نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۷ شماره ۴صفحه‌های ۱۵۹ تا ۱۷۱/ سال ۱۳۹۶

تأثیر قارچ *Trichoderma virens* و سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های گندم در شرایط شور

مسلم طهماسبی‌شامنصوری[۱]، نعیمه عنایتی‌ضمیر[۲*]، افراسیاب راهنما قهفرخی [۳]، مصطفی چرم[۴]

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۱۹

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳-دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n.enayatzamir@scu.ac.ir

چکیده

تنش شوری یکی از عوامل محدود کننده تولیدات کشاورزی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان است. بهره‌گیری از ریزجاندارانی همچون *تریکودرما* و کاربرد سیلیسیم از راه‌کارهای مورد استفاده در کاهش اثر تنش‌های محیطی مانند شوری است. برای بررسی اثرهای تلقیح قارچ *تریکودرما ویرنس* و کاربرد سیلیسیم بر رشد و برخی ویژگی-های گیاه گندم تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح قارچ (با و بدون مایه‌زنی)، دو سطح سیلیسیم (۰ و ۱/۵ میلی‌مولار) از منبع سیلیکات سدیم و سه سطح نمک (۰، ۱۸ و ۳۱ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک از کلرید سدیم، کلسیم و منیزیم با نسبت ترکیبی۱:۲:۳، به ترتیب معادل شوری در عصاره اشباع خاک ۳/۴-۳/۲، ۷/۲-۶/۹ و ۹/۹-۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج نشان‌دهنده تأثیر منفی شوری بر رشد گندم بود. سطوح ۱۸ و ۳۱ میلی‌اکی‌والان نمک در کیلوگرم خاک به‌طور معنادار در سطح احتمال یک درصد سبب کاهش ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، شاخص برداشت و سایر خصوصیات اندازه-گیری شده گردید. اثرمتقابل شوری، قارچ و سیلیسیم بر شاخص کلروفیل، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنادار ($p<0.05$) بود. عملکرد بیولوژیکی کاهش ۱۱ درصدی در سطح شوری E3 نسبت به سطح شوری E1 نشان داد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در سطح شوری E1 و در حضور قارچ و سیلیسیم و کمترین آن در سطح شوری E3 و بدون حضور قارچ و سیلیسیم مشاهده شد. تنش شوری باعث کاهش ۵۹ درصدی عملکرد دانه شد. اثر متقابل سیلیسیم، قارچ و شوری بر عملکرد دانه معنادار نبود اما باعث افزایش عملکرد دانه (۱۷/۶درصد) در سطح شوری E3 شد. کاربرد توأم قارچ و سیلیسیم در سطح شوریE۳ موجب افزایش ۱۶درصدی شاخص برداشت نسبت به همین سطح شوری بدون حضور قارچ و سیلیسیم گردید. برپایه این نتایج افزودن سیلیسیم و مایه‌زنی خاک با این قارچ می‌تواند با تعدیل اثر شوری، در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه در شرایط شور مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، شاخص برداشت، شوری، عملکرد دانه، گندم

Effect of *Trichoderma virens* and Silicon Application on Some Properties of Wheat under Saline Condition

M Tahmasebi Sha-mansoure [1], N Enayatizamir [2], A Rahnama-Ghahfarokhi [3], M Chorom [4]

Received: 19 September 2015 Accepted: 08 April 2017

1-M.Sc. Graduate, Dept., of Soil Sci., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2-Assoc. Prof., Dept., of Soil Sci., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3-Assoc. Prof., Dept., of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
4- Prof., Dept., of Soil Sci., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract

Salinity stress is recognized as an important constraint that limits agricultural production especially in arid and semi-arid regions around the world. Application of microorganisms such as *Trichoderma* isolates and silicon is an effective and easily adaptive strategy to reduce the environmental stresses like salinity. In order to evaluate silicon effect and *Trichoderma virens* inoculation on growth and some properties of wheat grown under saline condition a factorial experiment with complete randomized design was arranged. The factors included two levels of fungus (with and without inoculation), two levels of Si (0 and 1.5 mM), as Na_2SiO_3, and three levels of salt (0, 18 and 31 Meq kg^{-1} salt supplied as NaCl, $CaCl_2$ and $MgCl_2$ with 3:2:1 proportion, equivalent to soil saturated electrical conductivity (ECe) amounts of (3.2-3.4), (6.9-7.2) and (9.5-9.9) dS m^{-1}, respectively). The results showed a negative effect of salt stress on wheat growth. Both 18 and 31 Meq kg^{-1} of the added salts caused significant reductions ($p<0.01$) on plant height, chlorophyll content, grain number, grain yield, harvest index and other measured properties. Salinity, fungus and silicon interaction effects on chlorophyll content, grain number, grain weight, harvest index and biological yield were significant ($p<0.05$). Biological yield was decreased 11% at the third level of salinity (E3) as compared with the first level of salinity (E1). The most biological yield was obtained at the first level of salinity (E1) in the presence of fungus and silicon and the least one was obtained at the third level of salinity (E3) with no fungus and silicon application. Salinity stress caused 59 percent reduction in grain yield. Salinity, fungus and silicon interaction effects were not significant on grain yield but caused increment in grain yield (17.6%) at the third level of salinity (E3). Application of fungus and silicon together caused 16 percent increment in harvest index at the third level of salinity (E3) as compared with the case of no fungus and silicon application at the same salinity level. Based on these results the addition of silicon and inoculation of soil with this fungus could improve the yield and quality of wheat by adjusting the soil salinity effect.

Keywords: Grain yield, Harvest index, Height, Salinity, Wheat

مقدمه

امروزه بر اثر تغییر اقلیم و کاهش میزان بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مشکلات ناشی از کمبود آب و شوری بر تولید گیاهان زراعی نمود بیشتری یافته است. شوری خاک مناطق کشاورزی یک مشکل جهانی است. برآورد گردیده است که ۱۰ درصد زمین‌های کشاورزی و بیش از ۲۷ درصد زمین‌های تحت آبیاری به‌طور مستقیم تحت تأثیر شوری هستند، همچنین بیش از یک سوم زمین‌های تحت آبیاری در

معرض شوری ثانویه قرار دارند (قدیر ۲۰۰۰). به‌دلیل قرار گرفتن ایران در منطقه آب و هوایی خشک و نیمه خشک، نزدیک به ۵۰ درصد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، به درجات مختلف با مشکل شوری و قلیایی مواجه می‌باشد (حاجی‌نیا و همکاران ۱۳۹۰). تأثیر محیط-های شور بر گیاهان شامل کاهش پتانسیل آب ناشی از وجود نمک‌ها در محیط ریشه، اثر سمیت یون‌ها به‌ویژه یون‌های سدیم و کلرید و عدم تعادل یونی بین یون‌های سدیم، کلرید، پتاسیم، نیترات و فسفات می‌باشد (راوات ۲۰۱۱). در شرایط شور قابلیت جذب عناصر غذایی در محلول خاک به‌دلیل غلظت زیاد یون‌های کلرید و سدیم کاهش یافته و منجر به اختلال در امر تغذیه گیاهان می-گردد (قدیر ۲۰۰۰). با توجه به گسترش روز افزون مساحت خاک‌های شور، ضرورت دستیابی به راه‌حل-های علمی برای افزایش بازده محصول در شرایط شور، بیشتر احساس می‌شود. یکی از راه‌حل‌های اساسی برای این مشکل، استفاده از پتانسیل‌های مفید همزیست‌های گیاهی است. استفاده از ریزجانداران، باکتری‌های افزاینده رشد گیاهی و قارچ‌ها، در جهت افزایش تحمل به شوری در گیاهان زراعی و باغی به یک راه‌کار توسعه یافته تبدیل گردیده است (زارئا ۲۰۱۰). تلقیح با باکتری-های افزاینده رشد گیاهی و قارچ‌های میکوریز موجب افزایش جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه‌ها و افزایش عملکرد در غلات و سایر گیاهان گردیده است (زهیر و همکاران ۲۰۰۳). قارچ‌ها نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان تحت شرایط شور دارند. وجود *تریکودرما* در خاک‌های شور و ایجاد همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان در این شرایط نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از این قارچ‌ها در برابر تنش شوری مقاوم بوده و در همزیستی با گیاهان، از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل آنها را در برابر شوری افزایش می‌دهند (مستوری و همکاران ۲۰۱۰). یزدانی و همکاران (۲۰۰۸) افزایش رشد و نمو گیاه سویا را در نتیجه تلقیح *تریکودرما* به محیط رشد گیاه گزارش نمودند. *تریکودرما* از انواع قارچ‌های آزادزی معمول در خاک و ریزوسفر گیاه است. گونه‌های مختلف *تریکودرما* با استفاده از راه‌کارهایی سبب افزایش رشد گیاهان می-شود که از آن جمله می‌توان به تولید آنتی‌بیوتیک (آننجا و همکاران ۲۰۰۵)، دفع سموم و رقابت با ریزجانداران مضر برای گیاهان و افزایش جذب عناصر غذایی به‌دلیل افزایش حلالیت عناصر، ترشح هورمون‌های رشد و تولید اتیلن اشاره نمود (ولازکوز و همکاران ۲۰۱۱، کونترراز-کورنجو ۲۰۱۳، بورتمن و همکاران ۲۰۱۳). برهم‌کنش *تریکودرما* با ریشه گیاهان منجر به نتایج متعددی همچون؛ ارتقاء مقاومت گیاه به تنش‌های زنده (مقاومت القائی سیستمیک) و عوامل غیر زنده (رطوبت، نمک زیاد و درجه حرارت‌های بالا)، افزایش راندمان استفاده از نیتروژن و افزایش درصد و نسبت جوانه‌زنی بذور می‌شوند (شورش و همکاران ۲۰۱۰). سیلیسیم بعد از اکسیژن دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین است که مقدار آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ میلی مول بر مترمکعب می باشد، ولی به عنوان عنصر اساسی برای گیاهان محسوب نگردیده و نقش آن در بیولوژی گیاهان به طور کامل درک نشده است. سیلیسیم به فرم‌های مختلف از جمله اسید مونوسیلیسیک وجود دارد و جذب آن مستقیماً به این فرم می‌باشد (چن و همکاران ۲۰۱۰) . سیلیسیم یک عنصر غیرمتحرک در گیاهان بوده که بعد از رسوب در سلول گیاه با از دست دادن آب، اسید مونوسیلیسیک غلیظ شده و به فرم ژل سیلیسیم تبدیل و باعث استحکام گیاه می‌شود. گیاهانی مانند خانواده غلات و سیپراسه می‌توانند مقادیر زیادی سیلیسیم در خود انباشته کنند، و کاربرد سیلیسیم در این گیاهان متضمن رشد بهتر آنها می‌باشد (اپستین ۱۹۹۹، لیانگ و همکاران ۲۰۰۷). در آزمایشی بر روی گیاه ذرت مشخص شد تحت شرایط تنش، وزن خشک و میزان فتوسنتز ذرت کاهش می‌یابد و کاربرد سیلیسیم در این شرایط منجر به افزایش پارامترهای فیزیولوژیکی شده، رشد گیاه را بهبود و مقدار تولید را افزایش می‌دهد (کایا و همکاران ۲۰۰۶). مشاهده شده است که تحت تنش شوری، سیلیسیم به طور معناداری موجب افزایش رشد رویشی، افزایش تولید ماده خشک و افزایش وزن خشک و تر خیار شده است (زو و همکاران ۲۰۰۴). گندم گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری، با حد آستانهٔ شوری برابر ۶ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد برابر ۷/۱ درصد می‌باشد (تامام و همکاران ۲۰۰۸). تنش شوری

باعث کاهش سطح برگ، کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (پوستینی و سیوسه‌مرده ۲۰۰۴). از آنجایی که استان خوزستان یکی از قطب‌های مهم تولید کننده گندم در کشور بوده و دارای شرایط خاص آب و هوایی می‌باشد به همین منظور شرایط مساعدی را برای وقوع تنش‌های مخرب محیطی به ویژه شوری و خشکی فراهم می‌کند. به همین منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سیلیسیم و قارچ *تریکودرما ویرنس* جهت تعدیل اثرات تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سیلیسیم و قارچ *تریکودرما ویرنس* بر رشد گیاه گندم در شرایط تنش شوری آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل افزودن سه سطح نمک [(E1) ۰، (E2) ۱۸ و(E3) ۳۱ میلی‌اکی والان نمک در کیلوگرم خاک از کلرید سدیم، کلسیم و منیزیم با نسبت ترکیبی ۱:۲:۳] و سیلیسیم از منبع سیلیکات سدیم در دو سطح (S1) ۱/۵ و(S2) صفر میلی‌مولار و قارچ *تریکودرما ویرنس* در دو سطح (F1) مایه‌زنی با قارچ و (F2) بدون مایه‌زنی بودند. خاک مورد استفاده در آزمایش که از مزارع تحقیقاتی اطراف دانشگاه شهید چمران اهواز جمع‌آوری شده بود، پس از هواخشک شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و برخی ویژگی‌های آن (جدول ۱) شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (کلوت ۱۹۸۶)، هدایت الکتریکی و pH در عصاره ا شباع خاک، مواد آلی به روش والکی و بلک، فسفر قابل دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کجلدال تعیین گرد ید ند (گوپتا ۲۰۰۴). واحدهای آزمایش شامل گلدان‌های به قطر ۲۳ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و گنجایش ۴ کیلو گرم خاک بود (برای هر سطح شوری گلدان تخریبی برای کنترل سطوح شوری در نظر گرفته شد).

جدول۱- برخی خصوصیات اولیه خاک مورد مطالعه.

بافت خاک	رطوبت اشباع (%)	pH	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفرقابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)
لومی- رسی	۳۹/۹	۷/۸	۳/۲	۰/۵۲	۰/۰۳۹	۱۲	۲۶۰

قارچ مورد استفاده *تریکودرما ویرنس*[1]، از گروه گیاهپز شکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز بصورت کشت شده در پلیت حاوی محیط کشت PDA (عصاره سیب زمینی) تهیه گردید. قارچ مذکور مقاوم به شوری و دارای EEC50[2] معادل ۶۷/۵۹ بود (نصرآبادی و همکاران ۱۳۹۵). برای تکثیر قارچ از کشت تازه آن در پلیت حاوی محیط کشت PDA (عصاره سیب‌زمینی) به ظروف شیشه‌ای حاوی گندم استریل شده منتقل گردید (کاول کانت و همکاران ۲۰۰۸ با کمی تغییر)، بعد از تکثیر جهت اعمال تیمار قارچ به هر واحد آزمایشی ۵۰گرم از گندم‌های آلوده به قارچ (به تعداد $۱۰^۶$ اسپور در هر گرم خاک) به خاک هر گلدان افزوده و کاملا با آن مخلوط شد. در این آزمایش از گندم رقم چمران استفاده شد. به منظور ضدعفونی کردن بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی، بذرها به مدت ۱۰دقیقه درمحلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس توسط آب مقطر استریل شستشو داده شدند (احمد و حداد ۲۰۱۱). پس ازآماده سازی گلدان‌ها واعمال تیمارهای سیلیسیم و قارچ، در ۱۵ آذر سال زراعی ۱۳۹۳به تعداد ۱۰ بذر ضد عفونی شده در هر گلدان کا شته شدند که در مرحله ۴-۳ برگی تنها ۵ بوته در گلدان نگهداری شد. برای تامین عناصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه، کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه گندم انجام شد، که به

[1] Trichoderma virens

[2] Effective EC for 50% growth reduction

ترتیب از منابع کود اوره (۲۰۰کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۱۰۰کیلوگرم در هکتار) استفاده گردید (بهرامپور و اخوان ۱۳۹۴). جهت جلوگیری از شسته شدن نمک‌ها آبیاری بدون ایجاد زه‌آب انجام شد و رطوبت خاک گلدان ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. برای اعمال شوری از محلول حاوی نمک‌های سدیم کلرید، کلسیم کلرید ومنیزیم کلرید با نسبت ۱:۲:۳ استفاده شد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۳). برای جلوگیری از شوک اسمزی ناشی از شوری، مقادیر نمک در هر یک از تیمارها در مرحله چهاربرگی گیاه به تدریج و به مدت یک هفته به آب آبیاری اضافه شد تا در نهایت به سطح شوری مورد نظر برسد. به منظور کنترل سطوح شوری در طول آزمایش از گلدان های تخریبی (فاقد گیاه) استفاده گردید. دامنه اندازه‌گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمارهای شوری E1، E2 و E3 در طول فصل رشد گیاه به ترتیب برابر با ۳/۴-۳/۲ ، ۷/۲-۶/۹ و ۹/۹-۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. برداشت گیاهان بعد از خوشه‌دهی و پرشدن دانه انجام شد. طی دوره آزمایش شاخص هایی مانند ارتفاع گیاه، طول پدانکل و طول سنبله با خط‌کش، کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502 و وزن سنبله با ترازو اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک، اندام هوایی گندم از سطح خاک جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رسیدگی دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت با استفاده از معادلات۱،۲و۳ محاسبه شد.

[۱] عملکرد بیولوژیک(گرم در گلدان) =میانگین وزن پنج بوته (گرم) در هر تکرار

[۲] عملکرد دانه(گرم در گلدان)= میانگین وزن دانه‌های پنج بوته (گرم) در هر تکرار

$$[۳]\ \text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیولوژیک}}$$

در پایان پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل آن‌ها به کمک نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن درسطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج وبحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۲)، اثر شوری بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنادار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول۳) ارتفاع گیاه با افزایش سطوح شوری کاهش یافت به‌طوری که با افزایش سطح شوری از E1 به E3 کاهشی معادل ۱۷/۵ درصد مشاهد شد. شوری با کاهش تقسیم و طویل شدن سلولی سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. حسین و همکاران (۲۰۰۴) با اعمال تنش شوری بر روی ارقام نیشکر، شاهد کاهش چشم‌گیر میزان رشد در ارقام مورد مطالعه بودند و شوری را عامل موثری در کاهش ارتفاع گیاه معرفی کردند. صدمه اسمزی، سمیت یون‌ها و تغییر در تعادل عناصر غذایی در دسترس از جمله عوامل دخیل در کاهش ارتفاع گیاه در شرایط شور هستند. هرچند اثر متقابل سیلسیم و شوری و اثر قارچ و شوری بر ارتفاع گیاه معنادار نشد اما کاربرد هر کدام از تیمارها سبب افزایش ارتفاع گیاه شدند که در این بین میزان افزایش در تیمار قارچی بیشتر بود. بهبود رشد گیاه آرابیدوبسیز در شرایط تنش شوری توسط *تریکودرما* گزارش شده است (کونترراز-کورنجو ۲۰۱۳). راوات و همکاران (۲۰۱۱) افزایش رشد گندم را در نتیجه تلقیح بذور گندم قبل از کشت با *تریکودرما هارزیانوم* را در محیط شور(۶dS/m EC) گزارش کردند. ایشان افزایش ارتفاع گیاه مایه‌زنی شده با *تریکودرما* را در نتیجه کم شدن تجمع سدیم در گیاه گزارش کردند. کاوال کانت و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند سرعت خروج گیاهچه از خاک و ارتفاع گیاه گندم به واسطه مایه‌زنی با *تریکودرما* نسبت به شاهد افزایش یافته است. سیلیسیم رشد طولی سلول را با توسعه دیواره سلولی در ناحیه رشد افزایش می‌دهد و در شرایط تنش باعث استحکام دیواره سلولی می‌شود و رشد طولی ریشه را افزایش می‌دهد. نکته قابل ذکر است

این ا ست که بیشتر تأثیراتی که سیلیسیم تحت شرایط تنش در جهت افزایش ر شد و عملکرد گیاهی می‌گذارد با رسوب در اندام‌های مختلف گیاه و افزایش فعالیت برخی آنزیم ها حادث می‌شود (داتنوف و همکاران[1] ۲۰۰۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد افزایش سطح شوری از E1 به E3 باعث۳۸/۹درصد کاهش در میزان کلروفیل شده است (جدول۳). تنش شوری مقدار کلروفیل گیاه را با تحریک فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل به نام کلروفیلاز (رائو و رائو ۱۹۸۱) و تخریب ساختار کلروپلاست و ناپایداری رنگدانه‌ها (سینگ و دوبای ۱۹۹۵) افزایش می‌دهد. کاربرد سیلیسیم و قارچ باعث افزایش معنادار شاخص کلروفیل در سطوح مختلف شوری شد. کاربرد توام قارچ و سیلیسیم در سطح شوریE3 موجب افزایش ۲۱در صدی شاخص کلروفیل در این سطح شوری بدون حضور قارچ و سیلیسیم گردید. تأثیر قارچ در این افزایش بیشتر از سیلیسیم بود به‌طوری‌که در همین سطح شوری، کاربرد سیلیسیم در شرایط بدون حضور قارچ ۱۲درصد و کاربرد قارچ بدون حضور سیلیسیم ۱۶در صد شاخص کلروفیل را افزایش داد ند (جدول۳). کونتررز-کورنجو و همکاران (۲۰۱۱) اثر منفی شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) را بر کاهش ۳۵ درصدی کلروفیل گیاه آرابیدوبسیز و افزایش ۱۵ درصدی آن را در گیاهان تلقیح شده با *تریکودرما ویرنس* و *تریکودرما آتروویریده* را گزارش کردند. اثرات مثبت کاربرد سیلیسیم (۰/۵ میلی‌مولار) در افزایش کلروفیل گیاه گندم کشت شده در شوری ۱۰۰ میلی‌مولاری ناشی از کلرید سدیم نشان داده شده است (تونا و همکاران ۲۰۰۸). سیلیسیم در گندم باعث القا مقاو مت گیاه از طریق کاهش نفوذ پذیری غشای سلولی نسبت به سدیم و افزایش غلظت کلسیم و پتاسیم در گیاه می‌شود (تونا و همکاران ۲۰۰۸). همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و افزایش سطح کلروفیل و کارایی فتوسنتز می‌گردد (زو و همکاران ۲۰۰۴، ال-اقابری و همکاران ۲۰۰۴ و لیانگ ۱۹۹۸). با توجه به نتا یج (جدول۳) طول پدا نکل تحت تاثیرشوری۵۵/۴ درصد کاهش یافت. اختر و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند در نتیجه تنش شوری (۱۰دسی‌زیمنس بر متر مربع) طول پدانکل گندم در مقایسه با تیمار شاهد کاهش پیدا کرده است. مقایسه میانگین اثرهای اصلی تیمارهای قارچ و سیلیسیم نشان داد که هر دو تیمار کاربردی سبب افزایش معنادار طول پدانکل نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول۳). در پژوهشی جیریایی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند کاربرد قارچ میکوریز و باکتری *آزوسپریلیوم* باعث افزایش طول پدانکل گیاه گندم می‌شود. سطوح مختلف شوری تأثیر معناداری بر طول سنبله نشان دادند (جدول۳). کاهش طول سنبله، تعداد سنبلچه و تعداد پنجه در گندم نان در اثر تنش شوری گزارش شده است (گودرزی و همکاران ۲۰۰۸).

جدول۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفا ع گیاه	کلروفیل	طول پدانکل	طول سنبله	وزن سنبله	تعداد دانه در سنبله	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
شوری(E)	۲	۳۱۱/۰۸**	۱۳۳۷/۵**	۱۰۶/۰۳**	۱۸/۱۳**	۰/۶۳۲**	۳۲۵/۵۲**	۰/۴۳۴**	۲/۰۶۹**	۰/۱۴۸۱**
سیلیسیم (S)	۱	۱۸/۷۷^{ns}	۱۰۲/۳۸*	۳/۶۸*	۰/۴۴۲**	۰/۲۱۲**	۷/۱**	۰/۰۲۷۸**	۰/۰۳۵۲**	۰/۰۰۱۶**
قارچ(F)	۱	۵۸/۷۷*	۲۷۴/۵**	۱۵/۳۷**	۰/۱۷۷**	۰/۱۵**	۴۴/۴**	۰/۰۳۳۶**	۰/۱۱۸۸**	۰/۰۰۷۵**
شوری×سیلیس	۲	۱/۳۶^{ns}	۴/۲۹^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۳۵*	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۷ *	۰/۰۰۵۱**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}
شوری×قارچ	۲	۳/۶۱^{ns}	۲۶/۴۸**	۱/۷۵*	۰/۰۵*	۰/۰۴۶*	۱/۲*	۰/۰۰۱۳*	۰/۰۰۹۰**	۰/۰۰۰۴*
سیلیس×قارچ	۱	۰/۴۴۴^{ns}	۴/۶۵^{ns}	۰/۵۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۶۶*	۴/۰*	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۶۴**	۰/۰۰۱۶**
شوری×سیلیس×قارچ	۲	۴/۵۲^{ns}	۶/۰۱*	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۳۴*	۰/۲*	۰/۰۰۰۱ *	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ *
خطا	۲۴	۱۱/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۰۳۴	۰/۰۰۹	۰/۹	۸/۸	۱۷/۷	۰/۰۰۰۰۹

[1] Datnoff et al

ضریب تغییرات	۶/۴۷	۳/۱۰	۴/۷۳	۳/۲۴	۳/۸۸	۳/۰۵	۰/۶	۲/۹۷	۳/۲

ns و* و **به ترتیب غیرمعناداری و معناداری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند.

افزایش سطح شوری از E1 به E3 باعث کاهش ۳۱/۸ درصدی طول سنبله گیاه شد (جدول ۳). ماس و گریو[1] (۱۹۹۰) و سادات نوری و همکاران[2](۲۰۰۶) نیز کاهش قابل توجهی در طول خوشه گندم‌های مورد بررسی در تیمار شوری گزارش نمودند. اثر اصلی کاربرد سیلیسیم تاثیر معناداری بر طول سنبله نشان داد (جدول۳). هرچند اثر متقابل آن با شوری بر طول سنبله معنادار نبود اما باعث افزایش آن شد. تاثیر قارچ در تعدیل اثرات تنش شوری بر طول سنبله معنادار بود. کاهش طول سنبله به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی و آب و در نتیجه آن کاهش رشد سلول‌ها در شرایط تنش شوری اتفاق می‌افتد (زایدی و همکاران ۲۰۰۵). *تریکودرما* با افزایش گسترش ریشه‌ها به جذب آب کمک نموده و در نتیجه مقاومت گیاه را در برابر شوری افزایش می‌دهد، در این شرایط توانایی گیاه برای جذب مواد غذایی افزایش یافته و رشد گیاه بهبود می‌یابد (آرورا و همکاران ۱۹۹۲). نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری وزن سنبله به طور معناداری در سطح شوری E3 به‌میزان۱۶درصد کاهش یافت (جدول۳). اسقرار ضعیف گیاهچه‌ها در نتیجه شوری خاک تأثیر نامطلوبی بر توسعه گیاه و تولید محصول دارد. کاهش جذب مواد غذایی (افضل و همکاران ۲۰۰۶) و کاهش فتوسنتز ناشی از شوری میزان کربوهیدرات‌ها را برای رشد و تولید مثل محدود می‌کند (الم و همکاران ۲۰۰۴) و در نتیجه وزن سنبله کاهش می‌یابد. کاهش وزن خوشه برنج با افزایش سطوح شوری گزارش شده است (اچ و ووپریز ۲۰۰۱).اثر اصلی کاربرد سیلیسیم و تلقیح قارچ به خاک بر افزایش وزن سنبله معنادار بود(جدول۳). کاربرد توأم قارچ و سیلیسیم در سطوح مختلف شوری بر وزن سنبله معنادار بود و در سطح شوری E3 باعث افزایش ۲۰/۶ درصدی وزن سنبله شد(جدول۳). ماتسو و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند جذب سیلیسیم باعث افزایش پنجه‌دهی و افزایش تعداد و وزن خوشه‌های بارور در گیاه برنج می‌شود. الکرکی (۲۰۰۰) افزایش عملکرد گیاهان میکوریزایی در محیط شور را نسبت به گیاهان تلقیح نشده گزارش کرد. راوات و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد قارچ *تریکودرما* افزایش چشم‌گیری در ارتفاع و زیست‌توده گندم مشاهده کردند.

سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط شور، باعث افزایش فشار تورژسانس و افزایش اندازه برگ می‌شود. فتوسنتز گیاه نیز، با حضور سیلیسیم افزایش می‌یابد که منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود (لیانگ و همکاران ۱۹۹۹، گونگ و همکاران ۲۰۰۳). افزایش سطح شوری باعث کاهش تعداد دانه در خوشه شد، به‌طوری‌که تعداد دانه در خوشه در سطح شوری E3 به میزان۲۸/۴ درصد کاهش یافت. افزایش شوری با کاهش طول سنبله و وزن سنبله تأثیر به‌سزایی در کاهش تعداد دانه در خوشه دارد. فرانکئویزو و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند با افزایش شوری، تعداد دانه در سنبله گندم (در ارقام آنزا و یوکو راروجی) کاهش می‌یابد. کمبود آب پس از گلدهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند باروری دانه به دلیل حساسیت دانه‌های گرده به کمبود رطوبت و عقیم شدن گل‌های انتهایی سنبله منجر به کاهش تعداد دانه تولیدی در هر سنبله می‌گردد (ساینی ۱۹۸۱). اثر متقابل قارچ، سیلیسیم و شوری بر افزایش تعداد دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول۳). یکی از دلایل بهبود رشد و عملکرد گیاه در حضور *تریکودرما* افزایش سطح ریشه و بهبود جذب عناصر معدنی قابل دسترس گیاه و به‌ویژه در محدودیت مواد معدنی محیط خاک گزارش شده است (مذهبی و همکاران ۲۰۱۱). تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا

[1] Mass and Grieve

[2] Sadat Noori et al

می‌برد (آدتینا و همکاران[1] ۱۹۸۶). نتایج مقایسه میانگین (جدول۳) عملکرد بیولوژیکی نشان داد که این صفت تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفت و با افزایش شوری کاهش یافت، عملکرد بیولوژیکی کاهش ۱۱ درصدی در سطح شوری E3 نسبت به سطح شوری E1 نشان داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد بالاتر بودن طول سنبله و وزن سنبله گیاه در سطح پایین‌تر شوری باعث شده تا عملکرد بیولوژیکی بیشتری نیز حاصل شود. گودرزی و پاکذیت (۲۰۰۸) و مقصودی و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه اثر تنش شوری بر طول سنبله ، تعداد سنبلچه و تعداد پنجه در گندم نشان دادند این صفات با افزایش میزان تنش تحت تأثیر قرار گرفته و در نهایت باعث کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود. در سطوح شوری بالا افزایش جذب سدیم باعث کاهش فتوسنتز و تقسیمات سلولی شده و در نتیجه عملکرد کاهش می یابد. اثر سیلیسیم بر عملکرد بیولوژیک معنادار بوده و باعث افزایش آن شد. در سطح شوری E3 عملکرد بیولوژیک با افزودن سیلیسیم به خاک ۱/۳ درصد افزایش یافت (جدول۳). جذب سیلیسیم باعث سخت و سیلیسی شدن اندام هوایی گیاه شده و در نتیجه امکان تحمل تنش در گیاه بیشتر شده و مرگ و میر و ریزش گلچه‌ها کاهش یافته و باعث افزایش تعداد دانه و عملکرد بیولوژیک شده است (گونگ و همکاران، ۲۰۰۳). کاربرد قارچ در سطوح مختلف شوری باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد (جدول ۳). *تریکودرما* به‌دلیل بهبود رشد ریشه، ظرفیت نگهداری آب یا افزایش جذب مواد غذایی، توانایی تولید متابولیت‌هایی با فعالیت مشابه هورمون‌های گیاهی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و غیرزنده در طی رشد می‌شود (مذهبی و همکاران ۲۰۱۱). مستوری و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود افزایش بیان ژن‌هایی را که در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده دخیل هستند را در گیاهان تلقیح شده با *تریکوردرما* گزارش کردند. والر و همکاران (۲۰۰۵) نیز افزایش عملکرد و تحمل به شوری در گیاه جو تلقیح شده با قارچ[2] *پیریفورموسپورا ایندیکا* را مشاهده کردند.

جدول۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد گندم برای اثرهای ساده و متقابل شوری، سیلیسیم و قارچ.

تیمار	ارتفاع (cm)	طول پدانکل (mm)	طول سنبله (cm)	کلروفیل (اسپد)	وزن سنبله (g)	تعداد دانه در خوشه	عملکرد بیولوژیک (بوته در گلدان)	عملکرد دانه(بوته در گلدان	شاخص برداشت (%)
E1	۵۷/۹^{a}	۱۰/۶^{a}	۷/۷^{a}	۵۴/۲^{a}	۲/۷^{a}	۳۷/۰^{a}	۳/۴۴^{a}	۱/۳۷^{a}	۰/۳۹۸^{a}
E2	۵۲/۳^{cd}	۷/۲^{b}	۶/۴^{b}	۴۵/۷^{ef}	۲/۴^{c}	۳۱/۷^{b}	۳/۲۸^{b}	۱/۰۸^{b}	۰/۳۲۹^{b}
E3	۴۷/۷^{ef}	۴/۷^{c}	۵/۲^{c}	۳۳/۱^{gh}	۲/۳^{cd}	۲۶/۵^{c}	۳/۰۶^{c}	۰/۵۵^{c}	۰/۱۸۱^{c}
S1	۵۳/۳^{bc}	۷/۸^{a}	۶/۵^{a}	۴۵/۸^{ef}	۲/۵^{ab}	۳۲/۲^{a}	۳/۲۹^{a}	۱/۰۳^{a}	۰/۳۱۰^{a}
S2	۵۱/۹^{cd}	۷/۲^{b}	۶/۳^{b}	۴۲/۴^{e}	۲/۴^{bce}	۳۱/۳^{cd}	۳/۲۴^{b}	۰/۹۷^{b}	۰/۲۹۶^{b}
F1	۵۳/۹^{bc}	۸/۲^{a}	۶/۷^{a}	۴۶/۹^{de}	۲/۵^{ab}	۳۲/۸^{cd}	۳/۲۹^{a}	۱/۰۶^{a}	۰/۳۱۷^{a}
F2	۵۱/۳^{cd}	۶/۹^{b}	۶/۲^{b}	۴۱/۳^{b}	۲/۴^{cd}	۳۰/۶^{b}	۳/۲۳^{b}	۰/۹۴^{b}	۰/۲۸۹^{b}
E1S1	۵۸/۸^{ab}	۱۱/۰^{a}	۷/۸^{a}	۵۵/۳^{a}	۲/۸^{a}	۳۷/۵^{a}	۳/۴۸^{a}	۱/۴۳^{a}	۰/۴۱^{a}
E1S2	۵۷/۰^{ab}	۱۰/۳^{a}	۷/۵^{a}	۵۳/۲^{b}	۲/۶^{ab}	۳۶/۵^{b}	۳/۴۱^{b}	۱/۳۲^{b}	۰/۳۸۷^{a}
E2S1	۵۲/۶^{cd}	۷/۵^{b}	۶/۵^{b}	۴۷/۴^{ce}	۲/۴^{c}	۳۲/۱^{cd}	۳/۳۱^{c}	۱/۱۰^{c}	۰/۳۳۳^{b}
E2S2	۵۲/۰^{cd}	۶/۸^{b}	۶/۴۱^{b}	۴۲/۷^{de}	۲/۴^{c}	۳۱/۳^{cd}	۳/۲۶^{d}	۱/۰۶^{c}	۰/۳۲۶^{b}
E3S1	۴۸/۶^{ef}	۵/۰^{c}	۵/۵^{c}	۳۴/۷^{gh}	۲/۴^{c}	۲۷/۰^{ef}	۳/۰۹^{e}	۰/۵۷^{d}	۰/۱۸۵^{c}
E3S2	۴۶/۸^{ef}	۴/۵^{c}	۵/۰^{c}	۳۱/۵^{hi}	۲/۱^{de}	۲۶/۱^{ef}	۳/۰۴^{e}	۰/۵۳^{d}	۰/۱۷۷^{c}
E1F1	۵۹/۵^{a}	۱۱/۶^{a}	۷/۸^{a}	۵۵/۷^{a}	۲/۷^{a}	۳۸/۳^{a}	۳/۴۹^{a}	۱/۴۶^{a}	۰/۴۲۰^{a}
E1F2	۵۶/۳^{ab}	۹/۶^{b}	۷/۵^{a}	۵۲/۶^{bc}	۲/۷^{a}	۳۵/۶^{b}	۳/۴۰^{b}	۱/۲۸^{b}	۰/۳۷۷^{b}
E2F1	۵۳/۰^{bc}	۷/۹^{c}	۶/۹^{b}	۴۸/۴^{d}	۲/۴^{b}	۳۲/۵^{c}	۳/۳۱^{c}	۱/۱۳^{c}	۰/۳۴۱^{c}

[1] Adtina et al
[2] *Piriformospora indica*

E2F2	۵۱/۶^{cd}	۶/۵^{d}	۶/۰^{c}	۳۹/۸^{def}	۲/۴^{b}	۳۱/۰ ^{cd}	۳/۲۵^{d}	۱/۰۳^{d}	۰/۳۱۸^{d}
E3F1	۴۹/۳^{def}	۵/۵^{e}	۵/۳^{d}	۳۵/۵^{fg}	۲/۴^{b}	۲۷/۸^{ef}	۳/۰۹^{e}	۰/۵۹^{e}	۰/۱۹۲^{e}
E3F2	۴۶/۱^{ef}	۴/۵^{f}	۵/۱^{d}	۳۰/۷^{hi}	۲/۱^{c}	۲۵/۳^{f}	۳/۰۴^{e}	۰/۵۱^{f}	۰/۱۷۰^{f}
S1F1	۵۹/۵^{a}	۱۱/۶^{a}	۷/۸^{a}	۵۵/۷^{a}	۲/۷^{a}	۳۸/۳^{a}	۳/۳۲^{a}	۱/۱۱^{a}	۰/۳۳۱^{a}
S1F2	۵۶/۳^{ab}	۹/۶^{b}	۷/۵^{a}	۵۲/۶^{b}	۲/۷^{a}	۳۵/۶^{b}	۳/۲۷^{a}	۱/۰۰^{a}	۰/۳۰۴^{a}
S2F1	۵۳/۳^{cd}	۱۱/۱ ^{a}	۷/۵^{a}	۴۹/۸^{ce}	۲/۶^{bc}	۳۴/۱^{bc}	۳/۲۶^{a}	۰/۹۵^{a}	۰/۲۸۹^{a}
S2F2	۵۰/۵^{cde}	۹/۴^{b}	۷/۴^{a}	۴۳/۸^{ef}	۲/۶^{bc}	۳۰/۵^{de}	۳/۲۰^{a}	۰/۹۳^{a}	۰/۲۸۸^{a}
E1S1F1	۶۱/۰^{a}	۱۲/۰^{a}	۸/۵^{a}	۵۷/۲^{a}	۲/۸^{a}	۳۹/۰^{a}	۳/۵۲^{a}	۱/۵۵^{a}	۰/۴۴۱^{a}
E1S2F1	۵۸/۰^{ab}	۱۱/۳^{a}	۷/۶^{b}	۵۴/۱^{b}	۲/۷^{ab}	۳۷/۶^{ab}	۳/۴۶^{b}	۱/۳۷^{b}	۰/۳۹۸^{b}
E1S1F2	۵۶/۶^{abc}	۱۰/۰^{b}	۷/۶^{b}	۵۳/۴^{b}	۲/۷^{ab}	۳۶/۰^{b}	۳/۴۵^{b}	۱/۳۰^{c}	۰/۳۷۹^{c}
E1S2F2	۵۶/۰^{ab}	۹/۳^{bc}	۷/۵^{b}	۵۱/۸^{bc}	۲/۶^{bc}	۳۵/۳^{b}	۳/۳۶^{c}	۱/۲۶^{c}	۰/۳۷۹^{c}
E2S1F1	۵۳/۰^{cde}	۸/۱^{c}	۷/۰^{c}	۵۰/۷^{c}	۲/۵^{cd}	۳۳/۳^{bc}	۳/۳۴^{c}	۱/۱۶^{d}	۰/۳۴۹^{d}
E2S2F1	۵۳/۰^{cde}	۷/۶^{d}	۶/۸^{c}	۴۸/۱^{d}	۲/۴^{cd}	۳۱/۶^{cd}	۳/۲۹۳^{d}	۱/۰۹^{e}	۰/۳۳۲^{e}
E2S1F2	۵۲/۳^{cde}	۷/۵^{d}	۶/۰^{d}	۴۴/۰^{de}	۲/۴^{bcd}	۳۱/۰^{cd}	۳/۲۸۷^{d}	۱/۰۴^{ef}	۰/۳۱۹^{e}
E2S2F2	۵۱/۰^{cdef}	۶/۰^{ef}	۶/۵^{d}	۳۷/۳^{f}	۲/۴^{d}	۳۱/۰^{cd}	۳/۲۳^{e}	۱/۰۳^{f}	۰/۳۱۸^{e}
E3S1F1	۴۹/۶^{efd}	۵/۰^{fg}	۵/۵^{e}	۳۶/۷^{fg}	۲/۶^{bc}	۲۸/۶^{de}	۳/۱۱^{f}	۰/۶۲^{g}	۰/۲۰۲^{f}
E3S2F1	۴۹/۰^{ef}	۵/۰^{fg}	۵/۶^{fg}	۳۴/۳^{fg}	۲/۱^{e}	۲۷/۰^{ef}	۳/۰۷^{g}	۰/۵۵^{h}	۰/۱۸۲^{g}
E3S1F2	۴۷/۶^{ef}	۵/۰^{fg}	۵/۳^{ef}	۳۲/۷^{h}	۲/۱^{e}	۲۵/۳^{f}	۳/۰۷^{g}	۰/۵۲^{h}	۰/۱۷۱^{g}
E3S2F2	۴۴/۶^{f}	۴/۰^{fg}	۵/۰^{g}	۲۸/۸^{i}	۲/۱^{e}	۲۵/۳^{f}	۳/۰۲^{h}	۰/۵۱^{h}	۰/۱۶۹^{g}

ستونهای دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند. [(E1) ۰، (E2)۱۸ و(E3) ۳۱ میلی اکی ولان نمک در کیلوگرم خاک از کلرید سدیم، کلسیم و منیزیم با نسبت ترکیبی ۱:۲:۳] ، S (سیلیسیم): S1 (۱/۵ mM) S2 (صفر) ، F (قارچ تریکودرما): F1 (مایه‌زنی با قارچ) F2 (بدون مایه‌زنی).

افزودن سیلیسیم به خاک در تمام سطوح شوری باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد. نقش سیلیسیم در کاهش تنش شوری در گیاهان مختلفی مانند جو (لیانگ و همکاران ۲۰۰۳)، ذرت (موسی ۲۰۰۶) و گندم (تونا و همکاران ۲۰۰۸) گزارش شده است. سیلیسیم از طرق مختلف مانند غیرمتحرک کردن یون سدیم (لیانگ و همکاران ۲۰۰۳)، کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم (لیانگ و همکاران ۲۰۰۵) در کاهش تنش شوری و افزایش عملکرد گیاه نقش دارد. تنش شوری باعث کاهش ۵۹ درصدی عملکرد دانه شد (جدول۳). سیدیک و وان (۱۹۹۳) دلیل کاهش عملکرد دانه را کاهش سطح برگ، طول بلال، وزن بلال، تعداد بلال و عملکرد بیولوژیک عنوان کردند. اثر متقابل سیلیسیم، قارچ و شوری بر عملکرد دانه معنادار نبود اما استفاده از قارچ وسیلیسیم باعث افزایش عملکرد دانه (۱۷/۶۴درصد) در سطح شوری E3 شد (جدول۳). *تریکودرما* از طریق دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسید آمینه در ریشه گیاهان، افزایش جذب عناصر غذایی با افزایش حلالیت عناصر، ترشح هورمون‌های رشد و شبه‌هورمون باعث القا تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده و افزایش عملکرد می‌شود (هارمن و همکاران ۲۰۰۴). مطالعات در شرایط آزمایشگاهی نشان داده که عناصر ریزمغذی و فسفات غیرمحلول در حضور *تریکودرما هارزیانوم*[1] به صورت قابل دسترس و محلول در اختیار ریشه گسترش یافته قرار می گیرند (آلتومر و همکاران ۱۹۹۹). اثرهای نامطلوب شوری (۱۰دسی‌زیمنس‌برمتر) بر عملکرد دانه دو ژنوتیپ گندم (Auqab-2000 & SARC-5) و افزایش آن را با کاربرد سیلیسیم گزارش شده است (تهیر و همکاران ۲۰۰۶). شاخص برداشت گیاه نیز تحت تأثیر شوری قرار گرفت و با افزایش شوری از E1 به E3 شاخص برداشت به مقدار بیش از۵۰ درصد کاهش نشان داد. زارکو و همکاران (۲۰۰۵) و کونترراز–کورنجو (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که با افزایش شوری میزان شاخص برداشت و به دنبال اجزای عملکرد گندم کاهش می‌یابد.

[1] T. harzianum

سیدیک و هان (۱۹۹۴) کاهش شاخص برداشت به افت عملکرد نسبت دادند. اثر متقابل سیلیسیم، قارچ و شوری بر شاخص برداشت معنادار بود (جدول ۲). کاربرد توأم قارچ و سیلیسیم در سطح شوریE3 موجب افزایش ۱۶درصدی شاخص برداشت نسبت به همین سطح شوری بدون حضور قارچ و سیلیسیم گردید (جدول۳). جذب سیلیسیم باعث سخت و سیلیسی شدن اندام هوایی گیاه می‌شود و در نتیجه امکان تحمل تنش در گیاه بیشتر شده و مرگ و میر و ریزش گلچه‌ها کاهش یافته و باعث افزایش تعداد دانه و افزایش این شاخص می‌گردد. شاهسواری و همکاران (۱۳۸۹) افزایش شاخص برداشت گیاه گندم را تحت تأثیر قارچ *تریکودرما* و باکتری سودوموناس گزارش کردند.

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نیز تأثیر معنادار و مضر تنش شوری بر تمام خصوصیات گندم رقم چمران که از ارقام مقاوم به شوری است را نشان داد. به‌همین منظور توسعه راه‌کارهایی برای کاهش تنش شوری در گندم از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش اثر کاربرد سیلیسیم و استفاده از قارچ *تریکودرما* برای کاهش تنش شوری در گندم بررسی شد. نتایج نشان داد اگرچه سیلیسیم به عنوان عنصر ضروری برای گندم مطرح نیست اما نقش آن در تحریک رشد و توسعه گندم در شرایط تنش و بدون تنش مطرح است. عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم تحت تأثیر سیلیسیم افزایش یافت. بر اساس نتایج به‌دست آمده استفاده از قارچ باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در شرایط بدون تنش شوری و همچنین در خاک شور شد. بیشترین عملکرد دانه در خاک مایه‌زنی شده با قارچ بدون اعمال شوری و کمترین آن در حالت عدم مایه‌زنی خاک با قارچ و بالاترین سطح شوری برآورد گردید. بنابراین، مایه‌زنی خاک با این قارچ می‌تواند با کاهش یا تعدیل اثر شوری، در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه در شرایط تنش شوری مؤثر واقع شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت محترم پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه شهید چمران اهواز به لحاظ فراهم نمودن اعتبار پژوهشی این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد تقدیر و تشکر می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

physiological traits Journal of Agriculture and Social Sciences 4(1): 35-38.Gupta PK, 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India). 438 p.

Hajinia S, Zarea MJ, Mohammadi Goltapeh E and Rejali F, 2011. Investigation of the efficacy of endophytic fungus *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains on alleviation of detrimental effect of salt stress on wheat (*Triticum aesativum* cv. Sardari). Enivironmental Stresses in Crop Sciences 4(1): 21-31.

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, and Lorito M, 2004. *Trichoderma* species: Opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology 2:43-56.

Hussain AZ, Khan I, Ashraf M, Rashid MH and Akhtar MS, 2004. Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and Coj- 84. International Journal of Agricultural Biology, 6:188-191.

Jafari S,Chorom M, Enayatizamir N and Motamedi H, 2015. Effect of two salt tolerant bacteria isolates on barley growth under different soil salinity levels. Soil Biology 2(2): 169-187.

Jiriaie M, Fateh E and Aynehband M, 2015. Evaluation of morphophysiological changes of wheat cultivars from the use of Mycorrhiza and Azospirilum. Iranian Journal of Field Crops Research 12(4): 841-851.

Kaya C, Tuna L and Higgs D, 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. Journal of Plant Nutrition 29(8): 1469-1480.

Klute A, 1986. Physical and Mineralogical Methods. In: Dinauer RC, Buxton DR and Mortvedt J (eds). Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Liang Y, 1999. Effect of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress. Plant and Soil 209: 217-224.

Liang Y, Sun W, Zhu YG and Christie P, 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stress in higher plants, A Review. Environmental Pollution 147: 422-428.

Liang YC, 1998. Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity in barley under salt stress. Pedosphere 8: 289-296.

Liang YC, Chen Q, Liu Q, Zhang W and Ding R, 2003. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per-oxidation in roots of salt stressed. Plant and Soil 255:85-91.

Liang YC, Zhang WQ, Chen J and Ding R, 2005. Effect of silicon on H^+-ATPase and H^+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany 53:29-37.

Maghsoudi Moud A and Maghsoudi K, 2008. Salt stress effects on respiration and growth of germinated seed of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. World journal of Agricultural Sciences 4(3): 351-358.

Mass EV and Grieve CM, 1990. Spike and leaf development in salt stressed wheat. Crop Science 30: 1309-1313.

Mastouri F, Björkman T and Harman GE, 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology 100(11): 1213-1221.

Matsuo T, Kumazawa K, Ishii R, Ishihara K and Hirata J, 1995. Science of the Rice Plant. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokoyo, Japan.

Mazhabi M, Nemati H, Rouhani H, Tehranifar A, Moghadam EM, Kaveh H and Rezaee A, 2011.The effect of *Trichoderma* on polianthes qualitative and quantitative properties. Journal of Animal and Plant Sciences 21(3): 617-621.

Moussa HR, 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 8: 293-297.

Nasrabadi F, Enayatizamir N, Mehrabi-Koushki M and Shomeili M, 2016. Screening of salinity and temperature tolerant Trichoderma isolates, and the effect of superior isolate on corn (*Zea mays*) growth under in vitro conditions. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture) 39(2) :47-59.

Poustini K and Siosemardeh A, 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crops Research 55: 125-133.

Qadir M, Ghafoor A and Murtaza G, 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. Land Degradation and Development 11: 501-521.

Rao GG and Rao GR, 1981. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus Spreng*) and gingelley (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. Indian Journal of Experimental Biology 19: 768–770.

Rawat L, Singh Y, Shukla N and Kumar J, 2011. Alleviation of the adverse effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum*. Plant and Soil 347: 387-400.

Sadat Noori SA, Roustaei A and Foghi B, 2006. Variability of salt tolerance for eleven traits bread wheat in different saline conditions. Agronomy Journal 5(1): 131-136.

Saini HS and Aspinall D, 1981. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Annals of Botany 48(5): 623-633.

Shahsavari A, Pirdashti H, Mottaghian A and Tajick Ghanbary MA, 2010. Response of growth characters and yield of wheat (*Triticum aesativum* L.) to coinoculation of farmyard manure, *Trichoderma spp*. and *Psudomonass spp*. Agroecology 2(3): 448-458.

Shoresh M, Harman GE and Mastouri F, 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. The Annual Review Phytopathology 48: 21-43.

Siddique K and Whan B, 1993. Ear: stem ratios in breeding populations of wheat: significance for yield improvement. Euphytica 73(3): 241-254.

Singh AK and Dubey RS, 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystems 1 and 2 in rice seedlings induced by NaCl. Photosynthetica 31: 489–499.

Tahir MA, Aziz T, Ashraf M, Kanwal S and Maqsood M, 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticumaestivum* L.) under salinity stress. Pakistan Journal of Botany 38(5): 1715-1722.

Tammam AA, Alhamd MFA and Hemeda MM, 2008. Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestium L*.) cultivar Banysoif. Australian Journal of Crop Science 1: 115-125.

Tuna AL, Kaya C, Higgs CD, Murillo-Amador B, Aydemir S, Girgin AR, 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany 62:10-16.

Velázquez-Robledo R, Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Hernández-Morales A, Aguirre J, Casas-Flores S, López-Bucio J and Herrera-Estrella A, 2011.Role of the 4-phosphopantetheinyl transferase of Trichodermavirens in secondary metabolism, and induction of plant defense responses. Molecular Plant-Microbe Interactions Journal 24: 1459-1471.

Waller F, Achatz B, Baltruschat H, Fodor J, Becker K, Fischer M, Heier T, Hückelhoven R, Neumann C, von Wetstein D, Franken P and Kogel KH, 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102: 13386-13391.

Yazdani M, Pirdashti H, Tajik MA and Bahmanyar MA, 2008. Effect of *Trichoderma* spp. and different organic manures on growth and development in soybean [*Glycine max* (L.) *Merril*.]. International Journal of Clinical Practice 1(3): 65-82.

Zahir ZA, Arshad M and Frankenberger WT, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.

Zaidi A and Khan S, 2005. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on growth, yield, and nutrient uptake of wheat. Journal of Plant Nutrition 28: 2079-2092.

Zarco-Hernaandez JA, Santiveri F, Michelena A and Peña RJ, 2005. Durum wheat (*Triticum turgidum*, L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation: agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 22(1): 33-43.

Zarea MJ, Hajinia S, Karimi N, Mohammadi Goltapeh E, Rejali F and Varma A, 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biology and Biochemistry 45: 139-146.

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.