تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بر عملکرد و سرعت و دوره پر شدن دانه تریتیکاله

حسین کمری[۱] و رئوف سید شریفی[*۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۱۲)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه تریتیکاله، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، به صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. تیمارها شامل محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در پنج سطح (عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۰ گرم در لیتر) و تلقیح بذر با PGPR در چهار سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری به عنوان شاهد، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلیوم لیپوفروم استرین OF و سودوموناس پوتیدا استرین ۹) بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد، اجزای عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه با کاربرد یک گرم در لیتر نانو اکسید روی×تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن‌ها در عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد× عدم محلول‌پاشی با نانو اکسید روی به دست آمد. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای بیولوژیک و ریزمغذی روی، روشی بسیار مناسب و ارزان برای افزایش عملکرد تریتیکاله است. از این رو، می‌توان پیشنهاد کرد که به منظور افزایش عملکرد دانه و طول دوره پر شدن دانه، تلقیح بذر تریتیکاله با ازتوباکتر به همراه محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های افزاینده رشد، سرعت پر شدن دانه

مقدمه

تریتیکاله غله‌ی جدیدی است که به‌وسیله انسان و در نتیجه تلاقی ژنوم‌های گندم و چاودار به‌وجود آمده است. این گیاه واجد خصوصیات مطلوب چاودار، از جمله رشد سریع و قابلیت تولید در اراضی فقیر و کم‌بازده، بوده و از طرف دیگر دارای خصوصیات برتر کیفی و زراعی گندم می‌باشد (۳). این ویژگی، ضرورت توجه به گسترش سطح زیر کشت و افزایش تولید در واحد سطح را در این گیاه بیش از پیش نمایان می‌سازد.

امروزه یکی از شیوه‌های بیولوژیک برای افزایش کمی و کیفی عملکرد، استفاده بالقوه از میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی همانند باکتری‌های محرک رشد است که می‌توانند به روش‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. این باکتری‌ها، با تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین، سیتوکینین و اکسین، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (۳۸). این گروه از باکتری‌ها به طور طبیعی در خاک وجود دارند. ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک کم است. بنابراین، تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و منجر به بروز

۱. دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Raouf_ssharifi@yahoo.com

اثر مفید آن‌ها در خاک شود (۱۵). از میان این باکتری‌ها، آزوسپریلیوم، ازتوباکتر و سودوموناس به دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان مهم زراعی نظیر ذرت، سورگوم و گندم توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند (۳۱). تأثیر مثبت تلقیح با باکتری آزوسپریلیوم بر ارتفاع بوته، اندازه برگ، طول و حجم ریشه و میزان ماده خشک در انواع مختلفی از غلات ثابت شده است (۳۳ و ۴۳). جاگنو و همکاران (۲۵) افزایش ۴۰ درصدی عملکرد دانه گندم و جو را به واسطه تلقیح با باکتری‌های آزوسپریلیوم و ازتوباکتر گزارش کردند. کاپولنیک و همکاران (۲۶) دریافتند که تلقیح گندم و سورگوم با آزوسپریلیوم موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کل ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد سنبلچه‌ها در سنبله‌های گندم گردید. الزمرانی و همکاران (۱۹) اظهار داشتند که مقدار پروتئین، عملکرد دانه و وزن هزار دانه ذرت به‌واسطه تلقیح با *A.lipoferum* افزایش یافت. یاداو و همکاران (۴۵) گزارش کردند که در شرایط گلخانه‌ای، تلقیح با گونه‌هایی از ازتوباکتر موجب افزایش ارتفاع، بیوماس و عملکرد دانه گندم شد. بهاتارای و هس (۱۲) ازدیاد محصول در اثر تلقیح با آزوسپریلیوم را به افزایش تعداد دانه در هر سنبله نسبت دادند.

روی، عنصری ریزمغذی است که در مقادیر بسیار کم برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیک مثل فتوسنتز و سنتز پروتئین نیاز است (۳۰). کمبود آن در مناطق خشک و نیمه خشک، خاک‌های شنی و فرسایش یافته و بخصوص در خاک‌های آهکی (۴۴) و خاک‌های سدیمی و غرقابی بدون تهویه (۴۱) شیوع بیشتری دارد. کشت مداوم، مصرف همه ساله و بیش از نیاز کودهای فسفره، آبشویی و سایر شرایط حاکم بر خاک‌های آهکی، از جمله وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم، pH قلیایی و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریزمغذی و کودهای آلی موجب کاهش ذخیره این عنصر در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد شده است. مقدار برداشت و خروج عناصر غذایی کم‌مصرف به دلیل برداشت بیشتر محصول از خاک که با کاشت ارقام اصلاح شده، مصرف کودهای شیمیایی و مدیریت بهتر حاصل شده، بسیار زیاد است. با توسعه کشاورزی، هر روز مقدار بیشتری از عناصر کم‌مصرف از خاک خارج می‌گردد (۴). بگوم و همکاران (۱۱) گزارش کردند که کاربرد روی در کشت برنج، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوای پروتئین و غلظت روی را در دانه و اندام هوایی افزایش داد. ییلماز و همکاران (۴۶) نشان دادند که مصرف روی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن، از جمله تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه می‌شود که از بین این اجزا، تأثیر روی بر تعداد خوشه در متر مربع شدیدتر بود. دولین و ویتهام (۱۸) اظهار داشتند که به دلیل نقش اساسی این عنصر در گیاه، که به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشدی مانند اکسین دخالت دارد، انتظار می‌رود که با تولید مواد فتوآسیمیلاتی بیشتر و ذخیره سازی آن در دانه‌ها به عنوان مخزن ذخیره، منجر به افزایش عملکرد بیش از حد انتظار شود.

وزن دانه به عنوان یکی از اجزای مهم تعیین‌کننده عملکرد دانه، به شدت تحت تأثیر سرعت و طول دوره پر شدن دانه قرار می‌گیرد. ارتباط بین سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه با وزن دانه می‌تواند راه‌گشایی برای محققین در جهت رسیدن به حداکثر عملکرد باشد. پر شدن دانه از دو عامل سرعت و طول دوره پر شدن از مواد پرورده که نتیجه آن افزایش وزن خشک دانه است پیروی می‌نماید (۲۷). میزان مواد فتوسنتزی که به دانه‌ها می‌رسند به سرعت و طول دوره پر شدن دانه بستگی دارد (٦). در این راستا، بهره‌گیری از نژادهای مختلف باکتری‌های محرک رشد می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. چرا که با تولید هورمون‌های رشد و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی، دوره مؤثر پر شدن دانه را افزایش می‌دهند (۲). دوره پر شدن دانه مرحله 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 (۲۸). کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان آسیمیلاسیون، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده و

جدول ۲. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	pH	درصد اشباع	آهک (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)
مقدار	۷/۸	۴۷	۱۵	۲۳	۴۲	۳۵	لوم	۰/۶۲	۰/۰۶۲	۲۹/۸۲	۲۱۲

جدول ۱. مشخصات نانو اکسید روی مورد استفاده

وزن	۱۰۰ گرم
خلوص	٪۹۹
متوسط اندازه ذرات (APS)	کم‌تر از ۳۰ نانو متر nm ۳۰ >
سطح ویژه (SSA)	$> ۳۰ m^2/g$
شکل ظاهری	پودر قرمز

سرعت پر شدن دانه را افزایش می‌دهد (۲). کوماری و والارماتی (۲۹) اظهار داشتند که دانه‌های با وزن بیشتر، از سرعت پر شدن زیادتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند. اهمیت تریتیکاله در استفاده دو منظوره از آن، نقش روی و باکتری‌های محرک رشد در بهبود عملکرد کمی و کیفی، کمبود بررسی‌های انجام شده در خصوص برهمکنش توأم باکتری‌های محرک رشد و ریزمغذی روی موجب شد تا در پژوهش حاضر، کاربرد توأم نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های PGPR بر عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه تریتیکاله مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بر عملکرد و سرعت و دوره پر شدن دانه تریتیکاله، آزمایشی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح تلقیح (عدم تلقیح بذر با باکتری به عنوان شاهد، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلیوم لیپوفروم استرین OF و سودوموناس پوتیدا استرین ۹) و پنج سطح نانو اکسید روی (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۰ گرم در لیتر) بود. نانو اکسید روی تولید کشور چین بود که از شرکت نوترینو تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۱ درج شده است.

باکتری‌های فوق از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند و رقم مورد استفاده جوانیلو بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. برای تلقیح بذرها با باکتری‌های مورد نظر، میزان ۷ گرم مایه تلقیح، که هر گرم آن حاوی $۱۰^۷$ عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده شد. پس از تهیه خاک یکدست، ۱۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند و به این ترتیب حجم یکسانی از خاک درون گلدان‌ها ریخته شد. سپس ۵۰ عدد بذر در هر گلدان برای اعمال تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع، که تراکم مطلوب و توصیه شده برای رقم جوانیلو است، به صورت ردیفی کشت شد. از محلول صمغ عربی به نسبت ٪۱۰ وزنی-حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این محلول به مدت ۴ ساعت در تاریکی و دور از نور مستقیم قرار گرفت. محلول‌پاشی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله ۳ تا ۴ برگی و مرحله قبل از ظهور سنبله) انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد نگهداری شدند، مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

به منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف روی و باکتری‌های محرک رشد بر سرعت پر شدن دانه، نمونه‌برداری از ۱۵ روز بعد از گل‌دهی در فواصل زمانی هر ۴ روز یکبار انجام شد. در

این مرحله، ۱۶ بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه انتخاب گردید. هر بار دو خوشه از هر گلدان انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از خوشه جدا شده و به مدت ۲ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (۳۷). به منظور برآورد، تجزیه، تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه، از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه‌ای) براساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nlin نرم‌افزار SAS به صورت زیر استفاده گردید:

$$GW = \begin{cases} a+bt_0 & t<t_0 \\ a+bt & t>t_0 \end{cases} \qquad [۱]$$

که GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل، تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها، ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه، یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه ۱ قرار داده شد و GW محاسبه گردید. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه ۲ به صورت زیر استفاده شد (۲۰):

$$EFP = MGW / GFR \qquad [۲]$$

که EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است. به منظور تعیین وزن و حجم ریشه در مرحله رسیدگی، ریشه به طور کامل جدا شده و پس از شستشوی ریشه‌ها، وزن و حجم آن‌ها تعیین شد. برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، ۱۰ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف‌بر شد و سپس ارتفاع گیاه، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر نانو اکسید روی، باکتری‌های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، طول پدانکل، وزن صد دانه، عملکرد تک بوته، وزن و حجم ریشه و سرعت و طول دوره مؤثر پر شدن دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳).

ارتفاع بوته

با افزایش غلظت نانو اکسید روی، ارتفاع بوته افزایش یافت. بیشترین ارتفاع بوته (۸۰/۴ سانتی‌متر) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی در تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۵۵/۵۲ سانتی‌متر) در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). روی از عناصر کم‌مصرف ضروری است که برای رشد طبیعی گیاهان زراعی ضروری است (۵) و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون گیاهی اکسین به کار می‌رود (۴۰). براون و همکاران (۱۳) اعلام کردند که مصرف روی در گندم موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد پنجه و تسریع در رسیدگی می‌گردد. باکتری‌های PGPR به روش‌های مختلفی، از جمله تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود بخشیده و موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردند. کاپولنیک و همکاران (۲۶) اثر افزایشی آزوسپریلیوم را بر ارتفاع گیاه گزارش کردند.

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف نانو اکسید روی حاکی از آن

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسید روی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، برخی صفات مرتبط با عملکرد و سرعت و طول دوره پر شدن دانه تریتیکاله

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	طول پدانکل	وزن صد دانه	عملکرد تک بوته	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	سرعت پر شدن دانه	دوره مؤثر پر شدن دانه	طول دوره پر شدن	حداکثر وزن دانه
تکرار	۲	۳/۵۲۸ ns	۰/۰۶۶۳ns	۴/۲۷۶ns	۴۷/۶۳ **	۰/۲۲ ns	۰/۰۵۰۵ *	۰/۰۰۰۳۰۶ns	۰/۰۰۰۶ns	۸/۲**	۱۳۹/۹ **	۳۱۵/۴۱**	۰/۰۰۰۳۴۶ **
باکتری	۳	۱۷۱/۶۳**	۱/۶۳۹**	۳۰۹/۲۱**	۱۴/۸۲۶*	۰/۴۶۸**	۰/۸۶۵**	۰/۰۱۹۹**	۰/۰۵۵۲**	۱ **	۱۳/۲۹ **	۲/۵۶**	۰/۰۰۰۲۱۵ **
روی	۴	۲۹۰/۸۶**	۳/۶۱**	۳۸۶/۰۲**	۳۷/۷۳۹**	۰/۶۹۳**	۱/۱۴۶**	۰/۰۴۱۴××	۰/۱۲۷۲××	۳/۱۱ **	۶/۷۲ **	۱/۳۲۶**	۰/۰۰۰۳۶۳**
روی×باکتری	۱۲	۲۷/۴۳**	۰/۲۲۶**	۲۲/۳۷۶ **	۵/۶۷۴ns	۰/۰۱۷۱ns	۰/۰۷۷۱**	۰/۰۰۰۳۵۳ns	۰/۰۰۱۱ns	۸/۳۳ **	۱/۸۴ **	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۰۰۰۶۸**
خطا	۳۸	۱/۱۵۴	۰/۰۷۷۹	۲/۷۱۱	۴/۷۱۳	۰/۱۲۴	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۰۴۱۹	۰/۰۰۲۷	۳/۱۵۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳۸
ضریب تغییرات	–	۱/۴۷۱	۲/۶۶۸	۳/۷۴۷	۷/۰۳۷	۸/۱۳	۵/۷۷۵	۵/۲۸۷	۶/۱۰۱	۱/۱۷۹	۰/۴۷	۰/۱۳۲	۱/۴۷۴

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری صفات مورد ارزیابی تحت سطوح مختلف محلول‌پاشی نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد

ترکیب تیماری	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد دانه در سنبله	عملکرد تک بوته (گرم)
عدم محلول‌پاشی × عدم تلقیح بذر با باکتری	۵۵/۵۲ k	۹/۱۳ j	۲۶/۸ k	۰/۹۹۵ n
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۷۱/۰۳ gh	۹/۹۸ ghi	۴۴/۶ gh	۱/۸۸۷ hij
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۷۱/۲۵ fgh	۱۰/۲۴ efgh	۴۲/۳۳ hi	۱/۷۹۱ ijk
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با سودوموناس	۶۹/۹۲ h	۹/۷۲ i	۳۶/۹۳ j	۱/۵۱۸ lm
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۶۴/۶۳ j	۹/۶۶ i	۳۴/۸۶ j	۱/۴۴۶ m
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۷۳/۳۸ e	۹/۸۲ hi	۴۰ i	۱/۹۴۷ ghi
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۶۹/۴۸ h	۱۰/۳۸ efg	۴۲/۱۳ hi	۱/۶۶۵ kl
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۷۱/۷۶ efg	۱۰/۲۴ efgh	۴۰/۳۶ i	۱/۷۶۳ jk
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۶۷/۵ i	۱۰/۱۰ fgh[i]	۳۵/۸ j	۱/۴۰۹ m
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۷۲/۸۶ ef	۱۰/۵۲ def	۴۵/۶ fg	۱/۹۸۷ gh
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۷۲/۸ efg	۱۱ bc	۴۴/۰۶ gh	۲/۰۳۱ efgh
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۷۶/۵۲ cd	۱۰/۶۶ cde	۴۸/۴ de	۲/۱۷۴ cdef
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۷۵/۹۷ d	۱۰/۴۹ ef	۴۲/۶۶ hi	۱/۹۹۳ fgh
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۷۸/۲۶ bc	۱۱/۲۶ ab	۵۱/۹۳ bc	۲/۳۵۸ b
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۷۷/۵۴ bcd	۱۰/۵۵ cdef	۴۸/۲۶ def	۲/۱۹۳ bcde
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۷۸/۹۲ ab	۱۱/۱۴ ab	۵۰/۱۳ cd	۲/۲۴۷ bcd
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۷۶/۲۸ d	۱۰/۴۸ ef	۴۶/۲۶ efg	۲/۰۸۲ defg
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۸۰/۴ a	۱۱/۵۳ a	۵۴/۸ a	۲/۵۷۸ a
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۸۰/۲۷ a	۱۱/۲۸ ab	۵۳/۳۳ ab	۲/۲۸ bc
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۷۶/۱۴ d	۱۰/۹۷ bcd	۴۹/۴۶ cd	۲/۱۲۶ cdefg
$LSD_{5\%}$	۱/۷۷۵	۰/۴۶۱	۲/۷۲	۰/۱۸۳

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم ندارند

است که بیشترین طول سنبله (۱۱/۵۳ سانتی‌متر) و تعداد دانه در سنبله (۵۴/۸) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و تلقیح با ازتوباکتر و کمترین آن‌ها به ترتیب معادل ۹/۱۳ سانتی‌متر و ۲۶/۸ دانه در سنبله در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). رنگل و گراهام (۳۶) اعلام نمودند که با تأمین عنصر روی همراه با سایر عناصر مورد نیاز گندم، تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد دانه افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات همانترانجان و گرگ (۲۴) نشان داد که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در متر مربع، طول خوشه و وزن هزار دانه شد. این محققین اعلام نمودند که در اثر مصرف این عناصر، مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین دانه افزایش می‌یابد و با افزایش کربوهیدرات، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه افزایش می‌یابد که این عوامل موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردند. ارزانش و همکاران (۷) افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت افزایش عملکرد گندم در اثر تلقیح بذر با آزوسپریلیوم لیپوفروم را گزارش کردند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی باکتری‌های محرک رشد و مقادیر روی بر برخی صفات تریتیکاله

		طول پدانکل (cm)	وزن صد دانه (g)	وزن خشک ریشه (g)	حجم ریشه (cm^3)
تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد	عدم تلقیح	۲۹/۵۰۶ b	۴/۱۳۵ b	۰/۳۳۵ c	۰/۷۷۲ c
	ازتوباکتر	۳۱/۹۰۶ a	۴/۵۶۵ a	۰/۴۰۶ ab	۰/۸۷۵ b
	آزوسپریلیوم	۳۰/۹۶۸ ab	۴/۳۰۹ ab	۰/۴۱۶ a	۰/۹۱۵ a
	سودوموناس	۳۱/۰۲۴ ab	۴/۳۵۶ ab	۰/۳۹۱ b	۰/۸۶۶ b
مقادیر روی محلول‌پاشی (گرم در لیتر)	عدم محلول‌پاشی	۲۹/۲۶ b	۴/۰۱۸ d	۰/۳۱۱ e	۰/۷۳۲ e
	۰/۲۵	۲۹/۵۲ b	۴/۲۲۹ cd	۰/۳۴۹ d	۰/۷۹۷ d
	۰/۵	۲۹/۹۱ b	۴/۳۱۱ bc	۰/۳۹۰ c	۰/۸۵۳ c
	۰/۷۵	۳۲/۶۱ a	۴/۵۲۳ ab	۰/۴۳۱ b	۰/۸۹۹ b
	۱	۳۲/۹۳ a	۴/۶۲۴ a	۰/۴۵۵ a	۱/۰۰۳ a

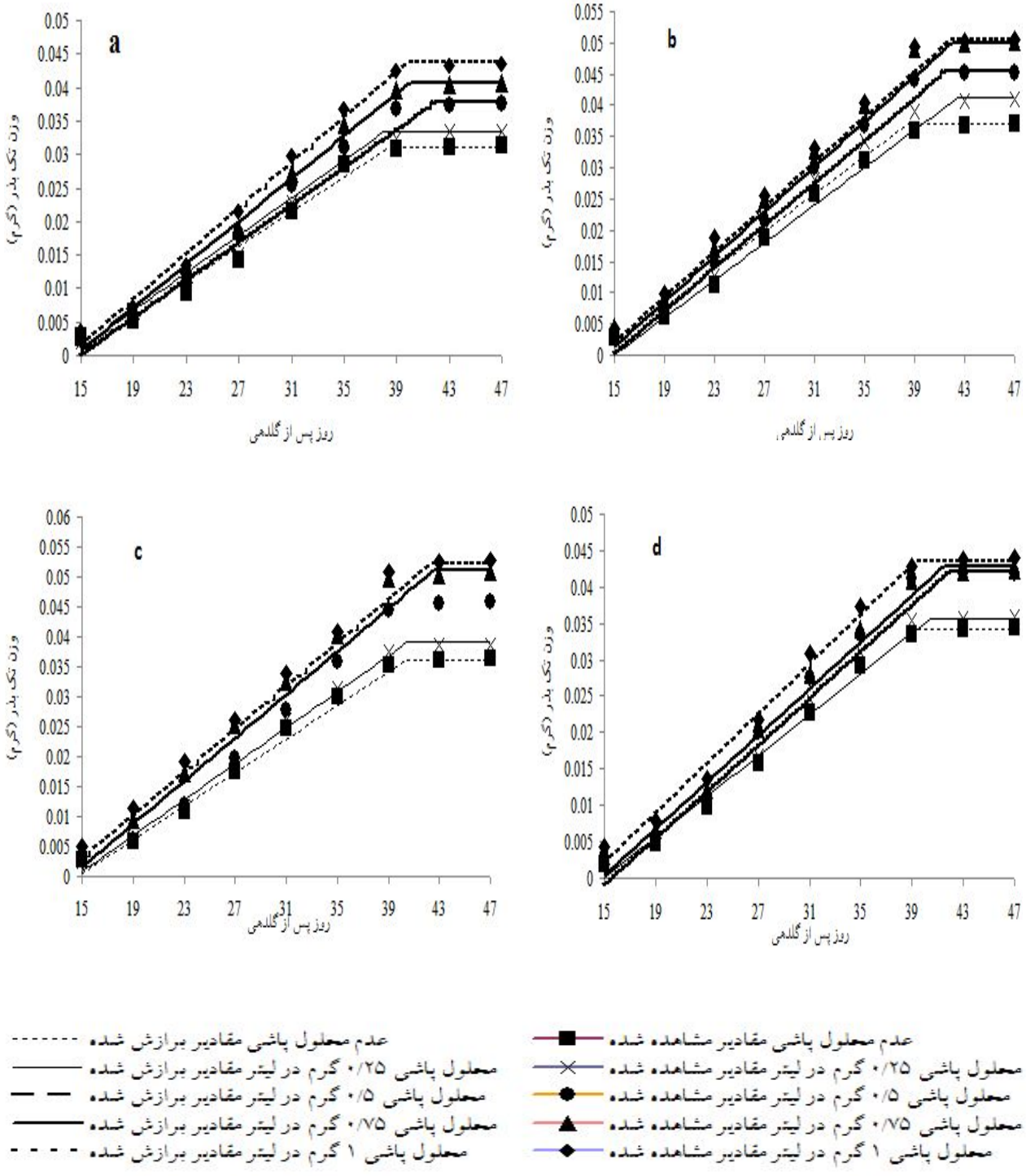
در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم ندارند.

طول پدانکل

با افزایش سطح نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، طول پدانکل افزایش یافت، به طوری که بیشترین طول پدانکل در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۵). محمد و همکاران (۳۲) گزارش کردند که کاربرد روی به طرق مختلف، بخصوص به طریقه محلول‌پاشی، عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد. آزمایش‌های مختلف نشان داده که تلقیح گیاهان توسط آزوسپریلیوم موجب تغییر معنی‌دار پارامترهای رشدی در غلات، از جمله ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل می‌شود (۱۰).

وزن صد دانه و عملکرد تک بوته

بیشترین وزن صد دانه در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن در ترکیب تیماری شاهد به دست آمد (جدول ۵). همچنین، بیشترین وزن دانه در سنبله (۲/۵۷۸ گرم) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۰/۹۹۵ گرم) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). افزایش وزن صد دانه در گیاه در اثر تلقیح با باکتری را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد در گسترش ریشه، اعم از وزن و حجم ریشه، نسبت داد که با کمک به جذب آب و عناصر غذایی، در نهایت به بهبود رشد و افزایش فتوسنتز گیاه منجر می‌شوند. ازتوباکتر و آزوسپریلیوم قادرند با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی همچون تثبیت نیتروژن اتمسفری، تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین، جیبرلین و ویتامین‌های B، ترشح سیدروفور و اسیدهای آلی در ریزوسفر، عملکرد را در گیاهان افزایش دهند (۳۹). از جمله نتایج تلقیح گیاهان با این باکتری‌ها می‌توان به افزایش عملکرد، تأثیر بر وزن دانه و سایر اجزای عملکرد اشاره کرد (۱۷). بررسی ظهیر و همکاران (۴۷) نیز مشخص ساخت که در اثر تلقیح بذر ذرت با ازتوباکتر و سودوموناس، وزن هزار دانه به میزان ۹/۶ درصد افزایش یافت. پاتیدار (۳۵) افزایش عملکرد دانه در گندم و سورگوم را در اثر تلقیح با باکتری سودوموناس عمدتاً به تولید مواد محرک رشد توسط این باکتری‌ها نسبت داد. کارلیر و همکاران (۱۶) نشان دادند که تلقیح گندم با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند سبب افزایش ۶ درصدی وزن هزار دانه، ۱۳ درصدی تعداد سنبله و ۳۰ درصدی تعداد دانه در سنبله شود. دولین و ویتهام (۱۸) اظهار داشتند که به دلیل نقش اساسی عنصر روی در گیاه که به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشد، همانند اکسین، دخالت دارد، می‌تواند



شکل ۱. روند تغییرات سرعت و طول دوره پر شدن دانه در سطوح مختلف محلول‌پاشی نانو اکسید روی در عدم تلقیح با باکتری (a)، تلقیح با ازتوباکتر (b)، تلقیح با آزوسپریلیوم (c) و تلقیح با سودوموناس (d).

سلول‌های گیاهی بیشتر و در نتیجه مواد خشک زیادتری را تولید و در دانه‌ها به عنوان مخزن ذخیره نموده و موجب افزایش عملکرد شود. تاندون (۴۲) افزایش عملکرد گندم بر اثر مصرف روی، آهن و منگنز را به ترتیب ۷۸۰، ۸۶۰ و ۵۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد. چکمک و همکاران (۱۴) با مصرف ۲۳ کیلوگرم کود حاوی روی، افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه گزارش کردند.

وزن و حجم ریشه

براساس نتایج معلوم گردید که وزن و حجم ریشه با افزایش سطح نانو اکسید روی در تمامی ترکیبات تیماری افزایش یافت. در بین ترکیبات تیماری، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم در بالاترین سطح نانو اکسید روی، بیشترین وزن ریشه را به خود اختصاص داد و کمترین مقدار نیز مربوط به عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بود (جدول ۵). پان و همکاران (۳۴) اثر کاربرد PGPR را بر شاخص‌های رشد ریشه، از جمله افزایش سطح کل ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کشنده، افزایش تقسیم سلول‌های مریستم ریشه و تحریک تراوش‌ها از ریشه گیاهان مثبت گزارش نمودند. فالیک و همکاران (۲۱) افزایش سطح ریشه ذرت در اثر ترشح اکسین به وسیله باکتری آزوسپریلیوم برازیلنس را گزارش کردند. از عمده‌ترین تغییراتی که در مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح شده با آزوسپریلیوم مشاهده گردیده می‌توان به افزایش تقسیم سلولی در ریشه، افزایش تعداد تارهای موئین، افزایش تعداد ریشه‌های جانبی (فرعی)، کاهش فاصله بین نوک ریشه و منطقه تارهای موئین و افزایش تعداد انشعاب تارهای موئین اشاره نمود (۸). فولچیری و فریونی (۲۲) در شرایط مزرعه‌ای، افزایش وزن خشک ریشه در اثر کاربرد آزوسپریلیوم لیپوفروم بر ذرت را گزارش نمودند. همچنین، بیشترین حجم ریشه در ترکیب تیماری یک گرم در لیتر نانو اکسید روی و تلقیح با آزوسپریلیوم و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۵). باشان و همکاران (۹) اظهار داشتند که تلقیح غلات با آزوسپریلیوم سبب افزایش حجم و تعداد ریشه می‌شود. آن‌ها توسعه و گسترش حجم ریشه را به افزایش هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌ها نسبت دادند.

سرعت و دوره پر شدن دانه

براساس نتایج این پژوهش مشخص گردید که با افزایش میزان نانو اکسید روی، سرعت و طول دوره پر شدن دانه در تمامی تیمارهای مورد بررسی افزایش یافت (جدول ۶). تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه و افزایش سرعت پر شدن دانه، در مقایسه با تیمار شاهد شد. تأثیر سطوح مختلف نانو اکسید روی بر سرعت و طول دوره پر شدن دانه تریتیکاله در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در شکل ۱ و معادلات رگرسیونی برازش شده برای هر ترکیب تیماری در جدول ۶ آورده شده است. بررسی روند تغییرات سرعت پر شدن دانه در تلقیح بذر با PGPR در سطح ثابت از نانو اکسید روی، نشان داد که الگوی نمو بذر در کلیه ترکیب‌های تیماری مشابه است. بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافت و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله، وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به صورت یک خط افقی در آمد.

براساس نتایج به‌دست آمده، مشخص گردید که بین باکتری‌های محرک رشد در سطح ثابتی از نانو اکسید روی، از نظر سرعت پر شدن، دوره مؤثر پر شدن، حداکثر وزن دانه و طول دوره پر شدن دانه تفاوت وجود داشت. به عبارتی، شیب خطی برازش شده برای ترکیبات تیماری مختلف یکسان نبود (جدول ۶). حداکثر وزن تک بذر (۰/۰۵۲۷ گرم) در بالاترین سطح نانو اکسید روی و تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم و حداقل وزن آن (۰/۰۳۱۳ گرم) در تیمار شاهد مشاهده شد. به عبارتی، با افزایش میزان نانو اکسید روی، وزن تک بذر افزایش و با کاهش آن کاهش یافت. به نظر می‌رسد که با کاربرد باکتری، میزان آسیمیلاسیون افزایش یافته و موجب ازدیاد

جدول ۶. تأثیر سطوح مختلف نانو اکسید روی و باکتری‌های محرک رشد بر وزن تک بذر، دوره مؤثر و سرعت و طول دوره پر شدن دانه.

ترکیب تیماری	سرعت پر شدن دانه (گرم در روز)	دوره مؤثر پر شدن دانه (روز)	طول دوره پرشدن دانه (روز)	حداکثر وزن دانه (گرم)	معادله برازش شده
عدم محلول‌پاشی × عدم تلقیح بذر با باکتری	۰/۰۰۱۲ f	۲۴/۱۴ o	۳۸/۴۷ n	۰/۰۳۱۳ m	Y= -0.0189+0.0013X
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۰/۰۰۱۳ e	۲۶/۵ gh	۳۹/۳۳ kl	۰/۰۳۷۰ ij	Y= -0.0207+0.0014X
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۰/۰۰۱۳ e	۲۶ ij	۳۹/۶۷ fg	۰/۰۳۶۳ jk	Y= -0.0205+0.0014X
عدم محلول‌پاشی × تلقیح بذر با سودوموناس	۰/۰۰۱۳ e	۲۴/۵۶ n	۳۹/۴۴ ij	۰/۰۳۴۳ l	Y= -0.021+0.0014X
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۰/۰۰۱۲ f	۲۵/۷۵ k	۳۹/۲ m	۰/۰۳۳۴ l	Y= -0.0199+0.0013X
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۰/۰۰۱۴ d	۲۷/۲۵d	۳۹/۷۲ ef	۰/۰۴۰۸ fg	Y= -0.0225+0.0015X
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۰/۰۰۱۴ d	۲۵/۸ jk	۳۹/۸۰ e	۰/۰۳۸۶ h	Y= -0.0217+0.0015X
محلول‌پاشی با ۰/۲۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۰/۰۰۱۳ e	۲۵/۷۰ kl	۳۹/۲۶ lm	۰/۰۳۶۰ k	Y= -0.021+0.0014X
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۰/۰۰۱۳ e	۲۶/۷۷ f	۳۹/۵۱ hi	۰/۰۳۷۴ i	Y= -0.021+0.0014X
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۰/۰۰۱۶ b	۲۶/۶۳ fg	۳۹/۸۰ e	۰/۰۴۵۲ c	Y= -0.0252+0.0017X
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۰/۰۰۱۶ b	۲۷ e	۴۰/۷۳ a	۰/۰۴۵۸ c	Y= -0.0268+0.0017X
محلول‌پاشی با ۰/۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۰/۰۰۱۵ c	۲۶/۱۷ i	۳۹/۹۰ d	۰/۰۴۱۸ ef	Y= -0.025+0.0016X
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۰/۰۰۱۵ c	۲۵/۴۲ m	۳۹/۶۰ gh	۰/۰۴۰۶ g	Y= -0.0232+0.0016X
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۰/۰۰۱۷ a	۲۷/۸۲ c	۴۰/۱۰ b	۰/۰۵۰۰ b	Y= -0.0256+0.0018X
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۰/۰۰۱۷ a	۲۸/۱۵ b	۴۰/۱۷ b	۰/۰۵۰۶ b	Y= -0.0255+0.0018X
محلول‌پاشی با ۰/۷۵ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۰/۰۰۱۵ c	۲۶/۴۲ h	۳۹/۹۶ cd	۰/۰۴۲۲ e	Y= -0.0236+0.0016X
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × عدم تلقیح بذر با باکتری	۰/۰۰۱۶ b	۲۵/۵۱ lm	۳۹/۴ jk	۰/۰۴۳۳ d	Y= -0.0241+0.0017X
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با ازتوباکتر	۰/۰۰۱۷ a	۲۸/۰۴ b	۴۰ c	۰/۰۵۰۴ b	Y= -0.0251+0.0018X
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با آزوسپریلیوم	۰/۰۰۱۷ a	۲۹/۳۲ a	۴۰/۷۴ a	۰/۰۵۲۷ a	Y= -0.0242+0.0018X
محلول‌پاشی با ۱ گرم در لیتر × تلقیح بذر با سودوموناس	۰/۰۰۱۶ b	۲۵/۸۱ jk	۳۹/۳۶ jk	۰/۰۴۳۸ d	Y= -0.0235+0.0017X
$LSD_{5\%}$	۲۹۴	۰/۲۰۶	۰/۰۸۶۹	۰/۰۰۱	

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم ندارند

نقل و انتقال مواد به دانه شده و پر شدن دانه افزایش می‌یابد.

گلیک و همکاران (۲۳) اعلام نمودند که شواهدی دال بر افزایش فراهمی عناصر غذایی گیاه در ریزوسفر به‌دلیل فعالیت باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه وجود دارد. نتایج نشان داد که طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه با کاربرد باکتری‌های محرک رشد و افزایش سطح نانو اکسید روی افزایش یافت (جدول ۶). حداکثر طول دوره پر شدن دانه (۴۰/۷۴ روز) و دوره مؤثر پر شدن دانه (۲۹/۳۲ روز) به ترکیب تیماری یک گرم در لیتر نانو اکسید روی× تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و حداقل طول این دوره‌ها (به ترتیب ۳۸/۴۷ و ۲۴/۱۴ روز) به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی× عدم تلقیح بذر با باکتری (شاهد) تعلق داشت. سرعت پر شدن دانه، یا همان شیب خط برازش شده، در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی و عدم تلقیح بذر با باکتری (شاهد) کمتر از حالت محلول‌پاشی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد برآورد گردید (جدول ۶). بهره‌گیری از نژادهای مختلف باکتری‌های محرک رشد می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. چرا که با تولید هورمون‌های رشد و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی، عملکرد و دوره مؤثر پر شدن دانه را افزایش می‌دهد (۲). دوره پر شدن دانه مرحله 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 (۲۸). عباسپور (۲) اظهار داشت که کاربرد باکتری با افزایش میزان آسیمیلاسیون، موجب ازدیاد نقل و انتقال مواد به دانه شده و سرعت پر شدن دانه افزایش می‌یابد.

کوماری و والارماسی (۲۹) اظهار داشتند که دانه‌های با وزن بیشتر، از سرعت پر شدن بیشتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند. به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم ساخته‌اند. اگر چه نیاز گیاهان به روی اندک است، ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیک حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیک مرتبط با روی متأثر خواهند شد (۱). محمد و همکاران (۳۲) گزارش کردند که کاربرد روی به طرق مختلف، بخصوص به طریقه محلول‌پاشی، عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد. این محققین اعلام کردند که در اثر مصرف این عنصر مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین ساخته شده توسط گیاه افزایش می‌یابد. با افزایش کربوهیدرات، سرعت و طول دوره پر شدن دانه افزایش و در نتیجه وزن هزار دانه زیاد می‌شود. دولین و ویتهام (۱۸) اظهار داشتند که با توجه به نقش اساسی این عنصر در گیاه که به طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشد همانند اکسین دخالت دارد، بنابراین می‌تواند با تولید مواد خشک بیشتر در مخازن (دانه‌ها) موجب افزایش بیش از حد انتظار عملکرد شود.

نتیجه‌گیری

با افزایش سطح نانو اکسید روی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و طول دوره پر شدن دانه افزایش یافت. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، در مقایسه با عدم تلقیح بذر، منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. بیشترین عملکرد دانه در ترکیب تیمار تلقیح بذر با ازتوباکتر × محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین آن در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری و عدم محلول‌پاشی (شاهد) برآورد گردید. به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی می‌تواند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه مؤثر واقع شود.

منابع مورد استفاده

۱. بایبوردی، ا. ۱۳۸۵. نقش ریزمغذی روی در تغذیه گیاهی. انتشارات پریور، ۱۷۹ صفحه.

۲. عباسپور، س. ۱۳۹۱. تأثیر مقدار نیتروژن و پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی تریتیکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۲۶ صفحه.

۳. قوشچی، ف. ۱۳۷۹. تریتیکاله. انتشارات کارنو، ۷۶ صفحه.

۴. ملکوتی، م. ج. و م. م. تهرانی. ۱۳۷۸. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

5. Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA), Belgium, 128 p.
6. A'lvaro, F., J. Isidro, D. Villegas, L. del Moral and C. Royo. 2008. Breeding effects on grain filling, biomass partitoning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. Agron. J. 100: 361-370.
7. Arzanesh, M.H., H.A. Alikhani, H.A. Rahimian and M. Miransari. 2010. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum sp*. under drought stress. World J. Microb. Biotech. 26: 101-109.
8. Baldani, V.L.D., J.I. Baldani and J. Dobereiner. 1983. Effect of Azospirillum inoculation on root infection and nitrogen incorporation in wheat. Can. J. Microbiol. 29: 924-929.
9. Bashan, Y., H. Levanony and G. Mitiku. 1989. Changes in proton efflux of intact wheat root induced by *Azospirillum brasilense* Cd. Can. J. Microbiol. 35(7): 691-697.
10. Bashan, Y., G. Holguin and L.E. De-Bashan. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol. 50(8): 521-577.
11. Begum, M., M. Noor, H. Miah and Md. Mainul Basher. 2003. Effect of rate and method of zinc application on growth and yield of Aus rice. Pak. J. Biol. Sci. 6(7): 688-692.
12. Bhattarai, T. and D. Hess. 1993. Yield responses of Nepalese spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to inculation with *Azospirillum spp.* of Nepalese origin. Plant Soil 151: 67-76.
13. Brown, P.H., I. Cakmak and Q. Zhang. 1993. Form and function of zinc in plants. PP. 93-106. *In:* Robson, A.D. (Ed.), Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
14. Cakmak, I., H. Ekiz, A. Yilmaz, B. Tourn, N. Koleli, I. Gultekin, A. Alkan and S. Eker. 1997. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant Soil 188:1-10.
15.Cakmakci, R., M. Erat, U.G. Erdogan and M.F. Donmez. 2007. The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 288-295.
16. Carlier, E., M. Rovera, A.D. Jaume and S.B. Rosas. 2008. Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas aurantiaca* SR1. World J. Microbiol. Biotech. 24(11): 2653-2658.
17. Cohen, E., Y. Okon, J. Kigel, I. Nur and Y. Henis. 1980. Increase in dry weight and total nitrogen content in *Zea mays* and *Setaria italica* associated with nitrogen-fixing *Azospirillum*. Plant Physiol. 66: 746-749.
18. Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. Plant Physiology. 4th Ed., Wadsworth Publishing Co., Belmont, California.
19. El Zemrany, H., J. Cortet, M.P. Lutz, A. Chabert, E. Baudoin, J. Haurat, N. Maughan, D. Felix, G. Defago, R. Bally and Y. Moenne-Loccoz. 2006. Field survival of the phytostimulator *Azospirillum lipoferum CRT1* and functional impact on maize crop, biodegradation of crop residues, and soil faunal indicators in a context of decreasing nitrogen fertilization. Soil Biol. Biochem. 38: 1712-1726.
20. Ellis, R.H. and C. Pieta-Filho. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Sci. Res. 2: 19-25.
21. Fallik, E., Y. Okon, E. Epstin, A. Goldman and M. Fischer. 1989. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasiliense* inoculated maize roots. Soil Biol. Biochem. 21: 147-153.
22. Fulchieri, M. and L. Frioni. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): Effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biol. Biochem. 26: 921-923.
23. Glick, B.R., D.M. Penrose and J. Li. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190: 63-68.
24. Hemantaranjan, A. and O.K. Grag. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum aestivum* L. J. Plant Nutr. 11: 1439-1450.
25. Jagnow, G., G. Hoeflich and K.H. Hoffman. 1991. Inoculation of non-symbiotic rhizosphere bacteria: Possibilities of increasing and stabilizing yields. Agnew. Botanik 65: 97-126.
26. Kapulnik, Y., J. Kigel, Y. Okon, I. Nur and Y. Henis. 1981. Effect of *Azospirillum* inoculation on some growth parameters and N-content of wheat, sorghum and panicum. Plant Soil 61: 65-70.
27. Kato, T. 1989. Relationship between grain filling process and sink capacity in rice. Japanese J. Breed. 39: 431-438.
28. Kato, T. 1999. Genetic environmental variations and association of the characters related to the grain filling process in rice cultivars. Plant Sci. 2(1): 32-36.

29. Kumari, S.L. and G. Valarmathi. 1998. Relationship between grain yield, grain filling rate and duration of grain filling in rice. Agron. J. 85: 210-211.
30. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed., Academic Press, Boston, USA, 889 p.
31. Mishra, M., A.K. Patjoshi and D. Jena. 1998. Effect of biofertilization on production of maize (*Zea mays*). Indian J. Agron. 43: 307-310.
32. Mohammad, W., M.M. Ighbal and S.M. Shah. 1990. Effect of mode of application of zinc and iron on yield of wheat (cv. Pak-81). Sarhad J. Agric. 6(6): 615-618.
33. Okon, Y., P.G. Heytler and R.W.F. Hardy. 1985. N_2 fixation by *Azospirillum brasilense* and its incorporation into host *Setaria italica*. Appl. Environ. Microbiol. 46: 694-697.
34. Pan, B., Y.M. Bai, S. Leibovitch and D.L. Smith. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short-growing- season area. Eur. J. Agron. 11: 179-186.
35. Patidar, M. 2001. Integrated nutrient management in sorghum (*Sorghum bicolor*) and its residual effect on wheat (*Triticum aestivum* L.). Indian J. Agric. Sci. 71(9): 587-590.
36. Rengel, Z. and R.D. Graham. 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil (II: Grain Yield). J. Plant Soil 173: 267-274.
37. Rondanini, D., R. Savin and A.J. Hall. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crops Res. 83: 79-90.
38. Rudresh, D.L., M.K. Shivaprakash and R.D. Prasad. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Appl. Soil Ecol. 28: 139-146.
39. Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Jodhpur, Agrobios, 407 p.
40. Stampar, F., M. Hudina, K. Dolenc, and V. Usenik. 1998. Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica borkh*.). PP. 91-94. *In:* Anac, D. and P. Martin-Prével (Eds.), Improved Crop Quality by Nutrient Management, University of Ljubljana Biotechnical Faculty.
41. Takker, P.N. and C.D. Walker. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. PP. 151-166. *In:* Robson, A.D. (Ed.), Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands,
42. Tandon, H.L.S. 1995. Micronutrients in Soils, Crops and Fertilisers. A source book–cum– Directery, Fertiliser Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
43. Wani, S.P. 1990. Inoculation with associative nitrogen-fixing bacteria: Role in cereal grain production improvement. Indian J. Microbiol.30: 363-393.
44. Welch, R.M., W.H. Allaway, W.A. House and J. Kubota. 1991. Geographic distribution of trace elemant problem. PP. 31-57. *In:* Mortvedt et al. (Eds.), Micronutrients in Agriclture, 2nd Ed., SSSA, Madison, WI.
45. Yadav, K.S., D.P. Singh, S. Sunita, N. Neeru, K. Lakshminarayana, S. Suneja and N. Narula. 2000. Effect of *Azotobacter chroococcum* on yield and nitrogen economy in wheat (*Triticum aestivum*) under field conditions. Environ. Ecol. 18(1): 109-113.
46. Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gultekin, S. Karanlik, S.A. Baggi and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcarcous soils. J. Plant Nutr. 20: 461-471.
47. Zahir, A.Z., M. Arshad and A. Khalid. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pak. J. Soil Sci. 15: 7-11.