مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۲۹، شماره ۱، سال ۱۳۹۲

واکنش دو ژنوتیپ کلزا به باکتری‌های محرک رشد (*Azospirillum* spp.): عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت

Response of Two Canola Genotypes to Plant Growth Promoter Bacteria (*Azospirillum* spp.): Seed Yield and Its Components, Dry Matter and Harvest Index

ابوالفضل فرجی[۱] و محمدحسین ارزانش[۲]

۱- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان (نگارنده مسئول)
۲- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۱

چکیده

فرجی، ا. و ارزانش، م. ح. ۱۳۹۲. واکنش دو ژنوتیپ کلزا به باکتری‌های محرک رشد (*Azospirillum* spp.): عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۹ (۱):** ۲۹ - ۱۷.

به منظور بررسی کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Azospirillum* spp.) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت دو ژنوتیپ کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ۸ سطح تغذیه شامل ۱- شاهد (بدون کود و بدون باکتری)، ۲- توصیه کودی با توجه به آزمون خاک، ۳- ۵۰ درصد کود کامل، ۴- باکتری جدایه AZ1، ۵- باکتری جدایه AZ10، ۶- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه جدایه AZ1، ۷- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه باکتری جدایه AZ10 و ۸- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه ترکیب دو جدایه باکتری با دو ژنوتیپ هایولا۴۰۱ و لاین۶ به صورت فاکتوریل با یکدیگر ترکیب و ۱۶ تیمار آزمایش را تشکیل دادند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای تغذیه بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود، ولی بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در متر مربع، عملکرد دانه، ماده خشک اندام‌های هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و شاخص برداشت معنی‌دار بود. استفاده از باکتری توانست نقش مثبتی در افزایش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های کلزا داشته باشد. تیمار کود کامل با آزمون خاک با میانگین ۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد. بین تیمارهای ۵۰ درصد کود کامل با جدایه AZ1 و ۵۰ درصد کود کامل با دو جدایه باکتری اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه با تیمار کود کامل مشاهده نشد، که این نشان دهنده تاثیر مثبت باکتری جدایه AZ1 بر افزایش عملکرد دانه کلزا بود. تیمار کود کامل با آزمون خاک با میانگین ۹۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین ماده خشک شاخساره در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی را تولید کرد. از طرفی بیشترین شاخص برداشت (۳۱/۹ درصد) مربوط به تیمار ۵۰ درصد کود کامل با جدایه AZ1 بود. لاین ۶ از نظر عملکرد دانه و شاخص برداشت برتری معنی‌داری نسبت به هیبرید هایولا۴۰۱ داشت. میانگین عملکرد دانه در هیبرید هایولا۴۰۱ و لاین۶ به ترتیب برابر ۲۲۵۸ و ۲۵۰۴ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج این پژوهش نشان داد جدایه AZ1 بر عملکرد دانه کلزا تاثیر مثبتی داشت.

واژه‌های کلیدی: کلزا، تعداد دانه در مترمربع، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: abolfazlfaraji@yahoo.com

مقدمه

باکتری‌های جنس *Azospirillum* در سال ۱۹۲۲ جداسازی و *Azotobacter spirillum* نامیده شد. این باکتری‌ها سپس در سال ۱۹۷۸ در جنس جدیدی تحت عنوان *Azospirillum* طبقه‌بندی شدند. جنس *Azospirillum* در خاک و به تعداد بیشتر روی سطح ریشه گیاهان مناطق مختلف دیده می‌شود. باکتری‌های جنس *Azospirillum* با بسیاری از گیاهان زراعی و علفی رابطه همزیستی برقرار می‌نمایند (Bashan and Holguin, 1997). تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه (Bartel, 1997)، بهبود جذب آب و عناصر غذایی (German *et al*., 2000)، افزایش حلالیت فسفات‌های نامحلول (Seshadri *et al*., 2000) و تولید سیدروفور (Shah *et al*., 1993) از فواید این باکتری‌ها بوده، که از طریق توسعه فعالیت‌های ریشه‌ی گیاه سبب افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود.

اگرچه بعضی از جدایه‌های جنس *Azospirillum* در گیاهان خاصی دارای تاثیر بیشتری هستند، اما مزیت اصلی این جنس آن است که رابطه اختصاصی با گیاه خاصی نداشته و می‌توانند باعث افزایش رشد در گونه‌های مختلف گیاهان زراعی شوند. به هر حال دامنه تاثیر این باکتری‌ها تحت تاثیر بعضی از عوامل نظیر نوع جدایه باکتری و حضور سوبسترای خاص قرار می‌گیرد. در واقع در اثر استفاده از یک جدایه مناسب کارایی این باکتری‌ها افزایش می‌یابد (Bashan and De-Bashan, 2005). باکتری‌های جنس *Azospirillum* عموماً به عنوان تولید کننده هورمون‌های گیاهی، پلی آمین‌ها و اسیدهای آمینه شناخته شده‌اند. فیتوهورمون‌های ساخته شده توسط *Azospirillum* روی سرعت تنفس، متابولیزم، رشد و توسعه ریشه تاثیر دارند (Holguin *et al*., 1999).

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است و به همراه نیتروژن و پتاسیم در گروه عناصر غذایی پر مصرف مورد نیاز گیاه قراردارد و در مقایسه با این دو عنصر به مقدار کمتر جذب گیاه می‌شود. فسفر در فرآیندهای بیوشیمیایی و ترکیب‌های انرژی زا و انتقال انرژی، تشکیل دانه و سوخت و ساز تبدیل قند به نشاسته نقش اساسی را بر عهده دارد. ساز و کار اصلی در حلالیت فسفات‌های معدنی توسط میکروارگانیزم‌های حل کننده فسفر نامحلول، فعالیت اسیدهای آلی سنتز شده به وسیله میکروارگانیزم‌ها است. تولید اسیدهای آلی به اسیدی شدن سلول‌های میکروبی و محیط اطراف آنها منجر می‌شود و در نتیجه فسفر از فسفات‌های معدنی از طریق جانشینی پروتون به جای کلسیم آزاد می‌شود.

هامیدا و همکاران (Hameeda *et al*., 2008) گزارش کردند که پنج جدایه باکتری با توانایی حل کنندگی

فسفات و دیگر عوامل تحریک‌کننده رشد باعث افزایش ۲۰ تا ۴۰ درصدی ماده خشک گیاه شدند. پیرز و همکاران (Perez *et al*., 2007) نقش باکتری‌های حل کننده فسفات معدنی در چرخه فسفر را در خاک‌های اسیدی غنی از آهن مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آنها، از ۱۳۰ باکتری هتروتروف جداسازی شده درجات مختلفی از حلالیت تری کلسیم فسفات مشاهده شد. رودریگز و همکاران (Rodriguez *et al*., 2004) گزارش کردند که کاهش pH محیط کشت و تولید اسید گلوکونیک موجب رهاسازی فسفات‌های محلول از منابع معدنی غیر محلول توسط باکتری‌های *A.brasilense* و *A.lipoferum* شده، که در نتیجه باعث تحریک رشد گیاه می‌شود.

در خاک‌های کشور که عمدتاً قلیایی هستند بخش بزرگی از فسفات‌های معدنی محلول که از طریق کودهای شیمیایی به کار می‌روند، به سرعت غیرمتحرک و برای گیاهان غیرقابل استفاده می‌شوند. اکثر خاک‌های کشاورزی دارای ذخیره بزرگی از فسفر بوده که بخش قابل ملاحظه‌ای از آن در اثر استفاده مکرر از کودهای فسفردار تجمع پیدا کرده است. در سال‌های اخیر با استفاده از میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات امکان تامین فسفر مورد نیاز گیاهان میسر شده است. میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات به گروه نامتجانسی از میکروارگانیزم‌ها اطلاق می‌شود که قادرند از طریق ترشح اسیدهای آلی موجب آزادسازی فسفر از ترکیب‌های نامحلول شوند (Rodriguez and Frage, 1999). تولید اسیدهای آلی به اسیدی شدن محیط ریشه شده و در نتیجه فسفر از فسفات‌های معدنی آزاد منجر می‌شود. رودریگز و همکاران (Rodriguez et al., 2004) کاهش pH محیط کشت و تولید اسید گلوکونیک را موجب رهاسازی فسفات‌های محلول از منابع معدنی غیر محلول توسط باکتری‌های جنس *Azospirillum* دانستند و آن را به عنوان یکی از عوامل تحریک‌کنندگی رشد گیاه گزارش نمودند.

هرچند اهمیت رقم و کود مصرفی بر روی عملکرد دانه کلزا در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است (Faraji, 2003; Faraji, 2004; Faraji and Soltani, 2007; Faraji *et al*., 2008; Faraji *et al*., 2009)، اما تحقیق اندکی در خصوص تاثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ارقام کلزا انجام شده است. بنابراین در قالب یک پژوهش زراعی تاثیر این باکتری‌ها بر روی دو ژنوتیپ کلزا مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی کارایی دو جدایه باکتری محرک رشد گیاه (*Azospirillum* spp.) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و خصوصیات زراعی دو ژنوتیپ کلزا و نقش این باکتری‌ها در کاهش مصرف کود در اراضی تحت کشت این گیاه، آزمایشی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در

ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، اجرا شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۵/۵ متر و مشخصات جغرافیایی آن به ترتیب ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی است. میانگین بارندگی سالانه آن ۴۵۰ میلی‌متر است. داده‌های آب و هوایی ایستگاه گرگان در طی انجام آزمایش و میانگین بلند مدت آن در جدول ۱ ارائه شده است. هیبرید هایولا۴۰۱ (رقم غالب و برتر منطقه) و لاین امیدبخش شماره ۶ (MHA88-6) دو ژنوتیپ مورد استفاده در این مطالعه بودند.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در بلند مدت و سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸

Table 1. Meterological information at Agricultural Research Station of Gorgan for long term and 2009-10 growing seasons

Month	ماه	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)		تبخیر پتانسیل (میلی‌متر) Evaporation (mm)		میانگین دما (درجه سانتیگراد) Mean temp. (°C)		تعداد ساعات آفتابی Sunny hours	
		2009-10	1984-2009	2009-10	1984-2009	2009-10	1984-2009	2009-10	1984-2009
21 Sep. - 20 Oct.	مهر	86.1	51.9	108.0	109.0	21.4	21.2	230	207
21 Oct.- 20 Nov.	آبان	70.0	60.9	70.6	65.2	17.0	15.8	195	173
21 Nov.- 20 Dec.	آذر	73.0	54.0	26.8	36.0	10.0	10.5	124	136
21 Dec.- 20 Jan.	دی	22.0	46.2	29.3	28.3	11.1	8.0	126	138
21 Jan.- 20 Feb.	بهمن	81.0	56.2	26.4	39.3	8.6	7. 9	82	144
21 Feb.- 20 Mar.	اسفند	80.1	58.2	31.3	53.3	11.4	10.0	87	134
21 Mar.- 20 Apr.	فروردین	18.8	54.6	63.5	84.2	13.7	14.3	141	160
21 Apr.-20 May	اردیبهشت	41.4	46.9	104.6	124.8	19.1	19.1	146	187
21 May- 20 Jun.	خرداد	0.0	18.6	252.8	199.2	27.5	24.7	305	254

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. هشت سطح تغذیه (شامل ۱- شاهد (بدون کود و بدون باکتری)، ۲- توصیه کودی با توجه به آزمون خاک، ۳- ۵۰ درصد کود کامل، ۴- باکتری جدایه AZ1، ۵- باکتری جدایه AZ10، ۶- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه جدایه AZ1، ۷- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه باکتری جدایه AZ10 و ۸- تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه ترکیب دو جدایه باکتری) با دو ژنوتیپ مورد نظر به صورت فاکتوریل با یکدیگر ترکیب شده و ۱۶ تیمار آزمایش را تشکیل دادند.

جدایه باکتری موردنظر *Azospirillum lipoferum* Gol1 بود که از کلکسیون آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان تهیه شد. برای تهیه زادمایه، ابتدا مقداری از کلنی باکتری با استفاده از حلقه پلاتینی برداشته و سپس به داخل محیط نوترینت

بـراس وارد شـد. پـس از گذشـت ۴۸ سـاعت، شمارش کلنی نشان داد که هر میلی‌لیتـر از ایـن سوسپانسیون حاوی $۳/۲\times۱۰^{۹}$ سـلول بـاکتری در هر میلی‌لیتر بود. برای تلقیح بـذور، از نـسبت دو درصـد (وزنـی بـه وزنـی) سوسپانـسیون بـاکتری استفاده شد. تعـداد بـاکتری روی هـر بـذر برابـر $۵/۴\times۱۰^{۶}$ عدد بود. بذرهای تلقـیح شـده در زیـر لامینار هوا خشک و توسط پاکت‌هـای کاغـذی از آزمایشگاه به مزرعه انتقال داده شدند.

قبل از کاشت گیاه، نمونه‌های مرکـب خـاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک تهیه و بر اساس نتـایج تجزیـه خـاک، مقـادیر کودهـای فـسفر، پتـاس و نیتـروژن هـر کـدام بـه مقـدار ۵۰ کیلـوگرم در هکتـار تعیـین و بـه ترتیـب از منـابع کودی سـوپر فـسفات تریپـل، سـولفات پتاسـیم و اوره استفاده شد. با توجه بـه تیمارهـای آزمـایش، تمام کودهای فسفر و پتـاس در قبـل از کاشـت و کود نیتروژن به مقدار یک سـوم قبـل از کاشـت، یک سوم در مرحله شروع ساقه‌دهی و یـک سـوم در مرحله شروع گل‌دهی به زمین داده شد. بافـت خـاک محـل آزمـایش رسـی، pH ۷/۹، هـدایت الکتریکی ۱/۴۴ دسی زیمنس بر متـر بـود. میـزان فـسفر و پتاسـیم قابـل دسـترس بـه ترتیـب ۱۳/۲ و ۳۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

کاشت با الگـوی ۵ × ۲۰ سـانتی‌متـر بـرای بـه دسـت آوردن تـراکم بوتـه مـورد نظـر (۱۰۰۰۰۰۰ بوته در هکتار) به صورت خطـی و بـا دسـت در تـاریخ ۱۳۸۸/۸ /۲۱ انجـام شـد. بـرای اطمینان از دستیابی بـه تـراکم بوتـه مـورد نظـر در موقع کاشت بیش از میزان لازم بذر مصرف کرده و بعـد از اسـتقرار بوتـه‌هـا، فاصـله بوتـه‌هـا در هـر ردیف تنظیم شد. هر کرت شامل ۵ خـط کاشـت به طول ۵ متر بود. خطـوط ۱ و ۵ جهـت حاشـیه و خطـوط ۲، ۳ و ۴ جهـت برداشـت نهـایی مـورد استفاده قرار گرفت. فاصله بین تکرارهـا ۳ متـر و فاصـله بـین کـرت‌هـا دو خـط نکاشـت در نظـر گرفته شد. در طی فصل رشـد و در صـورت نیـاز عملیات وجین علف‌های هرز به صورت دستی به وسیله کارگر صـورت گرفـت. واکـاری و تنـک کردن بوته‌های مازاد در مرحله ۳-۲ برگی انجـام شد.

تعـداد روز تـا یـک مرحلـه نمـوی معـین بـر اسـاس تعـداد روز از سـبز شـدن تـا زمـانی کـه ۵۰ درصـد از گیاهـان هـر کـرت بـه آن مرحلـه معـین برسـند، محاسـبه شـد (Harper and Berkenkamp, 1975). بـرای تعیـین تعـداد غـلاف در بوتـه و تعـداد دانـه در غلاف در مرحله رسـیدگی فیزیولـوژیکی از هـر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و صـفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، وزن دانه با محاسبه وزن ۱۰۰۰ دانه از هر تیمار تعیـین شد. جهـت تعیـین عملکـرد دانـه، ۲ روز پـس از رسیدگی فیزیولوژیکی ردیـف‌هـای ۲، ۳ و ۴ بـا رعایت حاشیه برداشت شـدند و پـس از خـشک شـدن در مزرعـه، بـا کمبـاین مخـصوص آزمایش‌های کلزا کوبیده شدند.

داده‌های بدست آمده توسط نرم‌افزار آمـاری SAS (SAS, 1996) مورد تجزیه و تحلیل قـرار

گرفت و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. اثر تیمارهای تغذیه بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود، ولی بر تعداد دانه در متر مربع و وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کمترین تعداد غلاف در بوته (۹۶/۳ عدد) مربوط به تیمار شاهد (بدون کود و بدون باکتری) بود (جدول ۳). دامنه تغییرات تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بین ۹۶/۳ تا ۱۰۹/۹ عدد بود (جدول ۳). همچنین دامنه تغییرات تعداد دانه در غلاف در تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بین ۱۶/۰ (تیمار باکتری جدایه AZ1) تا ۱۸/۹ (تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه باکتری جدایه AZ10) عدد بود (جدول ۳).

اگرچه اثر تیمارهای تغذیه بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نشد، ولی زمانی که تعداد دانه در مترمربع (تعداد بوته در مترمربع × تعداد غلاف در بوته × تعداد دانه در غلاف) محاسبه و مورد تجزیه واریانس قرار گرفت، این اثر در سطح پاحتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمارهای توصیه کودی با توجه به آزمون خاک، تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه باکتری جدایه AZ10 و تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه ترکیب دو جدایه باکتری به ترتیب با ۱۹۱۶۲۵، ۱۹۳۲۹۲ و ۱۹۳۰۹۰ دانه در مترمربع تیمارهای برتر بودند (جدول ۳).

تعداد دانه در واحد سطح جزء اصلی عملکرد دانه در بیشتر گیاهان زراعی نظیر گندم، جو و کلزا است (Egli, 1998; Kantolic and Slafer, 2001; Sinclair and Jamieson, 2006). در کلزا، مانند گیاهان زراعی دانه‌ای دیگر، عملکرد دانه همبستگی قوی با تعداد دانه در واحد سطح دارد (Angadi *et al.*, 2000; Brandt and McGregor. 1997; Gan *et al.*, 2004; Prystupa *et al.*, 2004) و عملکرد دانه را می‌توان از طریق افزایش تعداد دانه در واحد سطح افزایش داد (Morrison, 1993).

گان و همکاران (Gan *et al.*, 2004) پیشنهاد کردند که دوره گل‌دهی، دوره نموی حیاتی تعیین‌کننده تعداد دانه در کلزا است و از این رو، جهت دستیابی به تعداد دانه بالا در متر مربع و در نتیجه عملکردهای بالا در واحد سطح، مدیریت مزرعه طی این دوره بسیار حیاتی است.

استفاده از جدایه‌های باکتری توانست نقش مثبتی در افزایش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های کلزا داشته باشد. هر چند بیشترین وزن هزار دانه (۴/۲۵ گرم) مربوط به تیمار تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه ترکیب دو جدایه باکتری بود، ولی بین تیمارهای توصیه کودی با توجه به

جدول ۲- میانگین مربعات برای اجزای عملکرد و عملکرد دانه، ماده خشک شاخساره در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و شاخص برداشت

Table 2. Mean squares for grain yield and yield components, above-ground dry matter at physiological maturity and harvest index

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Pod plant^{-1}	تعداد دانه در غلاف Seed pod^{-1}	تعداد دانه در متر مربع Seed m^{-2}	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	ماده خشک Dry matter	شاخص برداشت Harvest index
Replication	تکرار	2	838**	59.9**	1198596408^{ns}	0.073*	21683^{ns}	423875^{ns}	14.8*
Fertilizer (F)	تغذیه	7	144^{ns}	5.22^{ns}	5288380730*	0.165**	467993**	2970517**	8.89*
Genotype (G)	ژنوتیپ	1	574*	13.6^{ns}	6621102813*	0.141*	727422**	209237^{ns}	27.3**
F × G	کود × ژنوتیپ	7	251^{ns}	3.65^{ns}	786502818^{ns}	0.006^{ns}	46414^{ns}	402282^{ns}	1.28^{ns}
Error	خطا	30	121	6.46	1200944638	0.021	93357	718560	3.56
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		10.5	14.6	19.1	3.59	12.8	10.8	6.24

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns: Not significant.

ns: غیرمعنی‌دار.

جدول ۳- میانگین عملکرد و اجزای عملکرد دانه، ماده خشک شاخساره در رسیدگی فیزیولوژیک و شاخص برداشت

Table 3. Means of seed yield and yield components, above-ground dry matter and harvest index

Treatment	تیمار	تعداد غلاف در بوته Pod plant^{-1}	تعداد دانه در غلاف Seed pod^{-1}	تعداد دانه در متر مربع Seed m^{-2}	وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	ماده خشک در رسیدگی (کیلوگرم در هکتار) Dry matter (kg ha^{-1})	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)
					Fertilizer **تغذیه**			
Control	شاهد	96.3	16.7	160036bc	3.95bc	2135d	7278bc	29.3bc
Complete Fertilizer	کود کامل با آزمون خاک	109.5	17.5	191625a	4.15a	2892a	9140a	31.5a
50% Complete Fertilizer	۵۰ درصد کود کامل	107.9	17.3	185581b	3.90c	2228cd	7718bc	28.7c
Bac. AZ1	باکتری جدایه AZ1	99.1	16.0	155366c	3.82c	2315bcd	8021b	28.9c
Bac. AZ10	باکتری جدایه AZ10	109.9	17.2	186450b	3.85c	2037d	6736c	30.3abc
Bac. AZ1 + 50% Fertilizer	۵۰ درصدکود با AZ1	104.4	17.6	185863b	4.18a	2598ab	8117b	31.9a
Bac. AZ10 + 50% Fertilizer	۵۰ درصدکود باAZ10	101.9	18.9	193292a	4.10ab	2305bcd	7702bc	30.0abc
Bac.AZ1 + AZ10 + 50% Fertilizer	۵۰ درصدکود با دوجدایه	104.3	18.5	193090a	4.25a	2541abc	8157ab	31.2ab
					Genotype **ژنوتیپ**			
Hyola401	هایولا۴۰۱	107.6a	18.0	192571a	4.08a	2258b	7652a	29.5b
MHA88-6 (L6)	لاین۶	100.7b	16.9	169081b	3.97b	2504a	8066a	31.0a

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حرف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed with similar letter(s) are not significantly different at the %5 probability level- using Least Significant Differences Test.

آزمون خاک، تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه جدایه AZ1، تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه باکتری جدایه AZ10 و تلفیق ۵۰ درصد کود کامل به علاوه ترکیب دو جدایه باکتری اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

اثر ژنوتیپ بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در مترمربع و وزن هزار دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، اما این اثر بر تعداد دانه در غلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). در ژنوتیپ‌های هایولا۴۰۱ و لاین۶، میانگین تعداد غلاف در بوته به ترتیب برابر ۱۰۷/۶ و ۱۰۰/۷ غلاف، میانگین تعداد دانه در غلاف به ترتیب برابر ۱۸/۰ و ۱۶/۹ عدد، میانگین تعداد دانه در متر مربع به ترتیب برابر ۱۹۲۵۷۱ و ۱۶۹۰۸۱ عدد و میانگین وزن هزار دانه به ترتیب برابر ۴/۰۸ و ۳/۹۷ گرم بود (جدول ۳).

در کلزا، تایو و مورگان (Tayo and Morgan, 1979) گزارش کردند که تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف به وسیله توانایی گیاه جهت فراهم کردن کربن مورد نیاز برای گل آذین در دوره ۳ هفته پس از گرده‌افشانی تنظیم می‌شود. کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک طی دوره گل‌دهی و تشکیل دانه می‌تواند از طریق کاهش یک یا تعداد بیشتری از اجزای عملکرد بر عملکرد دانه تاثیر بگذارد. به هر حال، از آن جائی که اجزای عملکرد روی همدیگر اثر می‌گذارند، کاهش یا افزایش یک جز می‌تواند بر اجزای دیگر موثر باشد.

به طور کلی توانایی میکروارگانیزم‌ها در تولید و آزاد سازی متابولیت‌های محرک رشد گیاه یکی از مهم‌ترین عوامل حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود. جستجو برای دستیابی به این ترکیب‌های خاص یا مواد فعال بیولوژیکی در طی دهه‌های گذشته شروع شده و هنوز نیز ادامه دارد. جنس *Azospirillum* عموماً به عنوان باکتری‌های تولید کننده هورمون‌های گیاهی، پلی‌آمین‌ها و اسیدهای آمینه در محیط کشت شناخته شده است. گزارش شده است که هورمون‌های گیاهی ساخته شده توسط باکتری‌های جنس *Azospirillum* روی سرعت تنفس، متابولیزم، رشد و توسعه ریشه تاثیر می‌گذارند و در نتیجه جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده را افزایش می‌دهد (Holguin *et al*., 1999)، که این عمل می‌تواند به افزایش اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه منجر شود. افزایش اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه ناشی از استفاده از باکتری‌های محرک رشد در گیاهان زراعی نظیر گندم و آفتابگردان نیز گزارش شده است (Mohammadi *et al*., 2010).

اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر عملکرد دانه و ماده خشک شاخساره در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در سطح یک درصد و بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار کود کامل با آزمون خاک با میانگین ۲۸۹۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین

عملکرد دانه را تولید کرد و در گروه برتر قرار گرفت (جدول ۳). بین تیمارهای ۵۰ درصد کود کامل با جدایه AZ1 و ۵۰ درصد کود کامل با دو جدایه با تیمار کود کامل با آزمون خاک اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه مشاهده نشد و هر سه تیمار یاد شده در یک گروه قرار گرفتند که این نشان‌دهنده تاثیر مثبت باکتری جدایه AZ1 در افزایش عملکرد دانه کلزا بود.

در واقع نتایج عملکرد دانه نشان داد جدایه AZ1 می‌تواند جایگزین ۵۰ درصد از کود مصرفی نیتروژن در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شود. تیمار کود کامل با آزمون خاک با میانگین ۹۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین ماده خشک شاخساره در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی را تولید کرد و در گروه برتر قرار گرفت (جدول ۳). از طرفی بیشترین شاخص برداشت (۳۱/۹ درصد) مربوط به تیمار ۵۰ درصد کود کامل با جدایه AZ1 بود.

لاین امیدبخش شماره ۶ (MHA88-6) از نظر عملکرد دانه، مقدار ماده خشک شاخساره در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و شاخص برداشت برتری قابل توجهی نسبت به هیبرید هایولا۴۰۱ داشت، اگرچه در ارتباط با ماده خشک شاخساره این برتری معنی‌دار نبود (جدول ۳). میانگین عملکرد دانه در هیبرید هایولا۴۰۱ و لاین۶ به ترتیب برابر ۲۲۵۸ و ۲۵۰۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). همچنین میانگین شاخص برداشت در هیبرید هایولا۴۰۱ و لاین۶ به ترتیب برابر ۲۹/۵ و ۳۱/۰ درصد بود (جدول ۳).

در ارتباط با توانایی تحریک رشد در گیاهان غیرلگوم در اثر تلقیح با باکتری‌ها، در برزیل باشان و همکاران (Bashan *et al*., 1989) و در آمریکا کلوپیر و اسکراث (Kloepper and Schroth, 1980) گزارش کردند باکتری‌های کنترل‌کننده بیولوژیکی همچون *Pseudomonas fluorescens* و *P. putida* می‌توانند نقش کنترل‌کنندگی روی عوامل بیماری‌زای خاک‌زی داشته باشند. در این مطالعات مهم‌ترین باکتری غیر همزیست محرک رشد گیاه مربوط به جنس *Azospirillum* بود.

این باکتری می‌تواند باعث افزایش رشد گیاهان با ساز و کارهای مختلف شود. اگرچه بعضی از جدایه‌های *Azospirillum* برای گیاهان خاص تاثیر بیشتری دارند. اما مزیت اصلی این جنس این است که رابطه اختصاصی با گیاه خاصی نداشته و می‌تواند باعث افزایش رشد در گونه‌های مختلف گیاهان شود. به هر حال دامنه تاثیر این ویژگی‌ها تحت تاثیر بعضی از عوامل همچون نوع جدایه باکتری، گونه و نوع رقم محصول مورد مطالعه، شرایط محیطی و خاکی و همچنین حضور سوبسترای خاص قرار دارد.

جنس *Azospirillum* عموماً به عنوان باکتری‌های تولیدکننده هورمون‌های گیاهی، پلی آمین ها و اسیدهای آمینه در محیط کشت شناخته شده‌اند که باعث افزایش رشد

ریشه، بهبود جذب آب و عناصر معدنی و در نهایت تولید بیشتر محصول می‌شود (Bashan *et al*., 1997). به طور مثال تولید اکسین، جیبرلین و سیتوکنین در کشت‌های خالص *A. brasilense* توسط میچلز و همکاران (Michiels *et al*., 1989) گزارش شده است.

هورمون‌های گیاهی ساخته شده توسط باکتری‌های جنس *Azospirillum* بر روی سرعت تنفس، متابولیزم، رشد و توسعه ریشه تاثیر می‌گذارند و در نتیجه جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده را افزایش می‌دهند.

References

Angadi, S. V., Cutforth, H. W., Miller, P. R., McConkey, B. G., Entz, M. H., Brandt, A., and Olkmar, K. M. 2000. Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. Canadian Journal of Plant Science 80: 693-701.

Bartel, B. 1997. Auxin biosynthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 48: 51-66.

Bashan, Y. , and De-Bashan, L. E. 2005. Plant growth-promoting. Encyclopeidia of Soil in the Environment 1: 103-115

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

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

Bashan, Y., Levanony, H., and Ziv-Vecht, O. 1987. The fate of field-inoculated *Azospirillum brasilense* Cd in wheat rhizosphere during the growing season. Canadian Journal of Microbiology 33: 1074–1079.

Bashan, Y., Ream, Y., Levanony, H., and Sade, A. 1989. Nonspecific responses in plant growth, yield, and root colonization of noncereal crop plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* Cd. Canadian Journal of Botany 67: 1317–1324.

Brandt, S. A., and McGregor, D. I. 1997. Canola response to growing season climatic conditions. Pp. 322-328. In: Proceedings of The Annual Soils and Crops Workshop. Saskatchewan Institute of Agrologists, Saskatoon, Canada.

Egli, D. B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, Wallingford, UK. 178 pp.

Faraji, A. 2003. Effect of sowing date and plant density on rapeseed varieties. Iranian Journal of Crop Sciences 5: 64-73 (In Persian).

Faraji, A. 2004. Effect of row spacing and seeding rate on yield and yield components of rapeseed (*cv*. Quantum) in Gonbad. Seed and Plant 20: 297-314 (In Persian).

Faraji, A., and Soltani, A. 2007. Evaluation of yield and yield components of canola spring genotypes in two different seasons climate conditions. Seed and Plant 23: 191-202 (In Persian).

Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., and Shirani Rad, A. H. 2008. Effect of high temperature stress and supplemental irrigation on flower and pod formation in two canola (*B. napus* L.) cultivars in Mediterranean climate. Asian Journal of Plant Science 7: 343-351.

Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., and Shirani-Rad, A. H. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*B. napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management 96: 132-140.

Gan, Y., Angadi, S. V., Cutforth, H., Potts, D., Angadi, V. V., and McDonald, C. L. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. Canadian Journal of Plant Science 84: 697-704.

German, M. A., Burdman, S., Okon, Y., and Kigel, J. 2000. Effects of *Azospirillum brasilense* on root morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under different water regimes. Biology and Fertility of Soils 32: 259–264.

Hameeda, B., Harini, G., Rupela, O. P., Wani, S. P., and Reddy, G. 2008. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. Microbiological Research 163: 234-242.

Harper, F. R., and Berkenkamp, B. 1975. Revised growth-stage key for *Brassica campestris* and *B. napus*. Canadian Journal of Plant Science 55: 657-658.

Holguin, G., Patten, C. L., and Glick, B. R. 1999. Genetics and molecular biology of *Azospirillum*. Biology and Fertility Soils 29: 10–23.

Kantolic, A. G., and Slafer, G. A. 2001. Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in indeterminate soybean cultivars. Field Crops Research 72: 109-118.

Kloepper, J. W., and Schroth, M. N. 1980. Effects of rhizospher colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. Phytopathology 70: 1078-1082.

Michiels, K., Vanderleyden, J., and Van Gool, A. 1989. *Azospirillum* plant root association: a review. Biology and Fertility of Soils 8: 356–368.

Mohammadi, R., Olamaee, M., Ghorbani Nasrabadi, R., and Chakeralhossaini, M. R. 2010. Effects of urea fertilizer, organic matter and plant growth promoting

rhizobacteria on N uptake and yield of wheat (*Triticum aestivum cv*. Alvand). Journal of Plant Production 17: 77-92.

Morrison, M. J. 1993. Heat stress during reproduction in summer rape. Canadian Journal of Botany 71: 303-308.

Perez, E., Sulbaran, M., Ball, M., and Andres, L. 2007. Isolation and characterization of mineral phosphate –solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venzuelan region. Soil Biology and Biochemistry 39: 2905-2914.

Prystupa, P., Savin, R., and Slafer, G. A. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N*P fertilization in barley. Field Crops Research 90: 245-254.

Rodriguez, H., and Frage, R. 1999. Phosphate solublizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnological Advances 17: 319-339.

Rodriguez, H., Gonzalez, T., Goire, I., and Bashan, Y. 2004. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. Naturwissenschaften 91: 552– 555.

SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide, Version 6, 4th editions, SAS Inst., Inc., Cary, NC.

Seshadri, S., Muthukumarasamy, R., Lakshminarasimhan, C., and Ignacimuthu, S. 2000. Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferens*. Current Science 79: 565–567.

Shah, S., Rao, K. K., and Desai, A. 1993. Production of catecholate type of siderophores by *Azospirillum lipoferum* M. Indian Journal of Experimental Botany 31: 41–44.

Sinclair, T. R., and Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. Field Crops Research 98: 60-67.

Tayo, T. O., and Morgan, D. G. 1979. Factors influencing flower and pod development in oilseed rape (*B. napus*). Journal of Agricultural Science, Cambridge 92: 363–373.