به زراعی کشاورزی
دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳
صفحه‌های ۱۵۵-۱۳۹

تأثیر تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس و زمان مصرف کود نیتروژنه بر عملکرد، کارایی مصرف کود و سرعت پر شدن دانهٔ آفتابگردان

علی خسروی[۱]، رئوف سیدشریفی*[۲]، علی‌اکبر ایمانی[۳]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اردبیل، گروه کشاورزی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اردبیل، گروه کشاورزی، اردبیل، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، کارایی مصرف کود، سرعت و دورهٔ مؤثر پر شدن دانهٔ آفتابگردان، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۰ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اول، زمان مصرف کود نیتروژنه در سه سطح (یک‌سوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌سوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی و یک‌سوم در مرحلهٔ گلدهی)، (یک‌دوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی)، (یک‌چهارم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی و یک‌چهارم در مرحلهٔ گلدهی) به‌ترتیب به‌صورت N_1، N_2 و N_3 و عامل دوم، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذر با باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، سودوموناس پوتیدا سویه ۹ و سودوموناس پوتیدا سویه ۴۱) بود. نتایج نشان داد که حداکثر وزن تک‌بذر، طول دورهٔ مؤثر پر شدن دانه، عملکرد دانه و زیستی، وزن هزاردانه، تعداد دانه در طبق، ارتفاع بوته، قطر طبق و قطر ساقه در سطح دوم از زمان مصرف نیتروژن و تلقیح بذر با ازتوباکتر به‌دست آمد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در کاربرد نیتروژن به‌صورت N_2 و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن در کاربرد به‌صورت N_1 و عدم تلقیح بذر با باکتری مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش عملکرد، کارایی مصرف کود، سرعت و دورهٔ مؤثر پر شدن دانه می‌توان تلقیح بذر با ازتوباکتر در مصرف کود به‌صورت N_2 را پیشنهاد کرد.

کلیدواژه‌ها: آفتابگردان، تلقیح بذر، عملکرد، محرک رشد، نیتروژن.

* نویسنده مسئول Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

۱. مقدمه

آفتابگردان از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که به‌دلیل برخورداری از درصد روغن زیاد، ترکیب مناسب اسیدهای چرب [۴۰]، تحمل خشکی و سازگاری گسترده با شرایط آب‌وهوایی مختلف، کشت آن در مناطق وسیعی از کشور امکان‌پذیر است [۵]. این گیاه در طول دورهٔ رشدی خود مقادیر زیادی عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن از خاک برداشت می‌کند. بخش عمده‌ای از زمین‌های تحت کشت این گیاه در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و به‌دلیل اندک بودن مقدار مواد آلی خاک‌های این مناطق، بیشتر گیاهان دچار کمبود نیتروژن هستند. یکی از راهکارهای مناسب برای حل این مشکل، استفاده از کودهای نیتروژنی است. کشت گیاهان در خاک‌های فقیر و عدم مصرف متعادل عناصری نظیر نیتروژن می‌تواند با تأثیرگذاری بر سودمندی کاربرد عناصر دیگر، به کاهش عملکرد کمی و کیفی منجر شود [۱۶]. برخی معتقدند افزودن کود نیتروژنه در مراحل اولیهٔ رشد، موجب تحریک رشد رویشی و تأخیر در انتقال مجدد مواد از برگ‌های پیر به جوان می‌شود و در نتیجه علائم پیری دیرتر ظهور می‌یابد [۳۵]. در مطالعهٔ دیگری عنوان شده است که مصرف نیتروژن در اواخر دورهٔ رشد، با طولانی‌تر کردن مدت پر شدن دانه، سبب افزایش وزن هزاردانه شد [۳۰]. در بررسی مقدار و زمان مصرف کود نیتروژنه در زراعت کلزا، حداکثر محصول دانه پس از مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه در دو نوبت [۱]، و در بررسی دیگر بیشترین عملکرد ناشی از کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در مصرف سه‌مرحله‌ای آن (یک‌سوم در زمان کاشت، یک‌سوم در زمان خروج از گلدهی و یک‌سوم قبل از گلدهی) گزارش شد [۸]. مصرف کودهای نیتروژنه در بهبود عملکرد آفتابگردان مؤثر است، ولی کاربرد بیش از حد و نامناسب آنها، گذشته از افزایش آسیب‌های وارد بر محیط زیست، عملکرد را به‌دلیل ایجاد خوابیدگی در گیاه کاهش می‌دهد [۳۹]. ازاین‌رو امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک، یکی از شیوه‌های بیولوژیک برای افزایش کمی و کیفی تولید، استفادهٔ بالقوه از میکروارگانیزم‌های مفید خاک‌زی است که با روش‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند. از جملهٔ این موجودات می‌توان به باکتری‌های محرک رشد گیاه[1] اشاره کرد. این باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آنها در خاک اندک است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آنها را به حد مطلوب برساند و درنتیجه سبب بروز اثر مفید آنها در خاک شود [۱۴]. گزارش شده است که کاربرد باکتری‌های افزایندهٔ رشد در مقایسه با تیمار شاهد به افزایش عملکرد دانه منجر شد [۲۰]. نتایج یک بررسی در آفتابگردان نشان داد که بذرهای تلقیح‌شده با باکتری‌های افزایندهٔ رشد نسبت به بذرهای بدون تلقیح، از افزایش نه درصدی در عملکرد دانه برخوردار بودند [۲]. برخی محققان نشان دادند که در اثر تلقیح بذر آفتابگردان با ازتوباکتر، عملکرد به‌صورت معناداری افزایش یافت [۴۲ ، ۴۳]. علت احتمالی افزایش عملکرد در تلقیح بذر با باکتری‌ها را به افزایش جذب مواد غذایی در دسترس و افزایش سلامت ریشه در طول دورهٔ رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه نسبت داده‌اند [۳۶].

دورهٔ مؤثر پر شدن دانه که از تقسیم وزن بذر رسیده بر سرعت پر شدن دانه برآورد می‌شود، به‌شدت تحت تأثیر نیتروژن قرار می‌گیرد [۲۵]. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که با افزایش نیتروژن، وزن تک‌بذر، دورهٔ مؤثر و طول دورهٔ پر شدن دانه افزایش و با کاهش آن تمامی پارامترهای پر شدن دانه کاهش می‌یابد [۱۵]. برخی علت افزایش سرعت پر شدن دانه را در بوته‌هایی که کود نیتروژن را به‌صورت سرک دریافت کرده بودند، غلظت زیاد نیتروژن برگ طی مرحلهٔ پر شدن دانه دانسته‌اند [۴۹].

1. Plant Growth Promoting Rhizobacteria

عده‌ای اظهار داشتند که مصرف نیتروژن در طول دورهٔ رشد به‌ویژه دورهٔ پر شدن دانه، موجب زیاد بودن مقدار کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ می‌شود که این موضوع سبب افزایش مقدار مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتزکننده [۳۲] و افزایش وزن دانه می‌شود [۵۲].

متأسفانه کودهای نیتروژنی در بیشتر مناطق کشور به‌صورت مناسب استفاده نمی‌شوند و کارایی آنها اندک است [۶]. با توجه به اینکه کاربرد کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است سبب شود گیاه از آنها بعد از تبدیل به فرم‌های دیگر استفاده کند یا از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج شوند، برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش‌های مصرف کود باید به‌گونه‌ای تغییر کند که مواد غذایی مورد نیاز گیاه در مدت طولانی و با کمترین تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد [۲۷]. استفاده از کودهای زیستی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن از جمله روش‌های عملیات زراعی بهینه است که می‌تواند این نقص را برطرف کند [۵۱]. برخی اعلام کردند که باکتری‌های محرک رشد، ضمن کاهش مقدار مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، سبب افزایش رشد گیاهان به‌واسطهٔ افزایش جذب نیتروژن می‌شوند [۱۹]. اهمیت تقسیط کود نیتروژنه در عملکرد آفتابگردان، نقش باکتری‌های محرک رشد در بهبود عملکرد این گیاه و بررسی‌های اندک در منطقه درخصوص برهمکنش توأم باکتری‌های محرک رشد و مصرف تقسیطی کود نیتروژنه از جمله عواملی بودند که موجب شدند کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد در زمان‌های مختلف مصرف نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف کود و سرعت پر شدن دانهٔ آفتابگردان در شرایط اقلیمی اردبیل بررسی شود.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل واقع در اراضی روستای حسن باروق (کیلومتر ۵ غرب اردبیل) با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقهٔ عرض شمالی اجرا شد. محل اجرای آزمایش از نظر آب‌وهوا و طبقه‌بندی اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود. متوسط بارش سالیانهٔ منطقه براساس آمار سی‌سالهٔ هواشناسی بین ۲۸۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر متغیر است و بیشتر بارش‌ها به‌صورت برف در فصل زمستان است. نتایج حاصل از داده‌های هواشناسی منطقهٔ تحت آزمایش در طی فصل رشد در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. میانگین دما و مقدار بارندگی ماهانهٔ منطقهٔ تحت آزمایش

ماه	پارامتر	میانگین حداکثر دما (°C)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین ماهانهٔ دما (°C)	میانگین بارندگی ماهیانه (mm)
اردیبهشت		۱۸/۲	۴/۴	۱۱/۳۵	۴۱/۷
خرداد		۲۱/۴	۷/۵	۱۴/۵	۳۲/۲
تیر		۲۴/۵	۱۰/۳	۱۷/۲	۱۳
مرداد		۲۶/۳	۱۱/۶	۱۸/۲	۶/۱
شهریور		۲۳/۶	۱۰/۱	۱۶/۹	۷/۶

به‌منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت که نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. خواص فیزیکوشیمیایی خاک مزرعهٔ آزمایشی

بافت	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت	درصد آهک	درصد اشباع	pH	شوری (ds/m)
لوم	۳۸	۲۶	۳۶	۶/۰۲	۴۲	۷/۶۸	۲/۰۱
منگنز (ppm)	مس (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن	کربن آلی (%)
۰/۱۷	۰/۹۰	۰/۲۱	۲/۵۶	۴/۴۱	۵/۴۳	۰/۰۸	۰/۷۸

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم بهاره، دیسک و ایجاد جوی و پشته بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای بررسی‌شده شامل زمان‌های مختلف مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه از منبع اوره در هکتار در سه سطح به‌صورت (یک‌سوم در چهار تا شش‌برگی، یک‌سوم در غنچه‌دهی و یک‌سوم در گلدهی)، (یک‌دوم در چهار تا شش‌برگی و یک‌دوم در غنچه‌دهی) و (یک‌چهارم در چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در غنچه‌دهی و یک‌چهارم در گلدهی) و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، سودوموناس پوتیدا سویه ۹ و سودوموناس پوتیدا سویه ۴۱) بودند. باکتری‌ها از مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک تهیه شد. برای تلقیح بذر، هفت گرم مایهٔ تلقیح که هر گرم آن حاوی ۱۰۷ عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایهٔ تلقیح به بذرها استفاده شد. کلیهٔ عملیات در محیط سایه و دور از نور آفتاب انجام گرفت و بذرها پس از خشک شدن کشت شدند. فاصلهٔ بین ردیف‌های کشت ۷۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذر در عمق پنج سانتی‌متری کشت شد. فاصلهٔ بین هر کرت با کرت‌های مجاور به‌صورت دو پشته نکاشت درنظر گرفته شد. رقم استفاده‌شده رقم فرخی بود که مناسب کشت در مناطق سردسیر است و از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسهٔ اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر تهیه شد. آبیاری در طول مدت رشد براساس شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام گرفت. به‌منظور بررسی پارامترهای مربوط به پر شدن دانه نظیر سرعت، طول دوره و دورهٔ مؤثر پر شدن دانه، تقریباً از ۱۵ روز بعد از گلدهی در فواصل زمانی چهارروزه از خطوط اصلی هر کرت سه طبق به‌طور تصادفی انتخاب شد و دانه‌ها از طبق جدا شدند. در مرحلهٔ بعدی ۱۰۰ دانه از طبق‌ها به‌طور تصادفی شمارش و خشک شد. سپس وزن خشک تک‌بذر از محاسبهٔ وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد [۳۷]. به‌منظور برآورد، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه‌ای) با استفاده از رویهٔ DUD و دستور Proc NLIN نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد:

$$GW = \begin{cases} a + bt & t < t_0 \\ a + bt & t >> t_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه، GW: وزن دانه؛ t: زمان؛ b: شیب خط تا مرحلهٔ رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است؛ t_0: پایان دورهٔ پر شدن دانه؛ و a: عرض از مبدأ است. این مدل، تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحلهٔ اول که در حقیقت مرحلهٔ خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود

در زمان t_0 کـه در حقیقـت زمـان رسـیدگی وزنـی اسـت، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خـط رگرسـیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد [۱۸]. با برازش این مدل بر کلیهٔ داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شـدن دانـه یعنـی سـرعت پـر شـدن دانـه (b) و زمـان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمد و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه اسـت محاسبه شد. برای تعیین دورهٔ مؤثر پر شدن دانـه از رابطـهٔ زیر استفاده شد [۱۸].

$$EFP = MGW/GFR \qquad (۲)$$

در این رابطه، EFP: دورهٔ مـؤثر پرشـدن دانـه؛ MGW: حداکثر وزن دانه؛ و GFR: سرعت پر شدن دانـه یـا شـیب خط برازش‌شده است. کـارایی مصـرف کـود نیتروژنـه بـا استفاده از رابطهٔ ۳ برآورد شد [۳۱]:

$$\text{کارایی مصرف کود} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{کود مصرفی}} \qquad (۳)$$

عملکرد دانه از سه ردیـف میـانی و از سـطحی معـادل ۰/۵ متر مربع در هـر کـرت بعـد از حـذف اثـر حاشـیه‌ای برآورد شد. برای برآورد اجزای عملکرد و برخـی دیگـر از صـفات از جملـه تعـداد دانـه در طبـق، قطـر طبـق، وزن هزاردانه، قطر ساقه و ارتفاع بوته از خطوط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیهٔ هشت بوته به‌صورت تصادفی و از بین بوته‌های رقابت‌کننـده برداشـت شـد و میـانگین داده‌هـای حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیهٔ واریـانس مـورد استفاده قرار گرفـت. تجزیـهٔ آمـاری داده‌هـا بـا اسـتفاده از نرم‌افزار SAS ۹/۱ و مقایسـهٔ میـانگین‌هـا توسـط آزمـون LSD در سطح احتمال ۵ درصـد صـورت گرفـت و بـرای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیهٔ واریانس نشان داد کـه زمـان مصرف کود نیتروژنه، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر سـرعت و دورهٔ مـؤثر پر شـدن دانـه، کـارایی مصـرف کـود، عملکـرد و اجـزای عملکرد و برخی دیگر از صفات تحـت بررسـی در سـطح احتمال ۱ درصد معنادار شده است (جدول ۳).

۱.۳. سرعت و طول دورهٔ پر شدن دانه

اثر زمان‌های مختلف مصرف نیتروژن بـر سـرعت و طـول دورهٔ پر شدن دانهٔ آفتابگردان در تلقیح بذر با بـاکتری‌هـای محرک رشد در شکل‌های ۱ تـا ۳ نشـان داده شـده اسـت. درضمن معادلات برازش‌شده برای هر ترکیـب تیمـاری در جدول ۴ ارائه شده است. بررسـی سـرعت پـر شـدن دانـهٔ آفتابگردان در سطوح مختلف زمان مصـرف کـود نیتروژنـه نشان داد که الگوی نموی بذر در کلیهٔ باکتری‌های محـرک رشد مشابه است. بدین‌ترتیب که ابتدا وزن دانـه در تلقـیح بذر با انواع مختلف باکتری به‌صورت خطی افزایش یافـت و به حداکثر خود رسید. پس از ایـن مرحلـه، وزن دانـه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به‌صورت یک خط افقـی درآمد. براساس نتایج، بـین بـاکتری‌هـای محـرک رشـد در سطوح مختلفی از زمان مصرف کود نیتروژنه، از نظـر دورهٔ مؤثر پر شدن، حداکثر وزن دانه و طول دورهٔ پر شدن دانـه تفـاوت‌هـایی وجـود دارد. بـه‌عبـارت دیگـر، شـیب خـط برازش‌شده یـا سـرعت پـر شـدن دانـه در تلقـیح بـذر بـا باکتری‌ها یکسان نبود (جـدول ۴). حـداکثر وزن تـک‌بـذر (۰/۰۶۶ گرم) در سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنـه در تلقیح بذر با ازتوباکتر و حداقل آن (۰/۰۴۹ گرم) در سـطح اول تقسیط کودی و عدم تلقیح بذر با باکتری به‌دست آمـد (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس صفات تحت مطالعهٔ آفتابگردان در تقسیط کود نیتروژنه و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	دورهٔ مؤثر پر شدن دانه	سرعت پر شدن دانه	حداکثر وزن دانه	طول دورهٔ پر شدن دانه	تعداد دانه در طبق	قطر طبق	وزن هزاردانه	قطر ساقه	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	کارایی مصرف نیتروژن
تکرار	۲	۱۷۷/۲۷**	۶/۷۵**	۰/۰۰۰۶۳**	۲۳۱/۸۸**	۶۲۲۳۸/۱۱**	۷/۶۴**	۳۷/۶۸**	۰/۲۱**	۱۴۵/۳۱**	۹۷۲۰/۵۷**	۲۲/۵۲**
تقسیط نیتروژن	۲	۱۶/۵۵**	۱/۳۷**	۰/۰۰۰۰۶**	۳۰/۲۲**	۲۶۷۲۸/۶۹**	۱۵/۲۰**	۳۴۳/۵۵**	۰/۱۱**	۱۰۴۰/۳۱**	۴۲۹۶۸/۸۱**	۱۰۳/۳۴**
باکتری محرک رشد	۳	۲۷/۴۴**	۲/۰۹**	۰/۰۰۰۲۴**	۲۱/۱۲**	۸۴۰۴۸/۰۳**	۲۰/۳۲**	۱۸۵/۲۹**	۰/۱۱**	۷۳۸/۱۵**	۲۵۶۹۷/۵۴**	۶۶/۶۹**
باکتری*تقسیط نیتروژن	۶	۱/۶۶**	۵/۸۲**	۰/۰۰۰۰۰۲۳**	۱/۱۵**	۲۸۷۹۷/۶۲**	۸/۴۵**	۹۱۶/۰۹**	۰/۵۳**	۲۰۰/۷۴**	۱۵۳۲۹/۶۸**	۱۵۳/۳۸**
خطا	۲۲	۰/۰۵	۳/۸۵	۰/۰۰۰۰۰۰۴۴	۰/۰۴	۴۰۰۱/۶۹	۰/۵۴	۵/۱۶	۰/۰۰۳	۱۸۷/۶	۷۴۴/۱۸	۱/۲۹
ضریب تغییرات	-	۰/۷۸	۱/۰۶	۱/۱۶	۰/۶۱	۵/۴۸	۴/۱۱	۴/۴۹	۳/۳۲	۳/۵۱	۶/۶۳	۵/۵۵

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

جدول۴. تأثیر سطوح مختلف زمان مصرف کود نیتروژنه و باکتری‌های محرک رشد بر وزن تک‌دانه، دورهٔ مؤثر، سرعت و طول دورهٔ پر شدن دانه و شیب خط برازش‌شده

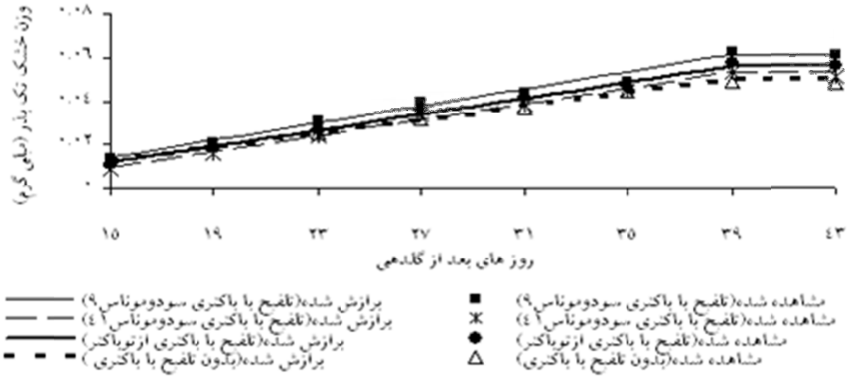
ترکیب تیماری	دورهٔ مؤثر پر شدن دانه (روز)	سرعت پر شدن دانه (میلی‌گرم در روز)	حداکثر وزن دانه (میلی‌گرم)	طول دورهٔ پرشدن دانه(روز)	معادلهٔ برازش‌شده
عدم تلقیح باکتری× سطح اول زمان مصرف کود	۲۷/۸۴ ^{h}	۰/۰۰۱۵ ^{f}	۰/۰۴۹ ^{f}	۳۲/۹۵ ^{h}	y=۰/۰۱۸۰+ ۰/۰۰۱۵ x
تلقیح با باکتری سودوموناس۹× سطح اول زمان مصرف کود	۳۱/۶۸ ^{dc}	۰/۰۰۱۸ ^{d}	۰/۰۵۸ ^{c}	۳۶/۱۱ ^{d}	y=۰/۰۱۵۴+ ۰/۰۰۱۸ x
تلقیح با باکتری ازتوباکتر× سطح اول زمان مصرف کود	۳۲/۳۳ ^{ab}	۰/۰۰۱۹ ^{c}	۰/۰۶۲ ^{b}	۳۶/۷۵ ^{bc}	y=۰/۰۱۵۷+ ۰ ۰/۰۰۱۹ x
تلقیح با باکتری سودوموناس۴۱ × سطح اول زمان مصرف	۲۹/۲۲ ^{fg}	۰/۰۰۱۸ ^{d}	۰/۰۵۳ ^{e}	۳۵/۱۸ ^{e}	y=۰/۰۱۶۰+ ۰/۰۰۱۸X
عدم تلقیح باکتری×سطح دوم زمان مصرف کود	۳۰/۴۸ ^{e}	۰/۰۰۱۸ ^{d}	۰/۰۵۳ ^{e}	۳۳/۶۳ ^{g}	y=۰/۰۱۷۹+ ۰/۰۰۱۸ X
تلقیح با باکتری سودوموناس۹× سطح دوم زمان مصرف کود	۳۲/۷۷ ^{b}	۰/۰۰۲۰ ^{b}	۰/۰۶۲ ^{b}	۳۶/۸۳ ^{b}	y=۰/۰۱۵۱+ ۰/۰۰۲۰ X
تلقیح با باکتری ازتوباکتر ×سطح دوم زمان مصرف کود	۳۳/۱۲ ^{a}	۰/۰۰۲۱ ^{a}	۰/۰۶۶ ^{a}	۳۸/۷۰ ^{a}	y=۰/۰۱۷۹+ ۰/۰۰۲۱ X
تلقیح با باکتری سودوموناس ۴۱× سطح دوم زمان مصرف	۳۲/۲۰ ^{d}	۰/۰۰۱۹ ^{c}	۰/۰۵۹ ^{c}	۳۶/۲۹ ^{cd}	y=۰/۰۱۸۱+ ۰/۰۰۱۹ X
عدم تلقیح باکتری× سطح سوم زمان مصرف کود	۲۷/۷۳ ^{h}	۰/۰۰۱۷ ^{e}	۰/۰۵۲ ^{e}	۳۲/۰۱ ^{I}	y=۰/۰۱۹۷+ ۰/۰۰۱۷ X
تلقیح با باکتری سودوموناس۹× سطح سوم زمان مصرف کود	۲۹/۵۰ ^{f}	۰/۰۰۲۰ ^{b}	۰/۰۵۸ ^{c}	۳۳/۷۴ ^{g}	y=۰/۰۱۸۹+ ۰/۰۰۲۰ X
تلقیح با باکتری ازتوباکتر ×سطح سوم زمان مصرف کود	۳۲/۳۵ ^{bc}	۰/۰۰۲۱ ^{a}	۰/۰۶۳ ^{b}	۳۴/۱۶ ^{f}	y=۰/۰۱۴۱+ ۰/۰۰۲۱ X
تلقیح با باکتری سودوموناس۴۱×سطح سوم زمان مصرف کود	۲۸/۷۶ ^{g}	۰/۰۰۱۹ ^{c}	۰/۰۵۵ ^{d}	۳۲/۸۲ ^{h}	y=۰/۰۱۹۰+ ۰/۰۰۱۹ X

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معناداری در سطح احتمال ۱ درصد در آزمون LSD ندارند.

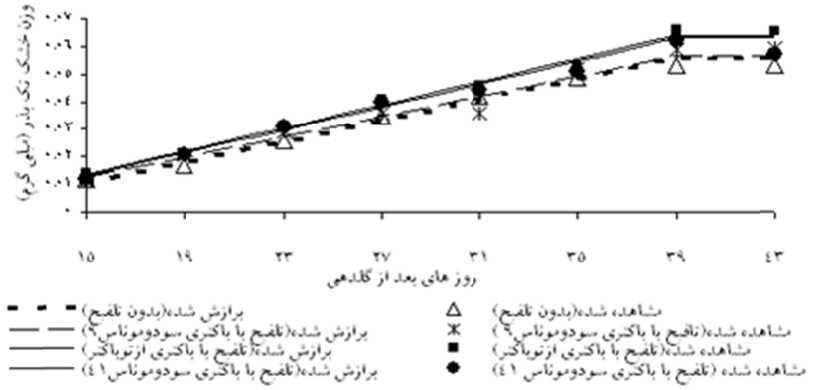
سطح اول زمان مصرف کود نیتروژنه: (یک‌سوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌سوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی، یک‌سوم در مرحلهٔ گلدهی)

سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه: (یک‌دوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی)

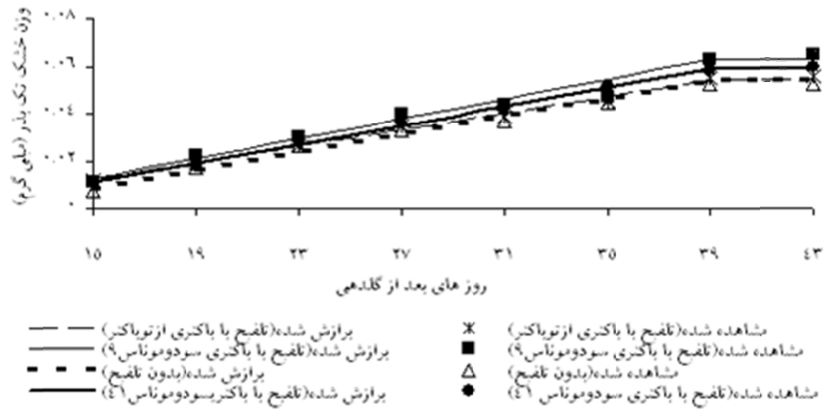
سطح سوم زمان مصرف کود نیتروژنه: (یک‌چهارم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی، یک‌چهارم در مرحلهٔ گلدهی)



شکل ۱. روند تغییرات سرعت پر شدن دانه در سطح اول زمان مصرف کود نیتروژنه (یک‌سوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌سوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی و یک‌سوم در مرحلهٔ گلدهی) در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد



شکل ۲. روند تغییرات سرعت پر شدن دانه در سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه (یک‌دوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی و یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی) در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد



شکل ۳. روند تغییرات سرعت پر شدن دانه در سطح سوم زمان مصرف کود نیتروژنه (یک‌چهارم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی، یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی و یک‌چهارم در مرحلهٔ گلدهی) در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد

طول دورهٔ پر شدن دانه یکی از مراحل اصلی تشکیل عملکرد دانه است و طولانی‌تر بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد [۲۲]. به‌نظر می‌رسد در استفاده از سطح دوم زمان مصرف کودی، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که نتیجهٔ آن افزایش مصرف نیتروژن توسط گیاه و درنهایت افزایش نقل و انتقال مواد به دانه است که می‌تواند طول دوره، سرعت و میزان پر شدن دانهٔ آفتابگردان را افزایش دهد. برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد نیتروژن در مرحلهٔ رویشی سبب افزایش سطح برگ می‌شود و در مرحلهٔ زایشی با افزایش طول دورهٔ پر شدن دانه، به بهبود عملکرد دانه کمک می‌کند و سرعت پر شدن دانه‌های سنگین‌تر، از دانه‌های سبک‌تر بیشتر است [۲۵ ، ۲۸]. به‌نظر می‌رسد علت زیاد بودن سرعت پر شدن دانه در بوته‌هایی که کود نیتروژن به‌صورت سرک دریافت کرده‌اند، غلظت زیاد نیتروژن برگ باشد، زیرا مصرف نیتروژن در طول دوران حساس رشدی موجب بالا نگه داشتن سطح کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ می‌شود که این وضعیت، افزایش مقدار مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتزکننده و افزایش وزن دانه را در پی دارد [۱۵ ، ۴۹]. در مورد دورهٔ مؤثر پر شدن دانهٔ آفتابگردان می‌توان گفت طول این دوره در زمان‌های مختلف مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد متفاوت بود، به‌طوری‌که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نسبت به عدم تلقیح موجب افزایش طول این دوره شد (جدول ۴). حداکثر طول دورهٔ مؤثر پر شدن دانه (۳۳/۱ روز) در سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر و حداقل طول این دوره (۲۷/۴ روز) در سطح اول زمان مصرف کودی نیتروژن و عدم تلقیح بذر با باکتری برآورد شد. شیب خط برازش‌شده در سطح اول زمان مصرف کود نیتروژنه و عدم تلقیح بذر با باکتری (۰/۰۰۱۵) کمتر از سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر (۰/۰۰۲۱) و سطح سوم زمان مصرف کودی در تلقیح بذور با سودوموناس سویهٔ ۹ برآورد شد (جدول ۴). نتیجه اینکه ترکیب تیماری سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر از حداکثر شیب و ترکیب تیماری سطح اول زمان مصرف کودی نیتروژن و عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از حداقل شیب برخوردار بود. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، تداوم بیشتر دورهٔ پر شدن دانه را ممکن کرده‌اند (۱۴).

۲.۳. تعداد دانه در طبق

مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف زمان مصرف کود نیتروژنه نشان داد که تلقیح بذر با ازتوباکتر و سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه بیشترین مقدار (۱۳۳۹ دانه در طبق) این صفت را در مقایسه با عدم تلقیح بذر با باکتری در سطح سوم زمان مصرف کود (۹۸۷ دانه در طبق) به خود اختصاص داد (جدول ۵). افزایش اجزای عملکرد را می‌توان با نقش مؤثر باکتری‌های محرک رشد در تثبیت نیتروژن و در اختیار گذاشتن آن با مراحل حساس نیاز کودی مرتبط دانست که سبب افزایش نیتروژن قابل مصرف در مراحل حساس رشدی می‌شود [۲٤ ، ۲٦]. نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشی در تلقیح بذر آفتابگردان با ازتوباکتر در سطوح مختلف نیتروژن نشان داد که تعداد دانه در طبق با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت [٤۳]. تلقیح بذر آفتابگردان با باکتری‌های سودوموناس و آزوسپریلوم موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد شد [٤۲]. مطالعهٔ دیگری نیز بیانگر آن است که مصرف نیتروژن بر تعداد دانه در طبق مؤثر است و اظهار شده است که نیتروژن از طریق توسعهٔ مریستم زایندهٔ گلچه‌ها سبب افزایش قطر طبق و درنهایت افزایش تعداد دانه در طبق می‌شود [٤٤].

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح مختلف تقسیط کود نیتروژنه در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات در آفتابگردان

تقسیط کود	باکتری	تعداد دانه در طبق	قطر طبق	وزن هزاردانه	ارتفاع بوته	قطر ساقه	عملکرد دانه	کارایی مصرف نیتروژن
سطح اول زمان مصرف	عدم تلقیح	۱۰۵۰^{de}	۱۶/۱^{fg}	۴۲/۴^{g}	۱۰۷/۸^{f}	۱/۷ bcd	۳۱۶/۶^{f}	۱۵/۸^{f}
	ازتوباکتر	۱۲۳۸/۳^{ab}	۲۰^{ab}	۵۵/۲^{bc}	۱۲۹/۵^{bc}	۱/۹^{a}	۴۵۹/۲^{bc}	۲۲/۹^{bc}
	سودوموناس ۹	۱۲۱۱/۳^{bc}	۱۸^{cde}	۴۸/۳$^{de f}$	۱۱۳/۷$^{e f}$	۱/۸^{b}	۴۲۱/۹^{dc}	۲۱/۰۵^{dc}
	سودوموناس ۴۱	۱۱۰۳^{cd}	۱۶/۷$^{e fg}$	۴۴/۴^{fg}	۱۰۹/۵^{f}	۱/۷^{c}	۳۳۳/۷^{f}	۱۶/۷^{f}
سطح دوم زمان مصرف	عدم تلقیح	۱۰۶۳/۳^{de}	۱۷/۴^{def}	۵۲/۵^{bcd}	۱۲۲/۹^{cde}	۱/۵$^{e f}$	۴۳۴/۴^{dc}	۲۱/۳^{dc}
	ازتوباکتر	۱۳۳۹/۲^{a}	۲۱/۱^{a}	۶۱/۹^{a}	۱۴۸^{a}	۱/۷ b	۵۲۳/۸^{a}	۲۶/۱^{a}
	سودوموناس۹	۱۲۲۶^{ab}	۱۹/۵^{abc}	۵۷/۱^{ab}	۱۳۴/۲^{b}	۱/۷^{bcd}	۴۹۱/۴^{ab}	۲۴/۵^{ba}
	سودوموناس ۴۱	۱۱۸۰/۶^{bc}	۱۸/۷^{bcd}	۵۵/۵^{b}	۱۲۸/۳^{bcd}	۱/۶^{cde}	۴۶۸/۹^{bc}	۲۳/۴^{bc}
سطح سوم زمان مصرف	عدم تلقیح	۹۸۷^{e}	۱۵/۵^{g}	۴۱/۸^{g}	۱۱۴/۱$^{e f}$	۱/۴^{f}	۳۱۱^{f}	۱۵/۵^{f}
	ازتوباکتر	۱۲۰۲/۷^{bc}	۱۸/۷^{bcd}	۵۱/۸^{bcd}	۱۲۹/۸^{bc}	۱/۷^{bcd}	۴۳۷/۹^{bcd}	۲۱/۸^{dc}
	سودوموناس ۹	۱۱۴۲/۴^{bcd}	۱۶/۹$^{e fg}$	۴۹/۳^{cde}	۱۲۱/۷^{cde}	۱/۶^{bcde}	۳۹۰/۵^{de}	۱۹/۵^{de}
	سودوموناس ۴۱	۱۱۰۰/۱^{cde}	۱۶/۶$^{e fg}$	۴۶/۷$^{de fg}$	۱۱۸/۲$^{e fd}$	۱/۶^{de}	۳۴۱/۴^{ef}	۱۷/۰۶^{ef}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معناداری در سطح احتمال ۱ درصد در آزمون LSD ندارند.

۳.۳. وزن هزاردانه

وزن دانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه است که وضعیت نهایی آن طی مرحلهٔ پرشدن دانه‌ها تعیین می‌شود. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه (۶۱/۹۳ گرم) در سطح دوم زمان مصرف کودی در حالت تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۴۱/۸۹ گرم) در سطح سوم زمان مصرف کود نیتروژنه در عدم تلقیح با باکتری برآورد شد (جدول ۵). نیتروژن دورهٔ رشد گیاه را افزایش می‌دهد و در اواخر فصل موجب طولانی‌تر شدن مدت پر شدن دانه و افزایش وزن هزاردانه می‌شود [۳۰]. عده‌ای اظهار داشتند که در آفتابگردان با افزایش مقادیر کود نیتروژنه، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه افزایش می‌یابد [۳۸]. نتایج برخی تحقیقات نشان داد که تلقیح بذر با ازتوباکتر موجب افزایش وزن هزاردانه می‌شود [۲۳]. در یک بررسی درخصوص تأثیر پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد، وزن دانه را در حالت تلقیح بذر با باکتری بیشتر از عدم تلقیح (شاهد) گزارش کردند [۴۱]. محققان علت افزایش وزن هزاردانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد دانه را در شرایط تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد به افزایش گسترش ریشه و حفاظت بیشتر از آن در طول دورهٔ رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه به‌منظور جذب بهتر مواد غذایی نسبت دادند [۳۶].

۴.۳. ارتفاع بوته

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب‌های تیماری نشان داد که حداکثر ارتفاع بوته (۱۴۸ سانتی‌متر) به سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۱۰۷/۸۴ سانتی‌متر) به سطح اول زمان مصرف کود در عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی تعلق داشت (جدول ۵). باکتری‌های محرک رشد می‌توانند ارتفاع گیاه و قابلیت تولید را از طریق سنتز فیتوکروم‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی در یک محل، آسان کردن جذب مواد غذایی، کاهش خواص سمی فلزات سنگین در گیاهان، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القای مقاومت سیستماتیک با عوامل بیماری‌زا افزایش دهند [۱۳]. محققان مختلفی گزارش کرده‌اند که ارتفاع آفتابگردان در اثر تیمار کود زیستی باکتریایی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) بیشتر بود [۲، ۴۱، ۴۲]. نتایج برخی بررسی‌ها حاکی از افزایش ۵/۸ درصدی ارتفاع بوتهٔ ذرت به‌واسطهٔ تلقیح آن با ازتوباکتر و سودوموناس بوده است [۵۳]. آنها تولید اسید ایندول-۳-استیک به‌وسیلهٔ سویه‌های مختلف باکتری‌های جنس ازتوباکتر را به این افزایش چشمگیر رشد نسبت داده‌اند. در آزمایش دیگری عنوان شد که تلقیح بذر با ازتوباکتر موجب افزایش توسعهٔ ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی می‌شود و این به بهبود رشد رویشی گیاه و افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌انجامد [۳۹].

۵.۳. قطر طبق

با توجه به نتایج جدول تجزیهٔ واریانس (جدول ۳) و مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در زمان‌های مصرف کود نیتروژنه مشخص شد که بیشترین قطر طبق (۲۱/۱ سانتی‌متر) در سطح دوم زمان مصرف کودی نیتروژن و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۱۵/۵۲ سانتی‌متر) در سطح سوم زمان مصرف کود نیتروژنه و عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی برآورد شد (جدول ۵). افزایش مصرف نیتروژن عملکرد را از طریق بزرگ‌تر شدن طبق افزایش داد [۲ ، ۱۱]. عده‌ای گزارش کردند که پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد، قطر طبق را در مقایسه با عدم پرایمینگ افزایش داد [۴۱].

۶.۳. قطر ساقه

مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری محرک رشد در زمان‌های مختلف مصرف کود نیتروژنه نشان داد که بیشترین قطر ساقه (۱/۹۸ سانتی‌متر) در سطح اول زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۱/۴۶ سانتی‌متر) در سطح سوم زمان مصرف کود و عدم تلقیح بذر با باکتری محرک رشد برآورد شد (جدول ۵). بر پایهٔ نتایج یک بررسی مشخص شد که مصرف کود نیتروژن موجب افزایش قطر ساقه شد [۹]. البته مصرف بیش از حد نیتروژن، تحریک رشد رویشی و نازک و باریک شدن ساقه را به‌دنبال دارد [۴۸]. برخی گزارش کردند که ساقهٔ آفتابگردان در اثر تیمار کود زیستی باکتریایی دارای قطر و ارتفاع بیشتری نسبت به تیمار شاهد یا عدم تلقیح بود [۲]. این افزایش به‌واسطهٔ باکتری‌های افزایندهٔ رشد با توجه به اثر افزایندهٔ آنها بر رشد گیاه توجیه‌پذیر است.

۷.۳. عملکرد دانه

مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در زمان مصرف کود نیتروژنه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۵۲۳/۸ گرم در متر مربع) در سطح دوم زمان مصرف کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۳۱۱/۰۹ گرم در متر مربع) در سطح سوم زمان مصرف و عدم تلقیح بذر با باکتری برآورد شد (جدول ۵). اظهار شده است که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماری‌زا، با تولید مواد و هورمون‌های تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاه، عملکرد گیاهان زراعی را افزایش می‌دهند [۴۷]. دیگر محققان نیز افزایش عملکرد دانهٔ آفتابگردان در اثر کاربرد کود نیتروژنه را گزارش کرده‌اند [۵۵]. محققان افزایش هشت درصدی عملکرد زیستی آفتابگردان در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد را نسبت به حالت عدم تلقیح گزارش کردند [۲]. آنها اظهار داشتند که باکتری‌های افزایندهٔ رشد با تخصیص مادهٔ خشک بیشتر به بوته، سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه فراهم‌سازی امکان بهره‌برداری از نور و فتوسنتز بیشتر و در نهایت افزایش عملکرد می‌شوند. نتایج مشابهی نیز درخصوص تلقیح بذر آفتابگردان با باکتری‌هایی نظیر ازتوباکتر کروکوکوم و سودوموناس در افزایش عملکرد گزارش شده است [۲، ۴۲]. اظهار شده است که باکتری‌های محرک رشد علاوه بر افزایش جذب نیتروژن، در بهبود جذب سایر عناصر پرمصرف نظیر فسفر و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف نظیر آهن و روی که تأثیر بسزایی بر عملکرد و اجزای عملکرد دارند، مؤثرند [۳۳، ۵۰]. آزاد شدن یون H^+ در مجاورت ریزوسفر ریشه، pH محلول خاک در اطراف ریشه را کاهش می‌دهد که موجب دسترسی بهتر گیاه به منابع غذایی خاک به‌ویژه نیتروژن می‌شود. احتمالاً باکتری‌های محرک رشد با قابلیت تولید مواد تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه و تأثیر این مواد بر توزیع مواد فتوسنتزی و تسهیم مادهٔ خشک گیاه و نقش این مواد در پر شدن دانه [۳۴]، در افزایش مادهٔ خشک اختصاص‌یافته به دانه و عملکرد آن نقش داشته‌اند. به‌نظر می‌رسد در این آزمایش در سطح دوم زمان مصرف کود، استفادهٔ مناسب و به‌موقع از کود نیتروژنه موجب شده است که آفتابگردان با سیستم ریشه‌ای بهتر، نیتروژن بیشتری را جذب کند و عملکرد را افزایش دهد.

۸.۳. کارایی مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن به‌صورت نسبت عملکرد دانه به مقدار نیتروژن مصرفی درنظر گرفته شده و عاملی مهم در مدیریت نیتروژن برای تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود [۳۱]. با توجه به جدول تجزیهٔ واریانس (جدول

۳)، کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب تیماری زمان مصرف کود نیتروژنه در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر کارایی مصرف نیتروژن نشان داد که بیشترین کارایی مصرف (۲۶/۱۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) به سطح دوم زمان مصرف کود در تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۱۵/۱۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) به سطح اول زمان مصرف کود و عدم تلقیح بذر با باکتری تعلق داشت (جدول ۵). عده‌ای افزایش سرعت از دست رفتن نیتروژن از طریق آبشویی، تصعید یا عدم جذب مؤثر آن توسط گیاه را علت کاهش کارایی مصرف این عنصر دانسته‌اند [۱۷]. باتوجه به اینکه استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است بخش عمده‌ای از کود را برای گیاه غیرقابل استفاده کرده یا از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج کند، برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش‌های مصرف کود باید به‌گونه‌ای تغییر کند که مواد غذایی مورد نیاز گیاه در مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد [۲۷]. استفاده از کودهای زیستی تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن از جمله روش‌هایی است که می‌تواند این نقص را برطرف کند [۵۱]. محققان اظهار داشته‌اند که ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کنندهٔ رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین سبب افزایش تولید تارهای کشندهٔ ریشه و جذب عناصر غذایی از خاک [۱۰، ۲۷ ، ۵۴]، و کاهش مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، و افزایش رشد گیاهان به‌واسطهٔ افزایش جذب نیتروژن می‌شود [۱۹]. برخی معتقدند که استفاده از مایهٔ تلقیح ازتوباکتر با افزایش طول و تراکم ریشه‌ها [۲۹] و با تغییر در اندازه و مورفولوژی ریشه‌ها به‌دلیل توانایی ریشه‌ها در دسترسی به حجم وسیع‌تر خاک،و افزایش قابلیت استفاده از جذب عناصر غذایی و آب، درنهایت به افزایش کارایی مصرف کود و عملکرد بیشتر منجر می‌شود [۵۳].

۹.۳. نتیجه‌گیری

روند پر شدن دانه در زمان‌های مختلف مصرف کود نیتروژنه و کاربرد باکتری‌های محرک رشد نشان داد که الگوی توسعهٔ بذر در همهٔ سطوح زمان مصرف کود و باکتری‌های محرک رشد مشابه است. بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه در تلقیح با انواع مختلف باکتری به‌صورت خطی افزایش یافت و به حداکثر خود رسید. پس از این مرحله، وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به‌صورت یک خط افقی در آمد. بیشترین سرعت پر شدن دانه، طول دورهٔ پر شدن و حداکثر وزن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد و دیگر صفات تحت بررسی نیز در ترکیب تیماری سطح دوم مصرف کود نیتروژنی (یک‌دوم در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی و یک‌دوم در مرحلهٔ غنچه‌دهی) در تلقیح بذر با ازتوباکتر برآورد شد. به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری توأم تلقیح بذر با ازتوباکتر در سطح دوم زمان مصرف کود در بهبود عملکرد و دیگر صفات تحت بررسی آفتابگردان تأثیر مثبتی داشت و می‌توان با استفاده از مصرف کود نیتروژنه در زمان مناسب و تلقیح بذر با ازتوباکتر در راستای کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی ناشی از مصرف نامناسب کودهای نیتروژنی گام برداشت.

منابع

۱. اسماعیلی م ر، گلچین ا و خیاوی م (۱۳۸۱) تعیین میزان و زمان مصرف ازت در زراعت کلزا در دو نوع شرایط آب و هوایی استان زنجان. هفتمین کنگرهٔ زراعت و اصلاح نباتات ایران: ۴۴-۴۵.

۲. اکبری پ، قلاوند ا و مدرس ثانوی س ع م (۱۳۸۸) اثرات سیستم‌های مختلف تغذیه و باکتری‌های افزایندهٔ رشد بر فنولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان. تولید گیاهان زراعی. ۲(۳): ۱۱۹-۱۳۴.

۳. امام ی، سلیمی کوچی س و شکوفا آ (۱۳۸۸) تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن‌دار بر عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آبی و دیم. پژوهش‌های زراعی ایران. ۷(۱): ۳۳۲-۳۲۱.

٤. زنگانی ا (۱۳۸۱) بررسی سطوح مختلف نیتروژن بر روند رشد و عملکرد کمی و کیفی کلزا در منطقهٔ آب و هوایی اهواز. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۲۷ صفحه.

۵. سید شریفی ر (۱۳۸۸) گیاهان صنعتی. انتشارات عمیدی تبریز. چاپ دوم. ۴۲۲ صفحه.

٦. ملکوتی م ج و نفیسی م (۱۳۷۱) مصرف کود در اراضی زراعی فاریاب و دیم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران. ایران: ۲۱۴-۲۱۶.

۷. میرزاخانی م، اردکانی م ر، آینه بند ا، شیرانی راد ا ح و رجالی ف (۱۳۸۷) اثر تلقیح ازتوباکترو میکوریزا در سطوح نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ بهاره. خلاصه مقالات دهمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۳۰-۲۸ مرداد، موسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر. کرج. ۴۱۳ صفحه.

۸. میرزاشاهی ک، سلیم‌پور س، دریاشناس ع، ملکوتی م و رضایی ح (۱۳۷۹) تعیین مناسب‌ترین میزان و روش مصرف ازت در زراعت کلزا در صفی‌آباد. خاک و آب. ویژه‌نامه کلزا، ۱۲(۱۲): ۱۱-۲۱.

۹. مجیری ع و ارزانی ا (۱۳۸۲) اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۷(۲): ۱۱۶-۱۲۴.

10. Anjum MA, Sajjad MR, Akhtar N, Qureshi MA, Iqbal A, Jami AR and Hasan M (2007) Response of cotton to plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation under different levels of nitrogen. Agriculture Research. 45: 135-143.

11. Ayub M, Tanveer A, Iqbal Z, Harar MS and Azam M (1998) Response of two sunflower cultivars to different levels of nitrogen. Pakistan Journal of Biological Science. 1: 348-350.

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

13. Burd GI, Dixon DG and Glick BR (2000) Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Canadian Journal of Microbiology. 33: 237-245.

14. Cakmakci RI, Donmez MF and Erdogan U (2007) The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turkish Journal of Agriculture. 31:189-199.

15. Cho DS, Jong SK, Park YK and Son SY (1987) Studies on the duration and rate of grain filling in rice (*Oryza sativa* L.). I. Varietal difference and effects of nitrogen. Korean Journal of Crop Science. 32(1): 103-111.

16. Dahnke WC, Faning C and Cattanach A (1992) Fertilizing sunflower. North Dakota state University, NDSU Extension Service. 231

17. Doyle AD and Holford ICR (1993) The uptake of nitrogen by wheat, its agronomic efficiency and their relationship to soil and nitrogen fertilizer. Australian Journal of Agriculture Research. 44: 1245-1258.

18. Ellis RH and Pieta-Filho C (1992) The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research. 2: 19-25.

19. Fageria NK and Baligar VC (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advance Agronomy. 88: 97-185.

20. Fages J and Arsac JF (1991) Sunflower inoculation with Azospirillum and other plant growth promoting rhizobacteria. Plant and Soil. 137: 87-90.

21. Glick BR (1998) A model for the lowering of plant ethylene concentration by PGPR. Theorical Biolology. 190: 63-68.

22. Grant AU, Stobbe EH and Rocz GJ (1985) The effect of fall applied N and fertilizer and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero tilled land in Manitoba. Canadian Journal of Soil Science. 65: 621-628.

23. Idris M (2003) Effect of integrated use of mineral and organic N and *Azotobacter* on the yield, yield components and N-nutrition on wheat. Pakistan Journal of Biological Science. 6(6): 539-543.

24. James EH and Paulsen GM (2004) Nitrogen assimilation and protein synthesis in wheat seedlings ass affected by mineral nutrition. Plant Phsiology. 44(5): 636-640.

25. Kato T (1999) Genetic environmental variations and association of the characters related to the grain filling processing rice cultivars. Plant Science. 2(1): 32-36.

26. Kaya YK, Arisoy RZ and Gocman A (2002) Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc genotypes by zinc fertilization. Pakistan Journal of Biological Science. 1(4): 142-144.

27. Kennedy IR, Choudhury AT and Kecskes ML (2004) Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry. 36: 1229-1244.

28. Kumari SL and Valarmathi G (1998) Relationship between grain yield grain filling rate and duration of grain filling in rice. Agriculture. 85: 210-211.

29. Manske GB, Luttger A, Behi RK, Vlek PG and Cimmit M (2000) Enhancement of mycorhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chrooccum* in wheat. Plant Breeding. 13: 78-83

30. Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. San Diego, CA. USA. 112-115.

31. Moll RH, Kamprath EJ and Jackson WA (1982) Analysis and inter pretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy. 74: 262-264.

32. Murchie EH, Yang J, Hubbart S, Horton P and Peng S (2002) Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? European Science. 53: 2217-2224.

33. Narula N, Kumar V, Behil R, Deubel A, Gransee A and Merbach W (2000) Effect of solubilizing (*Azotobacter chroococcum*) on N,P,K uptake in responsive wheat genotypes grown under greenhouse condition. Plant Nutrition and Soil Science. 163 (4): 393-398.

34. Quatrano RS (1990) The role of hormones during seed development. In P. J. Davis, Plant hormones and their role in plant growth and

development. Kulwer Academic Publishers, the Netherlands. Pp. 494 -514.

35. Robinson RG, Ford JH, Lueschen WE, Rabas DL, Smith LJ, Waranes DD and Wiersman JV (1980) Response of sunflower to Plant population. Agronomy. 72: 869-871.

36. Roesti D, Gaur R, Johri BN, Imfeld G, Sharma S, Kawaljeet K and Aragno M (2006) Plant growth stage, fertilizer management and bioinoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry. 38. 1111–1120.

37. Ronanini D, Savin R and Hall AJ (2004) Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crop Research. 83: 79-90.

38. Salehi F and Bohrani MJ (2000) Sunflower summer- planting yield as affected by plant population and nitrogen application rates. Agriculture Research. 18: 63-72.

39. Scheiner JD, Gutierrez-Boem FH and Lavado RS (2002) Sunflower nitrogen requirement and N fertilizer recovery in western pampas, Argentina. European Journal of Agronomy. 17: 73-79.

40. Seiler GJ (2007) Wild annual *Helianthus anomalous* and *H. diametrical* for improving oil content and quality in sunflower. Industrial Crops and Products. 25: 95-100.

41. Shaukat K, Afrasayab S and Hasman S (2006) Growth responses of *Helianthus annus* L. to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertizer. Agriculture Research. 1: 573-581.

42. Shehata MM and EL-Khawas SA (2003) Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. Pakistan Journal of Biological Science. 6(14): 1257-1268.

43. Soleimanzadeh H, Habibi D, Ardakani MR, Paknejad F and Rejali F (2010) Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with *Azotobacter* under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 7(3): 265-268.

44. Sowers KE, Pan EL, Miller BC and Smith JL (1994) Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. Agronomy. 86:942-948.

45. Steer B and Hocking PJ (1983) Leaf and floret production in sunflower as affected by nitrogen supply. Botany. 52: 267-277.

46. Steer BT, Coaldrake PD, Pearason CJ and Canty CP (1986) Effect of nitrogen supply and population density on plant development and yield compontes of irrigated sunflower. Field Crops Research. 13: 99-115.

47. Sturz AV and Christie Y (2003) Beneficial microbial alleloplathies in the root zone: the man a gement of soil quality and disease with rhizobacteria. Soil Tillage Research. 72:107-123.

48. Taiz L and Zeiger E (1998) Plant Physiology. Sinayer Associates, Inc., Publisher. Sunderland. Massachusetts. 757.

49. Tsuno Y, Yamaguchi T and Nakano J (1994) Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of

source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Bull. Faculty of Agriculture Tottori University. 47: 1-10.

50. Wani SP, Chandrapalaiah S, Zambre MA and Lee KK (1988) Association between nitrogen-fixing bacteria and pearlmillet plants, responses mechanisms and resistance. Plant and Soil. 110: 284-302.

51. Wu SC, Cao ZH, Li ZG and Cheung KC (2005) Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a green house trial. Geoderma. 125: 155-166.

52. Yamaguchi T, Tsuno Y, Nakano J and Miki K (1995) Influence of nitrogen content on grain weight at the early ripening stage and relationship between root respiration and leaf area per spiklet of rice plants. Agronomy. 33:251-258.

53. Zahir AZ, Abbas SA, Khalid A and Arshad M (2000) Substrate dependent microbial derived plant hormones for improving growth of maize seedling. Pakistan Journal of Biological Science. 3: 289-291.

54. Zaidi A and Mohammad S (2006) Co-inoculation effects of phosphate solubilizingmicro-organisms and glomus fasciculatum on green gram Brady rhizobium symbiosis. Agriculture Science. 30: 223-230.

55. Zubrishi JC and Zimmerman DC (1974) Effect of nitrogen, phosphorus, and plant Density on sunflower. Agronomy. 66: 798-801.