مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد ششم، شماره اول، نیمه اول ۹۲
۷۵-۶۵

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

تاثیر تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد (PGPR) بر عملکرد، سرعت و طول دوره پرشدن دانه گندم در سطوح مختلف شوری خاک

مینا حق بهاری[1]، رئوف سید شریفی[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه محقق اردبیلی؛ ۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸

چکیده

به منظور بررسی تاثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بر عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم در سطوح مختلف شوری خاک، آزمایشی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۳۹۰ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح شوری (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد، اعمال شوری‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار در خاک با استفاده از نمک NaCl) و چهار سطح تلقیح بذر با PGPR (عدم پیش تیمار به عنوان شاهد، پیش تیمار با ازتو باکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلوم لیپوفروم استرین OF، سودوموناس استرین ۱۸۶) بودند. نتایج نشان داد با افزایش شوری عملکرد، طول دوره پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه گندم کاهش یافت و عکس این حالت در تلقیح بذر با PGPR بود. از یک مدل خطی دو تکه‌ای برای کمّی کردن شاخص‌های مربوط به پر شدن دانه استفاده گردید. سطوح مختلف شوری و تلقیح بذر با PGPR تمامی پارامترهای مربط به پر شدن دانه را به طور معنی‌داری متاثر نمود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین عملکرد، اجزای عملکرد، طول دوره پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه در پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم در حالت عدم اعمال شوری و کمترین آنها در عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد در بالاترین سطح شوری به دست آمد. به نظر می‌رسد به منظور افزایش عملکرد و طول دوره پر شدن دانه در شرایط شوری می‌توان پیشنهاد کرد که تلقیح بذر گندم با آزوسپریلوم به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: آزتوباکتر، آزوسپریلوم، سودوموناس، مدل‌های خطی.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت ایجاب می‌کند که میزان تولید محصولات کشاورزی افزایش یابد. شوری آب و خاک از مهمترین موانع افزایش عملکرد گیاهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. حدود ۲۰ درصد کل اراضی کشور (۳۴ میلیون هکتار) تحت تأثیر شوری قرار دارد (FAO, 2005). شوری در اثر غلظت بیش از حد یون‌های سدیم و کلر با ایجاد تنش اسمزی و کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (Sairam et al., 2002) و یا افزایش سطح هورمون اتیلن در گیاه، موجب کاهش رشد ریشه و رشد عمومی گیاه می‌شود (Mayak et al., 2004). حساسیت عملکرد نهایی به تنش شوری همانند دیگر تنش‌های محیطی تابعی از حساسیت هر یک از اجزای مختلف عملکرد نسبت به تنش است. عملکرد دانه همانند وزن خشک کل گیاه در محیط شور کاهش می‌یابد (Pessarakli, 1999). ماس و گریو (Mass and Grieve, 1990) اظهار داشتند که تنش شوری با تغییر در ظرفیت نهایی سنبله، موجب کاهش معنی‌داری در طول سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و نیز تعداد دانه در سنبله گردید. فرانکوئیس و همکاران (Francois et al., 1986) اظهار داشتند تنش شوری موجب کاهش عملکرد دانه از طریق کاهش وزن دانه شد. در یک آزمایش مزرعه‌ای دوساله در زمینه اثر شوری بر رشد و اجزای عملکرد گندم در سه دوره مختلف فنولوژیک (اعمال شوری در تمام فصل رشد، قبل از تمایز سنبلچه انتهایی و بعد از تمایز سنبلچه

نگارنده پاسخگو: رئوف سید شریفی. آدرس: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات.
پست الکترونیک: raouf_ssharifi@yahoo.com

انتهایی) مشخص شد اعمال تنش شوری قبل از تمایز سنبلچه انتهایی، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد پنجه را کاهش داد، در صورتی که اعمال تنش شوری بعد از تمایز سنبلچه انتهایی فقط به طور معنی‌داری تعداد دانه و وزن دانه را کاهش داد (Francois et al., 1994). ماس و پاس (Mass and Poss., 1989) اظهار داشتند که شوری خاک، عملکرد گندم را قبل از مرحله خوشه رفتن نسبت به مرحله پس از آن بیشتر تحت تاثیر قرار داد. زهیر و همکاران (Zahir et al., 2009) نشان دادند که پیش تیمار بذور گندم با باکتری‌های افزاینده رشد تحت تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار در ارتفاع گیاه شد.

دوره پر شدن دانه، دوره‌ای بین گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک است (Pruzli and Mladenov, 1999). درگندم این دوره به طور معنی‌داری به‌وسیله عوامل محیطی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Wiegand and Cuellar, 1981). ماس و گریو (Mass and Grieve, 1990) اظهار داشتند تنش‌های محیطی با کاهش طول دوره پر شدن دانه، به طور معنی‌داری وزن نهایی دانه را کاهش می‌دهند. پسرکلی (Pessarakli, 1999) بیان داشت که تنش شوری موجب کاهش طول دوره و افزایش سرعت پر شدن دانه گردید و علت را به اختلال در فرایند فتوسنتز در اثر سمیت یونی و کاهش سطح فتوسنتزی در اثر تنش اسمزی ناشی از تنش شوری نسبت داد.

یکی از راهکارهای مقابله با شوری، پیش تیمار بذر با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاک‌زی است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه گروهی از باکتری‌ها هستند که می‌توانند به طور مستقیم از جمله تثبیت نیتروژن، تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه و دیگر مواد محرک رشد گیاه و یا به طور غیر مستقیم از طریق تولید آنتی بیوتیک، رقابت با گونه‌های مضر برای اشغال ریشه، ایجاد مقاومت سیستمیک درگیاه و غیره موجب افزایش رشد گیاه شوند (Bhattarai and Hess, 1993).

بهاتارای و هس (Bhattarai and Hess, 1993) ازدیاد محصول در اثر پیش تیمار با آزوسپریلوم را به افزایش تعداد دانه در هر سنبله نسبت دادند. ذبیحی و همکاران (Zabihi et al., 2009) نشان دادند که با افزایش شوری عملکرد و اجزای عملکرد کاهش و در حالت پیش تیمار با باکتری افزایش پیدا کرد. گرامر و همکاران (Gramer et al., 1994) دلیل تعدیل اثر مخرب تنش شوری را در شرایط پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد، به توانایی تولید هورمون‌های گیاهی و همچنین افزایش توان ریشه در جذب آب نسبت دادند.

با توجه به این که شوری از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی در سطح جهان و از جمله ایران است (Sadat Noori and Neily, 2000; Akbari Moghadam et al., 2002) و پیش‌بینی می‌شود که افزایش خاک‌های شور، منجر به کاهش ۲۵ درصد از اراضی قابل کشت در ۲۵ سال آینده شود (Mahajan and Tuteja, 2005)، به نظر می‌رسد یکی از راهکارهای مناسب در جهت کاهش یا تعدیل اثر شوری در کاهش عملکرد، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد باشد. در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر پیش تیمار چند سویه از این باکتری‌ها در شرایط شوری خاک بر برخی خصوصیات از جمله عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پیش تیمار بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن گندم در شرایط شوری، آزمایشی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول پیش تیمار بذر با باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵ (*Azotobacter chroococcum*, strain 5)، آزوسپریلوم لیپوفروم استرین OF (*Azospirillum lipoferum*, strain OF) و سودوموناس استرین ۱۸۶ (*Pseudomonas*, strain 186) و بدون پیش تیمار بذر با باکتری به عنوان شاهد و عامل دوم چهار سطح شوری شامل عدم اعمال شوری به عنوان شاهد و اعمال شوری‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار در خاک) بود. باکتری‌های فوق از موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شدند. رقم گندم مورد استفاده شیرودی بود که از شرکت کشت و صنعت مغان تهیه شد. شوری در خاک با استفاده از نمک NaCl و نرم افزار Salt Calc اعمال شد. برای تلقیح بذرها میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده گردید. از صمغ عربی برای ایجاد چسبندگی بهتر بذر به

باکتری به نسبت ۱۰ درصد وزنی - حجمی استفاده شد. برای اعمال تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه شده توسط محققان سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل برای رقم شیرودی است، ۴۰ عدد بذر درون هر گلدان به صورت ردیفی کشت شد. به منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف شوری و باکتری‌های محرک رشد بر سرعت پر شدن دانه گندم، نمونه‌برداری از ۱۰ روز بعد از گلدهی در فواصل زمانی هر ۵ روز یک‌بار انجام شد. در این مرحله تعدادی بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه انتخاب گردید. هر بار دو خوشه از هر گلدان انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه دانه‌ها از خوشه جدا شده و به مدت ۲ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (Ronanini et al., 2004). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامتر های مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) به شرح زیر استفاده گردید.

رابطه (۱)

$$Gw=\begin{cases} a + bt & t < t_0 \\ a + bt & t \gg t_0 \end{cases}$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) بدست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه (۱) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه گردید. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه ۲ و به صورت زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992):

رابطه (۲) EFP=MGW/ GFR

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد ۱۲ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف‌بر شد و سپس، ارتفاع گیاه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی شمارش و میانگین آنها به عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها از نرم-افزارهای SAS و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر شوری، باکتری‌های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر ارتفاع بوته، طول سنبله، دانه در سنبله، وزن صد دانه، درصد پروتئین دانه، حداکثر وزن دانه، سرعت و طول دوره موثر پر شدن دانه و عملکرد تک بوته معنی‌دار گردید (جدول ۱).

ارتفاع بوته: با افزایش سطوح شوری ارتفاع بوته کاهش یافت. بیشترین ارتفاع بوته در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری در تلقیح بذر با آزوسپریلوم وکمترین آن در بالاترین سطح شوری (۶۰ میلی مولار) و عدم تلقیح بذر با باکتری به دست آمد (جدول۲). زهیر و همکاران (Zahir et al., 2009) نشان دادند که تحت تنش شوری، تلقیح بذر گندم با باکتری های افزاینده رشد موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد.

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف شوری حاکی از آن است که بیشترین طول سنبله در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و تلقیح با آزوسپریلوم و کمترین آن در بالاترین سطح از شوری و عدم تلقیح بذر با باکتری به دست آمد (جدول ۲). ذبیحی و همکاران (Zabihi et al., 2009) نشان دادند که با افزایش شوری، طول سنبله کاهش و در حالت تلقیح با باکتری افزایش پیدا کرد. با افزایش سطوح شوری تعداد دانه در سنبله کاهش یافت. روند مشابهی نیز در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با تلقیح بذر با باکتری ها مشاهده گردید.

جدول ۱. تجزیه واریانس تاثیر شوری و باکتری های محرک رشد بر عملکرد و برخی صفات مرتبط با عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم

Table 1. Analysis of variance effect of salinity × plant growth promoting rhizobacteria on yield and some characteristics of related with yield, rate and effective grain filling period of wheat

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Ear length	تعداد دانه در سنبله Number of grain per ear	وزن صد دانه 100 grains weight	پروتئین دانه Protein content	وزن ریشه Root dry weight
		M.S میانگین مربعات					
تکرار Replication	2	1.053 ns	0.00062 ns	0.358 ns	0.00429 ns	0.0042 ns	0.03376**
باکتری PGPR	3	178.088**	3.59**	27. 94**	1.661**	5.356**	0.20375**
شوری Salinity	3	83.58**	2.28**	15.18**	0.448**	16.162**	0.046788**
شوری*باکتری Salinity*PGPR	9	2.85**	0.056**	8.714 ns	0.0480**	0.417*	0.0527908*
خطا error	30	0.47	0.017	0.178	0.00968	0.154	0.00179
ضریب تغییرات C.V	-	*1.382*	*1.784*	*2.256*	*2.76*	*3.54*	*7.41*

ادامه جدول ۱.

Table 1. Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	حجم ریشه Root volume	سرعت پر شدن دانه rate grain filling	دوره موثر پر شدن دانه effective grain filling period	طول دوره پر شدن grain filling period	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	عملکرد تک بوته Grain per plant
		M.S میانگین مربعات					
تکرار Replication	2	0.0608 ns	0.383**	148.41**	272.118**	3.768**	0.000189 ns
باکتری PGPR	3	3.714**	0.0072**	144.88**	28.98**	188.963**	0.192**
شوری Salinity	3	11.469**	0.058**	98.154**	8.24**	34.03**	0.659**
شوری*باکتری Salinity*PGPR	9	3.338**	0.0131**	51.53**	8.671**	47.79**	0.0553**
خطا error	30	0.145	0.00006	0.931	0.043	1.138	0.00073
ضریب تغییرات C.V	-	*9.138*	*2.581*	*3.35*	*2.614*	*2.829*	*4.034*

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

وزن صد دانه: بیشترین وزن صددانه (۴/۶۷ گرم) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و تلقیح بذر با آزوسپریلوم و کمترین آن (۳/۲۶ گرم) در ترکیب تیماری عدم تلقیح بذر با باکتری و شوری ۶۰ میلی مولار به دست آمد. افزایش وزن صد دانه در گیاه در اثر تلقیح با باکتری را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد در گسترش ریشه اعم از وزن و حجم (جدول ۲) که به جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آن به گیاه کمک می‌نماید نسبت داد که در نهایت به بهبود رشد و افزایش فتوسنتز گیاه منجر می‌شود.

جدول۲. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری و تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد بر برخی صفات گندم

Table 2. Means comparison of effect salinity various levels and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on some characteristics of wheat

شوری (میلی مولار) Salinity (milimolar)	پیش تیمار بذر Seed pretreatment	ارتفاع بوته** Plant height (cm)	طول سنبله** Ear length (cm)	وزن صد دانه** 100grain weight (gr)	وزن ریشه* Root weight (gr)	حجم ریشه** Root volume (cm^3)	پروتئین دانه * Seed protin (%)	عملکرد تک بوته** Yield per plant (gr)
0	Control شاهد	50.066 cf	7.420 e	3.35 ef	0.568 bcd	4.33 cdef	11.17 edf	0.636 ef
	Azotobacter	52.483 d	8.366 b	3.48 de	0.611 b	4.60 cde	11.78 dc	0.636 e
	Azospirillum	57.533 a	8.960 a	4.67 a	0.778 a	6.66 a	12.56 a	1.02 a
	Pseudomonas	50.893 gf	7.700 cd	3.66 c	0.621 b	5.53 b	12.51 ab	0.723 d
15	Control شاهد	47.203 hi	7.196 gf	3.36 ef	0.471 e	4.13 def	11.06 efg	0.606 gf
	Azotobacter	49.933 gf	7.753 c	3.45 b	0.561 bcd	4.2 def	11.66 dec	0.636 ef
	Azospirillum	56.133 b	8.460 b	4.06 d	0.754 a	4.93 bc	12.56 ab	0.860 b
	Pseudomonas	49.710 g	7.530 ed	3.64 dc	0.598 bc	4.66 cd	12.24 bc	0.716 d
30	Control شاهد	44.746 j	7.060 gh	3.13 hg	0.367 f	3.8 f	9.66 h	0.533 h
	Azotobacter	48.320 h	7.420 e	3.26 e	0.514 de	3.93 f	10.77 fg	0.566 hg
	Azospirillum	54.100 c	8.273 b	3.96 c	0.725 a	4.13 def	11.45 de	0.806 c
	Pseudomonas	48.243 h	7.356 ef	3.46 e	0.564 bcd	4.00 def	11.15 edf	0.623 ef
60	Control شاهد	40.663 k	6.556 i	3.26 fg	0.304 f	2.46 g	9.54 h	0.480 i
	Azotobacter	46.946 i	7.090 gh	3.34 ef	0.461 e	2.53 g	8.68 i	0.564 h
	Azospirillum	52.016 ed	7.683 cd	3.63 dc	0.709 a	3.93 ef	10.476 g	0.713 d
	Pseudomonas	46.636 i	6.933 h	3.35 f	cde 0.531	2.86 g	9.61 h	0.613 efg

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم در سطح احتمال یک (**) و پنج درصد (*) ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% and 1% probability levels

درصد پروتئین دانه: با افزایش سطوح شوری، درصد پروتئین دانه کاهش یافت. بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۲/۹۶) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری در تلقیح بذر با آزوسپریلوم وکمترین آن (۹/۵۴) در بالاترین سطح شوری (۶۰ میلی مولار) و عدم تلقیح بذر با باکتری به دست آمد (جدول ۲). که با یافته‌های خرم دل و همکاران (Khoramdel et al., 2008) و کافی و استوارت (Kafi and Stwart, 1998) مطابقت داشت. در بررسی مکانیسم-های تحمل به شوری و اثر متقابل تلقیح بذر با *Azospirillum brasilense* در ارقام ذرت رشد کرده در شرایط تنش شوری، حمدی و همکاران (Hamdi et al., 2004) نشان دادند که تحمل به شوری در ارقام تلقیح شده افزایش یافت و به افزایش پروتئین محلول در بخش هوایی و پروتئین کل ریشه درتیمارهای تحت تنش شوری منجر گردید. به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد توانسته‌اند با کمک به تثبیت نیتروژن باعث افزایش تولید پروتئین در شرایط تنش شوری شده و تا حدی آثار نامطلوب شوری را تخفیف دهند.

وزن و حجم ریشه: بر اساس نتایج حاصله معلوم گردید که وزن ریشه با افزایش شوری خاک در تمامی ترکیبات تیماری کاهش یافت که با نتایج گزارش شده توسط برخی دیگر از محققین مطابقت داشت (برای مثال، Gramer et al., 1994; Singh and Singh, 1994; Okon et al., 1997). در بین ترکیبات تیماری پیش تیمار بذر با باکتری آزوسپریلیوم در سطح شوری شاهد بیشترین وزن ریشه را به خود اختصاص داد و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به عدم

پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطح شوری ۶۰ میلی مولار بود (جدول۲). گلیک و همکاران (Glick et al., 2001) نشان دادند که باکتری *Pseudomonas putida* GR12-2 که از باکتری‌های محرک رشد بوده و دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز است باعث افزایش وزن خشک ریشه و رشد گیاهچه‌های کلزا در حضور غلظت بالای نمک NaCl شد. هامائویی و همکاران (Hamaoui et al., 2001) دریافتند که در شرایط شور، آزوسپریلوم تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن و رشد ریشه نخود را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد اختلاف معنی‌داری از نظر وزن ریشه با شاهد ایجاد کرد. بیشترین وزن ریشه در سطح شوری شاهد مربوط به پیش تیمار بذر با باکتری آزوسپریلیوم و کم‌ترین آن مربوط به عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بود که با یافته‌های هامائویی و همکاران (Hamaoui et al., 2001) مطابقت داشت (جدول ۲). آنان دلیل این امر را به توانایی باکتری‌های محرک رشد در تولید هورمون های رشد گیاهی نسبت دادند. به نظر می رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب تعدیل اثر مخرب شوری با افزایش سطح فعال ریشه از طریق رشد بیشتر ریشه شده است. همچنین با افزایش شدت شوری، وزن ریشه در تمامی ترکیبات تیماری کاهش یافت (جدول ۲). به نظر می‌رسد علت آن با به هم خوردن توازن یونی در ریزوسفر و همچنین درون ریشه مرتبط باشد که موجب می شود فرایند جذب آب، بزرگ شدن سلول و در نتیجه رشد سلول ها کند شود.

با افزایش سطوح شوری، حجم ریشه کاهش و با پیش تیمار افزایش یافت. بیشترین حجم ریشه (۶/۶۶ سانتی‌متر مکعب) درعدم اعمال شوری و پیش تیمار با آزوسپریلوم و کمترین آن (۲/۴۶سانتی‌متر مکعب) در سطح شوری۶۰ میلی مولار و عدم پیش تیمار با باکتری برآورد گردید (جدول۲). برزوئی و همکاران (Borzoei et al., 2012) گزارش کردند که حجم ریشه با افزایش شوری کاهش یافت. در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است که پیش تیمار غلات با آزوسپیریلوم سبب افزایش حجم و تعداد ریشه شده است (Bashan et al., 1989). مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2005) این توسعه یا گسترش حجم ریشه را به افزایش هورمون‌های محرک رشد نسبت دادند.

سرعت و دوره پر شدن دانه: براساس نتایج مشخص گردید که با افزایش میزان شوری، سرعت پر شدن دانه در تمامی تیمارهای مورد بررسی افزایش یافت (جدول ۲). همچنین کاربرد باکتری‌های محرک رشد، اثر نامساعد تنش شوری را تعدیل نموده و در سطوح مختلف شوری، پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاهی از نظر سرعت و دوره موثر پر شدن دانه با تیمار عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد اختلاف آماری معنی داری داشت. پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد در شرایط شوری منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه و کاهش سرعت پر شدن دانه، در مقایسه با تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد علت با توانایی باکتری‌های محرک رشد گیاهی در تعدیل شرایط نامساعد محیطی ناشی از تنش شوری در گیاه مرتبط باشد.

تاثیر سطوح مختلف شوری بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم در پیش تیمار بذر با باکتری های محرک رشد در شکل ۱و معادلات رگرسیونی برازش شده برای هر ترکیب تیماری در جدول ۳ آورده شده است. بررسی روند تغییرات سرعت پر شدن دانه در پیش تیمار بذر با PGPR در سطح ثابت از شوری، نشان داد که الگوی نمو بذر در کلیه ترکیب‌های تیماری مشابه است، بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافت و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی)، پس از این مرحله، وزن دانه از تغییراتی چندانی برخوردار نبود و به صورت یک خط افقی در آمد. براساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که بین باکتری‌های محرک رشد در سطح ثابتی از شوری، از نظر دوره موثر پرشدن، حداکثر وزن دانه و طول دوره پر شدن دانه تفاوت‌های وجود داشت. به عبارتی شیب خطی برازش شده برای ترکیبات تیماری مختلف یکسان نبود (جدول ۳). در سطح ثابت از کلیه سطوح شوری، حداکثر وزن تک بذر به پیش تیمار بذر با باکتری آزوسپیریلوم و حداقل وزن آن به حالت عدم تلقیح بذر مربوط می‌شد. به عبارتی حداکثر وزن تک بذر (۴۷/۷۱۳ میلی‌گرم) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و پیش تیمار بذر با آزوسپیریلوم و حداقل آن (۳۳/۶۵ میلی گرم) در بالاترین سطح از شوری و عدم پیش تیمار بذر با باکتری برآورد گردید. بنابراین با افزایش شوری، وزن تک بذر گندم کاهش یافته و با کاهش آن افزایش یافت. به نظر می‌رسد با کاربرد باکتری، میزان اسیمیلاسیون افزایش یافته و موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده و پر شدن دانه افزایش می‌یابد. برآورد

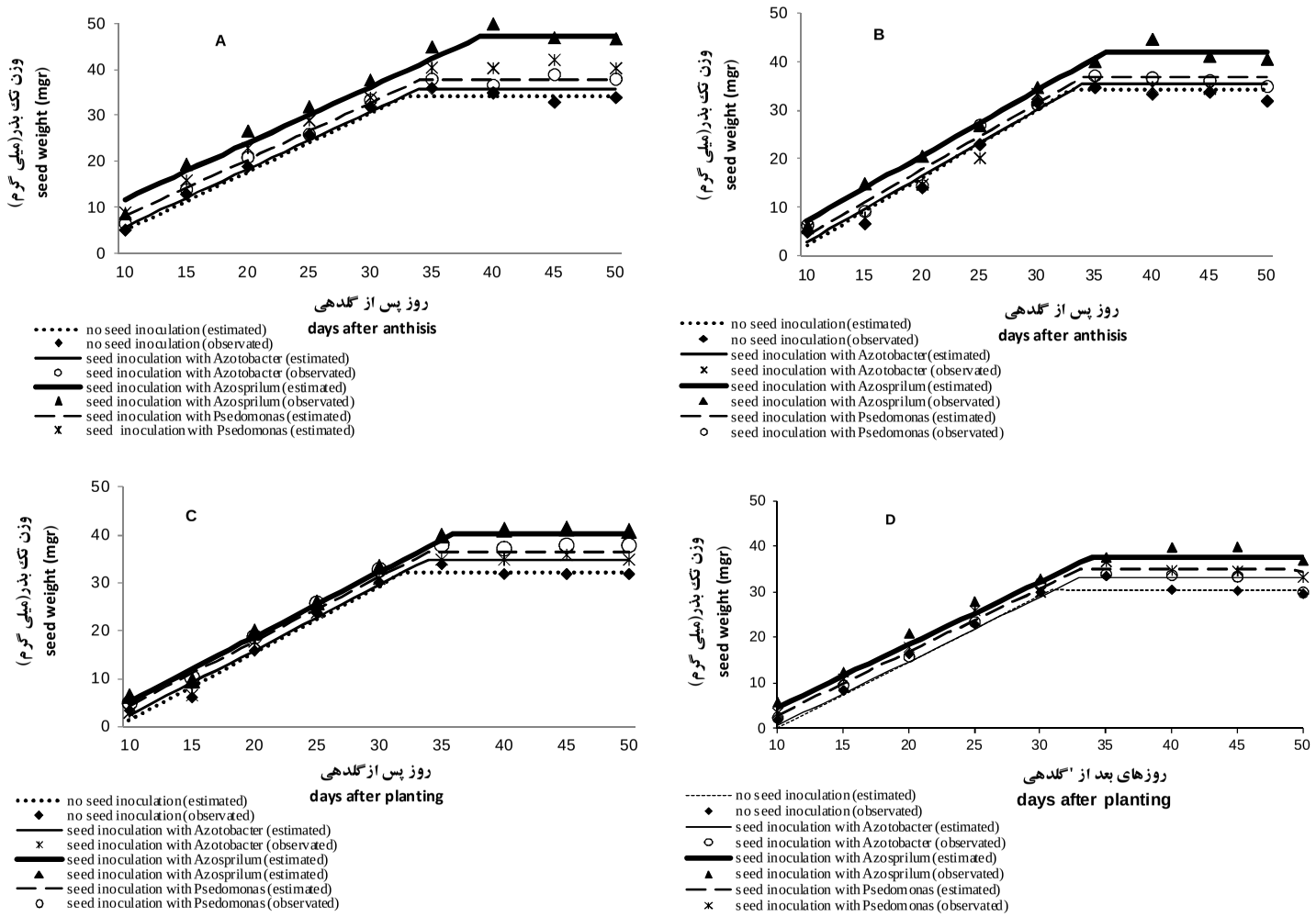
وزن تک بذرگندم در سطح ثابت از شوری (عدم اعمال شوری) و پیش تیمار بذر با باکتری های محرک رشد نشان داد که حداکثر وزن تک بذر در پیش تیمار بذر با باکتری آزوسپیریلوم (۴۷/۷۱ میلی‌گرم) و در شوری‌های ۱۵ ،۳۰ و ۶۰ میلی مولار در پیش تیمار بذر با همین باکتری به ترتیب برابر ۴۴/۴۵، ۴۱/۴۱۶ و ۴۰/۰۷ میلی‌گرم برآورد گردید (شکل ۱).

نتایج نشان داد که طول دوره پرشدن دانه و دوره موثر پر شدن دانه با افزایش سطح شوری کاهش و با کاربرد باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت (جدول ۳). حداکثر طول دوره پر شدن دانه (۳۸/۵۵ روز) به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و پیش تیمار بذر با آزوسپیریلوم و حداقل طول این دوره (۳۱/۴۴۶ روز) به ترکیب تیماری شوری۶۰ میلی مولار و عدم تلقیح بذر با باکتری تعلق داشت. شیب خط برازش شده در ترکیب تیماری شوری۶۰ میلی مولار و عدم تلقیح بذر با باکتری (۱/۴۳۵) بیشتر از حالت عدم اعمال شوری و تلقیح بذر با آزوسپیریلوم (۱/۲۰۷) برآورد گردید. نتیجه این که ترکیب تیماری شوری۶۰ میلی مولار و عدم تلقیح از حداکثر شیب یا از سرعت پر شدن دانه بالاتر و ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم از حداقل شیب برخوردار بود. دوره پر شدن دانه مرحله اصلی تشکیل عملکرد دانه است و طولانی‌تر بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدا به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد (Grant, 1989). کاهش وزن دانه در شرایط شور با کاهش طول دوره پر شدن دانه قابل توجیه است. پوستینی (Poustini, 1998) همبستگی معنی دار مشاهده شده بین وزن خشک دانه و طول دوره پر شدن دانه گندم را در شرایط شور به اهمیت و نقش مؤثر دوام پر شدن دانه در تحمل به شوری نسبت داد. فرانکوئیس و همکاران (Francois et al., 1994) اظهار داشتند که شوری وزن دانه را از طریق کوتاهی دوره پر شدن دانه و تسریع در بلوغ دانه‌ها کاهش می‌دهد. مانس و جیمز (Munns and James, 2003) اظهار داشتند که در شرایط شوری طول دوره رشد رویشی و زایشی ژنوتیپ-های گندم تحت تنش شوری کاهش یافته که این کاهش باعث زودرسی آن می‌شود. در این بررسی به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تامین عناصر غذایی، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم ساخته‌اند.

عملکرد دانه: با افزایش سطوح شوری عملکرد دانه کاهش یافت. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با عدم تلقیح بذر منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف شوری حاکی از آن است که بیشترین عملکرد دانه (۱/۰۲ گرم در بوته) در تلقیح بذر با آزوسپیریلوم و عدم اعمال شوری و کمترین آن (۰/۴۸ میلی‌گرم در بوته) در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری در بالاترین سطح از شوری (۶۰ میلی مولار) برآورد گردید (جدول ۲). به نظر می‌رسد در این آزمایش تلقیح بذر گندم با باکتری به دلیل کمک به گسترش و توسعه سیستم ریشه‌ای بهتر، موجب شده است گیاه مواد غذایی بیشتری جذب کرده و عملکرد را افزایش دهد. به طوری که در بررسی مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه (جدول۲)، مشاهده گردید که تلقیح بذر گندم با باکتری باعث افزایش وزن و حجم ریشه شده است و به نظر می رسد همین امر به دلیل افزایش جذب مواد غذایی می تواند دلیل دیگرافزایش عملکرد تک بوته تحت چنین شرایطی باشد.

نتیجه‌گیری

با افزایش سطوح شوری عملکرد و اجزای عملکرد دانه و طول دوره پر شدن دانه کاهش یافت. تلقیح بذر با باکتری-های محرک رشد در مقایسه با عدم تلقیح بذر منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد نسبت عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، در بهبود صفات مورد بررسی از جمله عملکرد و اجزای عملکرد دانه تاثیر داشته است. طوری که بیشترین عملکرد دانه در پرایمینگ بذر با آزوسپریلوم در حالت عدم اعمال شوری و کمترین آن در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری در بالاترین سطح از شوری برآورد گردید. به نظر می‌رسد تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد می‌تواند با کاهش یا تعدیل اثر شوری در بهبود عملکرد و طول دوره پر شدن دانه حتی در شرایط تنش شوری موثر واقع شود.



شکل ۱. روند تغییرات سرعت و طول دوره پر شدن دانه در تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد در عدم اعمال شوری(a)، شوری ۱۵میلی مولار(b)، شوری ۳۰ میلی مولار(c) و شوری ۶۰ میلی مولار(d).

Fig. 1. variation trend of rate and effective grain filling period in seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria in without salinity (a),

جدول ۳. تأثیر سطوح مختلف شوری و باکتری‌های محرک رشد بر وزن تک بذر، سرعت و دوره موثر پر شدن دانه

Table 3. Effects of salinity various levels and plant growth promoting rhizobacteria on grain weight, rate and effective grain filling period of wheat

شوری (میلی مولار) Salinity (milimolar)	پیش تیمار بذر Seed pretreatment	دوره موثر پر شدن دانه (روز) Effective grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه (روز/ میلی‌گرم) Rate grain filling ($mg.day^{-1}$)	حداکثر وزن دانه (میلی‌گرم) Maximum of grain weight (mgr)	طول دوره پر شدن دانه (روز) grain filling period (day)	معادله برازش شده Estimated equation.
0	شاهد Control	28.43 ^{gf}	1.25 ^{g}	35.52 ^{fgh}	33.04 ^{hg}	Y= -7.75+ 1.27X
	Azotobacter	30.32 ^{d}	1.23 ^{h}	37.27 ^{ef}	33.73 ^{de}	Y= -6.74+ 1.25X
	Azospirillum	39.93 ^{a}	1.20 ^{i}	47.713 ^{a}	38.55 ^{a}	Y= -0.47+ 1.22X
	Pseudomonas	32.513 ^{bc}	1.21 ^{i}	39.3 ^{d}	33.76 ^{d}	Y= -4.22+ 1.23X
15	شاهد Control	25.31 ^{ij}	1.376 ^{d}	34.63 ^{hi}	32.58 ^{i}	Y= -11.7+ 1.39X
	Azotobacter	27.37 ^{gh}	1.33 ^{f}	36.46 ^{efg}	33.38 ^{efg}	Y= -10.5+ 1.35X
	Azospirillum	33.75 ^{b}	1.32 ^{f}	44.45 ^{b}	35.95 ^{b}	Y= -6.19+ 1.34X
	Pseudomonas	28.156 ^{gfh}	1.33 ^{ef}	37.36 ^{e}	33.62 ^{def}	Y= -9.22+ 1.35X
30	شاهد Control	24.44 ^{j}	1.386 ^{bc}	33.65 ^{i}	31.93 ^{j}	Y= -12.7+ 1.4X
	Azotobacter	26.93 ^{ghi}	1.34 ^{e}	35.56 ^{fgh}	33.35 ^{fg}	Y= -11.3+ 1.36X
	Azospirillum	31.21 ^{cd}	1.33 ^{ef}	41.41 ^{c}	35.60 ^{c}	Y= -8.3+ 1.35X
	Pseudomonas	26.85 ^{ghi}	1.32 ^{f}	36.48 ^{efg}	33.41 ^{ef}	Y= -9.03+ 1.34X
60	شاهد Control	23.74 ^{j}	1.43 ^{a}	33.68 ^{i}	31.44 ^{k}	Y= -14.1+ 1.45X
	Azotobacter	24.77 ^{j}	1.39 ^{b}	34.36 ^{hi}	32.95 ^{h}	Y= -13.5+ 1.41X
	Azospirillum	29.52 ^{ef}	1.36 ^{d}	40.07 ^{cd}	33.62 ^{def}	Y= -9.25+ 1.38X
	Pseudomonas	26.81 ^{hi}	1.37 ^{dc}	35.39 $^{hg\,i}$	33.04 ^{hg}	Y= -11.1+ 1.39X

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 1% probability level.

منابع

Akbari Moghadam, H., Etesam, Gh.R., Kuhkan, Sh.E., Rostami, H. 2002. Evaluation the effects of salinity stress on the yield and yield components of genotypes of bread wheat. The 7th congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran, Seed and Plant Improvement of Karaj.12-16 Septamber. Pp 773. [In Persian].

Bashan, Y., Levanony, H., Mitiju, G. 1989. Changes in proton efflux of intact wheat root induced by A. brasilense Cd. Can. J. Microbiol. 35: 691-67.

Bhattarai, T., Hess, D.1993. Yield responses of Nepalese spring wheat (*Triricum aestivum* L.) cultivars to inculation with Azospirllum spp of nepales orign. Plant and Soil. 151: 67-76.

Borzoei, A., Kafe, M., Khazaei, H.R., Mosavi Shelmani, M.A. 2012.Effects of saline irrigation water on root traits of two saline sensitive and resistance wheat cultivars and its relationship with grain yield in greenhouse condition. J of Sci and Techno Greenhouse Culture. 8 (2): 95-106. [In Persian with English summary].

Ellis, H.R., Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barely and wheat. Seed Sci 2:19-25.

Food and Agriculture of Organization of United Nations. 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic Republic of Iran. Rome.

Francois, L.E., Grieve, C., Mass. E.V., Lesch, S. M. 1994. Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. Agron. J. 86: 100-107.

Francois, L.E., Mass, E., Donovan, T.J., Youangs, V.L. 1986. Effect of salinity on grain quality and vegetative growth and germination of semi dwarf and durum and wheat. Agron. J. 78: 1053-1058.

Glick, B.R., Penrose, D., Wendo, M. 2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotech. Adv. 19: 135-138.

Gramer, G.R., Alberico, G.J., Schmidt, C. 1994. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. Aust. J. Plant Physiol. 21(5): 675-682.

Grant, R. F. 1989. Simulation of maize phenology. Agron. J. 81:451-457.

Hamaoui, B., Abbadi, J., Burdman, M., Rashid, S., Sarig, S., Okon, Y. 2001. Effects of inoculation with Azospirillum brasilense on chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and faba beans (*Vicia faba*) under different growth conditions. Agron J. 21:553-560.

Hamdi, M.A., Shaddad, M.A.K., Doaa, M.M. 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of Azospirillum brasilense inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. Plant Growth Regul. 44: 165–174.

Kafi, M., Stwart, D.A. 1998. Effect of salinity on growth and yield of nine types of wheat. Agro Food Sci. 12(1): 77-85.

Khoramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mohalatiand, M., Gorbani, R. 2008. Effects of biological fertilizers application on growth indices of *Nigella sativa* L. Iranian Agron Res. 6: 285-294. [In Persian with English summary].

Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139–158.

Mass, E.V., Grieve, C.M.1990. Spike and leaf development in salt stressed wheat. Crop Science. 30: 1309-13.

Mass, E.V., Poss, J.A.1989. Salt sensitivity of cow pea at various growth stages. Irrig Sci. 10: 313-320.

Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R. 2004. Plant growth promoting bacteria confer resistance in tomato plants salt stress. Plant Physiol Biochem 42: 565-572.

Mostajeran, A., Amoagaei, R., Emtiazi, G. 2005.Effects of *Azosprilum* and irrigation water pH on grain yield and protein content in wheat cultivars. Iranian J. Biol. 18 (3): 248-260. [In Persian with English summary].

Munns, R., James, A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant Soil. 253: 201-218.

Okon, Y., Labandera-Gonzalez, C.A. 1997. Agronomic applications of Azospirillum: an evaluation of 20years worldwide field inoculation. Soil Biol Biochem. 26: 1591-1601.

Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. Marcel dekker. Inc.

Poustini, K.1998. Response of physiological two wheat cultivars to salinity stress. J. Agricul Sci. 16 (2): 65-67. [In Persian with English summary].

Pruzli, N., Mladenov, N. 1999. Inheritance of grain filling duration in spring wheat. Plant Breeed. 118: 517-521.

Ronanini, D.R., Savin, R., Hall, A.J.2004.Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brif interval of high temperature during grain filling. Field Crop Rers. 83: 79-90.

Sadat Noori, S.A., Neily, T.M.C. 2000. Assessment of variability in salt tolerance based on seedling growth of Triticum aestivum. Resourses and Crop Evalution. 47: 285-291.

Sairam, R.K., Veerabharda, K., Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotype to long term salinity stress in relation to oxidative stress. Ontioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci. 163: 1037- 104.

Singh, B.R., Singh, D.P.1994. Effect of moisture stress om morphological parameters and productivity of poaceous crops. Agro Botanical Publishers. India, Bikaner. pp: 241-246.

Wiegand, C.L., Cuellar, J.A. 1981. Duration af grains filling and Kernel weight as affected by temperature. Crop Sci. 21: 95-101.

Zabihi, H.R., Savagebi, G.R., Khavazi, K., Gangali, A. 2009. Study of *Pseudomonas* strains application on yield and yield components of wheat in various levels of soil salinity. J of Soil and Water. 23 (1): 199-208. [In Persian with English summary].

Zahir, Z.A., Ghoni, U., Naveed, M., Nadeem, S.M., Asghar, H.N. 2009. Comporative effectivness of pseudomonas and serratia sp. Containing ACC-diaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Arch Microbial. 191(5): 415-424.