

اثر تراکم و کائولین بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم

امین رشیدیان^۱، مسعود رفیعی^{۲*}، علی خورگامی^۱، رضا میردریگوند^۱ و سید حسین وفایی^۳

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

^۲ بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

^۳ گروه گیاهپزشکی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱)

چکیده

به منظور بررسی اثر تراکم و محلول پاشی کائولین بر ارقام گندم دیم، پژوهشی به صورت فاکتوریل - اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار تحت شرایط دیم در شهرستان کوهدشت اجرا شد. فاکتور تراکم در چهار سطح ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع و فاکتور رقم شامل سه رقم گندم دیم شامل کریم، کوهدشت و قابوس به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و محلول پاشی کائولین در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد کائولین در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم بر میزان آنتی-اکسیدان‌های پلی فنول اکسیداز و پراکسیداز (به ترتیب ۲۶/۲ و ۹/۱ درصد) و کربوهیدرات‌های دانه (۱۱/۹ درصد) افزوده شد، اما میزان پروتئین دانه (۴/۳ درصد) در بالاترین تراکم نسبت به شاهد کاهش یافت. میزان نیتروژن، پتاسیم و آهن دانه با افزایش تراکم کاهش نشان داد. بیشترین میزان فسفر، روی و پروتئین دانه به رقم قابوس تعلق داشت، بطوریکه میزان فسفر به ترتیب ۶/۴ و ۱/۹ درصد، میزان روی به ترتیب ۴/۶ و ۱/۳ درصد و میزان پروتئین به ترتیب ۲/۵ و ۰/۳ درصد در رقم قابوس بیشتر از ارقام کریم و کوهدشت بود. محلول پاشی کائولین موجب افزایش جذب تمام عناصر ضروری مورد مطالعه در اندام هوایی و میزان نیتروژن، فسفر، آهن، روی و کربوهیدرات‌های دانه، اما موجب کاهش آنتی‌اکسیدان‌های اندام هوایی و میزان پتاسیم و پروتئین دانه نسبت به عدم کاربرد کائولین شد. در مجموع، رقم قابوس در تراکم ۵۰۰ بوته در مترمربع با کاربرد کائولین به عنوان بهترین تیمار جهت تولید و غنی‌سازی دانه برای منطقه کوهدشت قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: پروتئین دانه، دفاع آنتی‌اکسیدانی، دیم، کائولین، گندم

مقدمه

کشت جهانی نسبت به دیگر غلات دانه‌ای، رتبه اول را دارد. تولید جهانی گندم در سال ۲۰۱۸ با متوسط عملکرد ۳۴۳۰ کیلوگرم در هکتار، حدود ۷۳۴ میلیون تن برآورد شد. سطح

گندم به دلیل انعطاف‌پذیری زیاد ژنتیکی و تنوع، کشت و کار بسیار زیاد وسیع و گسترده‌ای دارد و از نظر تولید و سطح زیر

امر باعث افزایش محتوی نسبی آب در برگ می‌شود. با مه‌پاشی کائولین با ایجاد لایه سفید کدر رنگ بر روی گیاه باعث بازتاب نور از سطح برگ می‌شود (Glenn, 2005). مطالعات اولیه نشان داده که بازتاب نور توسط کائولین، وضعیت آب و عملکرد را در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی بهبود بخشید، درحالی‌که جذب دی‌اکسید کربن را کاهش نداد، چون کائولین روزنه را جزئی می‌بندد و با بازتاب نور از آسیب‌های نوری به گیاه می‌کاهد و دمای برگ را کاهش می‌دهد (Glenn, 2005). رس کائولین به‌عنوان یک استراتژی کوتاه مدت برای کاهش پایدار اثرات تنش‌های غیرزننده شناخته شده است. کائولین با تأثیر بر دما، بازتاب تابش، ساختار برگ، وضعیت آب، ظرفیت فتوسنتز، پاسخ‌های بیوشیمیایی، ترکیب مواد معدنی، رشد، عملکرد و کیفیت موجب تعدیل تنش‌های غیرزننده می‌شود (Brito et al., 2019). در یک مطالعه کاربرد مواد ضدتعرق در شرایط تنش خشکی بر روی محصول سویا (*Glycine max L.*) موجب افزایش ارتفاع ساقه، تعداد گره، قطر ساقه، تعداد غلاف و تعداد بذر در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گردید و از بین مواد ضدتعرق مورد استفاده کائولین بیشترین تأثیر را در عملکرد دانه داشت (Javan et al., 2010). کائولین اشعه فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدودی مانع از عبور اشعه مادون قرمز و ماوراءبنفش می‌گردد و از اختلال در چرخه فتوسنتزی ممانعت می‌کند (Glass and Kadir, 2005). محلول‌پاشی کائولین در گیاه کتان (*Linum usitatissimum L.*) تحت تنش شوری موجب افزایش اجزای عملکرد شده که می‌تواند مرتبط با افزایش فتوسنتز به‌دلیل ارتقاء شرایط آبی گیاه و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها باشد (Gaballah and Abou-Leila, 2000). کاربرد کائولین در لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) سبب افزایش معنی‌دار در اجزای عملکرد، عملکرد دانه و محتوای نیتروژن و درصد پروتئین دانه، کاهش اثر خشکی و افزایش عملکرد پروتئین دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی شده است (Yigitarslan, 2010). همچنین کاربرد کائولین ویژگی‌های مربوط به عملکرد را در

کشت گندم در ایران در حدود ۵/۸۶ میلیون هکتار و میزان گندم تولیدی ۱۳/۷ میلیون تن برآورد شده است (Ahmadi et al., 2020).

تغییرات آب‌وهوایی، شامل ترکیبی از خشک‌سالی، شوری، گرما و تابش زیاد در بسیاری از مناطق در سراسر جهان از جمله ایران تشدید شده است و اثرات سوئی بر رشدونمو گیاهان دارد و سبب کاهش شدید عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی خواهد شد (Brito et al., 2019). صفر نوری و همکاران (Safar-Noori et al., 2018) دریافتند که تنش خشکی به شدت تولید گندم را کاهش می‌دهد و کیفیت دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ایران با میانگین نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در گروه مناطق خشک جهان قرار دارد و وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان زراعی امری اجتناب‌ناپذیر است. حدود یک درصد از کل آبی که توسط گیاه جذب می‌شود برای مصرف گیاه استفاده می‌شود بقیه آن به‌صورت بخار آب از گیاه خارج می‌شود (Masoud, 2012). یک روش محدودکردن از دست دادن آب در تولید گیاهان استفاده از مواد ضدتعرق است که باعث کاهش تعرق گیاه می‌شود (Latocha et al., 2009; Abdel-Fattah, 2013). گزارش‌هایی در رابطه با استفاده از مواد مومی، کائولینی و آترازین و فنیل مرکوریک استات به‌عنوان ماده ضدتعرق وجود دارد (Samadi and Faramarzi, 2014; Brito et al., 2019). مواد ضدتعرق به‌صورت لایه‌ای روی برگ‌های گیاه قرار گرفته و تا اندازه‌ای از خروج بخار آب حاصل از بافت‌های درونی جلوگیری کرده ولی مانع تبادل گازی گیاه نمی‌شود (Glenn and Puterka, 2005). همچنین مواد شیمیایی ضدتعرق از طریق بستن نسبی روزنه‌ها و افزایش مقاومت به انتشار بخار آب از برگ‌ها، موجب افزایش پتانسیل آب درون سلول‌های برگ شده که لازمه رشد سلول‌های گیاهی است (Liu et al., 2004). کائولین نوعی رس معدنی است که با محلول‌پاشی بر سطح گیاهانی که تحت تنش آبی هستند، با بستن جزئی روزنه‌ها از تبخیر و تعرق سطح برگ کاسته و با بازتاب نور از سطح برگ، دمای برگ را کاهش می‌دهد که این

جذب عناصر غذایی همچون نیتروژن پس از اعمال تراکم مناسب کاشت و انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه بدست آورد و کشاورزان می‌توانند این دو فرآیند را با بهینه‌سازی روش‌های کشت خود تنظیم کنند (Chen *et al.*, 2016). Chen و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند با افزایش تراکم بوته در ذرت، انتقال مجدد نیتروژن از اندام هوایی به دانه افزایش می‌یابد. مطالعات Ren و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که هماهنگی کارایی انتقال مجدد نیتروژن و جذب نیتروژن در مراحل پس از کاشت برای عملکرد دانه بالا و کارایی بالای استفاده از نیتروژن در ذرت مهم است و به‌عبارت دیگر، با افزایش تراکم کاشت و افزایش جذب عناصر غذایی، کارایی انتقال عناصر غذایی افزایش می‌یابد.

تنش کمبود آب ناشی از نامناسب بودن میزان و توزیع بارندگی در شرایط دیم، روی فرایندهای رشدونمو مؤثر است که به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (Wang *et al.*, 2001). اما مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمونی (Mahajan and Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی کمک می‌کنند. تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲) و در نتیجه بر نشت الکتروولیت اثر سوء می‌گذارند. با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (Khalilzadeh *et al.*, 2016; Ghorbanli and Niakan, 2006; Cha-um and Kirdmanee, 2009).

این پژوهش با هدف بررسی برخی واکنش‌های بیوشیمیایی و عملکرد ارقام گندم تحت شرایط دیم به تراکم‌های مختلف و نقش محلول‌پاشی ماده ضدتعرق کائولین در تعدیل تنش خشکی اجرا گردید.

ذرت (*Zea mays L.*) در شرایط تنش خشکی افزایش داده و در نتیجه عملکرد دانه ۳۸٪ بیشتر از کاربرد مالچ بوده است (Misra and Sricastatva, 2005). در بررسی تأثیر مواد ضد-تعرق آترازین، پارافین، کائولین+سیتوویت، موم بر ذرت دانه‌ای تحت آبیاری محدود مشاهده شده که این مواد به‌ویژه آترازین موجب بهبود صفات ظاهری و فیزیولوژیک و عملکرد دانه شد (Kazempoor and Tajbakhsh, 2002). Singh و Yadav (۱۹۸۱) دریافتند که مواد ضدتعرق آترازین، کائولین، فنیل مرکوریک استات و مخلوطی از این مواد تأثیر کمی در پتانسیل آب برگ جو داشت و در مجموع تأثیر معنی‌داری عملکرد نداشت. نتایج آزمایش انجام‌شده بر افزایش عملکرد گندم دیم با نشان داد که استفاده از ماده ضدتعرق دیفنیل متان کاربرد ماده ضدتعرق در مرحله ظهور گل‌آذین گندم تا گل‌شگفتگی موجب کاهش عملکرد شد، اما استفاده در مرحله ظهور برگ پرچم موجب افزایش عملکرد گردید همچنین این ماده موجب تخفیف اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه گردید (Kettlewell *et al.*, 2010).

یکی از عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد گیاه در مدیریت عملیات زراعی تغییر در تراکم کاشت گیاه زراعی است که می‌تواند باعث تغییر در عملکرد و اجزای عملکرد شود (Hiltbrunner *et al.*, 2007). تراکم گیاهی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده توانایی گیاه زراعی در استفاده از منابع محیطی است و به‌دلیل اینکه در اغلب سیستم‌های کاشت تحت کنترل کشاورز می‌باشد از اهمیت ویژه‌ای در تولید گندم برخوردار است (Lloveras *et al.*, 2004). Hiltbrunner و همکاران (۲۰۰۷) تراکم‌های کاشت مطلوب در گندم را کلیدی برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌دانند. تراکم گیاهی مناسب با تغییر عواملی مانند تفاوت منطقه، تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی (به‌ویژه توزیع بارش)، نوع خاک و ارقام فرق می‌کند (Elhani *et al.*, 2007). Wood و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که عملکرد گندم دیم در تراکم ۲۵۰ بیشتر از عملکرد آن در تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع است.

کیفیت بالای غذایی دانه را می‌توان از طریق ترکیبی از

جدول ۱- آمار هواشناسی منطقه کوهدشت در سال زراعی ۷-۱۳۹۶

بارندگی	درجه حرارت				ماه
	بیشینه مطلق	کمینه مطلق	میانگین	بیشینه	
۰	۳۳/۶	۳/۱	۱۸/۳	۲۹/۷	مهر
۳/۶	۲۸/۹	-۰/۵	۱۴/۵	۲۴	آبان
۱۶/۸	۱۷/۸	-۹/۵	۶/۲	۱۳/۷	آذر
۶۹/۴	۱۸/۳	-۱۰	۶/۵	۱۲/۸۲	دی
۸۴/۲	۱۴/۳	-۶/۴	۳/۸	۹/۶۵	بهمن
۴۰/۱	۲۲/۸	-۵/۴	۸/۴	۱۶/۳۵	اسفند
۸۶/۳	۲۷/۹	۱/۵	۱۳/۱	۱۹/۴	فروردین
۶/۳	۳۴/۲	۴/۷	۱۹/۲	۲۹/۱	اردیبهشت
۰	۳۸/۷	۵/۳	۲۳/۱	۳۵/۱	خرداد

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	کربن آلی	نیترژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
لوم	۰/۷۹	۰/۰۸	۱۷/۸	۳۶۵	۱۷/۲	۶/۹	۰/۲۹	۰/۸۵

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۶ در شهرستان کوهدشت با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه موردنظر از نظر آب و هوایی جزء اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان گرم و خشک است. میانگین بارندگی سالانه ۳۰۷ میلی متر بود (جدول ۱). به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی در عمق ۰-۳۰ سانتی متر نمونه برداری شد و نتایج آزمایش خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل - اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل رقم گندم دیم (کوهدشت، کریم و قابوس) و تراکم بوته (۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع) به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل محلول‌پاشی کائولین در دو سطح شاهد و محلول‌پاشی ۵ درصد کائولین در کرت‌های فرعی قرار

گرفت.

زمین آزمایش در سال قبل آیش بود. کشت به صورت دستی در هفته دوم آبان‌ماه انجام شد، اما اولین بارندگی مؤثر در اول آذر به میزان ۲۷/۵ میلی متر بارید. هر کرت در برگیرنده ۵ خط کاشت ۶ متری با فاصله خطوط ۱۷ سانتی متر بود. براساس آزمون خاک، قبل از کاشت کوددهی زمین شامل نیمی از اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تمام کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. دو سوم باقیمانده اوره در پنجه‌دهی و شروع گلدهی هر بار به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود.

پودر رس کائولین مورد استفاده، از شرکت کیمیا سبزآور تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب پودر کائولین (پودر سپیدان) با غلظت ۵ درصد (Yigitarslan, 2010)، به همراه سورفاکتانت مربوطه با آب کاملاً مخلوط شد و به وسیله سم‌پاش مجهز به پمپ گردش آب و همزن به صورت هدایت

شده روی گیاه در مرحله رشد طولی کامل بوته‌ها اسپری شد؛ به‌گونه‌ای که سطوح اندام هوایی گیاه به‌طور کامل پوشش داده شد و پس از خشک‌شدن محلول، گیاه سفید به‌نظر رسید. جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها، در زمان محلول‌پاشی اطراف هر کرت فرعی یک تخته فیبر بزرگ قرار داده شد و محلول‌پاشی به‌صورت هدایت‌شده و در صبح قبل از گرم‌شدن هوا انجام شد. محلول‌پاشی کائولین طی دو مرحله در زمان رشد رویشی به‌فاصله دو هفته (هفته آخر اسفندماه در زمان رشد سریع و هفته دوم فروردین‌ماه حدود دو هفته قبل از گلدهی) انجام شد. کرت‌های شاهد به‌منظور یکنواختی کرت‌های آزمایشی با آب معمولی محلول‌پاشی شدند.

در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و سنجش میزان عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992) صورت گرفت. در زمان برداشت عملکرد دانه سه ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت یک‌چهارم متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری و براساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد. همچنین، نمونه‌هایی از دانه هر کرت جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و میزان عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و میزان کربوهیدرات‌ها (Kochert, 1978) و پروتئین (Kjeldal, 1998) در دانه اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمون نرمالیتی روی داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD با نرم‌افزار Excell در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد میزان آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثرات ساده تراکم و محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت

(جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده تراکم بر آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی نشان داد با افزایش تراکم بر میزان این آنتی‌اکسیدان‌ها افزوده شد و در بیشترین تراکم (تراکم ۸۰۰ بوته در مترمربع) به افزایش به‌ترتیب ۲/۲۶ و ۱/۹ درصدی نسبت به شاهد (تراکم ۳۵۰ هزار بوته در هکتار) رسید (جدول ۴). این افزایش ناشی از تشدید تنش خشکی با افزایش تراکم بوته در شرایط دیم و سعی گیاه در دفاع آنتی‌اکسیدانی جهت تعدیل تنش خشکی است، زیرا پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارد (Tian and Li, 2006). تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین در گیاهان می‌گردد (Zhou and Deng, 2011; Rezayian *et al.*, 2020; Behboudi *et al.*, 2019).

کاربرد کائولین سبب کاهش به‌ترتیب ۵/۳۰ و ۸/۱۲ درصدی آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم‌کاربرد کائولین شد (جدول ۴). به‌عبارتی ماده ضدتذوق کائولین با تعدیل تنش خشکی توانسته است نیاز به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاه را کاهش دهد. کائولین با تأثیر بر دما، بازتاب تابش، ساختار برگ، وضعیت آب، ظرفیت فتوسنتز، پاسخ‌های بیوشیمیایی، ترکیب مواد معدنی، رشد، عملکرد و کیفیت موجب تعدیل تنش‌های غیرزنده می‌شود (Brito *et al.*, 2019).

عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه: در اندام هوایی

گندم، اثرات متقابل دو گانه رقم × تراکم کاشت و تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان نیتروژن معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان فسفر، پتاسیم و روی اندام هوایی معنی‌دار شد (جدول ۳). میزان نیتروژن و آهن دانه به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثر ساده رقم، تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و میزان پتاسیم دانه تحت تأثیر اثر ساده تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت. اثر ساده رقم و محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی کائولین بر میزان فسفر و روی

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم تحت تأثیر رقم، تراکم و کائولین

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
روی	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	پراکسیداز	پلی فنول اکسیداز		
۳/۹۳۰۹۳۸	۲۰/۰۶۶	۰/۰۱۶۱۲۵	۰/۰۰۰۱۸۲	۰/۰۲۵۸۳۳	۷/۴۵۱۲۱۵	۰/۲۲۱۲۱۵	۳	تکرار
۱۵/۷۰*	۳۵/۰۹۳۷	۰/۰۹۱**	۰/۰۲۰**	۰/۷۳۵**	۵۹/۵۱۹۰۱	۲۱/۹۸۲۲۴	۲	رقم
۱/۳۴۳۲۶	۹/۷۰۴۹	۰/۰۱۷۰۶۲	۰/۰۳۹**	۱/۶۰۲**	۱۰۲۶/۵**	۱۳۴۷/۶**	۳	تراکم
۸/۵۱۰۶۶	۲۶/۵۷۹۹	۰/۰۶۶**	۰/۰۰۲**	۰/۵۳**	۴۶/۴۷	۳۰/۹۵۸۶۴	۱	رقم × تراکم
۳/۳۷۷۹۰۷	۶۳/۲۲۵۱	۰/۰۰۷۰۰۳	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۱	۳۲/۵۵۴۸۴	۲۲/۴۹۰۴۴	۶	خطای ۱
۴۶۵/۰۸**	۱۰۶۴۶۶/۷**	۳۱/۱۵**	۰/۸۲۹**	۶**	۹۰۵۱/۶**	۹۴۶۴/۰**	۱	کائولین
۷/۸۲۳۲۲۹	۶۵/۵۱۰۴	۰/۰۱۰۲**	۰/۰۰۰۳۳۴	۰/۰۱	۹/۸۶۵۸۵۷	۲/۴۸۱۱۷	۲	رقم × کائولین
۲/۰۱۸۷۱۵	۵۸/۷۶۰۴	۱/۵۴۷**	۰/۰۴**	۰/۳۰**	۴۷/۲۳۵۷۲	۲۳/۴۷۵۴۴	۳	تراکم × کائولین
۱۰/۱۶*	۱۸/۳۸۵۴	۰/۰۶۲۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۲	۲۶/۹۰۸۳۴	۲۷/۳۷۰۴۶	۶	رقم × تراکم × کائولین
۴/۲۵۷۷۴۳	۴۸/۱۱۴۶	۰/۰۰۶۷۴۶	۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۰۱	۳۵/۳۷۴۸۲	۲۶/۴۵۹۴	۳۶	خطای ۲
۵/۴	۴/۷	۳/۹	۳/۲	۴/۴	۴/۲	۹/۳	(/)	ضریب تغییرات

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

ادامه جدول ۳-

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
پروتئین دانه	کربوهیدرات دانه	روی دانه	آهن دانه	پتاسیم دانه	فسفر دانه	نیتروژن دانه		
۰/۴۴۰۸۳۳	۱۳/۲۰۴۸۶	۳/۰۴۰۶۹۴	۸/۷۰۸۳۳۳	۰/۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۳۰۴	۰/۰۴۲۰۴۹	۳	تکرار
۱/۰۰۳*	۱۰/۹۰۶۲۵	۵۶/۲۳**	۳۴/۹*	۱/۳۵E-۰۵	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۹۱*	۲	رقم
۱/۵۶۷**	۴۱۴/۵**	۳/۶۷۲۹۱۷	۱۷۶/۴**	۰/۰۲۰۴**	۰/۰۰۰۳۶۷	۱/۹۸**	۳	تراکم
۲/۱۰۳**	۲۶/۰۳۱۲۵	۷/۶۹۶۷۷۱	۶/۷۳۹۵۸۳	۸/۰۲E-۰۵	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۲۱۲۱۵	۱	رقم × تراکم
۰/۴۱۲۲۷۳	۱۴/۶۰۶۳۸	۵/۳۴۱۳۰۱	۵/۸۴۴۶۹۷	۰/۰۰۰۲۸۹	۰/۰۰۰۵۳۴	۰/۰۳۴۷	۶	خطای ۱
۱۳/۶۵**	۴۵۵/۰**	۱۷۰۳/۵۳**	۴۲/۶*	۰/۰۰۲۲**	۰/۱۷۰۳**	۹/۰۶۵**	۱	کائولین
۰/۰۴۱۹۷۹	۱۸/۵۱۰۴۲	۵۶/۳۶**	۱۴/۳۸۵۴۲	۹/۴۸E-۰۵	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۲۶۹۷۹	۲	رقم × کائولین
۱/۸۰۸**	۳۸/۶*	۲/۸۱۹۷۲۲	۴/۲۵	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۰۰۲۸۲	۰/۰۲۰۱۰۴	۳	تراکم × کائولین
۱/۶۱۵**	۵۵/۵**	۱۰/۳۲۱۷	۵/۳۰۲۰۸۳	۰/۰۰۰۲۱۷	۰/۰۰۱۰۳۲	۰/۰۴۹۸۹۶	۶	رقم × تراکم × کائولین
۰/۲۴۲۴۳۱	۱۱/۵۰۳۴۷	۷/۶۸۴۵۸۳	۸/۶۳۸۸۸۹	۰/۰۰۰۲۵۸	۰/۰۰۰۷۶۸	۰/۰۲۶۲۸۵	۳۶	خطای ۲
۸/۲	۴/۶	۵/۰	۷/۸	۳/۲۱	۷/۱	۷/۴	(/)	ضریب تغییرات

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

دانه معنی دار بود (جدول ۳). افزایش تراکم بوته موجب کاهش میزان نیتروژن اندام هوایی در

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم در سطوح مختلف رقم، تراکم و کائولین

تیمارها	پلی فنول اکسیداز	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
	(OD میکروگرم پروتئین در دقیقه)		(درصد)		(میلی گرم بر کیلوگرم)		
کریم	۵۴/۹۲	۱۴۰/۵۴	۲/۱۳	۰/۳۶	۲/۱۴	۱۴۴/۴۷	۳۶/۸۳
کوهدشت	۵۴/۵۳	۱۴۱/۰۶	۲/۲۸	۰/۳۷	۲/۰۶	۱۴۶/۵۶	۳۷/۸۷
قابوس	۵۶/۱۲	۱۴۳/۱۲	۱/۹۷	۰/۳۲	۲/۰۴	۱۴۵/۵۶	۳۸/۱۷
LSD (5%)							
۳۵۰	۴۷/۴۶ ^d	۱۳۴/۵ ^d	۲/۴۰	۰/۴۱	۲/۱۱	۱۴۴/۸۳	۳۷/۸۳
۵۰۰	۵۰/۹۴ ^c	۱۳۸/۱ ^c	۲/۲۱	۰/۳۵	۲/۰۵	۱۴۶/۳۸	۳۷/۵۰
۶۵۰	۵۸/۰۶ ^b	۱۴۴/۱ ^b	۲/۱۰	۰/۳۲	۲/۰۸	۱۴۵/۴۲	۳۷/۳۵
۸۰۰	۶۴/۲۷ ^a	۱۴۹/۳ ^a	۱/۷۹	۰/۳۳	۲/۰۷	۱۴۵/۵۰	۳۷/۸۱
LSD (5%)							
شاهد	۶۵/۱ ^a	۱۵۱/۲ ^a	۱/۸۸	۰/۲۶	۱/۵۱	۱۱۲/۲ ^b	۳۵/۴۲
محلول پاشی	۴۵/۲ ^b	۱۳۱/۸ ^b	۲/۳۸	۰/۴۴	۲/۶۵	۱۷۸/۸ ^a	۳۹/۸۲

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

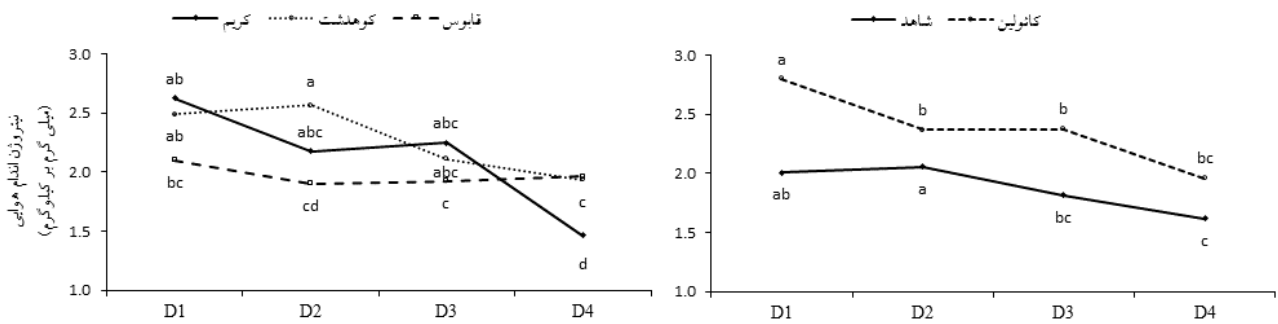
ادامه جدول ۴-

تیمارها	نیتروژن دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	کربوهیدرات دانه	پروتئین دانه	آهن دانه	روی دانه
	(درصد)		(درصد)		(میلی گرم بر کیلوگرم)		
کریم	۲/۱۶ ^b	۰/۳۷۶ ^b	۰/۴۹	۷۳/۵۹	۱۲/۶۷ ^b	۶۰/۵۶ ^b	۵۳/۶۹ ^b
کوهدشت	۲/۲۵ ^a	۰/۳۹۵ ^a	۰/۵۰	۷۲/۴۴	۱۲/۹۵ ^a	۶۲/۵۹ ^a	۵۵/۵۲ ^a
قابوس	۲/۱۵ ^b	۰/۴۰۲ ^a	۰/۵۰	۷۲/۸۸	۱۲/۹۹ ^a	۶۱/۱۵ ^{ab}	۵۵/۲۷ ^a
LSD (5%)							
۳۵۰	۲/۵۷ ^a	۰/۳۹	۰/۵۲۴ ^a	۶۷/۷ ^c	۱۳/۲ ^a	۶۳/۷ ^a	۵۵/۴۴
۵۰۰	۲/۲۴ ^b	۰/۳۹	۰/۵۰۶ ^b	۷۱/۵ ^b	۱۲/۸ ^b	۶۳/۳ ^a	۵۴/۷۳
۶۵۰	۲/۰۱ ^c	۰/۳۹	۰/۴۹۲ ^c	۷۵/۶۶ ^{ab}	۱۲/۶ ^b	۶۰/۸ ^b	۵۴/۹۵
۸۰۰	۱/۹۲ ^c	۰/۴۰	۰/۴۵۵ ^d	۷۶/۹ ^a	۱۲/۷ ^b	۵۷/۸ ^c	۵۵/۵۵
LSD (5%)							
شاهد	۱/۸۸ ^b	۰/۳۴ ^b	۰/۵۰	۶۰/۷۷ ^b	۵۰/۹۵ ^b	۶۰/۷۷ ^b	۵۰/۹۵ ^b
محلول پاشی	۲/۴۹ ^a	۰/۴۳ ^a	۰/۴۹	۶۲/۱۰ ^a	۵۹/۳۷ ^a	۶۲/۱۰ ^a	۵۹/۳۷ ^a

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

در هکتار) نسبت به شاهد (تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۱ چپ). ملاحظه می‌شود که رقم کریم بیشترین و رقم کوهدشت کمترین حساسیت به تراکم از نظر

ارقام مورد بررسی گردید (جدول ۴). در ارقام کریم، کوهدشت و قابوس به ترتیب ۴۴/۳، ۲۲/۱ و ۶/۶ درصد کاهش در میزان نیتروژن اندام هوایی در بیشترین تراکم (تراکم ۸۰۰ هزار بوته



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تراکم (چپ) و تراکم × کاتولین (راست) بر نیتروژن اندام هوایی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

برسد (شکل ۳). در حالیکه در دو رقم کوه‌دشت و قابوس بسته به میزان تراکم، واکنش‌ها متفاوت بود. واکنش متفاوت ارقام به تراکم بیانگر تفاوت ژنتیکی ارقام در تحمل تنش خشکی ناشی از تراکم بالا و رقابت بین بوته‌ها بر سر دیگر منابع از جمله عناصر غذایی است.

میزان آهن اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاتولین قرار گرفت (جدول ۳). میزان آهن موجود در اندام هوایی تحت تأثیر کاربرد کاتولین ۴۲ درصد نسبت به عدم کاربرد کاتولین افزایش یافت (جدول ۴).

در میان ارقام، بیشترین میزان نیتروژن و آهن دانه متعلق به رقم کوه‌دشت بود که میزان نیتروژن به ترتیب ۳/۹ و ۴/۳ درصد و میزان آهن به ترتیب ۳/۲ و ۲/۳ درصد نسبت به ارقام کریم و قابوس برتری داشت، اما بیشترین میزان فسفر و روی دانه به رقم قابوس تعلق داشت که میزان فسفر به ترتیب ۶/۴ و ۱/۹ درصد و میزان روی به ترتیب ۴/۶ و ۱/۳ درصد از ارقام کریم و کوه‌دشت برتر بود (جدول ۴).

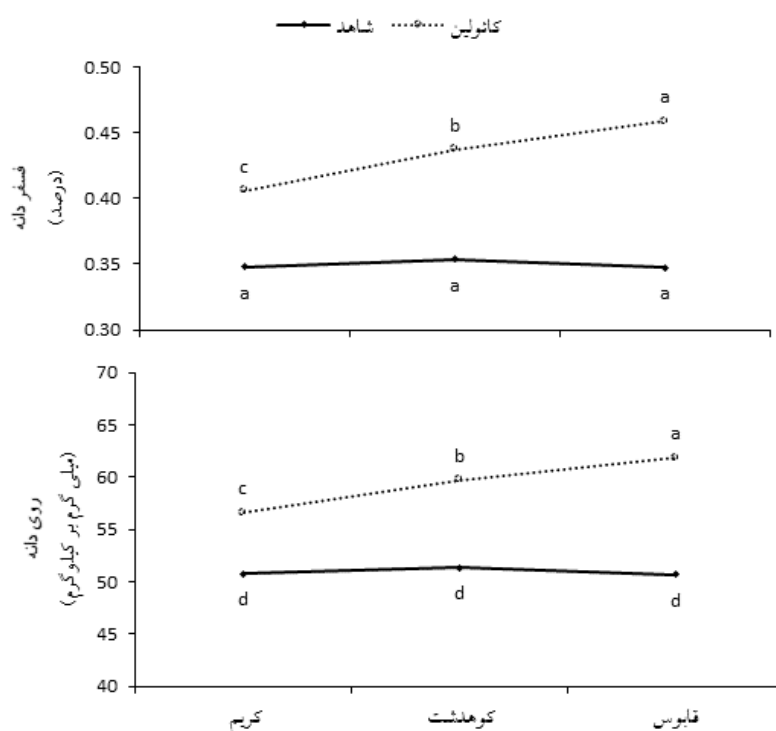
در بررسی اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی کاتولین، میزان فسفر و روی دانه در هر سه رقم با محلول‌پاشی کاتولین افزایش یافت، هرچند واکنش ارقام به محلول‌پاشی کاتولین متفاوت بود. افزایش میزان فسفر در ارقام کریم، کوه‌دشت و قابوس به ترتیب ۱۴/۳، ۱۹/۱ و ۲۴/۳ درصد، و افزایش میزان روی دانه در این ارقام به ترتیب ۱۰/۳، ۱۴/۰ و ۱۸/۰ درصد نسبت به عدم کاربرد کاتولین بود (شکل ۲). تفاوت میان ارقام در واکنش به محلول‌پاشی کاتولین ناشی از اثر ژنتیک است.

جذب نیتروژن اندام هوایی نشان دادند که ناشی از تفاوت ژنتیکی میان ارقام است.

در سطوح مختلف تراکم، میزان نیتروژن، پتاسیم و آهن دانه با افزایش تراکم کاشت به دلیل تنش خشکی بیشتر ناشی از رقابت بین بوته‌ها کاهش یافت، بطوریکه در بیشترین تراکم (۸۰۰ بوته در مترمربع)، به ترتیب ۲۵/۱، ۱۳/۱ و ۹/۲ درصد نسبت به شاهد (۳۵۰ بوته در مترمربع) کاهش نشان داد (جدول ۴).

محلول‌پاشی کاتولین موجب افزایش جذب تمامی عناصر ضروری مورد مطالعه در اندام هوایی شد (جدول ۴). واکنش نیتروژن به کاربرد کاتولین در تراکم‌های مختلف متفاوت بود، بطوریکه افزایش جذب نیتروژن ناشی از کاربرد کاتولین در کمترین تا بیشترین تراکم به ترتیب ۲۸/۳، ۱۳/۰، ۲۳/۵ و ۱۷/۵ درصد نسبت به شاهد، عدم کاربرد کاتولین بود (شکل ۱ راست). به عبارتی کاربرد کاتولین موجب تعدیل اثر تنش خشکی ناشی از افزایش تراکم بوته در شرایط دیم در کاهش جذب نیتروژن در اندام هوایی گندم گردید.

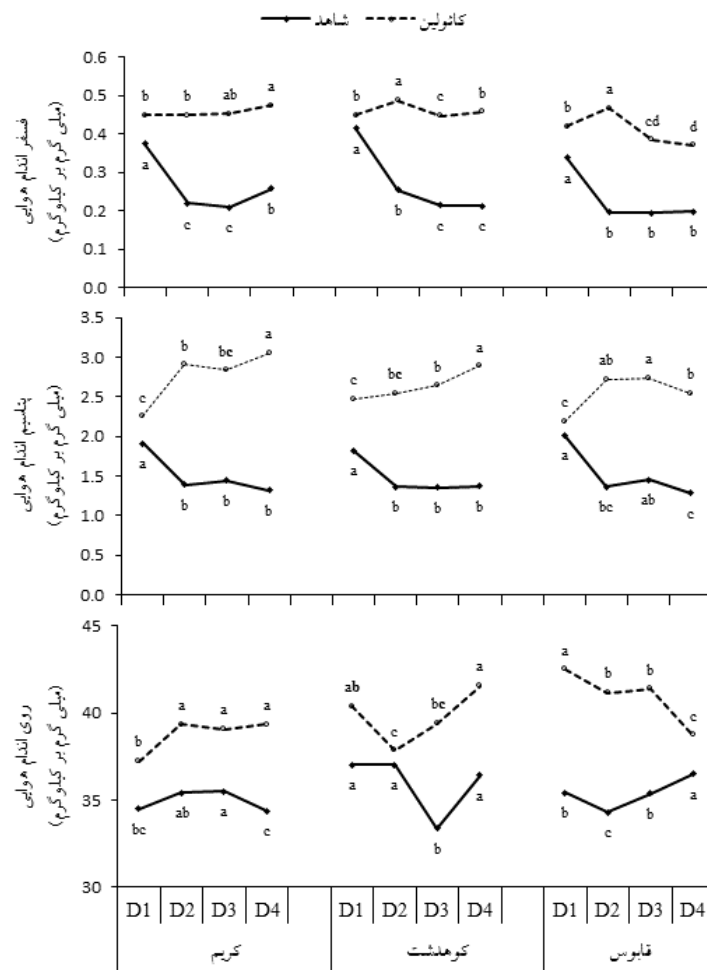
محلول‌پاشی کاتولین، میزان نیتروژن، فسفر، آهن و روی دانه را به ترتیب ۲۴/۶، ۱۹/۴، ۲/۱ و ۱۴/۲ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش داد، در حالیکه موجب کاهش ۱/۹ درصدی میزان پتاسیم دانه شد (جدول ۴). در رقم کریم، کاربرد کاتولین سبب شد که با افزایش تراکم، جذب فسفر، پتاسیم و روی افزایش یابد در تراکم ۸۰۰ هزار بوته در هکتار به افزایش به ترتیب ۲۱/۱، ۳۷/۲ و ۱۲/۳ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی کاتولین در کمترین تراکم)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × کائولین بر فسفر و روی دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

روی و آهن از جمله مهم‌ترین عناصر ضروری کم مصرف هستند که کمبود آنها مشکل بحرانی مهمی در گیاهان، به‌ویژه در شرایط تنش ایجاد می‌کند (Babaei *et al.*, 2017). روی و آهن از اجزای مهم بسیاری از آنزیم‌های زنده مانند گلوتامات دهیدروژناز (GDH)، کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) هستند و همچنین در سنتز کلروفیل، ایندول-۳-استیک اسید (IAA) (Li *et al.*, 2006; Jeong and Connolly, 2009)، و در تشکیل ساختار پروتئین‌ها، غشا و پروتئین‌های دی ان ای- باند مشارکت دارند (Aravind and Prasad, 2004). Cakmak (۲۰۰۸) بیان داشت که تنش کمبود روی ممکن است مانع فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شود. انتقال زیاد عناصر غذایی به دانه موجب پیری زودرس برگ‌ها می‌شود و پیری زودرس می‌تواند باعث افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات از ساقه به دانه در گندم زمستانه شود (Yang *et al.*, 2019). همچنین، کاهش انتقال عناصر غذایی از بافت‌های رویشی به دانه موجب انباشت بیش از حد عناصر غذایی در

جذب عناصر در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (سیروس مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳) و کاربرد مواد ضدتعرق به‌طور قابل توجهی موجب افزایش غلظت عناصر می‌گردد (Brito *et al.*, 2010; Javan *et al.*, 2019). اصلانی و همکاران (۱۳۹۰) کاهش معنی‌داری را در میزان فسفر برگ گیاه ریحان با افزایش دور آبیاری از چهار روز به ۱۲ روز گزارش کردند. در میان عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به‌عنوان دو عنصر پرمصرف دارای نقش اساسی و مهم در رشد گیاه است (سیروس مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳). وجود مقدار کافی پتاسیم با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفت آب دارد در شرایط تنش آبی سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Daneshian *et al.*, 2002). احتمالاً علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقب آن کاهش جذب توسط ریشه‌های گیاه باشد (Arazmjou *et al.*, 2009).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تراکم × کائولین بر فسفر، پتاسیم و روی اندام هوایی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۳).

با افزایش تراکم بوته بر میزان کربوهیدرات‌های دانه افزوده شد و تا حدی از تراکم، میزان پروتئین دانه کاهش یافت. میزان کربوهیدرات‌های دانه در بیشترین تراکم (۸۰۰ هزار بوته در هکتار) ۱۱/۹ درصد نسبت به شاهد (۳۵۰ هزار بوته در هکتار) افزایش نشان داد، درحالی‌که با افزایش تراکم تا ۶۵۰ هزار بوته در هکتار از میزان پروتئین تا ۴/۳ درصد نسبت به شاهد کاسته شد (جدول ۴). کاهش قابل ملاحظه غلظت پروتئین در شرایط تنش شدید می‌تواند به کاهش زیر واحدهای رویسکو و افزایش اکسیداسیون پروتئین مرتبط باشد (Tahkokorpi, 2010).

محلول‌پاشی کائولین موجب افزایش ۵/۸ درصدی

اندام‌های رویشی و در نتیجه کاهش کارایی استفاده از عناصر غذایی و کاهش عملکرد می‌گردد (Chen et al., 2014). همچنین، Ciampitti و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تمام کارایی‌های داخل گیاه با افزایش جذب عناصر غذایی بهبود می‌یابند، اما با افزایش تراکم گیاه کاهش پیدا می‌کنند.

میزان کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه: میزان کربوهیدرات‌های دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل دوگانه تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل سه‌گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت. همچنین، اثرات ساده رقم، تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و اثرات متقابل دوگانه رقم × تراکم کاشت و تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل سه

هزار بوته در هکتار (۲۲/۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد (تراکم ۳۵۰ هزار بوته در هکتار و بدون محلول پاشی کائولین) بود (شکل ۴، پایین).

غلظت پروتئین‌های محلول در اثر تنش خشکی به‌علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کاهش سنتز پروتئین کاهش می‌یابد (Ranjan et al., 2017). در آزمایشی اثر متقابل تنش و ژنوتیپ بر میزان پروتئین محلول معنی‌دار بود و با افزایش شدت تنش در برخی از ژنوتیپ‌های گندم کاهش و در برخی افزایش پیدا کرد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایش دیگری، افزایش شدت تنش تا سطح ملایم تأثیری در تجمع پروتئین دانه نداشت و افزودن مواد پلی‌میری جاذب رطوبت نیز بی‌تأثیر بود، اما با اعمال تنش شدید خشکی پروتئین دانه افزوده شد و کاربرد پلیمر میزان پروتئین دانه را کاهش داد (کازمی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش در پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی پیش از این گزارش شده است (Ahmadian et al., 2021). کارآیی بالای انتقال مجدد عناصر غذایی از بافت‌های رویشی به دانه منجر به پیری زودرس برگ‌ها می‌شود، به‌طوری‌که انتقال مجدد بیش از حد فسفر از برگ در طول دوره پرشدن دانه، مانع فسفوریلاسیون نوری و متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه در برنج می‌گردد (Wei et al., 2017).

با توجه به همبستگی منفی میان میزان کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه (Abdel-Aziz et al., 2016)، به‌نظر می‌رسد تغییر در میزان کربوهیدرات‌های دانه به میزان جذب نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه تحت تأثیر وضعیت آب بستگی دارد. محلول پاشی کائولین بسته به رقم توانست با افزایش میزان نیتروژن و در نتیجه پروتئین دانه، میزان کربوهیدرات‌های دانه را کاهش دهد.

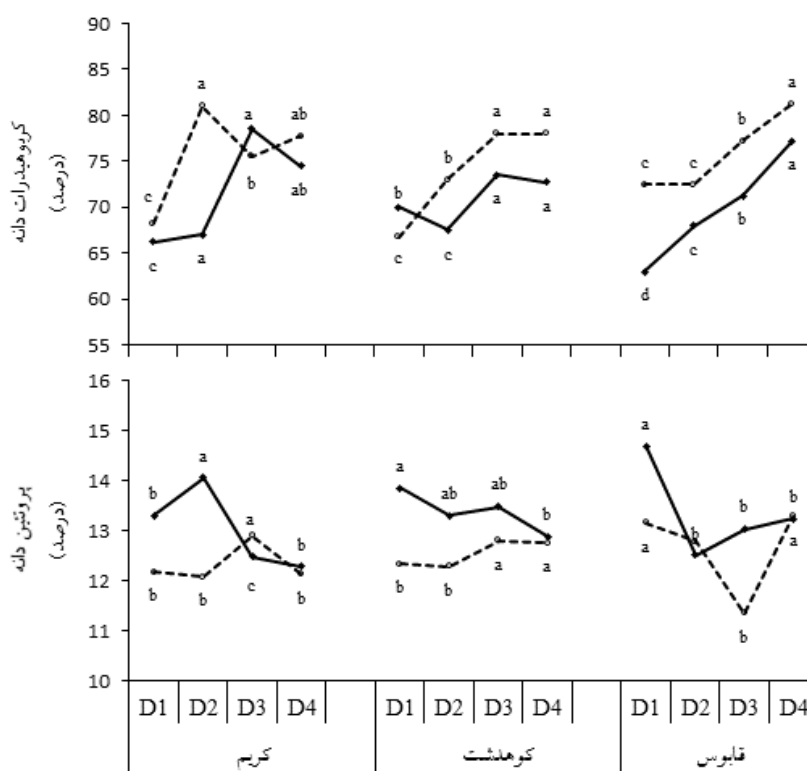
روند تغییرات عملکرد دانه و آنزیم‌های پلی‌فنول

اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی: روند تغییرات عملکرد دانه گندم تحت تأثیر سطوح مختلف تراکم بوته نشان داد که عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته از یک رابطه چندجمله‌ای معنی‌دار ($R^2 = 0.91^{**}$) پیروی نمود، بطوریکه با افزایش تراکم

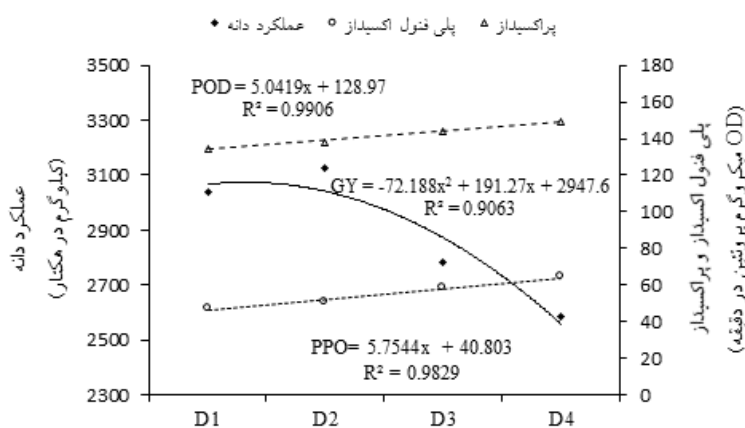
کربوهیدرات‌های دانه، اما کاهش ۵/۷ درصدی پروتئین دانه شد (جدول ۴). در هر دو تیمار محلول پاشی و عدم محلول پاشی کائولین، عمدتاً با افزایش تراکم بر میزان کربوهیدرات‌های دانه افزوده شد، هر چند واکنش ارقام به تراکم متفاوت بود. بیشترین افزایش در میزان کربوهیدرات‌های دانه (۲۲/۵ درصد) از رقم کریم با محلول پاشی کائولین در تراکم ۸۰۰ هزار بوته در هکتار نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول پاشی کائولین در کم‌ترین تراکم) در این رقم بدست آمد (شکل ۴ بالا). بیشترین افزایش در پروتئین دانه (۲۲/۷ درصد) از رقم کریم در تیمار شاهد (بدون محلول پاشی کائولین در کم‌ترین تراکم) نسبت به تیمار محلول پاشی کائولین در تراکم ۶۵۰ هزار بوته در هکتار در همین رقم بدست آمد (شکل ۴ پائین).

افزایش در کربوهیدرات‌های دانه در شرایط تنش خشکی را به پروسه‌های متابولیکی کربوهیدرات‌ها مرتبط با بیوستز نشاسته در طول دوره پرشدن دانه نسبت داده‌اند (Mushtaq et al., 2008). دلیل افزایش کربوهیدرات‌های دانه را می‌توان به افزایش فتوسنتز و تخصیص مقدار بیشتر اسیمیلات به دانه ناشی از محلول پاشی کائولین نسبت داد (Glass and Kadir, 2000; Gaballah and Abou-Leila, 2005). کائولین تشعشع فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدودی مانع از عبور اشعه مادون قرمز و ماوراءبنفش می‌گردد و از اختلال در چرخه فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممانعت می‌کند (Glass and Kadir, 2005).

ارقام از نظر میزان پروتئین دانه تفاوت داشتند و واکنش متفاوتی به تراکم و محلول پاشی کائولین نشان دادند. میزان پروتئین رقم قابوس به‌ترتیب ۲/۵ و ۰/۳ درصد بیشتر از ارقام کریم و کوه‌دشت بود (جدول ۴). در تیمار محلول پاشی کائولین، میزان پروتئین دانه در دو رقم کوه‌دشت و قابوس با افزایش تراکم کاهش یافت، اما در رقم کریم در تراکم ۵۰۰ هزار بوته در هکتار بیشترین بود و سپس روند کاهشی نشان داد. بیشترین کاهش پروتئین دانه در اثر محلول پاشی کائولین در ارقام کریم و کوه‌دشت از تراکم ۵۰۰ هزار بوته در هکتار (به‌ترتیب ۹/۲ و ۱۱/۴ درصد)، و در رقم قابوس از تراکم ۶۵۰



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تراکم × کانولین بر کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.



شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه و آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز (PPO) و پراکسیداز (POD) در سطوح مختلف تراکم بوته گندم. D1 الی D4: به ترتیب تراکم ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع

مثبت (به ترتیب $R^2 = 0.99^{**}$ و $R^2 = 0.98^{**}$) پیروی نمود (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که رقابت میان بوته‌ها بر سر منابع به‌ویژه آب در تراکم‌های بالاتر از ۵۰۰ بوته در مترمربع تشدید شده که کاهش در عملکرد دانه را به‌همراه داشت، هر

از ۳۵۰ به ۵۰۰ بوته در مترمربع تغییر معنی‌داری نداشت ولی با افزایش بیشتر تراکم کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۵). اما روند تغییرات آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی با افزایش تراکم بوته از یک رابطه خطی معنی‌دار و

نتایج حاصل از این آزمایش در مجموع نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ارقام گندم از تراکم ۵۰۰ بوته در مترمربع بدست آمد و تنش خشکی حاصل از تراکم‌های بالاتر در شرایط دیم، علی‌رغم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، موجب کاهش عملکرد دانه گردید. رقم کوهدشت با بیشترین میزان عناصر نیتروژن، فسفر، آهن و روی و پروتئین دانه نسبت به دو رقم دیگر، غنی‌ترین دانه را داشت. محلول‌پاشی کائولین موجب تعدیل تنش خشکی ناشی از تراکم‌های بالا شد و با افزایش جذب عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه، غنی‌سازی دانه را بهبود بخشید، هر چند واکنش ارقام در تراکم‌های مختلف متفاوت بود.

چند، با تشدید تنش خشکی ناشی از افزایش تراکم بوته، گیاه سعی نمود دفاع آنتی‌اکسیدانی خود را با افزایش آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی جهت تعدیل خسارات تنش خشکی (Rezayian *et al.*, 2020) بهبود بخشد. نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Behboudi *et al.*, 2019) و کاهش عملکرد دانه (Safar-Noori *et al.*, 2018) در گندم در اثر تنش خشکی است، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

منابع

- اصلانی، ز.، حسنی، ع.، رسولی صدقیانی، م. ح.، سفیدکن، ف. و برین، م. (۱۳۹۰) تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* L.) و (*Glomus intraradices* L.) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. تحقیقات گیاهان داوریی و معطر ایران ۲۷: ۴۸۶-۴۷۱.
- امینی، ز. و حداد، ر. (۱۳۹۲) نقش رنگیزه‌های فتوستتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیداسیون. مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۶: ۲۵۱-۲۶۵.
- توکلی حسنکو، ح.، عبادی، ع. و جهانبخش، س. (۱۳۹۴) بررسی برخی از سازوکارهای تحمل به تنش کم آبی در ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.). فصلنامه تحقیقات غلات ۴: ۲۵-۱۳.
- سیروس مهر، ع. ر. و روشن ضمیر، ف. (۱۳۹۳) تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه زراعت پژوهش و سازندگی ۱۰۵: ۱۳۴-۱۴۰.
- کاظمی، م. ر.، قوشچی، ف. و کسرای، پ. (۱۳۹۵) بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گندم در شرایط تنش کم‌آبی. فصلنامه پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر ۱۳: ۴۲-۶۷.
- Abdel-Aziz, H., Hasaneen, M. N. and Omar, A. (2018) Effect of foliar application of nano chitosan NPK fertilizer on the chemical composition of wheat grains. *Egyptian Journal of Botany* 58: 87-95.
- Abdel-Fattah, G. H. (2013) Response of waterstressed rose of China (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) plant to treatment with calcium carbonate and vapor gard antitranspirants. *Journal of Applied Science and Research* 9: 3566-3572.
- Arazmjo, A., Heidari, M., Ghanbari, A., Siahars, B. and Ahmadian, A. (2009) Effects of three types of fertilizers on essential oil, photosynthetic pigments, and osmoregulators in chamomile under drought stress. *Environmental stresses in Crop Sciences (ESCS)* 3: 23-33
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H. and Kazemian, A. (2020) Agricultural statistics. Ministry of jihad agriculture, deputy of planning and economy. Information and Communication Technology Center 1. (In Persian with English Summary).
- Ahmadian, K., Jalilian, J. and Pirzad, A. (2021) Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 244.
- Aravind, P. and Prasad, M. N. V. (2004) Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a freshwater macrophyte. *Plant Science* 166: 1321-1327.
- Babaei, K., Sharifi, R. S., Pirzad, A. and Khalilzadeh, R. (2017) Effects of bio fertilizer and nano zn-fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions* 12.

- Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassaei, M., Modares Sanavi, S. A. M. and Sorooshzadeh, A. (2018) Improving growth and yield of wheat under drought stress via application of SiO₂ nanoparticles. *Journal of Agricultural Science and Technology* 20.
- Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J. and Correia, C. (2019) Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae (Amsterdam)* 250.
- Cakmak, I. (2008) Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302: 1-17.
- Cha-um, S. and 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: 51-58.
- Chen, Q., Mu, X., Chen, F., Yuan, L. and Mi, G. (2016) Dynamic change of mineral nutrient content in different plant organs during the grain filling stage in maize grown under contrasting nitrogen supply. *European Journal of Agronomy* 80: 137-153.
- Chen, Y., Xiao, C., Chen, X., Li, Q., Zhang, J., Chen, F. and Mi, G. (2014) Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize. *Field Crops Research* 159: 1-9.
- Chen, Y., Xiao, C., Wu, D., Xia, T., Chen, Q., Chen, F. and Mi, G. (2015) Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy* 62: 79-89.
- Ciampitti, I. A., Murrell, S. T., Camberato, J. J., Tuinstra, M., Xia, Y., Friedemann, P. and Vyn, T. J. (2013) Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and N stress factors: I. Vegetative phase. *Crop Science* 53: 2105-2119.
- Daneshian, J., MajidiHrvan, A. and Jonoubi, P. (2002) The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of Soybean. *Journal of Agriculture Science* 8: 108-95.
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabi, Y., Royo, C. and Garcia del moral, L. F. (2007) Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum aestivum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research* 103: 25-35.
- FAO (2018) <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Gaballah, M. S. and Abou-Leila, B. (2000) The response of flax (*Linum usitatissimum* L.) plant grown under saline condition to gypsum application in addition to kaolin spray. *Egyptian Journal of Applied Science* 15: 326-331.
- Glenn, D. M. and Puterka, G. J. (2005) Partide films: A new technology for agriculture. *Horticultural Reviews* 31: 1-44.
- Ghorbanli, M. and Niakan, M. (2006) The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). *Materials and Energy* 18: 537-550.
- Glass, B. and Kadir, S. (2005) Evaluation of anti transpiration on strawberry plants under high temperatures. *Honors Project* 41: 421-431.
- Hiltbrunner, J., Streit, B. and Lidgens, M. (2007) Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover? *Field Crop Research* 102: 163-171.
- Javan, M., Tajbakhsh, M. and Abdollahi, B. (2010) The effects of some antitranspirants on plant traits, yield and yield components in soybean (*Glycine max* L.) under limited irrigation. *Journal of Applied Life Sciences* 70-74.
- Jeong, J. and Connolly, E. L. (2009) Iron uptake mechanisms in plants: Functions of the FRO family of ferric reductases. *Plant Science* 176: 709-714.
- Kattlewell, P. S., Heath, W. L. and Haigh, I. M. (2010) Yield enhancement of droughted wheat by film antitranspirant application. *Agricultural Science* 3: 143-147.
- Kazempoor, S. and Tajbakhsh, M. (2002) Effect of some antitranspirants on vegetative characteristics, yield and yield components of maize under limited irrigation. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 33: 211-205.
- Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and 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 Interactions* 11: 130-137
- 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.
- 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.
- Latocha, P., Ciechocinska, M., Pietkiewicz, S. and Kalaji, M. K. (2009) Preliminary assessment of antitranspirant Vapor Gard influence on *Actinidia arguta* growing under drought stress conditions. *Annals of Warsaw University of Life Sciences* 30: 149-150.
- Li, W. Y. F., Wong, F. L., Tsai, S. N., Tsai, S. N., Phang, T. H., Shao, G. H. and Lam, H. M. (2006) Tonoplast-located GmCLC1 and GmNHX1 from soybean enhance NaCl tolerance in transgenic bright yellow (by)-2 cells. *Plant Cell Environment* 29: 1122-1137.

- Liu, H. P., Yu, B. J., Zhang, W. H. and Liu, Y. L. (2005) Effect of osmotic stress on the activity of Ht ATPase and the levels of covalently and non-covalently conjugated polyamines in plasma membrane preparation from wheat seedling roots. *Plant Science* 168: 1599-1607.
- Lloveras, J. J., Manent, J., Viudas, A. and Santiveri, P. (2004) Seedling rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate. *Agronomy Journal* 96: 1258-1265.
- Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives in Biochemistry and Biophysics* 444: 139-158.
- MacAdam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fescue. *Plant Physiology* 99: 872-878.
- Masoud, A. A. B. (2012) Impact of some antitranspirants on yield and fruit quality of hamawy apricot trees grown in sandy soils. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 8: 78-82.
- Misra, A. and Sricastava, N. K. (2005) Influence of water stress on Japanese mint. *Plant physiology* 57: 136-143.
- Mushtaq, R., Katiyar, S. and Bennett, J. (2008) Proteomic analysis of drought stress-responsive proteins in rice endosperm affecting grain quality. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 11: 227-232.
- Ranjan, M., Frank van, D., Reinhard, D., Soojung, O., Noo Li, J., Sung Sik, L. and Matthias, P. (2017) Protein kinase C and calcineurin cooperatively mediate cell survival under compressive mechanical stress. *The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 114: 13471-13476.
- Ren, H., Cheng, Y., Li, R., Yang, Q., Liu, P., Dong, S. and Zhao, B. (2020) Integrating density and fertilizer management to optimize the accumulation, remobilization, and distribution of biomass and nutrients in summer maize. *Scientific Reports* 10: 1-12.
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H. and Niknam, V. (2020) Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 1122-1132.
- Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. (2007) *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*. ICARDA.
- Safar-Noori, M., Assaha, D. V. M. and Saneoka, H. (2018) Effect of salicylic acid and potassium application on yield and grain nutritional quality of wheat under drought stress condition. *Cereal Research Communications* 46.
- Samadi, A. and Faramarzi, A. (2014) Effects of anti-transpiration spraying and irrigation cutting off on yield and yield components of sunflower hybrid of Farrokh as second crop at Miyaneh region, Iran. *Agroecology Journal* 10: 47-59. (In Persian with English Summary).
- Tahkokorpi, M., Taulavuori, K., Laine, K. and Taulavuori, E. (2010) After-effects of drought-related winter stress in previous and current year stems of *Vaccinium myrtillus* L. *Environmental and Experimental Botany* 61: 85-93.
- Tian, X. and Li, Y. (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum* 50: 775-778.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001) Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: Physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae* 560: 285-292.
- Wei, H., Meng, T., Li, C., Xu, K., Huo, Z., Wei, H. and Dai, Q. (2017) Comparisons of grain yield and nutrient accumulation and translocation in high-yielding japonica/indica hybrids, indica hybrids, and japonica conventional varieties. *Field Crops Research* 204: 101-109.
- Wood, G. A., Welsh, J. P., Godwin, R. J., Taylor, J. C., Eral, R. and Knight, S. M. (2003) Real-time measures of canopy size as basis for spatially varying nitrogen application to winter wheat sown at different seed rates. *Engineering* 84: 513-531.
- Yadav, S. K. and Kumar, A. (1998) Effect of some antitranspirants on water relation, N R-activity and seed yield of rabi maize under limited irrigation. *Indian Journal of Agricultural Research* 32: 57-60.
- Yang, D., Cai, T., Luo, Y. and Wang, Z. (2019) Optimizing plant density and nitrogen application to manipulate tiller growth and increase grain yield and nitrogen-use efficiency in winter wheat. *PeerJ* 7.
- Yigitarslan, U. (2010) Effect of kaolin application of yield, yield components and grain quality in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Master thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences. Department of Field Crops, Ankara, Turkey.
- Zhou, X. and Deng, X. (2011) Effect of post-drought rewatering on leaf photosynthetic characteristics and antioxidation in different wheat genotypes. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 27: 278-285.

Effect of plant density and kaolin on yield and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed condition

Amin Rashidian¹, Masoud Rafiee^{2*}, Ali Khorgami¹, Reza Mir Derikvand¹ and Saied Hossein Vafaiee³

¹Department of Agriculture, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

²Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREO, Khorramabad, Iran

³Department of Plant Protection, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

(Received: 28/07/2021, Accepted: 23/10/2021)

Abstract

In order to investigate the effect of plant density and foliar application of kaolin on rainfed wheat cultivars, a factorial-split plot study was conducted in a RCBD with four replications under rainfed conditions in Kuhdasht. Plant density factor viz. 350, 500, 650 and 800 plants per square meter and cultivar factor including three dryland wheat cultivars Karim, Kuhdasht and Qaboos as factorial in main plots and kaolin foliar application in two levels of non-application and application of Kaolin were placed in sub-plots. The results showed that with increasing plant density, the amount of polyphenol oxidase and peroxidase antioxidants (26.2% and 9.1%, respectively) as well as grain carbohydrates (11.9%) increased, whereas the amount of grain protein (4.3%) decreased, at the highest density compared to the control. The amount of nitrogen, potassium and iron in the grain decreased with increasing plant density. The highest amount of phosphorus, zinc and grain protein belonged to Qaboos cultivar, so that in Qaboos cultivar the amount of phosphorus was 6.4% and 1.9%, respectively, at the same time, the amount of zinc was 4.6% and 1.3%, respectively, and the amount of protein was 2.5% and 0.3%, respectively, more than Karim and Kuhdasht cultivars. Foliar application of kaolin increased the uptake of all essential elements studied in the shoot and the amount of nitrogen, phosphorus, iron, zinc and carbohydrates in the grain; but reduced the antioxidants of the shoot and the amount of potassium and protein in the grain compared to the non-use of kaolin. In total, Qaboos cultivar at a density of 500 plants per square meter with the use of kaolin was recommended as the best treatment for grain production and enrichment at Kuhdasht region.

Keywords: Antioxidants, Grain protein, Kaolin, Rainfed, Wheat.

Corresponding author, Email: rafieemasoud@yahoo.com