

اثر محلول پاشی نانواکسیدروی و کاربرد باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد

و ویژگی های مورفوفیزیولوژیک تربیتکاله

حسین کمری^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*} و محمد صدقی^۳

(۱) دانش آموخته ای کارشناسی ارشد گروه علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(۲ و ۳) اعضای هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* نویسنده مسئول: Raouf_ssharifi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۹

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی با نانواکسیدروی و کاربرد باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد دانه و برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک تربیتکاله، این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل محلول پاشی با نانواکسیدروی در پنج سطح (عدم محلول پاشی به عنوان شاهد، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) و تلقیح بذر با باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن 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. نتایج نشان داد که انتقال مجدد ماده خشک و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد، سرعت ظهور برگ، عملکرد و اجزای عملکرد دانه به طور معنی داری تحت اثر محلول پاشی با نانواکسیدروی و کاربرد باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن قرار گرفت. بیشترین انتقال مجدد ماده خشک و سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه در عدم تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد × عدم محلول پاشی با نانواکسیدروی به دست آمد. مقایسه میانگین ها نشان داد که بالاترین عملکرد، اجزای عملکرد دانه و سرعت ظهور برگ به ترکیب تیماری تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم × محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسیدروی و کمترین آن ها در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد × عدم محلول پاشی با نانواکسیدروی به دست آمد. به نظر می رسد به منظور افزایش عملکرد دانه و سرعت ظهور برگ می توان پیشنهاد کرد که تلقیح بذر تربیتکاله با باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسیدروی به کار برده شود.

واژه های کلیدی: باکتری های محرک رشد، روی، تربیتکاله، فیلوکرون.

مقدمه

تریتیکاله (*Tritiosecale Wittmack*) غله جدیدی است که به وسیله انسان و در نتیجه تلاقی ژنوم‌های گندم و چاودار به وجود آمده است. این گیاه دارای ویژگی‌های مطلوب چاودار از جمله رشد سریع و قابلیت تولید در اراضی فقیر و کم بازده و از طرف دیگر دارای ویژگی‌های برتر کیفی و زراعی گندم می‌باشد (قوشچی، ۱۳۷۹). 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 بیولوژیکی 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 گروه از باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک شود (Cakmakci et al., 2007b). از میان این باکتری‌ها، آزوسپریلیوم، ازتوباکتر و سودوموناس به دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان مهم زراعی توجه بیش‌تری را به خود جلب کرده‌اند (Mishra et al., 1998; Cakmakci et al., 2007; Zemrany و همکاران (۲۰۰۶) و Cakmakci و همکاران (۲۰۰۷ a) اظهار داشتند که مقدار پروتئین دانه، عملکرد دانه و وزن هزاردانه ذرت بواسطه تلقیح با *Azospirillum lipoferum* افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز در خصوص اثر مثبت تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و ازتوباکتر بر ارتفاع بوته، میزان ماده خشک و عملکرد دانه در انواع مختلفی از غلات گزارش شده است (Kapulnik et al., 1981; Okon et al., 1985; Yadav et al., 2000; Bhattarai and Hess, 1993). روی عنصری ریزمغذی است که در مقادیر بسیار کم برای انجام فعالیت‌های فیزیولوژیک مانند فتوسنتز و سنتز پروتئین مورد نیاز است (Marschner, 1995). کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌های شنی و فرسایش یافته و به‌خصوص در خاک‌های آهکی، خاک‌های سدیمی و غرقابی شیوع بیش‌تری دارد (Takker and Walker, 1993; Welch et al., 1991). 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. Begum و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند کاربرد روی در برنج تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، محتوای پروتئین و غلظت روی را در دانه و اندام هوایی افزایش داد. Yilmaz و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که مصرف روی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم از جمله تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه گردید که از بین این اجزا اثر روی بر تعداد سنبله در مترمربع بیش‌تر بود. در مرحله سنبله دهی و گرده افشانی، مواد فتوسنتزی تولیدی گیاه بیش‌تر از نیاز گیاه بوده و این مواد مازاد به ساقه منتقل شده و به‌صورت انواع کربوهیدرات ذخیره می‌شود، زمانی که

گیاه وارد مرحله پرشدن دانه می‌شود، کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای به دانه‌های در حال پر شدن منتقل شده و این مواد فتوسنتزی ذخیره شده نقش مهمی را در پر کردن دانه‌ها ایفا می‌کنند (کوچکی و سرمدینا، ۱۳۸۷؛ Chaturvedi and Ram, 1996; Aruna Geetha and Thiyarajan, 2003). سیدشریفی و نظری (۱۳۹۲) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد، میزان انتقال ماده خشک از کل بوته و سهم مشارکت ذخایر ساقه در پر شدن دانه را کاهش داد. آنان علت را به ایجاد شرایط بهینه توسط باکتری‌ها و افزایش سهم فتوسنتز جاری به واسطه شاخص سطح برگ بالاتر نسبت دادند که موجب می‌شود بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و بخش کم‌تری به انتقال ماده‌ی خشک تخصیص یابد. درحالی‌که در حالت عدم تلقیح، به دلیل کاهش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد موجب می‌شود یک حالت عدم توازن بین منبع و مخزن برقرار گردد و در چنین شرایطی به دلیل عدم توانایی منبع در تأمین نیاز مخازن موجب می‌گردد سهم فرایند انتقال مجدد از بخش‌های مختلف به‌خصوص ساقه افزایش یابد تا لااقل بخشی از نیاز مخازن را تأمین نماید. پیش‌بینی ظهور برگ، قسمت مهم و حیاتی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور برگ در گسترش سطح برگ، انباشتگی ماده خشک و عملکرد دانه اهمیت دارد (Ritchie and NeSmith, 1991; McMaster, 1997; Cutforth et al, 1992). فیلوکرون یا فاصله‌ی زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی، روش مناسبی برای درک بهتر نمو رویشی گیاه بوده و به شبیه‌سازی رشد گیاه کمک می‌کند (رفیعی و کریمی، ۱۳۷۷؛ امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳). Tollenaar و همکاران (۱۹۷۹) فیلوکرون را به‌صورت عکس سرعت ظهور برگ تعریف کردند. De Freitas و Germida (۱۹۹۰)، Fallik و Okon (۱۹۹۶) و Ribaud و همکاران (۲۰۰۱) افزایش سرعت ظهور برگ ذرت را به واسطه استفاده از باکتری‌های محرک رشد آزوسپریلیوم و سودوموناس گزارش نمودند. بررسی‌های Sarig و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه با کاهش فیلوکرون منجر به افزایش سرعت ظهور برگ می‌شود. امروزه مقدار برداشت و خروج عناصر غذایی کم مصرف به دلیل برداشت بیش‌تر محصول از خاک که با کاشت ارقام اصلاح شده، مصرف کودهای شیمیایی و مدیریت بهتر حاصل شده است، بسیار زیاد است و با توسعه کشاورزی هر روز مقدار بیش‌تری از عناصر کم مصرف از خاک خارج می‌گردد (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۷۸). اهمیت تریپتیکاله در استفاده دو منظوره از آن موجب شده است که کاهش فیلوکرون به دلیل تسریع در گسترش سطح برگ و انباشتگی بیش‌تر ماده خشک و عملکرد دانه از اهمیت بیش‌تری در این گیاه برخوردار باشد، از طرفی به دلیل نقش ریزمغذی روی و باکتری‌های محرک رشد در بهبود عملکرد و کمی بررسی‌هایی انجام شده در خصوص بر هم کنش توأم باکتری‌های محرک رشد و ریزمغذی روی موجب شد تا کاربرد توأم این دو عامل بر عملکرد، سرعت ظهور برگ و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. 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) به ترتیب به صورت B_0 , B_1 , B_2 و B_3 و پنج سطح محلول پاشی نانواکسید روی (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) به ترتیب به صورت Zn_0 , Zn_1 , Zn_2 , Zn_3 و Zn_4 بود. نانواکسیدروی تولید کشور چین بود که از شرکت نوترینو تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱: مشخصات نانواکسیدروی مورد استفاده

وزن	خلوص	میانگین اندازه ذرات	سطح ویژه ذرات	رنگ
۱۰۰ گرم	۹۹ درصد	کمتر از ۳۰ نانومتر	بیشتر از ۳۰ مترمربع در هر گرم	قرمز و به صورت پودر

باکتری‌های فوق از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شدند و رقم تربیتکاله مورد استفاده جوانیلو بود که از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. برای تلقیح بذر با باکتری‌های مورد نظر، میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن حاوی 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. پس از تهیه خاک یک دست، ۱۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها تا ارتفاع ۴۰ سانتی متری 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 مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای رقم جوانیلو تربیتکاله است، به صورت ردیفی در ۱۴ اردیبهشت ماه کشت شد. از محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی - حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این محلول به مدت چهار ساعت در تاریکی و دور از نور مستقیم قرار گرفت. محلول پاشی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله ۳ تا ۴ برگگی و مرحله قبل از ظهور سنبله) انجام شد. کود نیتروژنه به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (یک دوم در مرحله سبز شدن، یک دوم در مرحله ساقه‌روی) در تمامی واحدهای آزمایشی اعمال شد. گلدان‌ها در گلخانه در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد نگهداری شدند، مشخصات فیزیکیوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

برای اندازه‌گیری فیلوکرون، از مرحله سه برگگی به بعد (زیرا تا مرحله سه برگگی ظهور برگ‌ها بیش تر تابع دمای خاک است)، هر ۴ روز یک بار تعداد برگ‌های موجود در سه بوته شمارش شد. البته هر برگ زمانی در شمارش منظور می‌گردید که حداقل یک سانتی متر طول داشت (رفیعی و کریمی، ۱۳۷۷). لازم به ذکر است که سه بوته انتخابی با نخ رنگی

علامت‌گذاری شده بود و برگ‌های هر بوته بعد از شمارش با مازیک رنگی علامت‌گذاری می‌شد تا مجدداً مورد شمارش واقع نگردد.

جدول ۲: مشخصات فیزیوشیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	بافت	اسیدیته	درصد اشباع	آهک (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
مقدار	سیلتی لومی	۷/۸	۴۷	۱۵	۲۳	۴۲	۳۵	۰/۶۲	۰/۰۶۲	۲۹/۰۸۲	۲۱۲

به منظور بررسی میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی به دانه، از یک هفته قبل از پر شدن دانه در هر گلدان ۱۵ بوته مشابه و یکنواخت علامت‌گذاری شد و هر چهار روز یک بار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته‌های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن (قرار دادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت)، میزان انتقال ماده خشک، سهم فرایند انتقال مجدد و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق روابط ۱ تا ۴ برآورد گردید (Barnett and Pearce, 1983). در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است (Wanies and Ehdai, 1996).

رابطه ۱:

وزن خشک اندام هوایی (به جز دانه) در مرحله رسیدگی - حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول = انتقال ماده خشک (گرم در بوته)

رابطه ۲:

$100 \times \text{عملکرد دانه} / \text{وزن اندام هوایی (به جز دانه) در رسیدگی} - \text{حداکثر وزن اندام هوایی در برداشت اول} = \text{درصد سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه}$

رابطه ۳:

وزن خشک ساقه (به جز دانه) در رسیدگی فیزیولوژیک - حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول = میزان انتقال مجدد از ساقه (گرم در بوته)

رابطه ۴:

$100 \times \text{عملکرد دانه} / \text{میزان انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه} = \text{درصد سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه}$

رابطه ۵:

فعالیت مخزن $\times$ اندازه آن = قدرت مخزن

به منظور تعیین وزن و حجم ریشه در مرحله رسیدگی، ریشه‌ها به‌طور کامل جدا شده و پس از شستشو، وزن آن تعیین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد به‌طوری‌که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به‌عنوان حجم ریشه منظور گردید. برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، ۱۰ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف‌بر شد و سپس ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه واریانس منظور گردید. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فیلوکرون و سرعت ظهور برگ

مقایسه میانگین‌ها در تمامی مراحل نمونه‌برداری نشان داد که با افزایش مقادیر نانواکسیدروی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، فیلوکرون کاهش و سرعت ظهور برگ افزایش یافت (جداول ۳ و ۴). به‌طوری‌که بیش‌ترین فیلوکرون (۷/۸۴ روز) در مرحله نهایی نمونه‌برداری در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی × عدم تلقیح بذر با باکتری و بیش‌ترین سرعت ظهور برگ (۵/۰ برگ در روز) در مراحل اولیه نمونه‌برداری و در تلقیح بذر با آزوسپریلیوم × محلول‌پاشی ۰/۷۵ گرم در لیتر نانواکسیدروی به‌دست آمد، هر چند که اختلاف آماری معنی‌داری با ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۷۵ و یک گرم در لیتر نانواکسیدروی در تلقیح بذر با سودوموناس و ازتوباکتر وجود نداشت. Germida و De Freitas (۱۹۹۰)، Ribaud و همکاران (۲۰۰۱) افزایش در سرعت ظهور برگ ذرت را به واسطه استفاده از باکتری‌های محرک رشد آزوسپریلیوم و سودوموناس گزارش نمودند. بررسی‌های Sarig و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه با کاهش فیلوکرون منجر به افزایش سرعت ظهور برگ می‌شود.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی نانواکسیدروی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر

فیلوکرون در مراحل مختلف یادداشت‌برداری

مراحل نمونه‌برداری	اول (چهار روز بعد از مرحله ۳ برگی)	دوم (هشت روز بعد از مرحله ۳ برگی)	سوم (دوازده روز بعد از مرحله ۳ برگی)	چهارم (شانزده روز بعد از مرحله ۳ برگی)	پنجم (بیست روز بعد از مرحله ۳ برگی)	ششم (بیست و چهار روز بعد از مرحله ۳ برگی)	هفتم (بیست و هشت روز بعد از مرحله ۳ برگی)
ترکیب تیماری	۳ برگی	۳ برگی	۳ برگی	۳ برگی	۳ برگی	۳ برگی	۳ برگی
$B_0 \times Zn_0$	۳/۳۳ a	۳/۶۶ a	۴ ab	۴/۶۸ ab	۵/۵۷ a	۷/۲۷ a	۷/۸۴ a
$B_1 \times Zn_0$	۲/۴ bc	۳/۳۳ ab	۳/۳۳ bc	۴/۶۸ ab	۶/۰۶ a	۶/۴۵ b	۶/۷۸ ab
$B_2 \times Zn_0$	۲/۴ bc	۲/۸ bc	۴/۰۲ ab	۵/۳۷ a	۶/۰۶ a	۶/۲۵ b	۶/۵۵ b
$B_3 \times Zn_0$	۲/۶ b	۳/۳۳ ab	۴/۶۸ a	۴/۶۸ ab	۵/۳۷ ab	۶/۶۶ ab	۷/۰۱ ab
$B_0 \times Zn_1$	۳ a	۳/۳۳ ab	۳/۳۳ bc	۴ bc	۵/۳۷ ab	۶/۷۸ ab	۷/۱۴ ab
$B_1 \times Zn_1$	۲/۴ bc	۲/۸ bc	۳/۳۳ bc	۴ bc	۶/۰۶ a	۶/۰۶ c	۶/۴۵ b
$B_2 \times Zn_1$	۲/۴ bc	۲/۸ bc	۳/۳۳ bc	۴ bc	۶/۰۶ a	۶/۰۶ c	۶/۳۴ b
$B_3 \times Zn_1$	۲/۶ b	۳/۳۳ ab	۳/۳۳ bc	۴ bc	۶/۰۶ a	۶/۰۶ c	۶/۷۸ ab
$B_0 \times Zn_2$	۲/۶ b	۲/۸ bc	۳/۶۶ abc	۴ bc	۴/۶۸ ab	۶/۷۸ ab	۶/۷۸ ab
$B_1 \times Zn_2$	۲ d	۲/۸ bc	۳/۶۶ abc	۴ bc	۵/۳۷ ab	۶/۰۶ c	۶/۲۵ b
$B_2 \times Zn_2$	۲/۲۶ bcd	۲/۶ cd	۳/۳۳ bc	۴/۳۵ abc	۵/۳۷ ab	۶/۰۶ c	۶/۱۵ b
$B_3 \times Zn_2$	۲/۴ bc	۲/۸ bc	۳ bc	۳/۶۶ bc	۵/۳۷ ab	۶/۰۶ c	۶/۶۶ b
$B_0 \times Zn_3$	۲/۶ b	۲/۸ bc	۳ bc	۳/۶۶ bc	۴/۶۸ ab	۶/۰۶ c	۶/۲۵ b
$B_1 \times Zn_3$	۲/۱۳ cd	۲/۲۶ cd	۳ bc	۳/۶۶ bc	۴/۶۸ ab	۶/۰۶ c	۶/۰۶ bc
$B_2 \times Zn_3$	۲ d	۲/۶ cd	۳ bc	۳/۶۶ bc	۴ b	۶/۰۶ c	۶/۰۶ bc
$B_3 \times Zn_3$	۲/۲۶ bcd	۲/۴ cd	۳/۳۳ bc	۳/۶۶ bc	۴/۶۸ ab	۴ d	۶/۰۶ bc
$B_0 \times Zn_4$	۲/۲۶ bcd	۲/۶ cd	۳/۶۶ abc	۳/۶۶ bc	۵/۳۷ ab	۶/۰۶ c	۶/۰۶ bc
$B_1 \times Zn_4$	۲/۱۳ cd	۲/۲۶ cd	۲/۸ c	۳/۳۳ c	۴ b	۴ d	۶/۰۶ bc
$B_2 \times Zn_4$	۲/۱۳ cd	۲/۱۳ d	۲/۸ c	۳/۶۶ bc	۴/۶۸ ab	۴ d	۶/۰۶ bc
$B_3 \times Zn_4$	۲/۱۳ cd	۲/۶ cd	۳ bc	۳/۳۳ c	۴ b	۴ d	۶/۰۶ bc
LSD (/Δ)	۰/۳۹۷	۰/۶۶۶	۱/۰۶	۱/۲۵	۱/۵۱	۱/۹۶	۱/۳۵

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

پنج سطح محلول‌پاشی نانواکسیدروی (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) به ترتیب به‌صورت Zn_0 ، Zn_1 ، Zn_2 ، Zn_3 و Zn_4 و چهار سطح تلقیح (عدم تلقیح بذر با باکتری به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلیوم لیپوفروم استرین OF و سودوموناس پوتیدا استرین ۹) به ترتیب به‌صورت B_0 ، B_1 ، B_2 و B_3 می‌باشد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح مختلف محلول پاشی با نانواکسیدروی و تلقیح بذر با باکتری‌های

محرك رشد بر سرعت ظهور برگ در مراحل مختلف یادداشت‌برداری

مراحل نمونه‌برداری	ترکیب تیماری					
	اول (چهار روز بعد از مرحله ۳ برگی)	دوم (هشت روز بعد از مرحله ۳ برگی)	سوم (دوازده روز بعد از مرحله ۳ برگی)	چهارم (شانزده روز بعد از مرحله ۳ برگی)	پنجم (بیست روز بعد از مرحله ۳ برگی)	ششم (بیست و هفتم (بیست و هشت روز بعد از مرحله ۳ برگی)
$B_0 \times Zn_0$	۰/۳۰ e	۰/۲۷ e	۰/۲۵ cd	۰/۲۲ bc	۰/۱۸ ab	۰/۱۳ cd
$B_1 \times Zn_0$	۰/۴۱ bc	۰/۳ de	۰/۳ abc	۰/۲۲ bc	۰/۱۶ b	۰/۱۴ c
$B_2 \times Zn_0$	۰/۴۱ bc	۰/۳۵ cd	۰/۲۷ bcd	۰/۱۹ c	۰/۱۶ b	۰/۱۵ b
$B_3 \times Zn_0$	۰/۳۸ cd	۰/۳ de	۰/۲۲ d	۰/۲۲ bc	۰/۱۹ ab	۰/۱۴ c
$B_0 \times Zn_1$	۰/۳۳ de	۰/۳ de	۰/۳ abc	۰/۲۵ abc	۰/۱۹ ab	۰/۱۴ c
$B_1 \times Zn_1$	۰/۴۱ bc	۰/۳۵ cd	۰/۳ abc	۰/۲۵ abc	۰/۱۶ b	۰/۱۵ b
$B_2 \times Zn_1$	۰/۴۱ bc	۰/۳۵ cd	۰/۳ abc	۰/۲۵ abc	۰/۱۶ b	۰/۱۵ b
$B_3 \times Zn_1$	۰/۳۸ cd	۰/۳ de	۰/۳ abc	۰/۲۵ abc	۰/۱۶ b	۰/۱۴ c
$B_0 \times Zn_2$	۰/۳۸ cd	۰/۳۵ cd	۰/۲۷ bcd	۰/۲۵ abc	۰/۲۲ ab	۰/۱۴ c
$B_1 \times Zn_2$	۰/۵ a	۰/۳۵ cd	۰/۲۷ bcd	۰/۲۵ abc	۰/۱۹ ab	۰/۱۶ a
$B_2 \times Zn_2$	۰/۴۴ abc	۰/۳۸ bc	۰/۳ abc	۰/۲۴ abc	۰/۱۹ ab	۰/۱۶ a
$B_3 \times Zn_2$	۰/۴۱ bc	۰/۳۵ cd	۰/۳۳ ab	۰/۲۷ ab	۰/۱۹ ab	۰/۱۵ b
$B_0 \times Zn_3$	۰/۳۸ cd	۰/۳۵ cd	۰/۳۳ ab	۰/۲۷ ab	۰/۲۲ ab	۰/۱۶ a
$B_1 \times Zn_3$	۰/۴۷ ab	۰/۴۴ ab	۰/۳۳ ab	۰/۲۷ ab	۰/۲۲ ab	۰/۱۶ a
$B_2 \times Zn_3$	۰/۵ a	۰/۳۸ bc	۰/۳۳ ab	۰/۲۷ ab	۰/۲۵ a	۰/۱۶ a
$B_3 \times Zn_3$	۰/۴۴ abc	۰/۴۱ abc	۰/۳ abc	۰/۲۷ ab	۰/۲۲ ab	۰/۱۶ a
$B_0 \times Zn_4$	۰/۴۴ abc	۰/۳۸ bc	۰/۲۷ bcd	۰/۲۷ ab	۰/۱۹ ab	۰/۱۶ a
$B_1 \times Zn_4$	۰/۴۷ ab	۰/۴۴ ab	۰/۲۵ a	۰/۳ a	۰/۲۵ a	۰/۱۶ a
$B_2 \times Zn_4$	۰/۴۷ ab	۰/۴۷ a	۰/۲۵ a	۰/۲۷ ab	۰/۲۲ ab	۰/۱۶ a
$B_3 \times Zn_4$	۰/۴۷ ab	۰/۳۸ bc	۰/۳۳ ab	۰/۳ a	۰/۲۵ a	۰/۱۶ a
LSD (</5)	۰/۰۶۲۲	۰/۰۷۷۲	۰/۰۷۳۴	۰/۰۷۲۸	۰/۰۶۲۲	۰/۰۷۴۲

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

پنج سطح محلول پاشی نانواکسیدروی (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) به ترتیب به صورت $Zn_0, Zn_1, Zn_2, Zn_3, Zn_4$ و 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) به ترتیب به صورت B_0, B_1, B_2, B_3 می‌باشد.

بررسی روند تغییرات فیلوکرون در مراحل مختلف نمونه‌برداری نشان داد که در مراحل نهایی نمونه‌برداری سرعت ظهور

برگ‌ها کاهش و فیلوکرون افزایش یافت (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج بررسی‌های Thomison و Jordan (۱۹۹۵) نشان داد

که با گذشت زمان فیلوکرون افزایش و سرعت ظهور برگ‌ها کاهش می‌یابد. این پژوهشگران اظهار داشتند که در مراحل

اولیه رشد، اغلب برگ‌ها در معرض تابش مستقیم نور هستند؛ در نتیجه سرعت جذب خالص به حداکثر می‌رسد، پس از آن

به دلیل افزایش سطح برگ و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر روی هم، به دلیل کاهش میزان فتوسنتز و سرعت جذب

خالص موجب می‌شود که در مراحل نهایی دوره رشد رویشی، سرعت ظهور برگ کاهش و فیلوکرون افزایش یابد.

انتقال ماده‌ی خشک

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر نانواکسیدروی، باکتری‌های محرك رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر

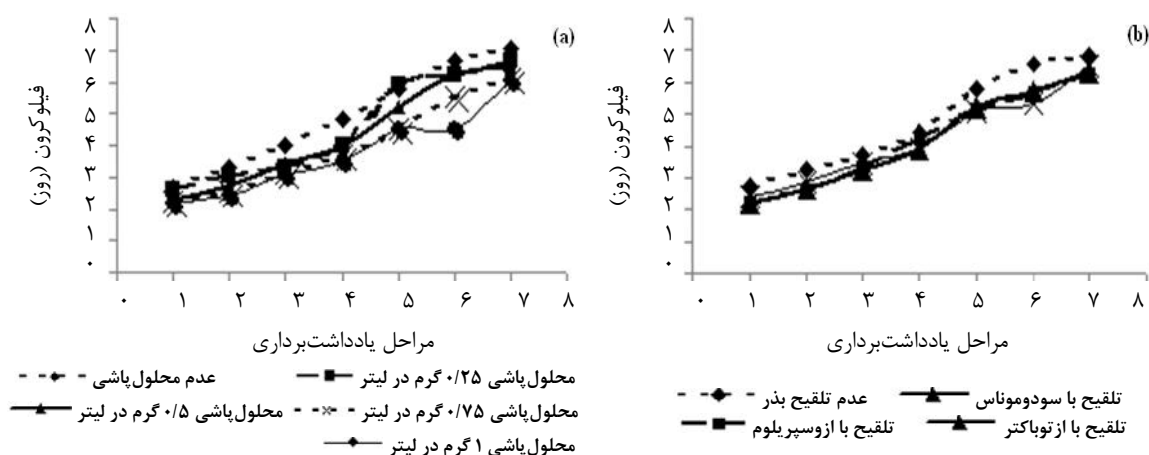
انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه به دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد تک

بوته، وزن و حجم ریشه معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج جدول ۶ نشان داد که با افزایش غلظت روی، انتقال مجدد از کل اندام هوایی و ساقه در عملکرد دانه کاهش یافت. به‌طوری‌که کم‌ترین مقادیر آن‌ها (به ترتیب ۰/۲۰۴ و ۰/۱۴۰ گرم در بوته) به محلول پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسیدروی و بیش‌ترین آن‌ها (۰/۴۸۰ و ۰/۳۴۲ گرم در بوته) به عدم محلول پاشی نانو اکسیدروی تعلق داشت، روند مشابهی نیز در تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد نسبت به حالت عدم تلقیح مشاهده گردید. هم‌چنین کم‌ترین سهم فرایند انتقال مجدد و مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (برای کل اندام هوایی و ساقه به ترتیب ۷/۹۵ و ۶/۵۸ درصد) در ترکیب تیماری یک گرم در لیتر نانو اکسیدروی × تلقیح بذر با ازتوباکتر و بیش‌ترین آن (برای کل اندام هوایی و ساقه به ترتیب ۳۹/۸۸ و ۲۸/۱۶ درصد) به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی × عدم تلقیح با باکتری به‌دست آمد (جدول ۷). بدیهی است که میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرایند در عملکرد دانه، بیش‌تر تحت اثر روابط منبع و مخزن و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (سیدشرفی و نظری، ۱۳۹۲). به نظر می‌رسد در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، چون فتوسنتز جاری به دلیل افزایش سرعت ظهور برگ افزایش می‌یابد (شکل ۲). در نتیجه تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد ولی ممکن است زمانی که دسترسی به منابع غذایی مانند ریزمغذی روی کاهش می‌یابد و یا تلقیح بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد صورت نگیرد گیاه به نوعی در شرایط تنش قرار گیرد و تعادل منبع و مخزن به هم خورد. در چنین شرایطی قدرت مخزن که از رابطه ۵ به‌دست می‌آید بیش‌تر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن (ظرفیت بالای مخزن موجب فعالیت بیش‌تر منبع می‌شود)، منبع میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید (عباس‌پور، ۱۳۹۱).

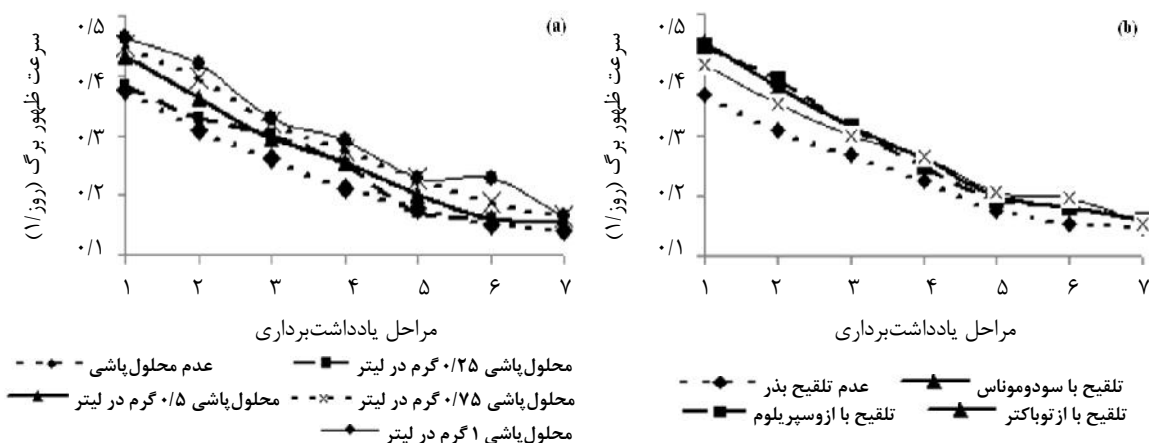
جدول ۵: تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسیدروی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه تربیتیکاله

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان انتقال مجدد از کل اندام هوایی	درصد سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه	میزان انتقال مجدد ذخایر ساقه در عملکرد دانه	درصد مشارکت از ساقه	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه	عملکرد تک بوته	وزن خشک ریشه
تکرار	۲	۰/۰۳۳ ^{ns}	۵۳/۷۲ ^{ns}	۱۰/۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۳/۵۲۸ ^{ns}	۰/۰۶۶۳ ^{ns}	۴/۲۷۶ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰۵۰۵ [*]	۰/۰۰۰۳۰۶ ^{ns}
باکتری	۳	۰/۰۸۲۳ ^{**}	۱۱۱۸ ^{**}	۵۷۲/۲۱ ^{**}	۰/۰۴۴۵ ^{**}	۱۷۱/۶۳ ^{**}	۱/۶۳۹ ^{**}	۳۰۹/۲۱ ^{**}	۰/۴۶۸ ^{**}	۰/۸۶۵ ^{**}	۰/۰۱۹۹ ^{**}
روی	۴	۰/۱۶۴۸ ^{**}	۱۳۲۳/۹۶ ^{**}	۶۸۰/۳۴ ^{**}	۰/۰۸۳۶ ^{**}	۲۹۰/۸۶ ^{**}	۳/۶۱ ^{**}	۳۸۶/۰۲ ^{**}	۰/۶۹۳ ^{**}	۱/۱۴۶ ^{**}	۰/۰۴۱۴ ^{**}
روی × باکتری	۱۲	۰/۰۰۲۳ ^{ns}	۱۱۳/۶۲ ^{**}	۷۴/۶۳ ^{**}	۰/۰۰۱۷ ^{ns}	۲۷/۴۳ ^{**}	۰/۲۲۶ ^{**}	۲۲/۳۷۶ ^{**}	۰/۰۱۷۱ ^{ns}	۰/۰۷۷۱ ^{**}	۰/۰۰۰۳۵۳ ^{ns}
خطا	۳۸	۰/۰۰۶۷	۳۵/۰۳	۸/۶۲	۰/۰۰۲۸	۱/۱۵۴	۰/۰۷۷۹	۲/۷۱۱	۰/۱۲۴	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۰۴۱۹
ضریب تغییرات	-	۲۳/۶۰	۲۸/۸۸	۲۰/۵۹	۲۲/۱۹	۱/۴۷۱	۲/۶۶۸	۳/۷۴۷	۸/۱۳	۵/۷۷۵	۵/۲۸۷

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.



شکل ۱: روند تغییرات فیلوکرون برگ تربیتکاله در سطوح مختلف محلول پاشی با نانواکسیدروی (a) و تلقیح بذر با باکتری های محرک رشدی (b)



شکل ۲: روند تغییرات سرعت ظهور برگ تربیتکاله در سطوح مختلف محلول پاشی با نانواکسیدروی (a) و تلقیح بذر با باکتری های محرک رشدی (b)

از مرحله سه برگی به بعد، هر مرحله نمونه برداری فواصل زمانی چهار روز را شامل می شود (به عبارتی عدد ۱ در شکل های بالا چهار روز بعد از مرحله سه برگی و عدد ۲ حدود هشت روز بعد از مرحله سه برگی و ... را شامل می شود).

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تأثیر نانواکسیدروی، باکتری های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر ارتفاع بوته معنی دار بود (جدول ۵). بیشترین ارتفاع بوته (۸۰/۴۰ سانتی متر) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانواکسیدروی در تلقیح بذر با ازتوباکتر و کمترین آن (۵۵/۵۲ سانتی متر) در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۷). بررسی Brown و همکاران (۱۹۹۳) نشان داد که مصرف روی در گندم موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد پنجه و تسریع در رسیدگی می گردد. باکتری های محرک رشد به روش های مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس کننده آهن، تولید هورمون های گیاهی، سنتز آنتی بیوتیک ها و ترکیبات قارچ کش رشد گیاهان را بهبود بخشیده و موجب

افزایش ارتفاع بوته می‌گردند (Sharma, 2002). Kapulnik و همکاران (۱۹۸۱) اثر افزایشی آزوسپریلیوم را بر ارتفاع گیاه گزارش کردند.

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر اصلی باکتری‌های محرک رشد و مقادیر روی بر عملکرد و انتقال مجدد ماده خشک

تربیتکاله

تیمارها	میزان انتقال مجدد از کل اندام هوایی (گرم در بوته)	میزان انتقال مجدد از ساقه (گرم در بوته)	وزن صد دانه (گرم)	وزن خشک ریشه تک بوته (گرم)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)
عدم تلقیح	۰/۴۵۴ a	۰/۳۱۹ a	۴/۱۳۵ b	۰/۳۲۵ c	۰/۷۷۲ c
تلقیح بذر با باکتری‌های ازتوباکتر	۰/۲۹۴ b	۰/۲۰۳ b	۴/۵۶۵ a	۰/۴۰۶ ab	۰/۸۷۵ b
محرک رشد آزوسپریلیوم	۰/۳۰۱ b	۰/۲۰۵ b	۴/۳۰۹ ab	۰/۴۱۶ a	۰/۹۱۵ a
سودوموناس	۰/۳۴۲ b	۰/۲۳۶ b	۴/۳۵۶ ab	۰/۳۹۱ b	۰/۸۶۶ b
عدم محلول پاشی	۰/۴۸۰ a	۰/۳۴۲ a	۴/۰۱۸ d	۰/۳۱۱ e	۰/۷۳۲ e
مقادیر نانواکسیدروی	۰/۲۵	۰/۲۹۵ b	۴/۲۲۹ cd	۰/۳۴۹ d	۰/۷۹۷ d
(گرم در لیتر)	۰/۵	۰/۲۵۴ b	۴/۳۱۱ bc	۰/۳۹۰ c	۰/۸۵۳ c
	۰/۷۵	۰/۱۷۴ c	۴/۵۲۳ ab	۰/۴۳۱ b	۰/۸۹۹ b
۱	۰/۲۰۴ c	۰/۱۴۰ c	۴/۶۲۴ a	۰/۴۵۵ a	۱/۰۰۳ a

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری صفات مورد ارزیابی تحت سطوح مختلف محلول پاشی نانواکسیدروی و

تلقیح بذر با باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده

ترکیب تیماری	سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه (درصد)	مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (درصد)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد دانه در سنبله	عملکرد تک بوته (گرم)
$B_0 \times Zn_0$	۳۹/۸۸ a	۲۸/۱۶ a	۵۵/۵۲ k	۹/۱۳ j	۲۶/۸ k	۰/۹۹۵ n
$B_1 \times Zn_0$	۲۲/۳۳ def	۱۵/۲۶ ef	۷۱/۰۳ gh	۹/۹۸ ghi	۴۴/۶ gh	۱/۸۸۷ hij
$B_2 \times Zn_0$	۲۴/۶۸ cde	۱۷/۰۸ de	۷۱/۲۵ fgh	۱۰/۲۴ efgh	۴۲/۳۳ hi	۱/۷۹۱ ijk
$B_3 \times Zn_0$	۲۶/۱۱ bcd	۲۰/۹۷ cd	۶۹/۹۲ h	۹/۷۲ i	۳۶/۹۳ j	۱/۵۱۸ lm
$B_0 \times Zn_1$	۳۳/۶۹ b	۲۴/۰۴ b	۶۴/۶۳ j	۹/۶۶ i	۳۴/۸۶ j	۱/۴۴۶ m
$B_1 \times Zn_1$	۲۱/۱۲ defg	۱۴/۵۴ efg	۷۳/۳۸ e	۹/۸۲ hi	۴۰ i	۱/۹۴۷ ghi
$B_2 \times Zn_1$	۲۰/۶۴ defg	۱۴/۲۵ efg	۶۹/۴۸ h	۱۰/۳۸ efg	۴۲/۱۳ hi	۱/۶۶۵ kl
$B_3 \times Zn_1$	۲۲/۹۵ def	۱۵/۶۷ ef	۷۱/۷۶ efg	۱۰/۲۴ efgh	۴۰/۳۶ i	۱/۷۶۳ jk
$B_0 \times Zn_2$	۲۸/۵۶ bc	۲۲/۶۱ bc	۶۷/۵ i	۱۰/۱۰ fghi	۳۵/۸ j	۱/۴۰۹ m
$B_1 \times Zn_2$	۱۶/۷۸ efghi	۱۱/۴۹ fgh	۷۲/۸۶ ef	۱۰/۵۲ def	۴۵/۶ fg	۱/۹۸۷ gh
$B_2 \times Zn_2$	۱۵/۵۳ efghi	۱۰/۸۶ fgh	۷۲/۸ efg	۱۱ bc	۴۴/۰۶ gh	۲/۰۳۱ efgh
$B_3 \times Zn_2$	۱۷/۱۹ efgh	۱۱/۶۱ fgh	۷۶/۵۲ cd	۱۰/۶۶ cde	۴۸/۴ de	۲/۱۷۴ cdef
$B_0 \times Zn_3$	۱۶/۱۵ efghi	۱۱/۲۶ fgh	۷۵/۹۷ d	۱۰/۴۹ ef	۴۲/۶۶ hi	۱/۹۹۳ fgh
$B_1 \times Zn_3$	۹/۶ hij	۷/۳۲ hij	۷۸/۲۶ bc	۱۱/۲۶ ab	۵۱/۹۳ bc	۲/۳۵۸ b
$B_2 \times Zn_3$	۱۰/۶۵ hij	۷/۲۴ hij	۷۷/۵۴ bcd	۱۰/۵۵ cdef	۴۸/۲۶ def	۲/۱۹۳ bcde
$B_3 \times Zn_3$	۱۱/۹۷ ghij	۸/۳۷ hij	۷۸/۹۲ ab	۱۱/۱۴ ab	۵۰/۱۳ cd	۲/۲۴۷ bcd
$B_0 \times Zn_4$	۱۴/۷۶ fghi	۹/۷۵ ghi	۷۶/۲۸ d	۱۰/۴۸ ef	۴۶/۲۶ efg	۲/۰۸۲ defg
$B_1 \times Zn_4$	۷/۹۵ ij	۶/۵۸ ij	۸۰/۴ a	۱۱/۵۳ a	۵۴/۸ a	۲/۵۷۸ a
$B_2 \times Zn_4$	۹/۴ hij	۶/۹۶ ij	۸۰/۲۷ a	۱۱/۲۸ ab	۵۳/۳۳ ab	۲/۲۸ bc
$B_3 \times Zn_4$	۹/۷۲ hij	۷/۰۹ hij	۷۶/۱۴ d	۱۰/۹۷ bcd	۴۹/۴۶ cd	۲/۱۲۶ cdefg
LSD _{۵%}	۹/۷۸۳	۴/۸۵۳	۱/۷۷۵	۰/۴۶۱	۲/۷۲	۰/۱۸۳

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

پنج سطح محلول پاشی نانواکسیدروی (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) به ترتیب به صورت Zn_0, Zn_1, Zn_2, Zn_3 و Zn_4 و 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) به ترتیب به صورت B_0, B_1, B_2 و B_3 می‌باشد.

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف نانوآکسیدروی حاکی از آن است که بیش‌ترین طول سنبله (۱۱/۵۳ سانتی‌متر) و تعداد دانه در سنبله (۵۴/۸) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانوآکسیدروی و تلقیح با ازتوباکتر و کم‌ترین آن‌ها (به ترتیب معادل ۹/۱۳ سانتی‌متر و ۲۶/۸ دانه در سنبله) در حالت عدم تلقیح و عدم مصرف نانوآکسیدروی به‌دست آمد (جدول ۷). Graham و Rengel (۱۹۹۵) افزایش تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم را به همراه مصرف روی گزارش کردند. Grag و Hemantaranjan (۱۹۸۸) اظهار داشتند که مصرف آهن و روی با افزایش مقدار کل کربوهیدرات و نشاسته موجب افزایش معنی‌داری در طول سنبله و وزن هزاردانه شد. Arzanesh و همکاران (۲۰۱۰) افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه و در نهایت افزایش عملکرد گندم در اثر تلقیح بذر با آزوسپریلیوم را گزارش کردند.

وزن صد دانه و عملکرد تک بوته

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، بیش‌ترین وزن صد دانه در محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر نانوآکسیدروی و تلقیح بذر با ازتوباکتر به‌دست آمد (جدول ۶). افزایش وزن صد دانه 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 بیش‌تر آب و عناصر غذایی و انتقال آن به گیاه در نهایت به بهبود رشد و فتوسنتز و افزایش وزن صد دانه منجر می‌شود. مطالعات انجام شده توسط Zahir و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۹/۶ درصدی وزن هزاردانه ذرت را در اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس و Carlier و همکاران (۲۰۰۸) افزایش ۶ درصدی وزن هزاردانه گندم را در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نشان دادند. بیش‌ترین عملکرد تک بوته (۲/۵۷۸ گرم) در ترکیب تیماری یک گرم بر لیتر نانوآکسیدروی × تلقیح بذر با ازتوباکتر و کم‌ترین آن (۰/۹۹۵ گرم) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۷). ازتوباکتر و آزوسپریلیوم قادر هستند 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 (Sharma, 2002). از جمله نتایج تلقیح گیاهان با این باکتری‌ها می‌توان به افزایش عملکرد، تأثیر بر وزن دانه و سایر اجزاء عملکرد اشاره کرد (Cohen et al., 1980). Chacmak و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند مصرف ۲۳ کیلوگرم کود حاوی روی، موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه شد.

وزن و حجم ریشه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، بر اساس نتایج معلوم گردید که وزن و حجم ریشه با افزایش مصرف نانوآکسیدروی در تمامی ترکیبات تیماری افزایش یافت. در بین ترکیبات تیماری تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم در

بالاترین سطح نانواکسیدروی، 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 نانواکسیدروی بود (جدول ۶). Pan و همکاران (۱۹۹۹) 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 مثبت گزارش نمودند. Pacovsky (۱۹۹۰) نیز افزایش وزن خشک ریشه ذرت را در تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم گزارش کرد. از عمده‌ترین تغییراتی که در مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح شده با آزوسپریلیوم مشاهده گردیده است 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 (Baldani *et al.*, 1983). Kader و همکاران (۲۰۰۲) افزایش وزن و حجم ریشه ذرت را به اثر اکسین تولید شده توسط ازتوباکتر کروکوکوم نسبت دادند. هم‌چنین بیش‌ترین حجم ریشه در ترکیب تیماری یک گرم در لیتر نانواکسیدروی و تلقیح با آزوسپریلیوم و کم‌ترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶). Bashan و همکاران (۱۹۸۹) 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. آزوسپریلیوم به‌عنوان یک تحریک کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی با تولید اکسین موجب افزایش تولید تارهای کشنده ریشه می‌شود و لذا جذب عناصر غذایی از خاک و رشد گیاه بهبود می‌یابد (Jain and Pativquin, 1984; Tien *et al.*, 1977). افزایش حجم ریشه بیانگر توسعه بیش‌تر ریشه است که افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی بیش‌تر را در حجم وسیع‌تری از خاک امکان‌پذیر می‌سازد. بدین ترتیب به نظر می‌رسد که با کاربرد PGPR در این آزمایش و افزایش حجم ریشه، توان و کارایی جذب و مصرف آب و عناصر غذایی تربیتکاله بهتر شده و در نتیجه رشد و عملکرد بهبود یافته است.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد استفاده از کودهای بیولوژیک و ریزمغذی روی عاملی مناسب در بهبود عملکرد تربیتکاله می‌باشد. در این بررسی تلقیح بذر با ازتوباکتر × محلول‌پاشی با نانواکسیدروی ضمن افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه به کاهش فیلوکرون و افزایش سرعت ظهور برگ منجر گردید. از این رو چنان که هدف افزایش عملکرد دانه و سرعت ظهور برگ باشد تلقیح بذر تربیتکاله با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانواکسیدروی قابل توصیه است ولی چنان که هدف افزایش عملکرد دانه از طریق انتقال ماده خشک و مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه باشد عدم تلقیح بذر با باکتری‌ها × عدم محلول‌پاشی با نانواکسیدروی توصیه می‌گردد.

منابع

- امام، ی. و نیک‌نژاد، م. ۱۳۷۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی، انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۲ ص.
- رفیعی، م. و کریمی، م. ۱۳۷۷. اثر شوری بر فیلوکرون و شدت ظهور برگ چغندر قند. پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۹-۱۳ شهریور ۱۳۷۷، اصفهان، ایران. ص: ۷۵-۷۳.
- سیدشریفی، ر. و نظری، ح. ۱۳۹۲. تأثیر پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد PGPR بر عملکرد دانه، کارایی مصرف کود و انتقال مجدد ماده خشک آفتاب گردان در سطوح مختلف کود نیتروژنه. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳ (۳): ۲۷-۴۵.
- عباس‌پور، س. ۱۳۹۱. تأثیر مقدار نیتروژن و پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی تربیتکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی. ۱۲۶ ص.
- قوشچی، ف. ۱۳۷۹. تربیتکاله. انتشارات کارنو. ۷۶ ص.
- کوچکی، ع. و سرمندیا، غ. ۱۳۸۷. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ ص.
- ملکوتی، م.ج. و تهرانی، م.م. ۱۳۷۸. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۲۰۰ ص.
- Aruna Geetha, S. and Thiyarajan, T.M. 2003.** Remobilization of nitrogen in rice genotypes. Crop Research 25 (3): 406-409.
- Arzanes, M.H., Alikhani, H.A., Rahimian, H.A. and Miransari, M. 2010.** Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. World Journal of Biology 26: 101-109.
- Baldani, V.L.D., Baldani, J.I. and Dobereiner, J. 1983.** Effect of *Azospirillum* inoculation on root infection and nitrogen incorporation on wheat. Plant and soil 29: 924-929.
- Barnett, K.H. and Pearce, P.B. 1983.** Source- Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. Crop Science 23: 294-299.
- Bashan, Y., Levanony, H. and Mitju, G. 1989.** Changes in proton efflux of intact wheat root induced by *A. brasilense* Cd. Plant and Soil 35: 691-67.
- Begum, M., Noor, M., Miah, H. and Mainul Basher, M.D. 2003.** Effect of rate and method of zinc application on growth and yield of aus Rice. Pakistan Journal of Biology Science 6 (7): 688-692.
- Bhattarai, T. and Hess, D. 1993.** Yield responses of Nepalese spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to inoculation with *Azospirillum* spp of Nepales origin. Plant and Soil 151: 67-76.

Brown, P.H., Cakmak, I. and Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc in plants. Pp 93-106. In: Robinson, A.O., (Ed), Zinc in Soil and Plants. Kluwer Academic publisher, Dordrecht, The Netherlands.

Cakmakci, R., Erat, M., Erdoman, U.G. and Donmez, M.F. 2007b. The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. Journal Plant of Nutrition and Soil Science 170: 288-295.

Cakmakci, R.I., Donmez, M.F. and Erdogan, U. 2007a. 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.

Carlier, E., Rovera, M., Jaume, A.R. and Rosas, S.B. 2008. Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. World Journal of Microbiology Biotech 24 (11): 2653-2658.

Chacmak, I., Ekis, H., Yilmaz, A., Tourn, B., Kolei, N. and Gultekin, A. 1997. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant and Soil 188:1-10.

Chaturvedi, G.S. and Ram, P.C. 1996. Carbohydrate status of rain fed low land rice in relation to submergences drought and shade tolerance. In: Proceeding of the International Conference on Stress Physiology of Rice, India, New Delhi 103-122.

Cohen, E., Okon, Y., Kigel, J., Nur, I. and Henis, Y. 1980. Increase in dry weight and total nitrogen content in *Zea mays* and *Setaria italica* associated with nitrogen-fixing *Azospirillum*. Plant Physiology 66: 746-749.

Cutforth, H.W., Jame, Y.W. and Jefferson, P.G. 1992. Effect of temperature, vernalization and water stress on phyllochron and final leaf number of HY320 and Neepawa spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 72: 1141-1151.

De Freitas, J.R. and Germida, J.J. 1990. Plant growth promoting rhizobacteria for winter wheat. Canadian Journal of Microbiology 36: 265-272.

Ehdaie, B. and Wanies, G. 1996. Genetic variation for contribution of preanthesis assimilates to grain yield in spring wheat. Journal of Genetic and Breeding 50: 47-56

Fallik, E. and Okon, Y. 1996. The response of maize (*Zea mays* L) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. World Journal of Microbiology and Biotechnology 12: 511-515.

Hemantaranjan, A. and Grag, O.K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *triticum aestivum* L. Journal of Plant Nutrition 11 (6-11): 1439-1450.

Jain, D.K. and Pativquin, D.G. 1984. Characterization of a substance produced by *Azospirillum* which causes branching of wheat root hairs. Canadian Journal of Microbiology 32: 206-210.

Kader, M.K., Mmian, H. and Hoyue, M.S. 2002. Effects of *Aztobacter* inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. *Journal of Biological Science*. 2 (4): 250 –261.

Kapulnik, Y., Kigel, J., Okon, Y., Nur, I. and Henis, Y. 1981. Effect of *Azospirillum* inoculation on some growth parameters and N-Content of wheat, sorghum and panicum. *Plant and Soil* 61: 65-70.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, Boston, USA. 889 pp.

McMaster, G.S. 1997. Phenology, development and growth of the wheat shoot apex, a review. *Advance Agronomy* 59: 63-118.

Mishra, M., Patjoshi, A.K. and Jena, D. 1998. Effect of biofertilization on production of maize (*Zea mays*). *Indian Journal of Agronomy* 43: 307–310.

Okon, Y., Heytler, P.G. and Hardy, R.W.F. 1985. N₂ fixation by *Azospirillum brasilense* and its incorporation into host *Setaria italica*. *Applied and Environmental Microbiology* 46: 694-697.

Pacovsky, R.S. 1990. Development and growth effects in sorghum-*Azospirillum* association. *Journal of Applied and Bacteriology* 68: 555-563.

Pan, B., Bai, Y.M., Leibovitch, S. and Smith, D.L. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promot corn growth and yield in a short growing season area. *European Journal of Agronomy* 11: 179-186.

Rengel, Z. and Graham, R.D. 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil (II: Grain Yield). *Journal of Plant and Soil* 173: 267-274.

Ribaud, C.M., Rondanini, D.P., Cura, J.A. and Frascina, A.A. 2001. Response of Zea maize to the inoculation with *Azospirillum* on nitrogen metabolism under greenhouse conditions. *Biologia Plantarum* 44: 631-634.

Ritchie, J.T. and NeSmith, D.S. 1991. Temperature and crop development. In *Modeling Plant and Soil Systems (Eds. J. Hanks and J.T. Ritchie)*. American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 5-29.

Sarig, S., Okon, Y. and Blum, A. 1990. Promotion of leaf area development and yield in Sorghum bicolor inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Symbiosis* 9: 235-245.

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers: For Sustainable Agriculture, Jodhpur, Agrobios, 407 p.

Takker, P.N. and Walker, C.D. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. In: Robson, A.D. (ed). *Zinc in soil and plants*. Kluwer. Academic Publisher, Dordrech, The Nether lands Pp: 151-166.

Thomison, P.R. and Jordan, D.M. 1995. Plant population effects in corn hybrids differing in ear growth habitat and prolificacy. *Journal of Production Agriculture* 8: 394-400.

Tien, T.M., Gaskins, M.H. and Hubel, D.H. 1977. Plant growth substances produced by *Azospirillum Brasilense* and their effect on the growth of pearl millet. *Applied Environmental and Microbiology* 37: 1016-1024.

Tollenaar, M., Daynard, T.B. and Hunter, R.B. 1979. The effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19: 363-366.

Welch, R.M., Allaway, W.H., House, W.A. and Kabota, J. 1991. Geographic distribution of trace element problem. PP. 31-57. In: *Micronutrition in Agriculture*. 2nd ed. Ed: J.J. Mortvedt *et al.* Soil Science Society of America - Madison, WI.

Yadav, K.S., Singh, D.P., Sunita, S., Neeru, N., Lakshminarayana, K., Suneja, S. and Narula, N. 2000. Effect of *Azotobacter chroococcum* on yield and nitrogen economy in wheat (*Triticum aestivum*) under field conditions. *Environment-and-Ecology* 18 (1): 109-113.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Guttekin, I., Karanlik, S., Baggi, S.A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 20: 461-471.

Zahir, A.Z., Arshad, M. and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *Pakistan Journal of Soil Science* 15: 7-11.

Zemrany, H.El., Cortet, J., Lutz, M.P., Chabert, A., Baudoin, E.K., Haurat, J., Maughan, N., Fe Lixf, D., De fago, G., Bally, R. and MoeNne-Loccoz, Y. 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 Biology and Biochemistry* 38: 1712-1726.