علوم و تحقیقات بذر ایران
سال چهارم/ شماره اول/ ۱۳۹۶ (۲۴ – ۹)

DOI: 10.22124/jms.2017.2244

تأثیر پیش‌تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کتان روغنی (*Linum usitatisimum* L.) تحت تنش شوری

مهدی عقیقی شاهوردی[۱*]، حجت عطایی سماق[۲]، بهنام ممیوند[۳]، شریفه حبیب‌پور[۱]، میلاد همتی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۲

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی پیش‌تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر کتان روغنی در شرایط تنش شوری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه علوم وتکنولوژی بذر دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل پیش‌تیمار با باکتری‌های محرک رشد در پنج سطح، عدم پیش تیمار به‌عنوان شاهد، ازتوباکتر کروکروم (سویه Azeto-5)، سودوموناس فلورسنس (سویه P-169)، سودوموناس پوتیدا (سویه P-168) و کود زیستی فسفر بارور۲ و تنش شوری در پنج سطح، صفر به عنوان شاهد، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین آلومتری (۱/۳۱) مربوط به شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بود. بیش‌ترین میانگین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱۳۷۵/۸۳)، طول ریشه‌چه (۶/۸۳ سانتی‌متر) و طول گیاهچه (۱۴ سانتی‌متر) در برهمکنش پرایمینگ با فسفر بارور۲ در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. بالاترین میانگین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (۲/۵۱)، شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۱/۸۷) و وزن خشک گیاهچه (۰/۰۱۹ گرم) مربوط به پرایمینگ با سودوموناس فلورسنس در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. عدم پرایمینگ (شاهد) در سطح شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) نیز دارای بیش‌ترین میانگین سرعت جوانه‌زنی (۱۵/۳۳ بذر در روز) بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی فسفر بارور ۲ و سودوموناس فلورسنس می‌تواند در تعدیل تنش شوری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر به‌خصوص افزایش رشد گیاهچه و بنیه بذر کتان روغنی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، بزرک، سودوموناس، سرعت جوانه‌زنی، شوری، فسفر بارور

۱- دانشجویان دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲، ۳ و۴- به‌ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد زراعت، آگرواکولوژی و علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
*نویسنده مسئول: m.aghighi@shahed.ac.ir

مقدمه

گیاه کتان روغنی یا بزرک با نام علمی *Linum usitatisimum* L.، از تیره Linaceae گیاهی یک‌ساله و چندمنظوره است و در مناطق گرم و خشک تا معتدله رشد و نمو می‌کند. بذر خوراکی کتان روغنی به دلیل دارا بودن ارزش‌های متعدد طبی در دنیا بسیار حایز اهمیت بوده و محتوی چندین نوع اسید چرب غیراشباع است که برای تغذیه انسان ضروری به نظر می‌رسد. دانه کتان روغنی دارای ۳۰ تا ۴۵ درصد روغن، ۲۰ درصد پروتئین و ۲۸ درصد فیبر می‌باشد (Nematolahei and Saidi, 2010). همانند دیگر محصولات کشاورزی، صفات زراعی و کیفی این محصول نیز تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله تنش‌ها و ژنوتیپ قرار می‌گیرد. آستانه تحمل به شوری بالایی در گیاه کتان گزارش شده است، به‌طوری که ۸۷ درصد جوانه‌زنی در شوری ۲۲/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر داشت (Gaderifar *et al*., 2012).

تنش شوری جزء اولین تنش‌های محیطی است که گیاهان با آن مواجه‌اند و امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر همه جنبه‌های متابولیسم گیاهی اثر گذاشته و تغییراتی را در آناتومی و مورفولوژی گیاه ایجاد می‌کند (Azarnivand and Ghorbani, 2007). در بسیاری از گیاهان مرحله جوانه‌زنی بذر به شوری حساس بوده و تعیین‌کننده بقای گیاهان در خاک‌های شور می‌باشد (Enferadi *et al.,* 2002). با افزایش غلظت نمک سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. از دلایل کاهش جوانه‌زنی در محیط‌های شور می‌توان به فعال‌نمودن برخی هورمون‌ها و سیستم‌های آنزیمی غیرفعال، تغییر تراوایی غشا و عدم کارایی مسیر اکسیداتیو اشاره کرد (Mokhtari *et al.,* 2008). تنش شوری از جمله تنش‌های غیر زیستی می‌باشد که با روش‌های مختلف از جمله اختلال در جذب آب، کاهش فعالیت آنزیم‌ها و کاهش انتقال مواد غذایی از لپه به جنین باعث می‌شود، جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه به‌خوبی صورت نگیرد. حسنی (Hassani, 2003) نشان داد که شوری اثر معنی‌داری بر پارامترهای جوانه‌زنی گیاه ریحان دارد و در شوری‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌مولار در لیتر درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. خمری و همکاران (Khomri *et al*., 2007) در بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کنگر فرنگی[1]، سیاموپسیس[2]، چای ترش[3]، سنای هندی[4] و ریحان[5] گزارش کردند که اختلاف معنی‌داری میان سطوح شوری برای درصد و سرعت جوانه‌زنی در تمام گونه‌ها وجود داشت. به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری سرعت و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت.

یکی از روش‌های رایج جهت افزایش درصد جوانه‌زنی، به‌ویژه در شرایط نامساعد که باعث کاهش ناهمگونی فیزیولوژیکی در توده بذر نیز می‌شود، پرایمینگ است. زمانی که بذرها در خاک کشت می‌شوند، مدت زیادی را صرف جذب آب می‌کنند، اگر این زمان از طریق پیش‌تیمار بذور کاهش یابد جوانه‌زنی سریع‌تر انجام شده و گیاه زراعی حاصل قوی‌تر خواهد بود (Hosseini and Koocheki, 2007). پرایمینگ بذر با توسعه فاز دو از سه فاز جوانه‌زنی یعنی از طریق کوتاه‌کردن مدت زمان سوخت و ساز، باعث تسریع جوانه‌زنی می‌شود (Akram-Ghaderi *et al*, 2008).

استفاده بالقوه از میکروارگانیزم‌های مفید خاکزی نیز یکی از روش‌های بیولوژی برای افزایش تولید در کشاورزی است که می‌توانند از روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه[6] نامیده شده‌اند، قادر به بهبود رشد گیاهان از طریق تأمین مواد مغذی گیاهی، ترشح هورمون‌های رشد گیاهی و اسیدهای آلی هستند و سبب افزایش باروری خاک و حفظ سلامت محیط زیست می‌شوند (Esitken *et al*., 2010). تلقیح گیاه با این باکتری‌ها می‌تواند باعث افزایش وزن خشک، افزایش نیتروژن کل گیاه، افزایش عملکرد دانه، افزایش وزن دانه‌ها، افزایش سرعت جوانه‌زنی و تغییر در طول مراحل رشد گیاه گردد، همچنین

[1] *Cynara scolymus* L.
[2] *Cyamopsis psoraloides* L.
[3] *Hibiscus sabdariffa* L.
[4] *Cassia angustifolia* Vahl.
[5] *Ocimum bacillicum* L.
[6] Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

استفاده از کودهای زیستی فسفردار باعث افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی مانند شوری و همچنین بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات زراعی می‌گردد (Smite *et al*., 1994). احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al*., 2010) اثر تلقیح بذر گیاه کلزا در سطوح مختلف شوری را بررسی و بیان داشتند که باکتری‌های محرک رشد (استرین-های مختلف *سودوموناس فلورسنس*[7]) اثر مثبت و معنی‌داری بر صفات مورد بررسی در سطوح مختلف شوری داشته و باعث افزایش تحمل به شوری شده است. تحت تنش شوری، باکتری‌های محرک رشد اثر مفیدی در پارامترهایی مانند سرعت جوانه‌زنی، مقاومت به خشکی، عملکرد و رشد گیاه بزرگ نشان داد (Yasin *et al*., 2012). عقیقی شاهوری و همکاران (Aghighi Shahverdi *et al*., 2011) اثر باکتری محرک رشد ازتوباکتر را بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر عدس معنی‌دار گزارش کردند. گزارش شده است که تلقیح بذر سویا با سودوموناس و برادیوریزوبیوم استقرار و ظهور گیاهچه را بهبود داده است (Zaidi, 2003). استفاده از کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد در ارتقای بنیه بذر و گیاهچه نیز مؤثر بوده و بذرها و گیاهچه‌های ایجاد شده را در تحمل تنش شوری مقاوم‌تر می‌سازد (Ramamoorthy *et al*, 2000). هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی کتان روغنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با کودهای زیستی در شرایط تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی کتان روغنی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل پیش-تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد در پنج سطح، بدون پیش‌تیمار به‌عنوان شاهد، پیش‌تیمار با *سودوموناس پوتیدا*[8] (سویه P-168)، *سودوموناس فلورسنس* (سویه P-169)، *ازتوباکتر کروکوم*[9] (سویه Azeto-5) و کود زیستی فسفر بارور ۲[10] (شرکت زیست فناور سبز ایران) و سطوح مختلف تنش شوری (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. در ابتدای آزمایش بذور با هیپوکلرید سدیم پنج درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. پس از آن تلقیح بذور با باکتری‌های محرک رشد تهیه‌شده از بخش تحقیقات بیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب کرج (هر یک مایع تلقیح دارای 10^{-8} $CFU.ml^{-1}$)، با دقت کامل در شرایط تاریکی صورت گرفت. برای چسبندگی بهتر از صمغ عربی (۱۵ درصد وزنی-حجمی) استفاده شد (Seyed Sharifi and Khavazi, 2011). در هر پتری-دیش ۲۵ عدد بذر بر روی کاغذ واتمن قرار داده شد و با توجه به تیمار به هر پتری‌دیش سه میلی‌لیتر آب شور اضافه شد و به‌منظور کاهش میزان تبخیر آب درب پتری‌ها به وسیله پارافیم بسته شدند (Yonesi *et al*., 2012). شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز دوم به‌صورت روزانه در ساعتی معین انجام گردید. به هنگام شمارش، بذوری جوانه‌زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها دو میلی‌متر بیش‌تر بوده است (ISTA, 2010). بعد از پایان جوانه‌زنی (هفت روز) طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه توسط خط-کش تعیین گردید. برای بدست آوردن وزن خشک گیاهچه، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس وزن خشک گیاهچه توسط ترازو اندازه‌گیری شد. بعد از محاسبه صفات زیر، داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

۱- سرعت جوانه‌زنی: این شاخص یکی از قدیمی‌ترین مفاهیم بنیه بذر است و روشی جهت تعیین سرعت جوانه‌زنی که توسط ماگویر (Maguire, 1962) پیشنهاد شده است.

[7] *Pseudomonas fluorescens*
[8] *Pseudomonas putida*
[9] *Azotobacter Chroococcum*
[10] Barvar-2 Phosphate Biofertilizer

$$GS = \frac{\text{تعداد گیاهچه‌های طبیعی}}{\text{تعداد روز تا شمارش آخر}} + \cdots + \frac{\text{تعداد گیاهچه‌های در روز nام}}{\text{تعداد روز تا اولین شمارش}}$$

۲- متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG): متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی از روی رابطه زیر محاسبه گردید (Ellis and Roberts, 1981):

$$MTG = \frac{\sum(nd)}{\sum n}$$

که در این رابطه: n = تعداد بذور جوانه‌زده در طی d روز d = تعداد روزها از ابتدا جوانه‌زنی $\sum n$ = کل تعداد بذور جوانه‌زده می‌باشد.

۳- متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG): متوسط جوانه‌زنی روزانه از رابطه زیر تعیین گردید (Scott *et al*, 1984):

$$MDG = \frac{FGP}{d}$$

در این رابطه FGP درصد جوانه‌زنی نهایی (قوه نامیه) و d تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دورهٔ آزمایش) می‌باشد.

۴- سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS): این شاخص که عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه است از رابطه زیر محاسبه گردید (Stephanie *et al*, 2005):

$$GS = \frac{1}{MDG}$$

۵- شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه: پس از تعیین گیاهچه‌های عادی و غیر عادی تعداد پنج گیاهچه از هر توده به طور تصادفی انتخاب و سپس طول گیاهچه و برگ‌های اولیه و ریشه‌های اولیه و وزن تر و وزن خشک تعیین گردید. با استفاده از داده‌های اخیر دو شاخص بنیه گیاهچه از روی رابطه‌ی زیر تعیین گردید (Abdul Baki and Anderson, 1973):

$$SVI(1) = \text{قوه نامیه} \times (\text{میانگین طول ریشه اولیه} + \text{میانگین طول ساقه اولیه})$$

$$SVI(2) = \text{قوه نامیه} \times \text{وزن خشک گیاهچه}$$

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی

جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد اثر پرایمینگ بذر، شوری و اثر متقابل پرایمینگ در شوری برای سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در بین تیمارهای پرایمینگ، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در فسفر بارور ۲ و شاهد (عدم پرایمینگ) به‌ترتیب با میانگین ۱۲/۰۷ و ۱۲/۳۹ بذر در روز بود (جدول ۲). روند کاهشی میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر با افزایش سطح شوری مشاهده شد، به‌طوری‌که کم‌ترین میانگین در بالاترین سطح شوری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و بیش‌ترین میانگین در تیمار شاهد (عدم شوری) به‌دست آمد (جدول ۳). بروز تنش شوری به واسطه ایجاد خشکی فیزیولوژیک موجب کاهش آب قابل دسترس و در نتیجه تاخیر و عدم یکنواختی جوانه‌زنی می‌گردد (Patanea *et al*., 2009). در اثر برهمکنش شوری در پرایمینگ، بیش‌ترین میانگین سرعت جوانه‌زنی (۱۵/۳۳ بذر در روز) برای عدم پرایمینگ (شاهد) در شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) به‌دست آمد که با تیمار عدم پرایمینگ در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در گروه یکسانی قرار داشت ولی با دیگر سطوح اختلاف معنی‌داری نشان داد و کم‌ترین آن (۷/۷۵ بذر در روز) در پرایمینگ سودوموناس فلورسنس در شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۴ و شکل ۱). دی و کار (De and Kar, 1994) گزارش کردند، اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد یا جذب به آرامی صورت گیرد فعالیت‌های متابولیک جوانه‌زنی در داخل بذر به کندی انجام خواهند شد. در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد که تحت شرایط شوری علاوه بر این‌که جذب آب در مراحل آب‌نوشی و استقرار گیاهچه کاهش می‌یابد، یون‌های اضافه نیز جذب می‌شود که خود باعث کاهش در شیب پتانسیل آب بین بیرون و درون بذر می‌شود و در نهایت باعث تأخیر در خروج ریشه‌چه می‌شود (Makar *et al*, 2009).

اطلاعات حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد نه تنها باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی نشد، بلکه میانگین این صفت را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. عموآقایی و همکاران (Amoaghaei *et al*., 2002) بیان داشتند که میزان تأثیر باکتری بر رشد گیاهان با غلظت باکتری ارتباط نزدیکی دارد. آن‌ها گزارش کردند که استفاده از باکتری در غلظت‌های پایین اثر مثبت و در

غلظت‌های بالا اثر منفی بر شاخص‌های رشدی و جوانه‌زنی گندم دارد. استفاده از غلظت‌های بالای باکتری اثر مفیدی بر شاخص‌های رشد و جوانه‌زنی ذرت نداشته است، چون در این غلظت باکتری‌ها بیش‌تر به‌صورت تجمع‌های چند لایه‌ای غیرفعال به ریشه چسبیده‌اند (Gafni *et al*., 1986). بنابراین با توجه به مطالب گفته شده می‌توان چنین اظهار داشت که در تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد یک آستانه غلظت وجود دارد و احتمالاً استفاده از غلظت بالای این باکتری‌ها علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در این آزمایش باشد. ریزاندامگان‌هایی مثل باکتری‌ها که در سطح ریشه قرار داده می شوند باید بتوانند با ریشه در حال رشد کلونیزه شوند. همچنین گونه‌های مختلف باکتری‌ها و قارچ‌ها توانایی متفاوتی برای کلونیزه کردن دارند. بنابراین این احتمال وجود دارد که دلیل نقش منفی کمتر فسفر بارور ۲ نسبت به سایر پرایمینگ‌ها بر روی سرعت جوانه‌زنی را به قدرت متفاوت باکتری‌ها برای کلونیزه کردن مرتبط دانست. از دلایل دیگر کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر در شرایط تلقیح با باکتری‌های محرک رشد می‌توان به عدم کلونی‌زایی اشاره نمود، زیرا فعالیت این نوع باکتری‌ها همبستگی مثبتی با میزان کلونی-زایی دارد. در چنین شرایطی باکتری به صورت انگل[11] عمل کرده و از ذخایر بذر استفاده می‌نماید، لذا باعث کاهش برخی شاخص‌های جوانه‌زنی می‌گردد (Kloepper *et al*., 2004; Khamna *et al*., 2009). با توجه به جدول همبستگی (جدول ۶) سرعت جوانه‌زنی با صفات سرعت جوانه‌زنی روزانه، ارزش جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه همبستگی منفی و معنی‌داری داشت.

متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی

اثرات اصلی پرایمینگ و شوری و برهمکنش آن‌ها بر متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین زمان لازم برای جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با باکتری سودوموناس فلورسنس با ۲/۳۴ روز و کم‌ترین زمان لازم برای جوانه‌زنی در تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار) و پرایمینگ با فسفر بارور۲ با ۱/۷۹ روز مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش سطح شوری، افزایش معنی‌دار زمان لازم برای جوانه‌زنی مشاهده گردید. به‌طوری-که کم‌ترین زمان در تیمار شاهد (صفر دسی‌زیمنس بر متر) و بیش‌ترین زمان در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳). بذور برای انجام فعالیت حیاتی خود و شروع جوانه‌زنی احتیاج به جذب آب کافی دارد، چنانچه جذب آب دچار اختلال شود و یا با کندی صورت گیرد، فعالیت‌های داخل بذر نیز روند کندی را طی خواهند کرد، به بیان دیگر سرعت جوانه‌زنی کاهش و زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در جوانه‌زنی تحت تنش شوری به‌دلیل افت پتانسیل اسمزی، فرآیند جذب آب مختل شده و در ادامه فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز نیز مختل می‌گردد (Afzal, 2005).

بیش‌ترین میانگین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (۲/۵۲ روز) برای پرایمینگ سودوموناس فلورسنس در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود و کم‌ترین آن (۱/۴۴ روز) به‌طور مشترک برای عدم پرایمینگ (شاهد) در شوری صفر و شاهد در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۲). تنوع و تعداد میکروارگانسیم‌ها به نوع گونه گیاهی نیز بر می‌گردد، اضافه بر این، تفاوت در توانایی مفید یا غیر مفید بودن میکرو ارگانیسم‌ها بسته به نوع گیاهی متفاوت است (Maheshwari, 2013). احتمالاً چنین نتایجی در اثر انتخاب نامناسب غلظت باکتری، عدم تناسب سویه باکتری با ارقام زراعی، یا در نتیجه شرایط نامساعد تلقیح حاصل گردیده است. طبق جدول همبستگی (جدول ۶) متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی با شاخص وزنی بنیه گیاهچه، متوسط جوانه‌زنی روزانه و وزن خشک گیاهچه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه-زنی روزانه، شاخص طولی گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه همبستگی منفی معنی‌دار داشت.

شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه

اثر پرایمینگ، شوری و برهمکنش آن‌ها برای شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

[11] Saprophytic

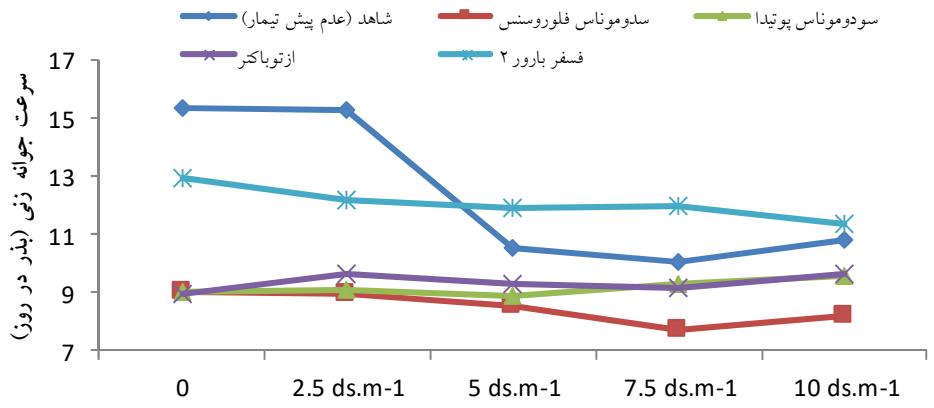
جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ بذر کتان روغنی با کودهای زیستی تحت تنش شوری

Table 1. Analysis of variance effect of flaxseed seed priming with PGPRs under salinity stress

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean Germination Time	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Rate	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weighted Index of Seedling Vigour	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length Index of Seedling Vigour
		Mean squares **میانگین مربعات**					
پرایمینگ (P) Priming	4	40.50 ns	48.82**	0.99 **	2.96 ns	1.15**	707099**
شوری (S) Salinity	4	25.50 ns	7.03**	0.12 **	1.88 ns	0.13**	1065277**
پرایمینگ×شوری Priming × Salinity	16	6.33ns	4.12 **	0.05 **	0.46 ns	0.068**	637808**
خطا Error	46	16.88	0.47	0.006	1.23	0.018	8189.04
ضریب تغییرات (٪) CV	-	4.24	6.70	3.86	8.29	10.40	13.36

Ns= غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

Ns = non-significant, * and ** Significant at 5% and 1% respectively



شکل ۱- برهمکنش پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد و شوری بر سرعت جوانه‌زنی

Figure 1. The interaction of between seed priming with PGPRs and salinity on germination rate

بالاترین شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه به‌ترتیب در پرایمینگ با سودوموناس فلورسنس و فسفر بارور۲ (به‌ترتیب با میانگین ۱/۴۷ و ۹۴۳/۰۰) بود (جدول ۲). ریزوباکترها با تحریک فیتوهورمون‌ها سبب بهبود رشد گیاه و افزایش طول و وزن ریشه‌چه، افزایش تعداد ریشه‌های جنینی و جانبی، تسریع در طویل شدن ریشه و استقرار گیاه، در نهایت باعث افزایش بنیه وزنی و طولی گیاهچه می‌شود (Dobbelaere *et al.*, 2003). بالاترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و بالاترین شاخص طولی بنیه گیاهچه در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۳). چون شوری اثر غیرمعنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی داشت، بنابراین شاخص بنیه وزنی یا طولی گیاهچه نیز که از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی در وزن یا طول گیاهچه بدست می‌آید، فقط تحت تاثیر جزء دوم معادله یعنی طول یا وزن خشک قرار گرفت. جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که پرایمینگ با سودوموناس فلورسنس در شوری

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های جوانه‌زنی در کتان روغنی

Table 2. Mean comparison of effect priming with PGPRs on germination index of flaxseed

پرایمینگ Priming	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed.day^{-1})	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean Germination Time (day)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weighted Index of Seedling vigour	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length Index of Seedling vigour	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (gr)
شاهد Control	12.39 a	1.73 c	1.27 b	799.89 b	3.98 b	4.27 b	8.56 b	0.0132 b
سودوموناس فلورسنس Pseudomonas fluorescent	9.18 b	2.34 a	1.47 a	364.06 d	1.83 d	2.04 d	3.87 d	0.0155 a
سودوموناس پوتیدا Pseudomonas putida	9.32 b	2.13 b	1.28 b	608.17 c	2.86 c	3.47 c	6.34 c	0.0133 b
ازتوباکتر *Azotobacter*	8.48 c	2.13 b	1.27 b	671.50 c	3.21 c	3.71 c	6.92 c	0.0130 b
فسفر بارور ۲ Biological phosphorus fertilized 2	12.07 a	1.79 c	1.20 b	943.00 a	4.82 a	4.71 a	9.53 a	0.0121 c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵)

In each column, means having at least one same letter, are not significantly different according to Duncan's multiple range test (p≤0.05).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی در کتان روغنی

Table 3. Mean comparison of effect of different levels salt stress on germination index of flaxseed

شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (dS.m^{-1})	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed.day^{-1})	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean Germination Time (day)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weighted index of seedling vigour	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling vigour	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (gr)	آلومتری Allometric
شاهد Control	11.05 a	1.89 c	1.28 b	913.72 b	4.21 b	5.16 a	9.37 b	0.0132 bc	0.801 c
2.5	11.02 a	1.97 b	1.22 b	1008.28 a	5.03 a	5.45 a	10.48 a	0.0128 c	0.922 bc
5	9.90 b	2.08 a	1.22 b	551.50 c	2.58 c	3.14 b	5.73 c	0.0127 c	0.795 c
7.5	9.82 b	2.09 a	1.32 b	508.28 c	2.60 c	2.65 c	5.25 c	0.0138 b	1.00 b
10	9.66 b	2.09 a	1.45 a	404.83 d	2.28 c	1.80 d	4.08 d	0.0146 a	1.31 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵)

In each column, means having at least one same letter, are not significantly different according to Duncan's multiple range test (p≤0.05).

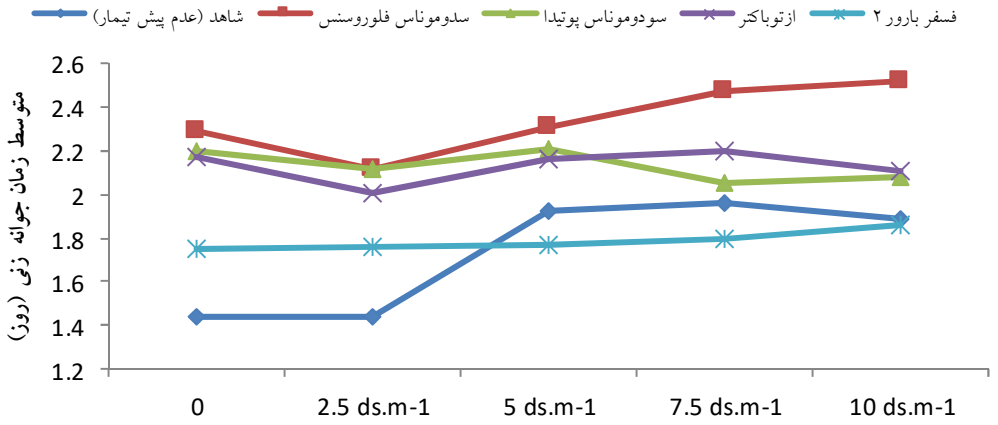
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد و تنش شوری در کتان روغنی

Table 4. Mean comparison effect of interaction of priming with PGPRs and salinity stress in flaxseed

تیمار Treatment		سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed.day^{-1})	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean Germination Time (day)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weighted Index of Seedling Vigour	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length Index of Seedling Vigour	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (gr)
پرایمینگ Priming	شوری (dS.m^{-1}) Salinity								
شاهد Control	0	15.33 ^{a}	1.44 ^{n}	1.28 $^{c..g}$	1129.72 ^{b}	5.61 ^{bc}	5.88 ^{b}	11.50 ^{b}	0.013 $^{e..i}$
	2.5	15.25 ^{a}	1.44 ^{n}	1.22 ^{efg}	922.50 ^{de}	4.27 ^{def}	5.27 ^{bc}	9.55 ^{cd}	0.012 $^{e..i}$
	5	10.50 ^{efg}	1.92 $^{h..k}$	1.26 $^{d..g}$	696.67 ^{fg}	3.22 $^{f..i}$	4.11 ^{d}	7.33 ^{efg}	0.013 $^{d..h}$
	7.5	10.05 ^{fgh}	1.96 $^{g..j}$	1.33 $^{b..f}$	650.56 ^{fgh}	3.50 ^{fgh}	3.33 ^{efg}	6.83 $^{e..h}$	0.014 $^{c..f}$
	10	10.83 ^{def}	1.89 $^{i..l}$	1.27 $^{c..g}$	600.00 ^{ghi}	3.33 ^{fgh}	2.77 ^{gh}	6.11 $^{f..j}$	0.013 $^{e..i}$
سودوموناس فلورسنس *Pseudomonas fluorescent*	0	9.00 $^{h..k}$	2.29 ^{bc}	1.36 $^{b..f}$	543.89 $^{g..j}$	2.55 ^{ghi}	3.16 ^{fg}	5.72 $^{g..k}$	0.014 $^{b..e}$
	2.5	8.97 $^{h..k}$	2.12 ^{def}	1.18 ^{fg}	702.78 ^{fg}	3.77 ^{efg}	3.83 ^{def}	7.61 ^{ef}	0.012 $^{e..i}$
	5	8.52 ^{ijk}	2.31 ^{b}	1.46 $^{b..e}$	189.72 ^{lm}	0.66 ^{l}	1.33 ^{jkl}	2.00 ^{mn}	0.015 ^{bcd}
	7.5	7.75 ^{k}	2.47 ^{a}	1.49 ^{bcd}	208.61 ^{lm}	1.16 ^{jkl}	1.11 ^{kl}	2.27 ^{mn}	0.016 ^{b}
	10	8.19 ^{jk}	2.52 ^{a}	1.87 ^{a}	175.28 ^{m}	1.00 ^{kl}	0.77 ^{l}	1.77 ^{n}	0.019 ^{a}
سودوموناس پوتیدا *Pseudomonas putida*	0	9.05 $^{h..k}$	2.20 ^{bcd}	1.54 ^{b}	633.33 ^{fgh}	2.55 ^{ghi}	4.00 ^{de}	6.55 $^{e..i}$	0.016 ^{bc}
	2.5	9.11 ^{hij}	2.12 ^{def}	1.33 $^{b..f}$	949.17 ^{cd}	4.88 ^{cde}	5.11 ^{c}	10.00 ^{bc}	0.014 $^{c..f}$
	5	8.86 $^{h..k}$	2.21 ^{bcd}	1.13 ^{fg}	546.39 $^{g..j}$	2.50 ^{ghi}	3.22 ^{fg}	5.72 $^{g..k}$	0.012 $^{f..i}$
	7.5	9.33 $^{g..j}$	2.05 $^{e..h}$	1.17 ^{fg}	513.06 ^{hij}	2.16 $^{h..k}$	3.22 ^{fg}	5.38 $^{h..k}$	0.012 $^{e..i}$
	10	9.55 $^{f..i}$	2.08 $^{d..g}$	1.21 ^{efg}	398.89 ^{jk}	2.22 $^{h..k}$	2.83 ^{ij}	4.05 ^{kl}	0.012 $^{e..i}$
ازتوباکتر *Azotobacter*	0	8.94 $^{h..k}$	2.17 $^{b..e}$	1.10 ^{fg}	917.22 ^{de}	3.77 ^{efg}	5.88 ^{b}	9.66 ^{c}	0.0116 ^{ghi}
	2.5	9.61 $^{f..i}$	2.01 $^{f..i}$	1.25 $^{d..g}$	109.11 ^{bc}	5.38 ^{bcd}	5.88 ^{b}	11.27 ^{b}	0.013 $^{e..i}$
	5	9.27 $^{g..j}$	2.16 ^{cde}	1.18 ^{fg}	546.67 $^{g..j}$	2.55 ^{ghi}	3.00 ^{g}	5.55 $^{h..k}$	0.012 $^{f..i}$
	7.5	9.19 $^{g..j}$	2.20 ^{bcd}	1.31 $^{b..g}$	458.06 ^{ijk}	2.44 $^{g..j}$	2.22 ^{hi}	4.66 ^{jkl}	0.013 $^{d..h}$
	10	9.61 $^{f..i}$	2.11 ^{def}	1.53 ^{bc}	344.44 ^{kl}	1.88 $^{i..l}$	1.55 ^{ijk}	3.44 ^{lm}	0.015 ^{bcd}
فسفر بارور ۲ Biological phosphorus fertilized 2	0	12.94 ^{b}	1.75 ^{m}	1.13 ^{fg}	1344.44 ^{a}	6.55 ^{ab}	6.88 ^{a}	13.44 ^{a}	0.0113 ^{hi}
	2.5	12.16 ^{bc}	1.76 ^{lm}	1.14 ^{fg}	1375.83 ^{a}	6.83 ^{a}	7.16 ^{a}	14.00 ^{a}	0.0116 ^{ghi}
	5	11.94 ^{bcd}	1.77 ^{lm}	1.06 ^{g}	778.06 ^{ef}	4.00 ^{ef}	4.05 ^{de}	8.05 ^{de}	0.011 ^{i}
	7.5	12.00 ^{bcd}	1.80 ^{klm}	1.30 $^{b..g}$	711.11 ^{fg}	3.72 ^{efg}	3.38 $^{d..g}$	7.11 $^{e..h}$	0.013 $^{e..i}$
	10	11.33 ^{cde}	1.86 $^{j..m}$	1.36 $^{b..f}$	505.56 $^{h..k}$	3.00 $^{f..i}$	2.05 ^{i}	5.05 $^{i..l}$	0.013 $^{d..g}$

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤۰/۰۵)

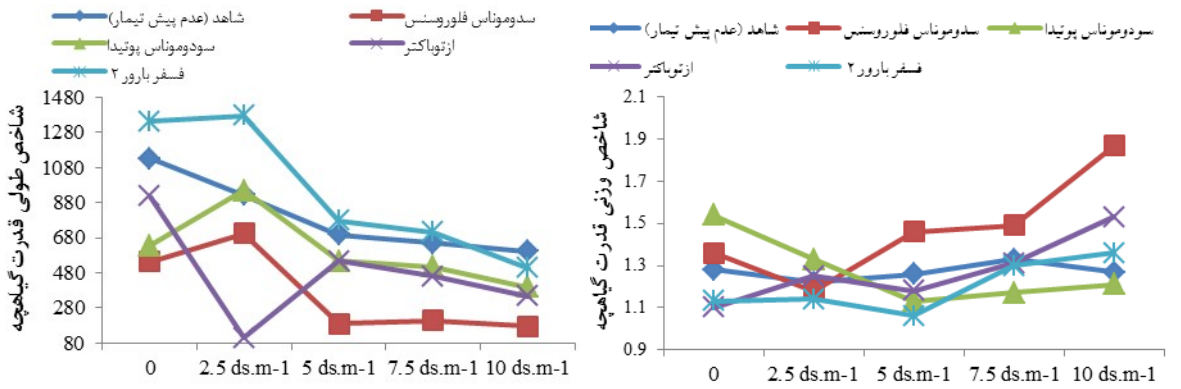
In each column, means having at least one same letter, are not significantly different according to Duncan's multiple range test (p≤0.05)



شکل ۲- برهمکنش پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد و شوری بر متوسط زمان جوانه‌زنی

Figure 2. The interaction of between seed priming with PGPRs and salinity on Mean Germination Time

۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۱/۸۷) را در بین تیمارهای آزمایشی داشت و کم‌ترین میانگین این صفت (۱/۰۶) در پرایمینگ فسفر بارور۲ در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۳). بیش‌ترین میانگین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱۳۷۵/۸۳) در پرایمینگ فسفر بارور۲ در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود و کم‌ترین آن (۱۸۹/۷۲) برای پرایمینگ با سودوموناس فلورسنس و سطح شوری پنج دسی‌زیمنس حاصل شد (شکل ۳). از آن‌جایی‌که شاخص طولی بنیه گیاهچه تابعی از طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و اندازه نهایی گیاهچه است، و با توجه به این‌که افزایش شوری باعث کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه گردید، در نتیجه با افزایش سطح شوری از میانگین این صفت (شاخص طولی بنیه گیاهچه) نیز کاسته شد. برخی PGPRها بازخوردی که در شرایط تنش تولید می‌کنند (سیتوکنین و آنتی‌اکسیدانت) از تجمع آبسیزیک اسید (ABA) ممانعت و موجب تخریب گونه‌های اکسیژن فعال می‌گردند. همچنین گزارش شده است که باکتری‌های محرک رشد سبب بهبود رشد گیاهان مختلف تحت تنش شوری می‌شوند (Yildirim and Taylor, 2005 ; Barassi *et al*., 2006). شاخص وزنی بنیه گیاهچه با صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه دارای همبستگی مثبت معنی‌داری و با صفات شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه همبستگی منفی معنی‌داری داشت. شاخص طولی بنیه گیاهچه نیز همبستگی مثبت معنی‌داری با سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه نشان داد، درحالی‌که با صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه و وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد دارای همبستگی منفی معنی‌داری بود (جدول ۶).



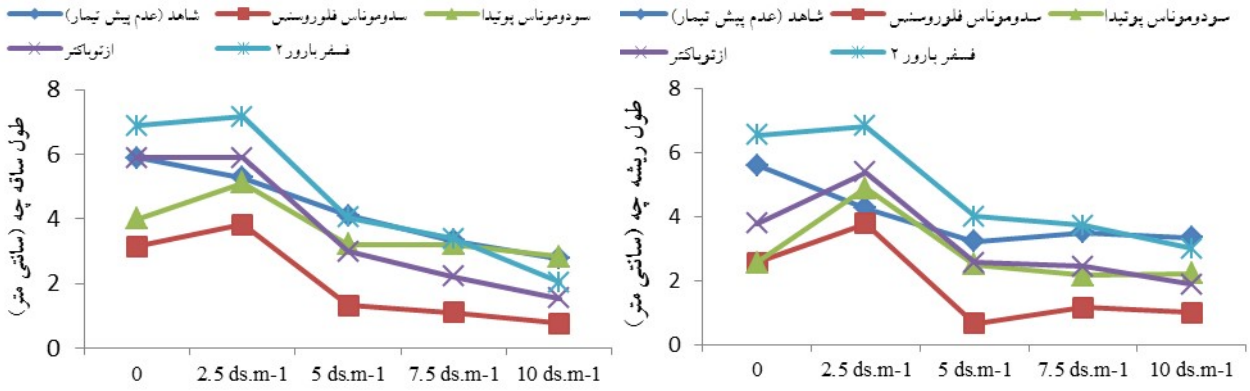
شکل ۳- برهمکنش پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد و شوری بر شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه

Figure 3. The interaction of between seed priming with PGPRs and salinity on weighted and length index of seedling vigour

طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه

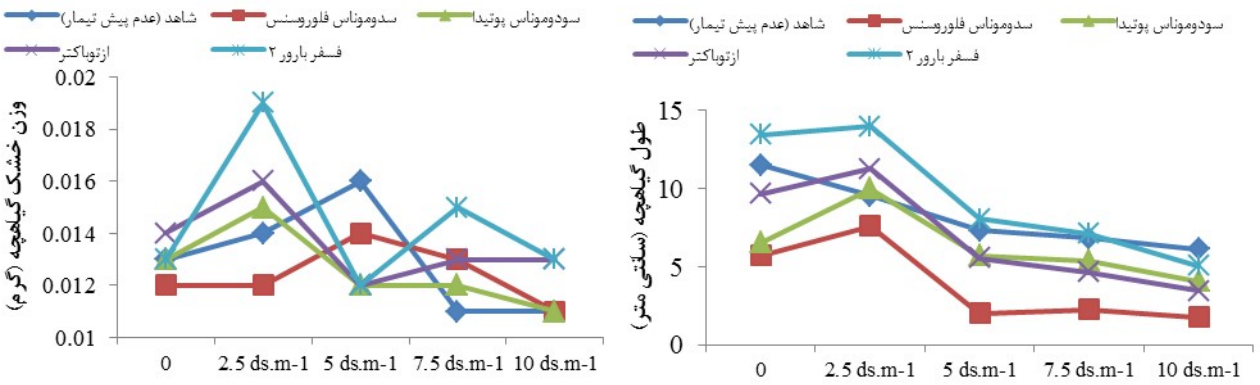
اثرات اصلی پرایمینگ بذر و شوری و اثرات متقابل پرایمینگ در شوری برای سه صفت طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۵). پرایمینگ بذر با فسفر بارور ۲ بیش‌ترین میانگین صفات طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه را به‌ترتیب با میانگین ۴/۸۲، ۴/۷۱ و ۹/۵۳ سانتی‌متر داشت (جدول ۲). بیش‌ترین طول ریشه‌چه و گیاهچه در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب با ۵/۰۳ و ۱۰/۴۸ سانتی‌متر و بیش‌ترین طول ساقه‌چه در شوری صفر و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳). با توجه به بررسی منابع، شوری‌های جزیی در گیاهان مقاوم باعث افزایش رشد ریشه‌چه شده و طول گیاهچه را نسبت به شاهد (عدم شوری) افزایش می‌دهد. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴)، بیش‌ترین میانگین طول ریشه‌چه (۶/۸۳ سانتی‌متر) و طول گیاهچه (۱۴ سانتی‌متر) مربوط به پرایمینگ فسفر

بارور۲ در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۴ و ۵). کم‌ترین طول ریشه‌چه (۰/۶۶ سانتی‌متر) و طول گیاهچه (۱/۷۷ سانتی‌متر) نیز به‌ترتیب در پرایمینگ *سودوموناس فلورسنس* در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر و پرایمینگ *سودوموناس فلورسنس* در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۴ و ۵). پرایمینگ فسفر بارور۲ در شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر (شاهد)، بیش‌ترین میانگین طول ساقه‌چه (۶/۸۸ سانتی‌متر) را داشت و با افزایش سطح شوری از میانگین طول ساقه‌چه کاسته شد به‌طوری‌که کم‌ترین میانگین آن برای پرایمینگ *سودوموناس فلورسنس* در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۴). تلقیح بذر با PGPRها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم در آزمایش منصوری و همکاران (Mansouri *et al*, 2012) داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین ارتفاع مربوط به باکتری *سودوموناس فلورسنس* و کم‌ترین ارتفاع مربوط به شاهد بود. یکی از فواید این باکتری‌ها، سنتز ویتامین‌ها و اسیدآمینه (تریپتوفان و غیره) می‌باشد که اسیدآمینه تریپتوفان پیش‌ماده تولید اکسین بوده و این هورمون با تحریک تقسیم سلولی، تمایز سلولی و رشد طولی سلول به‌طور مستقیم در افزایش رشد ریشه و گیاه مؤثر می‌باشد (Gutierrez Mañerom *et al*, 2003). براساس تحقیقات مختلف، باکتری‌های محرک رشد با سیستم ریشه‌ای ترکیب شده و جذب منابع را از محیط افزایش داده و در رشد، توسعه و سازگاری به تنش سهم دارند (Sharma, 2002). از نتایج این آزمایش می‌توان چنین نتیجه گرفت که شوری تا حدی محرک رشد بوده و افزایش طول ریشه‌چه و گیاهچه را در پی داشته ولی در غلظت‌های بالاتر میانگین دو صفت را کاهش داده است. برخی از محققان علت کاهش رشد گیاهچه (طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) در شرایط شور را جلوگیری از انتقال مواد غذایی از لپه به جنین بیان کردند. علاوه بر این، با افزایش شوری محلول مجاور دانه، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها کاهش و در نتیجه رشد گیاهچه (اعم از ریشه‌چه و ساقه‌چه) دچار نقصان می‌شود (Bailly *et al*, 2000). نتایج جدول همبستگی (جدول ۶) نشان داد، طول ریشه‌چه با سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه همبستگی مثبت معنی‌دار و با صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه و وزن خشک گیاهچه همبستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد با سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه و طول گیاهچه همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داد و با صفات متوسط زمان لازم برای



شکل ۴- برهمکنش پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد و شوری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

Figure 4. The interaction of between seed priming with PGPRs and salinity on radicle and shoot length



شکل ۵- برهمکنش پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد و شوری بر طول و وزن خشک گیاهچه

Figure 5. The interaction between seed priming with PGPRs and salinity on seedling length and dry weight

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ بذر کتان روغنی با کودهای زیستی تحت تنش شوری

Table 5. Analysis of variance the effect of seed priming of flaxseed with biofertilizers under salinity stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean squares میانگین مربعات				
		طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	طول گیاهچه Seedling length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	آلومتری Allometric
پرایمینگ (P) Priming	4	19.23 **	15.49 **	68.27**	0.00002**	0.10 ns
شوری (S) Salinity	4	21.90**	38.34 **	116.05**	0.000009**	0.69 **
پرایمینگ در شوری Priming × Salinity	16	1.28**	1.06**	4.05**	0.000006**	0.05 ns
خطا Error	46	0.49	0.16	0.86	0.000001	0.04
ضریب تغییرات CV (%)	-	21.03	11.00	13.28	8.52	21.86

ns= غیرمعنی‌دار، *= معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و **= معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

Ns = non-significant, * and ** Significant at 5% and 1% respectively

جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه و وزن خشک گیاهچه دارای همبستگی منفی معنی‌داری بود. طول گیاهچه نیز در سطح احتمال یک درصد با سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه همبستگی مثبت معنی‌داری داشت و با صفات متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه و وزن خشک گیاهچه دارای همبستگی منفی معنی‌داری بود.

وزن خشک گیاهچه

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر تیمارهای پرایمینگ، شوری و برهمکنش پرایمینگ در شوری بر وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. پرایمینگ بذر با سودوموناس فلورسنس بالاترین وزن خشک گیاهچه با میانگین ۰/۰۱۵۵ گرم را داشت (جدول ۲). با افزایش سطح شوری وزن خشک گیاهچه افزایش معنی‌داری را به‌علت تولید ریشه‌چه‌های

ضخیم و طویل نشان داد به‌طوری‌که شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۰/۰۱۴۶ گرم) را داشت (جدول ۳). میانگین‌های به‌دست آمده از داده‌های برهمکنش بین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۰/۰۱۹ گرم) مربوط به تیمار پرایمینگ سودوموناس فلورسنس در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین میانگین آن برای تیمار پرایمینگ فسفر بارور ۲ و شوری پنج دسی‌زیمنس به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۵). وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد با متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه (همبستگی مثبت معنی‌دار) و با سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه همبستگی منفی معنی‌داری نشان داد. گلیک و همکاران (Glick *al.*, 1998) 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 کلزا در حضور غلظت زیاد نمک کلرید سدیم شد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب تعدیل اثر مخرب شوری با افزایش سطح فعال ریشه از طریق رشد بیش‌تر ریشه می‌شوند (Hamaoui *et al.*, 2001). علت کاهش وزن خشک ریشه و در نتیجه گیاهچه در شدت شوری بالا، به هم خوردن توازن یونی در ریزوسفر و همچنین درون ریشه مرتبط می‌باشد که موجب می‌گردد فرآیند جذب آب، بزرگ‌شدن سلول و در نتیجه رشد سلول‌ها کند شود (Hashemi Dezful *et al.*, 1996).

جدول ۶- همبستگی صفات در کتان روغنی تحت تأثیر پیش تیمار باکتری محرک رشد تحت تنش شوری

Table 6. Correlation coefficients in flaxseed under effect of priming with PGPRs under salinity stress

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	1										
2. سرعت جوانه‌زنی Germination rate	0.46**	1									
3. متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی Mean Germination Time	-0.41*	-0.95**	1								
4. سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Rate	1.00**	0.46*	-0.41*	1							
5. شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weighted index of seedling vigour	0.05ns	-0.37 ns	0.52**	0.05 ns	1						
6. شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling vigour	0.19ns	0.64**	-0.69**	0.19ns	-0.58**	1					
7. طول ریشه‌چه Radicle length	0.25ns	0.66**	-0.72**	0.25ns	-0.56**	0.98**	1				
8. طول ساقه‌چه Shoot length	0.06ns	0.56**	-0.62**	0.06ns	-0.59**	0.97**	0.92**	1			
9. طول گیاهچه Seedling length	0.15ns	0.62**	-0.68**	0.15ns	-0.59**	0.99**	0.97**	0.98**	1		
10. وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	-0.12ns	-0.44*	0.59**	0.12ns	0.98**	-0.61**	-0.60**	-0.60**	-0.61**	1	
11. آلومتری Allometric	0.51**	0.06ns	0.02ns	0.51**	0.35 ns	-0.21ns	-0.05ns	-0.38ns	-0.23ns	0.25ns	1

Ns= غیرمعنی‌دار، *= معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و **= معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

Ns = non-Significant, * and ** respectively significant at 5% and 1%

آلومتری

طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) از بین تیمارهای آزمایش، فقط تیمار شوری برای صفت آلومتری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. هر چه سطوح تنش شوری بیش‌تر گردید، میانگین آلومتری نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین آلومتری (۱/۳۱) در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به این‌که آلومتری نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه می‌باشد لذا از یافته‌های این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اثرات منفی شوری بر طول ریشه‌چه نسبت به طول ساقه‌چه کم‌تر بوده و میانگین طول ریشه‌چه در شوری بالا نسبت به طول ساقه‌چه کاهش کم‌تری داشته است. با توجه به جدول همبستگی (جدول ۶) آلومتری با درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت معنی‌دار و ولی با متوسط جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال

یک درصد همبستگی منفی معنی‌داری نشان داد. اثر تنش شوری بر رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه یکسان نیست و اثرات منفی بیش‌تری (کاهش بیش‌تر) بر رشد ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد باکتری‌های جنس سودوموناس فلورسنس و فسفر بارور۲ باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کتان روغنی شدند، لذا استفاده از باکتری‌های فوق جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری می‌تواند مؤثر باشد. همچنین این گیاه در مرحله جوانه‌زنی توانست مقاومت خوبی در برابر تنش شوری نشان دهد. از طرف دیگر استفاده از باکتری‌های محرک رشد به عنوان کودهای زیستی می‌تواند در خودکفایی گیاه و خودپایداری سیستم در راستای توسعه تولید گیاه دارویی کتان روغنی در سیستم کشاورزی پایدار نقش قابل ملاحظه‌ای ایفا نمایند.

منابع

Abdul– Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigour determination in soybean by multiple criteria. Crop Science, 13: 630-633. (**Journal)**

Afzal, I. 2005. Seed enhancements to induced salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Ph.D. Thesis, Agricultural University of Faisalabad, Pakistan. **(Thesis)**

Aghighi Shahverdi, M., Heydari, M.S. and Tobeh, A. 2011. The impact of the *Azetobacter* on germination indices of lentils. Proceedings of a Conference on Sustainable Management of Natural Resources, Gorgan. (In Persian)**(Conference)**

Akram-Ghaderi, F., Soltani, E., Soltani, A. and Miri, A.A. 2008. Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(3): 44-51.(In Persian)(**Journal)**

Amoaghaei, R., Mostajeran, A. and Emtiazi, G. 2002. The effects strain and concentration of *Azospirillum brasilense* bacterium on growth and development of root in wheat cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences, Vol. 33: 213-222. (In Persian)(**Journal)**

Azarnivand, H. and Ghorbani, M. 2007. Effects of sodium chloride on the germination of both species. Iranian Journal of Range and Desert, 4 (3): 352-358. (In Persian)(**Journal)**

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Science Research, 10: 35-42. (**Journal)**

Barassi, C.A., Ayrault, G., Creus, C.M., Sueldo, R.J. and Sobero, M.T. 2006. Seed inoculation with *Azospirillum mitigates* NaCl effects on lettuce. Scientia Horticulturae (Amsterdam), 109: 8-14. (**Journal)**

De, R. and Kar, R.K. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Science and Technology, 23: 301-308. (**Journal)**

Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Yacovokon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Review of Plant Science, 22: 107-149. (**Journal)**

Ehteshami, S.M.R., Tusi, P., Amin Deldar, Z. and Khavazi, K. 2010, The effect of seed inoculation with PGPR on germination and seedling growth of rapeseed (*Brassica napus* L.) at different levels of salinity. The first National Conference of Oilseeds, Isfahan, Center of Excellence for oilseeds, Isfahan University. (In Persian)(**Journal)**

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology, 9: 377-409. (**Journal)**

Enferadi, A., Postini, K., Majnon Hosseini, N., Talei, A. and Atari, A.A. 2002. Rapeseed physiological response to salt stress in vegetative stage. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 7(2): 103-112. (In Persian)(**Journal)**

Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Figen Donmez, M., Turan, M. and Gunes, A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Scientia Horticulturae, 124: 62–66. (**Journal)**

Gafni, R., Okon, Y., Kapulnik, Y. and Fischer, M. 1986. Adsorption of *Azospirillum brasilense* to corn (*Zea mays*) roots. Soil Biology and Biochemistry, 18: 69-76. (**Journal)**

Ghaderi-Far, F., Akbarpour, W., Khavari, F. and Ehteshamnia, A. 2012. Determination of salinity tolerance threshold in six medicinal plants. Journal of Plant Production, 18(4):15-24. (In Persian)(**Journal)**

Glick, B.R., Penrose, D.M. and Jiping, L.I. 1998. A model for the loweiring of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. Journal of Theorical Biology, 190: 63-68. (**Journal)**

Gutierrez Mañero, F.J., Probanza, A., Ramos, B., Colón Flores, J., Lucas, J. and Garcia, J.A. 2003. Effects of culture filtrates of *rhizobacteria* isolated from wild lupine on germination, growth and biological nitrogen fixation of *Lupinus albus* cv. Multolupa seedlings. Journal of Plant Nutrition, 26: 145-58. (**Journal)**

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

Hashemi Dezfuli, A.H., Koocheki, A. and Banayan Avval, M. 1996. Increase of crop yield. Jahad Danesgahi Mashhad Press. (In Persian)**(Book)**

Hassani, A. 2003. Effects of water stresses and salt sodium chloride on some morphological and physiological properties of basil. Ph.D. Dissertation, Tarbiat Modarres University, Iran. (In Persian) **(Thesis)**

Hosseini, A. and. Koocheki. A. 2007. Effects of priming on seed germination and germination rate of sugar beet (*Beta vulgaris*) cultivars. Journal of Agricultural Research, 5(1): 69-76. (In Persian)(**Journal)**

International Seed Testing Association (ISTA). 2010. Handbook of Vigor test methods.2nd ed. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. **(Handbook)**

Khomri, A., Sarani, A. and Dahmardeh, M. 2007. The effect of salt stress on germination seed and growth seedling in six medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 23(3): 331-339.(In Persian)(**Journal)**

Kloepper, J.W., Ryu, C.M. and Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. Phytopathology, 94: 1259–1266. (**Journal)**

Khamna, S., Yokota, A. and Lumyong, S. 2009. Actinomycetes isolated from medicinal plant rhizosphere soils: diversity and screening of antifungal compounds, indole-3-acetic acid and siderophore production. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 25: 649–655. (**Journal)**

Maguire, J.D. 1962. Seed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2: 176-177. (**Journal)**

Maheshwari, D.K. 2013. Bacteria in agrobiology. Disease management. Springer Publisher. (**Book)**

Makar, T.K., Turan, O. and Ekmekcd, Y. 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on Chickpea (*Cicer arietium* L.) cultivars and lines at early seedling stages. Gazi University Journal of Science, 22(1): 5-14. (**Journal)**

Mansouri, A., ShahQuli, H., Gholipour, M. and Fallah, A. 2012. The effect of ultrasound and bacteria growth on the germination of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Soil Science, 1(2): 123-132. (In Persian)(**Journal)**

Mokhtari, I., Abrishamchi, P. and Ganjeali, A. 2008. The effects of calcium on amelioration of injuries salt stress on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentom* L.). Journal of Science and Industrial Agriculture, 22 (1): 100-89. (In Persian)(**Journal)**

Nematolahei, Z. and Saiedi, G.H. 2010. Evaluation of drought tolerance are some of genotypes of Flax Oile (*Linum usitatissimum* L.). Journal of Water in Agriculture, 25(1): 57-65. (In Persian)(**Journal)**

Patanea, C., Cavallaroa, V. and Cosentinob, S. 2009. Germination and radicle growth in unprimed and primed seeds of sweet sorghum as affected by reduced water potential in NaCl at different temperatures in dustrial Ind. Crops and Products, 30: 1-8. (**Journal)**

Ramamoorthy, K., Natarajan, N. and Lakshmanan, A. 2000. Seed biofortfication With *Azospirillum* spp. for improvement of seedling vigour and productivity in rice (*Oryza sativa*). Seed Science and Technology, 28: 809- 815. (**Journal)**

Scott, S.J., Jones, R.A. and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24: 1192-1199. (**Journal)**

Seyed Sharifi, R. and Khavazi, K. 2011. Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phyllochron and leaf appearance rate of Corn (*Zea Maize* L.). Journal of Biology, 15(2): 183-193. (In Persian)(**Journal)**

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. pp: 407. **(Book)**

Smith, S.E., Nicholas, D.J.D. and Smith, F.A. 1994. Effect of early mycorrhiza infection on nodulation fixation in *Trifolium subteraneum*. Australian Journal of Plant Physiology, 6: 305-316. (**Journal)**

Stephanie, E.B., Svoboda, V.P., Paul, A.T. and Marc, W.V.I. 2005. Controlled drought affects morphology and anatomy of *Salvia solendens*. Scientia Horticulturae, 130(5): 775-781. (**Journal)**

Yasin, M., Mussaert, W., Ahmad, K., Ali, A. and Hassan Shah, S.W. 2012. Role of biofertilizers in Flax Oile (*Linum usitatissimum*) for ecofriendly agriculture. Science International, 24 (1): 95-99. (**Journal)**

Yildirim, E. and Taylor, A.G. 2005. Effect of biological treatments on growth of bean plans under salt stress. Annual Reports of Bean Improvement Cooperative, 48: 176-177. (**Journal)**

Younesi, O., Poustini, K., Chaichi, M.R. and Pourbabaie, A.A. 2012. Effect of Growth Promoting Rhizobacteria on germination and early growth of two alfalfa cultivars under salinity stress condition. Journal of Crops Improvement, 14(2): 83-97. (**Journal)**

Zaidi, S.F.A. 2003. Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *fluorescent Pseudomonas* to control *Rhizoctonia solani* in soybean [*Glycine max* (L) Merr]. Annual of Agricultural Research, 24: 3– 151. **(Journal)**

Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components of flaxseed (*Linum usitatisimum* L.) under salinity stress

Mehdi Aghighi Shahverdi[1*], Hojjat Attaei Somagh[2], Behnam Mamivand[3], Sharifeh Habibipour[1], Milad Hemmati[4]

Received: June 23, 2015 Accepted: December 13, 2015

Abstracts

This study aimed to evaluate the effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components of flaxseed under salinity conditions. A factorial experiment was conducted based on a completely randomized design (CRD) with three replications in the Seed Science and Technology laboratory of Shahed University in 2014. Experimental factors consisted of five levels of salinity stress, zero as a control, 2.5, 5, 7.5 and 10 $dS.m^{-1}$ and pre-treatment with PGPR applied at five levels, no priming as a control, Azotobacter (strain Azeto-5), *Pseudomonas fluorescent* (strain P-169), *Pseudomonas putida* (strain P-168), and biological phosphorus fertilized 2. Results showed that the high allometric mean (1.31) corresponded to salinity level of 10 $dS.m^{-1}$. The interaction of priming with biological phosphorus fertilized 2 and salinity of 2.5 $dS.m^{-1}$ led to the highest average length of seedling (14 cm), vigor index (1375.83), and root length (6.83 cm). The highest mean time to germination (2.15), weight seedling vigor index (1.87) and seedling dry weight (0.019 g) was observed in priming with *Pseudomonas fluorescent* at a salinity level of 10 $dS.m^{-1}$. Non-priming (control) in zero level of salinity (control) also had the highest mean germination rate (15.33 seeds per day). The use of biological phosphorus fertilized 2 and *Pseudomonas fluorescent* was effective on modification of germination index of flaxseed and increased seedling growth and seed vigor under salinity stress.

Keywords: Azotobacter; Biological phosphorus fertilized 2; Flax Seed; Germination; *Pseudomonas*; Salinity

How to cite this article

Aghighi Shahverdi, S., Attaei Somagh, H., Mamivand, B., Habibipour, S. and Hemmati, M. 2017. Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components of flaxseed (*Linum usitatisimum* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(1): 9-24. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/ims.2017.2244

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D Students of Crop Physiology, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2,3.4. M.Sc. of Agronomy, Agroecology and Seed Science and Technology respectively; College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

*Corresponding author's Email: aghighim@yahoo.com