Plant Production and Genetics
Vol. 3, No. 2, Autumn & Winter 2022, p. 205-224

تولید و ژنتیک گیاهی
جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۲۲۴-۲۰۵

مقاله پژوهشی

DOI: 10.34785/J020.2022.002

تأثیر سایکوسل و کودهای بیولوژیک بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشدی گندم در شرایط قطع آبیاری

راضیه خلیل‌زاده[۱]، رئوف سید شریفی*[۲]، جلال جلیلیان[۳]

۱. دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲

چکیده

به‌منظور مطالعه عملکرد و برخی شاخص‌های رشدی گندم در واکنش به کاربرد کودهای بیولوژیک و سایکوسل در شرایط کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در طول فصل زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل محدودیت آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل سنبله‌دهی و آبستنی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد ۴۵ و ۵۹ زادوکس)، کاربرد باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم کاربرد به عنوان شاهد، کاربرد ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸۶ و کاربرد توأم این دو) و محلول‌پاشی با سایکوسل در چهار سطح (عدم مصرف، کاربرد ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین عملکرد دانه (۳۸۲۲ کیلوگرم در هکتار)، بیوماس کل (۲۳۲۰ گرم در مترمربع)، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و درصد پروتئین دانه و محتوای کلروفیل در کاربرد ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. وزن خشک ریشه در کاربرد توأم باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل افزایش معنی‌داری نشان داد. محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس عملکرد گندم را به‌ترتیب ۶۳/۴۱، ۵۲/۹۰ و ۶۲/۴۶ درصد در شرایط آبیاری کامل، آبیاری در ۵۰ درصد مرحله خوشه‌دهی و مرحله چکمه‌دهی نسبت به عدم کاربرد سایکوسل و کودهای زیستی افزایش داد. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و سایکوسل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای افزایش عملکرد گندم تحت شرایط کمبود آب مطرح باشد.

کلیدواژگان: پروتئین، سرعت رشد محصول، کمبود آب، کودهای زیستی

* ایمیل نویسنده مسئول: Raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

گندم از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که به دلیل سازگاری گسترده با شرایط متنوع اقلیمی و تأمین بیش از نصف پروتئین مصرفی جهان، در سطح وسیعی کشت می‌شود. یکی از راه‌های ارزیابی عملکرد، بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد و مدیریت مزرعه در جهت بهبود این شاخص‌ها می‌باشد. سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص شاخص‌های رشدی مهمی هستند که علاوه بر ژنوتیپ، تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و روش‌های مدیریتی، عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Gollagi *et al*., 2009).

آب یکی از منابع اصلی در رشد و توسعه گیاه به شمار می رود. فرآیندهای اصلی گیاه مانند فتوسنتز، تنفس و جذب مواد غذایی با حضور آب در گیاه تحریک می‌شوند. محدودیت آب یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که ساخت و متابولیسم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Kumar و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند با افزایش محدودیت آبی، سهم ماده‌خشک ذخیره‌شده در ساقه‌ها و برگ‌ها برای پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی بسته‌شدن روزنه ها موجب کاهش فتوسنتز و سرعت گسترش کانوپی گیاهی شده و به‌واسطه ریزش زودهنگام برگ‌های پایین کانوپی، گیاه سطح برگ خود را با سرعت بیشتری از دست می‌دهد؛ در نتیجه، اندازه برگ‌ها کوچک‌تر شده و منجر به کاهش شاخص سطح برگ تحت شرایط کم‌آبی می‌گردد (Aduloju *et al*., 2009). با توجه به مشاهدات Rodriguez و همکاران (۲۰۰۵) تنش خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل، سطح برگ و بیوماس در کتان شد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند عامل محدودکننده‌ی غیرروزنه‌ای کاهش فتوسنتز باشد (Memari *et al*., 2011). به عبارت دیگر، تقریباً کلیه واکنش‌های متابولیکی و هورمونی گیاه، تولید و فعالیت آنزیم‌ها و درنتیجه سنتز پروتئین‌ها تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد (Aduloju *et al*., 2009).

امروزه روش‌های مختلفی برای کاهش و یا تعدیل اثرات ناشی از تنش در نظر گرفته شده است. در این راستا کاربرد برخی هورمون‌ها و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه، مقاومت گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای محیط افزایش می‌دهند. ارزیابی شاخص‌های رشدی کمک قابل‌توجهی به درک عوامل فیزیولوژیکی مؤثر بر تغییرات عملکرد در محصولات مختلف و کسب اطلاعات کافی در مورد تأثیر محرک‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد بر شاخص‌های رشد می‌نماید. باکتری های محرک رشد در شرایط طبیعی با تعداد و تراکم پایینی در خاک وجود دارند، اما تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را در خاک به حد مطلوب رسانده و به بروز اثرات مفید آن‌ها در خاک منجر گردد (Cakmakci *et al*., 2007). Bashan و همکاران (۲۰۰۴) افزایش معنی دار سرعت رشد گیاه ذرت در تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را، به بهبود سرعت جذب مواد غذایی، بهبود ساختار فیزیکی خاک و افزایش مواد معدنی و نیتروژن در همزیستی با گیاه نسبت دادند. Vessey (۲۰۰۳) اظهار داشت باکتری‌های محرک رشد قادرند با استفاده از مکانیسم های مختلفی همچون تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین و جیبرلین، ترشح سیدروفور و اسیدهای آلی در ریزوسفر، افزایش تارهای کشنده ریشه و کمک به جذب عناصر غذایی از خاک، به بهبود رشد گیاه کمک کنند. Bashan و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند تلقیح گیاهان با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم به‌طور معنی‌داری شاخص‌های مختلف رشدی مانند عملکرد دانه، بیوماس کل گیاه، جذب مواد غذایی، ارتفاع بوته غلات را افزایش داد. Soleymanifard و همکاران (۲۰۱۳) اثربخشی باکتری‌های محرک رشد در افزایش عملکرد دانه را به بهبود برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و انتقال مجدد مواد از برگ‌های مسن‌تر به برگ‌های جوان‌تر نسبت دادند. Seyed Sharifi (۲۰۱۱) بیشترین شاخص سطح برگ ذرت را در تلقیح بذر با ازتوباکتر در مقایسه با تیمار شاهد گزارش نمود. Dobbelaere و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند PGPRها می‌توانند عملکرد و تجمع ماده‌خشک را به دلیل افزایش سطح برگ و تأخیر در پیری برگ افزایش دهند. Cakmakci و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند تلقیح گیاهان با آزوسپیریلیوم می‌تواند به تغییرات معنی‌داری در شاخص های رشدی ازجمله افزایش ماده‌خشک کل، اندازه برگ و شاخص سطح برگ گندم منجر گردد.

سایکوسل از مهم‌ترین کُند کننده‌های رشد گیاهی است که موجب بهبود توازن آب و جلوگیری از پژمردگی گیاه شده و ظرفیت فتوسنتزی و تخصیص مواد فتوسنتزی به بذرها را افزایش می‌دهد (Wang *et al*., 2009). Grewal و Kolar (۱۹۹۰) شواهد غیرمستقیمی از بهبود فعالیت‌های

فتوسنتزی با افزایش میزان کلروفیل و حفظ شاخص سطح برگ بالاتر در محلول‌پاشی سایکوسل را گزارش کرده و اظهار داشتند در کشت مزرعه‌ای کلزا محلول‌پاشی سایکوسل به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ را کاهش داد. برخی محققان افزایش عملکرد دانه جو تیمارشده با سایکوسل را به افزایش رشد، مقاومت روزنه‌ای و بهبود پتانسیل آب برگ نسبت دادند (Emam and Dasfal, 1997). اهمیت کودهای بیولوژیک و سایکوسل در بهبود عملکرد گندم تحت شرایط کم‌آبی و کمی مطالعات در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد دانه، خصوصیات ریشه و برخی شاخص های رشد گندم در شرایط کمبود آب مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا اجرا شد. بافت خاک لومی رسی و دارای pH ۸/۲، شوری ۱/۵۹ دسی زیمنس بر سانتی‌متر، درصد نیتروژن ۰/۱۲ و میزان فسفر ۸/۳ میلی گرم در کیلوگرم بود. فاکتورهای موردبررسی شامل محدودیت آبیاری در سه سطح (آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه بر اساس روش مرسوم زارعین محلی به‌عنوان سطح شاهد، آبیاری تا ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی و آبیاری تا ۵۰٪ مرحله چکمه‌ای‌شدن به ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی)، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح با ازتوباکتر *کروکوکوم* استرین ۵، *سودوموناس پوتیدا* استرین ۱۸۶ و کاربرد توأم این دو باکتری) و محلول‌پاشی با سایکوسل در چهار سطح (عدم مصرف، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. برای تلقیح بذر از مایه تلقیحی که هر گرم آن حاوی 10^7 عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم بود، استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. باکتری‌ها از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد. رقم مورداستفاده رقم بهاره آتیلا ۴ بود که از شرکت کشت و صنعت مغان تهیه شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. بذرها با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای این رقم است کشت شدند. زمان کاشت ۲۰ اردیبهشت و برداشت ۲۰ مردادماه بود. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و در دو مرحله رشد رویشی و زایشی انجام گرفت. کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله رشد رویشی مورد استفاده قرار گرفت. متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش در طول فصل رشد در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال ۱۳۹۳

ماه‌های سال	میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	میانگین ماهانه دما (°C)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)
اردیبهشت	۳۵/۴	۱۵/۳	۸/۱	۲۲/۴
خرداد	۲۴/۵	۱۷/۸	۱۰/۵	۲۵/۰
تیر	۱۲/۲	۱۹/۴	۱۳/۳	۲۵/۵
مرداد	۰/۴	۱۹/۸	۱۳/۲	۲۶/۴

نمونه‌برداری برای شاخص‌های رشدی هر ۱۰ روز یک‌بار و هر بار ۱۰ سانتی‌متر از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام شد. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۷۲ ساعت و یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۷۰±۵ درجه سانتی‌گراد خشک و با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم توزین شدند. شاخص سطح برگ، وزن خشک کل، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص با استفاده از روابط ۱ تا ۴ به شرح زیر برآورد شدند.

$$1: LAI = e^{(a + bt + ct2)}$$

$$2: TDM = e^{(a + bt + ct2 + dt3)}$$

$$3: CGR = (b + 2ct + 3dt^2)\, e^{(a + bt + ct2 + dt3)}$$

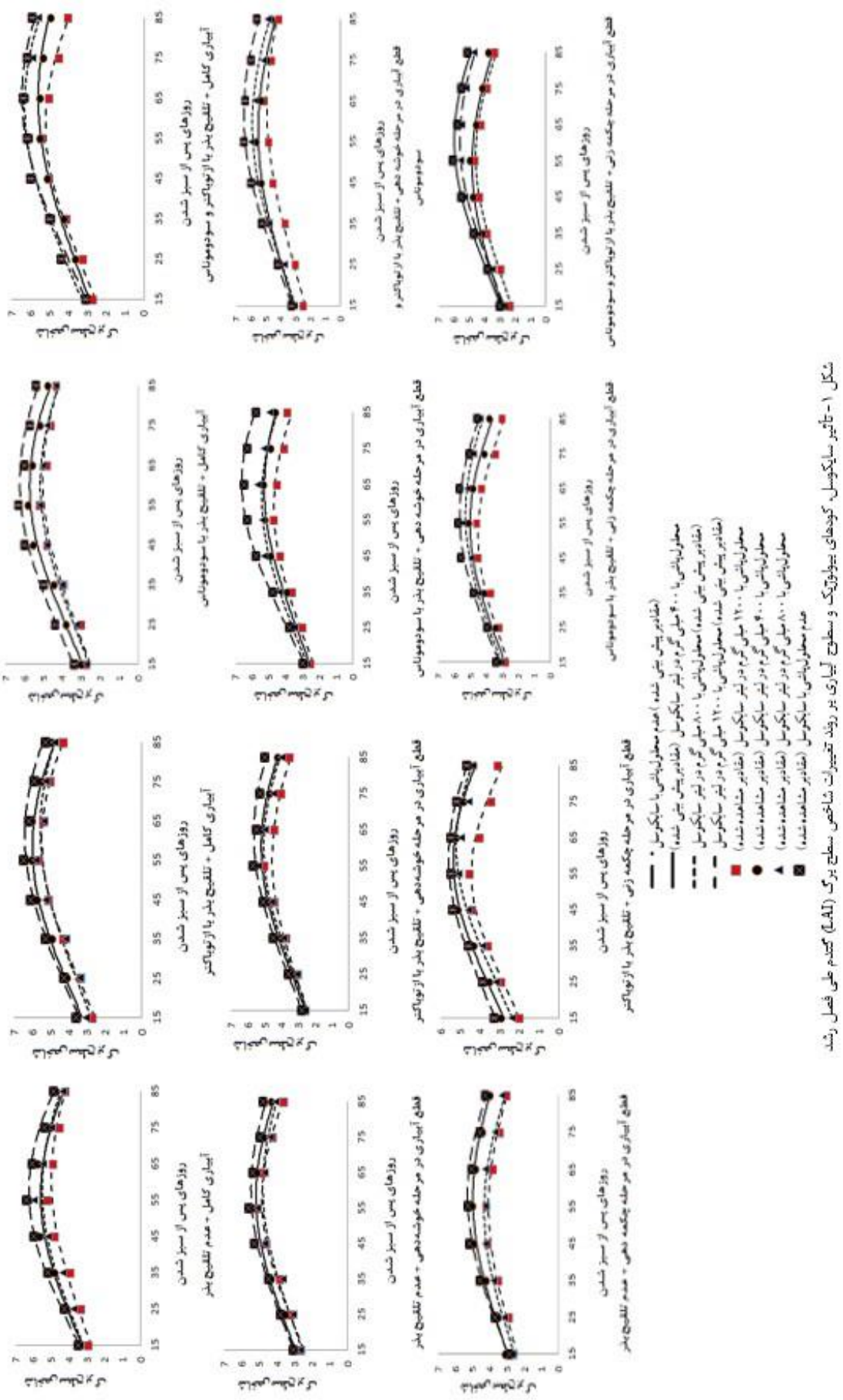
$$4: NAR = CGR/LAI$$

در این روابط، t زمان بین مراحل نمونه‌برداری و a، b، c و d ضرایب معادله هستند. ضریب تبیین بالا و معنی‌دار، توزیع مناسب نقاط واقعی در اطراف منحنی، منطقی‌بودن روند تغییرات از نظر فیزیولوژیک دلیل اصلی انتخاب صحیح این معادلات برای کلیه تیمارهای موردبررسی بود. از ۴۶ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک‌بار در هر تیمار شاخص سبزینگی به‌طور تصادفی روی ۶ برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) توسط دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین اثر تیمارها بر خصوصیات ریشه، در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی کیسه‌های پلاستیکی که کف آن‌ها سوراخ شده تا امکان تهویه مناسب‌تر بوته‌های مورد کشت در آن‌ها فراهم شود به عمق و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم کاشت در این کیسه‌های پلاستیکی همانند تراکم دیگر خطوط کاشت در نظر گرفته شد (Namvar *et al.*, 2011). در مرحله رسیدگی، ریشه‌ها به‌طور کامل جدا شده و پس از شستشو، وزن ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم برآورد گردید. حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجادشده پس از قرارگیری ریشه‌ها در حجم مشخصی از آب استوانه مدرج با دقت ۰/۱ میلی‌لیتر تعیین شد. عملکرد دانه از خطوط اصلی هر کرت و از بین بوته‌های رقابت‌کننده از سطحی معادل ۰/۴ مترمربع به دست آمد. برای اندازه-گیری پروتئین کل محلول برگ از روش برادفورد (۱۹۷۶) و برای محتوای پروتئین دانه با استفاده از روش کجلدال، میزان نیتروژن برآورد شده و با ضرب عدد حاصل در ۶/۲۵ مقادیر پروتئین دانه برآورد شد (Seyed Sharifi and Gholinejad, 2021). برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و EXCEL استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتزکننده گیاهی بوده و شاخص سطح برگ (نسبت سطح برگ گیاه به سطح زمین اشغالی توسط سایه‌انداز گیاه) به‌عنوان مهم‌ترین معیار تولید ماده‌خشک گیاهی شناخته شده است (Watson, 1947). ازآنجایی‌که تابش خورشیدی به‌صورت یکنواخت روی زمین پخش می‌شود، شاخص سطح برگ اندازه تقریبی سطح برگ در واحد سطح زمین است که تابش نور خورشید در دسترس می‌باشد (Grewal and Kolar, 1990). تغییرات شاخص سطح برگ در واکنش به محدودیت آب در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت (شکل ۱). با این تفاوت که مدت‌زمان رسیدن به حداکثر LAI در محدودیت شدید آبی بسیار کمتر از قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی و آبیاری کامل بود. به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن تا حداکثر ۶۵ روز پس از سبزشدن به‌سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به دلیل زردشدن و همچنین ریزش برگ ها، روند نزولی مشاهده شد. نتایج نشان داد کاربرد توأم سایکوسل و تلقیح بذر بیشترین اثر را بر LAI داشته است. بهطوری که ترکیب تیماری آبیاری کامل در شرایط محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کاربرد ازتوباکتر و سودوموناس از بیشترین مقدار LAI در مقایسه با عدم پیش‌تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد و سایکوسل در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌دهی برخوردار بودند (شکل ۱). به نظر می‌رسد این کاهش درنتیجه افزایش سن گیاه، پیری برگ‌ها و تلاش بالای گیاه برای پرکردن دانه‌ها، کاهش محتوای نسبی کلروفیل (جدول ۲) و عدم توانایی آن‌ها در ساخت مواد فتوسنتزی بوده و در نهایت با ریزش برگ‌ها همراه است. کاهش سطح برگ در اثر کاربرد سایکوسل ممکن است به دلیل ممانعت از سنتز جیبرلین، افزایش محتوای آبسیزیک اسید و ممانعت از طویل‌شدن سلول درون برگ باشد، که با نتایج به‌دست آمده توسط Gopi و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار نمود افزایش غلظت سایکوسل، موجب کاهش سطح برگ در تمام سطوح تنش می‌شود (شکل ۱). Saeed و همکاران (۲۰۰۲) و Aduloju و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی با افزایش شاخص سطح برگ و تحریک رشد رویشی گیاهان، موجب بهبود جذب و دسترسی به مواد غذایی و نور توسط گیاه زراعی می‌گردد. Kar و همکاران (۱۹۸۹) نیز نتایج مشابهی را با کاربرد سایکوسل در گلرنگ گزارش کردند.



شکل ۱- تأثیر سایکوسل، کودهای بیولوژیک و سطوح آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گندم طی فصل رشد

جدول ۲- تأثیر محدودیت آبیاری × سایکوسل × کودهای بیولوژیک بر شاخص کلروفیل گندم

ترکیب تیماری	۴۶ روز بعد از کاشت	۵۰ روز بعد از کاشت	۵۴ روز بعد از کاشت	۵۸ روز بعد از کاشت	۶۲ روز بعد از کاشت	۶۶ روز بعد از کاشت	۷۰ روز بعد از کاشت	ترکیب تیماری	۴۶ روز بعد از کاشت	۵۰ روز بعد از کاشت	۵۴ روز بعد از کاشت	۵۸ روز بعد از کاشت	۶۲ روز بعد از کاشت	۶۶ روز بعد از کاشت	۷۰ روز بعد از کاشت
$I_1\times F_0\times C_0$	۵۰/۶	۵۰/۳	۴۸/۷	۴۶/۵	۴۳/۲	۳۷/۱	۳۲/۱	$I_1\times F_2\times C_0$	۵۹/۷	۵۵/۸	۵۲/۴	۵۰	۴۶/۹	۴۱/۸	۳۹/۵
$I_1\times F_0\times C_1$	۵۲/۲	۴۸/۶	۴۶/۵	۴۱/۶	۳۸/۵	۳۵/۶	۳۱/۶	$I_1\times F_2\times C_1$	۵۸/۸	۵۶/۳	۵۳/۷	۵۲	۵۱/۲	۳۹/۳	۳۷/۵
$I_1\times F_0\times C_2$	۵۲/۴	۵۱/۴	۵۲/۲	۴۵/۷	۴۷/۳	۴۲/۹	۴۰/۵	$I_1\times F_2\times C_2$	۵۳/۴	۵۲/۷	۵۰/۳	۴۹/۳	۴۵/۲	۳۸/۹	۳۶/۵
$I_1\times F_0\times C_3$	۵۶/۴	۵۴/۴	۵۲/۴	۵۳	۵۱/۵	۴۷/۸	۴۵/۷	$I_1\times F_2\times C_3$	۶۳/۲	۶۰	۵۷/۵	۵۵	۵۲/۱	۴۹/۴	۴۶/۳
$I_1\times F_1\times C_0$	۵۸/۴	۵۴/۴	۵۰/۷	۴۷/۵	۴۰/۴	۳۶/۷	۳۰	$I_1\times F_3\times C_0$	۵۲/۸	۵۰/۸	۵۰/۴	۴۹/۵	۴۸/۹	۴۵/۱	۴۱/۷
$I_1\times F_1\times C_1$	۴۳/۴	۴۲/۷	۴۰/۳	۳۹/۳	۳۵/۲	۲۸/۹	۲۶/۵	$I_1\times F_3\times C_1$	۵۴/۷	۵۰/۳	۵۰/۱	۴۹/۹	۴۳/۹	۴۲/۲	۳۷/۶f
$I_1\times F_1\times C_2$	۶۱/۴	۵۸/۱	۴۹/۳	۴۶	۴۴/۲	۴۲	۴۳/۹	$I_1\times F_3\times C_2$	۶۵	۵۰/۶	۴۸/۷	۴۷/۶	۴۵	۴۳/۶	۳۸/۷
$I_1\times F_1\times C_3$	۶۰/۸	۵۹/۳	۵۵/۵	۵۱	۴۸/۳	۴۵/۳	۴۲/۵	$I_1\times F_3\times C_3$	۶۵/۲	۶۰/۲	۵۸/۸	۵۶/۷	۵۳/۸	۵۱/۹	۴۸/۹
$I_2\times F_0\times C_0$	۵۵/۳	۵۱/۴	۴۹/۵	۴۱/۵	۳۶/۱	۳۰/۶	۲۸/۶	$I_2\times F_2\times C_0$	۵۲/۱	۴۵/۱	۴۰/۴	۳۸/۲	۳۴/۸	۳۲/۲	۳۰/۴
$I_2\times F_0\times C_1$	۵۱/۴	۴۷/۳	۴۷/۱	۴۵/۲	۳۴/۵	۳۳/۴	۳۱/۵	$I_2\times F_2\times C_1$	۴۵/۱	۵۲/۸	۴۹/۷	۴۷/۳	۴۱	۴۱/۹	۲۷/۲
$I_2\times F_0\times C_2$	۵۷/۵	۵۴/۹	۴۹/۷	۴۶/۷	۴۱/۵	۴۰/۲	۳۷/۲	$I_2\times F_2\times C_2$	۵۰/۲	۴۹/۴	۴۸/۴	۴۴/۹	۴۲	۳۵/۱	۳۲
$I_2\times F_0\times C_3$	۵۹/۵	۵۷/۴	۵۴/۹	۵۱/۲	۴۶/۴	۴۱/۲	۴۰/۷	$I_2\times F_2\times C_3$	۵۸/۷	۵۷/۸	۵۳/۷	۵۲/۲	۴۶/۱	۴۲/۷	۳۸/۷
$I_2\times F_1\times C_0$	۶۲/۵	۵۳/۶	۴۹/۴	۴۵/۹	۳۵/۲	۳۳/۹	۳۰/۵	$I_2\times F_3\times C_0$	۵۹/۲	۵۶/۳	۵۶/۱	۵۴/۷	۵۳/۲	۴۵/۶	۴۱/۳
$I_2\times F_1\times C_1$	۵۵/۱	۵۴/۸	۵۴	۴۵/۳	۴۲/۷	۴۰/۱	۳۴/۹	$I_2\times F_3\times C_1$	۵۹/۷	۵۵	۵۱/۳	۴۹/۵	۴۷	۳۷/۶	۳۰/۷
$I_2\times F_1\times C_2$	۵۸/۴	۵۶/۷	۵۱/۷	۴۰/۶	۳۹/۱	۳۶	۳۵/۶	$I_2\times F_3\times C_2$	۵۳/۲	۲۵/۵	۲۵/۵	۴۹/۵	۴۰/۳	۳۶/۷	۳۹/۱
$I_2\times F_1\times C_3$	۵۹	۵۵/۷	۵۱/۴	۵۱	۴۸/۶	۴۵/۶	۳۷/۶	$I_2\times F_3\times C_3$	۵۷/۷	۵۵/۶	۵۷	۵۴/۶	۵۳/۲	۴۵/۴	۴۵/۴
$I_3\times F_0\times C_0$	۵۴/۲	۴۶/۲	۳۵/۵	۳۰/۴	۲۶/۱	۲۱/۷	۳۱۲s	$I_3\times F_2\times C_0$	۴۶/۹	۴۷/۳	۳۹/۰۶	۳۱/۲	۲۶	۲۲/۳	۱۹/۷
$I_3\times F_0\times C_1$	۵۴	۵۱/۷	۴۳/۵	۴۰	۳۲/۲	۱۹/۳	۱۸/۳	$I_3\times F_2\times C_1$	۵۴/۹	۴۶/۸	۴۲/۳	۴۰/۷	۳۲/۸	۲۵/۹	۱۸/۹
$I_3\times F_0\times C_2$	۵۱/۲	۴۶/۲	۴۵/۵	۳۰/۴	۲۷/۸	۲۷/۹	۲۶	$I_3\times F_2\times C_2$	۵۳/۳	۵۲/۹	۴۷/۱	۴۵/۴	۳۴/۹	۲۵/۸	۲۳
$I_3\times F_0\times C_3$	۵۸/۱	۵۳/۴	۵۲	۴۳/۱	۳۸/۴	۳۳/۳	۳۱/۵	$I_3\times F_2\times C_3$	۵۵	۵۴	۵۱/۹	۴۷/۳	۳۱/۸	۳۰/۴	۲۲/۱
$I_3\times F_1\times C_0$	۵۸/۸	۴۷/۳	۴۶/۹	۴۰/۲	۲۶/۵	۲۶/۷	۲۰/۳	$I_3\times F_3\times C_0$	۵۱/۶	۵۰/۵	۴۳/۷	۳۵/۲	۲۳/۸	۲۲/۶	۱۷
$I_3\times F_1\times C_1$	۵۴/۷	۵۰/۶	۵۰/۱	۳۷	۳۰/۵	۲۸/۱	۲۴/۶	$I_3\times F_3\times C_1$	۵۱/۴	۵۰/۹	۴۶/۳	۴۶	۳۷/۹	۳۴	۲۷/۶
$I_3\times F_1\times C_2$	۵۷/۳	۵۳/۵	۵۰/۷	۴۹/۲	۲۸/۹	۲۳/۸	۲۲/۲	$I_3\times F_3\times C_2$	۵۹/۵	۵۴/۱	۴۸/۹	۴۵/۱	۳۲/۷	۳۰/۳	۳۱/۷
$I_3\times F_1\times C_3$	۵۸/۴	۵۵/۳	۵۱/۵	۵۰/۹	۴۰/۲	۳۲/۷	۳۵/۱	$I_3\times F_3\times C_3$	۵۸/۵	۵۲/۲	۵۰/۲	۴۹/۱	۳۷/۶	۳۵/۴	۲۲/۷

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند. I_1، I_2 و I_3 آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا مرحله چکمه‌دهی؛ F_0، F_1، F_2 و F_3 به ترتیب عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح توأم این دو باکتری؛ C_0، C_1، C_2 و C_3 به ترتیب عدم مصرف و مصرف ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل

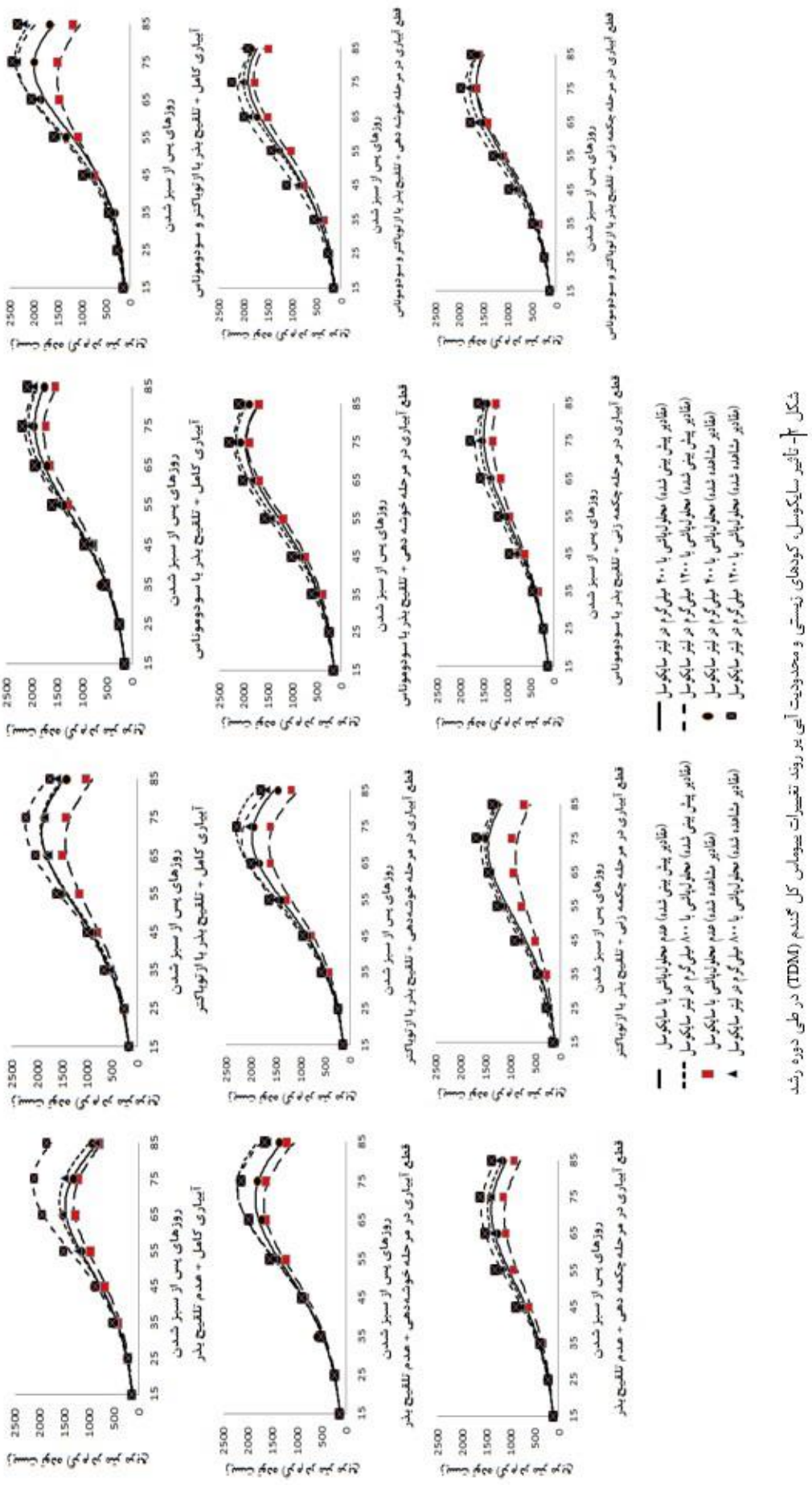
بیوماس کل

ماده‌خشک کل (TDM[1]) در واحد سطح، عملکرد محصول در طول فصل رشد را نشان داده و یکی از شاخص‌های مهم در آزمایش‌های مزرعه‌ای است. روند تغییرات این شاخص نشان داد از ۱۵ تا ۲۵ روز پس از کاشت، تجمع ماده‌خشک با سرعت کمی در تمامی ترکیب‌های تیماری افزایش یافت و پس از آن با سرعت بیشتری افزایش و در ۷۵ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. سپس به دلیل افزایش سن گیاه، پیری و ریزش برگ‌ها، مقدار ماده‌خشک کاهش یافت (شکل ۲). در حالت آبیاری کامل، کاربرد توأم کودهای بیولوژیک و محلول‌پاشی با سایکوسل، میزان تجمع ماده‌خشک نسبت به حالات محدودیت آبی، عدم کاربرد کودهای بیولوژیک و عدم محلول‌پاشی سایکوسل، روند افزایشی نشان داد. بیش‌ترین ماده‌خشک تولیدی (۲۳۲۰ گرم در مترمربع) به ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کم‌ترین آن در ۷۵ روز پس از سبزشدن (۱۳۴۱ گرم در مترمربع) در آبیاری تا مرحله چکمه‌دهی، عدم کاربرد کودهای بیولوژیک و عدم محلول‌پاشی با سایکوسل (شکل ۲) تعلق داشت. نتایج مشابهی در مورد افزایش معنی‌دار زیست‌توده اندام هوایی در حالت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد توسط Zaied و همکاران (۲۰۰۳) و Ravikumar و همکاران (۲۰۰۴) در گندم گزارش شده است. به نظر می‌رسد کاهش وزن خشک کل در تمامی ترکیبات تیماری با افزایش محدودیت آبی ناشی از کاهش میزان فتوسنتز باشد. در این بررسی افزایش شاخص کلروفیل در برگ‌های گیاهان تیمارشده با سایکوسل ممکن است به دلیل تأثیر این ماده در به تأخیر انداختن پیری برگ و در نتیجه حفظ رنگدانه سبز ناشی از تجزیه کلروفیل باشد (Wafsy, 1995) که با نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های Hosni (۱۹۹۶) مشابه است. Watson (۱۹۴۷) گزارش کرد شاخص سطح برگ اثر بارزتری بر بازده ماده‌خشک در مقایسه با سرعت اسیمیلاسیون خالص دارد، زیرا شاخص سطح برگ تحت تأثیر شرایط محیطی تغییر بیشتری پیدا می‌کند. در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد بالا بودن شاخص سطح برگ ناشی از تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس (شکل ۱)، از طریق دریافت تشعشع و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، در نهایت به تولید ماده‌خشک بیشتر در گیاه منجر شده است. نتایج مشابهی نیز در مورد افزایش معنی‌دار بیوماس اندام هوایی گندم در حالت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد توسط Zaied و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است. این محققان اظهار داشتند باکتری‌های محرک رشد با تأمین منابع نیتروژن اضافی یا تولید هورمون‌های رشد و همچنین افزایش وزن و حجم ریشه و کمک به جذب بهینه آب و املاح، امکان بهبود رشد گیاه را فراهم می‌نمایند. بررسی های Kumar و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد ماده‌خشک گیاهی در شرایط تلقیح با ازتوباکتر بیشتر از شرایط عدم تلقیح بوده است.

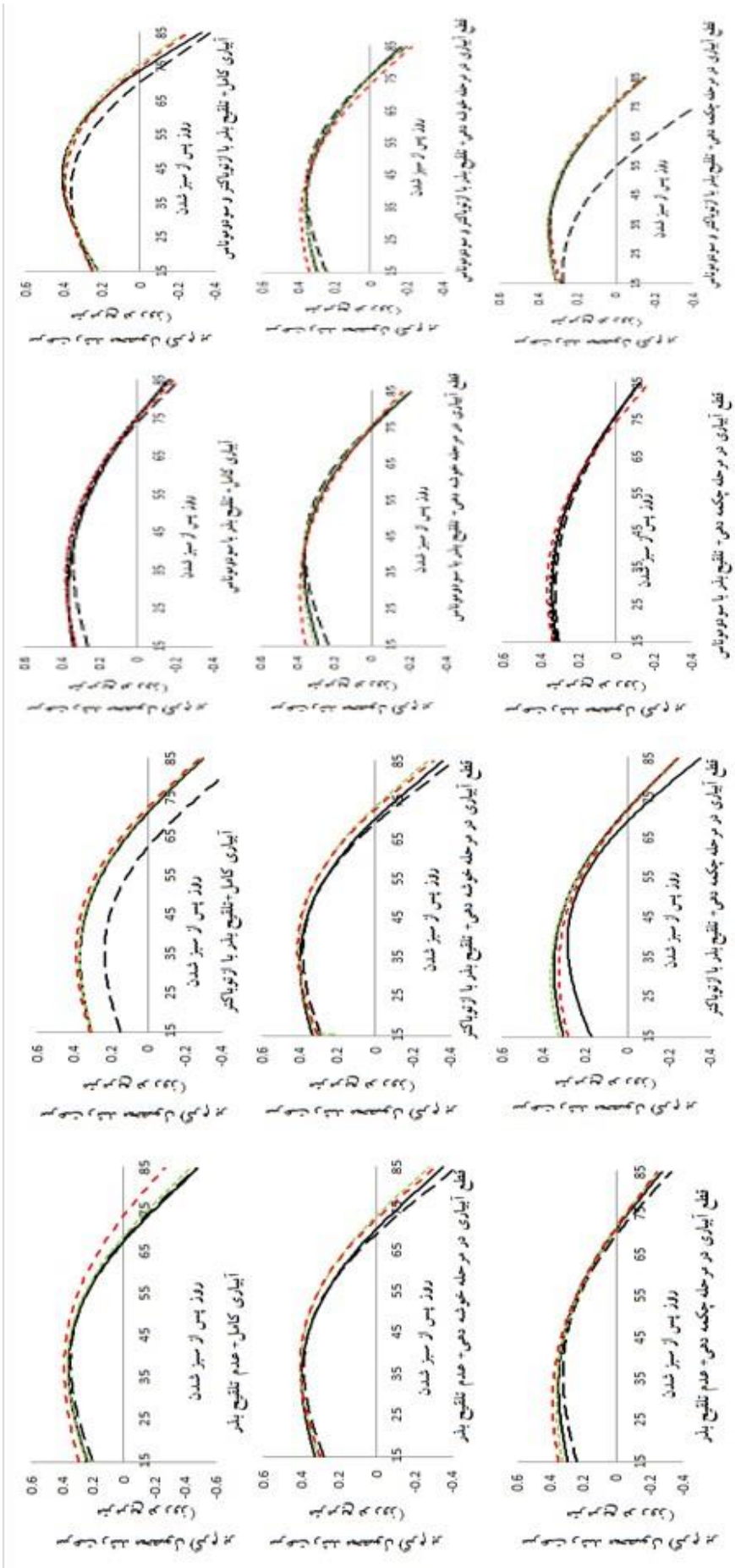
سرعت رشد محصول

بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول نشان می‌دهد که CGR[2] در تمامی تیمارها در اوایل فصل رشد، ابتدا افزایش یافته و به حداکثر مقدار خود رسید، سپس با شیب تندی کاهش یافته و در نهایت منفی شد (شکل ۳). دلیل این امر را می‌توان به تأثیر مثبت محرک‌های رشد گیاهی و کاربرد سایکوسل بر سطح سبز برگ‌ها نسبت داد که ضمن افزایش شاخص سطح برگ، منجر به افزایش سرعت جذب خالص و به دنبال آن افزایش سرعت رشد محصول می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌گردد ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل از بیشترین مقدار CGR در مقایسه با آبیاری تا مرحله چکمه‌ای، عدم کاربرد کودهای بیولوژیک و عدم محلول‌پاشی با سایکوسل برخوردار بودند (شکل ۳). بررسی‌های Seyed Sharifi (۲۰۱۱) نشان داد پیش‌تیمار بذر ذرت با ازتوباکتر از سرعت رشد محصول بالاتری در تمامی ارقام موردبررسی در مقایسه با تیمار شاهد برخوردار بود. Nadeem و همکاران (۲۰۰۶) بهبود رشد گیاه توسط باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دآمیناز در شرایط تنش را به کاهش غلظت اتیلن درونی گیاه به‌واسطه ACC د آمیناز نسبت دادند.

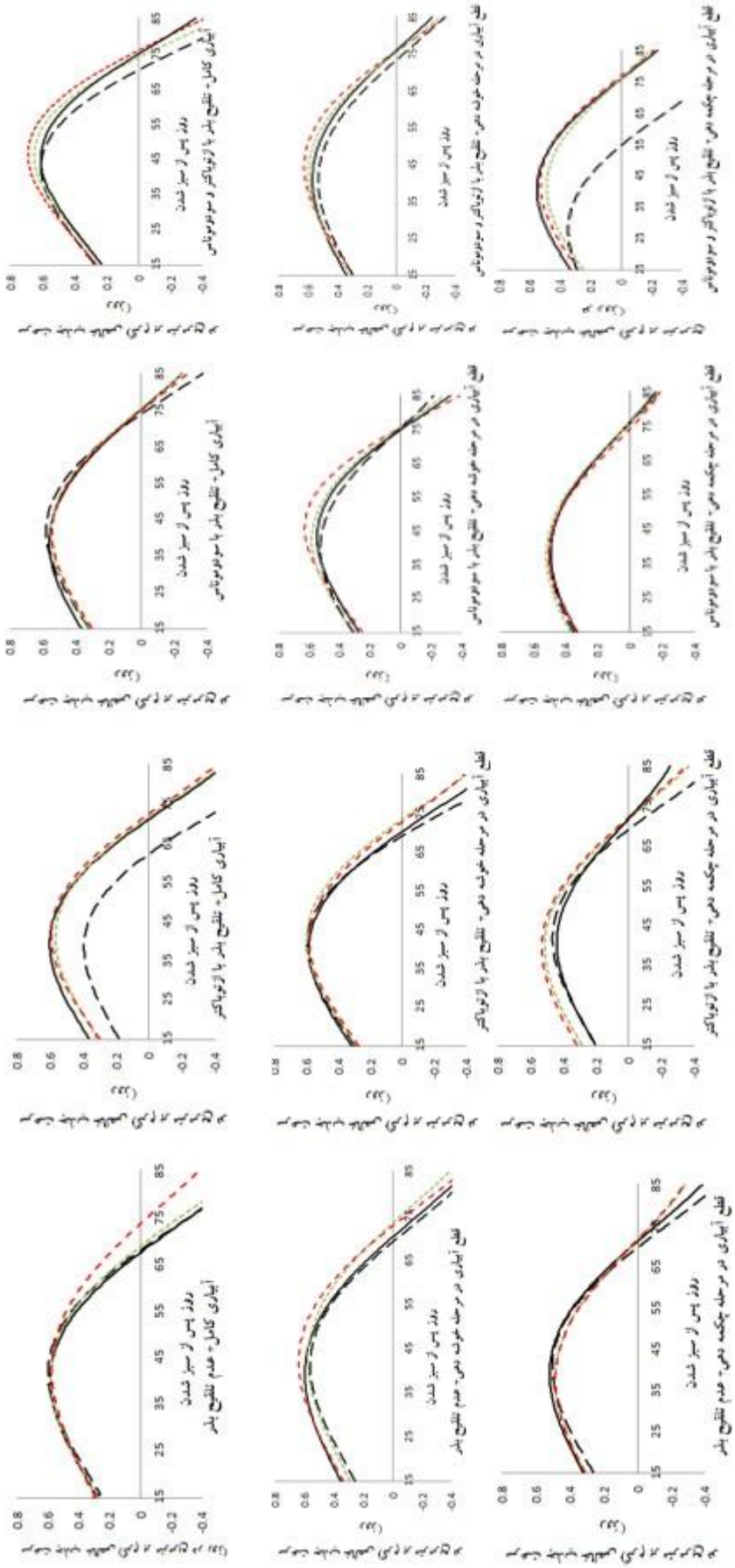
[1] Total Dry Matter
[2] Crop Growth Rate



شکل ۴- تأثیر سایکوسل، کودهای زیستی و محدودیت آبی بر روند تغییرات بیوماس کل گندم (TDM) در طی دوره رشد



شکل ۳- تأثیر سایکوسل، کودهای بیولوژیک و سطوح آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) گندم در طی دوره رشد



شکل ۴- تأثیر سایکوسل، کودهای بیولوژیک و سطوح آبیاری بر روند تغییرات سرعت قتوسنتز خالص گندم در طی دوره رشد

سرعت فتوسنتز خالص

سرعت فتوسنتز خالص یا NAR[1] میزان تولید خالص (عمدتاً فتوسنتز) در واحد سطح برگ در واحد زمان است که در واقع، کارایی فتوسنتزی را نشان می‌دهد. با افزایش رشد و توسعه گیاه، برگ‌ها در معرض تابش خورشیدی بیشتری قرار می‌گیرند و میزان مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد؛ در این شرایط اگرچه سطح برگ کوچک می‌شود ولی به دلیل اینکه ماده‌خشک در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد، NAR نیز افزایش پیدا می‌کند. با افزایش سایه‌انداز گیاهی میزان فتوسنتز کاهش یافته و سرعت تولید ماده‌خشک در واحد سطح برگ کاهش می‌یابد که به دنبال آن NAR کاهش یافته و نمودار آن با روند نزولی مواجه می‌شود. به عبارت دیگر، وابستگی سرعت اسیمیلاسیون خالص به سطح برگ مثبت بوده و با افزایش سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص افزایش می‌یابد. از طرفی، هم‌زمان با رشد گیاه و افزایش شاخص سطح برگ، برگ‌های بیشتری در سایه قرار می‌گیرند و این امر موجب می‌شود که در طول فصل رشد با افزایش LAI، سرعت اسیمیلاسیون کاهش یابد.

در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی اختلاف معنی‌داری در مقدار NAR در تیمارهای مختلف دیده نمی‌شود. ولی با افزایش محدودیت آبی، اختلاف بین تیمارها در کاربرد توأم باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل قابل‌ملاحظه است (شکل ۴). باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مثل ازتوباکتر و سودوموناس نه‌تنها توانایی تثبیت نیتروژن را دارند بلکه توانایی آزادسازی فیتوهورمون‌هایی مثل جیبرلیک‌اسید و ایندول استیک‌اسید را نیز دارند که می‌توانند رشد گیاه، جذب مواد غذایی و فتوسنتز را افزایش دهند (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007). Jeyakumar و Thangraj (۱۹۹۶) گزارش کردند کاربرد سایکوسل موجب افزایش CGR و NAR در شرایط تنش خشکی گردید. Kar و همکاران (۱۹۸۹) نتایج مشابهی با کاربرد سایکوسل در گیاه گلرنگ به‌دست آوردند.

شاخص کلروفیل

مقدار شاخص کلروفیل در ابتدای فصل رشد بالا بود ولی با گذشت زمان به دلیل نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین پیرشدن برگ‌ها روند نزولی پیدا کرد. به‌طوری‌که شدت این کاهش در شرایط محدودیت شدید آبی بیشتر و با کاربرد سایکوسل، روند تغییرات عدد کلروفیل‌سنج، نوسان کمتری نشان داد. در تمامی تیمارهای مورد آزمایش (۷۰ روز پس از سبزشدن) بیشترین میزان این شاخص (۴۸/۹) مربوط به محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۱۲/۳) به تیمار عدم محلول پاشی و عدم کاربرد باکتری در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای مربوط می‌شد (جدول ۲). Schutz و Fangmier (۲۰۰۱) کاهش عدد کلروفیل‌سنج در اثر تنش خشکی را، به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن نسبت دادند که با پراکسیداسیون و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی، در نهایت موجب کاهش شاخص سبزینگی گیاه می‌شود. اما در برگ های گیاهان تیمارشده با سایکوسل ممکن است به دلیل تأثیر این ماده در کندی رشد و تأخیر در پیری برگ، امکان حفظ رنگدانه‌ها فراهم شده و موجب بهبود شاخص سبزینگی گیاه شود (Wafsy, 1995). نتایج به‌دست آمده از پژوهش Hosni (۱۹۹۶) نیز مؤید این مطلب است. همچنین، Kazaz و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند سایکوسل به‌طور معنی‌داری شاخص کلروفیل را بهبود بخشید. Chandrasekhar و همکاران (۲۰۰۵) اثرات مفید تلقیح باکتری بر افزایش محتوای کلروفیل را به افزایش دسترسی نیتروژن به‌واسطه تثبیت آن توسط ازتوباکتر نسبت دادند.

وزن و حجم ریشه

وزن و حجم ریشه به‌طرز معنی‌داری تحت اثرات اصلی و اثر متقابل کودهای بیولوژیک و سایکوسل قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن (۱۳/۰۹ گرم) و حجم ریشه (۲۶/۹۷ سانتی‌متر مکعب) در ترکیب تیماری تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس و محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کمترین وزن (۸/۷۷ گرم) و حجم ریشه (۱۷/۹۱ سانتی‌متر مکعب) در عدم کاربرد سایکوسل و

[1] Net Assimilation Rate

باکتری‌های محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۴). Soltani و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند کاهش در وزن ریشه احتمالاً به‌دلیل کاهش سطح جیبرلین و آنزیم‌های هیدرولیتیک صورت می‌گیرد. Nadeem و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند کودهای زیستی، ساخت اتیلن داخلی را کاهش می‌دهند و تحمل گیاه به تنش با کاهش تولید اتیلن، افزایش می‌یابد. Zaied و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند گیاهانی که با آزوسپریلیوم تلقیح شده بودند طول، حجم و وزن خشک ریشه بالاتری در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند. Dobbelaere و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند گیاهان تلقیح‌شده با انواع باکتری‌هایی که توانایی تولید اکسین را داشته‌اند در مقایسه با تیمار شاهد از ریشه‌های بلندتر، تارهای کشنده طویل‌تر و انشعابات ریشه فرعی بیشتری برخوردار بودند. به نظر می‌رسد در تلقیح توأم بذر با ازتوباکتر و سودوموناس، اثرات هم‌افزایی که بین این باکتری‌ها با یکدیگر وجود دارد، موجب افزایش وزن و حجم ریشه شده است. Emam و Dasfal (۱۹۹۷) نیز تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به سمت ریشه را در اثر استفاده از سایکوسل در شرایط تنش خشکی در گیاه جو گزارش نمودند. Panwar (۱۹۹۱) نیز مشاهده کرد در گندم تلقیح‌شده با مایکوریزا و باکتری آزوسپیریلیوم، باکتری‌ها عمدتاً رشد ریشه را تشدید می‌کنند. Feng و همکاران (۲۰۰۲) افزایش وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با مایکوریزا (جنس گلوموس[1]) را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه‌ها و ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی نسبت دادند. De و همکاران (۱۹۸۲) اظهار داشتند محلول‌پاشی کلرومکوات کلراید (ccc)[2]در گندم، با افزایش رشد ریشه، موجب استخراج آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک می‌شود که نتیجه‌ی آن افزایش عملکرد گندم است.

محتوای پروتئین‌های محلول برگ پرچم

بیشترین محتوای پروتئین‌ها (۱۲/۰۸ میکروگرم برگرم) به ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس و کمترین آن (۱۰/۰۱ میکروگرم برگرم) به عدم محلول‌پاشی سایکوسل و عدم تلقیح بذر تعلق داشت (جدول ۴). مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین پروتئین‌های محلول برگی (۱۲/۲۲ میکروگرم بر گرم) از ترکیب تیماری تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۹/۶۴ میکروگرم بر گرم) از عدم تلقیح بذر در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای به‌دست آمد (جدول ۵). بالا بودن درصد پروتئین و محتوای کلروفیل در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کاربرد توأم ازتوباکتر و سودوموناس نسبت به سایر تیمارها، احتمالاً ناشی از افزایش محتوای کلروفیل برگ (جدول ۲) و جلوگیری از تجزیه پروتئین‌ها باشد. با افزایش محدودیت آبی در گیاه، تمام فرایندهای عمده گیاه مثل فتوسنتز، سنتز پروتئین و آنالیزهای رشد تحت تأثیر قرار گرفت. قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای موجب کاهش معنی‌دار سطح برگ، محتوای کلروفیل و پروتئین‌های محلول برگ شد که با نتایج به‌دست‌آمده توسط Aduloju و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. Farooq و Bano (۲۰۰۶) افزایش در پرولین، محتوای کلروفیل و پروتئین کل در اثر محلول‌پاشی سایکوسل را در گیاه ماش گزارش کردند. Movahhedi و همکاران (۲۰۱۰) افزایش معنی‌دار پروتئین دانه، قندهای محلول و پرولین را با محلول‌پاشی سایکوسل در مقایسه با گیاهان شاهد گزارش کردند. سایکوسل بر بیوسنتز جیبرلین، استرول‌ها و اسید آبسیزیک اثر می‌گذارد و این مواد ثانویه به‌طور غیرمستقیم بر درصد نشاسته اثر گذاشته و موجب افزایش پروتئین دانه می‌شوند (Sawan, 2001). تجزیه پروتئین‌های کلروپلاستی منبع باارزشی برای اشکال قابل‌تحرک نیتروژن به‌محض ورود به شرایط تنش است. در کل، مقدار پروتئین بافت‌های گیاه تحت شرایط خشکی یا شوری به دلیل افزایش پروتئولیز و کاهش سنتز پروتئین کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد تنش خشکی موجب تجزیه و کاهش غلظت پروتئین در برگ‌ها شده است (Martin *et al*., 1993).

[1] Glomus
[2] Chlormequat chloride (CCC)

جدول ۳- اثرات سایکوسل، کودهای بیولوژیک و محدودیت آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات گندم

	وزن ریشه (g)	حجم ریشه (cm^3)	پروتئین برگ پرچم (µg.g Fw)	درصد پروتئین دانه	عملکرد دانه
محدودیت آبی					
I_1= آبیاری کامل	۱۲/۴۱^{a}	۲۵/۰۵^{a}	۱۱/۷۱^{a}	۱۱/۲۸^{a}	۲۸۹۷/۱۶^{a}
I_2=آبیاری تا مرحله سنبله‌دهی	۱۰/۵۵^{b}	۲۱/۶۱^{b}	۱۰/۹۶^{b}	۱۰/۲۱^{b}	۲۲۸۸/۱۱^{b}
I_3=آبیاری تا مرحله چکمه‌زنی	۹/۳۱^{c}	۱۸/۴۲^{c}	۹/۹۳^{c}	۹/۷۶^{c}	۱۸۸۶/۲۵^{c}
LSD (p<0.05)	۰/۷۲	۱/۸۳	۰/۳۸	۰/۰۶۴	۱۹۷/۵۳
کودهای بیولوژیک					
F_0= عدم تلقیح به‌عنوان شاهد	۱۰/۰۸^{b}	۱۸/۸۷^{b}	۱۰/۹۵^{a}	۱۰/۱۱^{a}	۲۱۴۶/۹^{b}
F_1= ازتوباکتر	۱۰/۰۶^{b}	۲۰/۵۶^{b}	۱۰/۷۳^{a}	۱۰/۳۷^{c}	۲۱۶۷/۹^{b}
F_2= سودوموناس	۱۱/۰۴^{ab}	۲۳/۰۱^{a}	۱۰/۸۰^{a}	۱۰/۵۲^{a}	۲۴۱۱/۴^{b}
F_3= ازتوباکتر+ سودوموناس	۱۱/۸۳^{a}	۲۴/۳۲^{a}	۱۱/۰۰^{a}	۱۰/۶۶^{a}	۲۷۲۴/۴^{a}
LSD (p<0.05)	۰/۹۷	۲/۲۶	۰/۴۴	۰/۰۷۴	۲۸۳/۰۱
سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر)					
C_0 = عدم کاربرد سایکوسل به‌عنوان شاهد	۹/۶۷^{c}	۱۹/۷۵^{c}	۱۰/۴۷^{c}	۱۰/۱۶^{d}	۶/۶۸۲۰^{c}
C_1 = کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۱۰/۱۲^{bc}	۲۰/۹۳^{c}	۱۰/۵۲^{c}	۱۰/۲۹^{c}	۲۱۷۶/۵^{bc}
C_2 = کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل	۱۰/۹۰^{b}	۲۲/۲۹^{ab}	۱۰/۹۹^{b}	۱۰/۳۶^{b}	۲۴۰۲/۳^{a}
C_3 = کاربرد ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۱۲/۳۲^{a}	۲۳/۷۸^{a}	۱۱/۴۹^{a}	۱۰/۸۵^{a}	۲۷۸۱/۳^{a}
LSD (p<0.05)	۰/۹۱	۲/۳۷	۰/۴۴	۰/۰۷۴	۲۷۳/۲۸
I * F	**	**	**	**	ns
I * C	**	**	ns	**	ns
F * C	*	**	**	**	*
I * F * C	ns	ns	ns	**	*
C.V.	۱۲/۱۶	۱۶/۰۳	۸/۶۹	۱/۵۱	۱۳/۰۸

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

درصد پروتئین دانه

تیمارهای موردبررسی اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشتند (جدول ۳). درصد پروتئین دانه در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶). بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۲/۳۷ درصد) به ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۹/۲۰ درصد) به عدم محلول‌پاشی سایکوسل، عدم تلقیح بذر و قطع آبیاری در مرحله چکمه‌ای تعلق داشت (جدول ۶). Mohsenzadeh و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند مصرف سایکوسل در جلوگیری از تخریب کلروفیل و تجزیه پروتئین موجود در برگ گندم در موقع پرشدن دانه مؤثر می‌باشد. به نظر می‌رسد باکتری‌ها با تأمین نیتروژن اضافی برای گیاه در شرایط کمبود آب، در افزایش پروتئین‌های دانه نقش مؤثر و مفیدی دارند (Zamber *et al*., 1984). Shehata و EL-Khawas (۲۰۰۳) افزایش پروتئین دانه‌های آفتابگردان را در اثر کاربرد کودهای زیستی گزارش کردند. در این راستا Kim و Paulsen (۱۹۸۶) معتقدند کودهای نیتروژنی، مقدار واردات نیتروژن از قسمت‌های رویشی به دانه را در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش داده و موجب افزایش غلظت نیتروژن یا پروتئین دانه می‌شوند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی سایکوسل و کودهای بیولوژیک بر پروتئین‌های محلول برگ پرچم و وزن و حجم ریشه در شرایط محدودیت آبیاری

کودهای بیولوژیک	سایکوسل	وزن ریشه (g)	حجم ریشه (cm^3)	پروتئین‌های محلول برگ پرچم (µg.g Fw)
	C_0	۲±۷۷/۸/۴۳	۶±۹۱/۱۷/۵۶	۱±۰۱/۱۰/۸۱
F_0	C_1	۲±۳۲/۹/۸۰	۷±۰۴/۱۹/۰۸	۱±۱۳/۱۰/۹۲
	C_2	۳±۵۶/۱۰/۰۲	۷±۲۰/۲۱/۰۲	۲±۵۷/۱۱/۰۴
	C_3	۲±۶۹/۱۱/۵۰	۵±۳۲/۱۷/۴۹	۳±۶۶/۱۱/۱۰
	C_0	۲±۲۳/۹/۴۸	۶±۹۴/۱۸/۱۸	۲±۷۱/۱۰/۰۳
F_1	C_1	۲±۱۳/۹/۲۳	۵±۷۶/۱۸/۷۱	۱±۵۷/۱۰/۹۱
	C_2	۳±۰۵/۱۰/۰۶	۶±۱۸/۲۰/۴۸	۲±۷۵/۱۰/۱۸
	C_3	۳±۸۴/۱۱/۱۳	۶±۳۶/۲۴/۱۸	۲±۹۰/۱۰/۰۷
	C_0	۲±۸۰/۹/۴۹	۵±۴۵/۲۰/۹۷	۲±۷۶/۱۰/۱۶
F_2	C_1	۳±۵۶/۱۱/۴۸	۸±۹۱/۲۳/۰۰	۲±۷۹/۱۰/۱۶
	C_2	۲±۱۳/۱۰/۵۸	۵±۲۰/۲۱/۴۲	۱±۳۱/۱۰/۹۱
	C_3	۲±۶۶/۱۲/۷۸	۵±۴۸/۲۶/۵۴	۲±۳۳/۱۱/۲۰
	C_0	۳±۸۸/۱۰/۲۱	۶±۷۳/۲۱/۴۶	۲±۳۹/۱۰/۳۵
F_3	C_1	۲±۴۹/۱۰/۳۵	۴±۰۲/۲۲/۹۴	۲±۶۰/۱۰/۳۳
	C_2	۲±۸۶/۱۲/۹۹	۵±۵۸/۲۶/۸۷	۳±۳۴/۱۱/۲۸
	C_3	۲±۰۹/۱۳/۸۰	۵±۹۷/۲۶/۶۵	۲±۰۸/۱۲/۰۸
LSD ($p<0.05$)		۱/۷۰	۴/۲۲	۱/۱۴

F_0، F_1، F_2 و F_3 به‌ترتیب عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح توأم این دو باکتری؛ C_0،C_1، C_2 و C_3 به‌ترتیب عدم مصرف و مصرف ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محدودیت آبیاری بر پروتئین‌های محلول برگ پرچم گندم

تیمارها	پروتئین‌های محلول برگ پرچم (µg.g Fw)			
	F_0	F_1	F_2	F_3
I_1	۱۲/۰۴±۲/۳۴	۱۱/۶۶±۲/۰۴	۱۰/۹۳±۲/۳۶	۱۲/۲۲±۲/۹۰
I_2	۱۱/۱۶±۱/۸۴	۱۰/۵۵±۱/۸۸	۱۱/۱۴±۱/۹۸	۱۰/۹۸±۲/۵۶
I_3	۹/۶۴±۱/۳۶	۹/۹۸±۱/۷۴	۱۰/۳۲±۱/۸۴	۹/۷۹±۲/۳۴
LSD ($p<0.05$)	۰/۸۴			

I_1، I_2 و I_3 آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا مرحله چکمه‌دهی؛ F_0، F_1، F_2 و F_3 به ترتیب عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح توأم این دو باکتری

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد سایکوسل، باکتری‌های محرک رشد و تنش کم آبیاری بر پروتئین و عملکرد دانه گندم

تیمارها		عملکرد دانه (kg/ha)				پروتئین بذر (%)			
محدودیت آبی	کودهای بیولوژیک	C_0	C_1	C_2	C_3	C_0	C_1	C_2	C_3
I_1	F_0	۲۴۲۳/۷±۲۴۲/۳	۲۶۳۶/۴±۴۰۱/۶	۲۷۹۹/۳±۴۶۷/۱	۲۹۴۲/۴±۲۱۱/۴	۱۰/۷۳±۲/۱۴	۱۰/۹۹±۲/۱۹	۱۰/۹۹±۲/۱۹	۱۱/۰۴±۲/۲۰
	F_1	۲۴۸۵/۴±۹۸/۱	۲۰۷۹/۲±۳۲۶/۸	۲۷۷۶/۴±۴۰۲/۱	۳۱۶۷/۴±۲۰۲/۱	۱۱/۱۱±۲/۲۲	۱۱/۶۴±۲/۳۲	۱۱/۵۰±۲/۳۰	۱۱/۱۲±۲/۲۲
	F_2	۲۵۶۴/۶±۴۶۰/۶	۳۲۸۶/۱±۱۶/۸۳	۲۷۶۰/۴±۵۰۴/۲	۳۲۳۴/۷±۴۰۳/۴	۱۱/۳۳±۲/۲۶	۱۱/۴۴±۲/۲۸	۱۰/۹۱±۲/۱۸	۱۱/۴۶±۲/۲۹
	F_3	۲۹۵۷/۶±۱۷۷/۵	۲۷۳۶/۱±۵۰۲/۷	۳۶۸۲/۶±۲۶۶/۱	۳۸۲۲/۲±۲۰۹/۳	۱۱/۱۸±۲/۲۳	۱۱/۱۰±۲/۲۲	۱۱/۷۱±۲/۳۴	۱۲/۳۷±۲/۴۷
I_2	F_0	۱۸۱۳/۲±۱۸۶/۱	۱۸۳۳/۴±۲۱۷/۰	۲۳۴۵/۳±۴۱۱/۴	۲۴۷۷/۱±۱۱۳/۷	۹/۲۹±۱/۸۵	۹/۴۸±۱/۸۹	۱۰/۰۶±۲/۰۱	۱۰/۴۴±۲/۰۸
	F_1	۱۵۷۴/۳±۱۳۲/۰	۲۰۷۱/۸±۴۲۸/۱	۱۷۵۶/۹±۱۸۳/۷	۲۵۱۹±۴۰۵/۰	۹/۵۲±۱/۹۰	۱۰/۰۳±۲/۰۰۶	۹/۵۳±۱/۹۰	۱۰/۸۷±۲/۱۷
	F_2	۲۱۳۷/۵±۱۲۲/۱	۲۴۱۹/۲±۶۵۷/۲	۲۰۷۰/۸±۱۶۴/۶	۲۷۱۵/۳±۵۲۰/۴	۱۰/۴۹±۲/۰۹	۱۰/۶۹±۲/۱۳	۱۰/۱۰±۲/۰۲	۱۱/۱۶±۲/۲۳
	F_3	۲۱۰۷/۳±۱۲۶/۳	۲۳۱۳/۲±۱۰۰/۴	۳۰۲۸/۵±۴۷۲/۵	۳۴۲۷/۲±۴۷/۶	۱۰/۱۸±۲/۰۳	۹/۷۰±۱/۹۴	۱۰/۷۵±۲/۱۵	۱۱/۰۸±۲/۲۱
I_3	F_0	۱۴۰۹/۷±۱۷۸/۸	۱۴۶۸/۵±۶۳/۸	۱۵/۶۷±۴/۲	۲۲۹۸/۶±۴۴۴/۸	۹/۲۰±۱/۸۴	۹/۴۶±۱/۸۹	۹/۵۶±۱/۹۱	۱۰/۱۸±۲/۰۳
	F_1	۱۸۴۲/۴±۳۷۶/۸	۱۵۱۸/۸±۳۲۲/۹	۱۹۲۹/۹±۲۶۰/۱	۲۰۴۱/۷±۲۱۸/۱	۹/۷۵±۱/۹۵	۹/۷۰±۱/۹۴	۹/۷۴±۱/۹۴	۹/۹۸±۱/۹۹
	F_2	۱۶۵۹±۱۹۹/۲	۱۷۷۰/۱±۲۴۱/۰	۱۹۴۰/۳±۱۳۸/۵	۲۳۷۹/۲±۴۴۷/۲	۹/۴۰±۱/۸۸	۹/۳۱±۱/۸۶	۹/۴۷±۱/۸۹	۱۰/۵۶±۲/۱۱
	F_3	۱۷۸۹/۶±۲۷/۲	۲۰۴۳/۸±۱۷۳/۰	۲۱۷۰/۱±۱۳۸/۸	۲۳۵۱/۰±۱۹۷/۶	۹/۸۲±۱/۹۶	۹/۹۴±۱/۹۸	۱۰/۱۱±۲/۰۲	۱۰/۰۱±۲/۰۰۲
LSD ($p<0.05$)		۰/۰۱۳				۰/۲۵			

I_1، I_2 و I_3 آبیاری کامل، آبیاری تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری تا مرحله چکمه‌دهی؛ F_0، F_1، F_2 و F_3 به‌ترتیب عدم تلقیح، تلقیح بذر با ازتوباکتر، سودوموناس و تلقیح توأم این دو باکتری؛ C_0، C_1، C_2 و C_3 به‌ترتیب عدم مصرف و مصرف ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر محدودیت آبیاری، کاربرد سایکوسل، تلقیح بذر با باکتری محرک رشد و اثرات ترکیب تیماری این عوامل قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۳۸۲۲/۲ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین آن (۱۴۰۹/۷ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به عدم محلول‌پاشی سایکوسل و عدم تلقیح بذر در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌دهی بود (جدول ۶). در سطح ثابت از محلول‌پاشی ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و تلقیح بذر با ازتوباکتر و سودوموناس، در شرایط آبیاری کامل عملکرد گندم ۶۳/۴۱، در شرایط قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی ۵۲/۹۰ و در شرایط قطع آبیاری در مرحله چکمه‌دهی ۶۲/۴۶ درصد نسبت به عدم کاربرد سایکوسل و عدم تلقیح بذر با کودهای زیستی، افزایش نشان داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد در کاربرد سایکوسل به دلیل افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۲) و افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۴) باشد. کاربرد سایکوسل ممکن است محتوای کلروفیل برگ‌ها را به دلیل بسته‌شدن روزنه و کاهش سطح برگ، افزایش دهد. این امر می‌تواند به افزایش طول دوره منبع برای بهبود کارایی تخصیص و افزایش بهره‌وری منجر گردد. برخی از محققان معتقدند سایکوسل اندازه مقصد را قبل و بعد از گل‌دهی به دلیل اثرات فیدبک مثبت و سرعت فتوسنتزی مقصد گیاه، و حجم مواد انتقالی برای پرشدن دانه افزایش می‌دهد (Emam and Dasfal, 1997). بنابراین محلول‌پاشی سایکوسل ممکن است یک عمل امیدبخش برای بهبود عملکرد تحت شرایط رشد نامطلوب باشد. محلول‌پاشی سایکوسل در خردل عملکرد دانه و اجزای عملکرد را تا ۵۰٪ افزایش داد (Saini, 1987). بخشی از افزایش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در این تیمار به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد نسبت داد (شکل ۱)؛ به نظر می‌رسد این افزایش در شاخص سطح برگ، به دلیل افزایش فتوسنتز جاری، موجب بهبود عملکرد شده است. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد به دلیل تأثیر مثبتی که طی فرآیندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز و اسیدهای آلی دارند سبب افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود (Vessey, 2003). Shaalan (۲۰۰۵) اظهار داشت باکتری‌های محرک رشد با فراهم‌کردن عناصر غذایی ماکرو و میکرو برای رشد گیاه، تحریک تولید مواد و توسعه سیستم ریشه، تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیاز کودی، موجب بهبود رشد گیاه میزبان می‌شوند. Rudresha و همکاران (۲۰۰۵) توانایی باکتری‌ها در حذف عوامل بیماری‌زای خاک‌زی، تولید مواد محرک رشد و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و اکسین، افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای به‌منظور دست‌یابی بیش‌تر به آب و موادغذایی را از عوامل مؤثر در افزایش عملکرد به‌وسیله باکتری‌ها عنوان نمودند. James و Paulsen (۲۰۰۴) افزایش اجزای عملکرد را به نقش مؤثر باکتری‌های محرک رشد در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیاز کودی نسبت دادند. Rai و Caur (۱۹۹۸) در بررسی اثر تلقیح منفرد و دوگانه ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در گندم نشان دادند تلقیح دوگانه سویه‌های کارآمد ازتوباکتر و گلوموس در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش، می‌تواند در به حداکثر رساندن تولید گندم سودمند باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش کمبود آب عملکرد دانه، محتوای کلروفیل، شاخص سطح برگ، تجمع وزن خشک، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، وزن خشک و حجم ریشه و پروتئین دانه کاهش یافت. کاربرد سایکوسل و باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با عدم کاربرد و عدم محلول‌پاشی به بهبود این صفات منجر گردید. به نظر می‌رسد کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی با سایکوسل با تعدیل اثرات محدودیت آبی می‌توانند در بهبود عملکرد دانه مؤثر واقع شوند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از بخشی از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول می‌باشد. نویسندگان مراتب سپاس و قدرشناسی خود را از یکایک همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی که همکاری‌های ارزشمندی را در تمامی مراحل اجرای طرح معطوف داشته‌اند اعلام می‌دارند.

منابع

Aduloju, M.O., Mahmood, J. and Abayomi, Y.A. 2009. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L) Merrill] genotypes for adaptability to a southern Guinnea Savanna environment with and without P fertilizer application in north Central Nigeria. African Journal of Agricultural Research, 4(6): 556-563.

Bashan, Y., Holguin, G. and de-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances. Canadian Journal of Microbiology, 50(8): 521-577.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-54.

Cakmakci, R.I., Donmez, M.F. and Erdogan, U. 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 31(3): 189-199.

Chandrasekhar, B.R., Ambrose, G. and Jayabalan, N. 2005. Influence of biofertilizer and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link. Agricultural Science and Technology, 1(2): 223 -234.

De, R., Giri, G., Saran, G., Singh, R.K. and Chaturvedi, G.S. 1982. Modification of water balance of dryland through the use of chloromequat chloride. Agricultural Science, 98(3): 593-597.

Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical reviews in plant sciences, 22(2): 107-149.

Emam, Y. and Dasfal, M. 1997. Above and below ground responses of winter barely plants to chlromequat in moist and drying soil. Crops Research, 14(3): 457-470.

Farooq, U. and Bano, A. 2006. Effect of abscisic acid and chlorocholine chloride onnodulation and biochemical content of *Vignaraditat*L, under water stress. Pakistan Journal of Botany, 38(5): 1511-1518.

Feng, G., Zhang, F., Li, X., Tian, C., Tang, C. and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza, 12(4): 185-190.

Gollagi, S.G., Hiremath, S.M., and Chetti, M.B. 2009. Effects of growth regulator and nutrients on growth parameters and yield in chilli cv. Byadagi Kaddi. Agriculture Sciences, 5(1): 123-125.

Gopi, R., Sridharon, R., Somasundaram, R., Alagulakshmanan, G.M. and anneerselvam, R.P. 2005. Growth and photosynthetic characteristics as affected by triazols in *Amorphophallus campanulatus*. General and Applied Plant Physiology, 31(3-4): 171-180.

Grewal, H.S. and Kolar, J.S. 1990. Response of *Brssica juncea* to chlorocholine chloride and ethrel sprays in association with nitrogen application. Agricultural Science, 114(1): 87-91.

Hosni, A.M. 1996. Response of potted Chrysanthemum [*Dendrathema grandiflorum* (Ramat) Kitamural] cv Galaxy, with uniconazole and chlormequat (Ramat) Kitamural] cv Galaxy, with uniconazole and chlormequat foliar sprays on medium drenches. Annals of Agricultural Sciences, 41(1): 367-385.

James, E.H, and Paulsen, G.M. 2004. Nitrogen assimilation and protein synthesis in wheat seedlings as affected by mineral nutrition. Plant Physiology, 44(5): 636-640.

Jeyakumar, P. and Thangraj, M. 1996. Effect of mepiquat chloride on certain physiological and yield characteristics of groundnut (*Arachis hypogea* L.). Agronomy and Crop Science, 176(3): 159-164.

Kar, C., Barua, B. and Gupta, K. 1989. Response of the safflower plant (*Carthamus tinctorius* L cv JLA 900) toward plant growth retardants dikegulac sodium, CCC and SADH. Indian Journal of Plant Physiology, *32:* 144-147.

Kazaz, S., Atilla, A.M., Kilic, S. and Ersoy, N. 2010. Effects of day length and daminozide on the flowering, some quality parameters and chlorophyll content of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. Scientific Research and Essays, 5(21): 3281-3288.

Kim, N.I. and Paulsen, G.M. 1986. Response of yield attributes of isogenic tall, semi dwarf, and double dwarf winter wheats to nitrogen fertilizer and seeding rates. Crop Science, 156(30): 197-205.

Kumar, S., Rawat, C.R., Dhar, S. and Rai, S.K. 2005. Dry matter accumulation, nutrient uptake and changes in soil fertility status as influenced by different organic sources of nutrients to forage sorghum (*Sorghum bicolor*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 75(6): 340-342.

Kumar, V., Behl, R.K. and Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of Azotobacter chroococcum in rhizosphere and their effect on wheat under greenhouse conditions. Microbiological Research, 156(1): 87-93.

Kuraishi, S. and Muir, R.M. 1963. Mode of action of growth retarding chemicals. Plant Physiology, 38(1): 19-24.

Mahfouz, S.A. and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics, 21(4): 361-366.

Martin, M., Micell, F., Morgan, J.A., Scalet, M. and Zebi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. Agronomy and Crop Science, 171(3): 176-184.

Memari, H.R., Tafazoli, E., Kamgar-Haghighi, A., Hassanpour, A. and Yarami, N. 2011. Effects of water stress and cycocel as a growth retardant on growth of two olive cultivars. JWSS-Isfahan University of Technology, 15(55): 1-11. (In Persian).

Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., Arshad, M. and Shahzad, S.M. 2006. Variatin in growth and ion uptake of maize due to inculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. Soil and Environment, 25(2): 78-84.

Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Khandan, T. and Eskandarpour, B. 2011. Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42(9): 1097-1109.

Mohsenzadeh, S., Aschtiani1, S.F., Malboobi, M.A. and Ghanati, F. 2003. Effects of drought and chlorocholine chloride on seedling growth and photosynthesis of two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pajouhesh Sazandegi, 60: 56-64. (In Persian).

Movahhedi, D.M., Ranjbar, M., Yadavi, A.R. and Kavusi, B. 2010. Effect of cycocel on proline, soluble sugars, protein, oil and fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants under drought stress in a pot trial. Environmental Stresses in Crop Sciences, 3(2): 129-138. (In Persian).

Panwar, J.D.S. 1991. Effect of VAM and *Azospirillum brasilenseon* photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. Indian Journal of Plant Physiology, 34: 357-361.

Rai, S.N. and Caur, A.C. 1998. Characterization of Azotobacter Spp. And effect of *Azospirilum lipoferum* on the yield and N-Uptake of wheat crop. Plant and Soil, 109: 131-134.

Ravikumar, S., Kathiresan, K., Ignatiammal, S.T.M., Selvam, M.B. and Shanthy, S. 2004. Nitrogen-fixing azotobacters from mangrove habitat and their utility as marine biofertilizers. Experimental Marine Biology and Ecology, 312(1): 5-17.

Rodrıguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuno, M.F. and Sánchez-Blanco, M.J. 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. Environmental and Experimental Botany, 53(2): 113-123.

Rudresha, D.L., Shivaprakasha, M.K. and Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology, 28(2): 139-146.

Saeed, N., Hussain, M. and Saleem, M. 2002. Interactive effect of biological sources and organic amendments in the growth and yield attributes of sunflower (*Helianthus annus* L). Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 39(2): 135-136.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A. and Basyony, A.E., 2001. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth retardants and zinc on cottonseed, protein and oil yields and oil properties of cotton. Agronomy and Crop Science, 186(3): 183-191.

Saini, J.S., Jolley, R.S. and Singh, O.S. 1987. Influence of chlormequat on growth and yield of irrigated and rainfed Indian mustard (*Brassica juncea*) in the field. Experimental Agriculture, 23(3): 319-324.

Schutz, H. and Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution, 114(2): 187-194.

Seyed Sharifi, R. 2011. Study of grain yield and some of physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) hybrids under seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). Food, Agriculture and Environment, 3(4): 393-397.

Seyed Sharifi, R. and Gholinejad, E. 2021. Evaluation of Agronomic and Morphophysiological Traits of Crops. University of Mohaghegh Ardabili press. 400 pp. (In Persian).

Shaalan, M.N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian journal of Agricultural Research, 83(2): 811-828.

Shehata, M.M. and EL-Khawas, S.A. 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6: 1257-1268.

Soleymanifard, A., Piri, I. and Naseri, R. 2013. The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on physiological and Phenological traits of maize (*Zea mays* L.) at different levels of Nitrogen Fertilizer. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2(9): 55-64.

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E. and Latifi, N. 2008. Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30(1): 51-60.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 225(2): 571-586.

Wasfy, E.H. 1995. Growth regulators and flowering. Academic Bookshop, Modern Egyptian Press, pp.560-580.

Wang, H.Q., Li, H.S., Liu, F.L. and Xiao, L.T. 2009. Chlorocholine chloride application effects on photosynthetic capacity and photo-assimilates partitioning in potato (*Solanum tuberosum* L.). Scientia Horticulturae, 119(2): 113-116.

Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Annals of botany, 11(41): 41-76.

Zamber, M.A., Konde, B.K. and Sonar, K.R. 1984. Effect of *Azotobacter chroocum* and *Azosprillum brasilense* inoculation under levels of nitrogen on growth and yield of wheat. Plant and Soil, 79(1): 61-67.

Zaied, K., Abd-EI-Hady, A.H., Afify, A.H. and Nassef, M.A. 2003. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculant of rhizobacteria. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6: 344-358.

Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**

Vol. 3, No. 2, Autumn & Winter 2022, p. 205-224 **جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۲۲۴-۲۰۵**

Research Article DOI: 10.34785/J020.2022.002

Effect of cycocel and biofertilizers on yield and some growing indices of wheat under irrigation withholding condition

Razieh Khalilzadeh[1], Raouf Seyed Sharifi*[2], Jalal Jalilian[3]

1. Ph.D. graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 22-05-2022

Accepted: 23-06-2022

Abstract

In order to study of yield and some growing indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to the biofertilizers and cycocel under water limitation conditions, a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the research farm of faculty of agricultural sciences, University of Mohaghegh Ardabili, during 2015-2016 cropping season. Factors were water limitation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50% of heading and booting stages as moderate and severe water limitation respectively, according to 45 and 59 Zadoks code), seed inoculation with biofertilizers at four levels (without inoculation as control, seed inoculation with *Azotobacter chrocoocum* strain 5, *Pseudomonas putida* strain 186 and inoculation with *Azotobacter+ Pseudomonas)* and foliar application of cycocle at four levels (0, 400, 800 and 1200 mg L^{-1}). Means comparison showed that maximum grain yield (3822 kg ha^{-1}), total dry matter (2720 g m^{-2}), crop growth rate, net assimilation rate, seed protein and chlorophyll content, increased due to seed inoculation with *Azotobacter+ Pseudomonas* and foliar application of 1200 mg L^{-1} cycocle under normal irrigation. The combined use of *Azotobacter* and *Pseudomonas* bacteria and foliar application of 1200 mg.L^{-1} showed a significant increase in root dry weight. Foliar application of 1200 mg.L^{-1} cycocle and seed inoculation with *Azotobacter* and *Pseudomonas* increased grain yield 63.41, 52.90 and 62.46%, respectively, at full irrigation, irrigation to 50% of heading and booting stages in comparison with no application of bio fertilizers and cycocel. Generally, it seems that the application of biofertilizers and cycocel can be a proper tool for increasing wheat yield under water limitation.

Keywords: Protein, crop growth rate, water deficit, biofertilizers

*Corresponding Author Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com