مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال نهم، شماره سی و یک، ۱۳۹۶

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

# تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی بر محتوای کلروفیل، پر شدن دانه و عملکرد گندم در شرایط محدودیت آبی

**خدیجه بابایی[۱]، رئوف سید شریفی[۲]، علیرضا پیرزاد[۳]**

**تاریخ دریافت:۱۳۹٤/۸/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹٤/۱۲/٤**

**چکیده**

به منظور بررسی تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی نانواکسید آهن و روی بر محتوای کلروفیل، پر شدن دانه و عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی محدودیت آبی در سه سطح شامل: آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی (ZGS 50)، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله سنبله دهی (ZGS 60)، تیمار دوم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح شامل عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلیوم لیپوفروم سویه OF و سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸٦) و فاکتور سوم محلول‌پاشی در چهار سطح شامل عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با نانواکسید آهن، نانواکسید روی، محلول‌پاشی با نانواکسید آهن + نانواکسید روی) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر وزن دانه (۰/۰٦۸۹ گرم)، سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۱۹ گرم در روز)، طول دوره پر شدن دانه (۵۲/٦۳ روز) و دوره مؤثر پر شدن دانه (۳٤/۷۸ روز) در ترکیب تیماری حاصل از آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی و کمترین مقادیر این صفات (به ترتیب ۰/۰۰۳۱ گرم، ۰/۰۰۱۷ گرم در روز، ٤۵/٤٦ روز و ۲۵/۳۹ روز) در آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی، عدم کاربرد باکتری و عدم محلول‌پاشی به دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۱/۲۱ گرم در بوته) از ترکیب تیماری محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی، تلقیح بذر با ازتوباکتر در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۰/۱۸ - گرم در بوته) در آبیاری تا مرحله چکمه‌زنی مربوط به عدم محلول‌پاشی و عدم تلقیح بذر بود. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله سنبله‌دهی و چکمه‌زنی به ترتیب موجب کاهش ۳۱/٦ و ٦۵/۸ درصدی عملکرد دانه شده و استفاده توأم از کودهای بیولوژیک و نانواکسید آهن و روی به ترتیب ۵۰/۷ و ٤۱ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کردند. بر اساس این نتایج، به نظر می‌رسد که کاربرد توأم از کودهای بیولوژیک و نانواکسید آهن و روی می‌تواند برای سودمندی تولید گندم تحت شرایط محدودیت آبی توصیه شود.

**واژه‌های کلیدی**: دوره پر شدن دانه، باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی، عملکرد دانه، گندم

**بابایی، خ.، ر. سید شریفی و ع.ر. پیرزاد. ۱۳۹٦. تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی بر محتوای کلروفیل، پر شدن دانه و عملکرد گندم در شرایط محدودیت آبی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۱: ٦۷-۸۵.**

---

۱- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه محقق اردبیلی،

۲- دانشیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی. مسول مکاتباتریال پست الکترونیک: Raouf Seyed Sharifi

۳ - دانشیار گروه زراعت، دانشگاه ارومیه

**مقدمه**

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند (گل‌پرور و همکاران، ۱۳۸۳). بررسی‌های بلوم (۲۰۰۵) نشان داد در مناطق نیمه‌خشک دنیا، طول دوره پر شدن دانه گندم به دلیل کاهش بارندگی و افزایش میزان تبخیر از خاک کاهش یافته و این امر منجر به کاهش عملکرد گندم می‌شود. تنش خشکی علاوه بر کاهش تولید مواد فتوسنتزی، موجب اختلال در انتقال مواد و عناصر غذایی به دانه نیز می‌گردد (لاولور و کرنیک، ۲۰۰۲). وزن نهایی دانه از دو عامل سرعت و طول دوره پر شدن دانه از مواد پرورده که نتیجه‌ی آن افزایش وزن خشک دانه است پیروی می‌کند (بردار و همکاران، ۲۰۰۸). بین سرعت و طول دوره پر شدن دانه با عملکرد و اجزای عملکرد روابط مستقیم وجود دارد (خیرخواه و همکاران، ۱۳۸۳). پر شدن دانه معمولاً ۱۵ روز بعد از گرده‌افشانی شروع می‌شود، که از طریق تأثیر بر اندازه و وزن نهایی دانه، عملکرد دانه را در مرحله رسیدگی کامل تعیین می‌کند (سنگ تراش، ۲۰۱۰). کاهش دوره پر شدن دانه می‌تواند ناشی از توقف عرضه مواد فتوسنتزی، کاهش محتوی آب دانه و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن باشد. طولانی بودن دوره پر شدن دانه امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر را از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. نظر بر این است که تعداد و وزن دانه در این دوره رشدی تنظیم می‌شوند و تغییر در توانایی جذب آب در طول گرده‌افشانی یا مدت کوتاهی بعد از آن، می‌تواند تأثیر عمده در عملکرد گندم داشته باشد (هامر و همکاران، ۲۰۰۹). امروزه روش‌های مختلفی برای مقابله با تنش در نظر گرفته شده است. در میان روش‌های مدیریتی، برخی هورمون‌ها و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه، مقاومت گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای محیط افزایش می‌دهند (هوکو و هاکو، ۲۰۰۲). مصرف کودهای بیولوژیک در شرایط خشکی نه تنها موجب افزایش مقاومت گیاهان می‌شود بلکه میکروارگانیسم‌های از دست رفته خاک را نیز جبران می‌کند (گیلیک و همکاران، ۲۰۰۱). وو و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که افزایش جمعیت میکروارگانیسم-های مفید می‌تواند مقاومت گیاه را به تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی افزایش دهد. در این رابطه باکتری-های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR)[1] از طریق بهبود رشد گیاه (صالح راستین، ۱۳۸٤)، افزایش سرعت جوانه‌زنی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه (خان و همکاران، ۲۰۰۱)، تسریع در طویل شدن ریشه و استقرار گیاه، افزایش تعداد ریشه‌های جنینی و جانبی (چاکماکچی و همکاران، ۲۰۰۷) و تولید هورمون‌هایی مانند اکسین (ساتوویچ، ۲۰۰۲) منجر به افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مختلف می‌شوند (دوبلر و همکاران، ۲۰۰۳). در طی روز و در شرایط محدودیت آبی گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت، الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌گردد (لاولور و کونیک، ۲۰۰۲). لوسی و همکاران (۲۰۰٤) افزایش محتوی کلروفیل برگ را از مزایای تلقیح گیاه با باکتری‌های افزاینده رشد گزارش کردند. ساریچ و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند که بوته‌های سورگوم تلقیح یافته با آزوسپریلیوم به دلیل توانایی بیشتر در جذب رطوبت خاک، به میزان کمتری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. جاگنو و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی به افزایش ٤۰ درصدی عملکرد دانه در گندم و جو منجر گردید.

کاربرد آهن و روی یکی از راه کارهای اساسی در بهبود عملکرد کمی و کیفی غلات است. آهن نقش بسیار مهمی در فرایندهای مختلف رشد و نمو گیاه دارد. روی نیز از عناصر کم-مصرف ضروری است که برای رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی ضروری است (آلووی، ۲۰۰٤) و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون گیاهی اکسین به کار می‌رود و با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و سنتز پروتئین‌ها رابطه دارد (مارشنر، ۱۹۸٤). سجادی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد ریزمغذی روی با تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها و نگه‌داری عنصر پتاسیم در سلول‌های روزنه، می‌تواند موجب بهبود مقاومت گیاه به تنش خشکی و افزایش عملکرد کمی و کیفی شود. یکی از اثرات تنش خشکی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای به خصوص در مورد عناصر ریزمغذی در گیاه است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (پایگزار و همکاران، ۱۳۸۸). از ویژگی‌های این روش می-توان به برطرف نمودن سریع کمبود عناصر در گیاه اشاره نمود. این

1 - Plant Growth Promoting Rhizobacteria

عناصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند، ولی قابلیت جذب آن-ها با توجه به بافت و ترکیب شیمیایی خاک در هر منطقه متفاوت بوده و مقادیر آن‌ها در بیشتر خاک‌های کشور، بسیار ناچیز است. با توجه به قطر نانو ذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. پاندی و مارانویل (۲۰۰۰) گزارش کردند که مصرف نانو اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه گردید. گزارش‌های محدودی مبنی بر تأثیر مثبت مواد غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان از جمله بادام زمینی (پاندی و همکاران، ۲۰۰۰)، اسفناج (یانگ و همکاران، ۲۰۰۶) وجود دارد. در آزمایش پراساد و همکاران (۲۰۱۲) محلول‌پاشی نانو اکسید روی به مقدار ۲ گرم در ۱۵ لیتر آب موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در مقایسه با محلول‌پاشی این کود به فرم معمول و با غلظت ۳۰ گرم در ۱۵ لیتر شد. مظاهری‌نیا و همکاران (۲۰۱۰) در مقایسه کارایی نانواکسید آهن و آهن معمولی گزارش کردند که نانواکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، از تأثیر معنی-داری در افزایش آهن گیاه برخوردار بود. نتایج بررسی‌های جیانگ و همکاران (۲۰۱۳)؛ ایل عظیم و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که روی نقش مهمی در تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها در طی مرحله پر شدن دانه ایفا می‌کند و افزایش طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش غلظت روی در دانه‌ها می‌شود (کوتمان و همکاران، ۲۰۱۰). بررسی‌های تیمسینا (۲۰۱۳) نشان داد روی و آهن موجب افزایش فتوسنتز و طول دوره پر شدن دانه گندم گردید. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور و گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک و مواجه شدن بخشی از دوران رشدی گیاهان با محدودیت آبی و از طرفی به دلیل کمبود عناصر ریزمغذی در بیشتر خاک‌های کشور و اهمیت محلول‌پاشی این عناصر با نانو ذرات (به دلیل افزایش سرعت جذب، انتقال و تجمع بیشتر ذرات نانو اکسید آهن و روی در مقایسه با فرم معمول) در تعدیل بخشی از اثرات خشکی و کمی بررسی‌های انجام شده در این راستا موجب گردید تا اثر تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی بر روند پر شدن و عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آبی مورد بررسی قرار گیرد.

**مواد و روش‌ها**

آزمایش در سال ۱۳۹۳ در گلخانه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی محدودیت آبی در سه سطح شامل: آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه به عنوان سطح شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی (ZGS 50)، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله سنبله دهی (ZGS 60)، تیمار دوم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح شامل: عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، آزوسپریلیوم لیپوفروم سویه OF و سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸٦) و تیمار سوم محلول‌پاشی در چهار سطح شامل: عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی ۱/۵ گرم در لیتر با نانواکسید آهن، ۱/۵ گرم در لیتر نانواکسید روی و محلول‌پاشی توأم با نانواکسید آهن و روی در مجموع به نسبت یک و نیم گرم در لیتر) بود. باکتری‌ها از موسسه تحقیقات خاک و آب کرج و گندم رقم آتیلا ٤، از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. برای تلقیح بذر با باکتری‌های مورد نظر، میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای $10^7$ عدد باکتری زنده و فعال بود به همراه محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی- حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده گردید. این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. سپس ٤۰ عدد بذر در گلدان‌هایی به قطر ۳٦ سانتی‌متر و ارتفاع ٤۰ سانتی‌متر که حاوی ۲۰ کیلوگرم خاک (با مساحت تقریبی هر گلدان حدود ۱۰۰۰ سانتی‌مترمربع) بود، برای اعمال تراکم ٤۰۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، کشت شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاکی و با در نظر گرفتن توصیه‌های کودی انجام شده برای این رقم، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه در هکتار از منبع اوره (معادل ۰/۲ گرم اوره در هر گلدان) به همراه آب آبیاری به خاک گلدان‌ها اضافه گردید. در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به طریقه دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱٦ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۷±٦۵ درصد نگهداری شدند. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک استفاده شده به شرح جدول ۱ می‌باشد.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مورد استفاده**

| مشخصه | آهک | رس | سیلت | شن | کربن آلی | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | روی | آهن | pH | درصد اشباع | بافت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (درصد) | | | | | | (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | | | | |
| میزان | ۱۵ | ۲۳ | ۴۲ | ۳۵ | ۰/۶۲ | ۰/۰۶۲ | ۱۹/۸ | ۲۱۲ | ۰/۲۸ | ۴/۲۷ | ۷/۸ | ۴۷ | سیلتی لومی |

برای ارزیابی سرعت و طول دوره پر شدن دانه، نمونه‌برداری از ۲۱ روز بعد از خوشه‌دهی در فواصل زمانی هر ۵ روز یک بار انجام شد. 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 سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید. به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) به شرح رابطه ۱ بر اساس رویه DUD دستورالعمل Proc NLIN نرم افزار SAS استفاده گردید (رونانینی و همکاران، ۲۰۰٤).

$$Gw=\begin{cases} a+bt_0 & t<t_0 \\ a+bt & t>t_0 \end{cases}$$ رابطه (۱)

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه است، $t_0$ 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 ($t_0$) بدست آمده و سپس مقدار عددی $t_0$ در قسمت دوم رابطه (۱) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه گردید. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه (۲) و به صورت زیر استفاده شد (الیس و پیتافیلهو، ۱۹۹۲):

$$EFP=MGW / GFR$$ رابطه (۲)

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

در زمان رسیدگی، به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، ۸ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف بر شد و ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها منظور گردید. پس از خارج‌سازی ریشه‌ها و شستشوی آن‌ها، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه گیری شد. میزان کلروفیل برگ پرچم هر ۵ روز یک بار توسط دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502مینولتای ژاپن) تعیین گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون LSD استفاده شد.

## نتایج و بحث

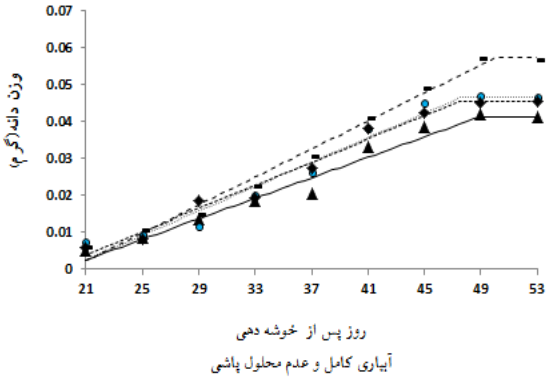
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر محدودیت آبی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر سرعت، حداکثر وزن تک بذر، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، ارتفاع بوته و طول سنبله در سطح احتمال یک درصد و همچنین تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

### تأثیر محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر روند پر شدن دانه گندم

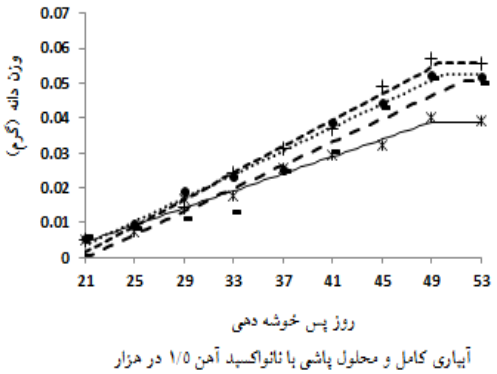
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر وزن تک بذر (۰/۰٦۸ گرم)، سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۱۹ گرم در روز)، طول دوره پر شدن دانه (۵۲/٦۳ روز) و دوره مؤثر پر شدن (۳٤/۷۸ روز) در ترکیب تیماری حاصل از آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی و کمترین مقادیر این صفات (به ترتیب ۰/۰۳۱ گرم، ۰/۰۰۱۲۵ گرم در روز، ٤۵/٤٦ روز و ۲۵/۳۹ روز) در آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی، عدم کاربرد باکتری و عدم محلول‌پاشی به دست آمد، به طوری که نسبت به ترکیب تیماری حاصل از آبیاری کامل، تلقیح بذر با

ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی از کاهش به ترتیب ۵۵/۵٪ در حداکثر وزن دانه، ۳٤/۳٪ در سرعت پر شدن دانه، ۲۳/۷٪ در طول دوره پر شدن و در ۲۷٪ دوره مؤثر پر شدن دانه برخوردار بود. بررسی روند پر شدن دانه گندم در سطح ثابت از آبیاری و محلول‌پاشی و در حالات مختلف تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، نشان داد الگوی نمو بذر در ابتدا در حالت عدم تلقیح و تلقیح بذر با کلیه‌ی باکتری‌ها مشابه است. بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی)، پس از این مرحله، وزن دانه از تغییراتی چندانی برخوردار نبود و به صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱). بر اساس معادلات برازش شده (جدول ۳) مشخص گردید که در تمامی ترکیب‌های تیماری، بین باکتری‌های محرک رشد، محدودیت آبیاری و محلول‌پاشی، از نظر دوره‌ی مؤثر پر شدن، سرعت و طول دوره‌ی پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد. به عبارتی شیب خط برازش شده یا سرعت پر شدن دانه در تلقیح بذر با باکتری‌ها یکسان نبود، به طوریکه حداکثر شیب در تلقیح با ازتوباکتر و حداقل آن در شرایط عدم تلقیح به دست آمد که حاکی از تفاوت در سرعت پر شدن دانه در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی و آبیاری بود.

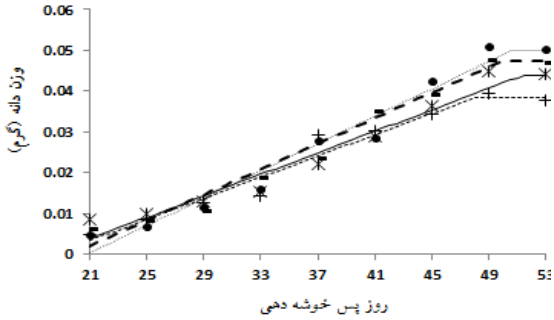
وزن نهایی دانه یکی از اجزای تعیین کننده عملکرد دانه و طول دوره پر شدن دانه نیز یک جزء تعیین کننده زمان رسیدگی است که از ویژگی‌های مهم در اصلاح غلات می‌باشند. علاوه بر این، اندازه دانه به طول دوره پر شدن دانه بستگی دارد و وزن نهایی دانه‌ها را سرعت و طول دوره پر شدن دانه تعیین می‌کنند. میزان مواد فتوسنتزی که به دانه‌ها می‌رسند به سرعت و طول دوره پر شدن دانه بستگی دارد (آلوارو و همکاران، ۲۰۰۸). محلول‌پاشی هر یک از عناصر ریزمغذی موجب افزایش تعداد دانه در بوته نسبت به تیمار شاهد گردید. آهن موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید دانه بیشتر در گیاه می‌شود (شکل ۲). تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نیز منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه شد. در این راستا بنجاری و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد، می‌تواند با تولید هورمون‌های رشد و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی دوره مؤثر پر شدن دانه را افزایش می‌دهند. محمد و همکاران (۱۹۹۰) اعلام کردند که بر اثر مصرف روی به دلیل افزایش مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین ساخته شده توسط گیاه، سرعت و طول دوره پر شدن دانه افزایش می‌یابد. تیمسینا (۲۰۱۳) اظهار داشتند که روی و آهن می‌تواند از طریق طولانی کردن دوره پر شدن دانه به افزایش وزن دانه کمک نماید.



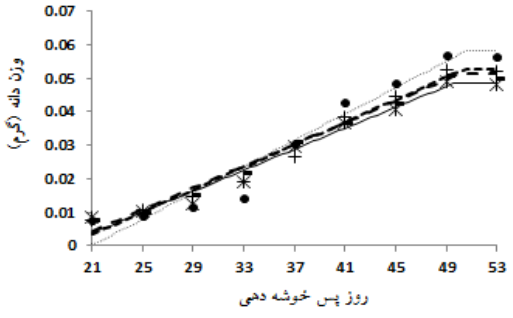
آبیاری کامل و عدم محلول پاشی



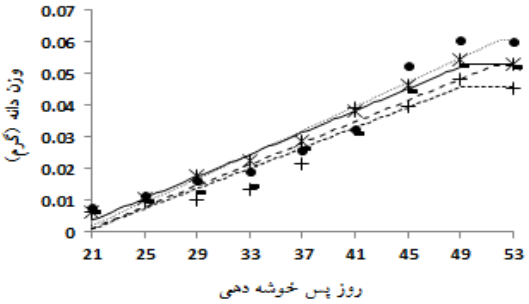
آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید آهن ۱/۵ در هزار



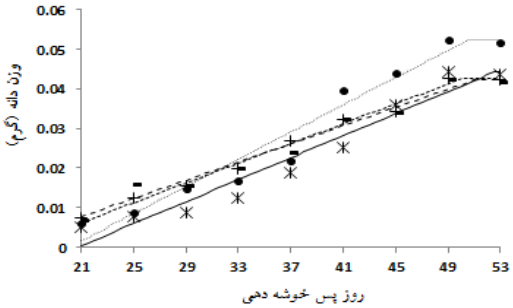
آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید روی ۱/۵ در هزار



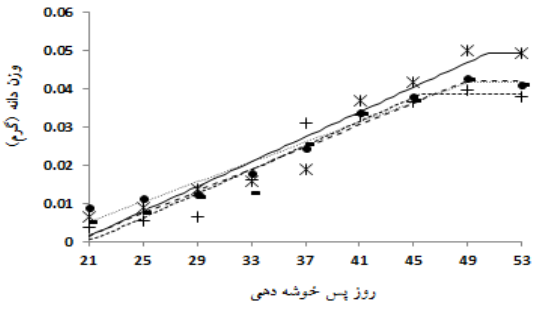
آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید آهن+روی ۱/۵ در هزار



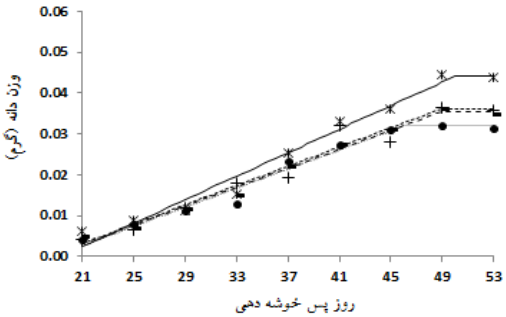
آبیاری تا ۵۰٪سنبله دهی و عدم محلول پاشی



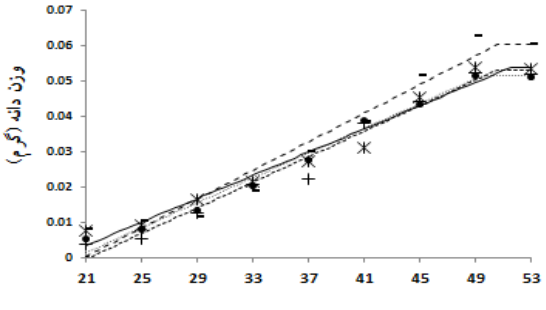
آبیاری تا ۵۰٪سنبله دهی و محلول پاشی با نانواکسید آهن۱/۵ در هزار



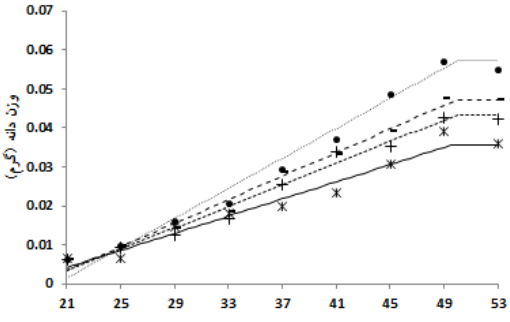
آبیاری تا ۵۰٪سنبله دهی و محلول پاشی با نانواکسید روی۱/۵ در هزار



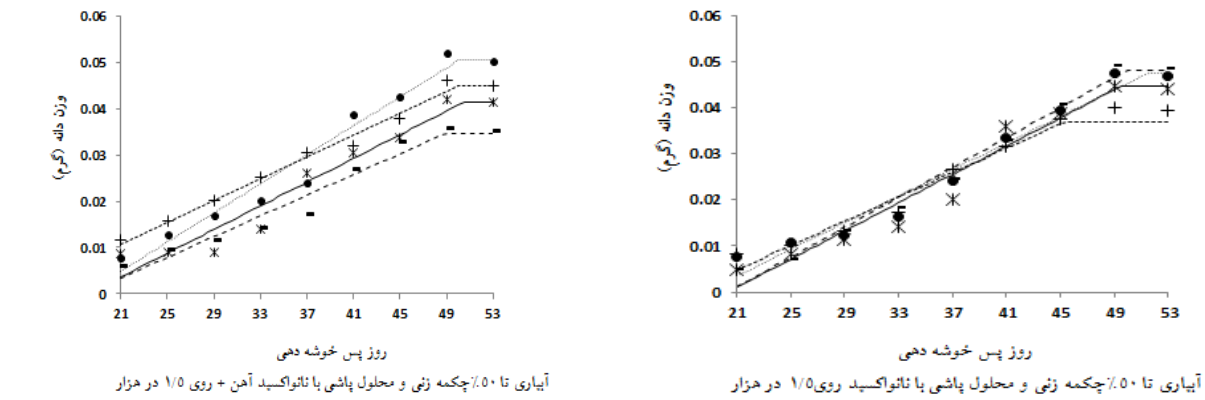
آبیاری تا ۵۰٪سنبله دهی و محلول پاشی با نانواکسید آهن +روی۱/۵ در هزار



آبیاری تا ۵۰٪چکمه زنی و عدم محلول پاشی



آبیاری تا ۵۰٪چکمه زنی و محلول پاشی با نانواکسید آهن۱/۵ در هزار




**شکل ۱- تأثیر محدودیت آبی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر روند پر شدن دانه گندم**

**تأثیر محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک**

**ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله**

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر ارتفاع بوته (۹۱/۳ سانتیمتر)، طول سنبله (۷/۲ سانتیمتر) و تعداد دانه در سنبله (۲٤ عدد) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم با نانواکسید آهن و روی و کمترین آن‌ها (به ترتیب با ٤۱ سانتیمتر، ۳/۸۳ سانتیمتر و ۹ عدد) در ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی، عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ٤). کندیل (۲۰۰٤) اظهار داشتند که ازتوباکتر به دلیل نقش ویژه‌ای که در تولید و ترشح هورمون‌های رشد نظیر اکسین و جیبرلین دارد، در کنار تثبیت نیتروژن موجب رشد و رسیدگی بهتر و افزایش ارتفاع بوته می‌شود. بورد و همکاران (۲۰۰۰) اظهار داشتند باکتری‌های محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و قابلیت تولید را از طریق سنتز فیتو هورمون‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی در یک محل، سهولت جذب مواد غذایی و القای مقاومت سیستمیک به عوامل بیماری‌زا افزایش دهند. عمو آقایی و همکاران (۱۳۸۲) در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر روی ارقام مختلف گندم اظهار داشتند که عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله در بذرهای تلقیح شده نسبت به بذرهای تلقیح نشده به صورت معنی‌داری افزایش یافت. حسن‌زاده و همکاران (۱۳۸٦) افزایش ۱۷ درصدی تعداد دانه در سنبله جو را تحت تأثیر باکتری تثبیت کننده نیتروژن برآورد نمودند و اظهار داشتند در حضور این باکتری‌ها به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و تحریک رشد زایشی، تعداد دانه بیشتری در سنبله تشکیل می‌یابد.

**جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات محلول‌پاشی، باکتری محرک رشد و محدودیت آبی بر عملکرد و روند پر شدن دانه گندم**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | حداکثر وزن دانه | سرعت پر شدن دانه | دوره مؤثر پر شدن دانه | طول دوره پر شدن دانه | ارتفاع بوته | طول سنبله | تعداد دانه در سنبله | وزن صد دانه | وزن ریشه | حجم ریشه | عملکرد |
| R | ۲ | ۰/۰۰۰۲۸ ** | ۲/۰۵ ns | ۱۱۱/۰۱ ** | ۵/۵۳ ** | ۲۱/٤ ** | ۰/۸۹ * | ۱۹/۵۰ ** | ۱/۱۵ ** | ۰/۰۳ ** | ۰/۱۰۲ ** | ۰/۰۰۲۲ ns |
| I | ۲ | ۰/۰۰۰۱۰ ** | ٤/۹۸ ** | ۱/۳۷ ns | ۱٤/۸٤ ** | ۱۵۸۱۷ ** | ۱۷/۸۳ ** | ۲۸۵/۲۹ ** | ٦۷/۰٦ ** | ۰/۲۱ ** | ۱/۳۹ ** | ۳/۱۸۱ ** |
| B | ۳ | ۰/۰۰۰۳٤ ** | ۲/٦۱ ** | ۲۱/۱٦ ** | ۱۹/۰٦ ** | ٦۰/۳۷ ** | ۲/۲۱ ** | ۱۳۲/۷۸ ** | ٤/۸۹ ** | ۰/۰٤ ** | ۰/۳۲ ** | ۰/۵۷۲ ** |
| F | ۳ | ۰/۰۰۰۱۲ ** | ۱/۰۲ ** | ۱٦/۳۷ * | ۱۰/۰۱ ** | ۱۰٦/۹۵ ** | ۳/۰۲ ** | ۱٤۸/٤۷ ** | ۱/۸۸ ** | ۰/۱۲ ** | ۰/۷۳ ** | ۰/۳۵۲ ** |
| B * I | ٦ | ۰/۰۰۰۱۳ ** | ۱/۲۲ ** | ۱۲/۰٤ * | ٤/۷٤ ** | ۸/۱۱ ** | ۰/۳٦ ns | ۲۷/۱۱ ** | ۰/۱٤ * | ۰/۰۰۱ ** | ۰/۰۲ ** | ۰/۱۲۹ ** |
| F * I | ٦ | ۰/۰۰۰٤۱ ** | ۳/۲٦ ** | ۷/٤۱ * | ۱۳/۱۵ ** | ۱۰/۲۱ ** | ۰/۲٦ ns | ۳/۵٤ * | ۰/۰۵ ns | ۰/۰۰۱ ** | ۰/۰۱ ** | ۰/۰۳۱ ** |
| B * F | ۹ | ۰/۰۰۰۲۸ ** | ۱/٦۳ ** | ۱۸/٤۷** | ۳/۰۰ ** | ۳٤/۸۷ ** | ۰/٦٦ ** | ۱۰/۱۲ ** | ۰/۰۳ ns | ۰/۰۰۱ ** | ۰/۰۱ ** | ۰/۰۱۰ ** |
| B * F * I | ۱۸ | ۰/۰۰۰۰۹٤ ** | ۵/۷٤ ** | ۹/۰۳ ** | ۲/٤۲ ** | ۱۰/۷۹ ** | ۰/۹٤ ** | ۲/۱٤ * | ۰/۰۲ ns | ۰/۰۰۰٦ ** | ۰/۰۲ ** | ۰/۰۰٤ * |
| E | - | ۰/۰۰۰۰۰٤۱۲ | ۲/۱۱ | ۲/۱۲ | ۰/۸۲٦۳ | ۲/۲۷ | ۰/۲۱٤ | ۱/۱۸۷ | ۰/۰۵۵ | ۰/۰۰۰٤ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱۳ |
| (%) CV | - | ٤/٤ | ۲/۹ | ٤/۹ | ۱/۸ | ۲/۳ | ۱۰/٤ | ۷/۷ | ٦/۰ | ۲/۳ | ۱/۸۳ | ٦/۹ |

Rتکرار، I آبیاری، B باکتری محرک رشد، F محلول‌پاشی $^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی، باکتری محرک رشد و محدودیت آبی بر وزن تک بذر، دوره مؤثر، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم

| ترکیب تیماری | حداکثر وزن دانه (گرم) | طول دوره پر شدن دانه (روز) | دوره مؤثر پر شدن دانه (روز) | سرعت پر شدن دانه (گرم در روز) | معادله برازش شده |
|---|---|---|---|---|---|
| $I_1 B_0 F_0$ | ۰/۰۴۲۰n-t | ۴۷/۳۹ op | ۲۸/۴۰ i-r | ۰/۰۰۱۴۹ o-p | Y= -0.0267+0.00139X |
| $I_1 B_1 F_0$ | ۰/۰۴۶۹ i-m | ۴۷/۵۹ n-p | ۲۸/۴ i-r | ۰/۰۰۱۶۵ g-j | Y= -0.0324+0.00166X |
| $I_1 B_2 F_0$ | ۰/۰۴۲۴ n-s | ۴۹/۶۸ f-k | ۲۶/۷۷ p-t | ۰/۰۰۱۵۸ j-m | Y= -0.0291+0.00157X |
| $I_1 B_3 F_0$ | ۰/۰۵۴۳ d-f | ۴۷/۹۵ m-p | ۳۰/۵۴ c-j | ۰/۰۰۱۷۶ cd | Y= -0.0377+0.00190X |
| $I_1 B_0 F_1$ | ۰/۰۴۸۸ g-j | ۴۹/۴۸ g-l | ۳۱/۶۶ b-f | ۰/۰۰۱۵۴ l-o | Y= -0.0293+0.00157X |
| $I_1 B_1 F_1$ | ۰/۰۵۶۹ cd | ۴۹/۵۵ f-k | ۲۹/۲۷ g-o | ۰/۰۰۱۹۵ ab | Y= -0.0414+0.00197X |
| $I_1 B_2 F_1$ | ۰/۰۵۰۰ g-i | ۴۹/۶۷ f-k | ۲۸/۷۲ i-p | ۰/۰۰۱۷۴ c-f | Y= -0.0320+0.00168X |
| $I_1 N_3 F_1$ | ۰/۰۴۷۹ h-l | ۴۹/۷۷ e-k | ۲۹/۲۷ y-o | ۰/۰۰۱۶۳ i-k | Y= -0.0297+0.00162X |
| $I_1 B_0 F_2$ | ۰/۰۴۹۸ g-i | ۵۰/۶۵ c-i | ۳۱/۱۷ c-h | ۰/۰۰۱۶۰ j-f | Y= -0.0326+0.00162X |
| $I_1 B_1 F_2$ | ۰/۰۶۶۸ a | ۴۹/۳۹ h-m | ۳۳/۹۲ a-b | ۰/۰۰۱۹۷ a | Y= -0.0221+0.00130X |
| $I_1 B_2 F_2$ | ۰/۰۳۸۶ v-y | ۴۷/۱۴ P | ۲۵/۹۳ st | ۰/۰۰۱۴۸ o-q | Y= -0.0330+0.00157X |
| $I_1 B_3 F_2$ | ۰/۰۴۰۷ u-w | ۴۹/۰۱ k-n | ۲۸/۱۴ k-s | ۰/۰۰۱۴۴ p-s | Y= -0.0286+0.00144X |
| $I_1 B_0 F_3$ | ۰/۰۳۹۰ q-u | ۵۰/۹۱ b-g | ۲۸/۴۸ i-q | ۰/۰۰۱۳۷ s-u | Y= -0.0189+0.00110X |
| $I_1 B_1 F_3$ | ۰/۰۶۸۹ a | ۵۲/۶۳ a | ۳۴/۷۸ a | ۰/۰۰۱۹۸ a | Y= -0.0388+0.00192X |
| $I_1 B_2 F_3$ | ۰/۰۴۰۳ r-x | ۴۸/۶۷ k-o | ۲۷/۳ n-t | ۰/۰۰۱۴۷o-r | Y= -0.0256+0.00138X |
| $I_1 B_3 F_3$ | ۰/۰۴۴۹ k-o | ۴۹/۶۴ f-k | ۲۹/۸۴ d-m | ۰/۰۰۱۵۰ n-p | Y= -0.0282+0.00151X |
| $I_2 B_0 F_0$ | ۰/۰۴۹۹ g-i | ۴۹/۶۹ f-k | ۲۹/۶۴ e-n | ۰/۰۰۱۶۸ f-i | Y= -0.0214+0.00123X |
| $I_2 B_1 F_0$ | ۰/۰۳۹۵ r-x | ۵۰/۶۸ c-h | ۲۹/۷۳ e-m | ۰/۰۰۱۳۳ u-w | Y= -0.0319+0.00169X |
| $I_2 B_2 F_0$ | ۰/۰۵۴۳ de | ۵۰/۰۱ e-k | ۲۸/۸۶ h-p | ۰/۰۰۱۸۹ b | Y= -0.0384+0.00190X |
| $I_2 B_3 F_0$ | ۰/۰۴۸۸ g-j | ۵۲/۱۷ ab | ۲۸/۷۸ h-p | ۰/۰۰۱۶۹ f-i | Y= -0.0349+0.00166X |
| $I_2 B_0 F_1$ | ۰/۰۵۱۸ ef | ۴۹/۹۲ e-k | ۳۰/۲۶ d-k | ۰/۰۰۱۷۱۳ e-h | Y= -0.0326+0.00173X |
| $I_2 B_1 F_1$ | ۰/۰۵۸۰ c | ۵۰/۹۹ b-f | ۳۰/۲ d-l | ۰/۰۰۱۹۲ ab | Y= -0.0378+0.00189X |
| $I_2 B_2 F_1$ | ۰/۰۴۵۳ k-n | ۵۰/۰۸ d-k | ۲۸/۷۶ i-p | ۰/۰۰۱۵۸ k-n | Y= -0.0326+0.00160X |
| $I_2 B_3 F_1$ | ۰/۰۴۹۹ g-i | ۵۱/۶۵ a-c | ۲۹/۴۵ f-n | ۰/۰۰۱۶۹ f-i | Y= -0.0340+0.00168X |
| $I_2 B_0 F_2$ | ۰/۰۴۱۹ o-u | ۴۹/۹۹ e-k | ۲۹/۶۹ e-m | ۰/۰۰۱۴۱ r-t | Y= -0.0279+0.00144X |
| $I_2 B_1 F_2$ | ۰/۰۴۲ o-u | ۵۱/۵۴ a-d | ۳۱/۸۴ b-e | ۰/۰۰۱۳۲ u-x | Y= -0.0219+0.0117X |
| $I_2 B_2 F_2$ | ۰/۰۳۳۹ yz | ۴۹/۰۰ k-n | ۲۶/۰۶ r-t | ۰/۰۰۱۳۵ t-v | Y= -0.0216+0.00118X |
| $I_2 B_3 F_2$ | ۰/۰۳۴۴ wx | ۴۹/۱۹ i-m | ۲۶/۹۲ o-t | ۰/۰۰۱۲۹ v-x | Y= -0.0213+0.00116X |
| $I_2 B_0 F_3$ | ۰/۰۴۲۶ n-q | ۴۹/۳۷ h-m | ۲۸/۳۰ i-r | ۰/۰۰۱۵۱ m-p | Y= -0.0311+0.00153X |
| $I_2 B_1 F_3$ | ۰/۰۴۴۹ j-m | ۴۹/۶۶ f-k | ۲۹/۷۲ e-m | ۰/۰۰۱۵۰ n-p | Y= -0.0267+0.00144X |
| $I_2 B_2 F_3$ | ۰/۰۳۷۱ x-z | ۴۸/۰۳ l-p | ۲۹/۱۴ g-o | ۰/۰۰۱۲۸ v-x | Y= -0.0229+0.00132X |
| $I_2 B_3 F_3$ | ۰/۰۴۶۱ j-m | ۵۰/۰۹ d-k | ۲۹/۰۲ h-p | ۰/۰۰۱۵۹ j-f | Y= -0.0329+0.00162X |
| $I_3 B_0 F_0$ | ۰/۰۳۱۶ z | ۴۵/۴۶q | ۲۵/۳۹ t | ۰/۰۰۱۲۵x | Y= -0.0240+0.00132X |
| $I_3 B_1 F_0$ | ۰/۰۴۸۱ h-k | ۵۰/۵۴ c-j | ۲۸/۲ j-s | ۰/۰۰۱۷۱۹ e-i | Y= -0.0350+0.00168X |
| $I_3 B_2 F_0$ | ۰/۰۳۷۹ w-z | ۴۷/۶۱ n-p | ۲۷/۹۸ k-s | ۰/۰۰۱۳۵ t-v | Y= -0.0240+0.00130X |
| $I_3 B_3 F_0$ | ۰/۰۴۴۹ l-o | ۴۹/۳۲ h-m | ۲۸/۳ i-s | ۰/۰۰۱۵۸ j-m | Y= -0.0310+0.00157X |
| $I_3 B_0 F_1$ | ۰/۰۴۱۷ o-v | ۴۵/۴۷q | ۲۹/۴۳ f-n | ۰/۰۰۱۴۱ q-t | Y= -0.0288+0.00139X |
| $I_3 B_1 F_1$ | ۰/۰۴۹۷ g-i | ۴۹/۹۰ e-q | ۲۷/۶۲ m-t | ۰/۰۰۱۷۹ c | Y= -0.0345+0.00172X |
| $I_3 B_2 F_1$ | ۰/۰۴۰۰ q-z | ۴۹/۱۱ j-m | ۳۱/۴۷ c-g | ۰/۰۰۱۲۷ w-x | Y= -0.0200+0.00125X |
| $I_3 B_3 F_1$ | ۰/۰۳۹۳ s-x | ۵۰/۵۰ c-j | ۳۰/۶۳ c-i | ۰/۰۰۱۲۹ v-x | Y= -0.0164+0.00115X |
| $I_3 B_0 F_2$ | ۰/۰۵۱۱ f-h | ۵۱/۱۹ a-e | ۳۱/۲۲ c-h | ۰/۰۰۱۶۴ h-k | Y= -0.0312+0.00165X |
| $I_3 B_1 F_2$ | ۰/۰۴۸۹ f-i | ۴۹/۲۹ h-m | ۲۸/۴۷ i-q | ۰/۰۰۱۷۱ e-g | Y= -0.0355+0.0176X |
| $I_3 B_2 F_2$ | ۰/۰۴۹۸ g-j | ۴۹/۹۱ e-k | ۲۷/۸۳ l-s | ۰/۰۰۱۷۸۳ c-e | Y= -0.0384+0.00181X |
| $I_3 B_3 F_2$ | ۰/۰۶۲۴ b | ۴۹/۹۵ e-k | ۳۲/۴۶ a-d | ۰/۰۰۱۹۱ ab | Y= -0.0423+0.00203X |
| $I_3 B_0 F_3$ | ۰/۰۳۹۱ t-x | ۵۰/۰۳ e-k | ۲۹/۷۸ e-m | ۰/۰۰۱۳۲ u-x | Y= -0.0233+0.00128X |
| $I_3 B_1 F_3$ | ۰/۰۴۲۷ n-r | ۴۹/۱۶ i-m | ۳۱/۸۵ b-e | ۰/۰۰۱۳۴ t-w | Y= -0.0280+0.00157X |
| $I_3 B_2 F_3$ | ۰/۰۴۳۷ m-p | ۴۸/۰۲ l-p | ۳۲/۸۱ a-c | ۰/۰۰۰۱۳۲ u-w | Y= -0.0140+0.00118X |
| $I_3 B_3 F_3$ | ۰/۰۳۴۹ z | ۴۹/۲۰ i-m | ۲۶/۲۸ q-t | ۰/۰۰۱۳۳ u-w | Y= -0.0201+0.00112X |
| $LSD_{\%5}$ | ۰/۰۰۳۲ | ۱/۴۷۳۷ | ۲/۳۶ | ۰/۰۰۰۱ | - |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

$F_0$، $F_1$، $F_2$ و $F3$به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با نانواکسیدآهن، محلول‌پاشی با نانواکسید روی و محلول‌پاشی توأم با نانواکسید آهن و روی

$B_0$، $B_1$، $B_2$ و $B3$به ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری، تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر، تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم و تلقیح بذر با باکتری سودوموناس

$I_1$، $I_2$ و $I3$به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا مرحله چکمه‌زنی

**وزن صد دانه**

بر اساس جدول تجزیه واریانس، وزن صد دانه تحت تأثیر محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و تحت اثر ترکیب تیماری دو عامل آبیاری و باکتری‌های محرک رشد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری و باکتری محرک رشد نشان داد که بیشترین وزن صد دانه (٥/٤ گرم) در آبیاری کامل و کاربرد ازتوباکتر به دست آمد (جدول ٦). همچنین مقایسه اثرات اصلی نشان داد که بیشترین وزن صد دانه در آبیاری کامل (٤/۹ گرم)، کاربرد ازتوباکتر (٤/۲ گرم) و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی (٤/۱ گرم) مشاهده شد (جدول ٥). خسروی و همکاران (۱۳۸۱) گزارش کردند که کاربرد باکتری محرک رشد موجب توسعه ریشه شده و شرایط را برای جذب عناصر غذایی فراهم کنند که این به نوبه خود موجب افزایش فتوسنتز می‌گردد. بخشی از افزایش وزن صد دانه به واسطه کاربرد باکتری‌ها و نانواکسید آهن و روی را می‌توان به اثرات ناشی از کاربرد این عوامل بر مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد طوری که در این بررسی بیشترین طول دوره پر شدن دانه به ترکیب تیماری آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی تعلق داشت، همان ترکیب تیماری که موجب افزایش وزن تک بذر و به تبع از آن به افزایش صد دانه منجر گردید. بایبوردی و ممدوف (۲۰۱۰) دلیل افزایش وزن هزار دانه در اثر محلول‌پاشی روی و آهن در کلزا را به بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های رشد مثل IAA و متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن نسبت دادند که منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شوند و اظهار داشتند به دلیل تأمین مواد مغذی ماکرو و میکرو در مراحل آخر رشدی، تجمع شیره پرورده در دانه افزایش می‌یابد و در نتیجه آن وزن دانه بیشتر می‌گردد. احمدی و همکاران (۱۳۸۸) دلیل اصلی افزایش فعالیت فتوسنتزی و طول دوره پر شدن دانه را به نقش آهن در افزایش محتوای کلروفیل برگ و انتقال الکترون نسبت دادند. در این بررسی نیز محتوای کلروفیل برگ پرچم در شرایط محلول‌پاشی با عناصر آهن و روی از مقادیر بالاتری برخوردار بود و در طول دوره رشدی گیاه از افت کمتری در مقایسه با عدم محلول‌پاشی برخوردار بود (شکل ۲).

**وزن و حجم ریشه**

نتایج نشان داد بیشترین وزن و حجم ریشه (به ترتیب ۰/٤٦ گرم و ۱/۳۳ سانتی‌متر مکعب) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و کاربرد توأم آهن و روی و کمترین مقدار آن‌ها به ترتیب (۰/۱۱ گرم) و (۰/۱٦ سانتی‌متر مکعب) در آبیاری تا ٥۰ درصد مرحله چکمه‌زنی، عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ٤). مانسک و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی علت افزایش وزن و عملکرد ریشه گندم در تلقیح بذر با ازتوباکتر اظهار داشتند که ایندول استیک اسید در کنار سایتوکینین که توسط ازتوباکتر تولید می‌شود از طریق رشد ریشه‌های جانبی موجب افزایش وزن ریشه می‌شود. کاربرد جداگانه هر کدام از عناصر ریزمغذی و محلول‌پاشی توأم روی و آهن بیشترین وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد به خود اختصاص داد. در تنش خشکی به دلیل رشد اندک ریشه، انتقال مواد غذایی کاهش می‌یابد. گزارش شده است که در حضور عناصر ریزمغذی به خصوص عنصر روی ساخت هورمون‌هایی نظیر اکسین افزایش می‌یابد (چاکماک، ۲۰۰۸). اکسین در غلظت بالا به دلیل تولید اتیلن اثر بازدارنده بر رشد ریشه دارد ولی به نظر می‌رسد در حضور باکتری‌های محرک رشد، سطح اتیلن به علت افزایش فعالیت آنزیم Acc دی‌آمیناز کاهش می‌یابد که به موجب آن غلظت بالای اکسین تولید ریشه‌های ثانویه در ریشه را تحریک کرده و در نهایت موجب افزایش وزن و حجم ریشه گیاه می‌شود. اوزترک و همکاران (۲۰۰٦) در گیاه گندم نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی، باکتری محرک رشد و محدودیت آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

| ترکیب تیماری | حجم ریشه ($cm^3$) | وزن ریشه (g) | طول سنبله (cm) | تعداد دانه در سنبله | عملکرد (گرم در بوته) | ارتفاع بوته (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_1 B_0 F_0$ | ۰/۵۰ ij | ۰/۲۲ p-s | ۴/۸ g-o | ۱۰ mn | ۰/۴۳ p-n | ۸۰/۳ e |
| $I_1 B_1 F_0$ | ۰/۶۷ gh | ۰/۳۱ g-i | ۵/۸۳ b-i | ۱۵ e-g | ۰/۸۳ d | ۸۲/۷ de |
| $I_1 B_2 F_0$ | ۰/۶۷ gh | ۰/۲۷ k-n | ۵/۱۶ f-n | ۱۶/۳۳ c-e | ۰/۶۷ gh | ۸۳/۶ cd |
| $I_1 B_3 F_0$ | ۰/۶۸ g | ۰/۳۸ k-m | ۵/۴۳ c-n | ۱۴ f-i | ۰/۵۵ jk | ۸۲/۳ de |
| $I_1 B_0 F_1$ | ۰/۶۷ gh | ۰/۲۷ k-m | ۵ g-n | ۱۱ lm | ۰/۴۷ n-l | ۸۲ de |
| $I_1 B_1 F_1$ | ۰/۸۳ c-e | ۰/۳۵ de | ۶/۳ a-e | ۱۸ c | ۰/۹۵ c | ۸۱/۶ de |
| $I_1 B_2 F_1$ | ۰/۸۴ cd | ۰/۳۲ e-g | ۶/۲۶ b-f | ۱۵/۶۶ d-f | ۰/۷۸ de | ۸۰/۷ e |
| $I_1 B_3 F_1$ | ۰/۶۸ g | ۰/۳۱ g-j | ۴/۶ k-q | ۱۶ de | ۰/۶۶ gh | ۸۵/۶ bc |
| $I_1 B_0 F_2$ | ۰/۸۰ f | ۰/۲۹ i-l | ۵/۷ b-k | ۱۲/۶۶ i-l | ۰/۵۲ j-m | ۸۲/۴ de |
| $I_1 B_1 F_2$ | ۰/۸۳ c-e | ۰/۳۹ c | ۶/۵۳ a-c | ۲۳/۳۳ ab | ۱/۱۸ a | ۸۳/۹ cd |
| $I_1 B_2 F_2$ | ۰/۸۵ c | ۰/۳۷ cd | ۶/۲ b-f | ۲۱ b | ۱/۰۶ b | ۸۳/۶ cd |
| $I_1 B_3 F_2$ | ۰/۸۵ c | ۰/۳۴ d-f | ۶/۳ a-d | ۱۶/۳۳ c-e | ۰/۷۶ ef | ۸۱/۷ de |
| $I_1 B_0 F_3$ | ۰/۸۳ c-e | ۰/۳۸ c | ۶/۵۶ ab | ۱۳/۶۶ g-j | ۰/۵۸ h-j | ۸۱/۶ de |
| $I_1 B_1 F_3$ | ۱/۳۳ a | ۰/۴۶ a | ۷/۲ a | ۲۴ a | ۱/۲۱ a | ۹۱/۳ a |
| $I_1 B_2 F_3$ | ۱/۰۲ b | ۰/۴۵ a | ۵/۸ b-i | ۲۲ b | ۱/۰۹ b | ۹۰/۶ a |
| $I_1 B_3 F_3$ | ۱/۰۲ b | ۰/۴۲ b | ۶/۳ a-e | ۲۰/۶۶ b | ۰/۹۳ c | ۸۶/۷ b |
| $I_2 B_0 F_0$ | ۰/۳۵ k | ۰/۱۶ wx | ۵/۲۳ e-n | ۱۰ mn | ۰/۳۶ qrs | ۵۹/۵ m |
| $I_2 B_1 F_0$ | ۰/۶۵ h | ۰/۲۳ o-r | ۴/۷۳ k-q | ۱۲ j-l | ۰/۵۲ k-m | ۶۱/۷ j-m |
| $I_2 B_2 F_0$ | ۰/۴۹ j | ۰/۲۲ q-s | ۵/۳ e-n | ۱۳/۶۶ g-j | ۰/۴۶ no | ۶۳/۷ h-j |
| $I_2 B_3 F_0$ | ۰/۴۹ j | ۰/۱۹ t-v | ۴/۵۶ l-q | ۱۱/۳۳ k-m | ۰/۳۶ q-s | ۶۳/۶ h-j |
| $I_2 B_0 F_1$ | ۰/۵۲ ij | ۰/۲۰ r-u | ۴/۵ l-q | ۱۲/۳۳ i-l | ۰/۴۱ o-q | ۶۵/۵ gh |
| $I_2 B_1 F_1$ | ۰/۶۵ h | ۰/۲۹ h-k | ۵/۴ d-n | ۱۴ f-i | ۰/۶۷ gh | ۶۱/۵ j-m |
| $I_2 B_2 F_1$ | ۰/۴۹ j | ۰/۲۵ no | ۵/۲ e-n | ۱۴ f-i | ۰/۶۲ hi | ۶۱ k-m |
| $I_2 B_3 F_1$ | ۰//۵۰ j | ۰/۲۵ n-p | ۶/۲۳ a-f | ۱۴/۶۶ e-h | ۰/۴۶ m-o | ۵۹/۹ m |
| $I_2 B_0 F_2$ | ۰/۵۲ i | ۰/۲۷ k-n | ۵/۸۶ b-h | ۱۳ h-k | ۰/۴۲ n-q | ۶۲/۹ i-k |
| $I_2 B_1 F_2$ | ۰/۶۵ h | ۰/۳۳ e-g | ۶/۲۳ a-f | ۱۶/۳۳ c-e | ۰/۶۷ gh | ۶۵/۲ g-i |
| $I_2 B_2 F_2$ | ۰/۶۶ h | ۰/۲۹ i-l | ۵/۴ d-n | ۱۵ e-g | ۰/۶۵ gh | ۶۳/۱ h-k |
| $I_2 B_3 F_2$ | ۰/۶۶ h | ۰/۲۸ j-l | ۵/۸۳ b-i | ۱۳ h-k | ۰/۴۸ l-n | ۶۳/۳ h-k |
| $I_2 B_0 F_3$ | ۰/۸۲ ef | ۰/۳۲ e-g | ۶/۳ a-e | ۱۳/۶۶ g-j | ۰/۵۳ jk | ۶۲/۵ j-l |
| $I_2 B_1 F_3$ | ۰/۸۲ ef | ۰/۳۶ cd | ۵/۸۳ b-i | ۲۰/۶۶ b | ۰/۷۱ gf | ۷۱/۲ f |
| $I_2 B_2 F_3$ | ۰/۸۳ de | ۰/۳۵ d-f | ۵/۹ b-f | ۱۶ de | ۰/۷۱ fg | ۶۶/۲ g |
| $I_2 B_3 F_3$ | ۰/۸۳ de | ۰/۳۱ g-i | ۵/۷۳ b-j | ۱۵ e-g | ۰/۵۷ jk | ۶۰/۱ lm |
| $I_3 B_0 F_0$ | ۰/۱۶ m | ۰/۱۱ z | ۳/۸۳ pq | ۹ n | ۰/۱۸ w | ۴۱/۰ s |
| $I_3 B_1 F_0$ | ۰/۶۶ h | ۰/۱۸ u-w | ۴/۶ l-q | ۱۰ mn | ۰/۲۳ u-w | ۴۸/۳ o-q |
| $I_3 B_2 F_0$ | ۰/۳۴ kl | ۰/۱۶ wx | ۳/۶۶ q | ۱۰ mn | ۰/۲ vw | ۴۷/۳ o-q |
| $I_3 B_3 F_0$ | ۰/۳۴ kl | ۰/۱۷ v-x | ۴/۶۳ j-q | ۹/۶۶ mn | ۰/۱۸ vw | ۴۴/۴ qr |
| $I_3 B_0 F_1$ | ۰/۳۳ l | ۰/۱۲ yz | ۳/۷ pq | ۱۰ mn | ۰/۲۲ u-w | ۴۷/۴ o-q |
| $I_3 B_1 F_1$ | ۰/۶۶ h | ۰/۲۱ q-t | ۵/۵۳ b-l | ۱۱ lm | ۰/۳ st | ۴۹/۵ n-p |
| $I_3 B_2 F_1$ | ۰/۳۴ kl | ۰/۱۸ u-w | ۳/۸ pq | ۱۱/۳۳ k-m | ۰/۲۷ tu | ۴۴/۱ r |
| $I_3 B_3 F_1$ | ۰/۳۴ kl | ۰/۱۸ u-w | ۳/۸۱ pq | ۱۱ lm | ۰/۲۴ uv | ۴۷/۸ o-q |
| $I_3 B_0 F_2$ | ۰/۳۳ l | ۰/۱۴ xy | ۴/۶ k-q | ۱۱/۳۳ r-m | ۰/۲۳ u-w | ۴۷/۵ o-q |
| $I_3 B_1 F_2$ | ۰/۶۶ h | ۰/۳۱ g-j | ۴/۷۶ h-q | ۱۳ h-k | ۰/۳۸ o-q | ۴۹/۶ no |
| $I_3 B_2 F_2$ | ۰/۵۰ ij | ۰/۲۰ s-u | ۴/۳ n-q | ۱۳ h-k | ۰/۳۱ st | ۴۸/۸ o-q |
| $I_3 B_3 F_2$ | ۰/۵۰ ij | ۰/۲۰ s-u | ۴/۳ m-q | ۱۲/۶۶ i-l | ۰/۲۷ tu | ۴۷ pq |
| $I_3 B_0 F_3$ | ۰/۵۰ j | ۰/۲۴ o-q | ۵/۴ d-n | ۱۲/۶۶ i-l | ۰/۳۱ st | ۴۹/۱ op |
| $I_3 B_1 F_3$ | ۰/۶۶ h | ۰/۳۱ g-i | ۴/۸ g-p | ۱۶ de | ۰/۴۴ n-p | ۵۱/۶ n |
| $I_3 B_2 F_3$ | ۰/۶۷ gh | ۰/۳۱ g-j | ۵/۵۶ b-l | ۱۳ h-k | ۰/۳۵ st | ۴۹ op |
| $I_3 B_3 F_3$ | ۰/۶۷ gh | ۰/۲۷ l-n | ۵/۰۶ g-o | ۱۳/۳۳ g-j | ۰/۳۱ st | ۴۷/۲ pq |
| $LSD_{\%5}$ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۱/۱۱ | ۱/۷۶ | ۰/۰۶ | ۲/۴۴ |

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

$F_0$، $F_1$، $F_2$ و F3به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با نانواکسیدآهن، محلول‌پاشی با نانواکسید روی و محلول‌پاشی توأم با نانواکسید آهن و روی

$B_0$، $B_1$، $B_2$ و B3به ترتیب عدم تلقیح بذر با باکتری، تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر، تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلیوم و تلقیح بذر با باکتری سودوموناس

$I_1$، $I_2$ و I3به ترتیب آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا مرحله چکمه‌زنی

**جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر وزن صد دانه گندم**

| تیمار | | وزن صد دانه |
|---|---|---|
| آبیاری | آبیاری کامل | ۴/۹ a |
| | آبیاری تا ۵۰٪ سنبله دهی | ۳/۹ b |
| | آبیاری تا ۵۰٪ درصد چکمه‌زنی | ۲/۵c |
| $LSD_{\%5}$ | | ۰/۰۹ |
| باکتری | عدم تلقیح | ۳/۳ d |
| | ازتوباکتر | ۴/۲ a |
| | آزوسپریلیوم | ۳/۸b |
| | سودوموناس | ۳/۷c |
| محلول‌پاشی | عدم محلول‌پاشی | ۳/۵d |
| | نانواکسید آهن | ۳/۷ c |
| | نانواکسید روی | ۳/۸ b |
| | نانواکسید آهن+ نانواکسیدروی | ٤/۱ a |
| $LSD_{\%5}$ | | ۰/۱۱ |

**جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات دوگانه محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر وزن صد دانه گندم**

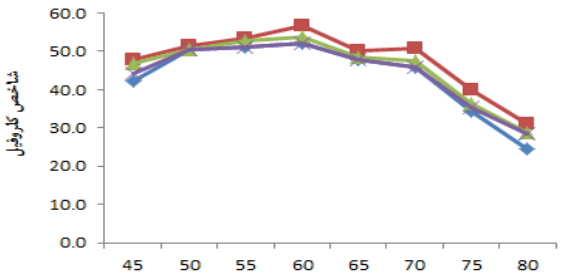
| ترکیب تیماری | | وزن صد دانه |
|---|---|---|
| آبیاری کامل | عدم تلقیح | cd۴/۴ |
| | ازتوباکتر | a۵/۴ |
| | آزوسپریلیوم | ab ۵/۰ |
| | سودوموناس | bc۴/۷ |
| آبیاری تا ۵۰٪ سنبله دهی | عدم تلقیح | f۳/۵ |
| | ازتوباکتر | c-d۴/۳ |
| | آزوسپریلیوم | de۴/۰ |
| | سودوموناس | e۳/۵ |
| آبیاری تا ۵۰٪ درصد چکمه‌زنی | عدم تلقیح | h۲/۲ |
| | ازتوباکتر | g۳/۰ |
| | آزوسپریلیوم | h۲/۵ |
| | سودوموناس | g۳/۰ |
| $LSD_{\%5}$ | | ۰/٤ |

**عملکرد کل**

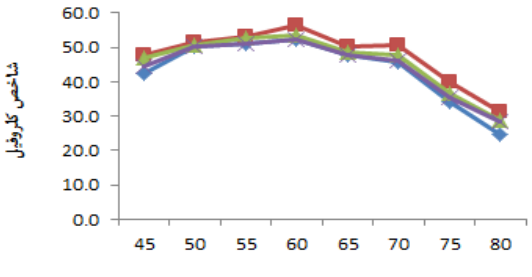
بیشترین عملکرد تک بوته (۱/۲۱ گرم در بوته) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و روی و کمترین آن (۰/۱۸ گرم در بوته) در ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی، عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ٤). آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله سنبله‌دهی و چکمه‌زنی به ترتیب موجب کاهش ۳۱/٦ و ٦۵/۸ درصدی عملکرد دانه شده و استفاده توأم از کودهای بیولوژیک و نانواکسید آهن و روی به ترتیب ۵۰/۷ و ٤۱ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کردند. میشرا و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که تحت شرایط تنش، کودهای زیستی می‌تواند اثرات مثبتی در تحمل به تنش خشکی، عملکرد و رشد گیاه داشته باشد. رام و چاندراکار (۱۹۸۵) تأثیر تلقیح ازتوباکتر بر رشد و عملکرد گندم را مثبت ارزیابی کردند. به نظر می‌رسد به واسطه نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد در تولید و تنظیم هورمون‌های محرک رشد، با کاربرد این رایزوباکتری‌ها سطح و عمق ریشه گسترش یافته و جذب آب و عناصر غذایی افزایش می‌یابد که موجب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز، تولید بیشتر آسیمیلات و در نهایت افزایش عملکرد کل می‌شود. مشاهدات ملکوتی و تهرانی (۱۳۸۸) نشان داد که در شرایط کمبود روی به دلیل کاهش تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقدار کلروفیل برگ‌ها، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. روستی و همکاران (۲۰۰٦) علت افزایش عملکرد در تلقیح بذر با باکتری‌ها را به افزایش جذب مواد غذایی قابل دسترس، افزایش وزن ریشه در طول دورهٔ رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه نسبت دادند. احمدی و همکاران (۱۳۸۸) اظهار داشتند که آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد و فردوکسین، پروتئین حامل آهن است که در انتقال الکترون درگیر است و بدیهی است که با کاربرد آهن و روی در برگ به دلیل افزایش میزان کلروفیل برگ، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی داشته باشد (شکل ۲). بخشی از روند تغییرات عملکرد دانه را می‌توان به سرعت و طول دوره پر شدن دانه نسبت داد (شکل ۱). بدین صورت که آبیاری کامل با افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه موجب می‌شود که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شود. نتایج مشابهی نیز توسط سینگ و پاتل (۱۹۹٦) گزارش شده است. محلول‌پاشی توأم نانواکسید آهن و روی، تلقیح بذر با ازتوباکتر عملکرد گندم را به ترتیب ۵۳، ۳۱ و ۵۷ درصد در شرایط آبیاری کامل، آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله چکمه‌زنی افزایش داد.

**تأثیر محدودیت آبی، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر محتوای کلروفیل**

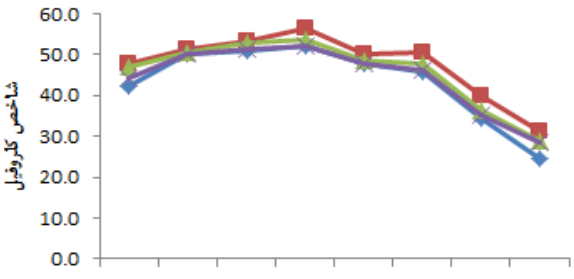
بررسی روند تغییرات کلروفیل برگ پرچم نشان داد که در طی دوره رشدی گیاه و با توسعه برگ پرچم محتوای کلروفیل تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد و همچنین محلول‌پاشی قرار گرفت. طوریکه در سطح ثابت از آبیاری و محلول‌پاشی، بیشترین محتوای کلروفیل در تلقیح با ازتوباکتر و کمترین آن در عدم تلقیح به دست آمد (شکل ۲). بررسی‌های سودرزینسکا و سویچا (۲۰۰۰) نشان داد که اثر تلقیح ذرت با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش معنی‌دار در غلظت کلروفیل برگ شد، به طوری که مقدار آن ۲۵ درصد از تیمار عدم تلقیح بیش‌تر بود. آلن و همکاران (۱۹۸۰) نشان دادند که در حضور باکتری‌های افزاینده رشد، محتوای کلروفیل در گیاه افزایش می‌یابد. زیاد و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر آهن و روی موجب افزایش محتوای کلروفیل در برنج گردید. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن منفرد، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل، از جمله کلروفیلاز باشد (الطیب، ۲۰۰۵). علاوه بر این، تنش خشکی به دلیل اختلال در جذب برخی عناصر ضروری نظیر آهن و روی که در ستز کلروفیل و رنگدانه‌های آن ضروری می‌باشند موجب کاهش محتوای کلروفیل می‌گردد. در این مطالعه با محلول‌پاشی این عناصر اثرات سو تنش کاهش یافت و بیشترین مقدار کلروفیل در شرایط کاربرد توأم این دو عنصر بدست آمد (شکل ۲).



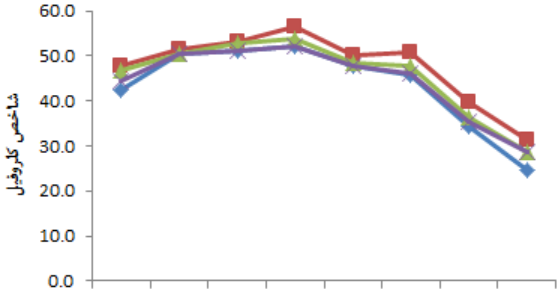

آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید آهن ۱/۵ در هزار



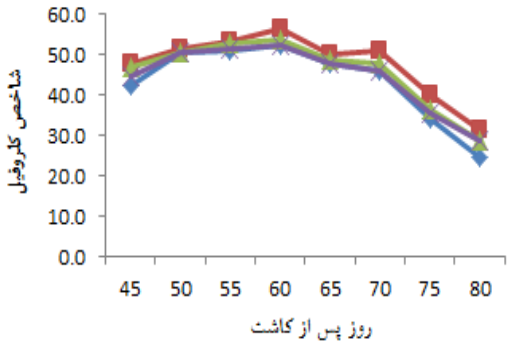

آبیاری کامل و عدم محلول پاشی



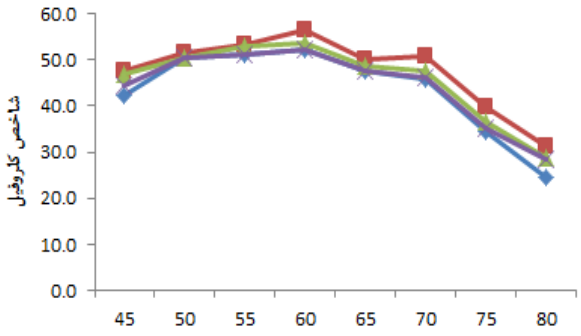

آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید آهن +روی۱/۵ در هزار



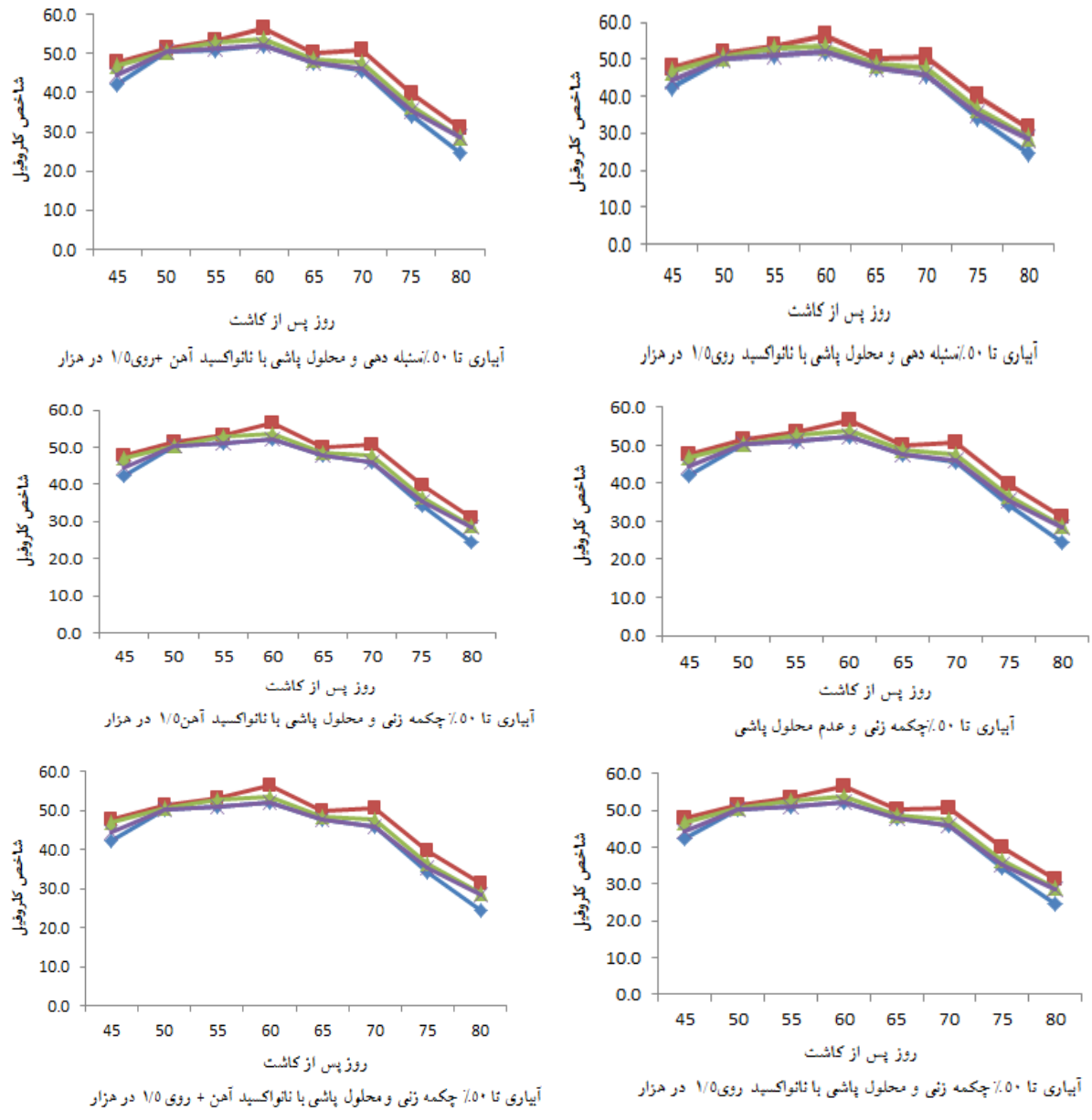

آبیاری کامل و محلول پاشی با نانواکسید روی۱/۵ در هزار




آبیاری تا ۵۰٪شبله دهی و محلول پاشی با نانواکسید آهن۱/۵ در هزار




آبیاری تا ۵۰٪شبله دهی و عدم محلول پاشی




**شکل ۲- تأثیر محدودیت آبی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر روند تغییرات کلروفیل برگ پرچم**

## نتیجه‌گیری

تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد نسبت به عدم تلقیح و همچنین کاربرد توأم عناصر آهن و روی در بهبود عملکرد گندم تأثیر مثبت داشت. به طوریکه بیشترین عملکرد دانه، محتوای کلروفیل و وزن دانه در ترکیب تیماری آبیاری کامل، تلقیح بذر با ازتوباکتر و محلول‌پاشی توأم با نانواکسید آهن و روی بدست آمد و همچنین قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و ظهور سنبله به ترتیب موجب کاهش ۳۱/۶ و ۶۵/۸ درصدی عملکرد شد و استفاده توأم از

کودهای بیولوژیک و نانواکسید آهن و روی به ترتیب ۵۰/۷ و ٤١ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کردند

.

**منابع**


احمدی، ا.، پ. احسانزاده و ف. جباری. ۱۳۸۸. مقدمه برفیزیولوژی گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران، ٦٢٣ صفحه.

حسن‌زاده، ا.، د. مظاهری، م.ر. چایچی، وک. خاوازی.۱۳۸٦. کارایی مصرف باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد جو. مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۷۵: ۱۱۱– ۱۱۸.

خسروی، ه.، ن. صالح راستین، و م. محمدی. ۱۳۸۱. بررسی فراوانی خصوصیات فیزیولوژیک ازتوباکتر کروکوم در خاکهای زراعی استان تهران. مجموعه مقالات ضرورت تولید کودهای بیولوژیک در کشور: ٢١٤– ٢٢٨.

خیرخواه زویاری، م.، ر. هنرنژاد، م. اصفهانی و م. قلی پوری. ۱۳۸۳. بررسی روابط همبستگی بین سرعت و طول پر شدن دانه با عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مختلف برنج در سه تاریخ کاشت. مجله پژوهشنامه علوم کشاورزی. جلد،۱ شماره ۲: ٤٠– ۳۹.

صالح راستین، ن. ۱۳۸٤. مدیریت پایدار از دیدگاه بیولوژی خاک. مجموعه مقالات (ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور) چاپ دوم. انتشارات سنا. صفحه ۵–۳۲.

گل‌پرور، ا.ر.، ا. مجیدی هروان و ع. قاسمی پیربلوطی. ۱۳۸۳. بهبود ژنتیکی پتانسیل عملکرد و مقاومت به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.). خشکی و خشکسالی کشاورزی. ۱۳: ٢٤–۱۳.

پای‌گذار، ی.، ا. قنبری.، م. حیدری و ا. توسلی. ۱۳۸۸. اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glacum*) تحت تنش خشکی. مجله اکوفیزیولوزی گیاهان زراعی. سال سوم. شماره ۱۰: ۷۸–٦٧.

عموآقایی، ر؛ ا. مستاجران، و گ امتیازی، ۱۳۸۲، تأثیر باکتری آزوسپریلیوم بر برخی شاخص‌های رشد و عملکرد سه رقم گندم، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲: ۱۲۷–۱۳۸.

ملکوتی، م.ج. و م.م، تهرانی. ۱۳۸۸. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.۲۸۸ صفحه.

Allen, M.F., T.S.Moore and M. Cheristenses. 1980. Phytohormone, changes in Bouteloua gracilis infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Cytokine increase in the host plant. Canadian Journal of Botany 58: 371-374.

Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. Int. Zinc Assoc .Belgium, 128p.

Alvaro, F., J. Isidro, D. Villegas, L.F. Corcia del mora and C. Royo. 2008. Breeding effects on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean Durum wheat., Agron J. 100: 361-370.

Banerjee, M., R.L.Yesmin, and J.L. Vessey. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as bio fertilizers and bio pesticides., PP. 137-181. In: Handbook of microbial bio fertilizers. Ed., Rai, M., K., Food production Press, U. S. A.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are theycompatible, dissonant, or mutually exclusive? Aust. J. Agric. Res. 56: 1159-1168.

Brdar. M. D., M. Marija, B. Kraljevic and D.K. Borislav. 2008. The paremetors of grain filling and yield components in common wheat (*Triricum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidhum* L. var. durum.). Central Eur. J. Biol. 3: 75-82.

Burd, G.I., D. G.Dixon and B. R Glick. 2000. Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol. 33: 237-245.

Bybordi, A. and G. Mamedov .2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Sci Biol. 2: 94-103.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic bio fortification? Plant Soil. 302:1-17.

Dobbelaere, S., J. Vanderleyden and Y. Okon. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Reviews in Plant Sci. 22: 107-149.

El-azeem, A., K. Salem, A. Abdullah and A. Al-Doss. 2014. Performance of some wheat genotypes affected by different nitrogen, potassium and zinc foliar applications. Life Sci. J. 11: 742-748.

Ellis, R. H. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Sci. Res. 2: 19-25.

EL-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regul. 45:215-222.

Gilick, B.E., D. Penrose and M. Wenbo. 2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotech. Adv. 19: 135-138.

Hammer, G., Z. Dong, G. McLean, A. Doherty, C. Messina, J. Schussler, C. Zinselmeier, S. Pszkiewicz and M. Cooper. 2009. Can changes in canopy and/or root systemarchitecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? Crop Sci. J. 49:299-312.

Hoque, M., and S. Haque. 2002. Effects of $GA_3$ and mode of application on morphology and yield parameters of mungbean (*Vigna radiata* L.). Pak J Biol Sci. 5: 281-283.

Jagnow, G. 1987. Inoculation of cearl crop forage grasses with nitrogen- fixing rhizosphere bacteria: possible causes of success and failure with reagard to yield response-a review. Z, P flanzenerneahr. Bodenk. 150: 361-368.

Jiang, L., D. Zhang, F. Song, X. Zhang, Y. Shao and C. Li. 2013. Effects of zinc on growth and physiological characters of flag leaf and grains of winter wheat after anthesis. Adv J. Food Sci and Tech. 5: 571-577.

Kandil, A. A. 2004. Effect of planting dates, nitrogen levels and bio- fertilization treatments on growth attributes of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.). J. Basic Appl. Sci. 5: 227-237.

Khan, M. R., N.C. Talukdar and D. Thakuria. 2003. Detection of *Azospirillum* and PSB in rice rhizosphere soil by protein and antibiotic resistance profile and their effect on grain yield of rice. Indian J Biotech. 2: 246-250.

Kutman, B., B. Yildiz, L. Ozturk and I. Cakmak. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. J. Agri. Food Chem. 1: 1-9.

Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25: 275-294.

Lucy, M., E.Reed and B.R. Glick. 2004. Applications of free living plant growth promotingrhizobacteria. Antonie van Leeuwenhoek. 86: 1-25.

Manske, G.B., A. Luttger, R.K. Behle, P.G. Vlek and M. Cimmit. 2000. Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroococcum* in wheat. J. Plant Breeding Biol. 78-83.

Marschner, H. 1984. Function of mineral nutrients: micronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants, Acad Press. NewYork, Pp: 269-300.

Mazaherinia, S., A.R. Astaraei, A. Fotovat and A. Monshi. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. J. World Appl. Sci. 7: 36- 40.

Mishra, M., U. Kumar, P.K. Mishra and V. Prakash. 2010. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of cicerarietinumL. Growth and germination under salinity. Adv in Bio Res. 4: 92-96.

Mohamad, W., M. Ighbal and S.M. Shal. 1990. Effect of mode of application to zine and iron on yield of wheat. Journal of Agricultural. 6: 615- 618.

Ozturk, L., M.A. Yazici, C. Yucel, A. Bagci, H. Ozkan, H.J. Braun, Z. Sayers and I. Cakmak. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. J. Plant Physiology. 128: 144–152.

Pandy, R.K. and J.W. Maranvil. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. J. Agr. Water Manage. 1: 15-27.

Prasad, T.N., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad and P.R. Sajanlal. 2012. Effect of nano scale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. J. Plant. Nut. 35: 905-927.

Ram, G. and B.V.S. Chandraker. 1985. Influence of Azotobacterization in presence of fertilizer nitrogenin the yield of wheat. Indian. Soc. And. Soil. Sci. 33: 424-426.

Roesti, D., R. Gaur, B.N. Johariz, G. Imfeld, S. Sharma, K. Kawalieet and M. Aragno. 2006. Plant growth stage, fertilizer management promoting rhizobacteria affect the community structure in rain-fed wheat field. Soil.Biol. Biochem. 38:1111-1120.

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

Saatovich, S.Z. 2006. *Azospirillium* of Uzbekistan soils and their influence on growth and development of wheat plants. Plant Soil, 283: 137-145.

Sajadi, N.A., H. Madani and A. Sajedi. 2009. Effect of mycorrhiza and zinc on some agronomical traits and ear characteristics in maize (KSC704) under drought stress. *Proceedings of International conf on energy and enviro*. 19: 2070- 3740

Sangtarash, M.H. 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. Pak. J. Bio. Sci. 13: 114-119.

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

Singh, J and A.L. Patel. 1996. Dry matter distribution different parts of wheat under water stress at various growth stage. Field Crop Abs. 11: 10-16.

Stampar, F., M. Hudina, K. Dolenc and V. Usenik. 1998. Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica borkh*.). In: Anac, D. and P. Martin- Prével. Improved crop quality by nutrient management. Pp: 91-94.

Swędrzynska, D and A. Sawicka,. 2000. Effect of inoculation with Azospirillum brasilense on development and yielding of maize (*Zea mays* ssp. Saccharata L.) under different cultivation conditions. *Polish J. of Enviro. Studies*. 9: 505-509.

Timsina, Y.N. 2013. Effect of nitrogen fertilization on zinc and iron uptake and yield components of wheat. Department of plant and environmental sciences, (IPM). Norwegian University of Life Sciences (UMB). 94 Pp.

Wu, S.C., Z.H. Cao., Z.G. Li and K.C. Cheung. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: agreen house trial. Geoderma. 125: 155-166.

Yang, F., F.S. Hong., W.J. You., C. Liu., C .Wu and P. Yang.2006. Influences of nanoanatase TiO2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biol Trace Element Res.110: 179-190.

Zayed, B.A., A.K. Salem and M.El. Sharkawy. 2011. Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa* L.) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. World Journal of Agricultural Sciences, 7, 179-184.

# Effect of bio fertilizers and foliar applicationon of Nano zinc oxide on clorophyll content, grain filling period and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limitation

Kh. Babaei[1], R. ssharifi[2], A.R. Pirzad[3]

Received:2015-11-8 Accepted: 2016-2-23

**Abstract**

In order to study the effect of bio fertilizers and foliar application of nano zinc oxide on cholorophyll content, grain filling period and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limitation, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of faculty of Agricultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili in 2014. The experimental factors were included: water limitation in three levels [full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of heading stage (ZGS 60); irrigation withholding at 50% of booting stage (ZGS 50)], seed inoculation with PGPR in four levels: non-inoculation, inoculation with *Azotobacter chrocoocum* strain 5, *Azosperilium lipoferum* strain OF, *Pseudomonasputida* strain 186) and foliar application of nano zinc oxide in four levels: non-foliar application and foliar application of nano iron oxide, nano zinc oxide and nano zinc oxide+ nano iron oxide). Means comparison showed that maximum of grain weight (0.0689 g), rate grain filling (0.0019 $g.day^{-1}$), grain filling period (52.63 days), effective grain filling period (34.78 days) and grain yield of per plant (1.21 g per plant) were obtained at application of *Azotobacter*, nano oxide of Zn+Fe and full irrigation. Minimum of traits (0.0031 g, 0.0017 $g.day^{-1}$, 45.46 days, 25.39 days and 0.18 $g.plant^{-1}$ respectively) were obtained in non-inoculation, non-foliar application of nano oxide and irrigation to%50 of booting stage. In general, no-irrigation to 50% heading and booting stages decreased 65.8% and 31.6% of grain yield respectively, but the both application of bio-fertilizers and nano oxide of Zn+Fe were able to compensate 50.7% and 41% of this reduction respectively. Based on the results, it seems that bio fertilizers and nano oxide of Zn+Fe application can be recommended for profitable wheat production under water limitation condition.

**Key words:** Grain filling, PGP , foliar application, grain yield, wheat

1- Agronomy Ph.D Student (Crop Physiology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Associate professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Associate professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia,Iran