نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، ص. ۱۵۵-۱۴۷

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 2, Summer 2015, p. 147-155

تأثیر باکتری‌های *ریزوبیوم* بر غلظت K، Ca و Na گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های شور

سمیه همایون[۱]، امیر لکزیان[۲*]، غلامحسین حق‌نیا[۳] و رضا خراسانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۱۹

چکیده

شوری خاک یکی از مشکلات مهم در تولید فرآورده‌های کشاورزی است و سطح نسبتاً گسترده‌ای از زمین‌های کشاورزی در دنیا و ایران با مشکل شوری روبه‌رو هستند. یکی از اثرات شوری خاک، بروز اختلال در تغذیه گیاهان است و معمولاً مقادیر زیاد کلرید سدیم در محیط ریشه، سبب کاهش جذب، انتقال و تجمع یون‌هایی مانند پتاسیم و کلسیم در گیاه می‌شود. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تعدادی از جدایه‌های باکتری *ریزوبیوم* بر غلظت عناصر K، Ca، Na و نسبت K/Na گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌هایی با شوری مختلف، در شرایط گلخانه‌ای در سال ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با چهار سطح باکتری (*سینوریزوبیوم ملیلوتی*، *بردی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *ریزوبیوم لگومینوزاروم* و شاهد) و سه سطح شوری خاک (دو، شش و ده دسی‌زیمنس بر متر) در سه تکرار انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شوری خاک، وزن خشک ریشه و شاخساره، غلظت عناصر K، Ca و همین‌طور نسبت K/Na کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت. باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* در شوری دو دسی‌زیمنس بر متر و باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* در شوری‌های شش و ده دسی‌زیمنس بر متر بیشترین وزن خشک شاخساره (به ترتیب ۱۹/۴ و ۱۳/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد)، غلظت‌های K، Ca و کمترین غلظت Na در گیاه گندم را ایجاد کردند.

واژه‌های کلیدی: تعادل یونی، تلقیح باکتریایی، مقاومت به شوری، نسبت K/Na

مقدمه

شوری خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. این مناطق سطح نسبتاً گسترده‌ای از زمین‌های کشاورزی را شامل می‌شود و ایران نیز جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بر اساس آخرین پژوهش‌های انجام شده سطح کل زمین‌های فاریاب ایران حدود هفت میلیون هکتار است که حدود نیمی از آن، یعنی ۳/۵ میلیون هکتار از این زمین‌ها به نحوی، به شوری اولیه و ثانویه و یا هر دو مبتلا می‌باشند (Zabihi et al., 2009). معمولاً آسیب‌های ناشی از شوری خاک را می‌توان به اثرات ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی و اثرات یون ویژه نسبت داد. املاح در ناحیه توسعه ریشه‌ها، پتانسیل اسمزی منفی ایجاد می‌کنند که این امر به کاهش پتانسیل آب در خاک منجر می‌شود. همچنین زمانی که یون‌های Na^+، Cl^- یا SO^{2-} در یاخته‌های گیاهی انباشته شوند، اثرات ویژه یون نیز بروز می‌کند. معمولاً با ایجاد نسبت غیر متقارن Na/K و افزایش غلظت کل نمک‌ها، غیر فعال شدن آنزیم‌ها رخ می‌دهد که این امر از ساخت پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند و یا زمانی که غلظت زیادی از Na^+ نسبت به Cl^- در کلروپلاست‌ها انباشته شود، عمل فتوسنتز متوقف می‌شود (Kafi et al., 2000).

مقاومت به شوری در گیاهان عمدتاً به توانایی ریشه‌ها برای محدود کردن یا کنترل کردن جذب Na^+ و Cl^- و جذب پیوسته عناصر ضروری به ویژه K^+ و NO_3^- بستگی دارد. در نتیجه برتری جذب K^+ نسبت به Na^+ یک ویژگی مهم به شمار می‌رود که به

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشیار، استاد و استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: alakzian@yahoo.com)

تحمل گیاهان به شوری کمک می‌کند (Ashraf et al., 2004). رشد گیاه تحت تأثیر شوری بستگی به سازگاری برای برقراری مجدد تعادل یونی دارد (Nadeem et al., 2006). تلاش‌های زیادی برای کاهش اثرات زیان‌آور شوری صورت گرفته که اغلب این تلاش‌ها روی بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک متمرکز شده است. اخیراً رویکرد زیستی یعنی استفاده از ریزجانداران نیز مورد توجه تعدادی از پژوهشگران قرارگرفته است (Nadeem et al., 2006) . چنین به نظر می‌رسد که روش‌های زیستی هزینه‌های تولید و آسیب‌های زیست-محیطی کمتری را به بوم نظام‌ها تحمیل می‌کند (Bano & Fatima, 2009). کاهش اثرات زیان‌آور تنش شوری در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌ها در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است (Yildirim et al., 2008; Yildirim et al., 2006; Zabihi et al., 2009). یک دسته از باکتری‌های مورد استفاده برای افزایش رشد گیاه، باکتری‌های *ریزوبیوم* هستند. *ریزوبیوم*‌ها علاوه بر این‌که روابط همزیستی اختصاصی با گیاهان لگوم دارند قادر به افزایش رشد گیاهان غیر لگوم، بدون تشکیل گره‌های حقیقی هستند. این باکتری‌ها می‌توانند از راه تولید هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها، جلوگیری از ساخت اتیلن گیاهی در شرایط تنش، حل کردن فسفات معدنی و افزایش جذب عناصر غذایی رشد گیاهان غیر لگوم را افزایش دهند (Mehboob et al., 2009). بانو و فاطیما (Bano & Fatima, 2009) در آزمایشی گلخانه‌ای نشان دادند که تلقیح گیاه ذرت (*Zea mays* L.) با باکتری *ریزوبیوم* کارآیی این گیاه را در مقاومت به شوری افزایش داد و گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده در شرایط تنش شوری رشد بهتر و ذی‌توده بالاتری داشتند. همچنین هان و لی (Han & Lee, 2005) گزارش کردند که تلقیح کاهو (*Lactuca sativa* L.) با *ریزوبیوم* اثرات منفی شوری بر رشد و غلظت عناصر را کاهش داد.

هدف از این مطالعه بررسی نقش برخی از باکتری‌های *ریزوبیوم* بر رشد گیاه گندم و تأثیر این باکتری‌ها بر غلظت کاتیون‌هایی مانند پتاسیم، کلسیم و سدیم در گیاه گندم در شوری‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این آزمایش از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد از عمق شخم (۳۰-۰ سانتی‌متر) تهیه و پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های این خاک در جدول ۱ آورده شده است. هدایت الکتریکی این خاک کم و برابر با دو دسی‌زیمنس بر متر بود. برای ایجاد سطوح مختلف شوری از آب شور طبیعی با هدایت الکتریکی ده دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک (قبل از شور کردن)

Table 1- Some chemical and physical properties of soil (before salinization)

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) Ca ($meq.L^{-1}$)	پتاسیم K	سدیم Na	فسفر P	نیتروژن کل Total N	آهک $CaCO_3$	کربن آلی OC
				میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mg.kg^{-1}$)			درصد (%)		
لوم- رسی Clay- loam	7.54	2	9	162	166	12.50	0.04	12.30	0.30

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب شور

Table 2- Chemical properties of saline water

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^{2+}	کلسیم Ca^{2+}	کلر Cl^-	بیکربنات HCO_3^{-1}	کربنات CO_3^{2-}
		(میلی‌اکی‌والان بر لیتر) ($meq.L^{-1}$)						
6.80	10	9.30	103	16.10	15.40	110	26.60	0

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک (پس از شور کردن)
Table 3- Some chemical properties of soil (after salinization)

سطح شوری Salinity level	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) Ca ($meq.L^{-1}$)	پتاسیم K	سدیم Na
				میلی‌گرم بر کیلوگرم ($mg.kg^{-1}$)	
شوری سطح اول First level of salinity	7.92	2	9	162	166
شوری سطح دوم Second level of salinity	7.97	6	19.30	176	375
شوری سطح سوم Third level of salinity	7.98	10	29.70	191	709

از هر نمونه خاک با شوری مختلف تعداد ۱۲ گلدان یک کیلوگرمی تهیه شد. سپس تعداد پنج گیاهچه گندم رقم پیشتاز (قبلاً بذرهای گندم با هیپوکلرید سدیم سه درصد ضدعفونی و سپس بر روی آب آگار جوانه‌دار شده بودند) داخل هر یک از گلدان‌ها کشت شدند. البته قبل از کشت، گیاهچه‌ها با سوسپانسیون هر یک از باکتری‌ها تلقیح شدند. گیاهان در طی دوره رشد با آب مقطر آبیاری شدند و رطوبت گلدان‌ها در ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی حفظ شد. سپس گیاهان پس از چهار هفته برداشت شدند.

باکتری‌های استفاده شده در این تحقیق از کلکسیون بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و روی محیط کشت YEMA[1] بازکشت شدند. سپس باکتری‌ها روی محیط کشت YEMB[2] تا مرحله فاز ثابت با چگالی نوری ۰/۸ رشد داده شدند. به منظور تلقیح، بذرهای جوانه‌دار درون ظروف پتری با مایه تلقیح آغشته و به مدت ۳۰ دقیقه نگه داشته شدند.

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل، با چهار سطح باکتری شامل *سینوریزوبیوم ملیلوتی* (*Sinorhizobium meliloti*) (B_1)، *بردی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* (*Bradyrhizobium japonicum*) (B_2) و *ریزوبیوم لگومینوزاروم* (*Rhizobium legominozarum*) (B_3) و شاهد بدون باکتری (B_0) و سه سطح شوری دو (S_1)، شش (S_2) و ده (S_3) دسی‌زیمنس بر متر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با میانگین دمای روزانه و شبانه ۳۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت چهار هفته انجام شد. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر از روش هضم تر (Richards, 1954) استفاده شد. سدیم و پتاسیم با دستگاه شعله‌سنج و کلسیم با دستگاه جذب اتمی مدل شیمادزو- ۶۷۰ قرائت گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به وسیله نرم‌افزار Mstat-C با آزمون دانکن و سطح اطمینان پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان داد که شوری و تلقیح باکتری‌های *ریزوبیوم* و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک شاخساره و ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

به منظور تهیه نمونه‌های خاک با شوری‌های مختلف، مقدار ۱۸ کیلوگرم از این خاک در سه گلدان شش کیلوگرمی به طور مساوی توزیع شد. یکی از گلدان‌ها با همان شوری اولیه به عنوان اولین سطح شوری در نظر گرفته شد و سپس دو گلدان دیگر با مقادیر مختلف آب شور که از چشمه‌ای واقع در روستای امان‌آباد (۴۰ کیلومتری جنوب مشهد) تهیه شده بود، آبیاری شدند. شوری خاک به طور متناوب پایش و پس از حصول شوری‌های شش و ده دسی‌زیمنس بر متر، خاک‌ها مجدداً هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. خصوصیات آب شور اولیه و خصوصیات خاک‌ها پس از شور شدن به ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که با افزایش شوری خاک وزن خشک شاخساره و ریشه کاهش یافت. البته میزان کاهش در سطح دوم شوری (S_2) با هدایت الکتریکی شش دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار S_1 از نظر آماری معنی‌دار نبود.

1- Yeast extract mannitol agar
2- Yeast extract mannitol broth

جدول ٤- تجزیه واریانس وزن خشک ساقه و ریشه گندم تلقیح شده با باکتری‌های *ریزوبیوم* در خاک‌هایی با شوری متفاوت

Table 4- Analysis of variance for shoot and root dry weights of wheat inoculated with rhizobia in different soil salinities

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
شوری Salinity	2	0.073**	0.01**
باکتری Bacteria	3	0.008**	0.007**
شوری × باکتری Salinity× bacteria	6	0.011**	0.013**
خطا Error	24	0.001	0.001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		4.73	11.42

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: Significant at 1% probability level

در حالی‌که وزن خشک شاخساره و ریشه در سطح سوم شوری (S_3) با هدایت الکتریکی ده دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) نسبت به تیمار S_1 نشان داد (جدول ۵). در پژوهش‌های دیگری نیز کاهش وزن خشک در اثر افزایش شوری گزارش شده است (Hadi et al., 2008; Zabihi et al., 2009; Abdolzadeh & Saffarie, 2004). یکی از دلایلی که برای این کاهش عنوان گردیده کاهش جذب آب و عناصر غذایی به دلیل بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی در گیاهان زیر تنش شوری است (Zabihi et al., 2009).

تأثیر تلقیح باکتری‌های *ریزوبیوم* بر وزن خشک شاخساره و ریشه در سطوح مختلف شوری خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در خاک با هدایت الکتریکی دو دسی‌زیمنس بر متر تلقیح با باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* باعث بیشترین افزایش در وزن خشک شاخساره و ریشه (به ترتیب ۱۵/۹ و ۷۴/۹ درصد) نسبت به شاهد (B_0) شد، اما در شوری‌های سطح دوم و سوم بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره در تلقیح با باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* به دست آمد (به ترتیب ۱۹/۴ و ۱۳/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد). در مورد ریشه نیز در این شوری‌ها، باکتری *بردی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* به ترتیب با ۶۰/۳ و ۶۰/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین مقدار وزن خشک را ایجاد کرد که تفاوت معنی‌دار با تلقیح با *ریزوبیوم لگومینوزاروم* نداشت. باکتری‌های *ریزوبیوم* می‌توانند ریزوسفر ریشه گیاهان غیر لگوم را کلونیزه کنند و مانند باکتری‌های PGPR[1] عمل کرده و از راه‌های مختلفی مانند زیست‌ساخت هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها، افزایش مقاومت در برابر تنش‌ها، تولید آنزیم ACC[2] دآمیناز، کنترل پاتوژن‌های گیاهی، توان حل‌کنندگی فسفات، تولید سیدروفور و همچنین افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش رشد ریشه شوند و در نتیجه رشد گیاه را بهبود بخشند و بنابراین به گیاه در تحمل شرایط تنش کمک می‌کنند (Mehboob et al., 2009; Ramezanian Bajgiran, 2005).

تأثیر شوری خاک بر غلظت عناصر در گیاه

با افزایش شوری خاک غلظت یون کلسیم شاخساره کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) در هر دو سطوح شوری S_2 و S_3 نسبت به تیمار S_1 پیدا کرد (جدول ۶). این نتیجه با مشاهدات سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Hu & Schmidhalter, 1997; Hadi et al., 2008; Hossain et al., 2006). در خاک‌های شور غلظت کلسیم معمولاً با افزایش غلظت کل نمک‌ها افزایش پیدا می‌کند (جدول ۳)، اما جذب کلسیم از محلول خاک به علت واکنش‌های یونی، رسوب و افزایش قدرت یونی که معمولاً با کاهش فعالیت یون Ca^{2+} همراه است، کاهش می‌یابد (Hu & Schmidhalter, 2005; Pessarakli, 1999).

1- Plant growth promoting rhizobacteria

2- Aminocycli- propane 1- Carboxylic acid

جدول ۵- برهمکنش سطوح شوری و تلقیح باکتری‌های *ریزوبیوم* بر وزن خشک شاخساره و ریشه

Table 5- Interaction of salinity levels and rhizobial bacteria inoculation on shoot and root dry weight

سطح شوری خاک Levels of soil salinity	سطح تلقیح باکتری Levels of bacterial inoculation				میانگین Mean
	B_0	B_1	B_2	B_3	
	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) Shoot dry weight ($g.pot^{-1}$)				
S_1	0.650^{bcd}	0.753^{a}	0.671^{bc}	0.648^{bcd}	0.680^{A}
S_2	0.633^{bcd}	0.593^{d}	0.684^{b}	0.756^{a}	0.666^{A}
S_3	0.529^{e}	0.504^{e}	0.509^{e}	0.613^{cd}	0.539^{B}
میانگین Mean	**0.604^{B}**	**0.616^{B}**	**0.621^{B}**	**0.672^{A}**	
	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry weight ($g.pot^{-1}$)				
S_1	0.202^{def}	0.353^{a}	0.226^{de}	0.185^{ef}	0.241^{A}
S_2	0.180^{ef}	0.195^{def}	0.300^{ab}	0.289^{bc}	0.241^{A}
S_3	0.155^{f}	0.16^{f}	0.249^{bcd}	0.235^{cde}	0.200^{B}
میانگین Mean	**0.179^{B}**	**0.236^{A}**	**0.258^{A}**	**0.236^{A}**	

حروف بزرگ و کوچک به ترتیب اثرات اصلی و متقابل را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Uppercases and lowercases show the main and interaction effects respectively. Means with the same cases show no significant differences at 5% probability level using Duncan test.

جدول ٦- برهمکنش شوری و تلقیح باکتری برغلظت کلسیم شاخساره گندم

Table 6- Interaction of salinity and rhizobial bacteria inoculation on calcium concentration in wheat shoot

سطح شوری خاک Levels of soil salinity	سطح تلقیح باکتری Levels of bacterial inoculation				میانگین Mean
	B_0	B_1	B_2	B_3	
	غلظت کلسیم شاخساره (میلی‌گرم در گرم ماده خشک) Shoot Ca concentration ($mg.g^{-1}$ dry matter)				
S_1	6.33^{c}	6.70^{b}	6.84^{b}	7.04^{a}	6.73^{A}
S_2	6.23^{c}	6.02^{d}	6.01^{d}	6.73^{b}	6.25^{B}
S_3	5.79^{e}	5.79^{e}	5.49^{f}	6.04^{d}	5.75^{C}
میانگین Mean	**6.12^{B}**	**6.14^{B}**	**6.11^{B}**	**6.60^{A}**	

حروف بزرگ و کوچک به ترتیب اثرات اصلی و متقابل را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Uppercases and lowercases show the main and interaction effects respectively. Means with the same cases show no significant differences at 5% probability level using Duncan test.

غلظت پتاسیم شاخساره با افزایش شوری روند کاهشی داشت که این کاهش نسبت به تیمار S_1 معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۷). نتایج بسیاری از تحقیق‌ها کاهش غلظت پتاسیم در گیاهانی که در شرایط شوری رشد می‌کنند را تأیید می‌کند (Hadi et al., 2008; Hossain et al., 2006; Abdolzadeh & Saffarie, 2004). کاهش غلظت یون پتاسیم در شاخساره گیاه گندم به دلیل افزایش غلظت سدیم خاک در نتیجه تنش شوری و رقابت یون پتاسیم با این یون برای جذب به وسیله گیاه می‌باشد، زیرا رابطه آنتاگونیستی بین این دو یون در جذب توسط گیاه وجود دارد (Khan et al., 2009; Kafi et al., 2009).

بر خلاف کلسیم و پتاسیم، با افزایش شوری خاک میانگین غلظت سدیم شاخساره افزایش معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) نسبت به شاهد یافت (جدول ۷). افزایش غلظت سدیم در بافت‌های گیاهی یکی از نتایج اولیه تنش شوری است (Hadi et al., 2008). با افزایش شوری خاک نسبت Na/K در محلول خاک و به دنبال آن جذب سدیم به وسیله گیاه افزایش می‌یابد (Kafi et al., 2009). این نتیجه با یافته‌های سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Mayak et al., 2004; Yao et al., 2010). یکی از معیارهای فیزیولوژیکی که برای مقاومت

به شوری در نظر گرفته می‌شود نسبت K/Na است و این نسبت می‌تواند به عنوان شاخصی برای مقاومت به شوری در گیاهان به ویژه غلات که نقش زیادی در تأمین غذای جمعیت رو به رشد بشر دارند در نظر گرفته شود (Morant Manceau et al., 2004). بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۷) افزایش شوری خاک سبب کاهش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) این نسبت در شاخساره گیاه گندم شد که این می‌تواند نشان‌دهنده کاهش مقاومت گیاهان به تنش شوری باشد.

تأثیر تلقیح باکتری‌ها بر غلظت عناصر در گیاه

تأثیر تلقیح باکتری‌های *ریزوبیوم* بر غلظت عناصر کلسیم، پتاسیم و سدیم و همچنین نسبت K/Na در شاخساره گیاه گندم، در سطوح مختلف شوری خاک در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، تلقیح باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* (B_3) در هر سه سطح شوری سبب افزایش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) میانگین غلظت کلسیم شاخساره نسبت به تیمار شاهد (B_0) شد. افزایش غلظت کلسیم در گیاهان تلقیح شده می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت باکتری‌ها بر رشد گیاه و افزایش توان گیاه در جذب عناصر غذایی باشد (Han & Lee, 2005). نتایج آزمایش وو (Wu, 2009) که در شرایط شور انجام شد نشان داد که آزمایشی در مزرعه که تلقیح باکتری *سودوموناس* سبب افزایش ۶۰ درصدی غلظت کلسیم در بافت گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) شد. همچنین بانو و فاطیما (Bano & Fatima, 2009) گزارش کردند که تلقیح باکتری‌های *سودوموناس* و *ریزوبیوم* غلظت کلسیم را در برگ‌های گیاه ذرت در شرایط تنش شوری افزایش داد، اما خودیر و همکاران (Khodair et al., 2008) و اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2006) پس از تلقیح گیاه گندم با باکتری‌های تولید کننده پلی‌ساکارید برون‌یاخته‌ای کاهش غلظت کلسیم را در شاخساره مشاهده کردند و علت این کاهش را پیوند کلسیم با پلی‌ساکارید برون‌یاخته‌ای این باکتری‌ها در خاک ریزوسفر اعلام کردند.

جدول ۷- برهمکنش شوری و تلقیح باکتری برغلظت پتاسیم، سدیم و نسبت K/Na در شاخساره

Table 7- Interaction of salinity and rhizobial bacteria inoculation on concentration of potassium, sodium and K/Na ratio in wheat shoot

سطح شوری خاک Levels of soil salinity	سطح تلقیح باکتری Levels of bacterial inoculation				میانگین Mean
	B_0	B_1	B_2	B_3	
	غلظت پتاسیم شاخساره (میلی‌گرم در گرم ماده خشک) Shoot K concentration (mg.g $^{-1}$ dry matter)				
S_1	70.75^{bc}	75.77^{a}	71.46^{b}	71.49^{b}	72.32^{A}
S_2	65.88^{e}	64.13^{f}	68.54^{d}	68.88^{cd}	66.86^{B}
S_3	56.72^{h}	56.48^{h}	57.64^{h}	60.41^{g}	57.81^{C}
میانگین Mean	**64.39^{C}**	**65.46^{B}**	**65.88^{B}**	**66.93^{A}**	
	غلظت سدیم شاخساره (میلی‌گرم در گرم ماده خشک) Shoot Na concentration (mg.g $^{-1}$ dry matter)				
S_1	1.41^{f}	1.08^{g}	1.53^{f}	1.64^{f}	1.41^{C}
S_2	2.41^{d}	2.39^{d}	2.06^{e}	2.01^{e}	2.22^{B}
S_3	3.89^{a}	3.73^{a}	3.25^{b}	2.90^{c}	3.44^{A}
میانگین Mean	**2.57^{A}**	**2.40^{B}**	**2.28^{BC}**	**2.18^{C}**	
	نسبت K/Na شاخساره Shoot K/Na ratio				
S_1	50.4^{b}	70.3^{a}	46.8^{c}	43.7^{c}	52.8^{A}
S_2	27.4^{e}	26.9^{e}	33.5^{d}	34.4^{d}	30.5^{B}
S_3	14.6^{g}	15.2^{g}	17.7^{fg}	21.1^{f}	17.2^{C}
میانگین Mean	**30.8^{C}**	**37.4^{A}**	**32.7^{BC}**	**33.1^{B}**	

حروف بزرگ و کوچک به ترتیب اثرات اصلی و متقابل را نشان می‌دهند. میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Uppercases and lowercases show the main and interaction effects respectively. Means with the same cases show no significant differences at 5% probability level using Duncan test.

اگر چه باکتری‌ها در شوری‌های مختلف به گونه‌ای متفاوت عمل کردند، ولی تلقیح باکتری‌ها در سطوح مختلف شوری خاک سبب افزایش غلظت پتاسیم شاخساره نسبت به تیمار بدون تلقیح شد (جدول ۷). بیشترین میانگین غلظت پتاسیم شاخساره مربوط به باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* و شوری S_1 (دو دسی‌زیمنس بر متر) بود. بدین‌ترتیب، به نظر می‌رسد که مؤثرترین باکتری در این شوری باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* بوده است، در حالی‌که در شوری‌های S_2 (شش دسی‌زیمنس بر متر) و S_3 (ده دسی‌زیمنس بر متر) تلقیح باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* بیشترین غلظت پتاسیم را در شاخساره گیاه گندم ایجاد کرد. احتمالاً مکانیسمی که باعث این افزایش شده است نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[1]) بوده که با تولید هورمون‌های گیاهی سبب توسعه سیستم ریشه و افزایش جذب می‌شوند (Rasipour & Ali Asgharzade, 2007). افزایش غلظت پتاسیم در گیاه ذرت تلقیح شده با باکتری‌های *سودوموناس و ریزوبیوم* در خاک شور به وسیله بانو و فاطیما (Bano & Fatima, 2009) گزارش شده است.

با توجه به جدول ۷ با افزایش شوری خاک میانگین غلظت سدیم شاخساره نیز افزایش یافت، اما تلقیح باکتری‌ها تا حدودی از تأثیر شوری بر افزایش غلظت سدیم کاسته است و غلظت سدیم را نسبت به تیمار بدون تلقیح به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) کاهش داده است. به این صورت که در خاک با شوری S_1، *سینوریزوبیوم ملیلوتی* باکتری مؤثر در کاهش غلظت سدیم در گیاه بود (۲۳/۳ درصد کاهش نسبت به شاهد)، اما با افزایش شوری خاک این باکتری تأثیری بر غلظت سدیم شاخساره نداشت. در حالی‌که باکتری‌های *بردی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *ریزوبیوم لگومینوزاروم* سبب کاهش معنی‌دار ($p\leq0.05$) میانگین غلظت سدیم در شوری‌های S_2 و S_3 شدند. مقدار کاهش غلظت سدیم در نتیجه تلقیح با باکتری‌های *بردی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* و *ریزوبیوم لگومینوزاروم* به ترتیب ۱۴/۶ و ۱۶/۵ درصد در شوری S_2 و ۱۶/۴ و ۲۵/۵ درصد در شوری S_3 بود. باکتری‌های PGPR یون‌های معدنی به ویژه سدیم را در ریشه نگه می‌دارند و از انتقال آن‌ها به اندام هوایی گیاه جلوگیری می‌کنند (Yildirim et al., 2008). همچنین تولید پلی‌ساکاریدهای برون‌یاخته‌ای به وسیله باکتری‌های تلقیح شده در ریزوسفر سبب افزایش خاکدانه‌سازی در این ناحیه می‌شود و بخش بزرگتری از ریشه با پوسته‌های خاک پوشانده می‌شود که به این دلیل جریان غیرفعال سدیم به سمت استوانه مرکزی که از مسیر آپوپلاسمی صورت می‌گیرد کاهش می‌یابد (Ashraf et al., 2004; Khodair et al., 2008).

نسبت K/Na شاخساره در گیاهان تلقیح شده به گونه‌ای معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش یافت (جدول ۷). بالاترین نسبت K/Na شاخساره در گیاهان تلقیح شده با باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* در شوری S_1 مشاهده شد، اما با افزایش شوری خاک تأثیر این باکتری در افزایش نسبت K/Na کاهش یافت به طوری‌که در شوری‌های S_2 و S_3 نسبت K/Na در این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون تلقیح نداشت، اما در شوری‌های S_2 و S_3 باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* مؤثرترین باکتری در افزایش نسبت K/Na بود. با توجه به این‌که تیمارهایی که نسبت K/Na بالاتری داشتند، وزن خشک بیشتری نیز نشان دادند، به طوری‌که با افزایش این نسبت مقاومت گیاه گندم به شوری افزایش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش با افزایش شوری خاک، وزن خشک ریشه و شاخساره، غلظت Ca، K و نسبت K/Na شاخساره کاهش یافت. همچنین غلظت سدیم شاخساره افزایش یافت. تلقیح باکتری‌های *ریزوبیوم* تأثیر منفی شوری بر صفت‌های گفته شده را کاهش داد. طبق نتایج بالاترین وزن خشک ریشه و شاخساره، غلظت پتاسیم و نسبت K/Na شاخساره در خاک با هدایت الکتریکی دو دسی‌زیمنس بر متر مربوط به تیمار باکتری *سینوریزوبیوم ملیلوتی* و در خاک‌های با هدایت الکتریکی شش و ده دسی‌زیمنس بر متر، مربوط به باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* بود. همچنین باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* در تمام سطوح شوری بالاترین غلظت کلسیم را در شاخساره نسبت به شاهد ایجاد کرد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که از میان باکتری‌های مورد آزمایش باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* در خاک‌های شور به طور مؤثرتری آثار منفی شوری بر گیاه را کاهش می‌دهد و سبب ایجاد مقاومت بیشتری به شوری در گیاه گندم می‌شود.

1- Plant growth promoting rhizobacteria

منابع

Abdolzadeh, A., and Saffarie, N. 2004. Study of salinity effect on growth and accumulation ions in promissing wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 6(2): 114-127. (In Persian with English Summary)

Ashraf, M., Hasnain, S., and Berge, O. 2006. Effect of exo-polysaccharides producing bacterial inoculation on growth of roots of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in a salt-affected soil. International Journal of Environmental Technology and Management 3(1): 43-51.

Ashraf, M., Hasnain, S., Berge, O., and Mahmood, T. 2004. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. Biology and Fertility of Soils 40: 157-162.

Bano, A., and Fatima, M. 2009. Salt tolerance in (*Zea mays* L.) following inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas*. Biology and Fertility of Soils 45: 405-413.

Hadi, M.R., Khosh Kholgh Sima, N.A., Khavarinejad, R., and Kiyam Nekoie, S.M. 2008. The effect of elements accumulation on salinity tolerance in seven genotype durum wheat (*Triticum turgidum* L.) collected from the Middle East. Iranian Journal of Biology 21(2): 326-340. (In Persian with English Summary)

Han, H.S., and Lee, K.D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 1(3): 210-215.

Hossain, A.A., Halim, M.A., Hossain, F., and Meher Niger, M.A. 2006. Effect of NaCl salinity on physiological characters of wheat (*Triticum aestivum* L.). Bangladesh Journal of Botany 35(1): 9-15.

Hu, Y., and Schmidhalter, U. 1997. Interactive effect of salinity and macronutrient level on wheat. II. Composition. Journal of Plant Nutrition 20(9): 1169-1182.

Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition of Soil Science 168: 541-549.

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plant. Mashhad Academic Jihad Press, Mashhad, Iran 504 pp. (In Persian)

Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Sharif, H.R., and Goldani, M. 2000. Plant Physiology. Mashhad Academic Jihad Press, Mashhad, Iran 365 pp. (In Persian)

Khan, M.A., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Mujtaba, S.M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Ansari, R.U., and Yasin Ashraf, M. 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Botany 41(2): 633-638.

Khodair, T.A., Galal, G.F., and El-Tayeb, T.S. 2008. Effect of inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria in saline soil. Journal of Applied Sciences Research 4(12): 2065-2070.

Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B. 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 42: 565-572.

Mehboob, I., Naveed, M., and Zahir, Z.A. 2009. Rhizobial association with non-legumes: mechanisms and applications. Critical Reviews in Plant Science 28: 432-456.

Morant Manceau, A., Pradier, E., and Tremblin, G. 2004. Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. Journal of Plant Physiology 161: 25-33.

Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., Arshad, M., and Shahzad, S.M. 2006. Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. Soil and Environment 25(2): 78-84.

Pessarakli, M. 1999. Hand Book of Plant and Crop Stress. 2nd Ed. CRC Press. 1254 pp.

Ramezanian Bajgiran, A. 2005. The role of ACC deaminase containing Rhizobia in reducing bad effects of stress ethylene in wheat plant. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Rasipour, L., and Ali Asgharzade, N. 2007. Interaction effects of phosphate solubilizing bacteria and (*Bradyrhizobium japonicum*) on growth indexes, nodulation and uptake of some nutrients in soybean. Journal of

Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 40: 53-63. (In Persian with English Summary)

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. USDA Agriculture hand book. No. 60. Washington.

Wu, S.S. 2009. Enhanced phytoremediation of salt impacted soils using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). MSc Thesis, University of Waterloo, Canada.

Yao, L., Wu, Z., Zheng, Y., Kaleem, I., and Li, C. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. European Journal of Soil Biology 46: 49-54.

Yildirim, E., Taylor, A.G., and Spittler, T.D. 2006. Ameliorative effects of biological treatments on growth of squash plants under salt stress. Scientia Horticulturae 111: 1-6.

Yildirim, E., Turan, M., and Donmez, M. 2008. Mitigation of salt stress in radish (*Raphanus Sativus* L.) by plant growth promoting rhizobacteria. Rumanian Biotechnological Letters 13(5): 3933-3943.

Zabihi, H.R., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., and Ganjali, A. 2009. Effect of application of *Pseudomonas fluorescents* on yield and yield components of wheat under different soil salinity levels. Journal of Water and Soil 23(1): 199-208. (In Persian with English Summary)