مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۲، شماره ۲، ۱۳۹۰ (۳۳۷-۳۲۹)

بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید (*Sorghum bicolor* var. Speed feed)

محیا انصاری جوینی[۱]، محمدرضا چائی‌چی[۲]*، رضا کشاورز افشار[۳] و سید محمدرضا احتشامی [۴]
۱، ۲، ۳، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۴، استادیار دانشگاه گیلان
(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱ - تاریخ تصویب: ۸۹/۱۱/۲۷)

چکیده

به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید، آزمایشی در سال ۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران واقع در منطقه کرج به اجرا درآمد. آزمایش با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. در این تحقیق از سویه‌های ۸۷، ۱۶۲، ۱۶۹ باکتری *Pseudomonas fluorescence* و سویه‌های ۳۴، ۵۳ و ۱۰۰ باکتری *Pseudomonas putida* استفاده شد و تأثیر روش‌های مختلف کاربرد باکتری در سه سطح تلقیح بذر، محلول‌پاشی و کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی مورد بررسی قرار گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد علوفه، سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه بودند. نتایج نشان داد که در تمامی باکتری‌ها روش تلفیقی محلول‌پاشی و تلقیح بذر بالاترین عملکرد علوفه را تولید کرد. در واقع نتایج بیانگر وجود اثر افزایشی بین دو روش کاربرد محلول‌پاشی و تلقیح بذر بود و در میان باکتری‌های بکار رفته به ترتیب سویه‌های ۱۰۰، ۸۷ و ۱۶۲ بالاترین عملکرد علوفه را تولید کردند. درمجموع استفاده از تمام باکتری‌ها در این تحقیق در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد علوفه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: باکتری سودوموناس، تلقیح بذر، محلول‌پاشی، سورگوم و عملکرد علوفه.

مقدمه

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)[۱] از باکتری‌های آزادزی خاک هستند که اغلب در نزدیکی یا حتی در داخل ریشه گیاهان یافت می‌شوند و با توجه به تأثیر افزایندگی بر رشد و نمو گیاهان زراعی، این باکتری‌ها اصطلاحاً باکتری‌های افزاینده عملکرد (YIB)[۲] نامیده می‌شوند (Vessey, 2003)، که با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص موجب بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاهان می‌گردند (Kloepper et al., 1987). از جمله تحقیقات نشان داده اند که برخی باکتری‌های محرک رشد با ترشح آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی موجب افزایش فسفر قابل جذب از طریق انحلال ترکیبات معدنی فسفات و تبدیل فرم نامحلول فسفر به فرم قابل جذب برای گیاه می‌شوند. از دیگر اثرات مثبت باکتری‌های محرک رشد، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria
2. Yield Increasing Bacteria

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

گیاهی از قبیل اکسین، سیتوکنین و جیبرلین می‌باشد (Xie et al., 1996). Cassan et al. (2009) در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد ذرت و سویا شاهد توانایی تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین توسط این باکتری‌ها و در نتیجه بهبود رشد گیاهچه‌های این دو گیاه بودند. Naiman et al. (2009) نیز نشان دادند که برخی سویه‌های باکتری جنس سودوموناس قادر به تولید سیتوکنین و فسفر آلی محلول می‌باشند. Glick et al. (1998) این نظریه را مطرح کردند که نحوه فعالیت برخی PGPRها تولید آنزیم ACC دآمیناز می‌باشد. این آنزیم که تاکنون تنها در میکروارگانیسم‌ها شناسایی شده است می‌تواند ACC را که پیش‌ماده اولیه مسیر بیوسنتز اتیلن در گیاهان عالی است تجزیه کند و با کاهش تولید اتیلن در ریشه‌های گیاه میزبان، باعث طویل شدن ریشه‌ها شود. از دیگر مکانیسم‌های عمل باکتری‌های محرک رشد می‌توان به سنتز و تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن (Meyer, 2000)، تغییر در الگوی تسهیم مواد فتوسنتزی (Rashid et al., 2004)، افزایش سطح ریشه (Lucy et al., 2004) و مکانیسم‌های غیرمستقیم همچون تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و مبارزه بیولوژیک با عوامل بیماری‌زا، تخلیه آهن از ریشه گیاه، تولید مواد ضد قارچ، تولید آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی قارچ‌ها[1] و القاء مقاومت سیستمیک در گیاه (Liu et al., 1995)، اشاره کرد.

تحریک رشد گیاهان توسط سویه‌های زیادی از باکتری‌های جنس سودوموناس بخصوص گونه‌های سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا به دلیل قابلیت های فراوانی که در افزایش رشد گیاهان دارند گزارش شده است. تحقیقات نشان داده است که تلقیح بذر چغندرقند (Cakmakci et al., 2006)، گندم (Naiman et al., 2009)، ذرت (Zahir et al., 1998) و کلزا (Jalili et al., 2009) با باکتری‌های جنس سودوموناس به طور معنی‌داری عملکرد این گیاهان را افزایش داد. همچنین در تحقیقات زیادی نشان داده شده است که باکتری‌های سودوموناس می‌توانند نقش مؤثری در افزایش عملکرد گیاه سورگوم داشته باشند (Chiarini et al., 1998; Rostlinna & Roba, 2002). در رابطه با نحوه کاربرد باکتری‌های محرک رشد، Chen et al. (1994) با مطالعه تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی نتیجه گرفتند که بیشترین اثر بخشی این 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 اندام های هوایی گیاه نیز صورت گیرد. اما آنچه در اکثر تحقیقات در زمینه تأثیر باکتری‌های محرک رشد به چشم می‌خورد بررسی تأثیر تلقیح بذر گیاهان مختلف با باکتری‌های محرک رشد است و تأثیر محلول‌پاشی این باکتری‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تاکنون به طور گسترده مورد توجه قرار نگرفته است. بر این اساس هدف از انجام این پژوهش، مطالعه و مقایسه روش‌های مختلف کاربرد و استفاده از سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد به منظور بهره‌گیری بهتر از این باکتری‌ها در افزایش رشد و عملکرد علوفه سورگوم بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه آموزشی - پژوهشی دانشگاه تهران واقع در کرج اجرا شد. عامل اول عبارت بود از روش کاربرد در سه سطح (تلقیح بذر، محلول‌پاشی و کاربرد توأم تلقیح بذر + محلول‌پاشی) و عامل دوم شامل ۶ سویه باکتری (شامل سودوموناس فلورسنس سویه‌های ۸۷، ۱۶۲ و ۱۶۹ و سودوموناس پوتیدا سویه‌های ۳۴، ۵۳ و ۱۰۰) به همراه تیمار شاهد بدون باکتری. عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ تیر ماه انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون خاک (جدول ۱)، برای تأمین نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز از کودهای اوره (۷۵ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و به صورت نواری و پیش از کاشت استفاده شد. کود اوره به صورت سرک در مرحله ۴ برگی و همچنین پس از چین اول مصرف گردید. رقم سورگوم مورد استفاده در این آزمایش، سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید بود که بذر آن از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. باکتری‌های

1. Fungal cell wall lysing enzymes

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه خاک محل اجرای آزمایش، مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

کلاس بافت	Sand	Silt	Clay	O.C	T.N.V	Ec Ds/m	pH	عمق cm
			%					
C.L	۳۰	۳۷	۳۳	۰/۸۳	۷/۲	۲/۷۲	۸	۰ - ۳۰
C.L	۳۰	۳۷	۳۴	۰/۸۱	۷/۱	۲/۶۴	۸	۳۰ – ۶۰

ادامه جدول ۱-

SAR	Mg^{+2}	Ca^{+2}	Na^{+}	Mn	Zn	Fe	K	P	N
محلول (mg/l)			قابل جذب (mg/kg)						%
۱/۱۴	۶	۱۸	۳/۹۶	۱۰/۳۲	۱/۴	۴/۰۴	۱۴۹	۱۸/۳	۰/۹۲
۱/۱۱	۶	۱۷/۸	۳/۸۲	۱۰/۶۵	۱/۱	۴/۳۷	۱۶۰	۱۲/۳	۰/۹۱

مورد استفاده نیز از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تامین گردید. برای تیمارهایی که نیاز به تلقیح بذر داشتند، ابتدا ماده چسباننده (CMC) با غلظت ۱۰ درصد تهیه شد و سطح خارجی بذور به ماده چسباننده آغشته شد. سپس بذور به داخل یک کیسه پلی‌اتیلنی ریخته شد و براساس توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مقادیر کافی از باکتری‌های مورد نظر (به ازاء هر ۱۰۰ گرم بذر ۵۰ گرم پودر مایه تلقیح) به داخل کیسه ریخته شد و برای مدت پنج دقیقه به خوبی تکان داده شد تا سطح خارجی بذور به خوبی با مایه تلقیح آغشته شدند. سپس بذور در داخل یک سینی ضدعفونی شده پخش و در سایه قرار داده شد تا سطح آنها خشک گردید. این عمل در صبح روز کشت انجام شد و به فاصله کوتاهی پس از تلقیح، عملیات کشت صورت گرفت. بذور سورگوم در کرت های آزمایشی به ابعاد ۲ متر در ۴ متر بر روی ۴ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر و با تراکم ۲۲۴۰۰۰ بوته در هکتار کشت شدند. کلیه نمونه‌برداری‌ها از دو خط وسط با رعایت ۵۰ سانتیمتر فاصله از ابتدا و انتهای هر خط به عنوان اثر حاشیه‌ای، انجام گرفت. محلول‌پاشی تیمارهای مورد نظر در سه مرحله از رشد گیاه (۳ تا ۴ برگی، ۸ تا ۱۰ برگی و پیش از ظهور خوشه‌ها) به وسیله آب مقطر و با غلظت ۲ درصد محلول باکتری، انجام شد. قبل از محلول‌پاشی دستگاه کالیبره شد و پس از محلول‌پاشی هر باکتری، دستگاه به وسیله آب مقطر کاملاً شستشو داده شد تا از اختلاط باکتری‌ها جلوگیری شود. برداشت چین اول در تاریخ ۸۸/۶/۵ و پس از حذف اثر حاشیه و زمانی که بوته‌ها در مرحله آغاز گلدهی قرار داشتند انجام شد. زمانی که راتون‌ها پس از برداشت به مرحله ۳-۴ برگی رسیدند محلول‌پاشی مجدداً تکرار شد. چین دوم در تاریخ ۸۸/۷/۱۵ انجام گرفت. پس از برداشت علوفه وزن نمونه‌های تر اندازه‌گیری شد. سپس مقدار دو کیلوگرم از نمونه تر هر کرت به مدت ۵ روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد تا ضریب ماده خشک تعیین شود. پس از محاسبه ضریب خشکی عملکرد ماده خشک تولیدی در واحد سطح محاسبه شد. اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مرحله آغاز گلدهی انجام شد. به این منظور از هر کرت ارتفاع ۵ بوته اندازه‌گیری و در نهایت میانگین ارتفاع بوته‌ها برای هر کرت محاسبه شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter) استفاده شد. پیش از هرگونه اقدام جهت انجام محاسبات آماری بر روی داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. برای رسم جدول‌ها و نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده گردید. برای مقایسهٔ میانگین تیمارها نیز از روش LSD و نرم‌افزار MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر باکتری، روش کاربرد و اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر صفات اندازه‌گیری شده سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲).

ارتفاع بوته

در بررسی اثر متقابل باکتری و روش کاربرد بر ارتفاع بوته، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از روش تلفیقی (کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی) در تمامی باکتری‌های به کار رفته بیشترین ارتفاع بوته را

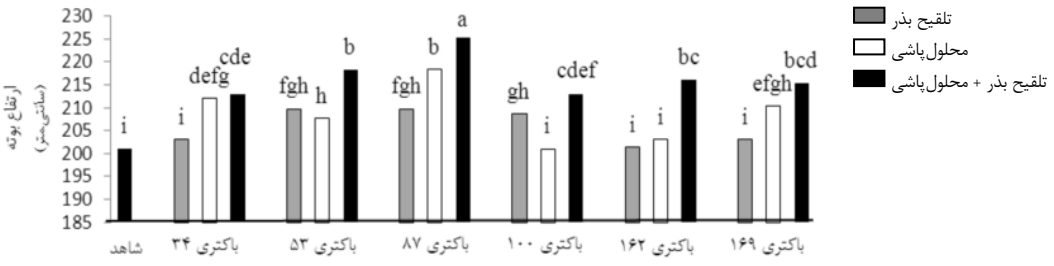
تولید کرد و این در حالی بود که عکس‌العمل این باکتری‌ها در زمان استفاده از تلقیح بذر و یا محلول‌پاشی به تنهایی کمی متفاوت بود. در برخی باکتری‌ها شاهد تأثیر گذاری بیشتر روش محلول‌پاشی در مقایسه با روش تلقیح بذر بودیم و در برخی دیگر از باکتری‌ها عکس این حالت صادق بود (شکل ۱). بیشترین ارتفاع بوته در اثر کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۸۷ تولید شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰ درصد افزایش نشان داد. تحقیقات نشان داده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع از طریق مکانیسم‌های مختلفی همچون تولید آنزیم ACC دآمیناز در گیاهان می‌شود (Larsen et al., 2009). افزایش ارتفاع بوته‌های گندم (Ramezanian, 2005) و ذرت (Zahir et al., 1998) در واکنش به استفاده از باکتری‌های محرک رشد پیش از این نیز گزارش شده است. همچنین نشان داده شده است که باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های گیاهی (Glick et al., 2001) و افزایش فسفر قابل دسترس (Larsen et al., 2009) نیز در تحریک رشد و افزایش ارتفاع بوته گیاهان مختلف نقش ایفا می‌کنند. بنابراین می‌توان افزایش ارتفاع بوته سورگوم در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد را به مکانیسم‌های یاد شده مربوط دانست.

سطح برگ

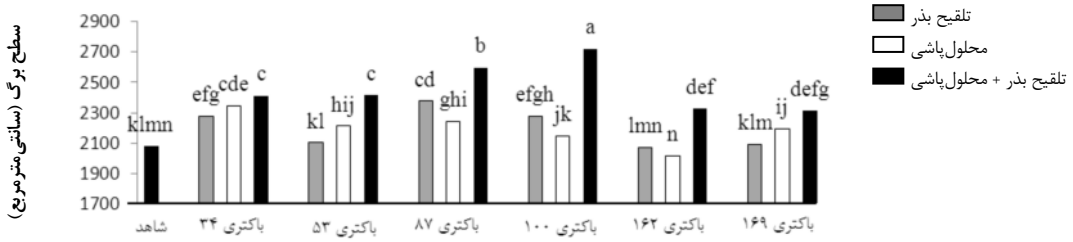
نتایج این تحقیق نشان داد که به غیر از باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۳۴ که در آن تقریباً هر سه روش کاربرد به یک اندازه منجر به افزایش سطح برگ سورگوم شدند، در سایر باکتری‌ها روش کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی بیشترین تأثیر را بر این صفت داشت. در کاربرد باکتری‌های سودوموناس پوتیدا سویه ۵۳ و سودوموناس فلورسنس سویه ۱۶۹ پس از روش تلفیقی بیشترین تأثیر بر سطح برگ در روش محلول‌پاشی مشاهده شد، در حالی که در استفاده از باکتری‌های سودوموناس فلورسنس سویه ۸۷ و سودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۰ اثربخشی تلقیح بذر این باکتری‌ها نسبت به محلول‌پاشی آنها بیشتر بود. در مجموع کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۰ بالاترین سطح برگ را نسبت به سایر باکتری‌ها و روش‌های کاربرد آنها تولید کرد (شکل ۲). در گیاهان مختلف نیز مشاهده شده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و از جمله *Pseudomonas putida* منجر به افزایش سطح برگ‌ها گردید که این امر به توانایی این باکتری‌ها در تولید ایندول استیک اسید نسبت داده می‌شود (Mordukhova et al., 2000; Stone et al., 2001; Lee et al., 2005; Spaepen et al., 2009). Thakur & Panwar (1997) در تحقیق خود بر روی لوبیای تلقیح شده با باکتری محرک رشد مشاهده کردند که در گیاهان تلقیح شده، سطح برگ ۹ درصد بیش از گیاهان تلقیح نشده بود. از آنجایی که برگ‌ها اندام اصلی فتوسنتزکننده در گیاه می‌باشند، لذا با توجه به نتایج این تحقیق، افزایش سطح برگ از طریق کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی بیشتری جهت استفاده هر چه بیشتر از نور موجود در محیط و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و افزایش عملکرد سورگوم می‌گردد.

وزن خشک برگ

کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۰ و سودوموناس فلورسنس سویه ۸۷ بالاترین وزن خشک برگ را تولید کرد و این در حالی بود که در استفاده از این دو باکتری تأثیر تلقیح



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر ارتفاع بوته سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر سطح برگ سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	سطح برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	عملکرد علوفه
تکرار	۲	۱۲/۷۶۲^{ns}	۱۰۰۲۱۵/۴۴۴^{ns}	۰/۰۷۰^{ns}	۱۷/۹۸۸^{ns}	۷۹۶۸۱/۷۷۸^{ns}
باکتری	۶	۲۱۵/۸۸۴**	۱۳۷۶۴۴۰/۸۴۷**	۱۱۵/۰۱۳**	۳۰۶/۷۶۶**	۸۲۴۵۴۷۷/۲۴۹**
روش کاربرد	۲	۴۵۲/۹۰۵**	۳۴۴۳۹۱۵/۴۴۴**	۵۹/۸۱۲**	۵۸۴/۰۵۷**	۱۰۸۴۷۹۱۷۲/۱**
باکتری × روش کاربرد	۱۲	۵۹/۹۷۹**	۳۰۰۸۷۶/۴۲۶**	۱۰/۴۲۷**	۵۶/۵۱۶**	۸۲۰۵۸۱/۹۶۳**
خطا	۳۶	۴/۹۱۲	۱۷۲۹۴/۴۹۴	۱/۱۴۸	۱۷/۷۵۲	۳۱۴۶۶۶/۳۲۸

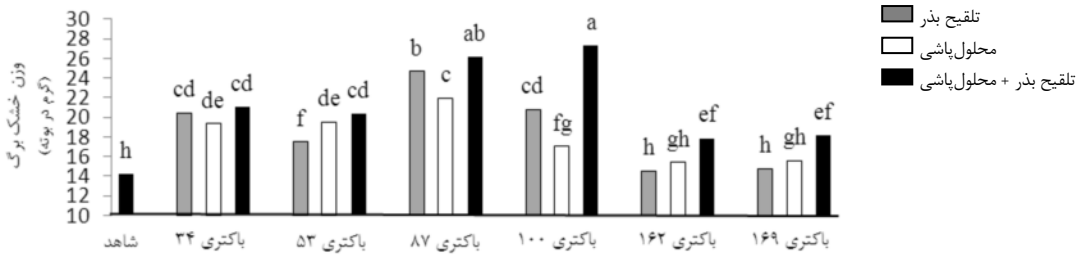
**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns: عدم اختلاف معنی‌دار.

بذر بر افزایش وزن خشک برگ بیش از روش محلول‌پاشی بود. در رابطه با باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۳۴ هر سه روش کاربرد به یک اندازه منجر به افزایش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شدند. در کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۵۳ علی‌رغم تأثیرگذاری مثبت هر سه روش بر افزایش وزن خشک برگ، دو روش تلفیقی و محلول‌پاشی بیش از روش تلقیح بذر بر این صفت تأثیرگذار بودند (شکل ۳). Van et al. (2000) در بررسی اثر باکتری سودوموناس بر رشد ذرت مشاهده کردند که تلقیح بذر با این باکتری منجر به افزایش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد می‌شود. Lee et al. (2005) نیز به دنبال بررسی اثر تلقیح گیاه لوبیا با باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند که استفاده از این باکتری‌ها منجر به افزایش وزن خشک برگ‌ها می‌گردد. در واقع این باکتری‌ها از طریق بهبود پارامترهای رشد منجر به افزایش وزن برگ می‌شوند (Abdul Jaleel et al., 2007; Celebi et al., 2010).

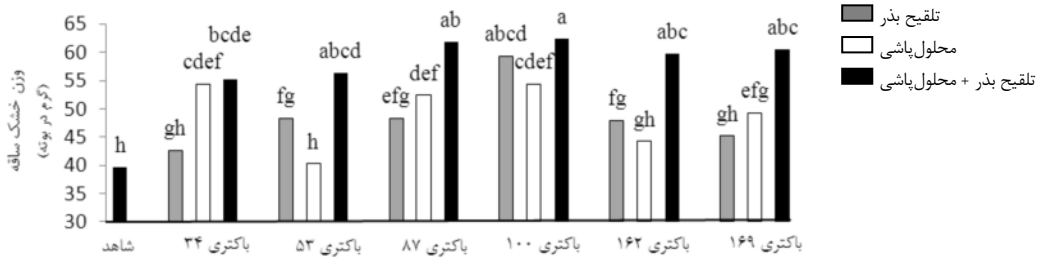
وزن خشک ساقه

روش توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری‌های نسبت به دو روش دیگر بیشترین تأثیر را بر افزایش وزن خشک ساقه داشت که اثر آن در استفاده از باکتری سودوموناس فلورسنس سویه‌های ۸۷، ۱۶۲ و ۱۶۹ و باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۵۳ مشهودتر بود. تقریبا تمامی باکتری‌ها با استفاده از این روش به یک اندازه منجر به افزایش وزن ساقه شدند (شکل ۴). در تحقیقات متعددی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش وزن ساقه گیاهان مختلف به اثبات رسیده است. Van et al. (2000) نتایج تحقیق نیز بیانگر افزایش وزن شاخساره (۳۳٪)، سطح برگ (۳۰٪) و تعداد پنجه (۱۳٪) در مقایسه با تیمار شاهد و به دنبال کاربرد باکتری‌های محرک رشد بود.

Chiarini et al. (1998) در بررسی تأثیر باکتری سودوموناس، شاهد افزایش رشد سورگوم بودند. Khaliq et al. (1996) در بررسی تأثیر دو سویه باکتری سودوموناس بر روی گندم مشاهده کردند که تلقیح با این باکتری‌ها وزن ساقه را ۱۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. همچنین در واکنش گیاه ذرت به تلقیح با باکتری‌های محرک رشد نتایج یک آزمایش مزرعه‌ای بیانگر افزایش معنی‌دار وزن ساقه (۲۰/۸٪) و طول ساقه (۱۱/۶٪) نسبت به تیمار شاهد شدند. از ۱۱ سویه مورد آزمایش در این تحقیق ۵ سویه که همگی از جنس سودوموناس بودند موجب افزایش رشد ذرت شدند (Javed et al., 1998).



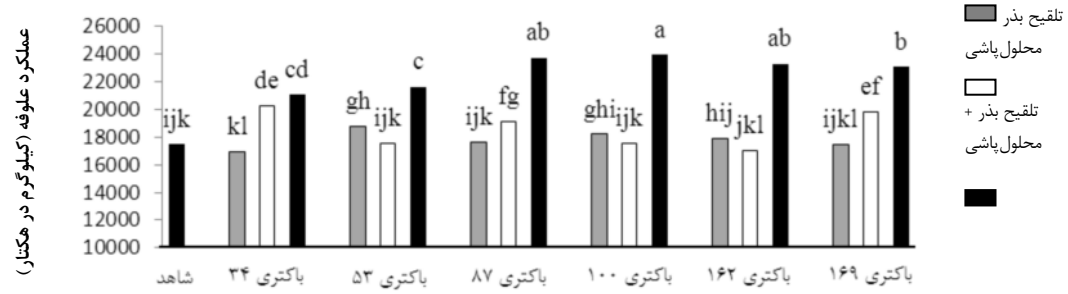
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر وزن خشک برگ سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر وزن خشک ساقه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

عملکرد علوفه

در استفاده از باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۳۴ بین اثر دو روش کاربرد تلفیقی و محلول‌پاشی بر عملکرد علوفه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در سایر باکتری‌ها می‌توان بهترین روش کاربرد را روش تلفیقی تلقیح بذر و محلول‌پاشی عنوان کرد. همانطور که در رابطه با سایر صفات مشاهده شد، برخی باکتری‌ها به روش تلقیح بذر و برخی دیگر به روش محلول‌پاشی واکنش بهتری نشان دادند. به طوری که در رابطه با باکتری سودوموناس فلورسنس سویه‌های ۸۷ و ۱۶۹ و باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۳۴، محلول‌پاشی بیش از تلقیح بذر و در رابطه با باکتری سودوموناس پوتیدا سویه ۵۳ تلقیح بذر بیش از محلول‌پاشی منجر به افزایش عملکرد علوفه سورگوم شد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در روش کاربرد بر وزن خشک ساقه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید

تحقیقات بسیاری تأثیر مثبت باکتری‌های جنس سودوموناس را بر افزایش رشد و عملکرد گیاهان خانواده گرامینه و غیر گرامینه نشان داده‌اند (Dobbelaere et al., 2002; Egamberdiyeva et al., 2003; Cakmakci et al., 2006). افزایش وزن گیاه در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به واسطه افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه باشد (Dobbelaere et al., 2003; Ladho & Reddy, 2003). Khaliq et al. (1996) در بررسی تأثیر دو سویه باکتری سودوموناس بر روی گندم مشاهده کردند که تلقیح با این باکتری‌ها عملکرد دانه، وزن ساقه، پنجه‌دهی، محتوای نیتروژن دانه و جذب نیتروژن را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. Pietr et al. (1990) مشاهده کردند که تلقیح بذور ذرت با باکتری‌های محرک رشد منجر به

افزایش ۴/۶ درصدی عملکرد دانه و ۱۵/۲ درصدی افزایش جذب فسفر نسبت به تیمار شاهد شدند.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تولید ایندول‌استیک‌اسید و سیتوکنین با استفاده از اسید آمینه‌های تریپتوفان و آدنین ترشح شده از ریشه، هیدرولیز پیش ماده اتیلن به وسیله آنزیم ACC دآمیناز و تولید مواد هورمونی و شبه هورمونی مهمترین سازوکارهای تأثیر این باکتری‌ها محسوب می‌شوند (Zahir et al., 2004). Glick et al. (1995) اعلام نمودند که دوره بحرانی عمل آنزیم ACC دآمیناز مراحل اولیه رشد گیاه می‌باشد و چنانچه باکتری بتواند در این مرحله استقرار مناسبی بر روی بذر پیدا کند، اثرات مثبت آن افزایش خواهد یافت. در نتیجه یکی از دلایل مؤثر در افزایش کارایی باکتری‌هایی که تلقیح بذر آنها اثرگذاری بیشتری داشته را شاید بتوان به کلونیزاسیون مؤثر این سویه‌ها در مراحل اولیه رشد سورگوم نسبت داد. همچنین این باکتری‌ها توانایی تثبیت نیتروژن، آزادسازی آهن و تسهیل جذب سایر عناصر مانند فسفر را نیز دارند. Gyaneshwar et al. (2002) نیز به این نکته اشاره دارند که تأثیر باکتری‌های تلقیح شده در محیط‌های طبیعی به توانایی آنها در بقا و پایداری‌شان در خاک بستگی دارد. در مورد باکتری‌هایی که محلول‌پاشی آنها مؤثرتر بوده نیز می‌توان این گونه عنوان نمود که اثرگذاری این باکتری‌ها احتمالاً بیشتر از طریق تولید مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، جیبرلین، مشتقات سیتوکنین و یا آنزیم ACC دآمیناز بوده و با محلول‌پاشی این باکتری‌ها و در نتیجه حذف محدودیت‌هایی که احتمالاً در خاک برای آنها وجود دارد (مثلاً رقابت یا فعالیت‌های آنتاگونیستی سایر میکروارگانیسم‌ها)، اثر بخشی آنها بیشتر از روش تلقیح بذر می‌باشد. در مجموع بالاترین عملکرد علوفه از کاربرد توأم تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری‌های سودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۰ و سودوموناس فلورسنس سویه‌های ۸۷ و ۱۶۲ تولید شد که نسبت به تیمار شاهد عملکرد علوفه سورگوم را در حدود ۲۶ درصد افزایش دادند. در تحقیقات بسیاری تأثیر مثبت باکتری‌های جنس سودوموناس بر عملکرد گیاهان زراعی به اثبات رسیده است. Pamella (1982) اثر باکتری‌های محرک رشد در افزایش عملکرد علوفه سورگوم را گزارش کرد. با توجه به اینکه جیبرلین‌ها سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها به ویژه میان‌گره‌های ساقه و اکسین‌ها موجب تقسیمات سلولی بیشتر می‌شوند، به این ترتیب احتمالاً با افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه می‌توانند در تولید بیشتر علوفه مؤثر باشند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که باکتری‌های مختلف بسته به نوع باکتری و روش کاربرد، اثرات متفاوتی را بر رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای دارند. این امر به مکانیسم عمل این باکتری‌ها در تحریک رشد بر می‌گردد. برخی باکتری‌ها در روش تلقیح بذر تأثیرگذاری بیشتری داشتند که این امر ممکن است به توانایی بیشتر این باکتری‌ها در فراهم آوردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مربوط باشد. در حالی که برخی دیگر از باکتری‌ها در روش محلول‌پاشی بیشترین تأثیر گذاری را بر رشد گیاه داشتند که این امر ممکن است ناشی از توانایی این باکتری‌ها در تولید انواع هورمون‌ها و متابولیت‌های مؤثر در رشد باشد. از سوی دیگر با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که روش تلفیقی تلقیح بذر و محلول‌پاشی باکتری‌های سودوموناس بیشترین تأثیر را بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای داشت. این موضوع نشان می‌دهد که در اثر تلفیق این دو روش اثرات مثبت این باکتری‌ها تشدید می‌شود.

REFERENCES

1. Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2007). *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Biointerfaces*, 60, 7-11.
2. Cakmakci, R. I., Aydin, D. F. & Sahin, F. (2006). Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology Biochem*, 38, 1482-1487.
3. Cassán, F., Perrig, D., Sgroy, V., Masciarelli, O., Penna, C. & Luna, v. (2009). *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed

germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology*, 45(1), 28-35.
4. Celebi, S. Z., Demir, S., Celebi, R., Durak, E. D. & Yilmaz, I. H. (2010). The effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) applications on the silage maize (*zea mayz* L.) yield in different irrigation regimes. *European Journal of Soil Biology*, 46(5), 302-305.
5. 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.
6. 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.
7. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Review in Plant Sciences*, 22, 107–149.
8. Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y. & Vanderleyden, J. (2002). Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Bio Fer Soil*, 36, 284–297.
9. Egamberdiyeva, D. & Höflich, G. (2003). Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat in different soils and temperatures. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(7), 973-978.
10. Glick, B. R., Penrose, D. & M. Wendo. (2001). Bacterial promotion of plant growth. *Biotech Adv*, 19, 135-138.
11. Glick, B. R., Penrose, D. M. & Li, J. (1998). A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *J Theor Biol*, 190, 63-68.
12. Glick, B. R., Karaturovic, D. M. & Newell, P. C. (1995). A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting pseudomonads. *Can J Microbiol*, 41, 533-536.
13. Gyaneshwar, P., Kumar, G. N., Parekh, L. J. & Poole, P. S. (2002). Role of micro organisms in improving P nutrient of plants. *Plant & Soil*, 245, 83-93.
14. Jalili, F., Khavazi, K., Pazira, E., Nejati, A., Asadi-Rahmani, H., Rasuli Sadaghiani, H. & Miransari, M. (2009). Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. *Journal of Plant Physiology*, 166, 667-674.
15. Javed, M., Arshad, M. & Ali, K. (1998). Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. *Pak J Soil Sci*, 14, 36–42.
16. 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 *7th International Symposium on BNF with Non-legumes*, 170, 16-21.
17. Kloepper, J. W., Hume, D. J., Scher, F. M., Singleton, C., Tipping, B., Lalibert, E. M., Fraulay, K., Kutchaw, T., Simonson, C., Lifshitz, R., Zaleska, I. & Lee, L. (1987). Plant growth-promoting rhizobacteria on canola (rapeseed). *Phytopathology*, 71, 42-46.
18. Ladho, J. K. & Reddy, P. M. (2003). Nitrogen fixation in rice systems: state of knowledge and future prospects. *Plant and Soil*, 252, 151–167.
19. Larsen, J., Cornejo, P. & Míguel Barea, J. (2009). Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of Cucumis sativus. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 286-292.
20. Lee, K. D., Bai, Y. Smith, D. & Han, H. S. (2005). Isolation of Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacteria from Bean Nodules. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(3), 232-236.
21. 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.
22. Lucy, M., Reed, E. & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86, 1–25.
23. Meyer, D. M. (2000). Pyoverdins: Pigments siderophores and potential taxanomic markers of *fluorescent pseudomonads* species. *Archives of Microbiology*, 174, 135-142.
24. Mordukhova, E. A., Sokolov, S. L., Kochetkov, Kochetko, V. V., Kosheleva, I. A., Zelenkova, N. F. & Boronin, A. M. (2000). Involvement of naphthalene dioxygenase in indole-3-acetic acid biosynthesis by *Pseudomonas putida*. *FEMS Microbiology Letters*, 190 (2), 279-285.
25. Naiman, A. D., Alejandra Latrónico, I. E. & de Salamone, G. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, 45, 44-51.
26. Pamella, A. C. & Steven, S. H. (1982). Inorganic phosphate solubilization by rhizospher in a zostera marin community. *Canadian journal of Microbiology*, 28, 605-610.

27. Pietr, S. J., Koran, B. & M. Stankiewcz. (1990). Influence of rock phosphate-dissolving rhizobacteria on the growth and the P-uptake by oat-preliminary results. In: Proceedings of the *International Workshop on Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, 26, 14-19.
28. Ramezanian, A. (2005). *Role of reproducer ACC deaminaz enzyme rhizobiom bacteria on moderation the adverse effect of ethylene stress in wheat*. M. Sc. thesis in soil science, University of Tehran
29. 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 J of Biological Sciences*, 7, 187-196.
30. Rostlinna, A. & Roba, V. (2002). Evaluation of the P-solubilizing activity of soil microorganisms and its sensitivity to soluble phosphate. 9, 397-402.
31. Spaepen, S., Vanderleyden, J. & Okon, Y. (2009). Plant Growth-Promoting Actions of Rhizobacteria, Review Article. *Advances in Botanical Research*, 51, 283-320.
32. Stone, P. J., Wilson, D. R., Jamieson, P. D. & Gillespie, R. N. (2001). Water deficit effects on sweet corn. II. Canopy development. *Aust J Agric Res*, 52, 115–126.
33. Thakur, A. K. & Panwar, J. D. S. (1997). Response of rhizobium- vesicular arbuscular mycorrhizal sambionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in greengram (*Vigna radiata*). *Ind J Agric Sci*, 67, 254-248.
34. Van, V. T., Berge, O., Ngoke, S., Balandreau, J. & Heulin, T. (2000). Repeated beneficial effect of rice inoculation with a strain of Burkholderia vietnamiensis on early and late yield components in low fertility sulphate acid soil of Vietnam. *Plant & Soil*, 218, 273–284.
35. Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil*, 255,271- 586.
36. 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.
37. Zahir, A. Z., Arshad, M. & Frankenberger, W. F. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168.
38. 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.