مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۲، شماره ۳، ۱۳۹۰ (۵۸۴-۵۷۵)

تأثیرمحلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید (*Sorghum bicolor* var. Speed feed)

رضا کشاورز افشار[۱]، محمدرضا چائی‌چی[۲]*، علی علیپور جهانگیری[۳]، محیا انصاری جوینی[۴]، حسین مقدم[۵]، سید محمدرضا احتشامی[۶] و کاظم خاوازی[۷]
۱، ۲، ۴، ۵، دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، ۶، استادیار دانشگاه گیلان، ۷، استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
(تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱۷ - تاریخ تصویب: ۹۰/۴/۲۹)

چکیده

به منظور مطالعه اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به اجرا در آمد. در این تحقیق تأثیر محلول‌پاشی شانزده سویه جدید باکتری‌های محرک رشد گیاه (سودوموناس پوتیدا و فلورسنت) در سه مرحله از رشد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید (۴ تا ۵ برگی، ۸ تا ۱۰ برگی و ابتدای ظهور خوشه‌ها) به همراه یک تیمار شاهد (بدون باکتری) مورد مطالعه قرار گرفتند. صفات مورد بررسی عبارت بودند از: عملکرد علوفه (چین اول و دوم)، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و سطح برگ. نتایج آزمایش نشان دادند باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ بالاترین عملکرد علوفه را تولید کرد که در مقایسه با شاهد ۳۲ درصد عملکرد بیشتری داشت. این باکتری بیشترین سطح برگ را نیز در بین تمام تیمارها تولید نمود. اما باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ عملکرد علوفه گیاه را در مقایسه با شاهد بیش از ده درصد کاهش داد. هرچند این باکتری بالاترین ارتفاع بوته، شاخص برداشت و عملکرد دانه را در بین تمام تیمارها تولید کرد. در مجموع نتایج نشان دادند که کاربرد باکتری‌ها (به ویژه سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱) به صورت محلول‌پاشی می‌تواند نقش مفید، مؤثر و قابل توجهی در افزایش رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: **باکتری سودوموناس، محلول‌پاشی، سورگوم علوفه‌ای، عملکرد و سطح برگ.**

مقدمه

باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) به گروه نامتجانس از باکتری‌های ریزوسفر اطلاق می‌شود که با استفاده از یک یا چند فرایند خاص موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌گردند (Kloepper et al., 1989). مزایای تلقیح گیاه با باکتری‌های محرک رشد شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه، میزان تولید در واحد سطح، کنترل عوامل بیماری‌زا، افزایش سطح برگ، افزایش محتوی کلروفیل، مقاومت به خشکی، وزن ریشه و اندام

* نویسنده مسئول: محمدرضا چائی‌چی تلفن: ۰۹۱۲-۳۲۷۲۸۸۷ E-mail: rchaichi@ut.ac.ir

هوایی، افزایش فعالیت میکروبی خاک (Lucy et al., 2004) و همچنین دسترسی عناصر غذائی برای گیاه می‌باشند (Dobbelaere et al., 2003). در بین باکتری‌های محرک رشد گیاه، باکتری‌های جنس سودوموناس به دلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی کلونیزه کردن ریزوسفر بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این باکتری‌ها دارای طیف گسترده‌ای از صفات محرک رشد گیاهی همچون تولید اکسین (Patten & Glick, 2002)، آنزیم ACC دآمیناز (Penrose & Glick., 2003)، سیدروفور[1] (Meyer, 2000)، سالیسیلیک اسید[2] (Maurhofer et al., 1998)، کیتیناز[3] (Ajit et al., 2006)، سیانید هیدروژن (Schippers et al., 1990) و حل کنندگی فسفات (Rashid et al., 2004) می‌باشند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم باعث افزایش رشد گیاه می‌گردند. همچنین این باکتری‌ها از طریق مکانیسم‌های متعددی همچون رقابت با عوامل بیماریزا بر سر محل قرارگیری و یا رقابت بر سر عناصر غذایی، زندگی انگلی بر روی عوامل بیماریزا، تولید سیانید هیدروژن و دیگر متابولیت‌های مؤثر به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک بیماری‌ها شناخته می‌شوند (Velazhahan et al., 1999). از میان گونه‌های مختلف جنس سودوموناس گونه‌های *P. putida* و *P. flurescent* نقش بسیار مهمی در افزایش رشد و جذب عناصر غذایی مثل فسفر دارند. اصطلاح (PGPR) نیز اولین بار برای باکتری‌های گروه *Pseudomonas fluorescence* به کاربرده شد (Hani et al., 1998). امروزه نقش مؤثر باکتری‌های جنس سودوموناس بر افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی توسط محققین متعددی ثابت شده است (Belimove et al., 2002; Li et al., 2000). آنچه در این تحقیقات به چشم می‌خورد بررسی تأثیر تلقیح بذر گیاهان مختلف با باکتری‌های محرک رشد است. اما تأثیر محلول‌پاشی این باکتری‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تا کنون مورد توجه قرار نگرفته است. این در حالی است که احتمالاً در اثر محلول‌پاشی این باکتری‌ها بر روی اندام‌های هوایی گیاه اثرگذاری مستقیم آنها بر رشد گیاه (از طریق تولید متابولیت‌هایی همچون اکسین، جیبرلین و غیره) در مقایسه با روش تلقیح بذر پر رنگ تر باشد.

به همین منظور و برای تعیین تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌های جنس سودوموناس بر رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید (*Sorghum bicolor* Var. *Speed feed*) این آزمایش طراحی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) در سال ۱۳۸۸ اجرا گردید. در این تحقیق تأثیر محلول‌پاشی شانزده سویه جدید باکتری محرک رشد گیاه در سه مرحله از رشد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید همراه یک تیمار شاهد (بدون باکتری) مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).

عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ تیر انجام شد و بلافاصله آبیاری‌ها به صورت هفته‌ای یک بار انجام گرفت. برای

1. Siderophore
2. Salysilic Acid
3. Kitinaz

جدول ۱- باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و میزان اکسین تولیدی توسط آنها (مؤسسه تحقیقات خاک و آب)

سویه باکتری	میزان اکسین تولیدی (mg/l)	سویه باکتری	میزان اکسین تولیدی (mg/l)
Pseudomonas fluorescence strain 120	۶/۷	*Pseudomonas putida strain* 4	۹/۶
Pseudomonas fluorescence strain 145	۶/۹	*Pseudomonas putida strain* 10	۱۲/۸
Pseudomonas fluorescence strain 161	۶/۱	*Pseudomonas putida strain* 11	۷/۶
Pseudomonas fluorescence strain 162	۷/۳	*Pseudomonas putida strain* 34	۱۶
Pseudomonas fluorescence strain 169	۵/۸	*Pseudomonas putida strain* 53	۳۴/۹
Pseudomonas fluorescence strain 173	۱۲/۸	*Pseudomonas putida strain* 56	۳۳/۸
Pseudomonas fluorescence strain 183	۷/۵	*Pseudomonas fluorescence strain* 87	۶/۸
189 Pseudomonas fluorescence strain	۷/۲	*Pseudomonas putida strain* 100	۱۵/۵

تأمین نیتروژن، فسفر و پتاس مورد نیاز از کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم استفاده شد. کود مصرفی بر اساس آزمون خاک و پیش از کاشت بذر به صورت نواری در فاصله ۵ سانتی‌متری از بذر قرار داده شد (کود نیتروژن ۷۵ کیلوگرم اوره، کود فسفات آمونیوم ۲۰۰ کیلوگرم و سولفات پتاسیم ۱۵۰ کیلوگرم). همچنین کود سرک نیتروژن در مرحله ۴ برگی و همچنین پس از چین اول و به صورت کناری مصرف شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش اسپید فید بود که بذر آن از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. باکتری‌های مورد استفاده نیز از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین شهر کرج تهیه شدند. برای محلول‌پاشی باکتری‌ها از سمپاش استفاده شد. پس از کالیبراسیون سمپاش محلول‌پاشی کل بوته‌ها با غلظت دو درصد و در سه مرحله رشد به ترتیب ۴ تا ۵ برگی، ۸ تا ۱۰ برگی و ابتدای ظهور خوشه‌ها انجام گرفت. عملیات محلول‌پاشی در بعد از ظهر و پس از کاهش شدت تابش خورشید انجام گرفت. همچنین بلافاصله پس از برداشت اول و به فاصله سه هفته و پنج هفته پس از چین اول، بر روی باقی مانده بوته‌ها نیز محلول‌پاشی صورت گرفت. برای محلول‌پاشی از آب مقطر استفاده شد و پس از پاشش هر باکتری، سمپاش به خوبی شستشو گردید تا باکتری‌ها با یکدیگر اختلاط پیدا نکنند.

چین اول علوفه در تاریخ ۸۸/۶/۵ انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه و با استفاده از کوادرات یک مترمربعی از نیمه جنوبی هر کرت برداشت انجام شد (نیمه شمالی کرت برای برداشت دانه دست نخورده باقی ماند). بلافاصله پس از برداشت وزن تر نمونه‌ها محاسبه گردید. سپس به میزان ۲ کیلوگرم از نمونه تر هر کرت انتخاب و برای تعیین ضریب خشکی به مدت ۵ روز در آون و در دمای ۷۰ درجه قرار داده شد. سپس از تقسیم نمودن وزن خشک به وزن تر، ضریب خشکی محاسبه و عملکرد ماده خشک تولیدی در واحد سطح محاسبه شد. پس از نمونه گیری اول برای علوفه تمام نیمه جنوبی هر کرت تا ارتفاع ۵ سانتی‌متری سطح زمین برداشت شد تا گیاهان از رشد یکنواختی برای برداشت دوم علوفه بر خوردار باشند. چین دوم علوفه در تاریخ ۸۸/۷/۱۵ و به همان صورت قبل برداشت شد. برای تعیین سطح برگ و ارتفاع بوته ۵ بوته به صورت تصادفی قبل از برداشت انتخاب شد و به آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی منتقل گردید. ارتفاع ۵ بوته اندازه‌گیری و میانگین آنها یادداشت شد. سپس سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، خوشه‌های تعداد ۱۵ بوته از نیمه شمالی هر کرت که برداشتی از آنجا صورت نگرفته بود به صورت تصادفی برداشت شد. سپس دانه‌ها از خوشه جدا و وزن گردیدند. عملکرد دانه هر کرت بر اساس تراکم ۱۶۰۰۰۰ بوته در هکتار محاسبه و تجزیه واریانس انجام شد.

پیش از هرگونه اقدام جهت انجام محاسبات آماری نرمال بودن داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تجزیه واریانس برداشت علوفه به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد و تجزیه واریانس چین اول و دوم به صورت کرت‌های خرد شده در زمان انجام گرفت. تجزیه واریانس سایر صفات به صورت بلوک ساده انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS صورت گرفت. برای گروه‌بندی باکتری‌ها نیز تجزیه کلاستر با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای رسم جدول‌ها و نمودارهای آماری نیز از نرم‌افزار EXCEL استفاده گردید. برای مقایسه میانگین تیمارها نیز از روش دانکن و نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد.

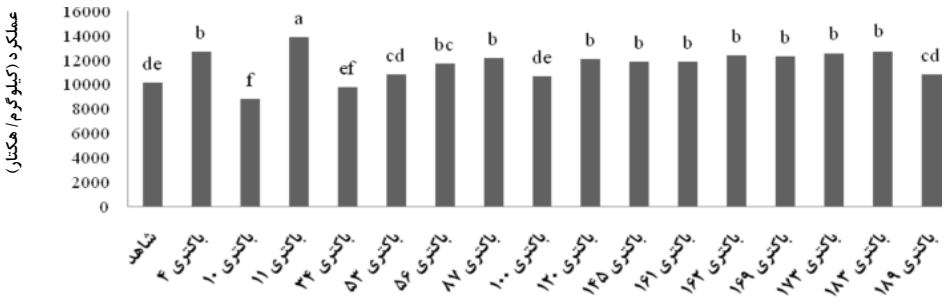
نتایج و بحث

عملکرد علوفه

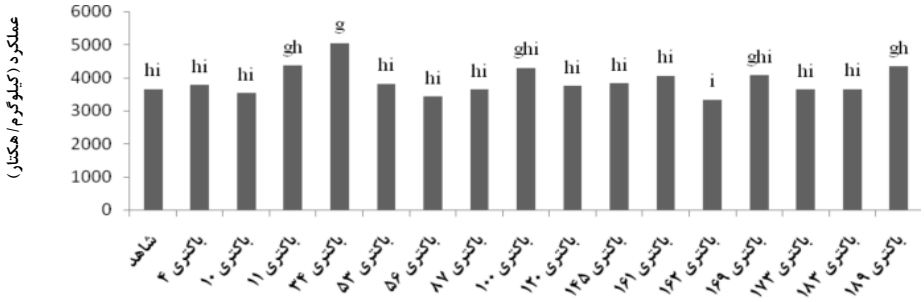
اثر محلول‌پاشی باکتری، چین و اثر متقابل چین در باکتری بر عملکرد علوفه خشک تولیدی سورگوم رقم اسپید فید معنی‌دار بود ($P<0/01$) (جدول۱). عملکرد علوفه در تمام تیمارهای محلول‌پاشی شده و تیمار شاهد در چین اول به مراتب بیشتر از چین دوم بود. در چین اول بین شاهد و تمام تیمارهای محلول‌پاشی تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. تیمار محلول‌پاشی شده به وسیله باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ بالاترین عملکرد را در بین تمام تیمارها تولید کرد و در مقایسه با شاهد ۳۶ درصد عملکرد علوفه سورگوم در چین اول را افزایش داد. این در حالی است که محلول‌پاشی باکتری

سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ عملکرد سورگوم در چین اول را در مقایسه با شاهد بیش از ۱۳ درصد کاهش داد (شکل ۱).

در چین دوم باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۳۴ بالاترین عملکرد علوفه را تولید کرد که با باکتری‌های سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱، سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰۰، سودوموناس فلورسنت شماره ۱۶۹ و سودوموناس فلورسنت شماره ۱۸۹ در یک گروه آماری قرار گرفتند. بین شاهد و سایر باکتری‌ها نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده نشده است (شکل ۲).



شکل ۱- اثر محلول‌پاشی سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد بر عملکرد علوفه خشک چین اول سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

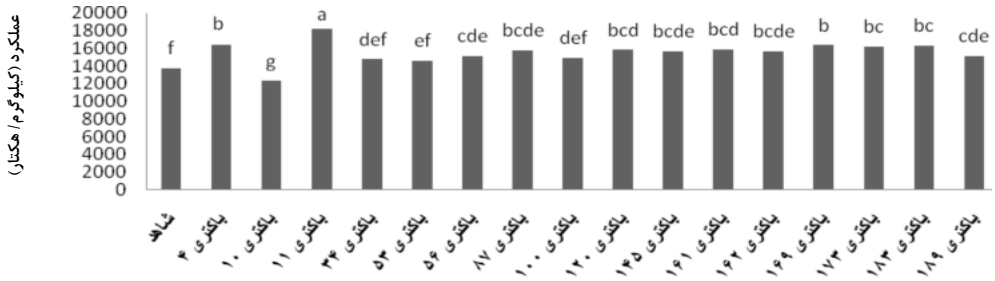


شکل ۲- اثر محلول‌پاشی سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد بر عملکرد علوفه خشک چین اول دوم سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

اثر محلول‌پاشی باکتری بر کل علوفه تولیدی (مجموع چین اول و دوم) سورگوم نیز معنی‌دار بود ($P<0/01$). محلول‌پاشی بوته‌ها به وسیله باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ بیشترین تأثیر را بر افزایش عملکرد سورگوم داشت به طوری که بیش از ۳۲ درصد عملکرد علوفه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. این در حالی است که محلول‌پاشی باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ عملکرد کل علوفه را در مقایسه با شاهد بیش از ۱۰ درصد کاهش داد (شکل۳). در تحقیقات متعددی نشان داده شده است که باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های مستقیم همچون تولید هورمون‌های گیاهی همچون اکسین (Xie et al., 1996)، سیتوکنین، جیبرلین و کاهش سطح اتیلن از طریق تولید آنزیم ACC دآمیناز (Glick et al. 1994) و مکانیسم‌های غیرمستقیم همچون تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و مبارزه بیولوژیک با عوامل بیماریزا، تخلیه آهن از ریشه گیاه، تولید مواد ضد قارچ، تولید آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی قارچ‌ها[1] و القاء مقاومت سیستمیک در گیاه (Liu et al., 1995)، رشد گیاهان زراعی را تحریک می‌کنند. همان‌گونه که ذکر شد باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ هم در چین اول و هم در چین دوم بیشترین عملکرد علوفه سورگوم را در مقایسه با شاهد و سایر باکتری‌های محرک رشد تولید کرد. در تحقیقات زیادی نشان داده شده است که باکتری‌های سودوموناس

1. Fungal cell wall lysing enzymes

می‌توانند نقش مؤثری در افزایش عملکرد سورگوم ایفا کنند (Chiarini et al., 1998; Kapulnik, 1991). اما تأثیرگذاری سویه های مختلف باکتری سودوموناس در افزایش رشد گیاه بسیار متنوع بوده است که در درجه اول به سویه باکتری به کار رفته و در درجه بعد به نوع گیاه و محل اجرای آزمایش مربوط می‌شود (Zahir et al., 2000). نکته مهم این است که در صورت تلقیح بذر و یا خاک با این باکتری‌ها نقش این باکتری‌ها در تحریک رشد گیاه از طریق تثبیت نیتروژن، حل کردن ترکیبات فسفاتی غیرمحلول، آزادسازی آهن و تسهیل در جذب سایر عناصر قابل توجه خواهد بود، ولی زمانی که این باکتری‌ها بر روی اندام هوایی گیاه پاشیده می‌شوند دیگر این مباحث جایی برای بحث ندارند بلکه تأثیرگذاری این باکتری‌ها احتمالاً بیشتر از طریق تولید متابولیت‌هایی همچون هورمون‌های گیاهی مانند اکسین جیبرلین و مشتقات سایتوکنین و یا آنزیم ACC دآمیناز و همچنین تولید موادی همچون آنتی‌بیوتیک‌ها و سیدروفور است که با کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها رشد و عملکرد گیاهان زراعی را افزایش می‌دهند. با مروری که Chen et al. (1994) بر تحقیقات انجام شده در رابطه با باکتری‌های محرک رشد انجام دادند به این نکته اشاره کرده‌اند که بیشترین اثر بخشی باکتری‌ها در افزایش رشد گیاهان مختلف زمانی دیده می‌شود که در کنار تلقیح بذر با این باکتری‌ها، حداقل دو بار محلول‌پاشی این باکتری‌ها بر روی اندام‌های هوایی گیاه نیز صورت گیرد که نتایج به دست آمده در این پژوهش را تأیید می‌کند. بنابراین در این تحقیق باکتری‌هایی که منجر به افزایش عملکرد سورگوم شدند به ویژه باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ احتمالاً از طریق یکی از این مکانیسم‌ها عملکرد سورگوم را افزایش دادند.

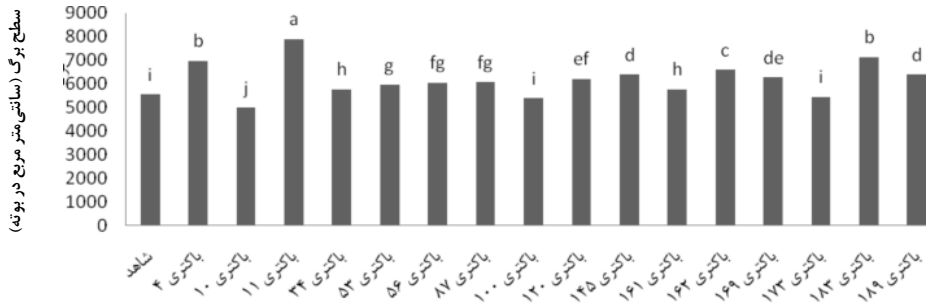


شکل ۳- اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر کل علوفه تولیدی سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

سطح برگ

تأثیر محلول‌پاشی باکتری بر سطح برگ سورگوم علوفه‌ای معنی‌دار بود ($P<0/01$) (جدول ۲). باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ بیشترین سطح برگ را در بین تمام تیمارها تولید کرد (شکل ۳). این در حالی است که باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ منجر به کاهش معنی‌دار سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد و کمترین سطح برگ را در بین تمام تیمارها به خود اختصاص داد (شکل ۵). افزایش سطح برگ منجر به افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک می‌شود. این امر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود. وجود همبستگی مثبت بسیار معنی‌دار بین سطح برگ و عملکرد علوفه کل سورگوم ($r=0/729$ **) این امر را تأیید می‌کند (شکل۷). تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد از جمله باکتری‌های سودوموناس بر افزایش سطح برگ گیاه پیش از این نیز گزارش شده است (Meyer & Pyoverdins, 2000; Lucy et al., 2004). این در حالی است که احتمالاً باکتری شماره ۱۰ به دلیل تأثیری که بر کاهش سطح برگ سورگوم داشت منجر به کاهش عملکرد علوفه این گیاه شد. نشان داده شده است که برخی از باکتری‌های ریزوسفری به دلایل مختلفی از جمله تولید مقادیر زیادی اکسین، رقابت سیدروفورهای تولید شده توسط آنها برای آهن، تولید اتیلن و سیانید هیدروژن و دیگر سموم گیاهی (Phytotoxin) ناشناخته تأثیر منفی بر رشد گیاهان زراعی دارند و مانع از رشد آنها می‌شوند (Cherrington & Elliott, 1987; Barazani & Friedman, 1999). همچنین محققین زیادی نشان داده

اند که تولید C_2H_4 (اتیلن) و آبسیزیک اسید که از بازدارنده‌های رشد گیاه به حساب می‌آیند یکی از ویژگی‌های مرسوم باکتری‌های ریزوسفری مانند سودوموناس است (Arshad & Frankenberger, 1989; Crocoll et al., 1991)، که می‌تواند تأثیر منفی بر رشد گیاهان زراعی داشته باشد. می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که باکتری‌هایی که عملکرد را در مقایسه با شاهد کاهش دادند (مثل باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰) احتمالاً به دلایلی که ذکر شد منجر به کاهش رشد و عملکرد سورگوم شدند.



شکل ۴- اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر سطح برگ سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

ارتفاع بوته

تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته سورگوم علوفه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین ارتفاع بوته در اثر محلول‌پاشی باکتری سودوموناس فلورسنس شماره ۱۸۳ و سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ و برخی دیگر از باکتری‌ها و کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد بدست آمد که با برخی از باکتری‌ها از جمله سودوموناس پوتیدا شماره ۱۱ تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). رگرسیون خطی نشان داد با افزایش مقدار اکسین تولیدی توسط باکتری ارتفاع بوته افزایش می یابد (شکل ۸) ولی همبستگی معنی‌دار بین ارتفاع بوته و عملکرد علوفه دیده نشد (جدول ۳). به همین دلیل است که باکتری شماره ۱۱ که بالاترین عملکرد علوفه را تولید کرد از نظر ارتفاع تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد نداشت. نقش هورمون اکسین در افزایش ارتفاع بوته از طریق افزایش انبساط‌پذیری سلول‌ها و همچنین افزایش غالبیت انتهایی[1] ثابت شده است (Evans, 1985). نقش باکتری‌های محرک رشد تولیدکننده اکسین از جمله سودوموناس بر افزایش (Shaharoona et al., 2006; Zahir et al., 1998) و کاهش (Vosatka & Gryndler, 1999) ارتفاع بوته پیش از این نیز گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس محلول‌پاشی باکتری محرک رشد گیاه و چین بر عملکرد علوفه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه
تکرار	۲	۱۳۲۹۱۴۶/۱۷۲**
باکتری	۱۶	۲۳۶۹۲۵۱/۵۴۸**
خطای اول	۳۲	۲۵۹۴۰۰/۶۶۰
چین	۱	۱۴۹۷۵۶۰۹۰۳/۱۴۶**
چین × باکتری	۱۶	۲۹۵۲۹۰۰/۱۱۳**
خطای دوم	۳۴	۳۵۱۶۷۱/۶۴۶
ضریب تغییرات	-	٪۷/۶۸

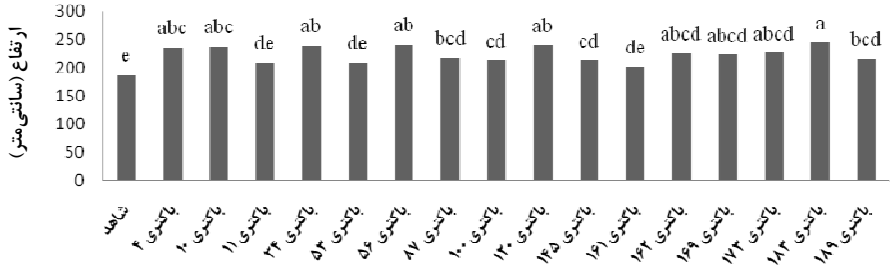
*، **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: عدم اختلاف معنی‌دار.

1. Apical dominant

جدول ۳- تجزیه واریانس محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کل	سطح برگ	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۲	۲۶۵۸۲۹۲/۸۷۴**	۲۶۸۲۷	۵۵۰۸/۹۶۰**	۱۳۹۲۰۶/۱$^{n.s}$	۳۱/۶۴**
باکتری	۱۶	۴۷۳۸۵۰۳/۲۲۸**	۱۵۳۰۳۰۴	۷۷۴/۲۰۵**	۱۴۶۹۳۰۳/۲**	۹/۸**
خطا	۳۲	۵۱۸۸۰۱/۳۲۱	۱۰۶۰۵	۱۷۰/۴۱۹	۱۱۳۲۷۴/۶	۲/۲

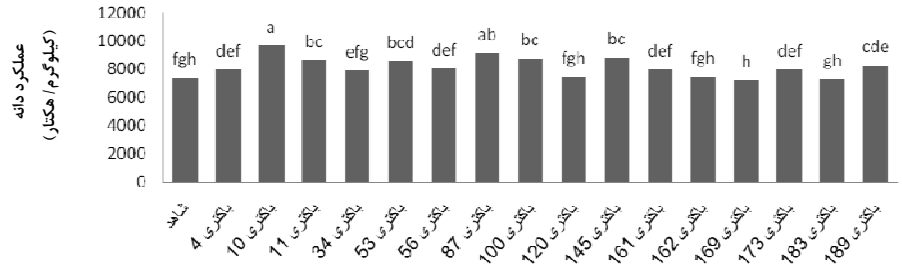
*، **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: عدم اختلاف معنی‌دار.



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

عملکرد دانه

اثر محلول‌پاشی باکتری بر عملکرد دانه سورگوم علوفه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادند باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد که در مقایسه با شاهد بیش از ۳۰ درصد افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۶). این در حالی است که بسیاری از باکتری‌ها نتوانستند عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش دهند. تأثیر مثبت باکتری‌های جنس سودوموناس بر افزایش عملکرد دانه گیاهان مختلف از جمله ذرت (Javed et al., 1998; Zahir et al., 1998)، گندم (Khaliq et al., 1996)، کلزا (Asghar et al., 2002) و یونجه (Staley et al., 1992) پیش از این نیز گزارش شده است.

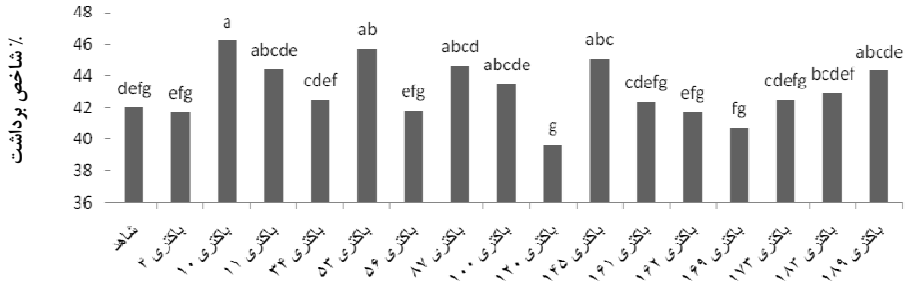


شکل ۶- اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد دانه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

شاخص برداشت

تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر شاخص برداشت سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). بالاترین شاخص برداشت در تیمار محلول‌پاشی شده به وسیله باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ تولید شد (شکل۷). در پژوهشی نشان داده شده است که باکتری‌های سودوموناس قادر به افزایش شاخص برداشت گندم بهاره بودند (Germida & Walley, 1996). بالاتر بودن شاخص برداشت در تیمارهای محلول‌پاشی شده به وسیله این باکتری می‌تواند توجیه‌کننده این امر باشد که چرا این تیمارها الارقم کمتر بودن عملکرد علوفه، از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند.

به نظر می‌رسد که باکتری سودوموناس پوتیدا شماره

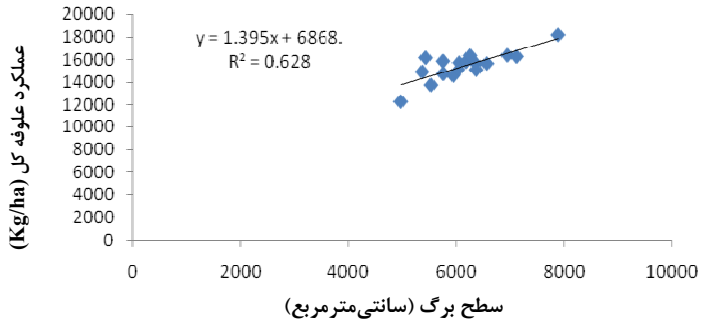


شکل ۷- اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد بر شاخص برداشت سورگوم علوفه‌ای رقم اسپید فید

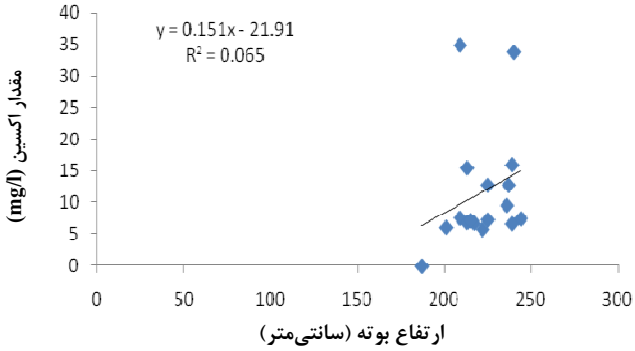
۱۱ با توجه به میزان اکسین و سایر متابولیت‌هایی که تولید می‌کند، منجر به کاهش غالبیت انتهایی و در نتیجه کاهش ارتفاع ساقه شده است. همچنین این باکتری از طریق افزایش سطح برگ توان فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و بدین ترتیب توانسته است بالاترین عملکرد علوفه را در بین سایر تیمارها تولید نماید. در حالی که محلول‌پاشی باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه نسبت به شاهد شد. این باکتری سبب افزایش ارتفاع بوته و کاهش سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. بنابراین در اثر محلول‌پاشی این باکتری سطح فعال فتوسنتزی کاهش یافته است که این امر منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه نسبت به تیمار شاهد شد. در عین حال این تیمار بالاترین شاخص برداشت و همچنین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. این امر بیانگر این است که باکتری سودوموناس پوتیدا شماره ۱۰ با یک مکانیسم فیزیولوژیک خاص الگوی تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه را به نفع اندام‌های زایشی و دانه تغییر داده است. تشخیص مکانیسم عمل این باکتری‌ها نیازمند تحقیقات دقیق در رابطه با تولید تنظیم‌کننده‌های رشد و سایر موادی است که به نحوی در رشد و نمو گیاه دخالت دارند.

نتیجه‌گیری کلی

از بین تمام باکتری‌هایی که تحت عنوان باکتری‌های محرک رشد طبقه‌بندی می‌شوند برخی از آنها توانایی بسیار بالایی برای تحریک رشد گیاه دارند که باید با توجه به گونه گیاهی مورد مطالعه و محل اجرای آزمایش به شناسایی این باکتری‌ها اقدام نمود. از سوی دیگر به نظر می رسد چنانچه در کنار روش قدیمی تلقیح بذر با این باکتری‌ها، نسبت به محلول‌پاشی آنها بر روی اندام‌های گیاهی نیز توجه شود اثر گذاری این باکتری‌ها افزایش یابد. احتمالاً محلول‌پاشی باکتری‌های جنس سودوموناس (به ویژه سودوموناس پوتیدا سویه ۱۱) می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای داشته باشد. در تحقیقات آینده بررسی تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌های جنس سودوموناس و سایر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش رشد سورگوم و سایر گیاهان علوفه‌ای با تأکید بیشتر بر جنبه‌های فیزیولوژیک به ویژه سنتز هورمون‌های رشد می‌تواند مورد تأکید قرار گیرد.



شکل ۷- رابطه بین عملکرد علوفه سورگوم و سطح برگ



شکل ۸- رابطه بین مقدار اکسین تولیدی و ارتفاع بوته

REFERENCES

1. Ajit, N. S., Verma, R. & Shanmugan, V. (2006). Extracellular chitinase of *fluorescent pseudomonas* antifungal to *Fusarium oxysporum* sp.*dianti* causing carnation Wilt. *Current Microbiology*, 52, 310-316.
2. Arshad, M. & Frankenberger, W. T. Jr. (1989). Biosynthesis of ethylene by Acremonium falciforme. *Soil Biol Biochem*, 21, 633-638.
3. Asghar, H. N., Zahir, Z. A., Arshad, M. & Khaliq, A. (2002). Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biol Fertil Soils*, 35, 231-237.
4. Barazani, O. & Friedman, J. (1999). Is IAA the major root growth factor secreted from plantgrowth-mediating bacteria? *J Chem Ecol*, 25, 2397-2406.
5. Belimov, A. A., Safronova, V. I. & Mimura, T. (2002). Response of spring rape (*Brassica napus* var. Olifera L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane- 1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. *Can J Microbiol*, 48, 189-199.
6. Chen, Y., Mei, R., Lu, S., Liu, L. & Kloepper, J. W. (1994). The use of yield increasing bacteria as PGPR in Chinese agriculture. In: U. K. Gupta and R. Utkhede (Eds.), *Management of soil borne diseases*, Narosa Publishing House, New Delhi, India.
7. Cherrington, C. A. & Elliott, L. F. (1987). Induction of inhibitory pseudomonads in the Pacific North-west. *Plant Soil*, 101, 159-165.
8. Chiarini, L., Bevivino, A., Tabacchioni, S. & Dalmastri, C. (1998). Inoculation of Burkholderia cepacia, Pseudomonas fluorescens and Enterobacter sp. on sorghum bicolor: root colonization and plant growth promotion of dual strain inocula. *Soil Biol Biochem*, 30, 81-87.
9. Crocoll, C., Kettner, J. & Dorffling, K. (1991). Abscisic acid in saprophytic and parasitic species of fungi. *Phytochem*, 30, 1059-1060.
10. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Review in Plant Sciences*, 22, 107-149.
11. Evans, M. L. (1985). The action of auxin on plant cell elongation. *Crit Rev Plant Sci*, 2, 195-223.
12. Germida, J. J. & Walley, F. L. (1996). Plant growth promoting rhizobacteria after rooting pattern and arbuscular mycorrhizal fungi colonization of field grown spring wheat. *Biol Fertil Soils*, 23, 113-120.
13. Glick, B. R., Jacobson, C. B., Schwarze, M. M. K. & Pasternak, J. J. (1994). 1-aminocyclopropane1-carboxylate deaminase mutants of plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 do not stimulate canola root elongation. *Can J Microbiol*, 40, 911-915.
14. Hani, A., Beauchamp, C. J., Goussard, N., Chabot, R. & Lalande, R. (1998). Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). *Plant Soil*, 204, 57-67.
15. Javed, M., Arshad, M. & Hussain, A. (1996). Improving growth and yield of wheat with plant growth promoting rhizobacteria. *Pak J Soil Sci*, 12, 95-100.
16. Javed, M., Arshad, M. & Ali, K. (1998). Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. *Pak J Soil Sci*, 14, 36-42.
17. Kafee, M., Lahootee, M., Zand, E., Shareefee, H. R. & M. Goldanee, (1999). *Plant physiology*. Mashhad University Jahad Publications. (In Farsi).
18. Khaliq, A., Arshad, M., Khalid, A. & Zahir, Z. A. (1996). Potential of Azotobacter and Pseudomonas for enhancing wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. In: Proceedings of *the 7th international symposium on BNF with non-legumes*, Oct. 16–21, 1996, Faisalabad, Pakistan (Abst.), p. 170.
19. Kapulnik, Y. (1991). Plant-Growth-Promoting *Rhizobacteria*, In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi, (Eds.). *Plant roots: the hidden half*, (Pp. 717-729). New York: Marcel Dekker, U.S.A.
20. Kloepper, J. W., Lifshitz, R. & Zablotowicz, R. M. (1989). Free living bacteria inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol*, 7, 39-44.
21. Li, J., Ovakim, D. H., Charles, T. C., Glick, B. R. & An, A. C. C. (2000). Deaminase minus mutant of Enterobacter cloacae UW4 no longer promotes root elongation. *Curr Microbiol*, 41, 101-105.
22. Liu, L., Kloepper, J. W. & Tuzun, S. (1995). Induction of systemic resistance in cucumber against bacterial angular leaf spot by plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathology*, 85, 843-847.
23. Lucy, M., Reed, E. & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86, 1-25.
24. Maurhofer, M., Reimmann, C., Schmidli-sacherer, p., Heeb, S., Haas, D. & Defago, G. (1998). Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P_3 improve the induction of system resistance in tobacco against tobacco necrosis virus. *Phytopathology*, 88, 678-684.
25. Meyer, D. M. (2000). Pyoverdins: Pigments siderophores and potential taxanomic markers of *fluorescent pseudomonads* species. *Archives of Microbiology*, 174, 135-142.
26. Patten, C. & Glick, B. R. (2002). Regulation of indole acetic acid sigma factor Rpos. *Canadian Journal*

of Microbiology, 48, 635-642.
27. Penrose, M. & Glick, R. (2003). Methods for isolating and characterizing Ace deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiology Plantarum*, 118, 10-15.
28. Rashid, M., Khalil, S., Ayub, N., Alam, S. & Latif, F. (2004). Organic acids productions solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7, 187-196.
29. Schippers, B., Bakker, A. W., Bakker, P. A. H. M. & Vanpeer, R. (1990). Beneficial and deleterious effects of HCN-production *Pseudomonads* on rhizosphere interaction. *Plant Soil*, 129, 75-83.
30. Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z. A. & Khalid, A. (2006). Performance of *Pseudomonas spp.* containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2971-2975.
31. Staley, T. E., Lawrence, E. G. & Nance, E. L. (1992). Influence of a plant growth promoting Pseudomonad and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on alfalfa and birds foot trefoil growth and nodulation. *Biol Fertil Soils*, 14, 175-180.
32. Velazhahan, R., Samiyappan, R. & Vidhyasekaran, P. (1999). Relationship between antagonistic activities of Pseudomonas fluorescens isolates against *Rhizoctonia solani* and their production of lytic enzymes. *J Plant Dis Prot*, 106, 244-250.
33. Vosatka, M. & Gryndler, M. (1999). Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifies the development of *Glomus fistolosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. *Applied Soil Ecology*, 11, 245-251.
34. Xie, H., Pasternak, J. J. & Glick, B. R. (1996). Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indoleacetic acid. *Current Microbiology*, 32, 67-71.
35. Zahir, Z. A., Akram, M., Arshad, M. & Khalid, A. (1998). Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *Pak J Soil Sci*, 15, 7-11.
36. Zahir, Z. A., Abbas, S. A., Khalid, M. & Arshad, M. (2000). Substrate dependent microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. *Pak J Biol Sci*, 3, 289-291.