علوم و تحقیقات بذر ایران
سال پنجم/ شماره اول/ ۱۳۹۷ (۱۳۶ - ۱۲۳)

DOI: 10.22124/jms.2018.2905

بررسی تأثیر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر قابلیت جوانه‌زنی بذر، بنیه گیاهچه و برخی ویژگی‌های مرتبط دورگ‌های دیررس ذرت

آیدین حمیدی[1*]، احمد اصغرزاده[2]، رجب چوکان[3]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) *ازتوباکتر کروکوکوم*، *آزوسپیریلوم لیپوفروم* و *سودوموناس فلورسنس* بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر و گیاهچه دورگ‌های ساده دیررس ذرت۷۰۰، ۷۰۴ و یک دورگ امیدبخش B73×K18 پژوهشی در آزمایشگاه تجزیه کیفی بذر مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل تلقیح بذرهای این دورگ‌ها با تک تک باکتری‌ها، به‌صورت دوتایی، سه تایی و عدم تلقیح باکتریایی به‌عنوان تیمار شاهد بودند. ویژگی‌های مورد بررسی شامل درصد جوانه‌زنی نهایی، متوسط جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، ضریب سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، طول گیاهچه، ریشه و ساقه اولیه، وزن خشک گیاهچه، ساقه و ریشه اولیه و شاخص بنیه گیاهچه بودند. نتایج بدست آمده مشخص ساخت که به‌جز متوسط جوانه‌زنی روزانه و ضریب سرعت جوانه‌زنی سایر ویژگی‌های مورد بررسی تحت تأثیر اثرمتقابل دورگ‌ها و PGPR قرار گرفتند. همچنین مشخص گردید که کاربرد مایه تلقیح تلفیقی از این سه جنس باکتری سبب بیش‌ترین افزایش در قابلیت جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه هر سه دورگ شده و به‌ترتیب مایه تلقیح دارای دو باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس فلورسنس* و تلقیح بذر با تک تک این باکتری‌ها از تأثیر بیش‌تری برخوردار بودند. همچنین ویژگی‌های مورد بررسی بذر دورگ SC704 بیش از دورگ‌های دیگرتحت اثرات مثبت باکتری‌های مورد مطالعه قرار گرفته و از این لحاظ دورگ‌های B73×K18 و۷۰۰ در مرتبه‌های بعدی قرار داشتند. بررسی رابطه همبستگی بین ویژگی‌های بررسی شده نیز وجود همبستگی بالای بین آن‌ها را نشان داد. بنابراین، براساس نتایج حاصل از این پژوهش کاربرد PGPR تأثیر معنی‌داری بر ارتقای کیفیت بذر و بهبود بنیه گیاهچه دو رگ‌های ذرت مورد مطالعه داشتند.

واژه‌های کلیدی: ارتقای کیفیت بذر، تلقیح بذر، شاخص وزنی بنیه گیاهچه، متوسط زمان جوانه‌زنی

۱- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
*نویسنده مسئول: a.hamidi@spcri.ir

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی و بر اساس آمار سازمان جهانی خواربار و کشاورزی جهانی (FAO)، در سال ۲۰۱۳ سطح برداشت، تولید و عملکرد ذرت در جهان به‌ترتیب ۱۸۴۱۹۸۰۵۳ هکتار و ۱۰۱۶۷۹۶۰۹۲ تن و ۵۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (Anonymous, 2014). براساس آخرین آمار وزارت جهادکشاورزی، در سال زراعی۹۳- ۱۳۹۲ سطح کشت ذرت دانه‌ای کشور ۲۹۰۰۱۵ هکتار با تولید ۱۸۵۱۹۹۹ تن و عملکرد ۶۳۸۳/۰۶ کیلوگرم در هکتار در اراضی آبی بوده است (Anonymous, 2015). در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای‌زیستی[1] از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (Sharma, 2003). اصطلاح کودهای زیستی به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره همچنین ریز جانداران باکتریایی و قارچی مفید و مواد حاصل از فعالیت آن‌ها اطلاق شده و باکتری‌های افزاینده رشد گیاه[2] یا اصطلاحاً PGPR از مهم‌ترین کودهای زیستی می‌باشند (Manaffee and Kloepper, 1994). این گروه از باکتری‌ها علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول‌کردن فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماری‌زا، با تولید مواد و هورمون‌های گیاهی[3] و مواد تنظیم کننده رشد گیاه[4] عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sturz and Christie, 2003). همچنین با توجه به تأثیر افزایندگی بر رشد و نمو گیاهان زراعی، این باکتری‌ها اصطلاحاً باکتری‌های افزاینده عملکرد نامیده می‌شوند (Vessey, 2003).

باکتری‌های جنس *ازتوباکتر*[5]، *آزوسپیریلوم*[6] و *سودوموناس*[7] از مهم‌ترین باکتری‌های افزاینده رشد گیاه فعال در محیط ریشه[8] محسوب می‌شوند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول‌کردن فسفر خاک با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه مواد و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها رشد و نمو و عملکرد گیاهان‌زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zahir *et al*., 2004). همچنین باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *سودوموناس* آزادزی و باکتری‌های جنس *آزوسپیریلوم* دارای رابطه همیاری با گیاه میزبان می‌باشند (Vessey, 2003).

بر اساس نتایج پژوهش‌های اخیر تولید اسید ایندول استیک و سیتوکینین با استفاده از اسید آمینه‌های تریپتوفان و آدنین ترشح‌شده از ریشه، هیدرولیز پیش‌ماده اتیلن، ۱- آمینو سیکلو پروپان– ۱– کربوکسیلیک اسید (ACC)[9] به‌وسیله آنزیم ACC دی آمیناز[10] و تولید مواد هورمونی و شبه هورمونی در اثر واکنش نیتریت حاصل از تنفس نیتراتی با اسیدآسکوربیک مهم‌ترین سازوکارهای تأثیر این باکتری‌ها محسوب می‌شوند (Zahir *et al*., 2004).

مؤثرترین، متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین روش کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه تلقیح بذر می‌باشد (Mc Quilken *et al*., 1998). دستاوردهای پژوهش‌های به‌نژادگران و عامل تکثیر و بروز ویژگی‌های زراعی یک ژنوتیپ مهم‌ترین نهاده برای تولید محصولات زراعی و دستیابی به پتانسیل واقعی عملکرد می‌باشد (Mc Donald and Copeland, 1997) زیرا بذر از جایگاه ویژه‌ای در تولید و کنترل و گواهی بذر برخوردار است (Desai, 2004). کیفیت بذر نشأت گرفته از عوامل متعددی است، با این وجود ارزیابی معیارهای قوه نامیه (قابلیت حیات)[11]، بنیه[12]، قابلیت ماندگاری[13] و سلامت بذر[14] که ازجمله مهم‌ترین جنبه‌های کیفیت بذر محسوب می‌گردند، نقش مهمی در تعیین کیفیت بذر بر عهده دارند (Mc Donald and Copeland, 1997). با توجه به اهمیت کیفیت بذر حفظ و ارتقای آن دارای نقش ویژه‌ای در یک برنامه تولید و فرآوری موفق بذر می باشد (Halmer, 2000).

بنا به تعریف، ارتقای کیفیت بذر[15] به تیمار بذر با استفاده از ترکیبات و فرآیندهایی اطلاق می‌شود که به کارگیری آن‌ها موجب بهبود ویژگی‌هایی از قبیل حداکثر خلوص‌فیزیکی و

[1] Biofertilizers
[2] Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
[3] Phytohormones
[4] Plant Growth Regulators (PGRs)
[5] *Azotobacter* spp.
[6] *Azospirillum* spp.
[7] *Pseudomonas* spp.
[8] Rhizospher

[9] 1-aminocyclopopane-1-caboxylic
[10] ACC deaminase
[11] Viability (Germinability)
[12] Vigour
[13] Longevity
[14] Seed health
[15] Enhancement

قابلیت و سرعت جوانه‌زنی می‌گردد که بذر را در ایجاد بوته‌هایی که دستیابی به عملکرد کمی و کیفی محصول ممکن می‌سازند، یاری می‌دهند (Taylor *et al*., 1998). ارتقای کیفیت بذر از جمله مهم‌ترین راه‌های دستیابی به نظام‌های کشاورزی پایدار محسوب شده و تقویت زیستی[16] بذر با افزودن PGPR از جدیدترین روش‌های ارتقای کیفیت بذر می‌باشد (Mc Quilken *et al*., 1998). به‌طوری‌که هم اکنون روش‌های مختلف پرایمینگ[17] فیزیولوژیکی و زیستی بذر درحال جایگزینی تدریجی تیمارهای شیمیایی می‌باشند (Callan *et al*., 1991)

پژوهش‌های مختلف سازوکارهای متفاوتی را در تأثیر PGPR در ارتقای کیفیت بذر مؤثر دانسته‌اند. بهبود سلامت بذر با توجه به نقش این باکتری‌ها به‌عنوان عوامل مهارکننده آفات و بیمارگرهای گیاهی، همچنین تأثیر تحریک‌کنندگی رشد آن‌ها بر قابلیت جوانه‌زنی بذر و بنیه گیاهچه از طریق تولید هورمون‌های افزاینده رشد در محیط بذر و ریشه گیاهچه از مهم‌ترین این سازوکارها می‌باشند (Zahir *et al*., 2004).

برای نخستین بار حسین و وانکورا (Hussain and Vncura, 1970) مشاهده کردند که توده شناور بر محیط کشت برخی باکتری‌ها محیط اطراف ریشه به‌طور معنی‌داری جوانه‌زنی بذرهای ذرت را افزایش می‌دهند. تأثیر PGPR بر افزایش قابلیت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه گیاهانی ازقبیل گشنیز[18]، کاکتوس کاردون[19] و برنج بررسی و مورد تأیید قرار گرفته است (El-Meleigi, 1989، Puente and Bashan, 1993، Vasugi and Thangarajan, 1997 و Biswas *et al*., 2000). به‌طوری‌که جاوید و همکاران (Javed *et al*., 1998) تعداد یازده جدایه از باکتری‌های محیط اطراف ریشه را شناسایی کردند که قابلیت جوانه‌زنی بذرهای ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. ال-ملیجی (El-Meleigi, 1989) افزایش رشد و نمو گیاهچه ذرت و کالان و همکاران (Callan *et al*., 1991) تأثیر مثبت تلقیح بذر ذرت شیرین با سویه AB254 باکتری *سودوموناس فلورسنس*[20] را مشاهده کردند. همچنین ژاکاد و همکاران (Jacoud *et al*., 1999) افزایش رشد و نمو ریشه اولیه گیاهچه ذرت در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* را گزارش کردند. اپت و شند (Apte and Shend, 1981) مشاهده کردند که قابلیت جوانه‌زنی بذرهای ذرت در اثر تلقیح با سویه‌های مختلف باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* افزایش یافت.

بابالولا و همکاران (Babalola *et al*., 2007) اثر تحریک‌کننده تلقیح با جدایه‌های مختلف گونه‌های گوناگون *سودوموناس* بر جوانه‌زنی بذر گونه‌ای علف‌جادوگر[21] را نشان دادند. کاریثکیان و همکاران (Karthikeyan *et al*., 2007) نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز بذر و گیاهچه پروانش[22] درنتیجه پرایمینگ با باکتری‌های دیازوتروف از قبیل *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* بومی ایالت تامیل نادو هند[23]، جداشده از سطح ریشه گیاه پروانش، که منجر به بهبود جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر و گیاهچه را گزارش کردند. همچنین شویتا و همکاران (Shweta *et al*., 2008) نشان دادند که تلقیح بذرهای بادام زمینی با دو سویه سودوموناس‌های فلورسنت منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی بذر به‌میزان ۱۵ و ۳۰ درصد گردید. باراسی و همکاران (Barassi, *et al*., 2006) نیز افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذرهای کاهوی تلقیح شده با *آزوسپیریلوم* در مقایسه با بذرهای تلقیح نشده را نشان دادند. همچنین افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذرهای پرایمینگ زیستی‌شده تربچه با *سودوموناس پوتیدا*[24] گزارش گردیده است (Kaymak *et al*., 2009).هدف این پژوهش بررسی تأثیر تلقیح بذر با کودهای زیستی PGPR سویه‌های باکتری‌های *ازتوباکتر کروکوکوم*[25]، *آزوسپیریلوم لیپوفروم*[26]، *آزوسپیریلوم برازیلنس*[27] و *سودوموناس فلورسنس* بر قابلیت جوانه‌زنی بذر، بنیه گیاهچه و برخی ویژگی‌های مرتبط سه دورگ دیررس ذرت، شامل دو دورگ جدید SC700 و B73×K18 بود.

[16] Biofortification
[17] Priming
[18] *Coriandrum sativum* L.
[19] Cardon cactus (*Pachycereus pringlei*)
[20] *Pseudomonas fluorescence*
[21] *Striga hermonthica*
[22] *Catharanthus roseus*
[23] Tamilnadu, India
[24] *Pseudomonas putida*
[25] *Azotobacter chroococcum*
[26] *Azospirillum brasilense*
[27] *Azospirillum lipoferum*

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تجزیه بذر مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال در کرج اجرا شد. برای این منظور بذرهای سه دورگ ساده دیررس ذرت سینگل کراس SC704 (B73×Mo17)، سینگل کراس SC700 (K74/1×K18) و یک دورگ ساده امیدبخش (B73×K18) از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیده و قبل از کشت به‌وسیله مایه تلقیح مایع خالص سویه (5) باکتری *ازوتوباکتر کروکوکوم* (Az)، مایه تلقیح مخلوط سویه (21) *آزوسپیریلوم برازیلنس* و سویه (OF) *آزوسپیریلوم لیپوفروم* (As) و سویه (P21) *سودوموناس فلورسنس* (Ps) به‌صورت ساده (با یک باکتری) و تلفیقی (با دو باکتری و سه باکتری) تلقیح شدند. همگی این باکتری‌ها طبیعی و بومی خاک‌های کشور بوده و توسط بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب جدا و خالص‌سازی و مایه تلقیح آن‌ها تهیه شده بود. توانایی تولید نیمه‌کمی و کیفی اکسین IAA *ازتوباکتر کروکوکوم* به‌ترتیب ۲۱ میلی‌گرم در لیتر و ++ و میزان فعالیت آنزیم نیتروژناز آن۹/۵ نانومول در ساعت، *آزوسپیریلوم برازیلنس* به‌ترتیب ۳۲ میلی‌گرم در لیتر،+++، ۱۲ نانومول در ساعت و قابلیت حل‌کنندگی فسفر در محیط Sperber با قطر هلال و نسبت قطر کولونی به قطر هلال به‌ترتیب ۱/۴ و۴ سانتی‌متر بود. همچنین توان تولید نیمه کمی اکسین IAA *آزوسپیریلوم لیپوفروم* ۵۴/۲۶ میلی‌گرم در لیتر و سرعت تولید اتیلن اندازه‌گیری شده به‌روش کروماتوگرافی مایع،۱۲/۳۶ نانومول در ۲۴ ساعت بوده و قابلیت تولید نیمه کمی اکسین IAA، ILA و IBA و کل اکسین‌های *سودوموناس فلورسنس* به‌ترتیب ۷۶، ۷۰، ۴۳ و ۱۸۹ میلی‌گرم در لیتر و قابلیت محلول‌کنندگی فسفر آن مثبت و دارای توان تولید سیدروفور با قطر هلال ۳ و ۳/۹ سانتی‌متر به‌ترتیب پس از ۴۸ و ۷۶ ساعت بود.

برای تلقیح بذرها هفت سانتی‌متر مکعب مایه تلقیح محتوی 10^7 عدد باکتری زنده و فعال در هر سانتی‌متر مکعب استفاده شد. تعداد ۱۰۰ بذر از هر تیمار درون پتری قرار داده شده و مایه تلقیح به آن‌ها اضافه و بذرها به‌خوبی با مایه تلقیح آغشته شده و سپس به‌منظور تلقیح کامل به‌مدت ۳۰ دقیقه درون مایه تلقیح گذاشته شدند. بذرهای تلقیح‌شده درون ظرف‌های پلاستیکی در بستر لابه‌لای کاغذ جوانه‌زنی واتمن شماره ۱ کشت گردیدند. تیمارها شامل سه دورگ ساده و تلقیح بذر به‌طور جداگانه با یک باکتری و مایه تلقیح مخلوط دوتایی و سه جنس باکتری و عدم تلقیح باکتریایی بذر، به‌عنوان شاهد (جمعاً هشت تیمار): ۱.Az، ۲.As، ۳.Ps، ٤.Az+As، ٥.Az+Ps، ٦.As+Ps، ۷.Az+As+Ps و ۸.عدم تلقیح (شاهد) بودند.

به‌منظور اجرای آزمون جوانه‌زنی استاندارد طبق مقررات آزمون بذر انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA)[28]، ظرف‌های کشت شده به‌مدت هفت روز درون اتاق رشد در شرایط استاندارد دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس (Anonymous. 2014) قرارداده شدند. در طول دوره اجرای آزمایش رطوبت محیط کشت با افزودن آب مقطر تأمین شد. همچنین به‌منظور تعیین سرعت و زمان جوانه‌زنی به‌طور روزانه ظرف‌های کشت شده مورد بازدید قرار گرفته و تعداد بذرهای جوانه‌زده بر مبنای خروج حداقل دو میلی‌متر ریشه اولیه یادداشت گردیدند.

با شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده برخی شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط با بنیه بذر و گیاهچه شامل موارد زیر محاسبه گردیدند:

۱- متوسط زمان جوانه‌زنی[29] شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی است و از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$MGT=\Sigma N_iD_i/ N$ (رابطه ۱)

در این رابطه: n= تعداد بذرهای جوانه‌زده در طی d روز، d- تعداد روزها و Σn= کل تعداد بذرهای جوانه‌زده می‌باشند (Ellis and Roberts, 1981).

۲- ضریب سرعت جوانه زنی[30] نیز که مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذرها می‌باشد از رابطه ۲ محاسبه شد:

$CVG=G_1+G_2+...+G_n/(1\times G_1)+(2\times G_2)+...+(n\times G_n)$ (رابطه ۲)

در رابطه اخیر G1-Gn تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا روز آخر آزمون می‌باشد (Scott *et al*., 1984).

در پایان نیز تعداد کل بذرهای جوانه‌زده (گیاهچه‌های تولید شده) شمارش و یادداشت شده و داده‌های حاصل

[28] International Seed Testing Association (ISTA)
[29] Mean Time to Germination (MTG)
[30] Coefficient of Velocity of Germination (CVG)

به‌عنوان درصد جوانه زنی نهایی[31] یا قابلیت جوانه‌زنی[32] برای محاسبه شاخص‌های زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

۳- متوسط جوانه‌زنی روزانه[33] که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه می باشد، از رابطه ۳ تعیین گردید:

MDG=FGP/D (رابطه ۳)

در این رابطه FGP درصد جوانه زنی نهایی و d تعداد روزها تا رسیدن به حداکثر جوانه زنی نهایی (طول دوره اجرای آزمون) می باشد (Hunter *et al*., 1984).

۴ -سرعت جوانه‌زنی روزانه[34] نیز عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه است و از رابطه چهار محاسبه شد (Maguire, 1962):

DGS=1/MDG (رابطه ۴)

با پایان دوره آزمون جوانه‌زنی استاندارد (روز هفتم) تعداد گیاهچه‌های عادی به‌عنوان قابلیت جوانه‌زنی تعیین گردید. همچنین تعداد ۲۵ گیاهچه عادی به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی انتخاب شده و برای ارزیابی بنیه گیاهچه با استفاده از آزمون تجزیه و تحلیل رشد، طول گیاهچه، ساقه اولیه و ریشه اولیه با خط‌کش مدرج با دقت یک میلی‌متر و وزن آن‌ها با قراردادن در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت و توزین با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱گرم اندازه‌گیری شدند. سپس شاخص وزنی بنیه گیاهچه[35] نیز با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (Abdul-Baki and Anderson, 1973):

(رابطه ۵) قابلیت جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه= شاخص وزنی بنیه گیاهچه

داده‌های بدست آمده پس از بررسی نرمال بودن و کشیدگی[36] و چولگی[37] آن‌ها و اعمال تبدیل زاویه‌ای داده-های قابلیت جوانه‌زنی، به‌صورت یک آزمایش دو فاکتوره با ۲۴ تیمار (۳ دورگ ساده × ۸ نوع تلقیح بذر) بر پایه طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی، با توجه به ناهمگنی سویه‌های باکتریایی مورد بررسی، با چهار تکرار تجزیه و تحلیل واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن و ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی‌های مورد بررسی با استفاده از نرم افزار MSTAT_C (Ver. 2.1) انجام شد.

نتایج وبحث

تجزیه واریانس مشخص کرد به‌جز ضریب سرعت جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه سایر ویژگی‌ها تحت تأثیر اثرمتقابل دورگ‌ها و PGPR قرار گرفتند و اثر تکرار برای وزن خشک گیاهچه و ریشه اولیه معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌های قابلیت جوانه‌زنی بذر نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی نهایی مربوط به بذرهای دورگ SC704 تلقیح شده با هر سه باکتری بود که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح بذر) حدود ۸ درصد ارتقای قابلیت جوانه‌زنی را سبب گردید (جدول۲). همچنین با بررسی مقایسه میانگین‌های قابلیت جوانه‌زنی بذر برای سایر تیمارها مشخص می‌گردد که در دورگ‌های دیگر نیز بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی نهایی مربوط به تیمار تلقیح بذر با هر سه باکتری بوده و در مرتبه‌های بعدی تلقیح بذر با دو باکتری *ازوتوباکتر* و *سودوموناس* و تلقیح بذر با تک تک این باکتری‌ها در هر سه دورگ به‌ترتیب بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی نهایی را نشان دادند (جدول۲). پوئنته و باشان (Puente and Bashan, 1993) افزایش قابل توجه قابلیت جوانه‌زنی بذر و تعویق فرآیند پیری بذر در دوره نگهداری بذر کاکتوس کاردون در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریلوم برازیلنس* و اپت و شند (Apte and Shend, 1981) نیز افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذرهای ذرت تلقیح شده با باکتری *ازوتوباکتر کروکوکوم* را گزارش نمودند. ژاکاد و همکاران (Jacoud *et al*., 1999) تحریک رشد و ظهور ریشه‌چه بذرهای ذرت تلقیح شده با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* را مشاهده نمودند. همچنین هرناندز و همکاران (Hernandez *et al*., 1995) افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی بذر را در اثر تلقیح بذر های ذرت با باکتری *سودوموناس فلورسنس* را گزارش کردند. هورمون‌های گیاهی تحریک‌کننده رشد به‌ویژه جیبرلین‌ها نقش مهمی در تحریک آغاز فرآیند جوانه‌زنی بذر بر عهده دارند (Jacobsen and Chandler, 1990). بنابراین احتمالاً PGPR به‌کاربرده شده در این آزمایش از طریق ترشح هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه جیبرلین‌ها سبب بهبود و ارتقای قابلیت جوانه زنی بذر گردیده‌اند.

[31] Final Germination Percent (FGP)
[32] Germination ability
[33] Mean Daily Germination (MDG)
[34] Daily Germination Speed (DGS)
[35] Seedling weight vigor index
[36] Courtosis
[37] Skewness

جدول۱-تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر PGPR بر قابلیت جوانه‌زنی بذر و برخی ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of PGPR effect on seed germination ability and some seedling vigor related traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)											
		قابلیت جوانه‌زنی Germination ability	متوسط زمان جوانه زنی Mean Germination Time	متوسط جوانه زنی روزانه Mean Daily Germination	ضریب سرعت جوانه‌زنی Coefficient of velocity of germination	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination speed	طول گیاهچه Seedling length	طول ساقه اولیه Primary shoot length	طول ریشه‌اولیه Primary Root length	وزن خشک گیاهچه Seedling Dry weight	وزن خشک ساقه اولیه Primary shoot Dry weight	وزن خشک ریشه اولیه Primary Root Dry weight	شاخص بنیه گیاهچه Seedling Vigor Index
تکرار Replication	3	3.625^{ns}	1.055^{ns}	0.117^{ns}	3.3539^{ns}	4.3124^{ns}	0.535^{ns}	0.228^{ns}	1.085^{ns}	4.9822*	2.0689^{ns}	4.8583*	48.0186ns
دورگ‌ها Hybrids	2	264.760**	35.203*	5.439**	297.6584^{ns}	229.7061^{ns}	44.375**	22.426*	7.770*	146.0853**	76.9356**	143.0391**	1819.913**
PGPR	7	71.351**	466.799*	1.489**	492.4952^{ns}	362.5388^{ns}	464.541**	74.940*	1134.762**	240.8375**	93.7706**	2401730*	2484.80*
Hybrids ×PGPR	14	81.927**	0.859*	6.050**	594.2397^{ns}	601.4713^{ns}	0.577**	0.314*	1743.835**	729.4066**	101.7569**	301.4059	2929.824**
خطا Error	69	0.987	0.033	0.032	4.2397	1.4713	0.197	55.895	0.138	1.1739	0.1124	0.1742	15.723
کل Total	95												
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (C.V.) %		1.05	0.21	1.34	1.45	1.61	1.26	9.59	5.66	3.07	4.40	3.90	4.84

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

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

جدول۲- مقایسه میانگین اثرمتقابل دورگ‌ها و PGPR بر قابلیت جوانه زنی بذر و برخی ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه.

Table 2. Mean comparisons of hybrids × PGPR interaction of seed germination ability and seedling vigor related traits

تیمار Treatment		قابلیت جوانه‌زنی (درصد) Germination ability(%)	متوسط زمان جوانه زنی(روز) Mean germination Time(Day)	متوسط جوانه‌زنی روزانه (بذر/روز) Mean Daily Germination (Seed/Day)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	طول ساقه اولیه (سانتی‌متر) Primary shoot length(cm)	طول ریشه اولیه (سانتی‌متر) Primary root length(cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling Dry weight(g.)	وزن خشک ساقه اولیه (گرم) Primary shoot dry weight(g.)	وزن خشک ریشه اولیه(گرم) Primary root dry weight(g.)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor Index
	شاهد(عدم تلقیح) Control*	92.25 k	8.015ij	13.175i	28.225q	23.350n	5.075l	0.820ij	0.547jk	0.273ij	75.450n
	Az	99.50b	9.319bc	14.213b	39.375ef	28.025e	11.350e	0.955b	0.637c	0.318c	95.230c
	As	93.75hi	8.290gh	13.392g	30.550o	24.275jk	6.275k	0.865fg	0.577i	0.288h	81.000j
دورگ سینگل کراس۷۰۴	Ps	99.25ab	9.131cd	14.180b	73.500fg	27.250f	10.250g	0.963ab	0.642b	0.321bc	95.450bc
Hybrid SC704	Az+As	96.75d	8.872e	13.820d	34.850k	26.175g	8.675i	0.925bc	0.617e	0.308d	89.070e
	Az+Ps	99.75aa	9.417b	14.253ab	41.757d	29.100c	12.650c	0.968ab	0.645ab	0.231b	96.510b
	As+Ps	96.00e	8.417fg	13.710e	32.500m	25.225hi	8.675i	0.890ef	0.593g	0.297ef	85.457g
	Az+As+Ps	100.00a	9.518a	14.285a	47.625a	30.925a	16.700a	0.975a	0.652a	0.326a	97.750a
	شاهد(عدم تلقیح) Control	88.50q	7.823k	12.640m	27.175t	21.500p	4.675mo	0.738n	0.491p	0.244m	65.270t
	Az	92.50jk	9.257c	13.213h	36.575h	26.175g	10.400fg	0.822i	0.549k	0.274ij	76.090m
	As	89.50p	8.026i	12.785l	28.075r	23.250k	4.825m	0.775kl	0.494op	0.258l	74.375o
دورگ سینگل کراس۷۰۰	Ps	91.75m	8.944de	13.108ij	35.400j	25.175i	10.225gh	0.721j	0.541l	0.271j	74.558op
Hybrid SC700	Az+As	91.00n	8.550f	13.000j	33.200lm	24.050kl	9.150hi	0.802k	0.535o	0.268k	73.040q
	Az+Ps	93.25i	9.400b	13.315gh	39.550f	17.300d	11.750d	0.830h	0.553j	0.277i	77.415l
	As+Ps	90.25no	8.290gh	12.852k	30.275op	23.700m	8.075jk	0.790l	0.527m	0.263jk	71.315r
	Az+As+Ps	94.50g	9.45ab	13.500ef	44.325c	29.670ab	14.650b	0.888de	0.592fg	0.296f	83.880h
	شاهد(عدم تلقیح) Control	90.25no	7.939j	12.895	27.325s	23.275o	4.750n	0.788n	0.502n	0.263jk	70.890sr
	Az	95.50f	9.312bc	13.642f	37.625g	27.300f	10.325f	0.905e	0.603f	0.302e	86.415f
	As	92.00kl	8.262h	13.140i	29.100p	23.925l	5.175kl	0.815j	0.544kl	0.272hi	74.980pq
دورگB73×K18	Ps	94.50g	9.064d	13.493ef	35.625i	26.125gh	9.500h	0.878f	0.585gh	0.293fg	82.940i
Hybrid B73×K18	Az+As	93.75hj	8.731ef	13.143ij	33.625l	25.425d	8.200ij	0.867fg	0.578hi	0.289h	81.345ij
	Az+Ps	96.75d	9.400b	13.820d	40.250l	28.275d	11.975d	0.930c	0.620de	0.310cd	89.975cd
	As+Ps	92.75j	8.366g	13.252	31.825n	24.325j	8.500j	0.870g	0.580h	0.290g	80.672k
	Az+As+Ps	97.50c	9475ab	13.928c	46.625b	30.200b	16.425a	0.928d	0.628d	0.309cd	89.930d

*Control(non inoculated), Az(*Azotobacter chroococum*), As(*Azospirillum brasilenset* and *Azospirillum lipoferum*) and Ps(*Pseudomonas floureceuce*)

** در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف یکسان باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

**Means in each column followed by similar letter(s), are significantly different at 5 % probability level using Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین قابلیت جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه.

Table 3. simple correlation coefficients between seed germination ability and some relating traits

Traits ویژگی‌ها		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Germination ability	قابلیت جوانه‌زنی	1									
2. Mean germination Time	متوسط زمان جوانه‌زنی	0.744**	1								
3. Mean Daily Germination	متوسط جوانه‌زنی روزانه	0.980**	0.732**	1							
4. Seedling length	طول گیاهچه	0.740**	0.949**	0.725*	1						
5. Primary shoot length	طول ساقه اولیه	0.804**	0.941**	0.788*	0.976**	1					
6. Primary root length	طول ریشه اولیه	0.660**	0.908**	0.646*	0.970**	9.12**	1				
7. Seedling dry weigh	وزن خشک گیاهچه	0.925**	0.710*	0.891**	0.711*	0.778*	0.633*	1			
8. Primary shoot dry weight	وزن خشک ساقه اولیه	0.888**	0.692*	0.438*	0.623*	0.971**	0.888**	0.692*	1		
9. Primary root dry weight	وزن خشک ریشه اولیه	0.924**	0.709*	0.890**	0.711*	0.446*	0.630*	0.900**	0.970**	1	
10. Seedling weight vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه	0.931**	0.690*	0.903**	0.684*	0.727**	0.598*	0.960**	0.937**	0.966**	1

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

*و**به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱درصد.

با مقایسه میانگین‌های متوسط زمان جوانه‌زنی مشاهده گردید که کم‌ترین متوسط زمان جوانه‌زنی مربوط به بذرهای دورگ SC704 تلقیح‌شده با هر سه جنس باکتری بوده که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح بذر) ۷ درصد کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی داشته و بذرهای تلقیح‌شده این دورگ با دو باکتری *ازتوباکتر* و *سودوموناس* و تک تک این باکتری‌ها از لحاظ متوسط زمان جوانه‌زنی در مرتبه‌های بعدی قرار داشتند و همچنین در سایر دورگ‌های مورد بررسی نیز روند مشابهی مشاهده گردید (جدول۲). متوسط زمان جوانه‌زنی شاخصی از سرعت جوانه‌زنی بذر بوده و معیاری از یکنواختی جوانه‌زنی و وضعیت بنیه گیاهچه محسوب می‌گردد (Hunter *et al*., 1984). PGPR مورد استفاده در این آزمایش احتمالاً از طریق تولید ترکیبات تحریک‌کننده رشد و کاهش‌دهنده زوال بذر موجب تحریک جوانه‌زنی بذر و در نتیجه کاهش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی گردیده‌اند (Karthikeyan *et al*., 2007).

مقایسه میانگین‌های متوسط جوانه‌زنی روزانه نشان داد که بیش‌ترین متوسط جوانه‌زنی روزانه برای تیمار تلقیح بذرهای دورگ SC704 با هر سه جنس باکتری مشاهده شده و در سایر دورگ‌ها نیز تلقیح بذر با هر سه باکتری از متوسط جوانه‌زنی روزانه بیش‌تری برخوردار بوده است (جدول ۲). همچنین در هر سه دورگ بذرهای تلقیح‌شده با تلفیقی از دو باکتری *ازوتوباکتر* و *سودوموناس* و تک تک این باکتری‌ها از لحاظ متوسط جوانه‌زنی روزانه بیش‌تر در مرتبه‌های بعدی قرار داشته‌اند (جدول ۲). متوسط جوانه‌زنی روزانه شاخصی از سرعت جوانه‌زنی بذر می‌باشد (Maguire, 1962). به‌طورکلی مواد تحریک کننده رشد گیاه نقش موثری در افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر بر عهده دارند (Jaleel *et al*., 2009).

بررسی رامامورتی و همکاران (Ramamoorthy *et al*., 2000) مشخص ساخت که تلقیح بذرهای برنج با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی گردیده و آنان تأثیر هورمون‌های گیاهی تحریک‌کننده رشد گیاه شامل اکسین‌ها ،جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها مهم‌ترین سازوکار ایجادکننده چنین اثری ذکر کرده‌اند. بنابراین احتمالاً PGPR مورد استفاده در این آزمایش نیز از این طریق سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی گردیده‌اند.

از لحاظ طول گیاهچه نیز مقایسه میانگین‌ها مشخص می‌سازد که در هر سه دورگ بیش‌ترین طول گیاهچه مربوط به تیمار تلقیح بذر با هر سه باکتری بوده به‌طوری‌که افزایش حدود ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح بذر) مشاهده می‌گردد (جدول ۲). همچنین در مورد تأثیر سایر باکتری‌ها به‌تنهایی و تلفیق دوتایی آن‌ها نیز روندی مشابه روند میانگین‌های صفات مورد بررسی ملاحظه می‌شود (جدول ۲). رامامورتی و همکاران (Ramamoorthy *et al*., 2000) نیز افزایش طول گیاهچه برنج در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* را گزارش نمودند. همچنین بیسواس و همکاران (Biswas *et al*., 2000) نیز افزایش طول گیاهچه برنج حاصل از بذرهای تلقیح شده با سویه E11 باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* [38] و سویه IRBG74 گونه‌ای از این جنس باکتری[39] را مشاهده کردند. طول گیاهچه معیاری از بنیه گیاهچه محسوب شده و به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی بنیه بذر و گیاهچه گیاهان زراعی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hampton and TeKrony, 1995). با توجه به نقش هورمون‌های گیاهی تحریک کننده رشد از قبیل اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها در افزایش تقسیم سلولی و افزایش طول سلول‌ها یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تأثیر افزاینده رشد گیاهچه PGPR از طریق ترشح این هورمون‌ها می‌باشد (Zahir *et al*., 2004). بر این اساس PGPR مورد بررسی در این آزمایش نیز احتمالاً از طریق چنین ساز وکاری توانسته‌اند موجب افزایش طول گیاهچه دورگ‌های ذرت مورد مطالعه در این پژوهش گردند.

تغییرات میانگین‌های طول ساقه اولیه نیز مشابه روند تغییرات میانگین‌های طول گیاهچه بوده است (جدول ۲). به‌طور کلی طول ساقه اولیه یکی از شاخص‌های بنیه گیاهچه محسوب می‌شود که از آن در آزمون تجزیه و تحلیل رشد گیاهچه جهت ارزیابی بنیه بذر و گیاهچه استفاده می‌گردد (Hampton and TeKrony, 1995). یکی از آشکارترین اثرات هورمون‌های گیاهی تحریک‌کننده رشد به‌صورت تحریک رشد کولئوپتیل ذرت در اثر اسید ایندول استیک (IAA) می‌باشد (Haga and Iino,

[38] *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* E11
[39] *Rhizobium* sp. IRBG74

1998). مطالعه جهانیان و همکاران (Jahanian *et al*., 2012) افزایش طول ساقه‌اولیه آرتیشوک[40] در اثر تلقیح بذر با باکتری *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس پوتیدا* و نوماوو و همکاران (Noumavo *et al*., 2013) در ذرت ناشی از تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپیریلوم لیپوفروم* و *سودوموناس فلورسنس* و *پوتیدا* از طریق سازوکار ترشح هورمون‌های گیاهی تحریک‌کننده رشد توسط این باکتری‌ها را مشخص ساخت. همچنین آرساک و همکاران (Arsac *et al*., 1990) نیز افزایش طول ساقه اولیه گیاهچه‌های پنج روزه ذرت که بذر آن‌ها با سویه‌ای از باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* تلقیح شده بودند را مشاهده نمودند. چنین به‌نظر می‌رسد که در این پژوهش نیز از همین طریق طول ساقه‌چه دورگ‌های مورد بررسی افزایش یافته باشد.

بررسی میانگین‌های طول ریشه‌اولیه نیز دارای روند مشابه میانگین‌های طول گیاهچه و ساقه‌اولیه بود (جدول ۲). طول ریشه‌اولیه گیاهچه یکی از معیارهای بنیه بذر و گیاهچه می‌باشد (Hampton and TeKrony, 1995). ترشح هورمون‌های گیاهی تحریک‌کننده رشد نظیر اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها توسط باکتری‌های *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس* و افزایش تقسیم سلولی بافت مریستمی ریشه و افزایش طول سلول‌های در حال تقسیم، همچنین سازوکار این باکتری‌ها در ممانعت از تولید هورمون جلوگیری‌کننده از رشد اتیلن مهم‌ترین راه‌های تحریک رشد ریشه در اثر کاربرد PGPR می‌باشند (Zahir *et al*., 2004). بررسی ژاکاد و همکاران (Jacoud *et al*., 1999) اثر تحریک کننده تلقیح بذر ذرت با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر رشد و نمو ریشه‌های بذری در مراحل اولیه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را که موجب بهبود کلی شاخص‌های رشد ریشه گردید، نشان داد.

همچنین آرساک و همکاران (Arsac *et al*., 1990) افزایش طول ریشه اولیه گیاهچه‌های پنج روزه ذرت که بذرهای آن‌ها با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* تلقیح شده بودند را گزارش کرده و مشاهده نمودند که مساحت ریشه‌های اولیه این گیاهچه‌ها چهارده روز پس از جوانه‌زنی بذر افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته بود. بدین ترتیب به‌نظر می‌رسد که PGPR به‌کار رفته در این آزمایش نیز بدین طریق سبب افزایش طول ریشه اولیه دورگ‌های ذرت مورد بررسی شده باشند.

بررسی مقایسه میانگین‌ها برای وزن خشک گیاهچه، ریشه‌اولیه و ساقه اولیه مشخص ساخت که بذرهای ذرت دورگ SC704 تلقیح‌شده با هر سه جنس باکتری از بالاترین وزن خشک گیاهچه، ریشه اولیه و ساقه اولیه برخوردار بودند (جدول ۲). همچنین میزان وزن خشک گیاهچه، ریشه اولیه و ساقه اولیه برای سایر دورگ‌ها تحت تیمار تلقیح بذر با هر سه باکتری بالاترین میزان (به‌ترتیب ۰/۹۷۵، ۰/۶۵۲ و ۰/۳۲۶ گرم) بوده و به‌ترتیب دورگ 18 × B73 و SC700 از لحاظ مقدار این ویژگی‌ها در مرتبه های بعدی قرار داشتند (جدول۲). وزن خشک گیاهچه، ریشه اولیه و ساقه اولیه از جمله معیارهای ارزیابی بنیه بذر و گیاهچه می‌باشند (Hampton and TeKrony, 1995).

بررسی رامامورتی و همکاران (Ramamoorthy *et al*., 2000) و بیسواس و همکاران (Biswas *et al*., 2000) مشخص ساخت که تلقیح بذر برنج با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* و *رایزوبیوم* به‌ترتیب سبب افزایش وزن خشک گیاهچه و ریشه اولیه می‌گردد. همچنین ال-ملیئیجی (El-Meleigi, 1989) افزایش وزن خشک گیاهچه دورگ‌های ذرت در اثر تلقیح بذر با باکتری *سودوموناس فلورسنس* و ژاکاد و همکاران (Jacoud *et al*., 1999) افزایش وزن خشک ریشه اولیه ذرت در اثر تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* را نشان دادند. بررسی جاوید و همکاران (Javed *et al*., 1998) افزایش ۶۸/۴ درصدی وزن خشک ریشه‌اولیه و ۴۲/۶ درصدی وزن خشک ساقه‌اولیه گیاهچه‌های ذرت که بذرهای‌شان با PGPR تلقیح شده بود نسبت به شاهد (بذرهای تلقیح‌نشده) را مشخص ساخت. مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه (PGRs) با تحریک رشد موجب افزایش وزن خشک گیاهچه و اجزای آن می‌گردند (Zahir *et al*., 2004). بنابراین احتمالاً مواد تحریک‌کننده رشد گیاه تولید شده به‌وسیله PGPR به‌کارگرفته شده در این آزمایش سبب افزایش رشد گیاهچه دورگ‌های ذرت مورد بررسی و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهچه و اجزای آن گردیده‌اند.

[40] Artichoke (*Cynara scolymus*)

میانگین شاخص بنیه گیاهچه برای دورگ SC704 که بذرهای آن با هر سه جنس باکتری تلقیح‌شده بودند بالاترین میزان بوده و به‌ترتیب گیاهچه‌های حاصل از بذرهای این دورگ که با تلفیقی از باکتری‌های *ازتو باکتر* و *سودوموناس* و تک‌تک این باکتری‌ها تلقیح شده بودند از شاخص بنیه گیاهچه بیش‌تری برخوردار بودند(جدول۲). همچنین به‌ترتیب دورگ‌های K18 × B73 و SC700 که بذرهای آن‌ها با هر سه باکتری تلقیح شده بودند دارای شاخص بنیه گیاهچه بالاتری بوده و تلقیح بذر با دو باکتری *ازتو باکتر* و *سودوموناس* و تک‌تک این باکتری‌ها از لحاظ شاخص بنیه گیاهچه در هر دو دورگ در مرتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول۲). شاخص بنیه گیاهچه تعریف‌شده توسط عبدالباقی و آندرسون (Abdul-Baki and Anderson, 1973) ازجمله شاخص‌های مهم ارزیابی بنیه بذر و گیاهچه می‌باشد (Hampton and TeKrony, 1995). با توجه به تأثیر PGPR بر افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذر و وزن خشک گیاهچه دورگ‌های ذرت مورد بررسی تأثیر این باکتری‌ها بر افزایش شاخص بنیه گیاهچه دور از انتظار نمی‌باشد.

بررسی ضرایب همبستگی ساده بین ویژگی‌های مورد بررسی مشخص ساخت که همگی این ویژگی‌ها با یکدیگر دارای همبستگی معنی‌دار یا بسیار معنی‌دار بودند (جدول۳). چنین نتیجه‌ای نشان‌دهنده همبستگی بالای این ویژگی با یکدیگر می‌باشد که در توجیه نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و با تفسیر نتایج بسیار مؤثر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و همبستگی ویژگی‌های بررسی شده مشخص گردید تلقیح بذر دورگ‌های ذرت مطالعه شده تأثیر قابل ملاحظه‌ای در ارتقای کیفیت بذر و تقویت بنیه گیاهچه داشته‌اند. همچنین از لحاظ تأثیر بر این ویژگی‌ها، تلقیح بذر با سه باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم*، *آزوسپیریلوم لیپوفروم*، *آزوسپیریلوم برازیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، تلقیح با دو باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس فلورسنس* و تلقیح با تک‌تک این باکتری‌ها به‌ترتیب، بیش‌ترین تأثیر مثبت را داشته اند. این تفاوت از نظر میزان تأثیر در وهله نخست احتمالاً مربوط به اختلاف توانایی این سه PGPR برای اعمال سازوکارهای تأثیرگذار بر ویژگی‌های بررسی شده می‌باشد. سه دورگ مورد مطالعه نیز از نظر پاسخ به تلقیح بذر با PGPR مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت بودند. به‌طوری‌که به‌ترتیب دورگ‌های Sc704، K18 × B73 و Sc700 بیش‌تر تحت تأثیر تلقیح بذر با این باکتری‌ها قرار گرفتند. این نتیجه باتوجه به سازوکارهای تأثیر این باکتری‌ها بر ویژگی‌های مورد بررسی احتمالاً تفاوت‌های این دورگ‌ها از نظر ترشح مواد افزاینده فعالیت این باکتری‌ها از قبیل اسیدآمینه تریپتوفان که پیش‌ماده تولید هورمون اکسین می‌باشد و توانایی آن‌ها در برقراری رابطه همیاری سبب اختلاف آن‌ها با یکدیگر گردیده است.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق باتوجه به تازه معرفی‌شدن دورگ Sc700 و در دردست معرفی‌بودن دورگ جدید K18 × B73 و کاربرد تلفیقی PGPR از نوآوری و کاربرد در توسعه کشت این ارقام برخوردار است. همچنین می‌توان اظهار داشت که کاربرد PGPR مورد بررسی در این تحقیق از طریق تلقیح بذر سبب ارتقای کیفیت بذر و بهبود بنیه گیاهچه گردیده که نظر به تأثیر مثبت کیفیت بذر و بنیه گیاهچه بر دستیابی به کمیت و کیفیت مطلوب محصول به‌نظر می‌رسد استفاده از این باکتری‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش محصول دورگ‌های ذرت مذکور داشته است.

منابع

Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science, 3: 630-633. **(Journal)**

Anonymous, 2013. Handbook on seedling evaluation. International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland. **(Handbook)**

Anonymous, 2014. International rules for seed testing. Seed Science and Technology 24: 1-335(supplement). International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland. **(Handbook)**

Apte, R. and Shend, S.T. 1981. Studies on *Azotobacter chroococcum*. II. Effect of *Azotobacter chroococcum* on germination of seeds of agricultural crops. Zentralblatt fur Bakteriologr-Parasiten Kunde. Infektion Skrankheien und Hygiene, 136: 555-559. **(Journal)**

Arsac, G.F., Lamothe, C., Muolard, D. and Fages, J. 1990. Growth enhancement of maize through *Azospirillum lipoferum* inoculation: effect of plant genotype and bacterial concentration. Agronomie, 10: 649-654. **(Journal)**

Babalola, O.O., Brener, D.K. and Amusa, N.A. 2007. Evaluation of some bacterial isolates as germination stimulants of *Striga hermontica*. African Journal of Agricultural Research, 2: 27-30. **(Journal)**

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

Biswas, J.C., Ladha, J.K., Dazzo, F.B., Yanni, Y.G. and Rolfe, B.G. 2000. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. Agronomy Journal, 92: 880-886. **(Journal)**

Callan, N.W., Mathre, D.E. and Miller, J.B. 1991. Field performance of sweet corn seed bio-primed and coated with *Pseudomonas fluorescence* AB254. Hort Science, 26: 1163-1165. **(Journal)**

Desai, B.B. 2004. Seeds handbook, biology, production, processing and storage (2nd ed.). Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A. **(Book)**

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)**

El-Meleigi, M.A. 1989. Effect of *Pseudomonas* isolates applied to corn, sorghum and wheat seeds on seedling growth and corn yield. Canadian Journal of Plant Science, 69: 101-108. **(Journal)**

Haga, K. and Iino, M. 1998. Auxin-growth relationships in maize coleoptiles and pea internodes and control by auxin of the tissue sensitivity to auxin. Plant Physiology, 117: 1473-1486. **(Journal)**

Halmer, P. 2000. Commercial seed treatment technology. In: Seed Technology and its biological basis, Black, M., ed. Pp: 257-286. CRC Press. **(Book)**

Hampton, J.G. and TeKrony, D.M. 1995. Handbook of vigor test methods (3rd.ed) International Seed Testing Association (ISTA). Zurich, Switzerland. **(Handbook)**

Hernandez, A.N., Hernandez, A. and Heydrich, M. 1995. Selection of rhizobacteria for use in maize cultivation. Cultivos Tropicales, 6: 5-8. **(Journal)**

Hunter, E.A., Glasbey, C. A. and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 102: 207-213. **(Journal)**

Hussain A. and Vncura, V. 1970. Formation of biologically active substances by rhizosphere bacteria and their effect on plant growth. Folia Microbiology, 15: 468-478. **(Journal)**

Jacobsen, J.V. and Chandler, M. 1990. Gibberellins and abscisic acid in germinating cereals. In: Plant hormones and theire role in plant growth and development, Davies, P.J., ed. Pp:164-193. Kulwer Academic Publishers, The Netherlands. **(Book)**

Jacoud, C., Faure, D., Wadoux, P. and Bally, R. 1999. Initiation of root growth simulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination. Canadian Journal of Microbiology, 45: 339-342. **(Journal)**

Jahanian, A., Chaichi, M.R., Rezaei, K. Rezayazdi, K. and Khavazi, K. 2012. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination and primary growth of artichoke (*Cynara scolymus*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4-14: 923-929. **(Journal)**

Jaleel, C.A., Gopi, R. and Panneerselvam, R. 2009. Alterations in non-enzymatic antioxidant components of Catharanthus roseus exposed to paclobutrazol, gibberellic acid and *Pseudomonas fluorescens*. Plant Omics Journal Southern Cross Journals, 2(1): 30-40. **(Journal)**

Javed, M., Arshad, M. and Ali, K. 1998. Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. Pakistan Journal of Soil Science, 14: 36-42. **(Journal)**

Karthikeyan, B., Jaleel, V.A. and Deiveekasundaram, M. 2007. Alterations in seedling vigor and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. Journal of Zhejiang University Science, 8: 453-457. **(Journal)**

Kaymak, H.Ç., Güvenç, I., Yarli, F. and Dönmez, M.F. 2009. The effects of bio-priming with PGPR on germination of Radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. Turkey Journal of Agriculture and Forestry, 33: 173-179. **(Journal)**

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

Manaffee, W.F. and Kloepper, J.W. 1994. Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In: Soil biota management in sustainable farming systems, Pankburst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., and Grace, P.R., eds. Pp:23-31. CSLRO, pub. East Melbourne, Australia. **(Book)**

Mc Donald, M.B. and Copeland, L. 1997. Seed production, principles and practices. Chapman and Hall, U.S.A. **(Book)**

Mc Quilken, M.P., Halmer, P. and Rhodes, D.J. 1998. Application of microorganisms to seeds. In: Formulation of microbial biopesticides: beneficial microorganisms, nematodes and seed treatments, Burges, H. D., ed. Pp: 255-285. Kulwer Academic Publishers, The Netherlands. **(Book)**

Noumavo, P.A., Kochoni, E., Didagbé, Y.O., Adjanohoun, A., Allagbé, M., Sikirou, R., Gachomo, E.W., Kotchoni, S.O. and Baba-Moussa, L. 2013. Effect of different plant growth promoting Rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. American Journal of Plant Sciences, 4: 1013-1021. **(Journal)**

Puente, M.E. and Bashan, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* straies on germination and seedling growth of the giant columnar cardon cactus (*Pachycereus pringlei*). Symbiosis, 15: 49-60. **(Journal)**

Ramamoorthy, K., Natarajan, N. and Lakshmanan, A. 2000. Seed biofortification with *Azospirillum* spp. for improvement of seedling vigor and productivity in rice(*Oryza sativa* L.). 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)**

Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. **(Book)**

Shweta, B., Maheshwari, D.K., Dubey, R.C., Arora, D.S., Bajpai, V.K. and Kang, S.C. 2008. Beneficial effects of Fluorescent Pseudomonads on seed germination, growth promotion and suppression of Charcoal Rot in Groungnut (*Arachis hypogea* L.). Journal of Microbiology and Biotechnology, 18: 1578-1583. **(Journal)**

Sturz, A.V. and Christie, B.R. 2003. Beneficial microbial alleloplathies in the root zone : the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil Tillage Research, 72: 107-123. **(Journal)**

Taylor, A.G., Allen P.S., Bennett, M.A., Bradford, K.G., Burris, G.S. And Misra, M.K. 1998. Seed enhancements. Seed Science Research, 8: 245-256. **(Journal)**

Vasugi, C. and Thangarajan, T. 1997. Effect of pre-sowing seed treatments on field emergence and seedling vigor in coriander (*Coriandrum sativum* L.). Indian Cocoa, Arecnut Spices Journal, 21: 102-105. **(Journal)**

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255: 271-586. **(Journal)**

Zahir, A.Z., Arshad, M. and Frankenberger(Jr.), W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria :applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81:97-168. **(Journal)**

Study on effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) application on seed germination ability, seedling vigor and some related characters of late maturity Maize (*Zea mays* L.) hybrids

Aidin Hamidi[1*], Ahmad Asgharzadeh[2], Rajab Choukan[3]

Received: December 29, 2015 Accepted: July 4, 2016

Abstract

In order to study the effect of *Azotobacter chroococcum, Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas fluorescen* application on late maturity Maize (*Zea mays* L.) single cross hybrids (SC700, SC 704 and a promising single cross, B73×K18) seed germination ability and seedling vigor a laboratory research was conducted. Experiment treatments including hybrids seeds were single inoculated with one by one bacteria and co inoculated by two and three bacterial combined inoculants and no inoculation as control treatment. Also studied characters including: final germination percent, mean time to germination, mean daily germination, coefficient of velocity of germination, daily germination speed, seedling, primary root and shoot length, seedling, primary root and shoot dry matter and seedling vigor index were determined. Results revealed that except of mean daily germination and coefficient of velocity of germination, other studied traits affected by interactions of hybrids and Plant Growth Promoting Rhizobacteria. Likewise, revealed that application of an inoculants of three bacteria combination have highest growth promoting effect on germination ability and traits related to seedling vigor of all hybrieds and *Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas fluorescens* and seed single inoculation by those bacteria have most growth promoting effect respectively. Also, revealed that studied characters of SC704more than other hybrids affected by growth promoting effect of studied bacteria and respectively B73×K18 and SC700 affected by studied Plant Growth Promoting Rhizobacteria stimulating effect and studied characters have high correlation among them. Therefore, based on this research results application of studied Plant Growth Promoting Rhizobacteria have considerable effect on Maize studied hybrids seed seedling enhancement.

Key words: mean germination time; Seed enhancement; Seed inoculation; Seedling weight vigor index

How to cite this article

Hamidi, A., Asgharzadeh, A. and Choukan, R. 2018. Study on effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) application on seed germination ability, seedling vigor and some related characters of late maturity Maize (*Zea mays* L.) hybrids. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(1): 123-136. (In Persian)**(Journal)**

10.22124/jms.2018.2905

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. Research Associate Professor, Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Research Associate Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Research Professor, Seed and Olant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding author: a.hamidi@spcri.ir