0.249 cd	0.210 cd	اسید هیومیک
0.247 B	0.262 b-d	0.278 b-d	0.207 cd	0.243 cd	سیلیسیم
0.297 AB	0.422 ab	0.343 b-d	0.238 cd	0.185 d	اسید هیومیک + سیلیسیم
	0.371 A	0.333 A	0.253 B	0.209 B	میانگین

در هر ردیف یا ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

نتیجه‌گیری

و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در سلول‌های گیاهی است. اسید هیومیک به عنوان یک ماده آلی طبیعی، نقش مهمی در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری دارد. نتایج این تحقیق نیز تأیید می‌کند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، بهبود جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش تحمل گیاه به شوری می‌شود. از مکانیسم‌های احتمالی اثر اسید هیومیک می‌توان

نتایج تحقیق به وضوح نشان می‌دهد که شوری به عنوان یک تنش محیطی مهم، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کاهش ارتفاع بوته و اختلال در جذب عناصر غذایی، همگی مویده این مطلب هستند. این تأثیرات منفی عمدتاً به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی، اختلال در جذب آب و مواد مغذی،

به این موارد اشاره کرد، بهبود شرایط خاک، اسید هیومیک با ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی و مواد آلی، ساختار خاک را بهبود بخشیده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. افزایش جذب عناصر غذایی، اسید هیومیک با تشکیل کمپلکس با عناصر غذایی، از تثبیت آن‌ها در خاک جلوگیری کرده و جذب آن‌ها توسط گیاه را تسهیل می‌کند. تحریک رشد ریشه، اسید هیومیک با تحریک رشد ریشه، باعث افزایش سطح جذب آب و مواد مغذی توسط گیاه می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به گیاه کمک می‌کند تا با تنش‌های اکسیداتیو ناشی از شوری مقابله کند.

افزایش غلظت سدیم در اثر افزایش شوری در گیاه قابل انتظار بود. از آن جایی که ما از نمک سدیم کلرید برای ایجاد شوری استفاده کردیم، غلظت سدیم در خاک بالا رفته و به موجب آن غلظت سدیم در گیاه افزایش یافت. در میان تیمارهای افزوده شده تنها مصرف محلول پاشی سیلیسیم ۱ درصد توانست غلظت سدیم در گیاه را کاهش دهد که

ممکن است به دلیل افزایش فعالیت H^+ -ATPase در غشای پلاسمایی و تونوپلاست باشد زیرا افزایش فعالیت H^+ -ATPase خروج یون سدیم را به خارج از سلول تسهیل می‌کند. در مطالعه حاضر غلظت کلسیم و منیزیم با افزایش شوری افزایش یافت، درحالی که در بسیاری از مطالعات افزایش شوری سبب کاهش غلظت این دو عنصر در گیاه می‌شوند، از مشاهده این پدیده می‌توان به این نتیجه رسید که از آن جایی که وزن خشک گیاه تا بیش از ۷۰ درصد کاهش یافته، اثر غلیظ شدن عناصر در گیاه روی داده است.

تأثیر متقابل شوری و مواد بهبود دهنده نتایج نشان می‌دهد که اثر مواد بهبود دهنده مانند اسید هیومیک و سیلیسیم بر جذب عناصر غذایی متفاوت است و این اثر به نوع ماده بهبود دهنده، دوز مصرفی و شرایط محیطی بستگی دارد. نهایتاً نتیجه‌ای که از این تحقیق بدست آمد می‌تواند توجهی پذیرد مصرف اسید هیومیک در سطوح پایین شوری را نشان دهد. اما مصرف سیلیسیم نتایج قابل توجهی ارائه نکرد که بتوان مصرف آن را توصیه کرد.

References

1. Aktas, H., Abak, K., and Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.017>
2. Alam, M., Khan, M. A., Imtiaz, M., Khan, M. A., Naeem, M., Shah, S. A., ... & Khan, L. (2020). Indole-3-Acetic Acid Rescues Plant Growth and Yield of Salinity Stressed Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Gesunde Pflanzen*, 72(1), 87-95.
3. Almeida, D. M., Oliveira, M. M., and Saibo, N. J. (2017). Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. *Genetics and molecular biology*, 40, 326-345. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0106>
4. Andriessse, J. P. (1988). Nature and management of tropical peat soils (No. 59). *Food and Agriculture Org.*
5. Archangi, A., Khodambashi, M., and Mohammadkhani, A. (2012). The effect of salt stress on morphological characteristics and Na⁺, K⁺ and Ca⁺ ion contents in medicinal plant fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) under hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture-Isfahan University of Technology*, 3(2), 33-41.
6. Ashraf, M. F. M. R., and Foolad, M. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
7. Ashraf, M. Y., Hussain, F., Akhter, J., Gul, A. T. T. I. Y. A., Ross, M., and Ebert, G. E. O. R. G. (2008). Effect of different sources and rates of nitrogen and supra optimal level of potassium fertilization on growth, yield and nutrient uptake by sugarcane grown under saline conditions. *Pak. J. Bot*, 40(4), 1521-1531.
8. Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S. and Rha, E.S. 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant bishop's weed (*Ammi majus* L). *Photosynthetica*, 42: 543-550. <https://doi.org/10.1007/S11099-005-0011-4>
9. Bernstein, L., Francois, L. E., and Clark, R. A. (1974). Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables 1. *Agronomy Journal*, 66(3), 412-421. <https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600030023x>
10. Bhatt, M. J., Patel, A. D., Bhatti, P. M., & Pandey, A. N. (2008). Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16(1), 383-401.
11. Böhme, M., and Lua, H. (1996, September). Influence of mineral and organic treatments in the rhizosphere on the growth of tomato plants. *In International Symposium Growing Media and Plant Nutrition in Horticulture 450* (pp. 161-168). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.450.18>
12. Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., and Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
13. Çimrin, K. M., Türkmen, Ö., Turan, M., and Tuncer, B. (2010). Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*, 9(36).
14. Daur, I., and Bakhshwain, A. A. (2013). Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pak. J. Bot*, 45(S1), 21-25.
15. de Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A., and Ruiz, H. A. (2005). Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 54(1), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.06.004>

16. del Amor, F. M., and Cuadra-Crespo, P. (2012). Plant growth-promoting bacteria as a tool to improve salinity tolerance in sweet pepper. *Functional Plant Biology*, 39(1), 82-90. <https://doi.org/10.1071/FP11173>
17. Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., and Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for sustainable Development*, 25(2), 183-191. <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
18. Dragišić Maksimović, J., Bogdanović, J., Maksimović, V., and Nikolic, M. (2007). Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(6), 739-744. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700101>
19. Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual review of plant biology*, 50(1), 641-664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>
20. Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J. A., Voigt, E. L., Soares, L. S., and Viégas, R. A. (2008). Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 51-59.
21. Ferreyra, R. E., Aljaro, A. U., Ruiz, R. S., Rojas, L. P., and Oster, J. D. (1997). Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentrations. *Agricultural Water Management*, 34(2), 111-124. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(97\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(97)00014-0)
22. Flam-Shepherd, R., Huynh, W. Q., Coskun, D., Hamam, A. M., Britto, D. T., and Kronzucker, H. J. (2018). Membrane fluxes, bypass flows, and sodium stress in rice: the influence of silicon. *Journal of Experimental Botany*, 69(7), 1679-1692. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx460>
23. Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1979). Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 43(5), 1004-1007. <https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050038x>
24. Gu, H. H., Zhan, S. S., Wang, S. Z., Tang, Y. T., Chaney, R. L., Fang, X. H., ... and Qiu, R. L. (2012). Silicon-mediated amelioration of zinc toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant and soil*, 350(1-2), 193-204. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0894-8>
25. Hashemi, A., Abdolzadeh, A., and Sadeghipour, H. R. (2010). Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(2), 244-253. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x>
26. Isaac, R. A., and Kerber, J. D. (1971). Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*, 17-37. <https://doi.org/10.2136/1971.instrumentalmethods.c2>
27. Kaya, C., Akram, N. A., Ashraf, M., and Sonmez, O. (2018). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. *Cereal Research Communications*, 46(1), 67-78. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064>
28. Khan, M. A., von Witzke-Ehbrecht, S., Maass, B. L., and Becker, H. C. (2009). Relationships among different geographical groups, agro-morphology, fatty acid composition and RAPD marker diversity in safflower (*Carthamus tinctorius*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(1), 19-30. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9338-6>
29. Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., Liu, Y., and Ding, R. (2006). Effect of exogenous silicon (Si) on H⁺-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental*

- and *Experimental Botany*, 57(3), 212-219.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.05.012>
30. Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
 31. Lycoskoufis, I. H., Savvas, D., and Mavrogianopoulos, G. (2005). Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae*, 106(2), 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.02.022>
 32. Maas, E. V., and Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2), 115-134. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137>
 33. Mashi, A., GALESHI, S., ZEYNALI, E., & NOURINIA, A. (2008). SALINITY EFFECT ON SEED YIELD AND YIELD COMPONENTS IN FOUR HULL-LESS BARLEY.
 34. Mazloomi, F., and Ronaghi, A. (2012). Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture-Isfahan University of Technology*, 3(1), 85-96. (inPersian)
 35. Meganid, A. S., Al-Zahrani, H. S., and El-Metwally, M. S. (2015). Effect of humic acid application on growth and chlorophyll contents of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress conditions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2651-2660. <http://dx.doi.org/10.15680/IJRSET.2015.0405001>
 36. Munns, R., and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
 37. Munns, R., Guo, J., Passioura, J. B., and Cramer, G. R. (2000). Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Functional Plant Biology*, 27(10), 949-957. <http://dx.doi.org/10.1071/PP99193>
 38. Nelson, D. W. Sommer. LE 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. *Soil Science of America and American Society of Argonomy, SSSA, Page, 961*. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
 39. Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I., and Rao, V. P. (1999). Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 39(1), 19-33. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00088-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00088-2)
 40. Paksoy, M., Türkmen, Ö., and Dursun, A. (2010). Effects of potassium and humic acid on emergence, growth and nutrient contents of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedling under saline soil conditions. *African Journal of Biotechnology*, 9(33).
 41. Parvaiz, M. (2014). Response of Maize to salt stress a critical review. *International Journal of Healthcare Sciences (IJHS)*, 1(1), 13-25.
 42. Rohanipoor, A., Norouzi, M., Moezzi, A., and Hassibi, P. (2013). Effect of silicon on some physiological properties of maize (*Zea mays*) under salt stress. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 7(20).
 43. Shahbaz, M., and Ashraf, M. (2013). Improving salinity tolerance in cereals. *Critical reviews in plant sciences*, 32(4), 237-249. <https://doi.org/10.1080/07352689.2013.758544>
 44. Singh, A., Sharma, P.C., Meena, M.D., Kumar, A., Mishra, A.K., Kumar, P., Chaudhari, S.K and Sharma, D.K. 2016. Effect of salinity on gas exchange parameters and ionic relations in bael, *Aegle marmelos* <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2016.00017.7>

45. SOLEYMANI, M. R., KAFI, M., ZIAEI, M., & SHABAHANG, J. (2008). EFFECT OF LIMITED IRRIGATION WITH SALINE WATER ON FORAGE OF TWO LOCAL POPULATIONS OF KOCHIA SCOPARIA L. SCHRAD.
46. Song, A., Li, P., Li, Z., Fan, F., Nikolic, M., and Liang, Y. (2011). The alleviation of zinc toxicity by silicon is related to zinc transport and antioxidative reactions in rice. *Plant and Soil*, 344(1-2), 319-333. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0749-3>
47. Sumner, M. E., and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 1201-1229. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c40>
48. Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5, 475-490. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16>
49. Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Yildirim, B., and Çiftçi, V. (2011). Effect of salinity stress on plant fresh weight and nutrient composition of some Canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 10(10), 1827-1832. <https://doi.org/10.4314/AJB.V10I10>
50. Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., and Erdinç, Ç. (2004). Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 54(3), 168-174. <https://doi.org/10.1080/09064710310022014>
51. Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in enzymology*, 428, 419-438. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(07\)28024-3](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(07)28024-3)
52. Vojodi, M. L., Hassanpour, A. M., and Valizadeh, K. R. (2018). Effect of NaCl Salinity and ZnSO₄ Foliar Application on Yield and Some Physiological Traits of *Tagetes erecta* L. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31067.1825>
53. Wang, D., Shannon, M. C., and Grieve, C. M. (2001). Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. *Field Crops Research*, 69(3), 267-277. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00154-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00154-4)
54. Wang, X. S., and Han, J. G. (2007). Effects of NaCl and silicon onion distribution in the roots, shoots and leaves of two alfalfa cultivars with different salt tolerance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(3), 278-285. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00135.x>
55. Watanabe, F. S., and Olsen, S. R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), 677-678. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x>
56. Winfield, M. O., Lu, C., Wilson, I. D., Coghill, J. A., and Edwards, K. J. (2010). Plant responses to cold: transcriptome analysis of wheat. *Plant Biotechnology Journal*, 8(7), 749-771. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2010.00536.x>
57. Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K., and Oka, M. (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta physiologiae plantarum*, 35(11), 3099-3107. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-013-1343-5>
58. Yiu, J. C., Tseng, M. J., Liu, C. W., and Kuo, C. T. (2012). Modulation of NaCl stress in *Capsicum annuum* L. seedlings by catechin. *Scientia horticulturae*, 134, 200-209.
59. Zandonadi, D. B., Canellas, L. P., and Façanha, A. R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225(6), 1583-1595. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2>

60. Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology*, 53, 247. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>
61. Zhu, Y., and Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 455-472. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0194-1>
62. Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., and Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3), 527-533. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.020>

Effects of Silicon and Humic Acid on Some Physiological Responses in Bell Pepper at Different Salinity Levels

M.K. Dehghani^{1*}, R. Ghasemi², S. Safarzadeh³ and M. Etemadi⁴

1. PhD candidate, Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: mk.dehghani@hafez.shirazu.ac.ir

2. Professor, Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: ghasemif@shirazu.ac.ir

3. Assistant Professor, Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: safarzadeh@shirazu.ac.ir

4. Assistant Professor, Department of Horticulture Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: m.etemadi@shirazu.ac.ir

« Research Article »

Received: November 18, 2023 and Accepted: September 9, 2024

Abstract

Salinity stress is one of the most critical causes restricting plant growth and development in arid and semi-arid regions. It is possible to use strategies to prevent plant yield loss in these areas. One of these strategies is the use of growth stimulants. The purpose of this study was to look into the influence of humic acid and silicon consumption on bell pepper growth under different salinity levels. This experiment was carried out in the research greenhouse of the School of Agriculture, Shiraz University, in 2019. Salinity treatment as saline water had conductivities of 0, 1.7, 3.4 and 5.1 dS.m⁻¹ and were added to the plants during the growth, while humic acid, silicon, and the simultaneous application of these two were applied to reduce the effects of salinity. Humic acid was added twice, each time 0.5 grams per kilogram of soil, and silicon was applied as a foliar spray from a source of potassium silicate with a concentration of 1%. According to the results, level 5.1 dS.m⁻¹ of salinity decreased 63% of shoot dry weight, compared to the control. Among the stimulant growth treatments, only humic acid showed a significant effect on increased plant biomass and caused 55% increase in the dry weight of shoots and roots. Salinity significantly increased the concentration of sodium, calcium, and magnesium in the plant, resulting in 750% sodium, 176% calcium, and 101% higher magnesium for 5.1 dS.m⁻¹ level of salinity compared to the control. The findings of the treatments revealed that each treatment generated changes in several plant features, for example, the simultaneous application of humic acid and silicon caused 76% increase in sodium concentration in the plant, and humic acid treatments caused 28% decrease in root calcium concentration. According to the results of this research, humic acid improved more than silicon treatment, and the simultaneous application of humic acid and silicon could reduce the effects of salinity.

Keywords: Growth stimulants, Organic matter, Salinity stress, Water salinity

* Corresponding author's email: mk.dehghani@hafez.shirazu.ac.ir