فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۵۵-۷۰
https://doi.org/10.22034/13.63.55

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی و کودهای زیستی مایکوریزا، ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم گندم آبی

مهدی رشنو[۱]، فرشید عارف[۱]، بهرام امیری[۲*]، مسعود رفیعی[۳] و مهدی زارع[۱]

[۱] گروه زراعت، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

[۲] گروه کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

[۳] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کودهای زیستی مایکوریزا، ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم گندم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت – فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان پلدختر به اجرا در آمد. تنش خشکی در کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه بود. کرت های فرعی به صورت فاکتوریل شامل عامل کود زیستی در چهار سطح شاهد (بدون کود)، تلقیح میکوریزا، تلقیح میکوریزا+ ازتوباکتر و تلقیح میکوریزا و آزسپیریلوم و عامل رقم شامل دو رقم چمران و بهرنگ بود. تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش بیشتر غلظت کلروفیل و محتوی اغلب عناصر شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس و منگنز در اندام هوایی و دانه شد، اما غلظت پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش بیشتری داد. محتوی اغلب عناصر در اندام هوایی و دانه، غلظت پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم چمران بیشتر از بهرنگ بود. کاربرد همزمان میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد نسبت به تیمار شاهد، محتوی اغلب عناصر در اندام هوایی و دانه را افزایش داد؛ اما غلظت پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کاهش داد. اثرات متقابل نشان‌دهنده از واکنش متفاوت ارقام به سطوح کود زیستی در تیمارهای مختلف تنش خشکی بود. در مجموع رقم چمران با کاربرد تلفیق میکوریزا با ازتوباکتر و یا آزسپیریلوم قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: عناصر غذایی، پرولین، آنتی‌اکسیدان، رقم چمران، رقم بهرنگ

مقدمه

تنش خشکی عامل اجتناب‌ناپذیری است که در محیط‌های مختلف، بدون مرز مشخص و عدم هشدار واضح وجود دارد و روی تولید، کیفیت، و انرژی زیست‌توده گیاهی تأثیر می‌گذارد (Al-Suhaibani *et al.*, 2021) و بحران آن در کشور جدی است. تنش خشکی را می‌توان به‌صورت فقدان آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف نمود (Moosavi *et al.*, 2011; Jabereldar *et al.*, 2017) که با

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: bahamiri@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

اثر بر فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک؛ روی رشد و نمو تأثیر داشت (Dong *et al.*, 2019). گیاهان عموماً دارای سازوکارهای مختلفی همچون دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی برای مقابله با تنش خشکی بوده و از طریق القای انواعی از پاسخ‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک به تنش خشکی سازگار شدند (Daryanto *et al.*, 2020). تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲) و در نتیجه موجب نشت الکترولیت در سلول‌ها می‌شوند. با کاهش رطوبت خاک، غلظت پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (گلدانی، ۱۳۹۱؛ Cha-um and Kirdmanee, 2009).

با کاهش رطوبت خاک، غلظت پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد (بهرامی چگنی و همکاران، ۱۳۹۲؛ گلدانی، ۱۳۹۱). تجمع پرولین و قندهای محلول به عنوان یک مکانیسم دفاعی در تنظیم اسمزی گیاهان اهمیت دارند (بهرامی چگنی و همکاران، ۱۳۹۲). در گندم (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۱) و نخود (ذاکری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴) گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین شد.

امروزه برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار و حذف اثرات مخرب بر محیط‌زیست کودهای شیمیایی، توجه ویژه‌ای به کاربرد کودهای آلی و زیستی شده است (Musyoka *et al.*, 2017). در آزمایشی مشخص شد که کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی نقش بیشتری در بهبود ویژگی‌های رویشی، بیوشیمیایی و عملکرد روکولا (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa* Mill.) داشته و بیشترین عملکرد اقتصادی برگ با کاربرد کمپوست به‌دست آمد (Kawa *et al.*, 2020).

با کاهش رطوبت خاک ناشی از تنش خشکی، قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی برای گیاهان محدود می‌شود که این موضوع کاهش عملکرد از طریق کاهش فتوسنتز و تولید مواد پرورده را به دنبال خواهد داشت (Dalal and Tripathy, 2018). بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌کارهای اصلی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطرح باشد (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Yang *et al.*, 2021). از طرف دیگر تغذیه گیاهی از طریق تعدیل پاسخ‌های بیوشیمیایی و متابولیکی باعث افزایش و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان می‌شود (Deng *et al.*, 2019).

Mirjalili و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی و معدنی از طریق بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز باعث بهبود تحمل گیاهان به کم آبی می‌شود. کاربرد ورمی‌کمپوست و کود گاوی در جلوگیری از کاهش نسبت کلروفیل a/b در شرایط کم آبیاری شدید در مقایسه با کود اوره مؤثرتر گزارش شده است (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۲). پذیره و همکاران (۱۴۰۲) دریافتند که در شرایط تنش، غلظت عناصر با عملکرد دانه گندم دارای همبستگی منفی بود، اما این در حالی بود که با آبیاری نرمال تنها عناصر میکرو همبستگی منفی نشان دادند و پاسخ متفاوتی میان ژنوتیپ‌های گندم از نظر غلظت عناصر در دو محیط تنش و نرمال مشاهده شد.

رویکرد جهانی در تولید محصولات کشاورزی به سمت تولید و به‌کارگیری کودهای زیستی در اکثر بوم نظام‌های زراعی است (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). کودهای زیستی تشکیل‌شده از باکتری‌ها و یا قارچ‌های مفیدی هستند که به‌طور معمول در اطراف ریشه گیاهان مستقرشده و گیاه را در جذب بهینه عناصر غذایی مورد حمایت قرار می‌دهند. این ریز جانداران می‌توانند از طریق روش‌های مختلفی همچون تثبیت زیستی نیتروژن، انحلال و قابل جذب نمودن فسفات، رهاسازی یون پتاسیم، تأمین آهن و دیگر عناصر غذایی مفید به بهبود تغذیه گیاه کمک نموده و علاوه بر آن با کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و سایر اثرات مفید، تحریک رشد گیاه را به دنبال دارند (Wu *et al.*, 2005). ازجمله این ریز جانداران مفید خاک‌زی می‌توان به گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

آربسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌ویژه ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) اشاره نمود (Lekberg *et al.*, 2013). ازتوباکتر یک باکتری آزادزی و آزوسپیریلوم یک باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن هوا است. غلظت نیتروژن تثبیت‌شده به وسیله این باکتری‌ها ۷۰ – ۲۰ کیلوگرم در هر هکتار در سال است که برای تثبیت نیتروژن نیاز به وجود غلظت زیادی ماده آلی دارند. استفاده از این باکتری برای غلاتی مانند گندم، ذرت، سورگوم، ارزن و برنج توصیه شده است (خسروی، ۱۳۹۳).

این پژوهش با هدف بررسی اثر هم‌افزای کاربرد همزمان کودهای زیستی و زئولیت بر ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان پلدختر به اجرا در آمد. تنش خشکی در کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه بود. کرت‌های فرعی به صورت فاکتوریل شامل عامل کود زیستی در چهار سطح شاهد (بدون کود)، تلقیح میکوریزا، تلقیح میکوریزا و ازتوباکتر و تلقیح میکوریزا و آزسپیریلوم و عامل رقم شامل دو رقم چمران و بهرنگ بود.

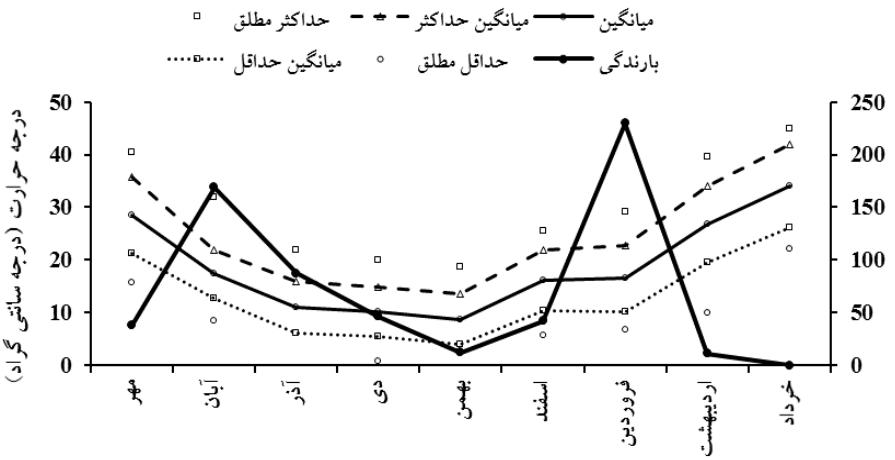
شهرستان پلدختر دارای عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه و ۷۱۳ متر ارتفاع از سطح دریا با اقلیم نیمه‌خشک است. متوسط درجه حرارت روزانه در گرمترین ماه سال یعنی مرداد ماه و در سردترین ماه سال یعنی دی ماه به ترتیب ۴۳/۷ و ۵/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. مشخصات هواشناسی محل آزمایش بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی پلدختر در شکل ۱ ارائه شده است.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده‌شده در آزمایش به ترتیب در جدول ۱ آمده است.

کاشت بذور گندم در ۲۲ آبان ماه انجام گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) کودهای سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت یکنواخت پاشیده شد و به وسیله دیسک سبک مخلوط گردید. قبل از انجام کشت در تیمارهای کودی، ۱۰۰ گرم کود مایکوریزا در هر مترمربع زمین به صورت خاک کاربرد در شیار ایجادشده بر روی پشته‌ها و در زیر بذر قرار گرفت. مایه تلقیح میکوریزایی گونه‌ای قارچ میکوریزا آربسکولار بود که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب در بسته‌های ۱۰ کیلویی تهیه شد. مایع تلقیح قارچ گلوموس موسه (*Glomus mossea*) شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی با تراکم ۱۲۰ عدد اسپور فعال در گرم بود. کودهای زیستی که شامل ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپیریلوم (*Azospirillum lipoferum*) از نوع گرم منفی بودند، نیز به صورت بذرمال استفاده شد. کود ازتوباکتر به میزان ۲۵۰ گرم برای ۱۰۰ کیلوگرم بذر مخلوط شد. بدین منظور در ابتدا بذرها خیس خوردند و به‌منظور چسبندگی بیشتر غلظتی شکر با بذرها مخلوط شد و سپس ازتوباکتر با بذرها به‌صورت دستی در محل سایه مخلوط گردید. آزوسپیریلوم نیز به میزان یک لیتر برای بذرمال کردن ۱۰۰ کیلوگرم بذر در محل سایه استفاده شد. حدود ۱۰۸ سلول زنده از هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی‌لیتر از کودهای به‌کار برده شده وجود داشت. بذور تیمارشده با باکتری بلافاصله به‌صورت خیس کشت شدند. بقیه کود اوره در دو مرحله (هر بار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فقط در تیمار شاهد استفاده شد.

هر کرت در بر گیرنده شش خط کاشت ۶ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم بذر ۲۵۰ بذر در مترمربع بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر، کرت‌های فرعی ۱ متر و بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی مطابق معمول منطقه انجام پذیرفت. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش گرانستار و تاپیک در مرحله پنجه‌زنی گندم (۲ تا ۴ برگی علف‌های هرز) استفاده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]



شکل ۱- آمار هواشناسی سال زراعی ۵-۱۳۹۴ (منبع: ایستگاه هواشناسی پلدختر)

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
	(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
لوم رسی	۱/۲۲	۰/۱۱	۱۱	۲۵۰	۱۱/۳	۷/۱۲	۱/۱۳	۱/۵۴

یک هفته پس از اعمال تنش خشکی نمونه‌هایی از برگ‌های پرچم از هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و سنجش غلظت عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس و منگنز (Ryan *et al.*, 2007) و آنزیم پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992) و پرولین (Bates *et al.*, 1973) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استخراج‌شده برای هر تیمار به جای ۵۰ میکرولیتر بافر Tris_HCL به کووت اضافه و در مدت ۶۰ ثانیه فعالیت پراکسیداز بر حسب یونیت بر گرم وزن تر در یک دقیقه ترسیم شد. برای سنجش محتوی پرولین برگ نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی همزمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفتند و جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. در زمان برداشت نیز نمونه‌هایی از دانه هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل و غلظت عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس و منگنز (Ryan *et al.*, 2007) و غلظت کربوهیدرات‌ها (Kochert, 1978) و پروتئین (Kjeldal, 1998) در دانه اندازه‌گیری شد. برای سنجش کربوهیدرات‌ها، ابتدا ۰/۲ گرم نمونه در ۳ میلی‌لیتر آب‌مقطر عصاره‌گیری شد و پس از عبور از صافی، به ۵۰ میکرولیتر از همگن صاف‌شده، ۰/۵ میلی‌لیتر فنول ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر اسید سولفوریک ۹۸٪ اضافه شد. جذب استانداردها به همراه جذب نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار کل قندهای محلول، بر مبنای میلی‌گرم بر گرم وزن تازه نمونه تعیین گردید. برای تهیه عصاره پروتئینی، ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار که حاوی پلی‌وینیل پیرولیدین ۱ درصد و EDTA ۱ میلی‌مولار بود ساییده و سپس سانتریفیوژ شد. برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی افزوده و سریعاً ورتکس شد و پس از ۲۵ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

منحنی استاندارد آلبومین محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

اسیدآمینه پرولین و آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، رقم و کود زیستی و اثر متقابل تنش خشکی در کود زیستی و رقم در کود زیستی بر غلظت غلظت پرولین و اثر تنش خشکی و کود زیستی و اثر متقابل رقم در کود زیستی بر غلظت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در کود زیستی گویای آن بود که بیشترین غلظت پرولین از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و عدم کاربرد کود به میزان ۷/۰ میلی‌گرم بر گرم و کمترین آن از شرایط نرمال آبیاری و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم به میزان ۵/۳۴ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه عامل‌های رقم در کود نشان داد که بیشترین غلظت پرولین از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود (۷/۰۵ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۵/۲۳ میلی‌گرم بر گرم) حاصل شد، اما بیشترین غلظت آنزیم پراکسیداز از رقم چمران و عدم کاربرد کود (۱۵۲/۳ میکروگرم پروتئین بر دقیقه) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۱۳۲/۴ میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بدست آمد (جدول ۶).

ملاحظه می‌شود که غلظت پرولین در هر دو شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و گلدهی افزایش یافت، اما غلظت آنزیم پراکسیداز تنها در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی افزایش معنی‌دار داشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی شدیدتر (قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی) هر دو مکانیسم تنظیم اسمزی از طریق افزایش پرولین و دفاع آنتی‌اکسیدانی از طریق افزایش آنزیم پراکسیداز فعال گردیده است، اما در شرایط تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) تنها مکانیسم تنظیم اسمزی از طریق افزایش پرولین عمل نموده است. تنظیم اسمزی یک فرآیند فیزیولوژیک است که در طی آن گیاه با انباشت یک‌سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول‌ها، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش را کاهش می‌دهد تا فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب باقی بماند (بهرامی چگنی و همکاران، ۱۳۹۲). پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارد (Daryanto *et al.*, 2020). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین در شرایط تنش خشکی پیش از این گزارش شده است (Khalilzadeh *et al.*, 2016). اختلاف میان ارقام ناشی از اثر ژنتیک است (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲) و به‌نظر می‌رسد که رقم چمران از قدرت تنظیم اسمزی بالاتری برخوردار باشد. همچنین، نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که تلفیق توأم کودهای زیستی با تعدیل شدت تنش خشکی، شرایط مناسب‌تری برای رشد گیاه فراهم نموده (Kawa *et al.*, 2020) و نیاز به بکارگیری مکانیسم‌های تنظیم اسمزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی را کاهش داده است.

عناصر ضروری در اندام هوایی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی و کود زیستی و همچنین اثرات متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم، تنش خشکی در کود زیستی و رقم در کود زیستی بر نیتروژن اندام هوایی معنی‌دار بود. غلظت فسفر، پتاسیم، مس و منگنز اندام هوایی تحت تأثیر تنش خشکی، رقم، کود زیستی (بجز اثر کود زیستی بر مس اندام هوایی)؛ برخی اثرات متقابل دو گانه و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در رقم در کود زیستی قرار گرفتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در کود زیستی گویای آن بود که بیشترین نیتروژن اندام هوایی از شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۲/۵۵ درصد) و کمترین آن از قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عدم کاربرد کود زیستی (۱/۴۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پرولین	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	منگنز
تکرار	۲	۰/۰۷۰	۴/۱۵۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۲۱۶	۰/۰۱۱	۲/۵۴۴۸	۶/۶۸۲
تنش خشکی	۲	۰/۳۰۱**	۱۰۲/۵**	۰/۵۴۳**	۰/۰۱۵**	۰/۰۵۳۵**	۷/۳۱**	۴۸/۷**
خطای ۱	۴	۰/۰۲۸	۲۱/۵۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۳	۰/۷۲۲۸	۱۵/۱۷۲
رقم	۱	۰/۷۲۵**	۴۰/۱۷۰	۰/۰۲۴۲	۰/۰۴۱**	۰/۰۰۱	۲۴/۰**	۵۹/۷**
کود زیستی	۳	۷/۶۷۰**	۹۹۷/۱**	۱/۱۶۸**	۰/۰۴۴**	۰/۰۸۵۷**	۱/۱۰۶	۴۶/۸**
تنش خشکی× رقم	۲	۰/۱۳۰	۲۴/۹۳۲	۰/۰۸۷**	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۵۹۱**	۴/۷۲*	۶۴/۲**
تنش خشکی× کود زیستی	۶	۰/۱۵۶**	۲۸/۷۳۳	۰/۰۳۷۳**	۰/۰۰۱۸**	۰/۰۴۳۹**	۲/۹۴۰	۳۸/۱**
رقم ×کود زیستی	۳	۰/۵۸۷**	۴۴/۶*	۰/۱۶۰**	۰/۰۴۳۵**	۱/۱۸۱**	۹/۹۳**	۴۷/۸**
تنش خشکی×رقم×کود زیستی	۶	۰/۰۵۲	۵/۱۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۴۵**	۰/۰۲۷**	۵/۰۳**	۲۷/۱**
خطای۲	۴۲	۰/۰۴۱	۱۲/۴۸۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶۲	۱/۳۰۵	۸/۱۹۲
ضریب تغییرات	(٪)	۳/۲۳۹	۲/۴۹	۵/۶۱	۳/۷۱	۴/۰۲	۴//۳۴	۳/۳۱

*** و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		نیتروژن دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	مس دانه	منگنز دانه	کربوهیدرات دانه	پروتئین دانه
تکرار	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۲	۱۱/۳۷۵	۱۳/۳۴۷	۰/۱۱۶
تنش خشکی	۲	۰/۰۸۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۳۷	۵/۳۷۵	۱۱/۲۶۳	۲/۶۵**
خطای ۱	۴	۰/۰۲۶**	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۲۹	۱۴/۸۱۲۵	۹/۶۳۸	۰/۸۱۸
رقم	۱	۰/۶۹۴**	۰/۱۱۸**	۰/۰۰۱**	۰/۷۸۱**	۱۱۲/۵**	۲۳/۳۴۷	۰/۰۰۰۲
کود زیستی	۳	۰/۳۷۴**	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۱۲**	۰/۴۸۸**	۱۱۵/۴**	۳۲۰/۵**	۱۱/۷۱**
تنش خشکی × رقم	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۰۲	۰/۱۵۰*	۰/۰۴۱	۲۲/۰۹۷	۰/۰۶۲
تنش خشکی × کود زیستی	۶	۰/۰۳۴**	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۳	۶/۱۱۵	۲۹/۷۶۳	۱/۰۹۵**
رقم × کود زیستی	۳	۰/۰۴۶**	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۹*	۰/۰۶۳	۱/۴۸۱	۴۰/۰۸*	۱/۶۸۵**
تنش خشکی×رقم×کود زیستی	۶	۰/۰۲۴**	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۳	۰/۱۰۳*	۲/۷۴۵	۶۶/۱۱**	۰/۷۸۴**
خطای ۲	۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۲	۹/۰۷۹	۱۲/۸۵۹	۰/۱۳۱
ضریب تغییرات	(٪)	۳/۲۳	۶/۲۹۵	۳/۱۸	۲/۷۲۵	۷/۳۰۴	۴/۹۰۰	۳/۱۷

*** و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

درصد) حاصل شد، اما اثرمتقابل دو گانه رقم در کود زیستی گویای آن بود که بیشترین نیتروژن اندام هوایی از رقم چمران و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۲/۴۰ درصد) و کمترین آن از رقم چمران و عدم کاربرد کود (۱/۶۸ درصد) بدست آمد (جدول ۵).

این نتایج نشان داد که جذب نیتروژن توسط گیاه در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه از یک‌سو، و در رقم چمران از سوی دیگر، واکنش شدیدی به کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (خسروی، ۱۳۹۳؛ Musyoka *et al.*, 2017) به‌ویژه در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی گندم

	تیمارها	پرولین (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
				(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
تنش خشکی	آبیاری کامل	۶/۱۴۶^{b}	۱۳۹/۴۷^{c}	۲/۲۰۵^{a}	۰/۳۵۱^{a}	۲/۰۲۵^{a}	۲۶/۷۷^{a}	۸۷/۱^{a}
	آبیاری تا سنبله دهی	۶/۳۶۹ ^{a}	۱۴۳/۵۷^{a}	۱/۹۰۵^{c}	۰/۳۰۲^{c}	۱/۹۴۱^{b}	۲۵/۶۹^{b}	۸۷/۰^{a}
	آبیاری تا پر شدن دانه	۶/۲۷۲^{a}	۱۴۱/۰۲^{b}	۲/۰۷۵^{b}	۰/۳۴۱^{b}	۱/۹۴۵^{b}	۲۶/۴۳^{a}	۸۴/۶^{b}
	LSD (5%)	۰/۱۱۸۲	۲/۰۵۸	۰/۰۶۷۴	۰/۰۰۷۲	۰/۰۴۶۲	۰/۶۶۵۶	۱/۶۶۸
رقم	چمران	۶/۳۶۳^{a}	۱۴۲/۱۰	۲/۰۴	۰/۳۵۵^{a}	۱/۹۸	۲۶/۸۸^{a}	۸۷/۱۵^{a}
	بهرنگ	۶/۱۶۲^{b}	۱۴۰/۶۱	۲/۰۸	۰/۳۰۷^{b}	۱/۹۷	۲۵/۷۲^{b}	۸۵/۳^{b}
کود زیستی	شاهد	۶/۸۹۳^{a}	۱۴۹/۸^{a}	۱/۷۲۴^{d}	۰/۳۱۹^{b}	۱/۹۲۳^{b}	۲۶/۱۱	۸۵/۹۵^{ab}
	میکوریزا	۶/۶۶۲^{b}	۱۴۴/۲^{b}	۲/۰۲۴^{c}	۰/۲۹۴^{d}	۱/۹۴۳^{b}	۲۶/۳۴	۸۴/۰۸^{b}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۶/۰۵۶^{c}	۱۳۸/۸^{c}	۲/۳۱۷^{a}	۰/۳۰۸^{c}	۱/۹۴۱^{b}	۲۶/۱۲	۸۷/۲۴^{a}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۵/۴۳۸^{d}	۱۳۲/۴^{d}	۲/۱۸۰^{b}	۰/۴۰۴^{a}	۲/۰۷۳^{a}	۲۶/۶۴	۷۸/۶۸^{a}
	LSD (5%)	۰/۱۳۷	۲/۳۷۷	۰/۰۷۸	۰/۰۰۸۳	۰/۰۵۳۳		۱/۹۲۵

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی دانه گندم

	تیمارها	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	کربوهیدرات	پروتئین
		(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		(درصد)	
تنش خشکی	آبیاری کامل	۲/۱۱۷^{a}	۰/۴۰۱^{a}	۰/۴۹۶	۷/۵۸	۴۱/۷۹	۷۳/۹۶	۱۲/۲۸^{a}
	آبیاری تا سنبله دهی	۲/۰۰۱^{b}	۰/۳۷۵^{b}	۰/۴۹۳	۷/۵۰	۴۰/۹۲	۷۲/۶۷	۱۱/۶۱^{b}
	آبیاری تا پر شدن دانه	۲/۰۸۴^{b}	۰/۳۹۶^{a}	۰/۴۹۳	۷/۵۱	۴۱/۰۴	۷۲/۹۲	۱۲/۰۹^{a}
	LSD (5%)	۰/۰۳۸۹	۰/۰۱۴					۰/۲۲۶
رقم	چمران	۲/۱۶۶^{a}	۰/۳۵۰^{b}	۰/۴۹۹^{a}	۷/۴۲۵^{b}	۴۰^{b}	۷۳/۷۵	۵۶/۱۲^{a}
	بهرنگ	۱/۹۷^{b}	۰/۴۳۱^{a}	۰/۴۸۸^{b}	۷/۶۳۳^{a}	۴۲/۵^{a}	۷۲/۶۱	۴۲/۱۱^{b}
کود زیستی	شاهد	۱/۹۲۰^{d}	۰/۳۹۱	۰/۴۵۷^{c}	۷/۲۸۳^{b}	۳۸/۸۰^{b}	۷۷/۰^{a}	۱۱/۱۳^{d}
	میکوریزا	۱/۹۸۴^{c}	۰/۳۸۹	۰/۵۰۳^{b}	۷/۶۱۶^{a}	۴۰/۶۹^{b}	۷۵/۶۶^{a}	۱۱/۵۱^{c}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۲/۱۲۶^{b}	۰/۳۹۰	۰/۴۹۳^{b}	۷/۵۸۸^{a}	۴۴/۸۰^{a}	۷۲/۵۵^{b}	۱۲/۳۳^{b}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۲/۲۴۱^{a}	۰/۳۹۴	۰/۵۲۱^{a}	۷/۶۲۷^{a}	۴۰/۶۹^{b}	۶۷/۵۰^{c}	۱۲/۹۹^{a}
	LSD (5%)	۰/۰۴۵		۰/۰۱۰۶	۰/۱۳۸	۲/۰۲۷	۲/۱۴۲	۰/۲۶۱

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

شرایط تنش خشکی (Dalal and Tripathy, 2018; Yang *et al.*, 2021) و بسته به رقم (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲)، نقش مؤثری در افزایش جذب نیتروژن اندام هوایی دارد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه عامل‌های تنش خشکی در رقم در کود زیستی به‌روش برش‌دهی برای تنش خشکی خشکی نشان داد که در شرایط نرمال آبیاری، بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۰/۵۰ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۰/۲۵۸ درصد)، بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

آزسپیریلوم به‌ترتیب (۲/۳ و ۰/۲۵۸ درصد)؛ بیشترین مس اندام هوایی از رقم چمران و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۲۸/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۲۳/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ بیشترین غلظت منگنز اندام هوایی از رقم چمران و عدم کاربرد کود زیستی (۸۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۸۴/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد (شکل ۲).

در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌رفتن، بیشترین فسفر اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۰/۴۰۸ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (۰/۲۲۸ درصد)؛ بیشترین و کمترین پتاسیم اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (به‌ترتیب ۲/۵۶ و ۱/۶۱ درصد)؛ بیشترین مس اندام هوایی از رقم چمران و عدم کاربرد کود زیستی (۲۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (۲۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ و بیشترین منگنز اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۸۹/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۸۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل ۲).

در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۰/۴۵۲ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۰/۲۴۴ درصد)؛ بیشترین غلظت پتاسیم اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم به میزان ۲/۳۶ درصد و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۱/۷۵ درصد)؛ بیشترین غلظت مس اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۲۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۲۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ بیشترین غلظت منگنز اندام هوایی از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۸۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۷۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد (شکل ۲).

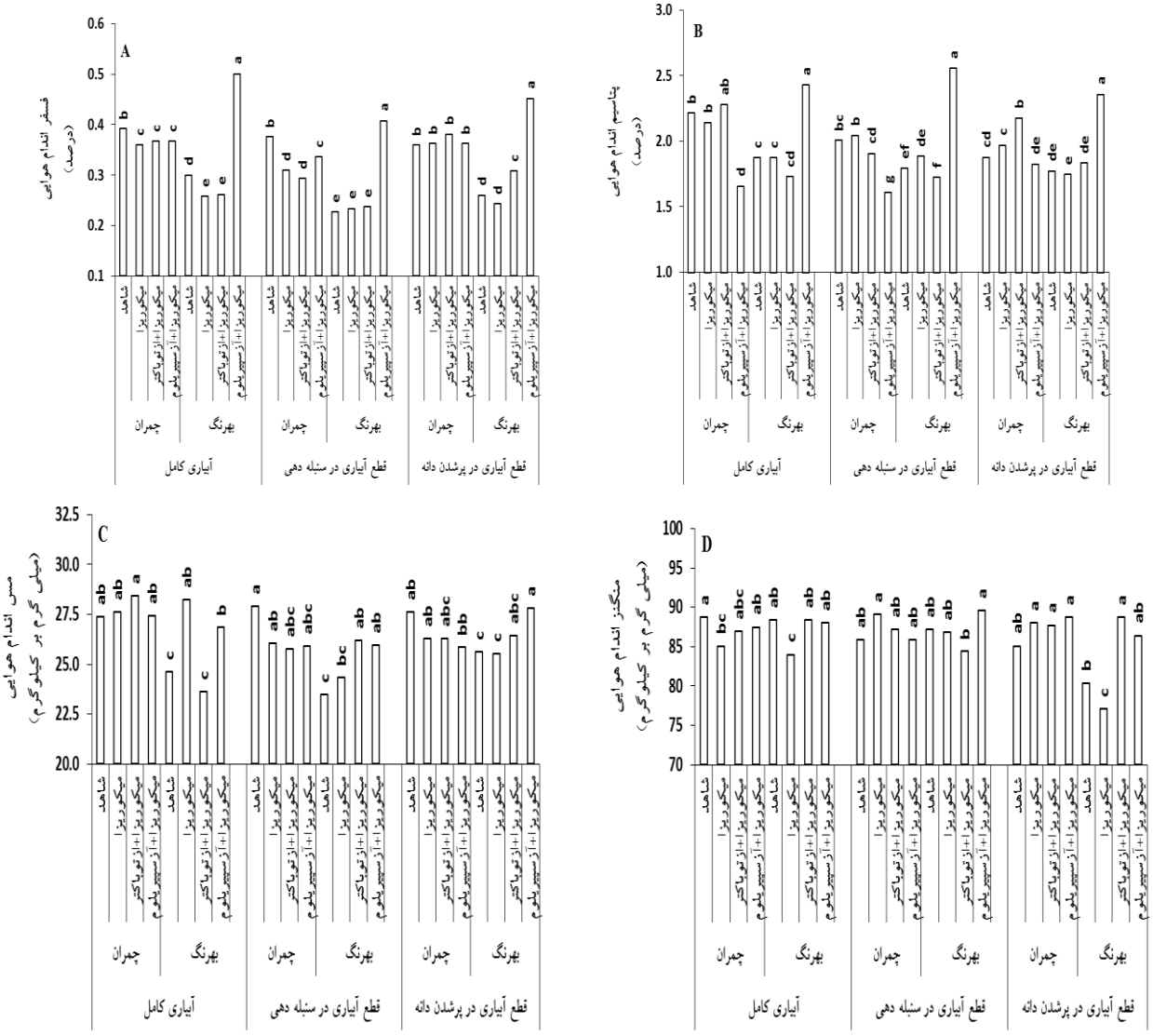
ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم، مس و منگنز اندام هوایی در شرایط نرمال آبیاری به‌دست آمد و رقم چمران برتری معنی‌داری از نظر فسفر، مس و منگنز نسبت به رقم بهرنگ در اندام هوایی داشت. اگر چه غلظت عناصر ضروری اندام هوایی در شرایط تنش خشکی، به‌ویژه با افزایش طول دوره تنش خشکی (تیمار قطع آبیاری در مرحله پر سنبله‌دهی) کاهش نشان داد (Dalal and Tripathy, 2018; Yang *et al.*, 2021) و بین دو رقم به‌دلیل اثر ژنتیک (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲) تفاوت مشاهده شد، اما تلفیق کودهای زیستی هم در شرایط تنش خشکی و هم در میان دو رقم اثر هم‌افزا در جذب عناصر بسته به نوع عنصر داشت (Musyoka *et al.*, 2017)، به‌طوری‌که تلفیق میکوریزا و آزوسپریلیوم بیشترین مقدار فسفر، پتاسیم و منگنز در اندام هوایی را نشان داد. البته اثرات رقابتی یا هم‌افزایی عناصر نیز در کاهش یا افزایش جذب مؤثر است (رفیعی، ۱۳۹۳) که خود تابع شدت تنش خشکی (Yang *et al.*, 2021) و نوع کود مصرفی (Deng *et al.*, 2019) است.

عناصر ضروری در دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی، رقم و کود زیستی، اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در کود زیستی و رقم در کود زیستی و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در رقم در کود زیستی بر نیتروژن دانه؛ اثر تنش خشکی و رقم و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم بر فسفر دانه؛ اثر رقم و کود زیستی و اثر متقابل دو گانه رقم در کود زیستی بر پتاسیم دانه؛ اثر رقم و کود زیستی، اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در رقم در کود زیستی بر مس دانه و اثر رقم و کود زیستی بر منگنز دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین غلظت فسفر دانه از شرایط نرمال آبیاری در رقم بهرنگ (۰/۴۵ درصد) و کمترین آن از قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و رقم بهرنگ (۰/۳۵ درصد)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]



شکل ۲- مقایسه میانگین عناصر اندام هوایی تحت تأثیر متقابل تنش خشکی در رقم در کود زیستی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

بدست آمد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فسفر دانه در رقم بهرنگ واکنش شدیدی به تنش خشکی آخر فصل نشان داد. به‌عبارت دیگر، تنش خشکی (سیروس مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳؛ Dalal and Tripathy, 2018; Yang *et al.*, 2021) بسته به رقم (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲)، نقش مؤثری در افزایش غلظت فسفر دانه دارد. البته اثر رقابت و یا هم‌افزایی میان فسفر با دیگر عناصر در انتقال فسفر به دانه و انتقال مجدد فسفر از اندام هوایی به دانه نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد (رفیعی، ۱۳۹۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه رقم در کود زیستی نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم دانه از رقم چمران و کاربرد توأم میکوریزا و آزوسپریلیوم (۰/۵۳ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (۰/۴۶ درصد) حاصل شد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که رقم چمران توانایی بیشتری در انتقال پتاسیم به دانه نسبت به رقم بهرنگ دارد که ناشی از اثر ژنتیک است (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲) و کاربرد توأم میکوریزا و آزوسپریلیوم اثر هم‌افزا در این انتقال داشته است (خسروی، ۱۳۹۳؛ Musyoka *et al.*, 2017).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

جدول ۴- مقایسه میانگین نیتروژن و فسفر در اندام هوایی گندم تحت تأثیر متقابل نش خشکی در رقم

تیمارها		نیتروژن اندام هوایی (درصد)	فسفر اندام هوایی (درصد)
تنش خشکی	رقم		
آبیاری کامل	چمران	۲/۱۳^{b}	۰/۳۴۸^{c}
	بهرنگ	۲/۲۸^{a}	۰/۴۵۴^{a}
آبیاری تا سنبله دهی	چمران	۱/۹۵^{c}	۰/۳۴۹^{c}
	بهرنگ	۱/۸۶^{d}	۰/۴۰۰^{b}
آبیاری تا پر شدن دانه	چمران	۲/۰۵^{b}	۰/۳۵۴^{c}
	بهرنگ	۲/۱^{b}	۰/۴۳۹^{a}
LSD (0.05)		۰/۰۸۵	۰/۰۲۹۳

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

جدول ۵- مقایسه میانگین نیتروژن و پرولین اندام هوایی گندم تحت تأثیر متقابل تنش خشکی در کود زیستی

تیمارها		نیتروژن اندام هوایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پرولین اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم)
تنش خشکی	کود زیستی		
آبیاری کامل	شاهد	۱/۸۶۶^{d}	۶/۷۵^{a}
	میکوریزا	۲/۰۱۳^{cd}	۶/۷۵^{a}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۲/۴۴^{a}	۵/۷۴^{d}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۲/۵^{a}	۵/۳۳^{e}
آبیاری تا سنبله‌دهی	شاهد	۱/۸۸^{d}	۶/۹۹۵^{a}
	میکوریزا	۱/۸۸^{d}	۶/۷۶۵^{a}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۱/۹۶^{d}	۶/۲۵۶^{bc}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۱/۸۸^{d}	۵/۴۶۱^{e}
آبیاری تا پر شدن دانه	شاهد	۱/۴۲^{e}	۶/۹۲۸^{a}
	میکوریزا	۲/۱۷^{b}	۶/۴۷^{b}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۲/۵۴^{a}	۶/۱۷^{c}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۲/۱۵^{bc}	۵/۵۱۸^{de}
LSD (0.05)		۰/۱۴۹	۰/۲۵۱۵

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه عامل‌های تنش خشکی در رقم در کود زیستی به‌روش برش‌دهی برای تنش خشکی خشکی نشان داد که در شرایط نرمال آبیاری، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌رفتن و قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین غلظت نیتروژن دانه از رقم چمران و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (به‌ترتیب ۲/۳۸، ۲/۲۵ و ۲/۲۸ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (به ترتیب ۱/۸۸، ۱/۵۷ و ۱/۴۶ درصد) به دست آمد؛ اما در خصوص غلظت مس دانه، واکنش دو رقم به سطوح کود زیستی و تنش خشکی متفاوت بود (پذیره و همکاران، ۱۴۰۲)،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

جدول ۶- مقایسه میانگین نیتروژن و پرولین اندام هوایی گندم تحت تأثیر متقابل رقم در کود زیستی

تیمارها		نیتروژن اندام هوایی (درصد)	پرولین اندام هوایی (میلی گرم بر گرم)
رقم	کود زیستی		
چمران	شاهد	۱/۶۷۹^{d}	۶/۷۴^{b}
	میکوریزا	۲/۰۵۲^{c}	۶/۷۶۱^{b}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۲/۳۹۹^{a}	۶/۳۰۷^{d}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۲/۰۴۳^{c}	۵/۶۴۳^{e}
بهرنگ	شاهد	۱/۷۷^{d}	۷/۰۴۶^{a}
	میکوریزا	۱/۹۹۶^{c}	۶/۵۶۳^{c}
	میکوریزا+ ازتوباکتر	۲/۲۳۶^{b}	۵/۸۰۵^{e}
	میکوریزا+ آزسپیریلوم	۲/۳۱۶^{ab}	۵/۲۳۴^{f}
LSD (0.05)		۰/۱۰۷۱	۰/۱۷۵

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

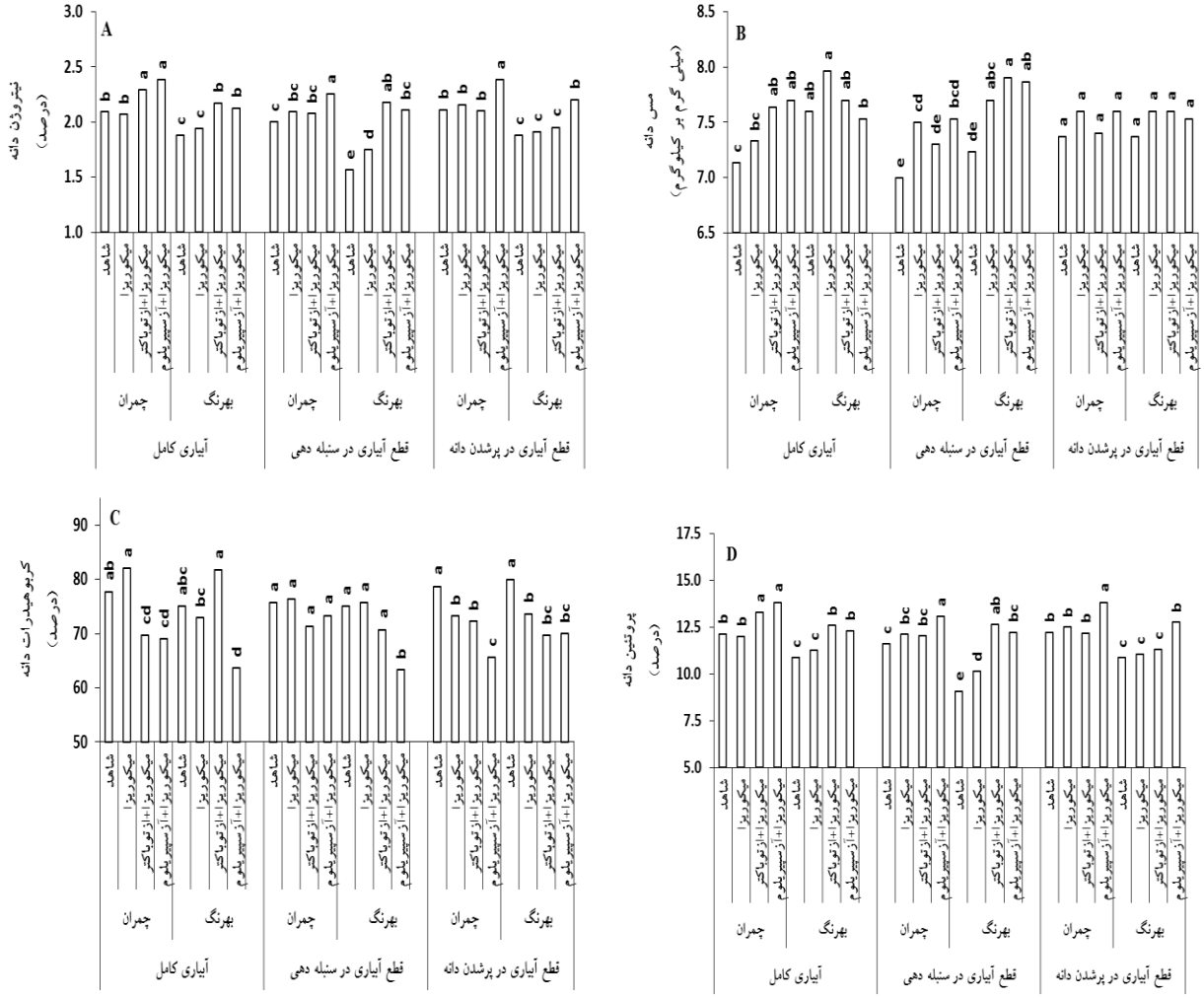
به‌طوریکه در شرایط نرمال آبیاری، بیشترین مس دانه از رقم چمران و کاربرد میکوریزا (۷/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (۷/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)؛ در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله رفتن، بیشترین غلظت مس دانه از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم چمران و عدم کاربرد کود زیستی (۷/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین غلظت مس دانه از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن از رقم بهرنگ و عدم کاربرد کود زیستی (۷/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) حاصل شد (شکل ۳).

اگر چه قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و پرشدن دانه محتوی برخی عناصر ضروری در دانه را کاهش داد، لیکن بایستی توجه داشت که علاوه بر نقش تیمارهای آزمایشی در جذب عناصر از خاک، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام هوایی به دانه نیز در محتوی عناصر دانه نقش دارد. به‌عبارت دیگر، گاهی جذب عنصری از خاک در حد مطلوب صورت می‌گیرد، اما انتقال آن به دانه کم است و یا بالعکس (رفیعی، ۱۳۹۳). رقابت و هم‌افزایی میان عناصر نیز در انتقال عناصر به دانه می‌تواند تأثیرگذار باشد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی نقش مؤثری در تأمین عناصر ضروری گیاه داشته و موجب غنی‌سازی دانه گندم از نظر برخی عناصر ضروری می‌گردد (Musyoka *et al.*, 2017).

کربوهیدرات و پروتئین دانه: براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کود زیستی و اثر متقابل دو گانه رقم در کود زیستی و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در رقم در کود زیستی بر کربوهیدرات دانه و اثر تنش خشکی، رقم و کود زیستی و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در کود زیستی و رقم در کود زیستی و اثر متقابل سه گانه تنش خشکی در رقم در کود زیستی بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه عامل‌های تنش خشکی در رقم در کود زیستی به‌روش برش‌دهی برای تنش خشکی نشان داد که در شرایط نرمال آبیاری، بیشترین کربوهیدرات دانه از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۸۲/۰ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۶۳/۶۷ درصد) به دست آمد. در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌رفتن، بیشترین کربوهیدرات دانه از رقم چمران و کاربرد میکوریزا (۷۶/۳ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۶۳/۳ درصد)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیبات دانه تحت تأثیر متقابل تنش خشکی در رقم در کود زیستی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (LSD ٪۵).

حاصل شد. در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین کربوهیدرات دانه از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۰/۴۵۲ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و کاربرد میکوریزا (۰/۲۴۴ درصد) حاصل شد (شکل ۳). ملاحظه می‌شود که مقدار کربوهیدرات دانه تحت تأثیر اثر ژنتیک و محیط قرار گرفت و واکنش متفاوتی به سطوح تنش خشکی، رقم و کود زیستی نشان داد و با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی کاهش یافت (Elamin and Madhavi, 2015).

در خصوص پروتئین دانه، در شرایط نرمال آبیاری، بیشترین پروتئین دانه از رقم چمران و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم به میزان ۱۳/۸ درصد و کمترین آن از رقم بهرنگ و تیمار شاهد (۱۰/۹ درصد) به دست آمد. در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌رفتن، بیشترین پروتئین دانه از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۱۳/۱ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و تیمار شاهد (۹/۱ درصد) حاصل شد. در شرایط قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین پروتئین دانه از رقم بهرنگ و کاربرد توأم میکوریزا و آزسپیریلوم (۱۳/۸ درصد) و کمترین آن از رقم بهرنگ و تیمار شاهد (۱۰/۹ درصد) حاصل شد (شکل ۳).

این نتایج نشان می‌دهد که مقدار پروتئین دانه نیز همانند کربوهیدرات دانه واکنش متفاوتی به سطوح تنش خشکی، رقم و کود زیستی نشان داد اما در مجموع با اعمال تنش شدید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

خشکی کاهش یافت و با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی افزایش نشان داد. افزایش در مقدار پروتئین دانه ناشی از کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، کاهش نشاسته را در پی داشته است. دلیل این موضوع می‌تواند به میزان نشاسته بالاتر و میزان پروتئین پائین‌تر مربوط باشد، زیرا میان میزان نشاسته با میزان پروتئین دانه همبستگی منفی وجود دارد. افزایش غلظت نیتروژن و درصد پروتئین در دانه با مصرف کود آلی در لوبیا قرمز (کلایی و همکاران، ۱۴۰۲)، نخود (Elamin and Madhavi, 2015) و کلزا (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱) پیش از این گزارش شده است. به نظر می‌رسد با کاربرد کود آلی و افزایش میزان نیتروژن خاک، مقدار بیشتری از این عنصر توسط گیاه جذب و مازاد آن برای رشد رویشی و تشکیل دانه به شکل پروتئین در دانه تجمع یافته است (Caliskan *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش مشخص شد که غلظت پرولین با قطع آبیاری در هر دو مرحله سنبله‌دهی و پر شدن دانه و آنزیم آنتی‌اکسیدان پراکسیداز با قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی افزایش یافت. به‌عبارتی، در شرایط تنش طولانی‌تر خشکی (قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی) هر دو مکانیسم تنظیم اسمزی (افزایش پرولین) و دفاع آنتی‌اکسیدانی افزایش (پراکسیداز) فعال گردید؛ اما در شرایط تنش کوتاه مدت‌تر خشکی (قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه)، گیاه گندم تنها مکانیسم تنظیم اسمزی (افزایش پرولین) را در پیش گرفت که نشان‌دهنده سعی گیاه گندم در تعدیل تنش خشکی بود. محتوی تمامی عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم‌مصرف در اندام هوایی و برخی عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی کاهش نشان داد. تفاوت ژنتیکی میان دو رقم گندم نان چمران و گندم دوروم بهرنگ موجب واکنش متفاوت دو رقم به تنش خشکی و کود زیستی شد و در این میان رقم چمران از تحمل بالاتری برخوردار بود. تلفیق کودهای زیستی میکوریزا با ازتوباکتر یا آزوسپریلیوم اثر هم‌افزا بر جذب عناصر و مکانیسم‌های دفاعی جهت تعدیل تنش خشکی داشت. در مجموع، رقم چمران توأم با تلفیق کودهای زیستی میکوریزا با ازتوباکتر یا آزوسپریلیوم جهت تعدیل تنش خشکی مناسب‌تر بود.

منابع

امیرآبادی، محسن، سیفی، محمد، رجالی، فرهاد، و اردکانی، محمدرضا (۱۳۹۱). بررسی غلظت عناصر معدنی پرمصرف در ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) (رقم سینگل کراس ۷۰۴) تحت تأثیر تلقیح قارچ میکوریزی و *Azotobacter chroococcum* در سطوح مختلف نیتروژن. *مجله بوم‌شناسی کشاورزی*، ۴(۱)، ۴۰-۳۳. doi.org/10.22067/JAG.V4I1.14956

امینی، زهره، و حداد، رحیم (۱۳۹۲). نقش رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیدیتیو. *مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۶(۳)، ۲۵۱-۲۶۵. https://cell.ijbio.ir/article_200_51f8d57889e408e7ff2c610e2c3d1b5b.pdf

بهرامی چگنی، زهرا، امیری، حمزه، و لاری یزدی، حسین (۱۳۹۲). بررسی اثر تنش خشکی بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه ریحان. *همایش ملی علوم و فنون کشاورزی*، ۴۳۰-۴۱۹. https://civilica.com/doc/250409

پذیره، صفیه، مقصودی مود، علی اکبر، توحیدی‌نژاد، عنایت‌اله، و مهیجی، مهدی (۱۴۰۲). تأثیر تنش خشکی انتهای فصل بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و ارزش غذایی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در شهر کرمان. *نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۳)، ۳۵۵-۳۶۹. DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.22.0

سیروس مهر، علی رضا، و روشن ضمیر، فاطمه (۱۳۹۳) تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *نشریه زراعت پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۱۰۵، ۱۳۴-۱۴۰. doi.org/10.22092/AJ.2014.103362

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

رحیمی، افسانه، جعفری لیلا، و عبدالهی، فرزین (۱۴۰۲). بررسی پاسخ بیوشیمیایی، رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا به منابع کود در شرایط کم آبیاری. *نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۱-۲۰. DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1

رفیعی، مسعود (۱۳۹۳). ذرت. مجموعه مقالات، جلد اول. انتشارات سروا.

کریمی، فاطره، بهمنیار، محمدعلی، و شهابی، مینا (۱۳۹۱). تأثیر کاربرد گوگرد و کود دامی بر میزان روغن، پروتئین و برخی اجزای عملکرد کلزا در دو خاک آهکی. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۲(۳)، ۸۴-۷۱. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_846_567331d57eae5e9044d5135c5a13ff84.pdf

کلایی، امیر، رفیعی، مسعود، خورگامی، علی، و طالشی، کاظم (۱۴۰۲). اثر کود تلفیقی دامی -شیمیایی و زئولیت بر خصوصیات بیوشیمیایی دو رقم لوبیا قرمز. *نشریه فرآیند و کارکردهای گیاهی*، ۱۲(۵۳)، ۳۸۹-۴۰۷. DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.24.2

گلدانی، محمدرضا (۱۳۹۱). اثر فواصل آبیاری بر برخی شاخص‌های رشد اکوتیپ‌های ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۰(۲)، ۴۲۰-۴۱۲. doi.org/10.22067/GSC.V10I2.16291

قمرنیا، هوشنگ، فرمانی‌فرد، میلاد، و ساسانی، شهریار (۱۳۹۱). بررسی اثر آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب سه رقم جدید گندم. *مدیریت آب و آبیاری*، ۲(۲)، ۸۳-۶۹. https://jwim.ut.ac.ir/article_30341_a0e740de2f862454f456c7d999bc8f0a.pdf

خسروی، هوشنگ (۱۳۹۳). ازتوباکتر و نقش آن در مدیریت حاصلخیزی خاک. *مجله مدیریت اراضی*، ۲(۳)، ۷۹-۹۴. https://doi.org/10.22092/lmj.2015.101241

ذاکری‌نژاد، رضا، یوسفی‌راد، مجتبی، و هانی، عباس (۱۳۹۴). تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان پروتئین نخود دیم رقم آرمان. سومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه. https://www.sid.ir/paper/851111/fa

Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Ab-dul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants, 10*, 1-25. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Caliskan, S., Erdogan, C., Arslan, M., & Caliskan, M. E. (2013). Comparison of organic and traditional production systems in chickpea (*Cicer arietinium* L.). *Turkish Journal Field Crops*, *18*, 34-29. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjfc/issue/17122/179039

Cha-um, S. & Kirdmanee, Ch. (2009). Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, *8*(1), 51-58. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60008-0

Dalal, V. K. & Tripathy, B. C. (2018). Water-stress induced downsizing of light harvesting antenna complex protects developing rice seedlings from photooxidative damage. *Scientific Reports*, *8*, 5955. https://www.nature.com/articles/s41598-017-14419-4

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2020). Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agriculture and Water Management*, *179*, 18-33. https://www.52cdf96a89eabe0ceff97fa912737885

Deng, B., Li, Y., Xu, D., Ye, Q., & Liu, G. (2019). Nitrogen availability alters flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* via the effects on the internal carbon/nitrogen balance. *Scientific Reports*, *9*, 2370. https://www.nature.com/articles/s41598-019-38837-8

Dong, S., Jiang, Y., Dong, Y., & Wang, L. (2019). A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudian Journal of Biological Science*, *26*(8), 2006–2017.

Elamin, A. Y. & Madhavi, K. (2015). Residual effect of integrated nutrient management on growth and yield parameters of rabi chickpea (*Cicer arietinum* L.) under cropping system. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, *ISSN*, 2153-649X, doi:10.5251/ 6.5.103.109. doi:10.5251/ajsir.2015.6.5.103.109

Jabereldar, A. A., El Naim, A. M., Abdalla, A. A., & Dagash, Y. M. (2017). Effect of water stress on yield and water use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in semi-arid environment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, *7*(1), 1-6. https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20170701.01

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

Kawa, A., Hussain, A., Hamad, H., & Qadir, S. Kh. (2020). Effect of Bio and chemical fertilizers on some physiological traits and yield of Arugula. *Journal of Zankoy Sulaimani Part-A- (Pure and Applied Sciences)*, *22*, 99-108. DOI: https://doi.org/10.17656/jzs.10811

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2016). Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Interaction*, *11*(1), 130-137. https://doi.org/10.1080/17429145.2016.1221150

Kjeldal, S. E. (1998). An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Unpublished Ph.D Thesis, University of New England, Australia.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Hand book of Physiological Method (ed. Helebust, J. S.) Pp. 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.

Lekberg, Y., Gibbons, S. M., Rosendahl, S., & Ramsey, P. W. (2013). Severe plant invasions can increase mycorrhizal fungal abundance and diversity. *International Society for Microbial Ecology (The ISME Journal)*, *7*(7), 1424-1433. DOI: 10.1038/ismej.2013.41

Mae-Adam, J. W. & Nelson Sharp, C. J. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fese Ue. *Journal of Plant Physiology*, *99*, 872-878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872

Mirjalili, A., Lebaschi, M., Ardakania, M., Heidari Sharifabad, H., & Mirza, M. (2021). Antioxidant enzymes response to medicinal plant of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) affected by density and organic fertilizers in dryland farming conditions. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *11*, 3819-3828. Doi: 10.30495/IJPP.2021.685348

Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M. J., Javadi, H., & Ansari-nia, E. (2011). Effect of irrigation intervals and planting patterns on yield and qualitative traits of forage Sorghum. *Advances in Environmental Biology*, *5*(10), 3363-3368. https://www.researchgate.net/publication/287244676

Musyoka, M. W., Adamtey, N., Muriuki, A. W., & Cadisch, G. (2017). Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy*, *86*, 24-36. DOI:10.1016/j.eja.2017.02.005

Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. ICARDA.

Wu, S. C., Caob, Zh., Lib, Z. G., Cheunga, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, *125*, 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, *7*, 50. doi.org/10.3390/horticulturae7030050

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]

Effect of drought stress and mycorhiza, azetobacter, and azospirilium bio-fertilizers on the biochemical traits of two irrigated wheat cultivars

Mehdi Rashnou[1], Farshid Aref[1], Bahram Amiri[2], Masoud Rafiee[3], Mehdi Zarea[1]

[1] Agrronomy Department, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran
[2] Agronomy, Agricultural and Natural Resources Department, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran
[3] Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREO, Khorramabad, Iran
(Received: 2023/11/06, Accepted: 2024/02/26)

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress and biofertilizers from Mycorrhiza, azotobacter and azospirillum on the yield and biochemical characteristics of two wheat cultivars, a randomized complete block design in the form of split-factorial experiment was conducted with three replications in the crop year 2014-2015 in Poldakhter city. Drought stress in the main plots consisted of three levels of full irrigation, interruption of irrigation from the spike stage and interruption of irrigation from the seed filling stage. The sub-plots factorially included biofertilizer factor in four levels of control (without fertilizer), mycorrhiza inoculation, mycorrhiza+aztobacter inoculation, mycorrhiza+azespirillum inoculation, and the cultivar factor included Chamran and Behrang cultivars. Drought stress in the flowering stage caused a decrease in the content of chlorophylls and most elements, including nitrogen, phosphorus, potassium, copper and manganese, in shoots and seeds, but increased the content of proline and antioxidant enzymes. The content of most of the elements in aerial parts and seeds and the concentration of proline and antioxidant enzymes were higher in the Chamran variety than Behrang. The simultaneous use of mycorrhizae and growth-stimulating bacteria increased the content of most elements in shoots and seeds compared to the control treatment, but it decreased the concentration of proline and antioxidant enzymes. The mutual effects indicated the different responses of cultivars to the levels of biofertilizer in different drought stress treatments. In general, the Chamran variety is recommended by combining mycorrhiza with Azotobacter or Azespirillum.

Keywords: Antioxidant, Behrang cultivar, Chamran cultivar, Nutrients, Proline

Corresponding author, Email: bahamiri@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.55]