دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دوازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱

بهبود کارایی مصرف آب، شاخص سبزینگی و عملکرد دانه گندم تحت رژیم های مختلف آبیاری با استفاده از کود زیستی

ابوالقاسم مرادقلی[۱]، حمیدرضا مبصّر[۲و*]، حمیدرضا گنجعلی[۲]، حمیدرضا فنایی[۳]، احمد مهربان[۴]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.
۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.
۳- دانشیار ، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، زابل، ایران.
۴- دانشیار، گروه کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mobasser.hr@gmail.com

(تاریخ دریافت:۲۶ مهرماه ۱۴۰۱ ، تاریخ پذیرش: ۱۵ آذرماه ۱۴۰۱)

چکیده:

خشکی یکی از تنش های غیر زنده بسیار مهم است که رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و از این طریق عملکرد گیاه زراعی را محدود می‌سازد. اقداماتی شامل: ارائه اطلاعات برای بهبود مدیریت ریسک خشکسالی، بهبود برنامه‌ریزی برای واکنش موثرتر به خشکسالی، سرمایه‌گذاری در کاهش خطر مخاطرات (DRR) و ارائه یک محیط جهت به حداقل رساندن خطرات کلی باعث افزایش تاب‌آوری، جلوگیری یا کاهش خطرات خشکسالی آینده و حفظ معیشت می‌شود. این تحقیق در دو سال زراعی، بصورت آزمایش کرت های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. شرایط مختلف رطوبت خاک بعنوان تیمار اصلی در سه سطح و تیمار کودهای زیستی در هفت سطح به عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. نتایج مطالعات نشان داد که شرایط مختلف رطوبتی محتوی نسبی آب برگ (RWC)، مقدار سبزینگی برگ (SPAD)، کلروفیل a و b وعملکرد دانه معنی دار شدند، با افزایش شدت تنش مقدار آنها کاهش یافت که نشان دهنده حساسیت آنها به تغییر وضعیت آب خاک و پتانسیل آب برگ می‌باشد.استفاده از کودهای زیستی ازتوباکتر و فسفاباکتر باعث افزایش معنی دار مقدار RWC , SPAD ، کلروفیل a و b و عملکرد دانه نسبت به عدم استفاده از کود زیستی گردید. اثرات استفاده تلفیقی میکروارگانیسم سبب جبران خسارت های تنش کم آبی گردیده است. بطور کلی با توجه به شرایط کم آبی و افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم استفاده از میکروارگانیسم ها بصورت بذرمال کمک قابل توجهی به کاهش این مخاطرات می‌گردد.

کلمات کلیدی: SPAD ، ازتوباکتر و فسفاباکتر، گندم نان، تنش کم آبی.

مقدمه

خشکسالی یکی از دلایل اصلی نوسانات قیمت جهانی غذا در نظر گرفته می‌شود زیرا منجر به شکست محصول و کاهش عرضه جهانی غذا می‌شود. وقوع همزمان خرابی های متعدد سبد نان خطری برای ثبات قیمت جهانی مواد غذایی ایجاد می‌کند(۴). حتی نوسانات کوچک در قیمت مواد غذایی می‌تواند منجر به ناامنی غذایی و سوء تغذیه در کشورهای کم درآمد شود(۵).

کمبود آب چالش اصلی برای حفظ امنیت غذایی جهانی است. افزایش جمعیت جهان، تقاضای غذا را افزایش داده است که منجر به نیاز به هشت برابر بیشتر سطح آبی در مقایسه با سال‌های گذشته شده است. رقابت بین منابع آبی مناطق مختلف به دلیل تغییرات جوی غیرمنتظره در حال افزایش است، بنابراین، احتمال افزایش محدودیت‌ها و خطرات برای امنیت غذایی وجود دارد(۶).

خاک ضعیف، شرایط آب و هوایی سخت، از جمله درجه حرارت بالا و خشکسالی، وضعیت بد اقتصادی و عدم توسعه تکنولوژیکی به طور قابل توجهی بر بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد. در حال حاضر کودهای شیمیایی و آلی مهم‌ترین منابع مواد مغذی برای افزایش بهره‌وری محصول هستند. کودهای آلی که از مواد گیاهی و حیوانی ساخته می‌شوند قرن‌هاست که برای بهبود بهره‌وری گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، چالش‌های محدود در دسترسی، هزینه و مدیریت، استفاده از کودهای آلی را در بین کشاورزان محدود می‌سازد. کودهای شیمیایی پرهزینه، ناپایدار هستند و به آلودگی محیط زیست و تخریب ساختار خاک کمک می‌کنند. آسیب‌های زیست محیطی ناشی از استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی به طور فزاینده ای غیرقابل کنترل و در بیشتر مواقع غیرقابل برگشت شده است و باعث از دست دادن قابل توجه مواد مغذی در خاک می‌شود(۷).

مواد و روش‌ها:

این تحقیق در دو سال زراعی، بصورت آزمایش کرت های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. شرایط مختلف رطوبت خاک بعنوان تیمار اصلی در سه سطح شامل: ۴۵٪ تخلیه رطوبتی خاک (شاهد) (S1)، ۶۵٪ تخلیه رطوبتی خاک (S2) و ۸۵٪ تخلیه رطوبتی خاک (S3) و تیمار کودهای زیستی در هفت سطح شامل:، شاهد(F1) کاربرد کود شیمیایی متعارف منطقه سیستان (بر اساس نتایج خاک) شامل کود نیتروژنه (اوره ٪۴۶) ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و سوپرفسفات تریپل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاس ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، سطح دوم کاربرد کود زیستی ازتوباکتر به همراه کود شیمیایی مطابق شاهد (F2)، سطح سوم کود زیستی ازتوباکتر به همراه ۵۰٪ کود شیمیایی مورد استفاده شاهد (F3)، سطح چهارم کود زیستی فسفاباکتر به همراه کود شیمیایی مطابق شاهد (F4)، سطح پنجم کود زیستی فسفاباکتر به همراه ۵۰٪ کود شیمیایی مطابق شاهد (F5)، سطح ششم کود زیستی ازتوباکتر و فسفاباکتر به همراه کود شیمیایی مطابق شاهد (F6)، سطح هفتم کود زیستی ازتوباکتر و فسفاباکتر به همراه ۵۰٪ کود شیمیایی مطابق شاهد (F7) به عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. کودهای زیستی مورد استفاده شامل تثبیت کننده نیتروژن از سویه آزوسپریلیوم برازیلینس (Azospirillum brasilense) به میزان 10^8 باکتری فعال در هر گرم و تثبیت کننده فسفر از سویه سودوموناس 10^8 باکتری فعال در هر گرم بود که بذور قبل از کاشت به کودهای بیولوژیک آغشته شدند و سپس مورد کشت قرار گرفتند.

در هر سال قبل از کشت جهت انجام آزمایش‌های خاک‌شناسی، تعیین نیاز غذایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه‌برداری انجام گرفت (جدول۱). بذر گندم مورد استفاده در این آزمایش رقم اصلاح شده طبقه بذری پرورشی به نام ارگ با ۹۵٪ قوه نامیه و ۹۵٪

خلوص و بدون ضدعفونی با سموم شیمیایی و قارچ کش انتخاب گردید. هر کرت شامل ۱۲ خط بـه طـول سـه متر و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر که در سطحی معادل ۷/۲ مترمربع در نظر گرفته شد. به منظور جلـوگیری از حرکت و جابجایی باکتری ها به کرت های مجاورش در زمان آبیاری، هر کرت با پشته های ۵۰ سانتی متـری از هم جدا گردید.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در دو سال اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته گل اشباع pH	کربن آلی %	پتاسیم قابل جذب (میلیگرم در کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلیگرم در کیلوگرم)	نیتروژن قابل جذب (میلیگرم در کیلوگرم)	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت خاک
سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵										
۰-۳۰	۱/۲۰	۷/۹	۰/۴۴	۱۲۵	۹/۲	۰/۱۷	۱۳	۳۳	۵۴	Sandy Loam
۳۰-۶۰	۲/۱۹	۸	۰/۳۵	۱۱۵	۶	۰/۱۵	۲۰	۵۰	۲۸	Silt Loam
سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶										
۰-۳۰	۲/۶	۸	۰/۱۹	۱۳۰	۱۰/۴	۰/۱۸	۱۶	۲۵	۵۹	Sandy Loam
۳۰-۶۰	۱/۹	۸/۹	۰/۱۴	۱۱۰	۵/۸	۰/۱۴	۱۰	۶۹	۲۱	Silt Loam

در طول دوره رشد صفات مورد بررسی در این آزمـایش شـامل : محتـوی نسـبی آب بـرگ (RWC)، شـاخص سبزینگی برگ (SPAD)، میزان کلروفیل a و b، عملکرد دانه می‌باشد.

اندازه گیری شاخص سبزینگی(SPAD)

برای تعیین مقدار شـاخص سـبزینگی SPAD از دسـتگاه کلروفیـل‌متـر دسـتی (SPAD-502 minolta) استفاده شد. عملیات قرائت کلروفیل در هر مرحله نمونه برداری قبل از رفع تنش بـر روی قسـمت پهنـک پـنج برگ که در مرحله رشد زایشی از برگ پرچم انجام گرفته شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ(RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش(۸)، نمونـه بـرداری بـا اسـتفاده از قیچـی از بـرگ رفرنس (آخرین برگ توسعه یافته) تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یـخ قـرار گرفتـه و در آزمایشگاه وزن تر آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری می شود (برگ ها نباید دچار شکستگی و پـارگی باشـند)، سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه (Cold Room) در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار می گیرند (در صورت در اختیار نداشتن سردخانه می توان از یخچال استفاده نمود). بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمـای ۷۰ درجـه سـانتی گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری می شـود. بـا قـرار دادن اعـداد حاصـل از تـوزین بـا ترازوی در فرمول زیر RWC بدست می‌آید:

$$RWC= (Fw – Dw / Sw –Dw) \times 100$$

Fw:وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری

Dw:وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون

Sw:وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

اندازه‌گیری کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b به روش(۹) ، نخست مقدار نیم گرم از ماده تر گیاهی را در هاون چینی ریخته شد، سپس با استفاده از نیتروژن مایع آن را خرد و به خوبی له شد، سپس ۲۰ میلی لیتر استن ۸۰٪ به نمونه اضافه و سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را به بالن شیشه‌ای منتقل گردید، مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a ، و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب را قرائت و یادداشت شد، در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a ، b بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W$$

V=حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A=جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

تجزیه وتحلیل آماری داده‌ها بر اساس طرح آماری انتخاب شده با استفاده از نرم افزار SAS ۹,۴ انجام گردید و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. همچنین رسم نمودارها با کمک نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث:

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله ویژگی های فیزیولوژیک نشان داد که اثرات سال، تنش خشکی، نوع کود و برهمکنش کود و تنش برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بدست آمد (جدول۲). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۵۸/۲۱ درصد) در سال اول آزمایش بدست آمد (جدول۳). محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می دهد. این صفت می تواند توانمندی گیاه را در مواجهه با تنش خشکی نشان دهد. تعیین محتوی نسبی آب به عنوان یک شاخص تجدیدپذیر و پرمعنی از وضعیت رطوبتی گیاه به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است (۱۰). از دلایل کاهش محتوای آب نسبی در شرایط تنش می‌توان به کاهش پتانسیل آب برگ که خود منجر به کاهش تورژسانس، هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز می‌شود، اشاره نمود محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می‌دهد. تنش خشکی سبب کاهش آب برگ، آب واکوئل و اندازه سلول می‌شود. یکی از مهمترین عوامل حفظ بقاء در شرایط تنش را قدرت بالای گیاه در حفظ آب سلولی می دانند. کاهش محتوی رطوبت نسبی برگ در گندم(۱۱)، ارزن مرواریدی(۱۲) و ذرت نیز در طی تنش خشکی اعمال شده در مراحل مختلف رشدی گزارش شده است.

محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر رژیم های آبیاری قرار گرفت به طوریکه بیشترین مقدار (۶۴/۹۸ درصد) از تیمار عدم تنش و کمترین مقدار از تنش شدید (۴۸/۷۲ درصد) بدست آمد که نسبت به آبیاری کامل (شاهد) ۲۵ درصد کاهش نشان داد. (جدول۳). تنش‌خشکی باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ می شود(۱۳). با افزایش تنش رطوبتی، محتوای نسبی آب برگ گندم کاهش پیدا می کند که علت آن، کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه ها می باشد. رابطه مستقیم کاهش محتوای نسبی آب برگ با محتوای رطوبتی خاک در اثر تنش خشکی، تاثیر کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی در

کاهش محتوای نسبی آب و کاهش پتانسیل آب برگ (Ψw) و محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی و تاثیر آن بر فرآیندهائی نظیر فتوسنتز، توسعه برگ و نیز تراکم و اندازه روزنه ها (۱۴) گزارش شده است. محتوای نسبی آب برگ معیار بسیار مناسبی برای گزینش ارقام در تنش خشکی است. کاهش محتوی رطوبت نسبی برگ در اثر تنش خشکی، دارای همبستگی مثبت بالایی با محتوی رطوبتی خاک می‌باشد. کاهش محتوی رطوبت نسبی برگ در ذرت ، سویا و لوبیا نیز در طی تنش خشکی اعمال شده در مراحل مختلف رشدی گزارش شده است (۱۵).

طبق نتایج حاصل از (جدول۳) بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۶۰/۴۵ درصد) با کاربرد تیمار کود زیستی (ازتوباکتر+ فسفاباکتر و۵۰٪ شیمیایی) F7 و کمترین مقدار (۵۰/۹۰ درصد) از کاربرد تیمار شاهد (۱۰۰٪ کود شیمیایی) حاصل شد. به نظر می‌رسد که محرک‌های رشد با جذب بیشتر آب توسط هیف‌ها می‌توانند در افزایش آب نسبی بافت نقش داشته باشند. تصور می‌شود که عامل دیگری مانند افزایش جذب نیز در بالا بردن آب نسبی برگ دخیل باشد. به طوری که تلقیح با افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب و همچنین گسترش ریشه‌های ناشی از گسترش هیف‌ها، بیشترین محتوای آب نسبی برگ را به خود اختصاص داد. این نتایج نشان می‌دهد که کود زیستی با بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ظرفیت نگه‌داری آب در خاک می‌تواند تا حدودی از اثرات تنش خشکی بکاهد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج بدست آمده در گیاه برنج (۱۶) و گندم (۱۷) مطابقت داشت. بطور کلی با مصرف تیمار کود زیستی در شرایط تنش محتوای نسبی آب برگ بهبود یافت. همچنین همبستگی مثبت بین میزان محتوای نسبی برگ و رطوبت خاک را می توان به مصرف کود های زیستی ربط داد چون با مصرف کودهای زیستی، میزان محتوای نسبی برگ ها افزایش یافته، بنابراین با افزایش میزان محتوای نسبی برگ ها، فشار درون سلولی برای رشد سلول فراهم می شود و امکان اتساع دیواره سلولی را فراهم می سازد و در نهایت باعث کاهش پایداری غشاء سلول می شود تا زمینه برای رشد سلول بدست آید. در تأیید نتایج این تحقیق گزارش شده کود های زیستی با تولید ترکیبات مختلف محرک رشد از جمله فیتو هورمون ها موجب بهبود رشد ریشه می‌شود(۱۸).

مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و کود نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۶۹/۳۲ درصد) از تیمار عدم تنش (شاهد) توأم با کاربرد کود (ازتوباکتر +۵۰٪ شیمیایی)F3 و کمترین آن (۴۵/۶۲ درصد) از تیمار تنش شدید و مصرف کود (۱۰۰٪شیمیایی)F1 بدست آمد (جدول ۴). به نظر می رسد حضور باکتری ازتوباکتر و سودوموناس کمک می کند که ریشه گیاه با سهولت بیشتری کلونیزه شده و به صورت مکمل سیستم ریشه ای گیاه عمل می‌نماید. در این حالت ریشه گیاه انتشار و گسترش بیشتری پیدا کرده آب و مواد غذایی لازم را جذب میکند. به واسطه جذب بهتر، اندامهای فتوسنتز کننده بیشتری به وجود آمده و عملکرد گیاه بالا میرود. نتایج سایر تحقیقات نشان داده است استفاده از آزوسپریلیوم در طول مرحله زایشی به، خصوص مرحله ظهور سنبله و گلدهی موجب فراهمی فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه گیاهان تلقیح شده میشود و در نتیجه فراهمی نیتروژن برای گیاه افزایش و از این طریق منجر به افزایش عملکرد دانه می شود (۱۹). بنظر می رسد با مصرف‌کود های زیستی و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب در خاک، گیاه کمتر با شرایط خشکی مواجه شده و تمایل کمتری به سرمایه گذاری برای افزایش غشاء نشان می دهد.

شاخص سبزینگی برگ (SPAD)

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که اثرات ساده تیمارها و متقابل تنش و کود در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر تیمار آبیاری بر شاخص سبزینگی نشان داد که کلروفیل برگ

تحت تاثیر رژیم های آبیاری قرار گرفت. به طوریکه بیشترین مقدار(۴۱/۸۴) حاصل شرایط آبیاری کامل (شاهد) و کمترین آن (۳۸/۶۶) از کاربرد تیمار تنش شدید بدست آمد(جدول۳). محتوای سبزینگی برگ ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می باشد (۲۰). کاهش محتوای کلروفیل در تنش خشکی بدلیل کاهش عوامل لازم جهت سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن می‌باشد، بدین معنی که کاتابولیسم کلروفیل در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد که علت عمده آن علاوه بر موارد ذکر شده می توان بدلیل پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش خشکی باشد. میزان کلروفیل برگ پرچم شاخصی مناسب جهت ارزیابی فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد پرورده است. زردی برگ ها بارزترین علامت پیری گیاه است و آن هنگامی است که محتوای کلروفیل برگ حدود ۵۰ درصد نسبت به برگ سبز طبیعی کاهش یافته باشد. بنابراین، مشاهده پیری با استفاده از اندازه گیری های کلروفیل برگ قابل بررسی است (۲۱). در مرحله پر شدن دانه با افزایش سن گیاه و همچنین افزایش دمای محیط مقدار SPAD در کلیه تیمارها روند کاهشی داشت که با توجه به ارتباط مستقیم SPAD با درصد سبزینگی برگ این تغییرات قابل انتظار بود. کمترین کاهش SPAD در تنش شدید مشاهده شد. کاهش محتوی کلروفیل در اواخر چرخه زندگی می تواند به واسطه تسریع در پیری برگ باشد که پدیده ای معمول و مشترک در هر نوع تنش است (۲۲).

مقایسه میانگین نتایج مربوط به تیمارهای کود نشان می دهد که بیشترین مقدار شاخص سبزینگی (۴۳/۱۷) از کاربرد کود کود زیستی ازتوباکتر و ۵۰٪ کود شیمیایی (F3) دارای عدم اختلاف با کود (ازتوباکتر+ ۱۰۰٪کود شیمیایی) F2 و کمترین آن حاصل کاربرد شاهد کود شیمیایی F1 بدست آمد (جدول۳). ظاهرا میزان نیتروژنی که در ابتدای فصل رشد در اختیار بوته گندم قرار میگیرد، تاثیر چندانی بر میزان کلروفیل برگ ندارد. پس از آنجایکه ازتوباکتر قادر به تأمین مداوم نیتروژن در طول فصل رشد برای گیاه است، کاربرد یا عدم کاربرد آن نقش بسزایی بر میزان کلروفیل برگ پرچم دارد. گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن محتوای کلروفیل برگ پرچم را به طور معنیداری افزایش میدهد که با توجه به نقش ساختاری نیتروژن در حلقه های تتراپیرولی کلروفیل، چنین افزایشی توجیه پذیر میباشد، بنابراین افزایش غلظت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسنتزی را در پی دارد (۲۳). اگامبردیوا (۲۴) اظهار داشت که بذور تلقیح شده با باکتری محرک رشد از جمله آزوسپیریلوم باعث افزایش جذب نیتروژن می شود در ارتباط با افزایش کلروفیل برگ پرچم تحت افزایش غلظت کود نیتروژنه می توان بیان کرد که مصرف نیتروژن در طول دوره رشد به ویژه دوره پر شدن دانه موجب بالا نگه‌داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی می‌شود.

مقایسه برهمکنش تنش خشکی و کود حاکی از آن بود که بیشترین مقدار(۴۵/۱۴) از تیمار آبیاری شاهد و کاربرد کود (ازتوباکتر+ ۱۰۰٪کود شیمیایی)F2 دارای عدم اختلاف با (ازتوباکتر+ ۵۰٪ شیمیایی) F3 و کمترین مقدار(۳۸/۷۶) ناشی از تنش شدید و کاربرد کود (فسفاته+٪۱۰۰ شیمیایی) F4 بدست آمد (جدول ۴). اثر کود های بیولوژیک بر افزایش محتوای سبزینگی برگ، اساسا از طریق بهبود جذب ازت و افزایش ازت برگ صورت می پذیرد، که ازیک سو باعث فراهمی پیش سازهای کلروفیل شده و از سوی دیگر باعث افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به عنوان پیش سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست خواهد شد. برخی پژوهشگران معتقدند با افزایش میزان کود زیستی در ترکیب با کود شیمیایی با افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن، آهن و منیزیم که در کلروفیل سازی مؤثر می باشند، محتوی کلروفیل برگ افزایش می یابد و در آزمایش آن ها کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی محتوی کلروفیل برگ ذرت هیبرید۷۰۴ را بیشتر از مصرف کود شیمیایی یا زیستی افزایش داد. مصرف کودهای شیمیایی و زیستی منجر به بیشتر شدن شاخص

سبزینگی در ذرت می شود اما در تیمار آبیاری مطلوب این اثر مشهودتر مـی باشـد، احتمـالا افـزایش شـاخص سبزینگی با مصرف کود به دلیل نقش موثر نیتروژن در ساختار کلروپلاسـت مـی باشـد، از سـوی دیگـر تـنش خشکی جذب عناصر غذایی را کاهش می دهد. تحقیقات زیادی نشان داده است از این شاخص مـی تـوان بـرای بررسی وضعیت تنش آبی در گیاهان استفاده نمود و وقتی قابلیت دسترسی به آب به دلیل تنش خشکی یـا کـم آبی کاهش یابد، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی نیز کم می شود (۲۵).

کلروفیل a

تاثیر سال، تنش خشکی، کود و برهمکنش تنش خشکی درکود بـر کلروفیـلa، در سـطح احتمـال یـک درصـد بسیار معنی‌دار شد (جدول۲). تحت تاثیر رژیم های آبیاری بیشترین میـزان کلروفیـل a (۱/۷۸۲ میلـی‌گـرم در گرم وزن تر برگ) به شاهد تعلق داشت که نسبت به تنش شدید افزایش ۲۴ درصدی نشـان داد (جـدول۴). در بررسی تاثیر تنش خشکی شدید ویژگی‌های فیزیولوژیک در ژنوتیـپ‌هـای فسـکیوی بلنـد گـزارش کردنـد کـه کلروفیل a، b و کل بطور معنی‌داری کاهش یافتند. آنها همچنین گزارش کردند که در تـنش خشـکی متوسـط بطور معنی‌داری میزان کلروفیل a، کلروفیلb و کلروفیل کل افزایش نشان دادند. علاوه بر این کـاهش محتـوای کلروفیل تحت تأثیر تنش خشکی، به دلیل اختلاف در فرایندهای شیمیایی مسیر فتوسنتزی می‌باشد. هـر چنـد که فتوسیستم II تا حد زیادی نسبت بـه تـنش خشـکی مقـاوم اسـت، ولـی تـنش خشـکی مـی‌توانـد در ایـن فتوسیستم نوری مانع انتقال الکترون شود، از این رو از کـارایی فتوسـنتز کاسـته مـی‌شـود. محتوی کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (۲۶).

طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای کودی بیشترین مقدار کلروفیـلa (۱/۶۲۲ میلـی گـرم در گـرم وزن تر برگ) از کاربرد کود (ازتوباکتر+ فسفا باکتر+۵۰٪ شیمیایی) F7 و کمترین مقدار (۱/۵۱۷ میلـی گـرم در گرم وزن تر برگ) به تیمار کودی شاهد تعلق داشت (جدول۳). کودهای زیستی به واسـطه داشـتن عناصـر ریـز مغذی مانند آهن و منگنز و تامین آب در دسترس گیاه باعث افـزایش میـزان کلروفیـل a مـی شـوند. افـزایش کلروفیل a برگها تحت تیمار کودهای بیولوژیک نسبت به کود شیمیایی می‌تواند به دلیل افزایش جذب فسفر از خاک توسط این موجودات باشد. هم چنین، این باکتریها قادرند تنش‌های محیطی مانند خشـکی، سـرما، گرمـا، شوری و حمله عوامل بیماری‌زای گیاهی را نیز تعدیل نمایند (۲۷). نیتروژن ارتباط نزدیکی بـا کلروفیـل بـرگ دارد، این عنصر بخش جدا نشدنی کلروفیل و اولین عامل جذب کننده نور مورد نیاز برای فتوسنتز می بـاشـد و به همین علت باعث افزایش این صفت نسبت به سایرین شده است. محققین در آزمایشـی کـه روی ذرت انجـام دادند، بیان کردند که افزایش نیتروژن سبب بالا رفتن میزان کلرفیل در برگ‌های این گیاه شده است (۲۸).

در تحقیق حاضر، به نظر میرسد که کاربرد کود زیستی با جلوگیری از آبشویی نیتروژن و تامین بیشتر آن (۲۹)، تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی خاک و همچنین افزایش دسترسـی و جـذب کـارآتر عناصـر غذایی منجر به افزایش سنتز و غلظت کلروفیل برگ شده اند.

مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و کود نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۱/۸۶۹ میلی‌گـرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری کامل (شاهد) توأم با کاربرد کود (ازتو باکتر+ فسفا باکتر+ ۵۰٪ شـیمیایی) F7 و کمترین آن (۱/۲۸۲ میلی‌گرم در گـرم وزن تـر بـرگ) از تـنش شـدید و کـاربرد کـود ۱۰۰ ٪ شـیمیایی (شاهد) F1 بدست آمد (جدول۴). گسترش مصرف کودهای زیستی باعث افزایش میزان کلروفیل شده‌است. این کودها با تامین نیازهای غذایی موجودات ذره‌بینی خاک، باعث افزایش آن‌ها شـده و در نتیجـه بـه کـاهش pH خاک می‌انجامند و بر میزان جذب عناصر میکرو (از جمله Fe، Mn و Mg) که در سنتز کلروفیل نقش مهمـی

ایفا می‌کنند، می‌افزایند و سرانجام سبب می‌شوند که سنتز کلروفیل افزایش یابد. منابع کود زیستی در مخلوط با کود شیمیایی نیز می توانند به حاصلخیزی خاک و تولید محصول منجر شوند، زیرا این نظام اکثر نیازهای غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و بازده جذب مواد غذایی‌توسط محصول را افزایش می‌دهد(۳۰) و به همین دلیل میزان کلروفیل افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد تیمار تلفیقی کود زیستی از طریق تشکیل کلونی در ناحیه اطراف ریشه و یا درون گیاه شرایط مناسب‌تری را به‌منظور تامین زیستی نیتروژن، فسفر و سایر ریز مغذی‌ها در خاک ایجاد کرده‌اند. کودهای آلی (زیستی) و غیرآلی (شیمیایی) مصرفی، محتوای عناصر تغذیه ای خاک را افزایش داده که در نتیجه میزان عناصر در گیاه افزایش می یابد که نتیجه آن افزایش محتوای کلروفیل اندازه گیری شده خواهد بود. عنصر نیتروژن علاوه بر شرکت در ساختار اسیدهای آمینه و آنزیمها، یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده حلقه تتراپیرول کلروفیل میباشد. به علاوه افزایش این عنصر در گیاه از یک سو سبب افزایش میزان آمونیوم و از سوی دیگر افزایش آنزیمهای گلوتامات سنتتاز و گلوتامین سنتتاز دخیل در تولید کلروفیل شده و باعث افزایش میزان آن در گیاه می‌گردد (۳۱). با توجه به نتایج حاصل چنین به نظر میرسد استفاده از باکتری‌های محرک رشد به ویژه ازتوباکتر توانسته است با تثبیت نتیروژن هوا، میزان رنگیزه های فتوسنتزی را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهد.

کلروفیل b

با توجه به جدول تجزیه واریانس مرکب داده ها (جدول۲)، اثر سال، تنش خشکی و کود بر کلروفیل b، در سطح احتمال یک درصد بسیار معنی‌دار شد، به طوریکه بیشترین مقدار (۰/۵۴۹۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در سال اول بدست آمد. مقدار کلروفیل a تحت تاثیر رژیم های آبیاری بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۶۵۷۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) به شاهد تعلق داشت که نسبت به تنش شدید (۰/۴۴۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) افزایش ۳۲ درصدی نشان داد(جدول ۳).

تنش خشکی باعث پیری زودرس گیاهان و شکسته شدن کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. کاهش مقدار کلروفیل a و b به هنگام تنش کمبود آب می‌تواند به دلیل تحریک آنزیم بیوسنتز پرولین یعنی گلوتامیل کیناز در تغییرات میزان نسبی آب پایین باشد. با افزایش تبدیل گلوتامات به پرولین به هنگام تنش خشکی، در واقع گلوتامات که پیش ساز کلروفیل نیز می‌باشد از دسترس خارج و سنتز کلروفیل‌ها دچار نقصان می‌شود. تشدید فعالیت کلروفیلات به هنگام تنش‌های اسمزی از جمله خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل سلول‌های گیاهی می‌شود(۳۲). یکی از فرایندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه فتوسنتز است که شدت آن در کم آبی کاهش می یابد. به‌نظر می رسد در شرایط تنش رطوبتی کاهش در میزان غلظت کلروفیل بدلیل کاهش در میزان سنتز، ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد. از طرف دیگر تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن می‌شود که تحریک کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تحت تاثیر این آنزیم تجزیه می‌شود. کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش خشکی در گیاهان از جمله ذرت(۳۳) و گندم (۳۴) گزارش شده است که با نتایج این مطابقت دارد.

طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای کودی بیشترین مقدار کلروفیلb (۰/۵۶۶۲ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کاربرد کود (ازتوباکتر+ فسفا باکتر+۵۰٪ شیمیایی) F7 و کمترین مقدار (۰/۵۱۵۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) به تیمار کودی شاهد (۱۰۰٪ کود شیمیایی) تعلق داشت (جدول۳). دلیل این تفاوت،

میزان نیتروژن دسترس گیاه میباشد چون نیتروژن تأثیر مستقیم و قطعی در ساختمان کلروفیل دارد(۳۵). لذا تأمین کافی نیتروژن از طریق استفاده از کود شیمیایی نیتروژنه و همچنین تثبیت نیتروژن توسط باکتریهای تثبیت کننده ازت اتمسفری (کودهای زیستی) باعث افزایش میزان فتوسنتز و همچنین میزان تولید کلروفیل گردید. تحقیقات نشان داده که در حدود ۷۰ درصد نیتروژن برگ در کلروپلاست های آن انباشته میشوند و در نتیجه مقدار کلروفیل همبستگی زیادی با مقدار نیتروژن دارد(۱). لذا در بیان علت برتری تیمار ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی می توان اظهار داشت تأمین مناسب، کافی و تدریجی نیتروژن هم از طریق استفاده از کود نیتروژن و هم به واسطه حضور باکتریهای تثبیت کننده نیتروژن در کود زیستی، باعث گردید که گیاه، نیتروژن کافی جهت تولید کلروفیل در اختیار داشته باشد، سایر عناصر مورد نیاز در فتوسنتز و سنتز کلروفیل نیز تا حدود زیادی به واسطه استفاده از این کودها تأمین گردید. علاوه بر این مصرف مقادیر مناسب کود بیولوژیک از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم کننده های رشد توسط این میکرو ارگانیزم‌ها و نیز تامین مقادیر بیشتری مواد غذایی برای مصرف گیاه، سبب افزایش مقدار کلروفیل b برگ می‌شود.

با مصرف کود شیمیایی و کود زیستی به صورت تلفیقی شرایط مناسب و ایده‌آل برای رشد گیاه فراهم می‌شود. به گونه‌ای که، نه تنها هیچ‌گونه سازش‌ناپذیری در میان آنها به وجود نمی‌آید بلکه مکمل یکدیگر نیز هستند. کودهای زیستی با ارتقاء میزان فعالیت باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، اثر کودهای شیمیایی را در تولیدات کشاورزی افزایش می‌دهند (۳۶). همچنین در گندم تلقیح شده با باکتری Azospririllum brasilense غلظت کلروفیل و میزان فتوسنتزافزایش یافت.

عملکرد دانه:

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی،کود، سال، برهمکنش کود و تنش کم آبیاری با احتمال خطای یک درصد و برهمکنش سال و تنش کم آبیاری با احتمال خطای پنج درصد قرار گرفت (جدول۲). بیشترین عملکرد دانه از سال اول (۲۵۹۴ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه در سال دوم بیشتر ناشی از کاهش تعداد سنبله در مترمربع می باشد. طبق مقایسه میانگین‌ها بیشترین عملکرد دانه (۳۴۶۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم تنش (شاهد) و کمترین آن(۱۶۷۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تنش شدید حاصل گردید (جدول ۳).

از جمله کاهش عملکرد در تیمارهای تنش نسبت به شاهد به کاهش سطح برگ و تعداد برگ همراه با افزایش وقوع تنش خشکی می‌باشد. و متعاقب کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. نتایج زیادی وجود دارد که کاهش فراهمی آب سبب کاهش جذب عناصر غذایی (۳۷)، افت شاخص سطح برگ و توان فتوسنتزی گیاه (۳۸) می‌شودکه نتیجه آن کاهش عملکرد ماده خشک گیاهی می‌باشد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۸۱۶ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد کود (ازتوباکتر+ فسفاباکتر+ ۱۰۰٪شیمیایی)F6 دارای عدم اختلاف معنی دار با (فسفا باکتر+ ۱۰۰٪شیمیایی)F4 و (ازتوباکتر+ ۱۰۰٪شیمیایی) F2 و کمترین آن (۲۴۲۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار (ازتوباکتر+فسفا باکتر+ ۵۰٪ شیمیایی) حاصل گردید (جدول ۳). کود زیستی برای تداوم حضور عناصر غذایی در گیاه و کودهای شیمیایی برای آغاز عملیات تولید و جبران منبع کودی در خاک دارای اهمیت خاص خود می باشند. در بررسی حسن پور و همکاران(۳) مشخص شد که کود زیستی (حاوی باکتریهای تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات) بر عملکرد دانه تأثیر معنی داری داشت و باعث افزایش تقریباً ۱۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به حالت عدم

مصرف شد. نتایج حاصل از مصرف کود زیستی فسفاته در مقایسه با کودهای سوپر فسفات تریپل در ذرت، سویا و گندم مؤید تأثیر رضایت بخش این کود بود، به طوری که مشخص گردیده است کود بیولوژیک فسفاته باعث افزایش قابل ملاحظهٔ عملکرد می‌گردد. نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفردار و باکتری هایی از جنس رایزوبیوم و باسیلوس و برهمکنش بین میزان فسفر و کودهای زیستی در ماش معنی‌دار بود(۲۷).

مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و کود نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۳۷۹۰کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم تنش (شاهد) توأم با کاربرد کود (ازتوباکتر+ ۱۰۰٪شیمیایی)F2 دارای عدم اختلاف معنی دار با کود (فسفا باکتر+۱۰۰٪ شیمیایی) F4 و (ازتو باکتر+فسفا باکتر+۱۰۰٪ شیمیایی) F6 و کمترین آن (۱۳۵۱کیلوگرم در هکتار) از کاربرد کود (فسفا باکتر+ ۵۰٪شیمیایی) F5 حاصل شد (جدول ۴).

پژوهشگران دلیل افزایش عملکرد در سطوح کودی تلفیقی را ناشی از مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در سیستم های تلفیقی می دانند. به طوری که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است میزان نیتروژن معدنی آنها کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی تری ادامه پیدا می کند. همچنین افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش فعالیت های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک از دلایل افزایش عملکرد در سطوح کودی تلفیقی می باشد(۳۹) .

مواد مغذی غیر آلی ممکن است میکروب ها را تکثیر کنند تا فرآیند تجزیه را تقویت کنند و مواد مغذی را در دسترس گیاهان زراعی قرار دهند. استفاده از کود زیستی به طور قابل توجهی رشد و عملکرد محصول را افزایش داد. ممکن است به دلیل کانی سازی سریع کودهای آلی باشد. رشد ریشه نیاز اساسی برای رشد سالم گیاه است. زیست توده ریشه در سیستم های مدیریت کود آلی و زیستی بالاتر می باشد. که ممکن است به دلیل هوادهی خوب، فعالیت های میکروبی بالاتر و حاصلخیزی خاک و وضعیت کربن خاک بهبود یافته باشد (۴۰).

در بسیاری از منابع گزارش شده است که آثار مفید باکتری‌های محرک رشد به عنوان یک عامل القا کننده مقاومت به تنش در گیاه در شرایط تنش بیشتر مشهود است، که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد(۴۱و۲)، آنها گزارش کردند که شرایط فراهمی رطوبت، توانایی گیاه جهت دسترسی به عناصر غذایی به خصوص نیتروژن افزایش می‌یابد و این سبب می‌گردد که آثار کاربرد این باکتری‌ها در هنگام مواجهه با تنش خشکی بیشتر قابل مشاهده باشد. نتایج مطالعه ای دیگر با بررسی اثرات روش مصرف کودهای زیستی (حاوی مجموعه ای از باکتریهای از جنس آزوسپیرلیوم و باسیلوس و سودوموناس) در ترکیب با کودهای شیمیایی بر تولید ذرت دانه ای نشان داد، بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی به دست آمد؛ به طوریکه جایگزینی کامل کودهای شیمیایی با کود زیستی موجب کاهش عملکرد ذرت دانه ای شد . سید شریفی و همکاران(۲) در مطالعه اثر تلفیقی کودهای زیستی (حاوی مجموعهای از باکتریهای تثبیت کننده نیتروژن از جنس آزوسپیرلیوم و ازتوباکتر و حل کننده فسفات از جنس سودوموناس) و کود شیمایی نیتروژن و شیمیایی بر کارایی مصرف کود، عملکرد دانه و صفات وابسته به رشد دانه جو اظهار داشتند که با تقسیط بهینه کود نیتروژنه و تلقیح بذر با ازتوباکتر عملکرد دانه جو به طور معنی داری افزایش یافت.

جدول ۲-تجزیه واریانس مرکب ویژگی های فیزیولوژیک گندم تحت تاثیر تنش خشکی و کود

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای نسبی آب برگ RWC	شاخص سبزینگی برگ SPAD	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد دانه
سال (Y)	۱	۱۶۴/۵۷۸**	۳۱/۱۳۲۰۴**	۰/۲۷۲۸۱**	۰/۰۳۰۹۴**	۲۹۸۴۶۲/۴۶**
خطای سال	۶	۳/۴۵۴۴۱	۱/۶۲۱۲۸۴	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۸۳	۱۵۳۰/۵۷
تنش کم آبیاری (S)	۲	۳۷۲۲/۶**	۱۵۹/۲۹۵۲**	۲/۶۳۱۴۸**	۰/۶۷۴۵۵**	۴۴۸۴۰۲۲۳/۰۵**
S × Y	۲	۱/۱۱۴۸۲$^{n.s}$	۰/۰۱۷۹۱۵5n.s	۰/۰۰۱۶۱$^{n.s}$	۰/۰۰۰۵۶**	۲۶۲۵۱/۶۰*
خطای a	۱۲	۰/۳۵۵۸۸	۰/۳۷۵۰۵۲	۰/۰۰۱۱۴	۰/۰۰۰۰۵	۴۲۸۳/۶۸
کود (F)	۶	۲۴۱/۱۳۲**	۲۷۶/۷۳**	۰/۰۳۷۷۸**	۰/۰۰۸۷۷**	۱۳۸۷۲۶۸/۴۶**
F ×Y	۶	۰/۰۷۲۲۱ $^{n.s}$	۰/۰۳۱۱۴۹$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۱$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۲$^{n.s}$	۱۳۱۴۳/۴۶ $^{n.s}$
F × S	۱۲	۳۴/۹۵۲۸**	۴/۷۵۱۸۳۷**	۰/۰۰۶۶۱**	۰/۰۰۰۵۷**	۲۳۰۷۴۲/۸۹**
F × S × Y	۱۲	۰/۰۱۰۴۹$^{n.s}$	۰/۰۰۰۵۶۸$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۱$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۱$^{n.s}$	۱۰۴۴۰/۴۲$^{n.s}$
خطای b	۱۰۸	۰/۷۸۷	۰/۵۵۲	۰/۰۰۱۲	۰/۰۲۴۵	۷۱۲۳/۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۵۵	۱/۸۳	۲/۵۳	۵/۸۶	۳/۳۱

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح پنج و یک درصد

جدول ۳-مقایسه میانگین های ویژگی های فیزیولوژیک گندم تحت تاثیر تنش و کود

	محتوای نسبی آب برگ RWC (درصد)	شاخص سبزینگی برگ SPAD	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
سال					
Y1(سال اول)	۵۸/۲۱۴ a	۴۱/۰۰۶ a	۱/۶ a	۰/۵۵۵ a	۲۵۹۴/۰۹۵ a
Y2(سال دوم)	۵۶/۲۳۵ b	۴۰/۱۴۵ b	۱/۵۱۷ b	۰/۵۲۲ b	۲۵۰۹/۷۹۵ b
LSD5%	۱/۹۵۱	۰/۵۴۳	۰/۰۶۳۱۸	۰/۰۳۱۸۴	۷۸/۱۶
تنش خشکی					
S1 (٪۴۵ - شاهد)	۶۴/۹۷۶ a	۴۱/۸۳۹ a	۱/۷۸۲ a	۰/۶۵۷ a	۳۴۶۴/۴۵۱ a
S2 (٪۶۵-متوسط)	۵۷/۹۷۶ b	۴۱/۲۲۷ b	۱/۵۴ b	۰/۵۰۷ b	۲۵۱۵/۴۷۶ b
S3 (٪۸۵-شدید)	۴۸/۷۲۲ c	۳۸/۶۶۰ c	۱/۳۵۴ c	۰/۵۴۱ c	۱۶۷۵/۹۰۹ c
LSD5%	۱/۰۶	۱/۰۸۹	۰/۰۷۹۵۶	۰/۰۵۶۲۶	۱۱۶/۴
کود					
F_1(کود شیمیایی میزان عرف منطقه)	۵۰/۹۰۱ e	۳۳/۳۴۶ e	۱/۵۱۷ d	۰/۵۱۶ e	۲۲۸۶/۵۵۵ d
F_2 (ازتوباکتر + ۱۰۰ ٪ شاهد)	۵۵/۴۶۵ d	۴۲/۴۱۸ d	۱/۵۲۸ d	۰/۵۲۱ d	۲۷۶۶/۲ a
F_3(ازتوباکتر + ۵۰ ٪ شاهد)	۵۸/۶۶۵ b	۴۳/۱۶۸ b	۱/۵۸۸ b	۰/۵۵۲ b	۲۵۳۹/۲۵۹ b
F_4(فسفا باکتر + ۱۰۰٪ شاهد)	۵۷/۹۲۱ c	۴۰/۲۷۵ d	۱/۵۲۱ d	۰/۵۱۷ de	۲۷۸۲/۳۴۳ a
F_5(فسفا باکتر + ۵۰٪ شاهد)	۵۹/۱۰۲ b	۴۰/۱۷۴ d	۱/۵۵۳ c	۰/۵۳۹ c	۲۲۵۲ d
F_6 (ازتوباکتر+ فسفاباکتر+۱۰۰٪ شاهد)	۵۸/۰۷۱ c	۴۱/۸۵۲ c	۱/۵۷ bc	۰/۵۴۲ c	۲۸۱۶/۴۳۰ a
F_7 (ازتوباکتر+ فسفا باکتر+۵۰٪ شاهد)	۶۰/۴۴۹ a	۴۲/۷۹۴ ab	۱/۶۳۴ a	۰/۵۸۳ a	۲۴۲۰/۱۵۵ c
LSD5%	۱/۴۳۵	۱/۲۰۲	۰/۰۷۲۳۸	۰/۰۶۵۲۳	۱۳۶/۶

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندۀ عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی های فیزیولوژیک گندم تحت تاثیر برهمکنش تنش کم آبیاری و کود

تنش خشکی	کود	محتوای نسبی آب برگ RWC (درصد)	شاخص سبزینگی برگ SPAD	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
S1(شاهد - ۴۵٪)	F1(کود شیمیایی میزان عرف منطقه)	۵۷/۷۵۹ g	۳۴/۷۷ j	۱/۷۱۸ c	۳۳۹۰/۴۰۵ b
	F2 (ازتوباکتر + ۱۰۰ ٪ شاهد)	۶۴/۱۶۳ d	۴۵/۱۴ a	۱/۷۴ bc	۳۷۹۰/۲۴۱ a
	F3(ازتوباکتر + ۵۰ ٪ شاهد)	۶۹/۳۱۶ a	۴۴/۹۳ ab	۱/۸۰۹ ab	۳۱۶۵/۷۱۷ cd
	F4(فسفا باکتر + ۱۰۰٪ شاهد)	۶۳/۱۴۵ d	۴۱/۶۲ ef	۱/۷۷ bc	۳۷۸۵/۰۹۱ a
	F5(فسفا باکتر + ۵۰٪ شاهد)	۶۶/۸۱۲ b	۴۰/۶۲ fgh	۱/۷۸۹ b	۳۰۳۶/۲۸۰ d
	F6(ازتوباکتر+فسفاباکتر+۱۰۰٪ شاهد)	۶۵/۴۵۶ c	۴۲/۴۹ de	۱/۷۷۷ bc	۳۸۳۹/۶۱۵ a
	F7(ازتوباکتر+فسفاباکتر+۵۰٪ شاهد)	۶۸/۴۵۶ a	۴۳/۲۹ cd	۱/۸۶۹ a	۳۲۴۳/۸۰۷ c
S2(متوسط- ۶۵٪)	F1(کود شیمیایی میزان عرف منطقه)	۴۹/۳۲۴ j	۳۴/۳۶ j	۱/۵۵ de	۲۲۷۳/۲۲۰ i
	F2 (ازتوباکتر + ۱۰۰ ٪ شاهد)	۵۵/۲۲۵ h	۴۲/۴۹ de	۱/۵۲۸ de	۲۶۵۴/۳۷۳ ef
	F3(ازتوباکتر + ۵۰ ٪ شاهد)	۶۰/۱۵۰ f	۴۳/۵۶ cd	۱/۵۸۴ d	۲۵۲۸/۸۷۰ fg
	F4(فسفا باکتر + ۱۰۰٪ شاهد)	۵۹/۹۶۸ f	۴۰/۴۵ fgh	۱/۴۸۲ ef	۲۶۲۹/۸۱۷ ef
	F5(فسفا باکتر + ۵۰٪ شاهد)	۵۹/۶۸۴ f	۴۰/۹۲ fg	۱/۵۳۱ de	۲۳۶۹/۴۸۹ hi
	F6(ازتوباکتر+فسفاباکتر+۱۰۰٪ شاهد)	۵۹/۸۹۴ f	۴۲/۹۱ cd	۱/۵۳۶ de	۲۷۱۸/۴۷۸ e
	F7(ازتوباکتر+ فسفاباکتر +۵۰٪ شاهد)	۶۱/۶۲۲ bc	۴۳/۹۰ bc	۱/۵۷ d	۲۴۳۴/۰۸۱ gh
S3(شدید- ۸۵٪)	F_1(کود شیمیایی میزان عرف منطقه)	۴۵/۶۱۹ l	۳۰/۹۱ k	۱/۲۸۲ i	۱۱۹۶/۰۳۹ m
	F_2 (ازتوباکتر + ۱۰۰ ٪ شاهد)	۴۷/۰۰۷ k	۳۹/۶۲ hi	۱/۳۱۶ hi	۱۸۵۳/۹۸۷ j
	F_3(ازتوباکتر + ۵۰ ٪ شاهد)	۴۶/۵۲۸ kl	۴۱/۰۱ fg	۱/۳۷ gh	۱۹۲۳/۱۸۹ j
	F_4(فسفا باکتر + ۱۰۰٪ شاهد)	۵۰/۶۴۹ i	۳۸/۷۶ i	۱/۳۱۱ hi	۱۹۳۳/۱۱۸ j
	F_5(فسفا باکتر + ۵۰٪ شاهد)	۵۰/۸۶۴ i	۳۸/۹۸ i	۱/۳۴۱ ghi	۱۳۵۱/۲۵۹ l
	F_6(ازتوباکتر+فسفاباکتر+۱۰۰٪ شاهد)	۴۸/۸۶۲ j	۴۰/۱۶ gh	۱/۳۹۹ g	۱۸۹۱/۱۹۶ j
	F_7(ازتوباکتر+فسفاباکتر +۵۰٪ شاهد)	۵۱/۵۴۱ i	۴۱/۱۹ fg	۱/۴۶۲ f	۱۵۸۲/۵۷۸ k
	LSD5%	۱/۴۳۵	۱/۲۰۲	۰/۰۷۲۳۸	۱۳۶/۶

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندۀ عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

منابع:

۱. **افرا مهدی‌نیا ، ج.، نیکنژاد، ی.، فلاح، ه.، براری تاری، د.، ۱۳۹۹.** اثر منابع مختلف کودهای شیمیایی و آلی بر برخی مولفه های فیزیولوژیک ارقام مختلف برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۲(۴۵): ۲۵ ۴-۲۵.

۲. **سید شریفی، ر.، لطف اله، ف.، کمری، ح. ۱۳۹۴.** بررسی اثر مایه تلقیح ازتوباکتر، آزوسپریلوم و سودوموناس و محلولپاشی کود نیتروژنه بر کارایی مصرف کود و رشد تریتیکاله. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۴(۴): ۱۱۵-۱۳۲.

۳. **حسن پور، ج.، زند، ب. ۱۳۹۳.** نقش تلقیح بذر گندم (Triticum aestivum L.) با کودهای زیستی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی .علوم و تحقیقات بذر ایران. ۱(۲): ۱۲-۱.

4. **Woetzel J, Pinner D, Samandari H, Engel H, Krishnan M, Denis N, 2020.** Will the world' s breadbaskets become less reliable? McKinsey Global Institute.
5. **Lambrou Y, Nelson S. 2010.** Farmers in a changing climate. Food and Agriculture Organization of the United Nations.82.
6. **Sattar A, Wang X, Ul-Allah S, Sher A, Ijaz M, Irfan M, 2021.** Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat (Triticum aestivum L.) under water stress. Saudi Journal of Biological Sciences.
7. **Raimi A, Roopnarain A, Adeleke R. 2021.** Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. Scientific African.11: e00694.
8. **Ritchie SW, Nguyen HT, Holaday AS. 1990.** Leaf Water Content and Gas- Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. Crop Sci. 30(1):105–11.
9. **Arnon DI. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol.24(1):1–15.
10. **Lata C, Jha S, Dixit V, Sreenivasulu N, Prasad M. 2011.** Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars [Setaria italica (L.)]. Protoplasma. 248(4):817–28.
11. **Yadav S, Kanwar RS. 2021.** Effect of some fertilizers on hatching of cereal cysts nematode, Heterodera avenae. Saudi Journal of Biological Sciences.28(8):4442–5.
12. **Yadav T, Kumar A, Yadav RK, Yadav G, Kumar R, Kushwaha M. 2020.** Salicylic acid and thiourea mitigate the salinity and drought stress on physiological traits governing yield in pearl millet- wheat. Saudi Journal of Biological Sciences. 27(8):2010–7.
13. **Paknejad F,. MN,. HRTM, . HZ, . MJA. 2007.** Effects of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Chlorophyll Content and Grain Yield of Wheat Cultivars. J of Biological Sciences. 7(6):841–7.
14. **Sloane RJ, Patterson RP, Carter TE. 1990.** Field Drought Tolerance of a Soybean Plant Introduction. Crop Sci. 30(1):118–23.
15. **Mansouri-Far C, Modarres Sanavy SAM, Saberali SF. 2010.** Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. Agricultural Water Management. 97(1):12–22.
16. **Sakpirom J, Nunkaew T, Khan E, Kantachote D. 2021.** Optimization of carriers and packaging for effective biofertilizers to enhance Oryza sativa L. growth in paddy soil. Rhizosphere. 19:100383.
17. **Sattar A, Naveed M, Ali M, Zahir ZA, Nadeem SM, Yaseen M, 2019.** Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. Applied Soil Ecology. 133:146–59.
18. **Zou YN, Wu QS. 2011.** Efficiencies of Five Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Alleviating Salt Stress of Trifoliate Orange. Int J Agric Biol. 13(6):5.
19. **Suliman KH, Barakah FN, Assaeed AM. 2021.** Isolation and Identification of Azospirillium zeae from Acacia tortilis at Riyadh, Saudi Arabia. 21;9.

20. **Ghosh PK. 2004.** Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research. 88(2-3):227–37.
21. **Chaves MM. 2002.** How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. Annals of Botany. 89(7):907–16.
22. **Shubhra B, Dayal J, Goswami CL, Munjal R. 2004.** Influence of Phosphorus Application on Water Relations, Biochemical Parameters and Gum Content in Cluster Bean Under Water Deficit. Biologia Plantarum. 48:445–8.
23. **Yang X, Yang R, Ye Y, Yuan Z, Wang D, Hua K. 2021.** Winter wheat SPAD estimation from UAV hyperspectral data using cluster-regression methods. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 105:102618.
24. **Egamberdiyeva D. 2005.** Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: biochemical characterization and effectiveness. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 168(1):94–9.
25. **Bhandari AK, Kumar A, Singh GK. 2012.** Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. Procedia Technology. 6(Complete):612–21.
26. **Jiang Y, Huang B. 2001.** Drought and Heat Stress Injury to Two Cool- Season Turfgrasses in Relation to Antioxidant Metabolism and Lipid Peroxidation. Crop Sci. 41(2):436–42.
27. **Zaidi A, Khan MS, Mohsenzadeh S, Malboobi MA, Razavi K, Farrahi-Aschtiani S, 2007.** The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. Soil Biology and Biochemistry. 6(3):209–12.
28. **Naveed M, Mitter B, Reichenauer TG, Wieczorek K, Sessitsch A. 2014.** Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by Burkholderia phytofirmans PsJN and Enterobacter sp. FD17. Environmental and Experimental Botany. 97:30–9.
29. **Jahan N, Islam MA, Alam F, Gan SH, Khalil MI. 2015.** Prolonged heating of honey increases its antioxidant potential but decreases its antimicrobial activity. African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines. 12(4):134–44.
30. **Pereira SIA, Abreu D, Moreira H, Vega A, Castro PML. 2020.** Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (Zea mays L.) under water deficit conditions. Heliyon. 6(10):e05106.
31. **Harborne J. 2009.** Plant Secondary Metabolism. In: Phytochemistry. p. 132–55.
32. **Balaguer, L., Pugnaire, F.I., Martínez-Ferri, E. 2002.** Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in Stipa tenacissima L. Plant and Soil 240, 343–352. https://doi.org/10.1023/A:1015745118689
33. **Kumar A, Singh VK, Tripathi V, Singh PP, Singh AK. 2018.** Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Perspective in Agriculture Under Biotic and Abiotic Stress. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Crop Improvement through Microbial Biotechnology. 333–42.
34. **Ahmed HGMD, Zeng Y, Yang X, Anwaar HA, Mansha MZ, Hanif ChMS, 2020.** Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho-physiological and

chlorophyll indices at seedling stage. Saudi Journal of Biological Sciences. 27(8):2116–23.

35. **Kanitkar S, Raut VM, Kulkarni M, Vyas AK, Das A, Kadam M. 2020.** The Use of Vitormone (Azotobacter chroococcum) A Liquid Bio-Fertilizer Along with Chemical Fertilizer on Crop Growth and Yield of Wheat (Triticum aestivum L). IJRASB. 7(5):80–8.
36. **Shata MT, Barrett A, Shire NJ, Abdelwahab SF, Sobhy M, Daef E, 2007.** Characterization of hepatitis E-specific cell-mediated immune response using IFN-γ ELISPOT assay. Journal of Immunological Methods. 328(1):152–61.
37. **Byrd SA, Rowland DL, Bennett J, Zotarelli L, Wright D, Alva A, 2014.** Reductions in a Commercial Potato Irrigation Schedule during Tuber Bulking in Florida: Physiological, Yield, and Quality Effects. Journal of Crop Improvement. 28(5):660–79.
38. **Ribas-Carbo M, Taylor NL, Giles L, Busquets S, Finnegan PM, Day DA, 2005.** Effects of water stress on respiration in soybean leaves. Plant physiology. 139(1):466–73.
39. **Abid M, Tian Z, Ata-Ul-Karim ST, Liu Y, Cui Y, Zahoor R, 2016.** Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and -sensitive wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry. 106:218–27.
40. **Sarwar N, Atique-ur-Rehman, Farooq O, Wasaya A, Hussain M, El-Shehawi AM, 2021.** Integrated nitrogen management improves productivity and economic returns of wheat-maize cropping system. Journal of King Saud University - Science. 33(5):101475.

۴۱. **Foroud T, Wetherill LF, Kramer J, Tischfield JA, Nurnberger Jr JI, Schuckit MA, 2008.** The tachykinin receptor 3 is associated with alcohol and cocaine dependence. Alcoholism, clinical and experimental research. 32(6):1023–30.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 12, Issue 2, autumn and winter 2022

Improving the water use efficiency, greenness index, and wheat grain yield under various irrigation regions using biofertilizer

Abolghasem Moradgholi[1], Hamidreza Mobasser[2, *], Hamidreza Ganjali[3], Hamidreza Fanaei[3], Ahmad Mehraban[4]

1.. Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agriculture. Zahedan Branch, Islamic Azad University. Zahedan. Iran.

2. Assistant Prof., Department of Agriculture. Zahedan Branch, Islamic Azad University. Zahedan. Iran.

3. Associate Prof., Horticulture-Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran.

4. Associate Prof., Department of Agriculture. Zahedan Branch, Islamic Azad University. Zahedan. Iran.

*** Corresponding Author, Email**: mobasser.hr@gmail.com

(Received: 18 October 2022; Accepted: 6 December 2022)

Abstract:

Drought is one of the most important nonliving stresses affecting the growth of plants, thereby limiting the agricultural yield of the plant. Measures including presenting information for improving the drought risk management, improving planning for more effective reaction to drought, investment on disaster risk reduction (DRR), and presenting an environment for minimizing the general risks lead to enhanced endurance, as well as prevention or reduction of future drought risks along with maintaining livelihoods. This research was performed in two agricultural years as split court experiments in the form of fully randomized block with four replications. Various conditions of soil humidity were considered as the main treatment at three along with the treatment of biofertilizers at seven levels, considered as secondary treatments. The study results indicated that various humidity conditions of the leaf relative water content (RWC), the greenness index of leaves (SPAD), chlorophyll a and b, as well as the grain yield became significant. With increase in the severity of stress, their values decreased suggesting their sensitivity to changes in the status of soil water and the leaf water potential. Usage of azotobacter and Phosphobacteria biofertilizers resulted in significant elevation of SPAD, RWC, chlorophyll a and b, as well as grain yield compared to the nonuse of bio fertilizers. The effects of combined use of microorganisms led to compensation of the water stress damages. Generally, considering water deficit conditions and temperature elevation resulting from climate change, use of microorganisms as seed priming can considerably reduce these risks.

Keywords: **Azotobacter, Bread Wheat,Chlorophyll a and b, Phosphobacteria, SPAD Water Deficit Stress.**