اثر کودهای زیستی بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی فستوکای بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) تحت سطوح مختلف تنش شوری

صفورا مساحی[۱]، داود نادری[۲*]، ژیلا بهارلویی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)
۲- استادیار گروه علوم باغبانی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)
۳- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)
*مسئول مکاتبه: Email: d.naderi@khuisf.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد *ازتوباکتر کروکوکوم* و *آزوسپریلیوم لیپوفروم* بر گیاه فستوکای بلند پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سطوح مختلف شوری ٤، ٦، ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر و آب مقطر به‌عنوان شاهد اجرا شد. نتایج نشان داد، بیشترین و کمترین میزان رویش گیاهچه به‌ترتیب در تیمارهای *آزوسپیریلوم* و شاهد (بدون تنش شوری و تلقیح) مشاهده شد. در هفته دهم بیشترین مقادیر وزن تر و خشک چمن‌زنی به ترتیب در شوری شش و هشت دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *آزوسپیریلوم*، بیشترین تعداد برگ در تیمار *ازتوباکتر* بدون تنش شوری و بیشترین کلروفیل کل در تیمار شوری ١٢ دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *ازتوباکتر* حاصل شد. در هفته پانزدهم، بیشترین وزن تر چمن‌زنی در شوری ٤ و ٠ دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *آزوسپیریلوم* و بیشترین وزن خشک چمن‌زنی در شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *ازتوباکتر* بدست آمد. همچنین بیشترین تعداد برگ در تیمار *آزوسپیریلوم* بدون تنش شوری حاصل گردید. بیشترین میزان فسفر و پتاسیم به‌ترتیب در تیمار *آزوسپیریلوم* بدون تنش شوری و تیمار شاهد مشاهده گردید. همچنین بیشترین میزان نیتروژن و سدیم به‌ترتیب در شوری ٨ دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *ازتوباکتر* و شوری ١٢ دسی‌زیمنس بر متر همراه با تلقیح *آزوسپیریلوم* مشاهده شد. در شوری ١٢ دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح باکتری، بیشترین میزان پرولین مشاهده گردید. با توجه به نتایج بالا، تلقیح بذر فستوکای بلند با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* توانست آثار سوء تنش شوری را بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی گیاه کاهش دهد و هر یک از باکتری‌ها بر بهبود برخی از خصوصیات مورد بررسی در شرایط تنش تأثیرگذار بودند.

واژه های کلیدی: ازتوباکتر، *آزوسپیریلوم*، پرولین، چمن‌زنی، کلروفیل

Effect of Biofertilizers on Growth and Biochemical Characteristics of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) under Different Levels of Salinity

Safoura Masahi[1], Davood Naderi[2*], Jila Baharlouei[3]

Received: May 16, 2017 Accepted: March 15, 2018
1- Graduated from the Dept. of Horticulture Sciences, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Iran.
2-Assist. Prof., of Horticultural Sciences and member of Young Researchers Club, Isfahan Islamic Azad University (Khorasgan), Iran.
3- Assist. Prof., of Soil Science, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Iran.
*Corresponding Author: Email: d.naderi@khuisf.ac.ir

Abstract

The effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum lipoferum* on tall fescue was studied by factorial experiment in a randomized complete block design with 4, 6, 8 and 12 dS.m^{-1} salinity and distilled water as control. Results showed that the highest and the lowest seedling emergence were observed in *Azospirillum* and control (without any salinity or inoculation) treatments. At tenth week, the highest values of fresh and dry clipping weights were obtained by *Azospirillum* plus 6 and 8 dS.m^{-1}, respectively. The highest number of leaves was observed in *Azotobacter* treatment without salinity and the highest chlorophyll by *Azotobacter* plus salinity 12 dS.m^{-1}. At fifteenth week, the highest amount of fresh clipping weight was obtained from 4 and 0 dS/m plus *Azospirillum*. The highest dry clipping weight was produced by 4 dS.m^{-1} salinity without inoculation and 12 dS.m^{-1} plus *Azotobacter*. The highest number of leaves was obtained from *Zzospirillum* without salinity. The highest amount of phosphorus was observed in *Azospirillum* treatment with 0 dS.m^{-1} salinity. Control treatment showed the highest potassium amount. *Azotobacter* plus 8 dS.m^{-1} had the highest nitrogen amount whereas *Azospirillum* plus 12 dS.m^{-1} showed the highest sodium amount. The highest proline amount was observed in 12 dS.m^{-1} salinity without inoculation. According to the above results, inoculation of tall fescue seeds with *Azotobacter* and *Azospirillum* could reduce the effects of salinity stress on growth and biochemical properties of the plant, and each bacteria affected the improvement of some characteristics under stress conditions.

Keywords: *Azospirillum*, *Azotobacter*, Chlorophyll, Clipping, Proline

مقدمه

تنش شوری و خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از مشکلات پیش روی صنعت کشاورزی می‌باشد (صلاح‌ورزی و همکاران ۲۰۰۸). تنش شوری از طریق کاهش سطح برگ و وزن تر و خشک گیاه، محدود نمودن فعالیت کلروفیل‌ها، آنزیم‌ها و سنتز پروتئین‌ها موجب اختلال در وظایف غشای کلروپلاست می‌شود (ملکوتی و همکاران ۲۰۰۲). در مواجه با تنش شوری، با افزایش سطح هورمون اتیلن در گیاه و آثار سمی برخی یون‌ها بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، جذب عناصر غذایی توسط ریشه مختل گردیده و به دلیل کاهش آب قابل دسترس برای گیاه،

پتانسیل آب محیط اطراف ریشه نیز کاهش یافته، در نتیجه خصوصیات رشدی گیاه نیز کاهش می‌یابد (شیاب و همکاران ۲۰۱۳ و گاریدو و همکاران ۲۰۱٤).

فستوکای بلند با نام علمی *Festaca arundinacea* .schreb از تیره Poaceae، چمنی دارای ریشه عمیق و قوی، با بافت خشن و عادت رشد دسته‌ای است که از سرعت جوانه‌زنی نسبتاً بالا برخوردار بوده و سازگار به دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی از جمله خشکی، گرما، سایه و پاخوری[1] است (آلدوز و چیورس ۲۰۰۲ , کمین و همکاران ۲۰۰۷)

جوانه‌زنی بذر چمن یکی از مراحل زیستی و تعیین‌کننده در چرخه رشدی گونه‌های گیاهی و تضمین کننده استقرار موفق گیاه و عملکرد نهایی آن است (زارع و همکاران ۲۰۰٦). در سال‌های اخیر ضرورت مطالعه بیولوژی ریزوسفر و استفاده از میکروارگانیسم‌های مهم خاک‌زی بهخصوص باکتری‌های محرک رشد گیاه به منظور بهبود تغذیه، رشد و کنترل عوامل تنش‌زا در محیط زیست ریشه بسیار مورد توجه قرار گرفته است (وسی ۲۰۰۳). یکی از استراتژی‌های مقابله با تنش شوری، تلقیح گیاهان با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاک‌زی می‌باشد که با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص به طور مستقیم و یا غیرمستقیم موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌گردند (فهاد و همکاران ۲۰۱۵ و باشان و همکاران ۲۰۱٤). کاربرد باکتری‌های محرک رشد علاوه بر فراهمی عناصر غذایی، از تشدید تنش اسمزی که بر اثر افزودن کودهای شیمیایی به زمین‌های شور اتفاق می‌افتد، جلوگیری می‌نماید. در حالی که، استفاده از کودهای شیمیایی نه تنها باعث تخریب ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌شود، بلکه کیفیت محصول تولید شده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (کوچکی و همکاران ۲۰۰۸). بنابراین کاربرد کود-های زیستی علاوه بر اثرات مثبت بر کلیه خصوصیات خاک از نظر جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی نیز مفید بوده و می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی در نظر گرفته شود (حمیدی و همکاران ۲۰۰٦).

باکتری‌های زیستی از جمله *آزوسپیریلوم*[2] و *ازتوباکتر*[3] به دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان، بسیار حائز اهمیت می‌باشند و از طریق تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون-های گیاهی، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارند (گاگنی بورگیو و همکاران ۲۰۱۳). اگرچه کارایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن در سویه‌های *ازتوباکتر* علاوه بر فیزیولوژی باکتری، به نوع گونه گیاهی و شرایط محیطی نیز وابسته است (بولگاریلی و همکاران ۲۰۱۳). *آزوسپیریلوم* نیز غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی قادر به تولید اکسین‌هایی نظیر ایندول استیک اسید می‌باشد (باشان و دی‌باشان ۲۰۱۰). نتایج مطالعات حاکی از آن است که اثرگذاری باکتری بر تعدیل اثرات مضر ناشی از تنش می‌تواند متأثر از سایر ویژگی‌های باکتری از جمله تولید انواع متابولیت‌های میکروبی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین باشد که ریخت‌شناسی و فیزیولوژی ریشه و در نتیجه جذب آب و مواد غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (زهیر و همکاران ۲۰۰٤ و بابالوا ۲۰۱۰). گزارش شده است باکتری‌های محرک رشد *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بر ارتفاع گیاه و وزن خشک چمن *Lolium perenne* (استامینو و همکاران ۲۰۱۲) و خصوصیات رشدی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عناصر ریزمغذی گیاه کلزا (*Brassica napus*) (بانیاگیل و همکاران ۲۰۱۳) تأثیرگذار می‌باشند.

در پژوهشی دیگر مشاهده گردید تلقیح بذر گیاه ناترک (*Dodonaea viscosa* L.) با باکتری‌های زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* توانست تحمل گیاه به شوری را تا سطح ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر افزایش دهد و جوانه-زنی مطلوبی صورت گیرد. علاوه بر آن، خصوصیات

[1] Wearability

2- *Azesprillum*
3- *Azotobacter*

رشدی شامل طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه، نسبت طول و وزن ریشه به ساقه تحت تأثیر تلقیح بذر با *ازتوباکتر* در شرایط شوری ۱۵ و ۲۰ دسی-زیمنس بر متر افزایش یافت (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۷). تلقیح ذرت با *ازتوباکتر* سویه C5 (تولیدکننده اکسین) و C9 تحت شرایط تنش شوری باعث بهبود جذب پتاسیم و خروج یون سدیم گردید. همچنین میزان کلروفیل، پرولین و محتوای پلی‌فنل در برگ‌ها را افزایش داد (ایلانگوماران و اسمیت ۲۰۱۷). در پژوهشی دیگر، بذر گیاه شبدر سفید (*Trifolium repens*) در سطوح مختلف شوری ۰، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میکرومولار کلرید سدیم در خاک با باکتری زیستی *آزوسپریلیوم* تلقیح داده شد و مشاهده گردید ارتفاع ساقه، طول ریشه، وزن تر و خشک گیاه، سطح برگ و محتوای کلروفیل به طور معنی‌داری در گیاهان تلقیح داده شده در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت (خلید و همکاران ۲۰۱۷). برنامه‌ریزی دقیق و ارائه راهکارهای مناسب جهت حل مشکل شوری بسیار حائز اهمیت است (حیدری شریف آباد ۲۰۰۱). با توجه به گستردگی قابل تأمل خاک‌های شور در ایران و نظر به جایگاه و اهمیت چمن به عنوان مهم‌ترین گیاه پوششی و همچنین بهبود پارامترهای مربوط به رشد و عملکرد گیاهان، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر دو نوع باکتری محرک رشد *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی فستوکای بلند تحت شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در مرکز تحقیقات گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) اجرا گردید. به منظور جلوگیری از آلودگی احتمالی قارچی، ابتدا بذرها به مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد ضدعفونی و بعد از آن با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس تلقیح بذرها با سوسپانسیون‌های باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* (*Azotobacter chroococcum*) و *آزوسپیریلوم لیپوفروم* (*Azospirillum lipoferum*) (جمعیت باکتری برابر 10^8 کلونی بر میلی‌لیتر) که در محیط کشت TSB (Tryptic soybroth) درون انکوباتور کشت داده شده بودند، صورت گرفت (خالق‌نژاد و جباری ۲۰۱٤). بعد از آن، تعداد ۲۵۰ عدد بذر در هر یک از گلدان‌های شش لیتری حاوی بستر کشت خاکی کشت گردید. بدین ترتیب، اولین زمان تلقیح به هنگام کشت بذر و دو زمان دیگر با فواصل یک و چهار ماه به صورت تزریق یک سی‌سی از سوسپانسیون باکتری‌ها در بستر کشت صورت گرفت و بلافاصله بعد از تلقیح، آبیاری انجام شد (کندیل و همکاران ۲۰۰٤). تیمارهای شوری نیز در پنج سطح صفر (آب مقطر)، ٤، ٦، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بلافاصله پس از سرزنی اول و بعد از آن سه مرتبه در هفته تا پایان آزمایش همراه با آب آبیاری اعمال شد. کنترل شوری با اعمال برخه آبشویی ۱۵ درصد صورت گرفت که بر طبق آن، EC خروجی باید کمتر یا در حد یک و نیم برابر EC ورودی باشد. لذا بمنظور کنترل شوری خاک، آب زهکش گلدان‌ها بررسی شده و حجم آب لازم برای آبیاری با توجه به میزان رشد گیاه و شوری آب زهکش افزایش یافت به طوریکه EC خاک در طول مراحل آزمایش ثابت ماند. گیاهان فستوکای بلند در محیط گلخانه با دمای ۲۸-۲۵ درجه در روز و ۱۷ درجه سانتی-گراد در شب نگهداری شدند. در طول دوره رشد پس از پایان پنج هفته اول، قارچ‌کش‌های بنومیل و کاربندازیم با غلظت یک در هزار به صورت یک هفته در میان در خاک چمن بکار برده شد. همچنین عمل سرزنی گیاهان زمانی که ارتفاع آن‌ها حدود نُه سانتی‌متر رسید، صورت گرفت تا ارتفاع آن‌ها در حدود شش سانتی‌متر حفظ شود، نمونه‌های سرزده شده خشک و نگهداری شد. دوره رشد گیاهان از زمان کشت بذر تا خارج کردن گیاهان از گلدان-ها، ۷ ماه به طول انجامید. پس از دوره رشد، گیاهان برداشت و ریشه و اندام هوایی جدا گردید.

ارزیابی صفات

پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل (۵ سطح شوری × ۲ نوع باکتری محرک رشد و نمونه شاهد بدون باکتری) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. درون ۱۵ گلدان (تیمارهای *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و شاهد (بدون تلقیح) هر کدام پنج گلدان) خاک باغچه ریخته شد. سپس ۲۵ عدد بذر در هر گلدان کشت و ۲۵ سی‌سی سوسپانسیون کودهای زیستی به هر گلدان اضافه و در نهایت تعداد بذرهای سبز شده در هر گلدان شمارش گردید. جهت ارزیابی وزن تر و خشک چمن‌زنی با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تر گیاه اندازه‌گیری شد. وزن خشک نیز با قرار دادن نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در پایان کشت تعداد برگ‌ها در هر گیاه نیز شمارش گردید. همچنین میزان پتاسیم و سدیم اندام هوایی گیاه پس از برداشت، خشک کردن و عصاره‌گیری به وسیله دستگاه فلیم فتومتر(کادسون و پیترسون ۱۹۸۲)، میزان نیتروژن با استفاده از کجلدال (برمنر و مولوانی ۱۹۸۲) و میزان فسفر به روش اولسن و به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (اولسن و سومرز ۱۹۸۲). میزان پرولین نیز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر از طریق جذب نور در طول موج ٥٢٠ نانومتر اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر وزن تر گزارش شد (بیتس و همکاران ۱۹۷۳). همچنین ارزیابی میزان کلروفیل کل با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل D 6320) و از طریق جذب نوری محلول به دست آمده در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر صورت گرفت. همچنین از روابط زیر برای محاسبه میزان کلروفیل کل (برحسب میلی‌گرم در گرم بافت تازه برگ) استفاده شد (لی و همکاران ۲۰۰۹).

رابطه (۱)

$$Chl.a\ (mg.g^{-1}) = [(12.7*Abs_{663}) - (2.6*Abs_{645})] * V/W \times 1000$$
$$Chl.b\ (mg.g^{-1}) = [(22.9*Abs_{645}) - (4.68*Abs_{663})] * V/W \times 1000$$
$$Chl.total\ (mg.g^{-1}) = Chl.a + Chl.b$$

Abs 645 و Abs 663= جذب خوانده شده در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر، V= حجم استون بر حسب میلی‌لیتر و W= وزن تازه برگ بر حسب گرم) می‌باشد.

وسیله فلیم فتومتر (اولسن و سومرز ۱۹۸۲)، منیزیم به روش تیتراسیون و ازت با استفاده از کجلدال مدل ۳۲۰۰ اندازه‌گیری شد (بولتز و هوول ۱۹۷۸). برای اندازه‌گیری میزان آهک نیز از روش تیتراسیون با سود (پیج و همکاران ۱۹۸۲) و جهت تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری بایکوس (دی ۱۹٦٥) استفاده گردید. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کشت مورد استفاده در جدول (۱) بیان شده است.

ارزیابی خصوصیات شیمیایی بستر کشت مورد استفاده

بدین منظور، میزان pH با استفاده از دستگاه pH متر مدل ٢٦٢ در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط هدایت‌سنج متر- اهم مدل ٦٦٤ ارزیابی شد. میزان فسفر بسترهای کشت نیز طبق روش اولسن با استفاده از اسپکتروفتومتر، پتاسیم و سدیم به

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی بستر کشت مورد استفاده

بستر	بافت خاک	ظرفیت نگهداری رطوبت (٪)	آهک (٪)	EC (dS/m)	pH	Na (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (%)
ترکیب خاکی	شنی- لومی	۷۳	۱۲	۲/۳	۷/۳	۰/۱	۰/۳۵	۱۰	۲۰	۰/۲

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD انجام و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

رویش گیاهچه

اثر باکتری بر رویش گیاهچه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲) به‌طوری‌که بیشترین و کمترین رویش گیاهچه به‌ترتیب در تیمارهای *آزوسپیریلوم* و بدون تلقیح با میزان ۷۷/۶۰ و ۴۹/۶۰ درصد حاصل شد (جدول ۳). باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط تنش شوری، تأثیر مثبت و معنی‌داری را بر برخی از پارامترهای گیاه از جمله سرعت جوانه‌زنی بذر، تحمل به خشکی ناشی از شوری و همچنین رشد و عملکرد گیاه نشان دادند. تحمل گیاهان به تنش شوری در مراحل پس از جوانه‌زنی بذر به توانایی آن‌ها در تجمع و ذخیره مقادیر زیاد یون‌های سدیم و کلر در واکوئل وابسته است. همچنین افزایش طول و سطح ریشه بر اثر کاربرد این باکتری‌ها با توجه به تأثیر این ویژگی‌ها بر توان نفوذ و جستجوی ریشه در حجم زیادتری از خاک، یکی از مهم‌ترین اثرات و سازوکارهای این باکتری‌ها محسوب می‌شود (داس و همکاران ۲۰۱۳ و چادهاری و همکاران ۲۰۱۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر باکتری بر رویش گیاهچه فستوکای بلند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		رویش گیاهچه
باکتری	۲	۱۰۲۵/۰۷**
خطا	۱۲	۱۹/۶۰
ضریب تغییرات (٪)		۶/۷۷

** بیاگر معنی‌دار شدن در سطح احتمال ۱ درصد می باشد.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر باکتری بر رویش گیاهچه فستوکای بلند

باکتری	رویش گیاهچه (٪)
بدون تلقیح	۴۹/۶۰
آزوسپیریلوم	۷۷/۶۰
ازتوباکتر	۶۸/۸۰
LSD	۶/۱۰

وزن تر و خشک چمن‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر باکتری و اثر متقابل باکتری و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد و اثر تنش شوری در سطح پنج درصد بر وزن تر چمن‌زنی فستوکای بلند در هفته دهم و تعداد برگ در هفته پانزدهم معنی‌دار شد. همچنین اثر باکتری، تنش

شوری و اثر متقابل باکتری و تنش شوری بر وزن تر چمن‌زنی در هفته پانزدهم، کلروفیل کل در هفته دهم و پانزدهم و تعداد برگ در هفته دهم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در حالی که، اثر تنش شوری و اثر متقابل باکتری و تنش شوری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر باکتری در سطح پنج درصد بر وزن خشک چمن-زنی فستوکای بلند در هفته دهم و پانزدهم معنی‌دار گردید (جدول ٤).

در هفته دهم بیشترین وزن تر چمن‌زنی در سطح شوری شش دسی‌زیمنس بر متر به همراه *آزوسپیریلوم* با میزان ۱۰/٤۲ گرم و کمترین میزان در سطوح بدون شوری و *آزوسپیریلوم* و چهار دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح به‌ترتیب با ٥/٤۹ و ٥/۷۲ گرم مشاهده شد. در هفته پانزدهم نیز بیشترین وزن تر چمن‌زنی فستوکای بلند در سطوح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* به‌ترتیب با ۷/۹۸ و ۷/٤۱ گرم حاصل شد. کمترین میزان نیز در سطوح شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح به ترتیب با ۳/٤۸ و ۳/۹۷ گرم مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمون تی با نمونه‌های جفتی اثر گذشت زمان بر وزن تر چمن‌زنی در اکثر تیمارها معنی‌دار گردید به طوری که با گذشت زمان وزن تر چمن‌زنی در اکثر تیمارها به جز شوری صفر به همراه *آزوسپیریلوم* و شوری ٤ دسی-زیمنس بر متر بدون تلقیح کاهش یافت (جدول ٥). همچنین در هفته دهم بیشترین وزن خشک چمن‌زنی در سطوح شوری هشت و شش دسی‌زیمنس بر متر به همراه *آزوسپیریلوم* به ترتیب با میزان ۲/۸٦ و ۲/٥۹ گرم و کمترین میزان در تیمار شاهد به همراه *آزوسپیریلوم* و شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح به ترتیب با ۱/۱۳ و ۱/۲۹ گرم مشاهده گردید. در هفته پانزدهم نیز بیشترین وزن خشک چمن‌زنی در سطوح شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* به ترتیب با ۱/۸۹ و ۱/۸٥ گرم حاصل شد. کمترین میزان نیز در سطوح شوری شش و هشت دسی‌زیمنس بر متر به همراه *آزوسپیریلوم* به ترتیب با ۱/۰۲ و ۱/۰۳ گرم مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمون تی با نمونه‌های جفتی اثر گذشت زمان بر وزن خشک چمن‌زنی در برخی از تیمارها معنی‌دار گردید به‌طوری که با گذشت زمان، وزن خشک چمن‌زنی در این تیمارها به جز تیمار بدون شوری به همراه *آزوسپیریلوم* کاهش یافت (جدول ٥).

تنش شوری با تأثیر بر پتانسیل اسمزی خاک و گیاه، میزان تعرق و محتوای نسبی آب برگ را تحت تأثیر قرار داده و در نهایت موجب کاهش فتوسنتز و وزن تر و خشک گیاه می‌شود (زائو و همکاران ۲۰۰۷). با افزایش غلظت املاح در محلول خاک، فشار اسمزی منفی‌تر شده، بدین ترتیب جذب آب توسط ریشه‌ها کاهش و تولید آبسزیک اسید در آن‌ها افزایش می‌یابد که از طریق آوند-های چوبی به بخش‌های هوایی گیاه منتقل شده و در نهایت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش خصوصیات رشدی گیاه را باعث می‌شود (تالات و همکاران ۲۰۱٥ و هومائی ۲۰۰۲). در شرایط تنش شوری انتقال مواد فتوسنتزی تحت تأثیر قرار گرفته که موجب اشباع شدن برگ‌ها از این مواد و در نتیجه محدود شدن فرآیند فتوسنتز و کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (نادم و همکاران ۲۰۱٤). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد سبب خنثی نمودن شرایط نامساعد تنش و تقویت خصوصیات رشدی گیاه گردید.

علاوه بر موارد ذکر شده، باکتری‌های محرک رشد با تولید سیدروفورها و مواد کلات‌کننده میزان فراهمی عناصر کم مصرف در شرایط تنش شوری را افزایش می‌دهند بنابراین گیاهان می‌توانند دامنه وسیعی از تنش‌های محیطی را تحمل نمایند (هیات و همکاران ۲۰۱۰). یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های رشد تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد، تغییر در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سیستم ریشه‌ای گیاه است. باکتری‌های محرک رشد از طریق گسترش ریشه‌ها، افزایش تعداد ریشه‌های جانبی، ریشه‌های موئین و همچنین حجم و

وزن ریشه‌ها، موجب افزایش سطح ریشه، افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی و در نتیجه بهبود وضعیت آبی گیاه می‌شود (عسکری و همکاران ۲۰۰۹). همچنین باکتری‌های محرک رشد علاوه بر توانایی تثبیت نیتروژن سبب تولید ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و ویتامین‌ها می‌شوند که این ترکیبات موجب افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌شوند (اشرف‌الزمان و همکاران ۲۰۰۹). *آزوسپیریلوم* نیز در همان مراحل اولیه رشد گیاه، اثر برگشت‌ناپذیر خود را بر مورفولوژی و متابولیسم ریشه می‌گذارد. برخی پژوهشگران معتقدند تأثیر هورمونی القا شده در گیاه به وسیله *آزوسپیریلوم*، مستقیماً باعث تغییرات مشخص در مورفولوژی ساقه، نظیر افزایش قطر ساقه و افزایش پنجه‌زنی می‌گردد (جاکود و همکاران ۱۹۹۹). تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش جوانه‌زنی و پارامترهای رویشی نظیر طول اندام هوایی و سطح و تراکم ریشه توسط محققان دیگر روی گیاهان برنج (باست میا و همکاران ۲۰۱۲) و گندم (یوپادهایا و همکاران ۲۰۰۹) نیز گزارش شده است.

تعداد برگ

نتایج نشان داد در هفته دهم بیشترین تعداد برگ (۱۵۵ عدد) در حالت بدون شوری و به‌همراه *ازتوباکتر* مشاهده شد و کمترین (۹۰ عدد) میزان هم در شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر به‌همراه *آزوسپیریلوم* حاصل شد. در هفته پانزدهم نیز بیشترین تعداد برگ در شوری صفر به همراه *آزوسپیریلوم* با میزان ۲۱۰/۳۳ عدد و کمترین میزان در تیمار شاهد (بدون شوری وبدون تلقیح با باکتری) با ۱۳۷/۶۷ عدد مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمون تی با نمونه‌های جفتی اثر گذشت زمان بر تعداد برگ فستوکای بلند در تمامی تیمارها به‌جز بدون شوری و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* و شوری ٦ دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ٦). همچنین به نظر می‌رسد کاهش خصوصیات رشدی اندام هوایی چمن فستوکای بلند تحت تأثیر تنش شوری به علت اثر بازدارندگی آن روی تقسیم سلولی و توسعه نقطه رویش، جوانه‌ها و مریستم‌های انتهایی باشد (همایون و همکاران ۲۰۱۰).

کلروفیل کل

نتایج حاکی از آن است، در هفته دهم بیشترین و کمترین کلروفیل کل به ترتیب در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* و شاهد (شوری صفر و باکتری) به ترتیب با میزان ۰/٦٥٣ و ۰/۱۸۳ میلی‌گرم در گرم مشاهده گردید. در هفته پانزدهم نیز بیشترین و کمترین میزان به ترتیب در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *آزوسپیریلوم* و ٤ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* با میزان ۰/۷۹۱ و ۰/٤٤٣ میلی‌گرم در گرم مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمون تی با نمونه‌های جفتی اثر گذشت زمان بر میزان کلروفیل کل در تمامی تیمارها به جز سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* معنی‌دار گردید. به طوری که در تمامی تیمارهای معنی‌دار شده به جز تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* با گذشت زمان کلروفیل کل افزایش یافت (جدول ٦).

از دلایل افزایش غلظت کلروفیل در گیاه فستوکای بلند در برخی از تیمارها و در دامنه‌های بیشتر تنش شوری می‌توان به مکانیسم‌های تحمل به تنش در گیاه از قبیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ‌ها اشاره کرد (شیاب ۲۰۱۱). عامل مؤثر دیگر بر غلظت کلروفیل، سطح برگ می‌باشد که خود تابع میزان شوری محیط است. ممکن است تحت شرایط شوری سطح برگ کاهش یافته و علی‌رغم تخریب مولکول‌های کلروفیل توسط یون‌های سدیم، غلظت مولکول‌های باقیمانده در واحد سطح برگ افزایش یابد (سانی ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر افزایش میزان کلروفیل می‌تواند یکی از مکانیسم‌های افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری باشد که توسط باکتری‌های محرک رشد اعمال می‌شود. همچنین افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با باکتری می‌تواند

به دلیل بهبود وضعیت آبی گیاه، جذب بیشتر عناصر معدنی، تولید انواع آنتی‌بیوتیک‌ها و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها و جیبرلین‌ها باشد که باعث ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان تحت شرایط تنش می‌شوند و بر میزان تولید رنگیزه‌ها تأثیرگذارند (باریا و همکاران ۲۰۰۵ و جنسچک و همکاران ۲۰۰۰). در پژوهشی با افزایش تنش شوری تا سطح ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کلروفیل برگ گیاه سویا افزایش یافت که این افزایش کلروفیل با تیره شدن برگ‌ها همراه بود (وانگ و همکاران ۲۰۰۱).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر برخی از خصوصیات رویشی فستوکای بلند (هفته دهم و پانزدهم)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		هفته دهم				هفته پانزدهم			
		وزن تر چمن‌زنی	وزن خشک چمن‌زنی	تعداد برگ	کلروفیل کل	وزن تر چمن‌زنی	وزن خشک چمن‌زنی	تعداد برگ	کلروفیل کل
تنش شوری	٤	٢/٩٦*	٠/٥٣**	٢٨٥/٠٨**	٠/٠٣٤**	٨/٥٩**	٠/٢٦**	٢١٣/٤١*	٠/٠٢٦**
باکتری	٢	٧/٣٠**	٠/٢٥*	٣٠٨/٠٧**	٠/٠٧٩**	٣/٥٢**	٠/١٢*	١٣٠٣/٨٢**	٠/١١٢**
شوری × باکتری	٨	٨/٨١**	٠/٩٠**	١٤٩٩/٠٩**	٠/٠٢٠**	٤/٨٨**	٠/٣٣**	٩٨٧/٥٤**	٠/٠١٦**
خطا	٣٠	٠/٩٨	٠/٠٦	٣٢/٤٧	٠/٠٠٢	٠/٣٣	٠/٠٢	٧٤/٣١	٠/٠٠١
ضریب تغییرات (٪)		١٢/٦٢	١٣/٠٩	٤/٦٤	١٠/٥٧	١٠/٠٩	١١/٣١	٥/١٠	٥/٨٤

* و ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار شدن در سطوح آماری ٥ و ١ درصد می باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شوری و باکتری برای وزن تر و خشک چمن‌زنی (گرم) فستوکای بلند در زمان‌های مختلف

		وزن تر چمن‌زنی		وزن خشک چمن‌زنی		سطوح معنی‌داری اثر گذشت زمان	
شوری (dS/m)	باکتری	هفته دهم	هفته پانزدهم	هفته دهم	هفته پانزدهم	وزن تر چمن‌زنی	وزن خشک چمن‌زنی
٠	بدون تلقیح	٩/٤٣ ab A	٥/٢٢ ef B	٢/٠٤ cd A	١/١٤ ef B	٠/٠٢٣	٠/٠١١
	آزوسپیریلوم	٥/٤٩ e B	٦/٩٠ bc A	١/١٣ f B	١/٥٩ bc A	٠/٠٦٢	٠/٠٣٢
	ازتوباکتر	٩/٢٠ ab A	٦/٦٩ bc B	٢/٠٤ cd A	١/٦٠ bc A	٠/٠٥٠	٠/٠٦١
٤	بدون تلقیح	٥/٧٢ e B	٧/٩٨ a A	١/٢٩ f A	١/٨٩ a A	٠/٠٦٦	٠/٠٩٦
	آزوسپیریلوم	٩/٢٥ ab A	٥/٣٨ de B	١/٤١ ef A	١/٢٥ def A	٠/٠١٧	٠/١٧٠
	ازتوباکتر	٦/٢٣ de A	٦/٢٣ cd A	٢/٠٤ cd A	١/٠٥ f B	٠/٩٧٧	٠/٠١٩
٦	بدون تلقیح	٦/٨١ de A	٦/٩٩ bc A	١/٥٤ ef A	١/٦٧ ab A	٠/٨١٧	٠/٦٩١
	آزوسپیریلوم	١٠/٤٢ a A	٤/٣٥ fg B	٢/٥٩ ab A	١/٠٢ f B	٠/٠٠٣	٠/٠٢٣
	ازتوباکتر	٨/٦٢ bc A	٦/٢٤ cd B	٢/٠٦ cd A	١/٤٩ bcd A	٠/٢٠٥	٠/٠٨٦
٨	بدون تلقیح	٦/٦١ de A	٣/٤٨ g B	١/٥٢ ef A	١/٠٦ f A	٠/٠٠٦	٠/١٤٣
	آزوسپیریلوم	٨/٦٢ bc A	٤/٢٧ g B	٢/٨٦ a A	١/٠٣ f B	٠/٠٠٢	٠/٠١٦
	ازتوباکتر	٨/٥٤ bc A	٤/٣٧ fg B	٢/٠٥ cd A	١/٠٥ f B	٠/٠٣٦	٠/٠٣٩
١٢	بدون تلقیح	٦/٦١ de A	٣/٩٧ g B	٢/٤٤ bc A	١/٢١ ef A	٠/٠٠٩	٠/٠٦٠
	آزوسپیریلوم	٧/٤٠ cd A	٥/٣٤ de B	١/٩٧ d A	١/٣٤ cde B	٠/٠٧٠	٠/٠١٤
	ازتوباکتر	٨/٦٩ bc A	٧/٤١ ab B	١/٧٦ de A	١/٨٥ a A	٠/٠٢٩	٠/٨٠٩
	LSD	١/٦٥	٠/٩٥	٠/٤٢	٠/٢٥		

مقادیر در هر ستون با حروف کوچک یکسان، در سطح احتمال ٥ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند (اثر متقابل تنش شوری و باکتری).
مقادیر در هر ردیف با حروف بزرگ یکسان، بر اساس آزمون T-test تفاوت معنی‌داری ندارند (اثر گذشت زمان).

جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شوری و باکتری برای تعداد برگ و کلروفیل کل (mg/g) فستوکای بلند در زمان‌های مختلف

شوری (dS/m)	باکتری	تعداد برگ		کلروفیل کل		سطح معنی‌داری اثر گذشت زمان	
		هفته دهم	هفته پانزدهم	هفته دهم	هفته پانزدهم	تعداد برگ	کلروفیل کل
۰	بدون تلقیح	۱۰۳/۳۳ h B	۱۳۷/۶۷ g A	۰/۱۸۳ f B	۰/۶۴۳ de A	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
	آزوسپیریلوم	۱۱۰/۰۰ gh B	۲۱۰/۳۳ a A	۰/۲۹۰ e B	۰/۶۱۷ ef A	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
	ازتوباکتر	۱۵۵/۰۰ a A	۱۷۳/۰۰ cde A	۰/۳۸۰ c B	۰/۴۹۰ hij A	۰/۱۰۲	۰/۰۸۰
٤	بدون تلقیح	۱۳۸/۰۰ bcd B	۱۷۲/۶۷ cde A	۰/۲۹۷ e B	۰/۵۳۹ gh A	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱
	آزوسپیریلوم	۹۰/۰۰ i B	۱۷۷/۰۰ bc A	۰/۴۲۷ bc B	۰/۶۲۵ ef A	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹
	ازتوباکتر	۱۱۱/۳۳ fgh B	۱۶۷/۰۰ c-f A	۰/۴۷۳ b A	۰/۴۴۳ j A	۰/۰۱۵	۰/۵۱۸
٦	بدون تلقیح	۱۳۴/۶۷ cd A	۱۶۱/۶۷ def A	۰/۳۶۳ cd B	۰/۴۷۹ ij A	۰/۱۷۱	۰/۰۱۱
	آزوسپیریلوم	۱۲۸/۶۷ de B	۱۷۶/۰۰ bcd A	۰/۳۹۰ c B	۰/۷۰۲ bc A	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸
	ازتوباکتر	۱۱۳/۳۳ fg B	۱۶۴/۶۷ c-f A	۰/۳۹۰ c B	۰/۵۷۲ fg A	۰/۰۰۵	۰/۰۵۲
۸	بدون تلقیح	۱۱۱/۳۳ fgh B	۱۵۵/۰۰ f A	۰/۴۱۳ bc B	۰/۷۵۸ ab A	۰/۰۲۴	۰/۰۰۳
	آزوسپیریلوم	۱۲۰/۰۰ ef B	۱۶۰/۶۷ ef A	۰/۳۰۷ de B	۰/۶۹۷ cd A	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
	ازتوباکتر	۱۴۵/۳۳ b A	۱۶۸/۳۳ c-f A	۰/۳۸۰ c B	۰/۵۴۳ gh A	۰/۱۱۴	۰/۱۷۲
۱۲	بدون تلقیح	۱۳۳/۶۷ cd B	۱۶۵/۰۰ c-f A	۰/۳۱۰ de B	۰/۶۳۳ e A	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
	آزوسپیریلوم	۱۴۰/۰۰ bc B	۱۵۶/۰۰ f A	۰/۳۹۰ c B	۰/۷۹۱ a A	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱
	ازتوباکتر	۱۰۷/۳۳ gh B	۱۸۹/۶۷ b A	۰/۶۵۳ a A	۰/۵۲۳ ghi B	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶
	LSD	۹/۵۰	۱۴/۳۸	۰/۰۶۶	۰/۰۵۹		

مقادیر در هر ستون با حروف کوچک یکسان، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌دار ندارند (اثر متقابل تنش شوری و باکتری).
مقادیر در هر ردیف با حروف بزرگ یکسان، بر اساس آزمون T-test تفاوت معنی‌داری ندارند (اثر گذشت زمان).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر میزان عناصر غذایی و پرولین فستوکای بلند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سدیم	پرولین
تنش شوری	٤	۰/۳۳**	۰/٤۱**	۰/۰۸**	۰/۱٤**	۱۱٦٤/۰۹**
باکتری	۲	۰/۸۵**	۰/۲۸**	۰/۰۱ ns	۰/۰۸**	۲۲٦/۳۰**
شوری × باکتری	۸	۰/۰۳**	۰/۱۳**	۰/۰۲**	۰/۰۲**	۸۵/۳۹**
خطا	۳۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰۵	۰/۷۳
ضریب تغییرات (٪)		۲/۸٤	۲/۷۰	۵/۸٤	٦/۰۵	۲/۲۹

ns: و **، بیانگر غیر معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می باشد.

میزان عناصر غذایی و پرولین

اثر تیمارهای شوری، باکتری و اثر متقابل تنش شوری و باکتری بر میزان نیتروژن، فسفر، سدیم، پرولین و همچنین اثر شوری و اثر متقابل شوری و باکتری بر میزان پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). نتایج نشان داد، بیشترین و کمترین میزان نیتروژن به ترتیب در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* و شاهد (شوری صفر و تلقیح) با میزان ۳/۱۸ و ۲/۰٦ درصد حاصل شد (شکل ۱).

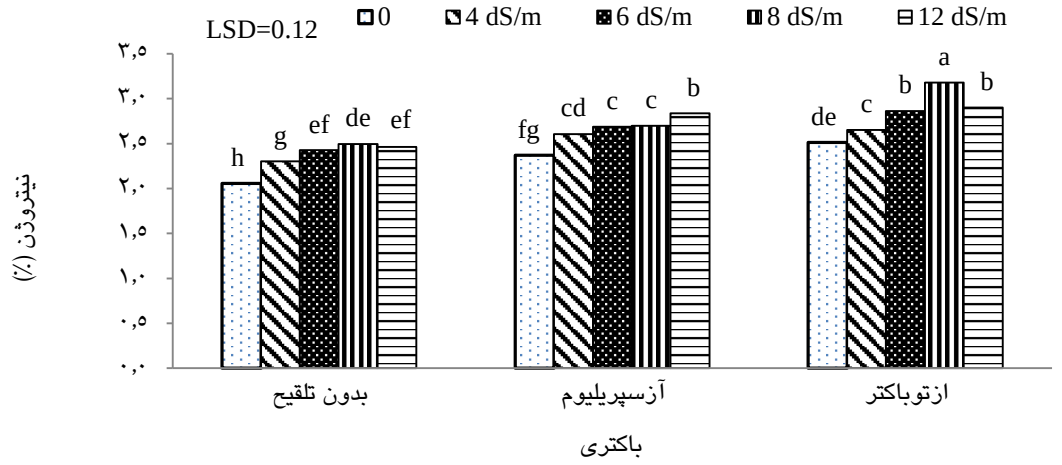
همچنین بیشترین و کمترین میزان فسفر به ترتیب در تیمارهای *آزوسپیریلوم* بدون تنش شوری و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بدون تلقیح با میزان ۲/۴۱ و ۱/۳۰ درصد حاصل شد (شکل ۲). *آزوسپیریلوم* از طریق سنتز و آزادسازی اسیدهای آلی مانند فرمیک اسید و هورمون-های گیاهی در خاک باعث انحلال فسفر نامحلول شده و از این طریق سبب تحریک منشعب شدن ریشه، افزایش زیست توده ساقه و ریشه، تحریک چرخه تولید مثلی، افزایش نفوذپذیری ریشه و در نتیجه جذب عناصر معدنی از قبیل فسفر در گیاه می‌شود (افتخاری و همکاران ۲۰۱۲ و باشان و دی‌باشان ۲۰۱۰). *ازتوباکتر* نیز با ساخت ویتامین‌های B1، B2، B6، B12، پانتوتنیک اسید، نیکوتینیک اسید، اسید مالیک، اسید سیتریک و سنتز اسیدهای آمینه آرژینین، لیزین، تریپتوفان، هیستیدین، سیستئین، پالمتیک اسید و گلوتامیک اسید، ضمن تحریک رشد ریشه سبب هدایت یون‌های ضروری به بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (تالات و همکاران ۲۰۱۵). بر طبق نتایج، ازتوباکتر در مقایسه با نیتروژن بر میزان فسفر گیاه تأثیر، کمی دارد. این باکتری، یک باکتری آزاد تثبیت کننده نیتروژن در محیط است. البته ممکن است برخی از سویه‌ها دارای توان حل‌کنندگی فسفات و فعالیت فسفاتازی بالا و برخی دارای فعالیت فسفاتازی ضعیفی باشند (کانگ و همکاران ۲۰۱٤).

نارولا و همکاران (۲۰۰۰)، در یک آزمایش گلخانه-ای تلقیح ژنوتیپ‌های گندم را با ازتوباکتر حل‌کننده فسفات در سطوح مختلف کود نیتروژنی و فسفری بررسی و گزارش نمودند که میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهان مذکور به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته است. در پژوهشی دیگر مشاهده شد، تیمار حاوی ترکیب *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* بر میزان جذب فسفر توسط ساقه گیاه نخود تأثیرگذار بود (رخزادی و توآشیح، ۲۰۱۱).

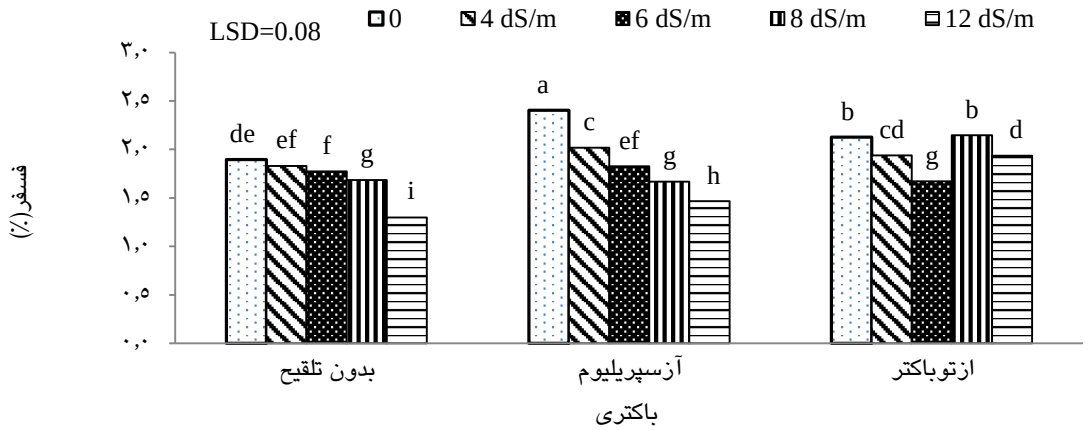
بیشترین میزان پتاسیم نیز در تیمار شاهد (شوری صفر و تلقیح) با میزان ۱/٤۷ درصد و کمترین میزان در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *ازتوباکتر* و شوری ٦ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به همراه *آزوسپیریلوم* به ترتیب با میزان ۱/۰۵، ۱/۰۵ و ۱/۰٦ درصد مشاهده شد (شکل ۳). بیشترین میزان سدیم نیز در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و *آزوسپیریلوم* با میزان ۰/۷۲ درصد و کمترین میزان در تیمار شوری صفر به همراه تیمارهای بدون تلقیح، *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به ترتیب با میزان ۰/۲۰، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ درصد حاصل شد (شکل ٤). افزایش سدیم در اندام‌های هوایی گیاه تحت تنش شوری احتمالاً به علت افزایش یون محلول سدیم در خاک است. قابلیت دسترسی پتاسیم با کاهش محتوای آب خاک در گیاه کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل اثرات آنتاگونیستی سدیم و پتاسیم و انتقال آن‌ها توسط یک پروتئین مشترک، جذب پتاسیم توسط یون سدیم کاهش یافت (زوکارینی ۲۰۰۸ و پرویز و ساتیاواتی ۲۰۰۸).

از طرفی، با افزایش سطح شوری در شرایط بدون تلقیح باکتری میزان پرولین گیاه افزایش یافت. در حالی که با تلقیح باکتری آثار سوء تنش شوری کاهش و در نتیجه میزان پرولین نیز کاهش یافت. نتایج نشان داد، بیشترین میزان پرولین گیاه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تلقیح با میزان ۵۸/۳٦ (میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین میزان در تیمارهای شوری صفر به همراه *ازتوباکتر* و بدون تلقیح به ترتیب با میزان ۱۹/٦۷ و ۱۹/۸۷ (میلی‌گرم در کیلوگرم) حاصل شد (شکل ۵). در شرایط تنش شوری به دلیل افزایش تجمع یون سدیم در سیتوزول، میزان پرولین افزایش یافت. تجمع پرولین جهت حفظ تعادل پتانسیل آب صورت می‌گیرد و با مقاومت در برابر هیدرولیز اسیدی اکسیداتیو به توکسین‌ها، کمترین اثر بازدارندگی را در رشد سلول‌ها در بین تمام اسیدهای آمینه به همراه دارد و با کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه شرایط لازم برای جذب

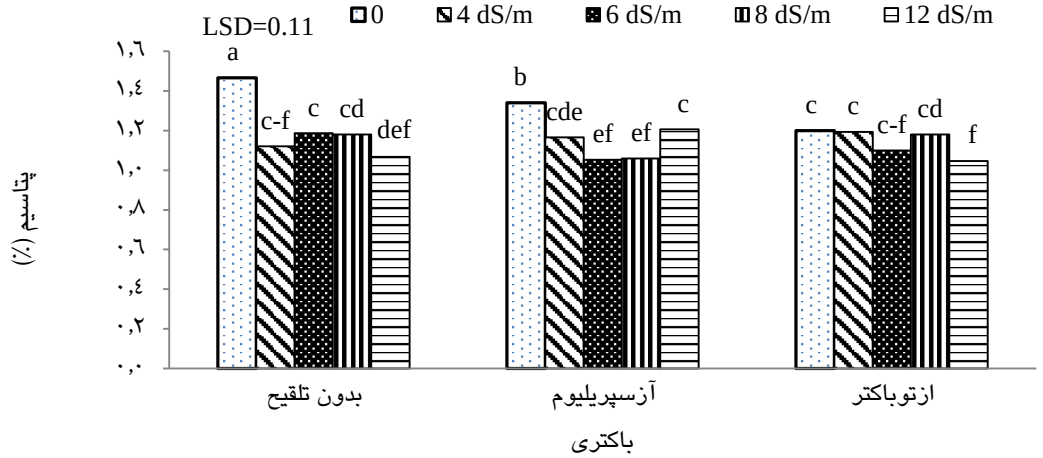
آب و عناصر غذایی را فراهم می‌نماید (کاوی کیشور و سرین واسولو ۲۰۱٤ و نصیرخان و همکاران ۲۰۰۷). باکتری‌های مورد بررسی از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محلول‌های سازگار مانند پرولین موجب کاهش اثرات سوء تنش شوری و افزایش رشد گیاه در شرایط تنش شده‌اند (نادونا و همکاران ۲۰۱۱). ممکن است باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های دفاعی دیگری باعث کاهش حجم مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شوند و در نتیجه آثار سوء تنش شوری را کاهش دهند (تالات و شاوکی ۲۰۱۳ و بایوئلو جیمنز و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به نتایج این پژوهش، *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* توانستند آثار سوء تنش شوری را کاهش و در نتیجه موجب بهبود خصوصیات ریخت شناسی و فیزیولوژی گیاهان فستوکای بلند شوند.



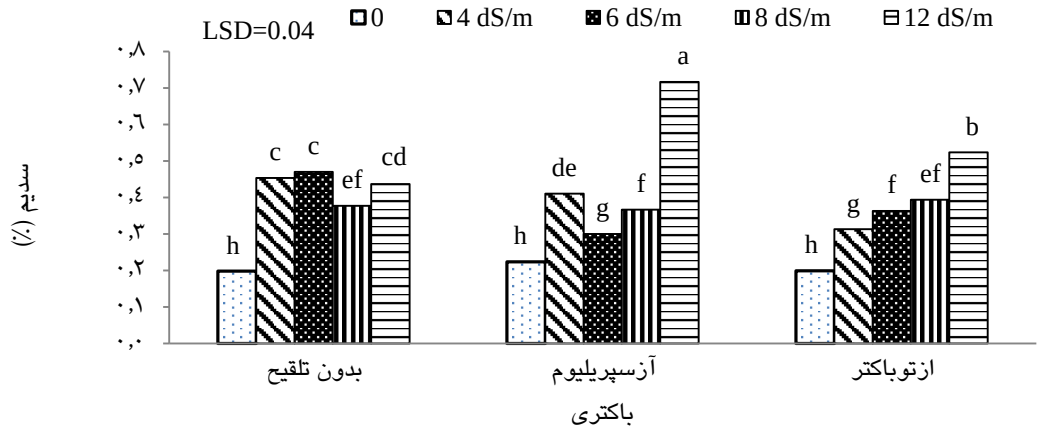
شکل ۱- میزان نیتروژن فستوکای بلند در ترکیب تیماری شوری و باکتری محرک رشد
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.



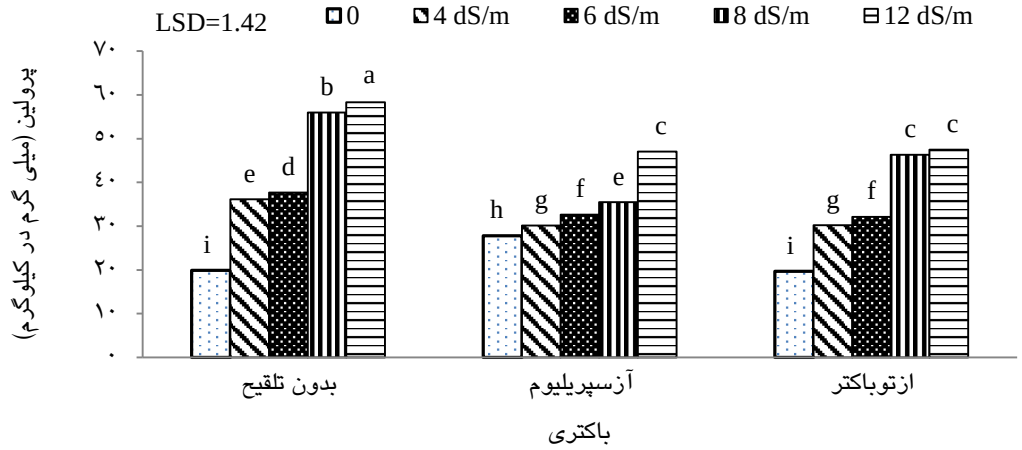
شکل ۲- میزان فسفر فستوکای بلند در ترکیب تیماری شوری و باکتری محرک رشد
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.



شکل ۳- میزان پتاسیم فستوکای بلند در ترکیب تیماری شوری و باکتری محرک رشد
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.



شکل ۴- میزان سدیم فستوکای بلند در ترکیب تیماری شوری و باکتری محرک رشد
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.



شکل ۵- میزان پرولین فستوکای بلند در ترکیب تیماری شوری و باکتری محرک رشد
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تلقیح بذر فستوکای بلند با باکتری‌های محرک رشد توانست آثار سوء تنش شوری را بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی گیاه کاهش دهد. به طوری که، تلقیح بذر گیاه فستوکای بلند در شرایط تنش شوری با باکتری *ازتوباکتر* توانست بر میزان نیتروژن و سدیم در سطوح پایین‌تر شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر)، تعداد برگ گیاه، میزان کلروفیل و وزن خشک چمن‌زنی تأثیرگذار باشد. در حالی که، میزان نیتروژن و سدیم در سطوح بیشتر شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، فسفر، پتاسیم و وزن تر و خشک چمن‌زنی تحت تأثیر تلقیح بذر گیاه با باکتری *آزوسپیریلوم* بهبود یافت و بیشترین میزان را نشان داد. میزان پرولین نیز با افزایش سطوح شوری در تیمارهای بدون تلقیح باکتری افزایش یافت. بنابراین با در نظر گرفتن سطوح شوری، شرایط محیطی و نوع گیاه و به منظور بهبود شرایط رشد و نمو و تغذیه‌ای گیاه، تیمار کودهای زیستی توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Aldous DE and Chivers IH, 2002. Sports Turf and Amenity Grasses, a manual for use and identification. Landlinks Press. pp. 221.

Ashrafuzzaman M, Hossen FA, Razi IM, Anamul HM, Zahurul IM, Shahidullah SM and Sariah M, 2009. Efficiency of plant growth- promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. African Journal of Biotechnology, 8: 1247-1252.

Askary M, Mostajeran A and Amooaghaei R, 2009. Influence of the co-inoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobum meliloti* plus 24-D on grain yield and N P K content of *Triticum aestivum* (Cv Baccros and Mahdavi). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 5: 296-307.

Babaloa OO, 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. Biotechnology Letters, 32: 1559–1570.

Baniaghil N, Arzanesh MH, ahlegha Ghorbanli M and Shahbazi M, 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters, antioxidant enzymes and microelements of Canola under salt stress. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 3: 17-27.

Barea JM, Pozo MJ and Azcon-Aguilar R, 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany, 56: 1761-1775.

Baset Mia MA, Shamsuddin ZH and Mahmood M, 2012. Effects of rhizobia and plant growth promoting bacteria inoculation on germination and seedling vigor of lowland rice. African Journal of Biotechnology, 11: 3758-3765.

Bashan Y and de-Bashan LE, 2010. Chapter two—How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth–a critical assessment. Advances in Agronomy, 108: 77–136.

Bashan Y, de-Bashan LE, Prabhu SR and Hernandez JP, 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). Plant Soil, 378: 1–33.

Bates LS, Waldern RP, and Tear ID, 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Bayuelo-Jimenez JS, Jasso-Plata N and Ochoa I, 2012. Growth and physiological responses of *Phaseolus* species to salinity stress. International Journal of Agronomy. 1–13.

Boltz DF and Howell JA, 1978. Colorimetric determination of nonmetals. John Wiley and Sons, New York, pp. 197-202.

Bulgarelli D, Schlaeppi K, Spaepen S, Van Themaat EVL and Schulze-Lefert P, 2013. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. Annual Review of Plant Biology. 64: 807-838.

Chaudhary D, Narula N, Sindhu SS and Behl RK, 2013. Plant growth stimulation of wheat (*Triticum aestivum* L.) by inoculation of salinity tolerant *Azotobacter* strains. Physiology and Molecular Biology of Plants, 19: 515–519.

Das AJ, Kumar M and Kumar R. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): an alternative of chemical fertilizer for sustainable, environment friendly agriculture. Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences. 1: 21-3.

Day R, 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In*: A. L. Page (Eds.), Methods of Soil Aanalysis. Part 1, PP: 545-566.

Eftekhari SA, Ardakani MR, Rejali F, Paknejad F and Hasanabadi T, 2012. Phosphorus absorption in barley (*Hordeum vulgare* L.) under different phosphorus application rates and co-inoculation of *Pseudomonas fluorescence* and *Azospirillum lipoferum.* Annals of Biological Research, 3: 2694-2702.

Fahad S, Hussain S, Bano A, Saud S, Hassan S, Shan D, Ahmed Khan F, Khan F, Chen Y, Wu C, Tabassum MA, Chun MX, Afzal M, Jan A, Tariq Jan M and Huang J. 2015. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. Environmental Science and Pollution Research. 22: 4907–4921.

Gagne-Bourgue F, Aliferis KA, Seguin P, Rani M, Samson R and Jabaji S, 2013. Isolation and characterization of indigenous endophytic bacteria associated with leaves of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. Journal of Applied Microbiology, 2: 40-47.

Garrido Y, Tudela JA, Marín A, Mestre T, Martínez V and Gil MI, 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multileaf lettuce caused by salt stress. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94: 1592-1599.

Hamayun M, Khan SA, Khan AL, Shin JH and Lee IJ, 2010. Exogenous gibberellic acid reprograms soybean to higher growth, and salt stress tolerance. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 7226–7232.

Hamidi A, Ghalavand A, Dehghan Shoar M, Malakooti M and Chogan R, 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield of forage corn. Journal of Research and Production, 70: 16-22.

Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R and Ahmed I, 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. Annals of Microbiology, 60: 579–598.

Heydari Sharifabad H, 2001. Plant and Salinity. Iran jungle and Rangland Research Institute. p199.

Homaei M, 2002. Plant Response to Salinity. National Committee on Irrigation and Drainage Publications. No, 58.

Ilangumaran G and Smith DL, 2017. Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Amelioration of Salinity Stress: A Systems Biology Perspective. Frontiers in Plant Science, 8: 1-14.

Jacoud C, Job D, Wadoux P and Bally R, 1999. Initiation of root growth stimulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination. Canadian Journal of Microbiology, 45: 339-342.

Jenschke G, Brandes B, Kuhn AJ, Schoder WH, Becker JS and Godlbdd DL, 2000. The mycorrhizal fungus Paxillus in volutes magnesium to Norway spruce seedlings. Evidence from stable isotope labeling. Plant and Soil, 220: 243-246.

Kandil AA, Badawi MA, EL-Moursy SA and Abdou MA, 2004. Effect of planting dates, nitrogen levels and bio-fertilization treatments on growth attributes of sugar beet (*Beta vulgaris*, L.). Basic and Applied Sciences, 5: 227-237.

Kang SM, Khan AL, Waqas M, You YH, Kim JH, Kim JG, Hamayun M and Lee IJ, 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus*. Journal of Plant Interactions, 1: 673–682.

Kavi Kishor PB and Sreenivasulu N, 2014. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? Plant, Cell and Environment, 37: 300-11.

Kemin Su, Dale J, Bremer, Steven J. Keeley and Jack D, 2007. Effects of high temperature and drought on a hybrid bluegrass compared with *Kentucky bluegrass* and tall fescue. Crop Science Society of America, 5: 2152-2161.

Khaleghnezhad V, Jabbari F, 2014. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed inoculation with rhizobium strains and plant promoting rhizobacteria (PGPR) on growth indices and photoassimilate partitioning under rainfed and irrigated conditions. Iranian Journal of Pulses Research, 5: 45-56.

Khalid M, Bilal M, Hassani D, Iqbal HMN, Wang H and Huang D, 2017. Mitigation of salt stress in white clover (*Trifolium repens*) by *Azospirillum brasilense* and its inoculation effect. Botanical Studies, 58: 5, https://doi.org/10.1186/s40529-016-0160-8.

Koochaki A, Tabrizi L and Ghorbani R, 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of hyssop *(Hyssopus officinalis).* Iranian Journal of Field Crops Research, 6: 127-137.

Kudsen D and Peterson GA, 1982. Lithium sodium and potassium. Pp: 225-245. In: A L Page, R H Miller, R Kenny.(eds.). Methods of soil analysis. Part2: Chemical and microbiological properties (2nd ED.). Agronomy 9.

Li G, Wan Sh, Zhou J, Yang Zh and Qin P, 2009. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus commonis* L.) seedlings to salt stress levels. Industrial Crops and Products, 31: 13-19.

Malakuti M, Keshavarz J, Saadat P and Khalatbarin B, 2002. Plant Nutrition under Salt Conditions. First End. Sana Publications. Department of Horticulture of Jihad-e-Agriculture Ministry, Tehran, p: 233.

Nadeem SM, Ahmad M, Zahir ZA, Javaid A and Ashraf M, 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. Biotechnology Advances, 32: 429–448.

Narula N, Kumar V, Behl RK, Deubel A, Gransee A and Merbach W, 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 163: 393–398.

Nasir Khan M, Siddiqui MH, Mohammad F, Masroor M, Khan A and Naeem M, 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. World Journal of Agricultural Sciences, 3: 685-695.

Ndona RK, Friedel JK, Spornberger A, Rinnofner T and Jezik K, 2011. Effective micro-organisms (EM): an effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. Biological Agriculture and Horticulture, 27: 189–204.

Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus. P. 403-430. In A.L Page (ed.). Methods of Soil Analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison WI, USA.

Page AL, Miller RH and Keeney DR, 1982. Methods of Soil Analysis. 2th ed. Part 2: Chemical and biological properties. Soil Science Society of America Inc. publisher.

Parvaiz A and Satyawati S, 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Plant, Soil and Environment, 54: 89-99.

Rokhzadi A and Toashih V, 2011. Nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with plant growth promoting rhizobacteria. Australian Journal of Crop Science, 5: 44-48.

Salahvarzy Y, Tehranfar A, Gzanchyan A and Aroei H, 2008. Physiomorphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic turfgrasses. Journal of Horticultural Science, 22: 1-12.

Sani B, 2013. Aminol-Forte, Hyomi-Forte, Kadostim and Phosnotron amino acids influence on agronomical characteristics in *Descurainia sophia* under water deficit conditions. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 5: 287-290.

Shiyab S, 2011. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food Agriculture and Environment, 9: 350-356.

Shiyab SM, Shatnawi MA, Shibli RA, Al Smeirat NG, Ayad J and Akash MW, 2013. Growth, nutrient acquisition and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. Journal of Plant Nutrition, 36: 665-676.

Stamenov D, Jarak M, Đurić S, Hajnal-Jafari T and Anđelković S, 2012. The effect of *Azotobacter* and *Actinomycetes* on the growth of english ryegrass and microbiological activity in its rhizosphere. Research Journal of Agricultural Science, 44: 93-99.

Talaat NB and Shawky BT, 2013. 24-Epibrassinolide alleviates saltinduced inhibition of productivity by increasing nutrients and compatible solutes accumulation and enhancing antioxidant system in wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Physiologiae Plantarum, 35: 729–740.

Talaat NB, Ghoniem AE, Abdelhamid MT and Shawky BT, 2015. Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. Plant Growth Regulation, 75: 281–295.

Upadhyay SK, Singh DP and Saikia R, 2009. Genetic diversity of plant growth promoting rhizobacteria from rhizospheric soil of wheat under saline conditions. Current Microbiology, 59: 489–496.

Vessey JK, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255: 271- 586.

Wang D, Shannon MC and Grieve CM, 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. Field Crops Research, 69: 267-277.

Yousefi S, Kartoolinejad D, Bahmani M and Naghdi R, 2017. Effect of *Azospirillum lipoferum* and *Azotobacter chroococcum* on germination and early growth of hopbush shrub (*Dodonaea viscosa* L.) under salinity stress. Journal of Sustainable Forestry, 2: 107-120.

Zahir AZ, Arshad M and Frankenberger WF, 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81: 97-168.

Zare M, Mehrabi Oladi AA and Sharaf zadeh Sh, 2006. Investigation of GA3 and Kinetin effects on seed germination and seedling growth of wheat under salinity stress. Journal of Agricultural Sciences, 12: 855-865.

Zhao GQ, Ma BL and Ren CZ, 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science, 47: 123-131.

Zuccarini P, 2008. Effect of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. Biology Planta, 52: 157-160.