فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۳، شماره ۴، صفحه ۷۷۱- ۷۶۰ (۱۳۹۵)

تأثیر بایوپرایمینگ بذر با ریزوباکترهای آزوسپریلیوم و ازتوباکتر (*Azospirillum* و *Azotobacter*) بر عملکرد و مقاومت به تنش خشکی در گونه فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea* Schreb)

هادی رادنژاد[۱*]، بهزاد بهتری[۲]، علی اصغر نقی‌پور برج[۳] و شعله حاج آقا معمار[۴]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، ایران، پست الکترونیک: hradnezhad@yahoo.com

۲- دانشجوی دکترای علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده فناوری منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۷

چکیده

گروهی از باکتری‌ها به نام ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان، که توانایی تجمع روی ریشه گیاه و خاک اطراف ریشه را دارند، محرک رشد گیاهان می‌باشند. یکی از روش‌های پرایمینگ بذر استفاده از میکروارگانیسم در تلقیح بذر می‌باشد که به بایوپرایمینگ معروف است. استفاده از این میکروارگانیسم‌ها در تلقیح بذر سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود؛ به‌ویژه اگر میکروارگانیسم‌ها در منطقه ریشه گیاهان استقرار یافته و با گیاه همزیست شوند. به این منظور این تحقیق برای بررسی اثرات بایوپرایمینگ با ریزوباکترهای آزوسپریلیوم و ازتوباکتر بر مقاومت به تنش خشکی در گونه مرتعی فستوکای پا بلند در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. چهار سطح قابلیت اسمزی (۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول با مدت زمان تیمار ۲ و ۴ روز روی بذر فستوکای پابلند به‌عنوان تیمار پرایمینگ همراه با تلقیح با ریزوباکتری‌ها انجام گردید. تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی در چهار سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در دوران رشد گیاه اعمال شد. نتایج نشان داد که تیمارهای بایوپرایمینگ در صفات مورد مطالعه سبب بهبود عملکرد نسبت به شاهد و افزایش مقاومت به تنش خشکی شد. در این بررسی هر دو نوع ریزوباکترهای آزوسپریلیوم و ازتوباکتر سبب افزایش عملکرد معنی‌داری نسبت به شاهد شدند. در کل ازتوباکتر به طور نسبی عملکرد بهتری نسبت به آزوسپریلیوم نشان داد. با وجود این تیمار ازتوباکتر ۲ و ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز در گونه فستوکای پابلند می‌تواند به‌عنوان تیمارهای برتر نسبت به تیمارهای دیگر به‌کار رفته در این تحقیق مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان، تلقیح بذر، ظرفیت زراعی، همزیستی.

مقدمه

بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از خشکی‌های دنیا تحت تنش شوری و خشکی می‌باشند (Munns, 2005). از این میان ۱۵ درصد از خشکی‌های ایران نیز در معرض شوری و خشکی هستند (Ghassemi-Golezani & Esmaeilpour, 2008). امروزه نگرش در سیستم‌های کشت پایدار، استفاده از عوامل بیولوژیکی در حاصلخیزی خاک و افزایش مقاومت به تنش در گیاهان می‌باشد (Sturz *et al.*, 2000). تعداد قابل توجهی از گونه‌های باکتریایی و قارچی خاک دارای روابط همزیستی با گیاهان بوده و اثرات مفیدی بر رشد آنها دارند (Vessey, 2003). در همین راستا استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهان (PGPB: Plant growth-promoting bacteria) قابلیت بالایی در این زمینه دارند (Bashan & Holguin, 1998). این دسته از باکتری‌ها

توانایی همزیستی با بسیاری از گونه‌های گیاهی در محیط‌های مختلف را دارند. گروهی از PGPB به نام ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان (Plant growth-promoting rhizobacteria) هستند که توانایی تجمع بر روی ریشه گیاه و خاک اطراف ریشه (Rhizosphere) را دارند (Kloepper *et al.*, 1999). بایوپرایمینگ بذر شامل پوشش‌دار کردن بذر با برخی از باکتریهای مفید و هیدراته کردن بذرها برای مدت زمان معین است بدون اینکه ریشه‌چه پوسته بذر را بشکافد (Reddy, 2013). استفاده از این میکروارگانیسم‌ها در تلقیح بذر سبب افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود؛ به‌ویژه اگر میکروارگانیسم‌های به‌کار رفته در تلقیح بذر در منطقه ریشه گیاهان استقرار یافته و با گیاه همزیست شود (Bennett & Whipps, 2008). این دسته از باکتری‌ها سبب افزایش رشد گیاه، جذب مؤثر عناصر غذایی، رشد و توسعه ریشه، افزایش توان رقابت با گیاهان دیگر و مقاومت به تنش‌های مختلف شده‌اند (Bothe *et al.*, 1992). Shukla و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که بایوپرایمینگ بذر گندم (*Triticum aestivum*) با استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش به تنش خشکی در این گونه شد. دو جنس آزوسپریلیوم و ازتوباکتر متعلق به خانواده *Azotobacteraceae* به‌عنوان باکتری‌های آزاد تثبیت‌کننده ازت می‌باشند که توانایی تثبیت ازت بدون تشکیل گره بر روی ریشه را دارند (Rubio Ariasa *et al.*, 2004). مطالعات مختلف توانایی همزیستی این باکتری‌ها را با انواع گراس‌ها نشان داده است که باعث بهبود تولید نیز می‌شوند (Steenhoudt & vanderleyden, 2000). همچنین مطالعه در مورد این باکتری‌ها توانایی همزیست شدن و توسعه رشد و افزایش محصول در محیط‌های گلخانه‌ای و عرصه را نشان داده است (Okon & Labandera-Gonzalez, 1994). علاوه بر تثبیت نیتروژن اتمسفری و افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف مانند فسفر و مواد معدنی (Bashan & Holguin, 1997a,b) این دسته از باکتری‌ها قابلیت متابولیسم کربن را نیز دارا می‌باشند که وجود این عنصر به‌عنوان منبع انرژی برای گیاه بسیار حائز اهمیت است (Steenhoudt & vanderleyden, 2000). فستوکای پا بلند گیاه چند ساله، پشته‌ای متراکم و فاقد ساقه زیرزمینی می‌باشد. این گیاه به‌عنوان گونه مورد توجه با تولید و خوشخوراکی بالا مطرح است و بطور گسترده در بیشتر مراتع به دلیل سازگاری بالا کشت می‌گردد (Langer, 1990). هدف اصلی از این تحقیق، بررسی اثربخشی روش بایوپرایمینگ با استفاده از تلقیح ریزوباکترهای آزوسپریلیوم و ازتوباکتر در سطوح مختلف فشار اسمزی تحت تنش خشکی القاء شده بر روی گونه فستوکای پابلند بود. همچنین هدف فرعی در این مطالعه بررسی تفاوت بین دو گونه ریزوباکتر آزوسپریلیوم و ازتوباکتر در اثربخشی با همدیگر بر روی گونه فستوکای پابلند بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان انجام شد. بذر فستوکای پا بلند از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. از روش‌های متداول پرایمینگ بذر، روش بایوپرایمینگ همراه با چندین فشار اسمزی برای انجام روی بذرهای گونه ذکر شده انتخاب شد. قابلیت اسمزی مورد استفاده در این پژوهش ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال بود که با توجه به مطالعات مختلفی که توسط Hardegree و Emmerich (۲۰۰۰) و Hardegree و Van Vactor (۲۰۰۰) روی گراس‌های گوناگون انجام داده بودند، انتخاب شد. مدت زمان پرایمینگ با توجه به مطالعات Hardegree و همکاران (۲۰۰۲) که به بررسی مدت زمان‌های مناسب پرایمینگ پرداخته بودند، ۲ و ۴ روز انتخاب شد، تا اثرات کوتاه مدت و بلند مدت بررسی گردد. ماده پلی‌اتیلن.....؟یکول ۶۰۰۰ برای ایجاد قابلیت اسمزی مورد نظر استفاده شد. برای تعیین مقدار گرم مورد نظر از این ماده، از فرمول Michel و KaufMann (۱۹۷۲) استفاده شد و به‌ترتیب ۱۹۲/۶، ۲۸۴، ۳۵۴/۴ و ۴۱۳/۷ گرم از این ماده به‌ترتیب برای ایجاد فشار اسمزی ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال در ۱ لیتر آب حل شد.

ابتدا توده‌هایی از بذر به‌طور تصادفی انتخاب و توزین و

در داخل کیسه توری به اضافه ۲ کیسه به‌عنوان شاهد قرار داده شد. این دو کیسه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ذخیره و بقیه برای انجام پرایمینگ در نظر گرفته شد؛ بعد از خروج بذرها از محلول پلی‌اتیلن‌گلایگول و شستشوی اولیه با آب‌مقطر به مدت دو دقیقه، بذرها کمی آبگیری شد و فرایند تلقیح با استفاده از پودر ریزو باکترها که از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهران تهیه شده بود، انجام شد. در این بایوپرایمینگ فرایند خشکاندن بذرها نیز انجام شد و رطوبت بذرها به میزان رطوبت اولیه قبل از پرایمینگ رسانده شد.

گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر با زهکشی معمولی انتخاب و تا ارتفاع ۱۶/۵ سانتی خاک ریخته شد (Giri & Schillinger, 2003). خاک مورد استفاده در گلدان شامل دو قسمت ماسه یک قسمت خاک عرصه و یک قسمت خاک‌برگ بود. سپس تعداد ۲۵ عدد بذر در هر گلدان به طور یکنواخت پخش شد و ۱/۵ سانتی‌متر خاک روی بذرها ریخته و مقداری فشرده شد. گلدان‌ها بصورت کاملاً تصادفی در محیط گلخانه با دمای ۱۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد و نور طبیعی در چند ردیف قرار گرفتند. با توجه به میزان ظرفیت نگهداری آب در گلدان‌ها سه سطح تنش خشکی به مقدار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. تمامی گلدان‌ها هر روز بررسی و میزان تنش ذکرشده با توجه به ظرفیت نگهداری آب در هر گلدان اعمال شد. با توجه به آخرین روز شمارش، درصد سبزشدگی برای هر تیمار محاسبه شد.

سرعت سبزشدگی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$GR = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{n}{t}\right]$$

رابطه ۱

که n تعداد بذرهای سبز شده در زمان t و t تعداد روزها از زمان شروع آزمایش بود (Reyes *et al.*, 2002).

میانگین زمان سبزشدگی (Mean Germination Time) از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$MGT = \frac{A_1D_1 + A_2D_2 + \cdots A_nD_n}{A_1 + A_2 + \cdots A_n}$$

رابطه ۲

که A تعداد بذرهای جوانه‌زده در زمان D و n کل تعداد روزها تا آخرین روز شمارش می‌باشد (Cantliffe, 1991). سه ماه بعد از کاشت، به‌طور کاملاً تصادفی ۱۰ گیاه از هر گلدان انتخاب و طول ساقه در آنها اندازه‌گیری شد. زیست‌توده تر و خشک ساقه با ترازوی دیجیتالی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای تعیین زیست‌توده تولیدی ریشه، گلدان‌ها در داخل آب قرار داده شد و بعد در آب به مدت زیادی تکان داده شد تا تمامی خاک و سایر مواد موجود از بین ریشه‌ها خارج شوند. ریشه‌های تمامی گلدان‌ها به این صورت جدا و پس از آبگیری اولیه وزن‌تر توزین شد.

آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی (CRD) و بصورت فاکتوریل با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمارهای بایوپرایمینگ (که بصورت تیمارهای ترکیبی شامل دو سوش ریزوباکترهای مورد استفاده در چهار سطح اسمزی و دو زمان پرایمینگ) و فاکتور دوم سطوح تنش خشکی (بر اساس ظرفیت زراعی) بود. آنالیز واریانس برای بررسی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT - C version 2.10و SPSS 11.5 انجام شد. در صورت معنی‌داری واریانس، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

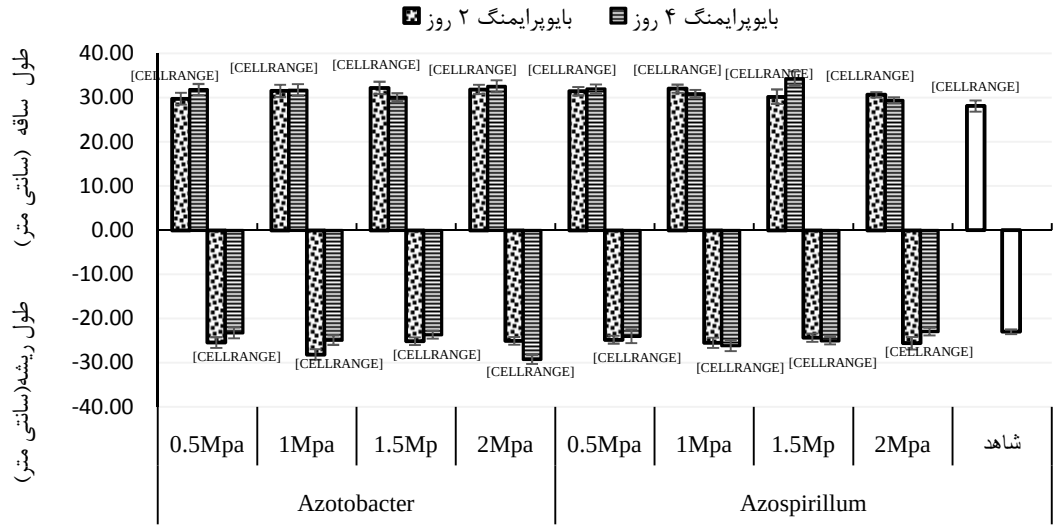
نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی بایوپرایمینگ و سطوح تنش خشکی و اثرات متقابل تیمارهای بایوپرایم در سطوح تنش خشکی در گونه فستوکای پابلند تفاوت معنی‌داری را در صفات مورد بررسی نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات طول ریشه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه‌چه، درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن و شاخص بنیه در گونه فستوکای پابلند تحت سطوح تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	آماره F						
		صفات						
		درصد سبز شدن	طول ریشه	طول ساقه	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
بایوپرایمینگ (A)	۱۶	۲/۲۴۲*	۲/۱۱۳*	۳/۲۹۴**	۱/۵۴۶^{ns}	۱/ ۶۰۹^{ns}	۲/۴**	۱/۶۵^{ns}
تنش خشکی (B)	۳	۱/۱ ^{ns}	۲۳/۹**	۷/۵**	۱۹/۴**	۱۳/۳**	۵۸/۶**	۴۶/۷**
AB	۴۸	۱/۱۱۹^{ns}	۲/۳۶*	۲/۰۵۲*	۱/۸۶۳*	۰/۶۳۸^{ns}	۰/۵۴^{ns}	۱/۱^{ns}

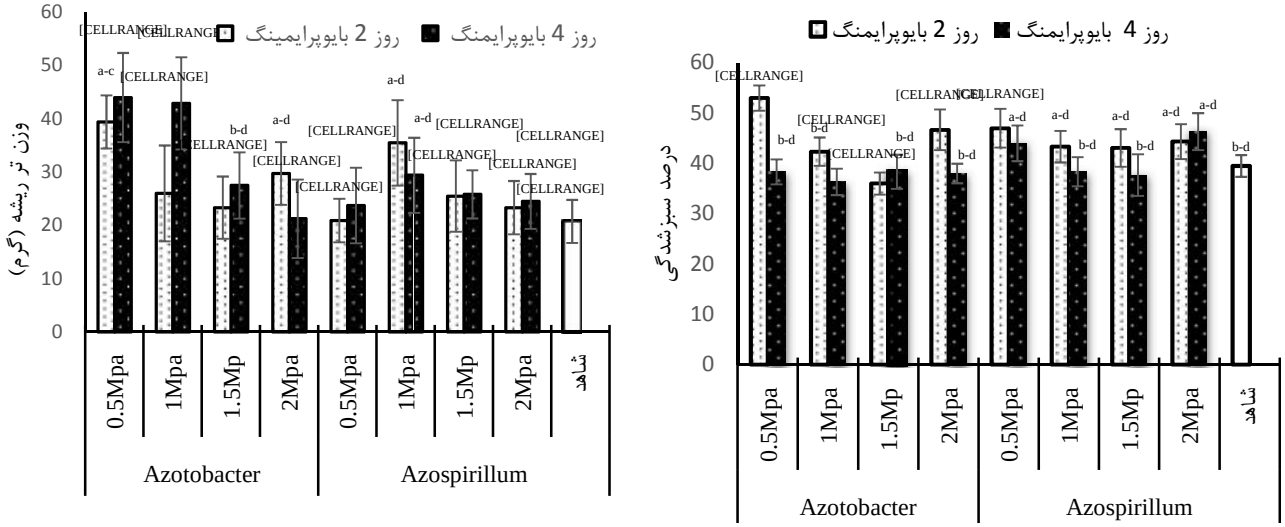
*، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{ns}: عدم معنی‌داری

مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای بایوپرایمینگ در صفت طول ساقه و ریشه در گونه فستوکای پابلند در شکل ۱ ارائه شده است. بر این اساس بیشترین مقدار طول ساقه در تیمار آزوسپیریلیوم ۱/۵ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۳۴/۳۷ سانتی‌متر) حاصل شد که تفاوت معنی‌دار آماری ($P<۰/۰۵$) با شاهد نشان داد. کمترین مقدار طول ساقه مربوط به شاهد (۲۸/۱۳ سانتی‌متر) بود. البته طول ساقه در تمامی تیمارهای بایوپرایمینگ مقدار میانگین بالاتری نسبت به شاهد نشان داد. بر اساس نتایج بیشترین مقدار طول ریشه در تیمار ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال بمدت ۴ روز (۲۹/۲۳ سانتی‌متر) حاصل شد که تفاوت معنی‌دار آماری با شاهد (۲۲/۹۶ سانتی‌متر) نشان داد. کمترین مقدار طول ریشه مربوط به تیمار آزوسپیریلیوم ۲ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۲۲/۹۵ سانتی‌متر) بود که تفاوت معنی‌دار آماری با شاهد نشان نداد. طول ریشه در تمامی تیمارهای بایوپرایمینگ به‌جز تیمار آزوسپیریلیوم ۲ مگاپاسکال به مدت ۴ روز مقدار میانگین بالاتری نسبت به شاهد نشان داد، هرچند که این تفاوت عددی در برخی از تیمارهای بایوپرایمینگ به لحاظ آماری معنی‌دار نبود.



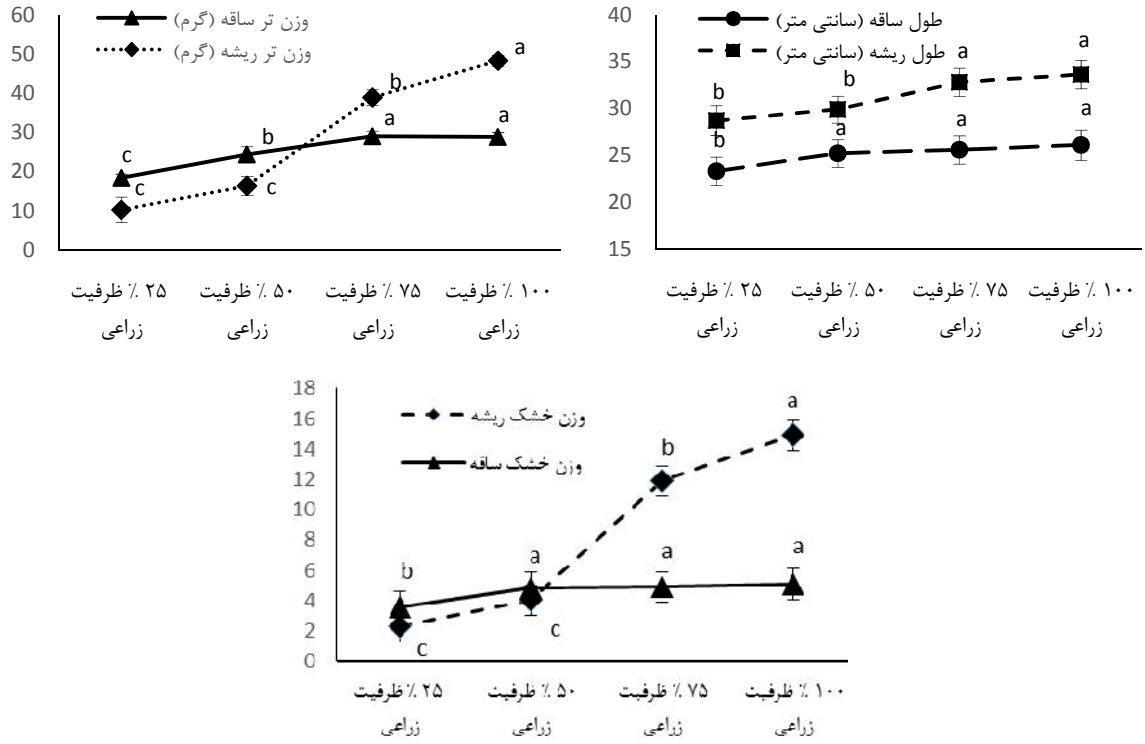
شکل ۱- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) اثرات اصلی تیمارهای بایوپرایمینگ در صفت طول ساقه و ریشه (سانتی‌متر) در فستوکای پابلند

مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای بایوپرایمینگ در صفت وزن تر ریشه در شکل ۲ الف ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین مقدار وزن در تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۴۴ گرم) حاصل شد که تفاوت معنی‌دار آماری ($P<0.05$) با شاهد نشان داد. ولی با تیمارهای ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز (۳۹/۴۰ گرم)، ازتوباکتر ۱ مگاپاسکال ۴ روز (۴۲/۹۱ گرم)، ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال ۲ روز (۲۹/۷۵ گرم) و آزوسپیریلیوم ۱ مگاپاسکال ۲ و ۴ روز با مقادیر عددی ۳۵/۵ و ۲۹/۴۲ گرم تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. کمترین مقدار وزن تر ریشه مربوط به شاهد (۲۰/۷۵ گرم) بود که با تیمارهای آزوسپیریلیوم ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز و ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال ۴ روز تفاوت معنی‌داری نشان نداد و با تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری داشت. در درصد سبزشدگی (شکل ۲ ب) بیشترین درصد مربوط به تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال به مدت ۲ روز (۵۳ درصد) بود که تفاوت معنی‌دار آماری با شاهد (۳۹/۵ درصد) نشان داد. البته تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز تفاوت معنی‌داری را با تیمارهای ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال ۲ روز، آزوسپیریلیوم ۰/۵ مگاپاسکال ۲ و ۴ روز، آزوسپیریلیوم و ۱/۵ مگاپاسکال ۲ روز، آزوسپیریلیوم ۲ مگاپاسکال ۲ و ۴ روز نشان نداد؛ ولی تمامی این تیمارها افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد داشتند. کمترین درصد سبزشدگی مربوط به تیمار ازتوباکتر ۱/۵ مگاپاسکال به مدت ۲ روز (۳۶ درصد) بود که این مقدار تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نداشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) اثرات اصلی تیمارهای بایوپرایمینگ در صفت وزن تر ریشه (گرم) و درصد سبزشدگی در گونه فستوکای بلند

مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح تنش خشکی (براساس ظرفیت زراعی) در طول ساقه و ریشه و همچنین وزن تر و خشک ساقه و ریشه در شکل ۳ ارائه شده است. بر این اساس روند کاهشی با افزایش تنش خشکی در تمامی صفات مذکور وجود داشت. البته روند کاهشی در وزن تر ریشه با افزایش سطح تنش نسبت با سایر صفات بیشتر بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) اثرات اصلی سطوح تنش خشکی (براساس ظرفیت زراعی) در طول ساقه، ریشه و وزن تر و خشک ساقه و ریشه (سانتی‌متر) در گونه فستوکای پابلند

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای بایوپرایمینگ در سطوح تنش خشکی در صفت طول ساقه و ریشه و وزن تر ساقه در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین مقدار طول در سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش) و تیمار ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۳۴/۳۳ سانتی‌متر) دیده شد که با شاهد (بدون بایوپرایم) و بیشتر تیمارها در تمام سطوح تنش خشکی تفاوت معنی‌دار افزایشی را نشان داد. کمترین مقدار طول ساقه مربوط به سطح تنش خشکی ۲۵٪ ظرفیت زراعی و تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۱۸/۱۶ سانتی‌متر) مشاهده شد که با شاهد در همان سطح تنش تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در کل بیشتر تیمارهای بایوپرایم میانگین بالاتری نسبت به شاهد نشان دادند. بر اساس جدول ۲ بیشترین مقدار وزن تر ساقه در ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش) و تیمار ازتوباکتر ۲ مگاپاسکال به مدت ۲ روز (۴۵/۳۳ گرم) حاصل شد که با شاهد (بدون بایوپرایم) در همان سطح تنش تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین مقدار وزن تر ساقه مربوط به سطح تنش خشکی ۲۵٪ ظرفیت زراعی با تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۱۱/۶۶گرم) حاصل شد که با شاهد (بدون بایوپرایم) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در کل بیشتر تیمارهای بایوپرایمنگ در سطوح تنش مختلف میانگین بالاتری نسبت به شاهد نشان دادند.

براساس جدول ۲ بیشترین مقدار طول ریشه در سطح ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش) و تیمار آزوسپیریلیوم ۱/۵ مگاپاسکال به مدت ۴ روز (۴۱/۷۲ سانتی‌متر) مشاهده شد که با تیمار شاهد (بدون بایوپرایم) و دیگر تیمارها در تمام سطوح تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین مقدار طول ریشه مربوط به سطح تنش خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی و تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال به مدت ۲ روز (۲۵/۳۵ سانتی‌متر) بود که با شاهد در همان سطح (بدون بایوپرایم) تفاوت معنی‌داری نشان نداد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای بایوپرایمینگ در سطوح تنش خشکی در صفت مختلف در گونه فستوکای پابلند

تنش خشکی	تیمار بایوپرایمینگ	زمان	طول ساقه (سانتی‌متر)		طول ریشه (سانتی‌متر)		وزن تر ساقه	
			Azotobacter	*Azospirillum*	*Azotobacter*	*Azospirillum*	*Azotobacter*	*Azospirillum*
	۰/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۱/۳ g-k	۲۵ c-j	۲۷/۵ g-l	۳۱/۷b-l	۱۶/۶ def	۲۰ b-f
		۴روز	۱۸/۱k	۲۴/۹ c-j	۲۶/۹ h-l	۲۸/۳e-l	۱۱/۶f	۱۵ def
	۱ مگاپاسکال	۲روز	۲۳ d-k	۲۰/۴ ijk	۲۵/۶kl	۲۸/۵ d-l	۱۸/۳c-f	۱۶/۶def
		۴روز	۲۲/۱ e-k	۲۴/۲ c-k	۲۹/۸ d-l	۲۸/۶d-l	۱۶/۶ def	۱۵ def
۲۵%FC	۱/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۴/۶ c-k	۲۴/۱ c-k	۲۶/۵ijkl	۳۲/۷ b-j	۲۵b-f	۱۶/۶ def
		۴روز	۲۳/۵ d-k	۲۴/۱ c-k	۲۹/۱d-l	۳۰/۹b-l	۲۳/۳ b-f	۲۱/۶b-f
	۲ مگاپاسکال	۲روز	۲۳/۷ d-k	۲۱/۷ f-k	۲۸/۴e-l	۲۸/۸d-l	۲۳b-f	۲۱/۶b-f
		۴روز	۲۶/۴c-i	۱۸/۷ jk	۲۹/۸ d-l	۲۸/۵ d-l	۲۱/۶ b-f	ef۱۳/۳
	شاهد		۲۳/۱d-k		۲۵/۷ jl		۱۶def	
	۰/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۴ d-k	۲۴/۱ c-k	۲۵/۳l	۳۰/۴b-l	۲۸/۲b-f	۲۵ b-f
		۴روز	۲۳/۶ d-k	۲۰/۴ ijk	۳۰ d-l	۳۲ b-l	۲۱/۶b-f	۲۱/۲b-f
	۱ مگاپاسکال	۲روز	۲۶/۹ b-i	۲۸/۴ a-f	۳۳/۴ b-i	۳۰/۴b-l	۲۳/۲b-f	۲۰ b-f
		۴روز	۲۸/۱a-f	۲۴/۷ c-k	۲۶/۵ijkl	۳۰/۲c-l	۳۰a-e	۲۰ b-f
۵۰%FC	۱/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۵/۵ c-i	۲۲/۶ e-k	۳۳/۲b-i	۲۵/۵ kl	۲۱/۶ b-f	۲۰/۳b-f
		۴روز	۲۴/۷c-k	۲۸ b-g	۲۷/۳g-l	۳۱/۵b-l	۲۳/۲b-f	۲۳/۳ b-f
	۲ مگاپاسکال	۲روز	۲۷/۲b-h	۲۸/۳ a-f	۳۳/۲b-i	۲۷/۷d-l	۳۰/۳a-d	۳۱/۶a-d
		۴روز	۲۶/۶ b-i	۲۴/۲ c-k	۳۳/۳b-i	۲۷/۷ f-l	۲۳/۳b-f	۳۵abc
	شاهد		۲۳ d-k		۲۶/۹ h-l		۱۵//۳ def	
	۰/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۷/۶ b-h	b-h۲۷/۸	۳۲/۵ b-k	۳۲/۸b-i	۳۵ abc	۲۶/۶b-f
		۴روز	۲۳/۷ d-k	۲۶/ c-i	۳۵/۵ b-d	۳۴/۱b-g	۳۰ a-e	۲۸/۳b-f
	۱ مگاپاسکال	۲روز	۲۹/۵ a-d	۲۶/۴ c-i	۳۲/۳ b-l	۳۱/۶b-l	۲۸/۳ b-f	۳۱/۶ a-d
		۴روز	۲۳/۹ d-k	۲۴/۴ c-k	۳۳/۴b-i	۳۳/۱ b-i	۲۸/۳b-f	۲۶/۶ b-f
۷۵%FC	۱/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۴/۵ c-k	۲۵/۷ c-i	۳۱/۷ b-l	۳۳/۲b-i	۲۶/۶ b-f	۲۵b-f
		۴روز	۲۲/۹ d-k	۲۲/۹ d-k	۳۰/۶b-l	۳۱/۳b-l	۲۳/۳b-f	۲۶/۶b-f
	۲ مگاپاسکال	۲روز	۲۵/۶ c-i	۲۷/۷ b-h	۳۲/۴ b-k	۳۱/۴b-l	۳۵/۶ ab	۲۸/۳ b-f
		۴روز	۲۹/۵ a-d	۲۵c-j	۳۵/۱ b-e	۳۴/۴ b-	۳۵ abc	۳۶/۶ ab
	شاهد		۲۱h-k		۳۱/۷ b-l		۲۱ b-f	
	۰/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۸/۵a-e	۲۲/۱e-k	۳۳/۷ b-h	۳۰/۹b-l	۳۰ e-a	۲۸/۳ b-f
		۴روز	۲۷/۳b-h	۲۶/۶b-i	۳۵1 e-b	۴ b-g	۳۰e-a	۳۰e-a
	۱ مگاپاسکال	۲روز	۳۳ab	۲۶/۹b-i	۳۴/۸ b-f	۳۳/۶ b-i	۲۸/۳ b-f	۳۱/۶ a-d
		۴روز	۲۵/۱c-j	۲۴/۴c-k	۳۷/۲ abc	۳۳/۲b-i	۲۳/۳ b-f	۳۱/۶ a-d
۱۰۰%	۱/۵ مگاپاسکال	۲روز	۲۵/۷c-i	۲۴/۷c-k	۳۷/۴ab	۲۹/۵d-l	۲۶/۶ b-f	۲۶/۶ b-f
		۴روز	۲۳/۲d-k	۲۵c-j	۴ b-i	۴۱/۷a	۳۰e-a	۳۱/۶ a-d
	۲ مگاپاسکال	۲روز	۲۳/۵d-k	۲۴/۳c-k	۳۳/۵ b-i	۳۲/۸ b-i	۴۵/۳ a	۲۶/۶ b-f
		۴روز	۳۴/۳a	۲۳/۸ d-k	۳۲ b-l	۲۹/۹ d-l	۱۸/۳ c-f	۲۵ b-f
	شاهد		۲۴ c-k		۲۸/۱ e-l		۲۶/۳ b-f	

میانگین‌ها با حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری می‌باشد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن با $p<$ ۰/۰۵).

بحث

تکنیک پرایمینگ برای بهبود سبز شدن محصولاتی که به‌صورت مستقیم بذرکاری می‌شود، استفاده می‌گردد (Hardegree & Van Vactor, 2000). مطالعات نشان داده است که ترکیب پرایمینگ با میکروارگانیسم‌های مفید می‌تواند استقرار محصول را بهبود ببخشد و برای رسیدن به این منظور روش‌های مختلفی ارائه شده است (Callan *et al.*, 1990 و Harman *et al.*, 1989). با وجود این شناخت کمی در مورد پاسخ میکروارگانیسم‌ها زمانی که در شرایط آبنوشی بذرها رها می‌شوند، وجود دارد (Okon & Labandera-Gonzalez, 1994). بر اساس نتایج، بهبود طول ریشه در شرایط کشت گلدانی در فستوکای پا بلند مشاهده شد. تیمارهای بایوپرایمینگ در بیشتر ترکیب‌های تیماری به‌کار رفته افزایش مؤثر و معنی‌داری را در طول ریشه نشان دادند. طول ریشه می‌تواند به‌عنوان فاکتوری مؤثر در بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی مطرح باشد؛ زیرا در شرایط تنش خشکی، افزایش طول و گستردگی بیشتر ریشه قادر خواهد بود بقای گیاه را تضمن کند. در این تحقیق استفاده از دو نوع باکتری‌های محرک رشد گیاه در شرایط تنش اعمال شده نشان داد که سبب بهبود طول ریشه می‌گردد. تلفیق روش پرایمینگ با باکتری‌های محرک رشد گیاه در گونه فستوکای پا بلند نشان داد که می‌تواند باعث افزایش طول ریشه در شرایط تنش خشکی شود. در این گونه تیمار آزوسپریلیوم ۱/۵مگاپاسکال به مدت ۴ روز به طور نسبی در مقایسه با سایر تیمارهای بایوپرایم و روند کاهشی که در اثر تنش خشکی بوجود می‌آید، تیمار مناسبی به نظر می‌رسد. Ahmad و همکاران (۲۰۰۵) اشاره کردند، ازوتوباکتر با ترشح اسید اندول استیک باعث افزایش طول ریشه گیاهان می‌گردد. بسیاری از مطالعات اثرات مثبت تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، بر شاخص‌های رشد ریشه، بصورت افزایش طول ریشه، افزایش تعداد، افزایش وزن تر و خشک ریشه و ازدیاد تقسیم سلولی در مریستم ریشه را گزارش کرده‌اند (Levanony & Arsac *et al.*, 1990; Bashan, 1989). در این تحقیق بیشترین وزن تر و خشک ریشه در گونه فستوکای پابلند مربوط به تیمار تلقیح با ازتوباکتر بود که با نتایج Fulchieri و همکاران (۱۹۹۳) که گزارش کردند ازتوباکتر با تولید جیبرلین سبب توسعه ریشه و وزن آن می‌گردد، مطابقت داشت. Bashan (۱۹۸۶) و Kucey (۱۹۸۸) نیز در مطالعات خود به‌طور واضح به کمتر بودن زیست‌توده ریشه گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلوم در مقایسه با گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر اشاره کرده‌اند، به‌طوری‌که این محققان افزایش شاخص‌های رشد ساقه در تلقیح با آزوسپیریلوم را بیش از ازتوباکتر گزارش کردند. وزن زیست‌توده تولیدی در گیاهان علوفه‌ای یکی از شاخص‌های مهم بهبود عملکرد بخصوص تحت شرایط تنش است. در حقیقت افزایش وزن علوفه در واحد سطح یکی از نشانه‌های کیفیت مدیریت محسوب می‌گردد. کاهش کاربرد کودهای شیمیایی یک شاخص مهم در مدیریت پایدار است که با جایگزینی کودهای بیولوژیک حاصل می‌گردد. البته علاقه‌مندی به استفاده از روش‌های بیولوژیکی به جای مواد شیمیایی برای حاصلخیزی خاک، یا بهبود مقاومت گیاه در مقابل پاتوژن‌ها در حال حاضر رو به رشد است.

نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای بایوپرایمنگ سبب افزایش وزن زیست‌توده تولیدی شد. بر اساس نتایج بدست آمده ازتوباکترها در گونه فستوکای پابلند اثرات افزایشی بهتری نسبت به آزوسپیریلوم نشان دادند. استفاده از باکتری‌های محرک رشد منجر به ارتقاء رشد گیاه از راه‌های طبیعی متنوعی ازجمله تثبیت غیرهمزیست نیتروژن (Boddey & Do bereiner, 1988)، افزایش حلالیت فسفر (Reyes *et al.*, 2002)، تولید فیتوهورمون‌ها (Bent *et al.*, 2001) و یا تولید ترکیبات گوناگون (به‌عنوان مثال، آنتی‌بیوتیک‌ها و یا آنزیم‌های لایتیک)، با خواص آنتی پاتوژنی (Romero *et al.*, 2007) می‌گردد. در کل با وجود کاهش وزن تر و خشک ساقه با افزایش تنش خشکی، روند کاهشی در بذرهای تیمار شده با آزوسپیریلوم و ازتوباکتر نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری کمتر بود که می‌تواند

به‌عنوان روشی مفید در افزایش زیست‌توده تولیدی در این گیاه مطرح شوند. این نتایج با یافته‌های نتایج Nanda و همکاران (۱۹۹۵) که گزارش کردند تلقیح بذرهای ذرت با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم سبب افزایش وزن تر و خشک آن می‌شود و Youssef و همکاران (۲۰۰۴) که بیان کردند استفاده از ازتوباکتر و آزوسپیریلوم، سبب افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis*) می‌گردد و همچنین با نتایج تحقیقات Chabot و همکاران (۱۹۹۳) و Zahir و همکاران (۲۰۰۰) که گزارش کردند تلقیح بذر ذرت با آزوسپیریلوم موجب افزایش وزن تر و خشک ساقه می‌گردد، مطابقت داشت. افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن به‌عنوان مهمترین قابلیت‌های تیمار پرایمینگ شناخته شده می‌باشد (Heydecker & Coolbaer, 1977). این دو صفت از مهمترین پارامترها در تعیین بنیه گیاهچه‌ها محسوب می‌شوند (Alizadeh & Jafari, 2006).

در این تحقیق، تلفیق روش پرایمینگ اسمزی با میکروارگانیسم‌های مفید باعث افزایش درصد سبزشدگی بنیه در گونه فستوکای پابلند شد. پرایمینگ اسمزی بذر به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر افزایش درصد سبز شدن در بیشتر گراس‌ها مورد تأیید می‌باشد (Hardegree *et al.*, 2002)؛ بنابراین همگرایی اثرات این روش با باکتری‌های محرک رشد گیاه، می‌تواند باعث تقویت اثرات مفید گردد. در گونه فستوکای پابلند افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان درصد سبزشدگی (در حدود ۱۳/۵ درصد) بین تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز با شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد که روند کاهشی در تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز از سطح تنش صفر (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) تا بالاترین سطح تنش اعمالی یعنی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی تنها ۵ درصد بوده که این مقدار تفاوت معنی‌داری را بین سطوح تنش اعمال شده نشان نداد ولی در شاهد میزان کاهش از سطح تنش صفر(۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) تا بالاترین سطح تنش، ۱۰ درصد یعنی حدود دو برابر کاهش در تیمار ازتوباکتر ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز بود. بنابراین روند کاهشی در اثر تنش در بذرهایی که تیمار بایوپرایمینگ داشتند بسیار کمتر از شاهد بود.

استفاده مناسب از جایگزین‌های مؤثر کودهای شیمیایی برای تولید پایدار محصولات، دغدغه بسیاری از کشورهای جهان است؛ به‌طوری‌که تکنیک بایوپرایمینگ می‌تواند توسط شرکت‌های تولید بذر در راستای تولید محصولات ارگانیک و دوستار طبیعت مورد استفاده قرار گیرد (Begum *et al.* 2010). نتایج این بررسی نشان داد که باکتری‌های محرک رشد می‌تواند در کنار روش مؤثر و شناخته شده تکنولوژی بذر (پرایمینگ اسمزی) باعث افزایش عملکرد گونه علوفه‌ای مهم فستوکای پابلند در شرایط گلخانه گردد. در این بررسی هر دو نوع باکتری آزوسپیریلوم و ازتوباکتر نشان دادند که سبب افزایش رشد معنی‌داری نسبت به شاهد می‌شود. در کل ازتوباکتر به‌طور نسبی عملکرد بهتری نسبت به آزوسپریلیوم نشان داد. بر این اساس می‌توان این احتمال را مطرح کرد که ازتوباکتر توانایی بیشتری را نسبت به همزیستی با گونه مورد مطالعه در این تحقیق داشته است. در این تحقیق اثرات مثبت تیمارهای بایوپرایمینگ در بهبود عملکرد نزدیک بهم بود، با وجود این تیمار ازتوباکتر ۲ و ۰/۵ مگاپاسکال ۲ روز در گونه فستوکای پابلند می‌تواند به‌عنوان تیمارهای برتر نسبت به تیمارهای دیگر به‌کار رفته در این تحقیق مطرح شود.

سپاسگزاری

این مقاله مرتبط با طرح پژوهشی "تأثیر بایوپرایمینگ (biopriming) با باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد و مقاومت به تنش خشکی در بذر دو گونه *Agropyron desertroum* و *Festuca arundinacea* Schreb" است که هزینه آن توسط باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی تأمین شده است. بنابراین از دست‌اندرکاران مرکز یادشده، سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

Ahmad, F., Ahmad, I. and Khan, M.S., 2005. Indole acetic acid production by the indigenous isolate of

Azotobacter and *Fluorescent Pseudomonas* in the presence and absence of Tryptophan. Turkish Journal of Biology, 29: 29-34.

Alizadeh, M.A. and Jafari, A.A., 2006. Seed and seedling responses of ecotypes of *Bromus*, *Agropyron* and *Medicago* to *Fusarium solani* and *F. oxysporum*. Journal of New Seeds, 8: 71-81.

Arsac, J.F., Lamothe, C., Mulard, D. and Fages, J., 1990. Growth enhancement of maize through *Azospirilum lipoferum* inculcation: effect of plant genotype and bacterial concentration. Agronomie, 10: 649-654.

Bashan, Y., 1986. Significance of timing and level of inoculation with rhizosphere bacteria on wheat plants. Soil Biology and Biochemistry, 18: 297-301.

Bashan, Y. and Holguin, G., 1997a. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Canadian Journal of Microbiology, 43: 103-121.

Bashan, Y. and Holguin, G., 1997b. Short- and medium-term avenues for *Azospirillum* inoculation. 130-149. In: Ogoshi, A., Kobayashi, K., Homma, Y., Kodama, F. Kondo, N. and Akino, S. (Eds,). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. Present status and future prospects. Faculty of Agriculture, University of Hokkaido, Sapporo, Japan.

Bashan, Y. and Holguin, G., 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications. Biocontrol-PGPR (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. Soil Biology and Biochemistry, 30: 1225–1228.

Begum, M. M., Sariah, M., Puteh, A. B., Zainal Abidin, M. A., Rahman, M. A. and Siddiqui Y., 2010. Field performance of bio-primed seeds to suppress *Colletotrichum truncatum* causing damping-off and seedling stand of soybean. Biological Control, 53: 18–23

Bennett, A. J. and Whipps, J. M., 2008. Dual application of beneficial microorganisms to seed during drum priming. Applied Soil Ecology, 38: 83-89.

Bent, E., Tuzun, S., Chanway, C. P. and Eneback, S., 2001. Alterations in plant growth and in root hormone levels of lodgepole pines inoculated with rhizobacteria. Canadian Journal of Microbiology, 47: 793–800.

Boddey, R. M. and Do bereiner, J., 1988. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent results and perspectives for future research. Plant and Soil, 108: 53–65.

Bothe, H., Körsgen, H., Lehmacher, T. and Hundeshagen, T., 1992. Differential effects of Azospirillum, auxin and combined nitrogen on growth of the roots of wheat. Symbiosis, 13: 167–179.

Callan, N. W., Mathre, D. E. and Miller, J. B., 1990. Bio-priming seed treatment for biological control of Pythium ultimum preemergence damping-off in sh2 sweet corn. Plant Disease, 74: 368–372.

Cantliffe, D. J., 1991. Benzyladenine in the priming solution reduces thermo-dormancy of lettuce seeds. Horticulture Technology, 1: 95–97.

Chabot, R., Antoun, H. and Cescas, M. P., 1993. Stimulation of the growth of maize and lettuce by inorganic phosphorus- solubilizing microorganisms. Canadian Journal of Microbiology, 39: 941-947.

Fulchieri, M., Lucangeli, C. and Bottini, R., 1993. Inoculation with Azospirillum affects growth and gibberellin status of corn seedling roots. Plant Cell Physiology, 34: 1305-1309.

Ghassemi-Golezani, K. and Esmaeilpour, B., 2008. The effect of salt priming on the performance of differentially matured cucumber (*Cucumis sativus*) seeds, Journal of Notulae botanicae horti agrobotanici cluj-napoca, 36: 67-70.

Giri, G.S. and Schillinger, W. F., 2003. Seed priming winter wheat for germination emergence and yield. Crop sicemce, 43: 2135- 2141.

Hardegree, S. P. and Van Vactor, S. S., 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. Annals of Botany, 85:379–390.

Hardegree, S. P. and Emmerich, W., 2000. Effect of matric-priming duration and priming water potential on germination of four grasses. Journal of Experimental Botany, 43: 233-238.

Hardegree, S. P., Jones, T. A. and Van Vactor, S. S., 2002. Variability in Thermal response of Primed and Non-primed Seeds of Squirreltail [*Elymus elymoides* (Raf.) Swezey and *Elymus multisetus* (J. G. Smith) M. E. Jones]. Annals of Botany, 89: 311-319.

Harman, G. E., Taylor, A. G. and Stasz, T. E., 1989. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and solid matrix priming to improve biological seed treatments. Plant Disease, 73: 631–637.

Heydecker, W. and Coolbaer, P., 1977. Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. Seed Science and Technology, 5: 353–425.

Kloepper, J. W., Rodriguez-Ubana R., Zehnder, G. W., Murphy, J. F., Sikora, E. and Fernandez, C., 1999. Plant root-bacterial interactions in biological control of soil borne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. Australasian Plant Pathology, 28: 21–26.

Kucey, R. M. N., 1988. Alteration of size of wheat root system and nitrogen fixation by associative nitrogen-fixation bacteria measured under field conditions. Canadian Journal of Microbiology, 34: 735-739.

Langer, R. H. M., 1990. Pasture plants. 39-74.In R.H.M. Langer (Eds,) Pastures, their ecology and

Rubio Ariasa, H. O. R., Wood, M. K., Nieto, C. M., Lopezc, G. R. and de la Vega, L., 2004. Above and below-ground responses of *Eragrostis* and *Bouteloua* grass seedlings to the plant-growth-promoting bacterium *Azospirillium brasilense*. Journal of Arid Environments, 59: 19–26.

Shukla, N. Awasthi, R. P. Rawat L, Kumar J., 2015. Seed biopriming with drought tolerant isolates of *Trichoderma harzianum* promote growth and drought tolerance in *Triticum aestivum*. Annals of Applied Biology, 166 (2) 171-182.

Steenhoudt, O. and vanderleyden, J., 2000. *Azospirillum* a free living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiology Reviews, 24: 487-506.

Sturz, A. V., Christie, B. R. and Nowak, J., 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. Critical Review Plant Science, 19 (1): 1–30.

Vessey, J. K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255: 271-586.

Youssef, A. A., Edris, A. E. and Gomaa, A. M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plants. Annals of Agricultural Science, 49: 299-311.

Zahir, A. Z., Abbas, S. A., Khalid, A. and Arshad, M., 2000. Substrate dependent microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedling. Pakistan Journal of Biological Science, 3: 289-291.

management. Oxford University Press, Auckland.

Levanony, H. and Bashan, Y., 1989. Enhancement of cell division in wheat root tips and growth of root elongation zone induced by *Azospirillum brasilens* Cd. Canadian Journal of Microbiology, 67: 2213-2216.

Michel, B. E., Kaufmann, M. R., 1972. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916.

Munns, R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist. 167: 645–663.

Nanda, S. S., Swain, K. C., Panda, S. C., Mohanty, A. K. and Alim, M. A., 1995. Effect of nitrogen and biofertilizers in fodder rainfed upland conditions of Orisa. Current Agricultural Research, 8:45-47.

Okon, Y. and Labandera-Gonzalez, C. A., 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biology and Soil Biochemistry, 26: 1551-1601.

Reddy,P. P. 2013. Bio-priming of Seeds. Recent Advances in Crop Protection, Springer India, 83-90.

Reyes, I., Bernier, L. and Antoun, H., 2002. Rock phosphate solubilization and colonization of maize rhizosphere by wild and genetically modified strains of *Penicillium rugulosum*. Microbial Ecology, 44: 39–48.

Romero, D., de Vicente, A., Rakotoaly, R. H., Dufour, S. E., Veening, J. W., Arrebola, E., Cazorla, F. M., Kuipers, O. P., Paquot, M. and Perez-Garcı´a, A., 2007. The iturin and fengycin families of lipopeptides are key factors in antagonism of Bacillus subtilis toward Podosphaera fusca. Molecular Plant-Microbe Interactions, 20: 430–440.

Effects of seed biopriming with *Azospirillum* and *Azotobacter* on performance and drought resistance in *Festuca arundinacea* Schreb

H. Radnejad[1*], B. Behtarri[2], A. A. Naghipour Borj[3] and Sh. Haj Agha Memar[4]

1⋆ -Corresponding author, Assistant Professor, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Iran, Email: hradnezhad@yahoo.com
2- Ph.D. Student of Range Sciences, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
3- Assistant Professor, Faculty of Natural resources and geosciences, Shahr-e-Kord University, Iran
4- M.Sc. Students of Range Management, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran
Received:9/19/2014 Accepted: 6/28/2015

Abstract

Plant growth-promoting rhizobacteria are a subset of bacteria, accumulating on the root and rhizosphere. One of the seed priming methods is the use of microorganisms in seed inoculation, known as biopriming. The use of these microorganisms in seed inoculation leads to increased plant performance, especially if the microorganisms are symbiotic in the root zone of the plants. This study was aimed to investigate the effects of biopriming with *Azospirillum* and *Azotobacter* on drought resistance in fescue under greenhouse conditions. Osmotic potential at four levels was applied on the Fescue seeds using polyethylene glycol for 2 and 4 days as priming treatment along with inoculation with rhizobacteria. Drought stress was applied during the plant growth based on field capacity at four levels. The results showed that biopriming treatments caused improved performance and increased drought resistance compared to the control. The study showed that both *Azospirillum* and *Azotobacter* increased the performance significantly compared to the control. Generally, *Azotobacter* showed relatively better performance than *Azospirillum*. However, the *Azotobacter* treatments at 2 and 0.5 MPa for 2 days can be considered as a superior treatment in fescue as compared with other treatments.

Keywords: Field capacity, plant growth-promoting rhizobacteria, seed incubation, symbiosis.