نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۷ شماره ۴/ زمستان ۱۳۹۶

تاثیر سودوموناس فلورسنت و سودوموناس پوتیدا بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک و شاخص‌های عملکرد گندم تحت تنش شوری

راحله وفادار[۱]، اکبر قویدل[۲*]، اسماعیل گلی[۲]، علی اشرف سلطانی طولارود[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۶

۱-دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی
۲-به ترتیب استادیار، دانشیار، دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
*مسئول مکاتبه: Email: Ali.ghavidel@gmail.com

چکیده

جهت مطالعه نقش باکتری‌های *سودوموناس* بر شاخص‌های رشد گیاه گندم رقم گاسکوژن تحت تنش شوری و برخی شاخص‌های شیمیایی و زیستی خاک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در چهار سطح شاهد، ٦، ٨ و ١٠ دسی‌زیمنس بر متر و تلقیح با باکتری محرک رشد گیاه در سه سطح تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*، تلقیح با *سودوموناس پوتیدا* و بدون تلقیح بود. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش پارامترهای عملکرد گندم از جمله حجم ریشه، وزن‌تر و خشک ریشه، وزن‌تر و خشک اندام‌هوایی، مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل شده و تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس* موجب افزایش معنی‌دار این شاخص‌ها شد. بین دو باکتری تفاوت معنی‌داری از لحاظ تاثیر بر شاخص‌های رشد گیاه مشاهده گردید ولی در مورد اثر کلی دو باکتری نمی‌توان اظهار نظر دقیق داشت. نتایج نشان داد که با افزایش شوری شاخص‌های زیستی از جمله کربن زیتودهٔ میکروبی، تنفس خاک و تنفس برانگیخته کاهش یافته و کاربرد باکتری این صفات را افزایش داده است. با توجه به افزایش شاخص‌های زیستی خاک در اثر تلقیح، می‌توان نتیجه گرفت که تلقیح با باکتری با تاثیر مثبت بر رشد و عملکرد گیاه به طور غیرمستقیم باعث بهبود شاخص‌های زیستی خاک شده است. بنابراین در شرایط شوری می‌توان از باکتری‌های محرک رشد گیاه برای بهبود رشد و عملکرد گیاه از طریق فرایندهای تحریک رشد گیاه و به طور غیرمستقیم از طریق بهبود شاخص های زیستی خاک و در نتیجه بهبود شرایط حاصلخیزی و تغذیه گیاه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، *سودوموناس پوتیدا*، *سودوموناس فلورسنس*، شاخص‌های زیستی خاک، گندم

The Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida* on Some Soil Biological Properties and Plant Growth Indices of Wheat under Salt Stress

Raheleh Vafadar[1], Akbar Ghavidel[2*], Esmaiel Goli Kalanpa[2], Ali Ashraf Soltani[2]

Received: September 20, 2016 Accepted: October 18, 2017

1- MSc Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran.
2-Assist. Prof., Assoc. Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
*Corresponding Author: E-mail: Ali.ghavidel@gmail.com

Abstract

In order to study the effect of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida* on some soil biological properties and growth indices of wheat under salt stress and some of soil chemical and biological indices, a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was conducted. The factors were salinity at four levels, control, 6, 8 and 10 dS/m, and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria at three level, including no-inoculation, inoculation with *Pseudomonas putida* and inoculation with *Pseudomonas fluorescens*. The results showed that soil salinity significantly decreased plant yield parameters such as root volume, root fresh and dry weight, shoot fresh and dry weight, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and also the inoculation with *Pseudomonas* bacteria significantly increased these indices. Also, there was a significant difference between two *Pseudomonas* strains, however in general it was not possible to precisely compare two bacteria. On the other hand, the results showed that with increasing the salinity level, factors of soil biological properties such as microbial biomass carbon, basal respiration and substrate-induced respiration reduced and the use of bacteria has increased these traits. Regarding the soil biological indices that increased with the inoculation, it can be concluded that the inoculation indirectly increased soil biological indices by affecting plant growth and yield. Therefore, in the saline conditions plant growth promoting rhizobacteria could be used to directly increase plant growth and yield by plant promoting mechanisms and indirectly increase soil fertility condition and plant nutrition by increasing soil biological indices.

Keywords: *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, Salinity Stress, Soil Biological Indices, Wheat

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum L.*) به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در ایران و گیاهی نسبتاً متحمل به شوری، با آستانه تحمل به شوری ٦ دسی زیمنس بر متر، مطرح می‌باشد (کولمر ۲۰۰٦). شوری خاک، وجود مقادیر زیاد نمک بوده و یکی از اصلی‌ترین تنش‌های محیطی تأثیرگذار بر رشد گیاهان و محصولات تولیدی آن‌ها است (آلاخوردیف و همکارارن ۲۰۰۰).

اثرات این تنش ناشی از کاهش میزان آب در گیاه، عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه، سمیت یون‌های سمی مانند Na^+ و Cl^- و تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS[1]) می‌باشد (کافی و همکاران ۱۳۷۸). شوری نه تنها خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تاثیر قرارمی دهد بلکه خواص زیستی خاک را نیز متاثر می‌سازد (ریتز و هاینس ۲۰۰۳). نشان داده شده که افزایش شوری، مقدار تنفس خاک و زیتودهٔ میکروبی خاک را کاهش داده است (پاتاک و رائو ۱۹۹۸). همچنین تحقیقات نشان داده اند که شوری خاک موجب کاهش فعالیت آنزیمی خاک و کربن زیتودهٔ میکروبی می‌شود (باترا و مانا ۱۹۹۷) که این دو پارامتر از جمله شاخص های زیستی خاک محسوب می شوند. کاهش شاخص های زیستی در خاک‌های تحت تنش شوری، اغلب به افزایش پتانسیل اسمزی و سمیت یون‌های فراوان در شرایط شوری از قبیل سدیم و کلر نسبت داده شده است. باکتری‌های خاک‌زی که موجب افزایش رشد گیاه و عملکرد گیاهان مهم زراعی می‌شوند، اصطلاحاً ریزوباکتری‌های‌محرک رشد گیاه (PGPR[2]) نامیده می‌شوند. این باکتری‌ها از طریق تولید و ترشح مواد تنظیم کننده رشد گیاه (PGRs[3]) مثل اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها، فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله فسفر یا نتیروژن، مقابله با عوامل بیمارگر گیاهی و تعدیل یا خنثی نمودن اثرات منفی تنش‌های محیطی باعث بهبود کیفیت، افزایش رشد و عملکرد گیاه و در نتیجه افزایش تولید در واحد سطح می‌شوند (شارما ۲۰۰۳). یکی از دلایل کاهش یا عدم رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی مانند شوری، تجمع اتیلن در گیاه می‌باشد (مایاک و همکاران ۲۰۰٤). در این شرایط مقدار ACC[4] (پیش ماده ساخت اتیلن) در داخل گیاه افزایش می‌یابد که پیامد آن، افزایش سنتز اتیلن در بافت‌های گیاهی می‌باشد (مایاک و همکاران ۲۰۰٤). افزایش غلظت اتیلن در گیاهان، به‌ویژه در بیشتر دولپه‌ای‌ها، می‌تواند باعث کاهش جوانه‌زنی و رشد ریشه گردد. در مدل ارائه‌شده توسط گلیک و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهاد شده است که باکتری‌هایی با توانایی تولید آنزیم ACC دِآمیناز می‌توانند میزان اتیلن گیاه را کاهش دهند و در نتیجه اثرات سوء شوری را تعدیل نمایند. نادیم و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایشی گلدانی اثر سویه باکتری حاوی آنزیم ACC- دِآمیناز را در شوری‌های مختلف خاک (٤، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) بر عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا مورد بررسی قراردادند. ایشان اعلام نمودند که در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر سویه های *P. syringae* و *Pseudomonas spp.* رشد و عملکرد کلزا را بهبود بخشیده‌اند و نسبت K^+/Na^+ و میزان کلروفیل نیز افزایش‌یافته بود. سراواناکومار و سمیاپان در سال ۲۰۰۷ نیز گزارش دادند که *سودوموناس فلورسنس* دارای آنزیم ACC دِآمیناز در شرایط شور اثرات مثبتی بر برخی شاخص‌های رشد بادام‌زمینی داشته است.

با توجه به این که پارامترهای زیستی خاک به عنوان شاخص برای نشان دادن وضعیت حاصلخیزی و باروری خاک در نظر گرفته می شوند (ساویوزی و همکاران ۲۰۰۱) لذا می‌توان اظهار داشت که با کاهش هر کدام از پارامترهای زیستی خاک در اثر شوری، حاصلخیزی خاک کاهش یافته و در نتیجه رشد گیاه و تولید محصول نیز کاهش خواهد داشت. به عبارتی دیگر، شوری به صورت غیرمستقیم موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (شیرواستاوار و کومار ۲۰۱۵). از طرف دیگر، باکتری‌های محرک رشد گیاه با تاثیر مثبت بر رشد و عملکرد گیاه موجب بهبود رشد گیاه شده و از این طریق موجب تقویت ترشحات ریشه و در نتیجه تحریک رشد ریزموجودات ریزوسفری می‌شوند. افزایش رشد ریزموجودات ریزوسفری نیز موجب بهبود شاخص‌های زیستی خاک می گردند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر

[1] Reactive Oxygen Species
[2] Plant Growth Promoting Rhizobacteria
[3] Plant Growth Regulators
[4] 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate

شاخص‌های زیستی خاک مثبت بوده و تاثیر سوء شوری را جبران می نماید و در نهایت با غلبه بر تاثیر منفی شوری موجبات تقویت رشد گیاه را فراهم می‌آورد. با توجه به این که شاخص‌های زیستی خاک در کشاورزی پایدار بیش از پیش حائز اهمیت بوده و در رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، به ویژه محصول استراتژیک گندم تاثیرگذار می‌باشند، لذا هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تلقیح بذر گندم رقم گاسکوژن با باکترهای محرک *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* بر کاهش تاثیر سوء شوری بر رشد و عملکرد گندم و همچین تاثیر این تلقیح بر شاخص‌های زیستی خاک بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر رشد و نمو گیاه گندم تحت تنش شوری یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در چهار سطح (شاهد، ٦، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر)، باکتری در سه سطح (شاهد (بدون تلقیح)، تلقیح بذر با *سودوموناس پوتیدا* و تلقیح بذر با باکتری *سودوموناس فلورسنس*) (تهیه شده از کلکسیون میکروبی دانشگاه تهران) بود. برای انجام این آزمایش چهار نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نقاط مختلف شهرستان اردبیل برداشت شده و به آزمایشگاه علوم خاک دانشگاه محقق اردبیلی منتقل گردید. پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی-متری برخی خواص فیزیکی و شیمیایی از قبیل قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و pH در گل اشباع (گوپتا ۲۰۰٤)، نیتروژن کل به روش کجلدال (جونز ۲۰۰۱)، فسفر قابل آلی به روش والکی- بلک اندازه گیری شد (نلسون و سامرز ۱۹۹٦). در نهایت براساس نتایج اندازه‌گیری خواص مذکور، از بین چهار نمونه، یک نمونه خاک که خصوصیات آن در جدول ۱ ذکر شده است برای آزمایش گلخانه‌ای انتخاب گردید. برای انجام این تحقیق تعداد ۲ (*سودوموناس فلورسنس*، *سودوموناس پوتیدا*) باکتری محرک رشد جداسازی شده از خاک ریزوسفری گیاه کلزا بر اساس توانایی بالای آنها در صفات محرک رشد گیاهی (تولید هورمون اکسین، آنزیم ACC دآمیناز، تولید سیدروفور بالا و حل کنندگی فسفات‌های معدنی نامحلول) از کلکسیون میکروبی دانشگاه تهران انتخاب گردید. ابتدا ۲ ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط نوترینت براث تهیه گردید. برای تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته شد و تحت شرایط استریل به یکی از ارلن‌های مایر تهیه شده اضافه گردید. ارلن‌های مایر تلقیح شده با باکتری (۲ عدد) همراه با دو ارلن مایر تلقیح نشده به عنوان شاهد، روی شیکر با سرعت ۱۲۰rpm و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از ٤۸ ساعت مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی (9×10^{8} معادل لوله شماره سه استاندارد مک فارلند) آماده مصرف بودند. بذر گندم (*Triticum aestivum*) رقم کاسگوژن تهیه شده از مرکز تحقیقات بذر استان با استفاده از از الکل ۹٦ درصد به مدت یک دقیقه و هیپوکلریت ۱/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه استریل سطحی شد. سپس به منظور حذف هیپوکلریت، بذرها با آب مقطر استریل ۱۰ بار شستشو گردید. سپس بذرهای استریل سطحی شده به ارلن‌های حاوی مایه تلقیح باکتری‌های مورد مطالعه اضافه و به مدت ٤۵ دقیقه بر روی شیکر با دور ۱۲۰ و دمای ۲۸ درجه قرار داده شد. پس از طی زمان مذکور، در زیر لامینار بذرها از داخل ارلن خارج و به منظور جذب کامل باکتری‌ها روی سطح بذر و حذف رطوبت اضافی بر روی آلومینیوم فویل استریل منتقل و به مدت چند دقیقه زیر لامینار قرار داده شدند. سپس بلافاصله کشت انجام شد.

به‌منظور ایجاد شوری‌های ٦، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در نمونه خاک مورد مطالعه، پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ٤/۷۵ میلی‌متری به ترتیب ۳/۸٤۰، ۵/۱۲ و ٦/٤ گرم نمک NaCl به ازای هر کیلوگرم خاک توزین شد و در یک لیتر آب مقطر مخلوط و بعد از انحلال کامل نمک در آب، محلول نمک به گلدان‌های مورد نظر اضافه گردید. به منظور کامل شدن واکنش‌های شیمیایی،

گلدان‌های حاوی سه کیلوگرم خاک دارای غلظت‌های مختلف نمک به‌مدت یک ماه در دمای آزمایشگاه نگه‌دای شدند و در این مدت رطوبت گلدان ها در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه حفظ گردید. به منظور تهیه مایه تلقیح ابتدا یک لوپ از جدایه هرکدام از باکتری‌ها (*سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا*) که از کلکسیون باکتری دانشگاه تهران تهیه شده بود به ارلن-های ۵۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت براث انتقال داده شد و برای رشد سوسپانسیون مورد نظر روی شیکر با دور ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شد. در طول مدت رشدگیاه، آبیاری به وسیله آب مقطر انجام شد و رطوبت گلدان‌ها در حد ۷۰-۵۰ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد. دمای گلخانه ۳±۲٤ سانتی‌گراد و طول دوره روشنایی ١٦ ساعت و طول دوره تاریکی ۸ ساعت تنظیم شد. خاک مورد استفاده در این تحقیق از لحاظ نیتروژن فقیر بود؛ با وجود این، به دلیل این که این پژوهش قسمتی از یک پایان نامه بود که در آن از باکتریهای دیگری از جمله باکتری‌های دی‌آزوتروف استفاده شده بود، لذا برای اجتناب از تاثیر منفی نیتروژن معدنی بر کارآیی باکتری‌های دی‌آزوتروف، کود نیتروژنی به خاک اضافه نشد. آزمایش به مدت سه ماه به طول انجامید و پس از اتمام این مدت، برداشت صورت گرفت. پیش از برداشت، ارتفاع گیاه با متر اندازه‌گیری شده و سپس قسمت هوایی هر گیاه از نزدیک سطح خاک قطع گردید. به منظور تعیین وزن تر و خشک اندام هوائی گیاه، بخش هوایی گیاهان موجود در هر گلدان برداشت. وزن‌تر ریشه و اندام هوائی با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری و سپس برای اندازه گیری وزن خشک نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. حجم ریشه پس از شستشوی ریشه‌ها با آب مقطر با فروبردن ریشه های هر گیاه درون استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج دستی صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری کلروفیل a و b ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ را با استون ۸۰٪ به تدریج سائیده تا کلروفیل وارد محلول استنی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل صاف گردید و سپس جذب نوری محلول در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل طبق فرمول‌های زیر به دست آمد (آرنون ١٩٦٧).

Chl-a= [(12.7(A663) -2.69(A645)] ×v/1000w

W: وزن‌تر برگ (گرم)

Chl-b= [(22.9(A645) -4.68(A663)] ×v/1000w

V: حجم محلول کلروفیلی (میلی‌لیتر)

Chl-ab= [(20.2 (A645) - 8.02 (A663)] ×v/1000w

A: جذب نوری عصاره

در هنگام برداشت به مقدار لازم از خاک برای آزمایشات برداشته شد. ۲۵ گرم از خاک گلدان (مقدار خاک در روش اصلی ۲۰۰-۱۵۰ گرم بود) برای اندازه‌گیری کربن زیتودهٔ میکروبی مورد استفاده قرار گرفت. کربن زیتودهٔ میکروبی به روش تدخین- استخراج با کمی تغییرات انجام شد (علی‌اصغرزاد ۱۳۸۵). جهت اندازه گیری تنفس میکروبی مقدار ۲۰ گرم از خاک گلدان (دارای رطوبت ظرفیت زراعی) هر تکرار داخل ظروف درپوش‌دار ریخته شد؛ یک بشر حاوی ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۰۵ نرمال نیز در داخل ظروف درپوش‌دار قرار داده شد. سپس درب ظرف را بسته و به مدت ٢٤ ساعت داخل انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد (در روش اصلی ۲۵ درجه سانتی گراد بود) قرار داده شد. بعد از ٢٤ ساعت محتویات بشر به یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و ۲ میلی‌لیتر کلرید باریم ۰/۵ مولار به محتویات ارلن مایر اضافه گردیده و با HCL ۰/۱ نرمال تیتر شد (علی‌اصغرزاد ۱۳۸۵). جهت اندازه گیری تنفس برانگیخته (SIR) مقدار یک میلی لیتر از گلوکز ۱٪ (روش اصلی ٤۰۰ میلی گرم) را همراه با ۳ میلی لیتر آب مقطر

به عنوان سوبسترا به نمونه‌های خاک در ظرف پلاستیکی اضافه نموده، داخل انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ٦ ساعت (در روش اصلی ٤ ساعت) نگهداری نموده، سپس طبق روشی که برای تنفس خاک قید گردید عمل تیتراسیون انجام و مقدار SIR محاسبه گردید (علی اصغرزاد ۱۳۸۵). در پایان، داده های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹,۱ تجزیه و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

خواص فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت	رس	سیلت	شن	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	نیتروژن کل	EC	pH	فسفر	پتاسیم
			درصد				(dS/m)		میلی گرم در کیلوگرم خاک	
لوم	۲۵/۷	۳۳	٤۱/۳	۰/۹۷	۱/۲۵	۰/۱۹	۳/۸	۷/٦۵	۲۲	۹۲۰

حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه معنی دار ($P<0.01$) بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ها مشخص نمود که بیشترین حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه در ترکیب تیماری تلقیح بذر با *سودوموناس فلورسنس* و بدون شوری بود (جدول ۳). در این پژوهش با افزایش شوری به طور کلی حجم ریشه، وزن تر و وزن خشک ریشه کاهش یافت، به طوری که کمترین حجم ریشه در ترکیب تیماری بدون تلقیح بذر با باکتری و در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود و کمترین وزن تر و خشک ریشه در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر بود. در مورد وزن تر مشاهده شد که بیشترین وزن تر در شرایط بدون شوری به همراه تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* و کمترین وزن تر در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بدون تلقیح با باکتری بود. تغییرات وزن خشک نیز روند مشابهی داشت و بیشترین مقدار آن در شرایط بدون شوری و تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* و کمترین مقدار آن در شرایط شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بدون تلقیح مشاهده گردید. با توجه به مقایسه میانگین تاثیر تلقیح با باکتری در شرایط شوری بر پارامترهای عملکرد گندم، می توان اظهار داشت که به طور کلی تاثیر باکتری *سودوموناس فلورسنس* بیشتر از *سودوموناس پوتیدا* بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوائی معنی دار ($P<0.01$) است (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شوری، وزن تر و خشک اندام هوائی کاهش یافت و کاربرد باکتری این صفات را افزایش داد (جدول ۵). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوائی در ترکیب تیماری تلقیح بذر با *سودوموناس فلورسنس* بدون اعمال شوری بود. و کمترین وزن تر و خشک اندام هوائی در ترکیب تیماری بدون تلقیح بذر در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. همچنین در شوری ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر

تاثیر *سودوموناس پوتیدا* بر وزن خشک اندام هوائی کم شده احتمالا افزایش شوری باعث کاهش فعالیت *سودوموناس پوتیدا* شده است. در پژوهشی که روی تأثیر غلظت‌های نمک کلرید سدیم بر مورفولوژی ریشه گندم و جو انجام شده بود، گزارش گردید که با افزایش غلظت نمک، حجم ریشه در گندم و جو کاهش یافت (لال خاجانچتال ۲۰۰۷) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. اما کاربرد باکتری حجم و وزن تر وخشک ریشه را افزایش داده است که در این میان اثر *سودوموناس فلورسنس* بیشتر از *سوموناس پوتیدا* بود. در یک گزارش جامع، زهیر و همکاران (زهیر و همکاران ۲۰۰٤) اعلام کردند پاسخ گیاهان به تلقیح باکتری*PGPR* به زمان، نوع کاربرد و خاک‌های‌مختلف وابسته است. این باکتری‌ها محیط اطراف ریشه را کلنیزه کرده و با تولید متابولیت-هایی مانند سیدروفور، سیانید هیدروژن و آنتی بیوتیک-هایی مانند فنازین-۱- کربوکسیلات، pyoluteorin وDAPG (٤و۲- دی استیل فلورو گلوسینول) ترکیب میکروفلور ریزوسفر را تغییر می‌دهند (کرونیون و همکاران ۱۹۹۷). تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر پارامترهای عملکرد گیاه از مدت‌ها قبل به اثبات رسیده است. این باکتری‌ها عمل تحریک رشد گیاه را از طریق مکانیسم‌های مختلفی انجام می‌دهند. از جمله این مکانیسم‌ها می توان به کاهش تاثیر سوء اتیلن تنشی تولید شده در شرایطی مثل شوری و حضور فلزات سنگین اشاره کرد (علی و همکاران ۲۰۱٤). در همین راستا، تحقیقات نشان داده اند که باکتری‌های محرک رشد می توانند به گیاه در تحمل شرایط شوری خاک کمک کنند (شارویستاو و کومار ۲۰۱٤). از طرفی با توجه به هدف این تحقیق که تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های زیستی خاک بود، می توان انتظار داشت که تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد گیاه باعث شود تا جمعیت و فعالیت میکروبی در منطقهٔ ریزوسفر افزایش یافته و شاخص‌های زیستی خاک نیز در همین جهت افزایش یابند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر حجم و وزن تر و خشک ریشه

منابع تغییر	درجه آزادی	حجم ریشه	وزن‌تر ریشه	وزن خشک ریشه
شوری	۳	۳/۸۸**	۱/٦۹٥**	۰/۲۰٥**
باکتری	۲	٦/٤۰۷**	۸/۲۷۲**	۰/۱۲٦**
شوری*باکتری	٦	۰/٥٦۲**	۰/٤۹٤**	۰/۰۰۷**
خطا	۲٤	۰/۱۰۹	۰/۱۱	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات(٪)	-	٦/٤۷۹	۸/۸	۸/۳

ns، *و ** به ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر شوری بر کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد ($P<0.05$) و تاثیر شوری، باکتری و اثر متقابل این دو عامل بر همه پارامترهای کلروفیل اعم از کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل ab، و کلروفیل کل معنی دار ($P<0.01$) بوده است (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a در شرایط بدون شوری به همراه تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و کمترین مقدار آن در شرایط بدون تلقیح و بدون شوری بوده

است. در مورد کلروفیل b نیز بیشترین مقدار در شرایط بدون شوری به همراه تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس* و کمترین مقدار در شرایط شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و تلقیح با همان باکتری بوده است. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل ab نیز در شرایط بدون شوری به همراه تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس* و کمترین مقدار آن در شرایط بدون شوری و بدون تلقیح بوده است. این در حالی است که بیشترین مقدار کلروفیل کل در شرایط بدون شوری و کمترین مقدار آن در شرایط بدون شوری و بدون تلقیح مشاهده گردید. در شرایط تنش شوری افزایش غلظت نمک باعث افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز می‌گردد که باعث کاهش میزان کلروفیل می‌شود (ردی و وورا ۲۰۰۵). همچنین بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد نظیر آبسزیک اسید و اتیلن موجب افزایش فعالیت این آنزیم می شوند (درازکویچ ۲۰۰۰) همچنین تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش محتوای گونه-های فعال اکسیژن نیز بر ساختار کلروپلاست آسیب می-رساند و باعث کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (دیسینگ و کاناگاراج ۲۰۰۷). شارما و همکاران (۲۰۰۳) بامطالعه نقش تلقیح باکتری *سودوموناس* در گیاه لوبیا در شرایط تنش شوری نشان دادند که در شرایط تلقیح این باکتری نسبت به شرایط تنش بدون تلقیح، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب ۳٤، ٤۸ و ۳۹ درصد افزایش یافت. هم‌چنین با افزایش سنتز کلروفیل میزان کلروز در برگ‌ها نیز کاهش یافت. تحقیقات نادیم و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که تلقیح ذرت با گونه S20 دارای فعالیت آنزیم ACC دِآمیناز باعث افزایش میزان کلروفیل a و b، پتاسیم و فسفر و کاهش در میزان جذب کلر و سدیم در شوری‌های ٤، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر حاصل از نمک NaCl شد؛ که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. آناقلی (۱۳۸۹) در ارزیابی ارقامی از سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش شوری، کاهش محتوای مجموع کلروفیل a و b، کلروفیل a و b نمونه‌های مورد آزمایش را گزارش کرده‌است، همچنین رضایی و همکاران (۱۳۸۳) نیز در بررسی‌های پاسخ فیزیولوژیک گیاه پنبه به شوری‌های مختلف خاک نشان دادند که مقادیر کلروفیل a و b در شرایط تنش کاهش بسیاری داشتند. در حالی که کاربرد باکتری باعث افزایش مجموع کلروفیل a و b شده است. بیشترین مجموع کلروفیل a و bدر تیمارهای تلقیح شده با باکتری و کمترین مجموع کلروفیل a و b در تیمارهای بدون تلقیح باکتری برآورد گردید. سادات (۲۰۰۷) نیز در بررسی اثر میکوریز *آربسکولار* و باکتری‌های محرک رشد بر جذب مواد غذایی و عملکرد گندم در شرایط شور، گزارش کرد که استفاده از مایه تلقیح باکتری *سودوموناس فلورسنس* میزان کلروفیل برگ گندم را افزایش داد.

جدول ۳- مقایسه میانگین حجم و وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای مختلف

تیمار		حجم ریشه (سانتی متر مکعب در گلدان)	وزن تر ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
شوری	باکتری			
بدون شوری	بدون تلقیح باکتری	۵^{bcd}	٤/۰٤^{cd}	۰/٦٦^{b}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۵/۷۵^{b}	۳/۵٦^{def}	۰/٦۷^{b}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس*	۷/۷۵^{a}	۵/۵۹^{a}	۰/۹^{a}
شوری ٦ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	٤/۵^{cde}	۳/۰٦^{ef}	۰/۵^{c}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۵^{bcd}	۳/٤۳^{def}	۰/۵۲^{c}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۵/۱۷^{bcd}	٤/۵۹^{bc}	۰/۷٤^{b}
شوری ۸ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	٤/۳۳^{de}	۲/۸۸^{f}	۰/۳٦^{d}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	٤/۵^{cde}	۳/۳۸^{def}	۰/۳۹^{d}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۵/۷۵^{b}	۳/۸٤^{cde}	۰/٤۲^{cd}
شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	٤/۱۱^{e}	۳/۰۸^{ef}	۰/٤۱^{cd}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	٤/۵^{cde}	۳/۵^{def}	۰/٤۵^{cd}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۵/۲۵^{bc}	۵/۱۲^{ab}	۰/٦۳^{b}

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترکی هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۴-نتایج تجزیه واریانس اثر تلقیح باکتری، شوری بر وزن تر و خشک اندام هوائی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن‌تر اندام هوائی	وزن خشک اندام هوائی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل ab	کلروفیل کل
شوری	۳	۳۵۳/۹۲۷**	۱۱/۷۳۷**	۰/۰۰۰۰۲۳۱۷*	۰/۰۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۹۲۵۳**	۱۱٤/٤۷٦**
باکتری	۲	٦۸/۷۳۵**	۲/٤۳۸**	۰/۰۰۰۰۷۲۱۸**	۰/۰۰۰۰۵٤٦**	۰/۰۰۰۰۱**	۲۷/۷۲۸**
شوری*باکتری	٦	۱۲/۵۵۵**	۰/۱۱۸**	۰/۰۰۰۰۷۵۸۱**	۰/۰۰۰۰۵٦۵۳**	۰/۰۰۰۰۱**	۲/٤۸۸*
خطا	۲٤	۰/۳۷٤	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰۰۰٤۹۵۱	۰/۰۰۰۰۰۵۰۱۳	۰/۰۰۰۰۰۷۳۹۲	۰/۹٤٤

ns، *و **به ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

جدول ۵-مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوائی در تیمارهای مختلف

تیمار		وزن تر اندام هوائی (گرم در هر گلدان)	وزن خشک اندام هوائی (گرم در هر گلدان)	کلروفیل a (میکرو گرم بر گرم وزن‌تر برگ)	کلروفیل b(میکرو گرم بر گرم وزن‌تر برگ)	کلروفیل ab(میکرو گرم بر گرم وزن‌تر برگ)	کلروفیل کل (میکرو گرم بر گرم وزن‌تر برگ)
شوری	باکتری						
بدون شوری	بدون تلقیح باکتری	۲۳^{c}	٤/۸٥^{bc}	۰/۰۱٤^{d}	۰/۰٤۷^{bcd}	۰/۰۳۹^{f}	۲۰/۱۸۸^{a}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۲٤/۷^{b}	٥/۱۷^{ab}	۰/۰۳^{a}	۰/۰٤۸^{bc}	۰/۰٥٦^{b}	۲۰/٥٦۷^{a}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس*	۳۰/۹۳^{a}	٥/۷۸^{a}	۰/۰۲۷^{ab}	۰/۰٦^{a}	۰/۰٦٥^{a}	۲۱/۰٦۹^{a}
شوری ٦ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۱۸/۹۳^{e}	٤/۳٤^{cd}	۰/۰۲۷^{ab}	۰/۰٤٦^{bcde}	۰/۰٥۱^{bc}	۱٥/۹۲۸^{cd}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۱۸/۳۰^{e}	٤/٥۳^{bc}	۰/۰۲۱^{c}	۰/۰٤٤^{cdef}	۰/۰٤۳^{def}	۱۸/۸۸^{ab}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس*	۲۱/۲۲^{d}	٥/۲^{ab}	۰/۰۲٦^{abc}	۰/۰٥^{b}	۰/۰٥۳^{bc}	۲۰/۰۰٥^{a}
شوری ۸ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۱۳/۸٦^{g}	۳/٤۱^{e}	۰/۰۲۲^{bc}	۰/۰٤۲^{def}	۰/۰٤۲^{ef}	۱۲/٥٦۷^{ef}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا*	۱۳/۰۱$^{g-h}$	۳/٤٥^{e}	۰/۰۳^{a}	۰/۰٤٦^{bcde}	۰/۰٥٤^{bc}	۱٥/۸۰۸^{cd}
	تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس*	۱۳/۱۸^{g}	۳/۸$^{d-e}$	۰/۰۲۸^{ab}	۰/۰٤٥^{bcde}	۰/۰٥^{bc}	۱۷/۱٤۳^{bc}
شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۹/۰۳^{i}	۲/۲۷^{f}	۰/۰۲۸^{ab}	۰/۰٤٤^{cdef}	۰/۰٤۹^{cd}	۱۱/۲۷۳^{f}
	تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا	۱۲/۰۹^{h}	۲/۳۷^{f}	۰/۰۲۹^{ab}	۰/۰٤^{ef}	۰/۰٤۷^{cde}	۱۲/۳^{ef}
	تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس	۱٦/۸۲^{f}	۳/٥^{e}	۰/۰۲٥^{abc}	۰/۰۳۸^{f}	۰/۰٤۱^{ef}	۱۳/۷٦۱^{de}

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترکی هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری ندارند.

کربن آلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر کربن آلی خاک معنی دار ($P<0.01$) بود (جدول ٦). مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که بیشترین کربن آلی خاک در ترکیب‌های تیماری تلقیح بذر با *سودوموناس پوتیدا* در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و کمترین کربن آلی خاک در تیمار بدون تلقیح و شوری ٦ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۷). با توجه داده‌های جدول ۷ در بین تیمارها تفاوت فاحشی از لحاظ کربن آلی وجود ندارد و علت معنی‌دار شدن تاثیر متقابل شوری و تلقیح باکتری احتمالا به دلیل تفاوت معنی دار دو یا چند تیمار می باشد. با توجه به تحقیقات دیگر در این زمینه (هان و لی ۲۰۰٥) می‌توان اظهار داشت که در شوری بالا به دلیل کاهش فعالیت میکروبی، کربن آلی خاک تجزیه نشده و ماندگار می شود؛ لذا کربن آلی خاک در شرایط شور افزایش می یابد. از طرف دیگر در شرایط شوری زیتوده میکروبی خاک کاهش یافته و از این رو کربن آلی خاک نیز کاهش می یابد. لذا مقدار کربن آلی خاک در شرایط شور در مقایسه با شرایط بدون شوری، به تعادل این دو عامل بستگی دارد. معنی‌دار بودن اثر متقابل شوری و تلقیح باکتری نیز این موضوع را تایید می کند. بنابراین با توجه به داده‌های این تحقیق اظهار نظر در مورد تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه و سطوح شوری بر کربن آلی خاک، حداقل در کوتاه مدت مشکل بوده و اثر متقابل این دو عامل بیانگر نتیجه کلی می باشد. در همین راستا تحقیقات دیگر نیز نشان داده اند که حضور باکتری‌های

محرک رشد گیاه موجب افزایش کربن آلی خاک می شود (علی و همکاران ۲۰۱٤ و شارویستاو و کومار ۲۰۱٤).

کربن زیتوده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر کربن زیتودهٔ میکروبی معنی دار ($P<0.01$) بود (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که بیشترین کربن زیتودهٔ در ترکیب تیماری تلقیح بذر با *سودوموناس فلورسنس* در شوری ٦ دسی زیمنس بر متر بود و کمترین کربن زیتودهٔ میکروبی در ترکیب تیماری بدون تلقیح بذر با باکتری در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بدون تلقیح بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۳). به عبارتی کمترین کربن زیتودهٔ میکروبی در شوری‌های بالا مشاهده گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شوری کربن زیتودهٔ میکروبی کاهش یافته است. پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده اند که در شرایط شوری خاک مقدار زیتودهٔ میکروبی خاک کاهش می‌یابد (چاندر و همکاران ۱۹۹٤). تریپاتی در سال ۲۰۰٦ بیان داشت که احتمالا یکی از دلایل کاهش رشد گیاه در خاک‌های شور، کاهش فعالیت میکروبی و در نتیجه کاهش کربن زیتودهٔ میکروبی است (تریپاتی ۲۰۰٦). وی نشان داد که در خاک‌هایی با شور (تا حد ۱٦ دسی زیمنس بر متر) کاهش معنی‌داری در محتوای کربن زیتودهٔ میکروبی حاصل می‌گردد. ریتز و هاینز در سال ۲۰۰۳ نیز رابطه منفی بین زیتودهٔ میکروبی و شوری خاک را گزارش نموده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت مقایسهٔ مقدار کربن زیتودهٔ میکروبی در سطوح مختلف تلقیح در یک سطح شوری، می‌توان مشاهده نمود که تلقیح با باکتری در مقایسه با شاهد موجب افزایش کربن زیتودهٔ میکروبی شده است. احتمالا باکتری‌های *سودوموناس* به دو طریق باعث افزایش کربن زیتوده شده است.

جدول ۶-نتایج تجزیه واریانس اثر تلقیح باکتری، شوری و بر شاخص‌های شیمایی و زیستی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	کربن آلی	کربن زیتوده میکروبی	تنفس پایه	تنفس برانگیخته
شوری	۳	۰/۰۰۸**	۱۲۰۱٤۳٦/۰۰۱**	۰/۰۱**	۰/۱۰۱ns
باکتری	۲	۰/۰۱۸**	۱٤٥۳٤٦۰/۲٥**	۰/۰٥۲**	۰/۰٤۹ ns
شوری*باکتری	٦	۰/۰۰۹**	۱۹٤۱۲۳/۲۱۹**	۰/۰۱۱**	۰/۰۰٥ ns
خطا	۲٤	۰/۰۰۲	٥۱۷۱٥/۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات(٪)	-	٤/۷۹	۱۷/۱٥	۹/٥	۱۰/۹

ns ، *و ** به ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

جدول۷- مقایسه میانگین شاخص‌های شیمیایی و زیستی خاک در تیمارهای مختلف

تیمار		کربن آلی (٪)	کربن زیتوده میکروبی (mg C/g dry soil)	تنفس پایه (mg CO_2/g soil day)
شوری	باکتری			
بدون شوری	بدون تلقیح باکتری	۰/۸۵^{ab}	۱۲۱۷/۶^{cde}	۰/۱۷^{c}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۰/۹۲^{a}	۱۶۵۷^{bc}	۰/۴۲^{a}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۰/۹۱^{a}	۱۷۰۱/۵^{bc}	۰/۲۷^{b}
شوری ٦ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۰/۷۱^{c}	۹۸۱/۶^{de}	۰/۲۸^{b}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۰/۸۷^{ab}	۱۹۷۹^{ab}	۰/۲۹^{b}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۰/۸۹^{ab}	۲۲۵۴/۹^{a}	۰/۲۹^{b}
شوری ۸ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۰/۸۴^{ab}	٦٦٦/۸^{e}	۰/۲۱^{c}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۰/۹۳^{a}	۱۴۱۳/۳^{cd}	۰/۲۸^{b}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۰/۸۷^{ab}	۱۰۸۰/۹^{de}	۰/۲۷^{b}
شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر	بدون تلقیح باکتری	۰/۸۱^{b}	۸۲۸/۹^{e}	۰/۲۱^{c}
	تلقیح با *سودوموناس پوتیدا*	۰/۹^{a}	۱۰۴۵/۳^{de}	۰/۳۸^{a}
	تلقیح با *سودوموناس فلورسنس*	۰/۸۸^{ab}	۱۰۸۰/۴^{de}	۰/۴۱^{a}

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترکی هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی داری ندارند.

تنفس پایه و برانگیخته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تلقیح باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر تنفس خاک معنی دار ($P<0.01$) بود (جدول ٦). همچنین تاثیر عوامل فوق بر تنفس برانگیخته خاک معنی دار نبود. مقایسه میانگین تنفس در ترکیب های تیماری مختلف نشان داد که بیشترین تنفس خاک در ترکیب‌های تیماری تلقیح بذر با *سودوموناس پوتیدا* بدون اعمال شوری و تلقیح بذر با *سودوموناس پوتیدا* و *سودوموناس*فلورسنس در شوری ۱۰ دسی زیمنس بود (جدول ۷)؛ کمترین تنفس خاک نیز در ترکیب‌های تیماری بدون تلقیح بذر با باکتری بدون اعمال شوری، بدون تلقیح بذر با باکتری در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بدون تلقیح بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. با توجه به این که مقادیر بالایی از تنفس هم در شرایط بدون شوری و هم در شوری‌های بالا مشاهده گردید، می توان اظهار داشت که احتمالا تاثیر شوری بر تنفس خاک به صورت خطی کاهش نمی‌یابد و روند تغییرات با بالا رفتن شوری متفاوت است؛ به نحوی که حتی در شوری‌های بالا نیز مقادیر بالایی از تنفس مشاهده می گردد. در توضیح این پدیده قابل ذکر است که تنش‌های محیطی موجب فعالیت شدیدتر ریزموجودات برای مقابله با تنش می‌شوند (زنگ و همکاران ۲۰۱۳) و از این رو با افزایش شوری، تنفس نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در صورت افزایش شدت و دامنهٔ تنش، دیگر ریزموجودات قادر به تحمل شرایط نبوده و دچار اختلال فیزیولوژیک می شوند و در نتیجه تنفس خاک کاهش می‌یابد (زنگ و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین می توان نتیجه گرفت که مقادیر شوری ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر برای ریزموجودات خاکزی حد بالایی محسوب نمی‌شود و هنوز این ریزموجودات دچار اختلال فیزیولوژیک و کاهش تنفس نشده‌اند. نتایج مشابهی توسط تریپاتی و همکاران در سال ۲۰۰٦ یافت

شد که تنفس پایه خاک به صورت نمایی با افزایش شوری کاهش یافته است. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهند که با تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس* نیز بر تنفس خاک موثر است و موجب افزایش تنفس خاک می‌گردد. علت این افزایش می تواند هم به صورت مستقیم و در اثر تنفس باکتری‌های افزوده شده به خاک باشد و هم به صورت غیرمستقیم و از طریق افزایش رشد گیاه و تحریک رشد جوامع میکروبی ریزسفر گیاه باشد (علی و همکاران ۲۰۱٤).

نتیجه گیری کلی

تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های علمکرد گندم از قبیل طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و حجم ریشه شد. در مقابل تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* افزایش این شاخص‌ها را به دنبال داشت. در این میان تاثیر باکتری *سودموناس فلورسنس* بیشتر از *سودوموناس پوتیدا* بود. همچنین تلقیح با باکتری موجب افزایش شاخص‌های زیستی خاک از قبیل کربن زیتودهٔ میکروبی تنفس پایه خاک شد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب یک تاثیر دو گانه و تعاملی بر گیاه و شاخص‌های زیستی خاک می‌شود. در واقع تلقیح با باکتری محرک رشد باعث بهبود رشد گیاه و افزایش احتمالی ترشحات ریشه گیاه می‌گردد و افزایش این ترشحات به نوبهٔ خود موجب افزایش شاخص‌های زیستی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت ارتقاء وضعیت تغذیه گیاه می‌شود. هر دو عامل گیاه و جوامع میکروبی خاک نیز بر همدیگر تاثیر گذار بوده و به همدیگر در تحمل شرایط تنش شوری خاک کمک می‌کنند. با توجه به تاثیر متقابل و مفید گیاه و جوامع میکروبی ریزوسفری، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالا در سایر تنش‌ها محیطی در خاک نیز می‌توان با کمک باکتری‌های محرک رشد گیاه موجب ارتقای شاخص‌های زیستی خاک شده و از این طریق باعث مقاومت و تحمل گیاه در مقابل تنش‌های محیطی شده و در نهایت رشد و عملکرد گیاه را افزاش داد.

منابع مورد استفاده

Aliasgharzad N. 2001. Labaoratory Methods in Soil Biology, Publication of University of Tabriz. (In Persian).

Anagholi A, Tabatabaii S and Fouman Ajirlou A. 2010. Evaluation of Salt-tolarance of varieties of Sorgom using sensitivity and stress-tolerance indices. Agricultural Crop Production 3(1): 89-102. (In Persian).

Kafi M, Lahooti M, Sharifi H and Goldani M. 1998. Plant Physiology. Publicarion of Mashhad Jahad Daneshgahi. (In Persian).

Rezaii M, Khavari Nejad R and Fahimi H. 2004. Investigaion of Physiologic Response of Cotton to Differnct Soil Salinities. Pajouhesh va Sazandegi in Agronomy and Horticutlture. 62:81-89. (In Persian).

Saadat A, Savaghebi Firooz Abadi GH, Rejali F, Farah Bakhsh M, Khavazi K and Shirmardi M. 2010. The effect of Arbuscular Mychorhizae and Plant Growth Promotind Rhizobacteria on Growth and Yield of Wheat in a Saline Soil. Soil and Water, 24(1):53-62. (In Persian).

Ali S, Charles TC and Glick BR, 2014. Amelioration of high salinity stress damage by plant growth-promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. Plant Physiology and Biochemistry, 80:160-167.

Allakhverdiev S, Sakamoto A, Nishiyama Y, Inaba M and Murata N, 2000. Ionic and osmotic effects of NaCl-inactivation of photosystems I and II in Synechococcus spp. Journal of Plant Physiology, 123: 1047-1056.

Arnon AN, 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23:112-121.

Batra L and Manna MC, 1997. Dehydrogenase activity and microbial biomass carbon in salt-affected soils of semiarid and arid regions. Arid Land Research and Management, 11(3): 295-303.

Chander K, Goyal S and Kapoor KK, 1994. Effect of sodic water irrigation and farm yard manure application on soil microbial biomass and microbial activity. Applied Soil Ecology, 1: 139-144.

Colmer TD, Flowers TJ and Munns R, 2006. Use of wild relative to improve salt tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany, 57: 1059-1078.

Cronin D, Moënne-Loccoz Y, Fenton A, Dunne C, Dowling DN and O'Gara F, 1997. Ecological intraction of a biocontrol Pseudomonas fluorescens strain producing 2,4-diacetylphloroglucinolwith the soft rot potato pathogen Erwinia carotovora subsp. Atroseptica. FEMS Microbiolgy Ecology, 23: 95-106.

Desingh R and Kanagaraj G, 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. General and Applied Plant Physiology, 33: 221-234.

Drazkiewicz M, 2000. Chlorophyllase: occurrence, functions, mechanism of action, effects of external and internal factors. Photosynthesis, 30: 321-331.

Glick BR, Donna Penrose M and Jiping L, 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. Journal of Theoretical Biology, 190: 63-68.

Gupta PK, 2004. Soil, Plant, Water and fertilizer analysis. Agrobios. India

Han HS and Lee KD 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis. mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Agriculture and Biological Sciences, 1: 210-215.

Jones JR and Benton J, 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRS Press LLC. U.S

Lal Khajanchi SG, Setih M, Sharma PC, Swarup A and Gupta SK, 2007. Effect of NaCl concentration ongrowth, root morphology and photosynthetic pigment in wheat and barley under solution culture. Journal of Agrochimical, 51: 194-206.

Mayak S, Tirosh T and Glick BG, 2004. Plant Growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants salt stress. Plant Physiology and Biochemestry, 42:565-572.

Nadeem S, Zahir ZA, Naveed M and Arshad M, 2007. Preliminary inverstigations on inducing salt tolerance in Canola through ACC-deaminase activity. Canadian Journal of Microbiology, 53(10):1141-1149.

Nelson DW and Sommers L, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Soil society of America. Inc, Madison, WI.

Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus, Methods of soil analysis, Agronomy series No 9, Part 2. Soil society of America. Inc, Madison, WI.

Pathak H and Rao DLN, 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biology Biochem, 30: 695–702.

Reddy MP and Vora AB, 2005. Salinity induced changes in pigment composition and chlorophyllase activity of chelidonium. Indian Journal Plant Physiology, 29: 331-334.

Rietz DN and Haynes RJ, 2003. Effect of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology Biochemictry, 35:845-854.

Saravanakumar D and Samiyappan R, 2007. ACC deaminase from Pseudomonas fluorescens mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants. Journal of Applied Microbiology, 120: 1283-1292.

Saviozzi A, Cardelli R and Di Puccio R, 2011. Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(3): 358-367.

Sharma AK, 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India.

Shrivastava P and Kumar R, 2014. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(2): 123-131.

Tripathi S, Kumari S, Chakraborty A, Gupta A, Chakrabarti K and Bandyapadhyay BK, 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biology fertilizers Soils, 42: 273-277.

Zahir ZA, Arshad M and Frankernberger WT, 2004. PGPR: Application and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81:97-167.

Zeng WZ, Xu C, Wu JW, Huang JS and Ma T, 2013. Effect of salinity on soil respiration and nitrogen dynamics. Ecological Chemistry and Engineering S, 20(3): 519-530.