دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین‌های F_5 گندم تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل

سعید عمرانی[۱]، احمد ارزانی[۲]، محسن اسماعیل‌زاده مقدم[۳] و توحید نجفی میرک[۳]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (نویسنده مسوول: a_arzani@iut.ac.ir)
۳- بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۷
صفحه: ۱۱۷ تا ۱۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش خشکی شایع‌ترین و مهمترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی است. با توجه به معضل کمبود بارندگی یا خشکسالی‌های پیاپی سال‌های اخیر در ایران و در نتیجه کمبود آب آبیاری در کشت گندم، آگاهی از روابط صفات مرتبط با کیفیت دانه با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی برای شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی حائز اهمیت است. بنابراین مطالعه حاضر به ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر کیفیت دانه ۱۰۴ لاین F_5 حاصل از تلاقی دو رقم گندم نان (برات × نوگال) پرداخته است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور مطالعه تاثیر تنش خشکی بر صفات مرتبط با کیفیت دانه گندم ۱۰۴ لاین F_5، در دو شرایط تنش خشکی و معمول (شاهد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ارزیابی شدند. صفات عملکرد دانه، عملکرد پروتئین دانه، سختی دانه، عدد زلنی، محتوای پروتئین، حجم نان، محتوای گلوتن و شاخص گلوتن مورد مطالعه قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات در دو شرایط محیطی تنش و معمول، حاکی از وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار در لاین‌های مورد بررسی برای این صفات بود. ضمن اینکه تاثیر تنش و اثر متقابل لاین× تنش بر همه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات در لاین‌ها نشان داد که صفات کیفی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش میزان پروتئین و سختی دانه بهبود یافته است. لاین‌های ۱۰، ۵۲، ۵۴، ۶۸ و ۷۱ با ۱۳ درصد در شرایط معمول و لاین‌های ۱۰، ۲۸، ۳۲، ۶۱ و ۹۳ با ۱۴ درصد در شرایط تنش خشکی بیشترین محتوای پروتئین دانه را دارا بودند. اگرچه تنش خشکی موجب محدود شدن رشد و در نتیجه عملکرد دانه گردید اما در مقابل با کاهش غلظت مواد تشکیل‌دهنده دانه موجب افزایش محتوای پروتئین، محتوای گلوتن، شاخص گلوتن و عدد زلنی گردید. از طرف دیگر محتوای پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عدد زلنی و میزان جذب آب در هر دو شرایط محیطی نشان داد.

نتیجه‌گیری: بطورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در درجه اول گزینش لاین‌های گندم برای کیفیت دانه باید بطور جداگانه در هر کدام از محیط‌های تنش خشکی و معمول انجام گیرد و در درجه دوم کیفیت دانه لاین‌های گندم در شرایط تنش خشکی برتر از شرایط معمول می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کیفیت نانوایی، پروتئین دانه، عدد زلنی، شاخص گلوتن

مقدمه

گندم معمولی یا نان (*Triticum aestivum* L.) محصولی راهبردی است که بخش قابل توجهی از کالری و پروتئین مورد نیاز روزانه جمعیت جهان را تامین می‌کند (۱). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و مرموزترین تنش‌های غیرزیستی در مقیاس جهانی به شمار می‌رود که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایران به علت دارا بودن موقعیت خاص جغرافیایی، آب و هوای مدیترانه‌ای و با متوسط نزولات ۲۴۰ میلی‌متر در سال، در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌آید (۲۶). خشکی می‌تواند در دوره‌های مختلف رشد و نمو گیاه رخ دهد و این به عنوان اساسی‌ترین عامل محدود کننده کمیت و کیفیت محصول پذیرفته شده است. در ایران، بخش قابل توجهی از بارندگی در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد و خشکی عموماً نزدیک به مرحله ظهور سنبله گندم شروع می‌شود و تأثیر آن در دوره پر شدن دانه بیشتر می‌باشد. تأثیر خشکی بر عملکرد و کیفیت دانه، به مرحله رشدی گیاه که در آن مرحله تنش رخ می‌دهد و همچنین شدت و مدت تنش بستگی دارد (۱۸). کیفیت دانه گندم از نظر ارزش غذایی و اقتصادی حائز اهمیت است و تحت تاثیر ژنوتیپ گیاه، عوامل محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قرار دارد (۱۳). خشکی در مرحله ظهور سنبله بر مدت و سرعت پر شدن دانه تأثیر می‌گذارد و اندازه و وزن دانه و در نتیجه کیفیت دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

تنش اسمزی ناشی از تنش خشکی موجب تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش مساحت برگ و دوره فتوسنتز می‌شود. بنابراین میزان جذب مواد غذائی، توزیع و در نهایت تامین نیاز غذائی و ذخیره آن در دانه را محدود می‌کند که منجر به عملکرد دانه کمتر و محتوای پروتئین دانه بیشتر می‌شود (۱۰). تنش خشکی موجب تغییر و تحول در جذب کربوهیدرات و نیتروژن دانه می‌شود که خود تغییرات قابل توجهی در ترکیبات شیمیایی دانه گندم بویژه پروتئین و محتوا و اندازه گرانول نشاسته در پی دارد (۶). ژائو و همکاران (۲۷) گزارش کردند که تنش خشکی در طول دوره پر شدن دانه با افزایش محتوای پروتئین، گلوتن، گلیادین، گلوبولین، فسفر و روی در دانه، بر کیفیت نان تأثیر مثبت گذاشته است. با توجه به اینکه عمده پروتئین ذخیره‌ای دانه گندم که درون آندوسپرم قرار دارد، از نوع گلوتن است که مهمترین عامل تعیین کننده کیفیت نانوائی است (۸). گلوتن متشکل از مجموعه‌ای پروتئین‌های گلوتینی (پلیمری) و گلیادینی (منومری) است. اگرچه خشکی پس از گرده‌افشانی باعث افزایش پروتئین دانه می‌شود، اما ممکن است سنتز زیر واحدهای پروتئینی با وزن مولکولی بالا و نسبت ماکرومولکول‌های گلوتنین را کاهش دهد (۱۱). تأثیر محیط بر کیفیت دانه گندم عمدتا ناشی از عوامل ژنتیکی است و بنابراین ژنوتیپ‌های مختلف از نظر ترکیب پروتئین واکنش متفاوتی به تنش خشکی نشان می‌دهند. اطلاعات ناقصی در رابطه با

مکانسیم‌های تحمل به خشکی در گیاهان وجود دارد، زیرا: ۱- خشکی در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه رخ می‌دهد و بنابراین تاثیر آن در کارکرد گیاه و مکانیسم‌های تحمل اختصاصی را در هر مرحله در پی دارد، ۲- عموما این تنش همراه با انواع دیگری از تنش‌های غیرزیستی نظیر گرما، شوری و دسترسی پایین به مواد غذایی اتفاق می‌افتد، که در نتیجه موجب دشواری در تفکیک تنش خشکی از سایرتنش‌ها می‌شود و ۳- مکانیسم‌ها و متابولیت‌هائی که توسط گیاهان مختلف برای تحمل انواع تنش بکار گرفته می‌شود، گوناگون است (۲۴).

گزارشات محدودی در رابطه با پاسخ کیفی ارقام گندم نان با حساسیت‌های مختلف به تنش خشکی پس از مرحله ظهور سنبله وجود دارد. اوزتورک و همکاران (۱۸) تاثیر خشکی آخر فصل را بر کیفیت دانه گندم نان در ارقام متحمل و حساس به خشکی را در شرایط مزرعه بررسی نمودند. طبق گزارش ایشان تنش خشکی موجب کاهش کمیت (عملکرد دانه) و افزایش کیفیت (محتوای پروتئین) در ارقام مورد مطالعه گردید. ماگالانز-لوپز و همکاران (۱۵) صفات کیفیتی گندم را در ارقام تجاری گندم دوروم تحت تنش خشکی بررسی کردند و در گزارش خود، کاهش عمکرد دانه و افزایش محتوای پروتئین دانه را بیان نمودند. در مطالعه‌ای دیگر، گزمن و همکاران (۹) پاسخ صفات مرتبط با کیفیت نانوایی گندم را به تنش خشکی در گندم دوروم بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که محتوای پروتئین دانه تحت شرایط تنش نسبت به شرایط عادی افزایش یافته است. شهبازی و همکاران (۲۳) کیفیت دانه در لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم را در شرایط تنش خشکی ارزیابی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که صفات کیفی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش محتوای پروتئین دانه، عدد زلنی و سختی دانه بهبود یافته است.

با توجه به معضل کمبود بارندگی یا خشکسالی‌های پیاپی سالهای اخیر و در نتیجه کمبود آب آبیاری و تنش رطوبتی در کشت دیم و همینطور جایگاه بی بدیل گندم در کشور، آگاهی از روابط صفات مرتبط با کیفیت دانه با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی برای شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی حائز اهمیت خاصی است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر کیفیت دانه ۱۰۴ لاین F_5 حاصل از تلاقی دو رقم گندم نان (برات × نوگال)، در راستای اصلاح صفات کیفی گندم نان اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی صفات مرتبط با کیفیت نانوایی نسبت به تنش خشکی انتهای فصل، از ۱۰۴ لاین F_5 حاصل از تلاقی رقم برات با نوگال استفاده شد. نوگال، رقم فرانسوی و حساس به تنش خشکی است (۲). نوگال یک رقم گندم جدید است که به طور گسترده در اروپا کشت می‌گردد (۴). برات، رقم گزینش شده از خزانه اصلاحی سیمیت و متحمل به تنش خشکی است که برای مناطق گرم و خشک جنوب ایران معرفی شده است (۱۶). رقم برات در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با شجره SLVS*2/Pastor تولید شده است (۱۶). این پژوهش در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با طول جغرافیایی E ۵۰° ۵۷′ درجه، عرض جغرافیایی N ۳۵° ۴۸′ درجه، ارتفاع ۱۲۹۲ متر از سطح دریا، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به صورت دو طرح مجزا در دو شرایط محیطی بدون تنش و تنش خشکی انجام شد. استان البرز دارای اقلیم نیمه خشک است و میانگین بارش سالانه در آن ۲۵۱ میلی‌متر می‌باشد. اطلاعات خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. طول ردیف کشت برای هر یک از لاین‌ها یک متر (دو ردیف کشت در هر طرف پشته) و فاصله پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد ۳۰ بوته در هر ردیف با فاصله تقریبی ۸ سانتی متر به صورت دستی کشت گردید. تعداد نوبت‌های آبیاری قبل از بهار، چهار نوبت و بعد از آن هر ۱۵ روز یک‌بار تا زمان ۵۰ درصد سنبله‌دهی انجام و پس از آن آبیاری به طور کامل قطع گردید.

عملیات زراعی شامل آماده سازی زمین، کشت در هفته اول آبان ماه و مراحل داشت شامل پخش کود سرک، آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و سن گندم به طور یکسان در فصل بهار برای هر دو سطح تنش انجام شد. بر اساس تجزیه و تحلیل نمونه خاک، ۳۵ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار قبل از کاشت اعمال شد. کود نیتروژن به سه قسمت تقسیم شد و در مراحل کاشت، پنجه زنی و گلدهی استفاده شد. در زمان برداشت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای ۱۰ سانتی‌متر از هر طرف ردیف کشت، برداشت صورت گرفت. پس از برداشت، بذور سه ماه در انبار نگهداری شد تا دانه‌ها از لحاظ بلوغ و کاهش رطوبت دانه به حالت پایدار درآیند (۵)، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه و پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها با آسیاب چکشی، صفات کیفی شامل جذب آب، سختی دانه، عدد زلنی، محتوای پروتئین دانه، حجم نان، محتوای گلوتن و شاخص گلوتن با استانداردهای انجمن بین المللی علوم و تکنولوژی غلات (ICC) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (آزمایشگاه واحد شیمی و تکنولوژی بخش تحقیقات غلات) اندازه‌گیری شدند. محتوای گلوتن دانه با استفاده از ۱۰ گرم آرد، پس از شستشوی آرد و جداسازی نشاسته با دستگاه گلوتن‌شور و سانتریفیوژ کردن گلوتن در ۶۰۰۰ دور در دقیقه و بر مبنای عبور گلوتن از روی تور به پشت تور، بر اساس استاندارد شماره ۱۳۷ و شاخص گلوتن براساس استاندارد شماره ۱۵۸ بدست آمد. برای ارزیابی صفات کیفی محتوای پروتئین، سختی دانه، عدد زلنی، حجم نان و جذب آب از دستگاه طیف سنج مادون قرمز (NIR-Near Infrared Spectroscopy) مدل Perten 8600 استفاده گردید.

داده‌های صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای هر سطح تنش جداگانـه و سپس بصورت مرکب، تجزیه واریانس شد. میانگین لاین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD_{0.05}$) مورد مقایسه قرار گرفتند. با تقسیم واریانس ژنوتیپی به واریانس فنوتیپی، برآوردی از وراثت‌پذیری عمومی (٪) هر صفت به دست آمد و به صورت رابطه یک نشان داده شده است.

$$H^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

ضریب تغییرات ژنوتیپی (GCV) با استفاده از واریانس ژنوتیپی و همچنین میانگین صفات ($\bar{x}$)، براساس رابطه‌های زیر محاسبه شدند.
(رابطه ۲ و ۳)

$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma_G^2}}{\bar{x}} \times 100, \qquad \sigma_G^2 = \frac{MSG - MSE}{r}$$

جدول ۱- صفات شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil chemical properties of the experimental site

محیط معمول					
(dS/m)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	
EC	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	نیتروژن	pH
۰/۸۲	۵/۲	۲۳۰	۰/۷۴	۰/۰۷	۸/۰۵
محیط تنش خشکی					
(dS/m)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	
EC	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	نیتروژن	pH
۰/۸۷	۸/۲	۲۵۰	۰/۷۸	۰/۰۸	۸/۱۱

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس در هر دو شرایط معمول و تنش خشکی، نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین لاین‌ها برای همه صفات مرتبط با کیفیت نانوایی مورد مطالعه وجود دارد (جداول ۲ و ۳)، که نشان از وجود تنوع ژنتیکی بالا در این لاین‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی است. همچنین جدول تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تنش خشکی بر تمامی صفات معنی‌دار بوده است (جدول ۴). اختلاف آماری معنی‌دار بین لاین‌ها و اثر متقابل لاین در تنش بیانگر ۱- وجود تنوع ژنتیکی بالا بین لاین‌های مورد ارزیابی و احتمالا مکانیسم‌های متفاوت آن‌ها در واکنش به شرایط تنش خشکی و ۲- روند واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در دو محیط است که نشان دهنده کارایی انتخاب در شناسایی لاین‌های مطلوب که باید در هر محیط بطور جداگانه اجرا شود، بوده است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که لاین‌های ۱۸، ۳۷، ۴۵، ۶۷، ۷۶ و ۱۰۵ با ۵۰۲/۲۰ درصد و لاین‌های ۳، ۵۰، ۷۵، ۸۸ و ۱۰۲ با ۴۱۶/۲۵ درصد در شرایط معمول به ترتیب بیشترین و کمترین حجم نان را داشتند. درحالی که در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان حجم نان مربوط به لاین‌های ۴۲، ۵۳، ۶۷، ۷۲ و ۷۸ با ۴۹۸/۹۵ درصد و کمترین میزان حجم نان را لاین ۳۴، ۳۷، ۶۵، ۷۰ و ۸۰ با ۴۰۸/۸۲ درصد دارا بودند (جدول ۵). متوسط این صفت در شرایط معمول ۴۵۶ درصد و در شرایط تنش خشکی ۴۴۸/۷۰ درصد بود. میزان جذب آب، میزان درصد آبی است که برای تهیه خمیر از آرد گندم مصرف می‌شود. هرچه آرد، آب بیشتری جذب نماید یعنی بازدهی آرد بالاتر و خمیر تولید شده دارای گلوتن قوی‌تر بوده و بهتر ور می‌آید. به طور میانگین میزان جذب آب لاین‌ها در شرایط معمول ۶۳ درصد و در شرایط تنش خشکی ۶۵/۵۰ درصد بود که تنش خشکی باعث افزایش جذب آب به صورت معنی‌دار شده است که حاکی از افزایش میزان جذب آب لاین‌ها در شرایط تنش خشکی بوده است. سختی دانه، صفتی است که بیشتر تحت کنترل ساختار ژنتیکی بوده و به همین دلیل به عنوان یک مشخصه پایدار در شناسایی لاین‌های برتر از آن نام برده می‌شود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین‌های گندم نان در شرایط معمول

Table 2. Results of analysis of variance of grain-quality traits in bread wheat lines under the normal field conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم نان	جذب آب	سختی دانه	عدد زلنی	محتوای پروتئین	محتوای گلوتن	شاخص گلوتن	عملکرد دانه	عملکرد پروتئین دانه
بلوک	۲	۸۳/۶۲**	۱/۰۴**	۶/۹۹**	۳۴/۶۷**	۰/۳۸**	۲۷/۳۹**	۳۴/۶۷**	۲۷۶۲۵۸/۷**	۶۶۳۷۷۴**
لاین	۱۰۳	۲۱۷۹/۷۹**	۱/۳۷**	۳۳۶/۱۶**	۶/۶۵**	۰/۷۸**	۹/۱۲**	۳۷۹/۳۶**	۵۶۸۵۵۷۱/۱**	۹۱۳۵۰۲۳**
اشتباه آزمایشی	۲۰۶	۴۲/۰۷	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/.۷۲	۰/۱۶	۰/۵۳	۱/۱۳	۳۳۴۶	۹۷۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۴۲	۱/۸۸	۵/۳۷	۳/۵۱	۱/۴۵	۳/۱۵	۴/۸۴	۱۰/۹۸	۶/۴۸

ns: عدم معنی‌دار بودن، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین های گندم نان در شرایط تنش خشکی
Table 3. Results of analysis of variance of grain-quality traits in bread wheat lines under drought-stress field conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم نان	جذب آب	سختی دانه	عدد زلنی	محتوای پروتئین	محتوای گلوتن	شاخص گلوتن	عملکرد دانه	عملکرد پروتئین دانه
بلوک	۲	۱۳۰/۷۳**	۱/۰۴**	۱/۰۸*	۳۴/۲۴**	۱/۸۱**	۲۸/۲۹**	۳۳/۶۲**	۱۰۷۰۱۶**	۲۴۹۸۹**
لاین	۱۰۳	۲۱۶۵/۵۳**	۰/۷۴**	۱۶/۹۹**	۷/۰۲**	۰/۷۱**	۲۱/۸۰**	۴۱۴/۸۹**	۳۵۰۴۳۵۰/۸**	۶۶۲۱۰۲۲**
اشتباه آزمایشی	۲۰۶	۱۲/۵۴	۰/۱۷	۰/۲۸	۱/۱۹	۰/۳۴	۲/۱۸	۲/۴۴	۲۲۳۱	۶۷۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۷۹	۲/۳۷	۵/۷۷	۴/۰۱	۲/۴۳	۵/۵۲	۶/۶۷	۱۱/۲۸	۷/۶۵

ns: عدم معنی‌دار بودن، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین های گندم نان در شرایط معمول و تنش خشکی
Table 4. Results of combined analysis of variance of grain-quality traits of bread wheat lines in the normal and drought-stress field conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم نان	جذب آب	سختی دانه	عدد زلنی	محتوای پروتئین	محتوای گلوتن	شاخص گلوتن	عملکرد دانه	عملکرد پروتئین دانه
تنش	۱	۵۸۱۹/۲۷**	۷۳۷/۴۰**	۴۸۰۰/۲۹**	۹۶۱/۴۸**	۱۵۵/۱۷**	۱۹۳/۰۱**	۱۵۲۶/۰۳**	۲۱۰۳۱۹۶۱۶/۵**	۱۸۲۷۳۴۱۵۱**
تکرار (تنش)	۴	۸۷/۱۷	۰/۸۷	۳/۸۲	۴۰/۴۴	۱/۲۱	۴۳/۲۲	۳۰/۲۲	۲۲۱۲۶۰	۲۸۱۲۰۹
لاین	۱۰۳	۱۳۸۷/۳۳**	۰/۹۰**	۱۵۶/۵۴**	۶/۸۱**	۰/۶۲**	۱۳/۳۵**	۳۳۴/۳۴**	۵۰۰۱۴۳۱/۷**	۸۶۸۶۳۸۹/۲**
لاین × تنش	۱۰۳	۲۱۰۶/۸۹**	۰/۷۹**	۱۲۹/۶۲**	۴/۱۲**	۰/۶۰**	۱۱/۳۹**	۳۰۱/۰۶**	۲۳۵۰۵۰۵/۸**	۳۸۸۵۸۱۱۲/۳**
باقی مانده	۳۰۹	۲۷/۶۵	۰/۲۳	۱/۳۰	۳/۴۷	۰/۳۵	۱۰/۱۱	۱۸/۲۱	۳۱۳۵/۱۷	۸۱۳/۵

ns: عدم معنی‌دار بودن، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- آمار توصیفی، برآورد وراثت پذیری عمومی و ضریب تغییرات ژنتیکی برای صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین‌های گندم نان در شرایط معمول و تنش خشکی
Table 5. Descriptive statistics, estimation of heritability and genetic coefficient of grain-quality traits of bread wheat lines in the normal and drought-stress field conditions

صفات	میانگین		حداقل		حداکثر		وراثت پذیری		ضریب ژنتیکی	
	عادی N	تنش خشکی S	عادی N	تنش خشکی S	عادی N	تنش خشکی S	عادی N	تنش خشکی S	عادی N	تنش خشکی S
حجم نان	۴۵۶/۰۰	۴۴۸/۷۰	۴۰۰	۳۹۸	۵۰۵	۵۰۱	۹۳/۱۱	۸۸/۶۳	۲/۶۳	۳/۱۰
سختی دانه	۴۳/۵۰	۴۹/۶۰	۲۳	۴۷	۵۲	۵۵	۸۴/۳۴	۷۶/۲۶	۱/۸۸	۱/۶۵
جذب آب	۶۳/۰۰	۶۵/۵۰	۶۱/۵۰	۶۳/۸۰	۶۴/۲۰	۶۶/۱۰	۹۰/۲۲	۶۸/۲۵	۲/۹۲	۳/۵۵
محتوای پروتئین	۱۲/۶۰	۱۳/۷۰	۱۲	۱۲/۹۰	۱۳/۱۰	۱۴/۱۰	۸۸/۰۶	۶۵/۴۱	۵/۷۵	۳/۸۵
عدد زلنی	۲۶/۴۰	۲۹/۴۰	۲۲	۲۵	۳۰	۳۳	۸۰/۱۲	۵۹/۱۷	۹/۰۵	۶/۳۸
محتوای گلوتن	۲۵/۷۰	۲۷/۰۰	۲۰	۲۲/۲۰	۳۰	۳۲/۲۰	۸۷/۷۱	۷۷/۶۲	۱/۱۲	۰/۷۹
شاخص گلوتن	۲۴/۹۰	۲۸/۶۰	۹	۱۱	۵۱	۵۲	۷۱/۱۴	۶۶/۵۲	۳/۲۸	۳/۰۲
عملکرد دانه (kg/ha)	۵۱۴۹/۱۰	۳۸۳۸/۱۰	۱۹۱۶/۷۰	۱۰۳۳/۳۰	۷۸۵۰/۳۰	۶۴۵۰/۱۰	۸۷/۰۳	۷۲/۹۱	۲۲/۱۱	۱۸/۶۰
عملکرد پروتئین دانه (kg/ha)	۶۵۰/۷۰	۵۲۶/۷۰	۲۳۹/۱۰	۱۴۰	۱۰۰۱	۸۸۳	۸۴/۵۴	۶۹/۹۸	۳۳/۸۱	۳۷/۱۴

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات مرتبط با کیفیت دانه لاین‌های گندم نان در شرایط معمول (پائین قطر) و تنش خشکی (بالای قطر)
Table 6. Correlation coefficients between grain-quality traits of bread wheat lines in the normal (below the diagonal) and drought-stress (above the diagonal) field conditions

صفات	حجم نان	سختی دانه	جذب آب	محتوای پروتئین	عدد زلنی	محتوای گلوتن	شاخص گلوتن	عملکرد دانه	عملکرد پروتئین دانه
حجم نان	۱	۰/۰۷^{ns}	-۰/۰۴^{ns}	۰/۰۴^{ns}	-۰/۰۱^{ns}	۰/۱۷^{ns}	-۰/۰۵^{ns}	-۰/۰۸**	-۰/۰۸**
سختی دانه	۰/۰۵^{ns}	۱	-۰/۰۷^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	-۰/۱۴^{ns}	۰/۲۲*	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۴^{ns}	-۰/۰۴*
جذب آب	-۰/۱۴^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۱	۰/۵۶**	۰/۵۱**	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۶^{ns}	-۰/۱۶**	-۰/۱۳**
محتوای پروتئین	-۰/۱۲^{ns}	-۰/۰۴^{ns}	۰/۴۳**	۱	۰/۷۶**	-۰/۱۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۴*	۰/۰۸^{ns}
عدد زلنی	۰/۰۵^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	۰/۲۲*	۰/۵۹**	۱	-۰/۰۶^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۸**	۰/۱۱**
محتوای گلوتن	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۲۵*	۱	۰/۰۸**	-۰/۱۲^{ns}	-۰/۱۳^{ns}
شاخص گلوتن	۰/۰۶^{ns}	۰/۳۰**	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۲^{ns}	۱	-۰/۲۰^{ns}	-۰/۱۹^{ns}
عملکرد دانه (kg/ha)	۰/۱۵^{ns}	-۰/۲۲*	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۳۱*	-۰/۱۲^{ns}	۱	۰/۹۶**
عملکرد پروتئین دانه (kg/ha)	۰/۱۵^{ns}	-۰/۲۲*	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۲۱*	۰/۳۲**	-۰/۱۱^{ns}	۰/۹۸**	۱

ns: عدم معنی‌دار بودن، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷- نتایج تجزیه عامل‌های صفات مورد اندازه گیری در لاین‌های F_5 گندم نان در شرایط معمول
Table 7. Results of factor analysis of measured traits in F_5 lines bread wheat under normal field conditions

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	میزان اشتراک
حجم نان	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۷۳	۰/۶۰
سختی دانه	-۰/۱۲	-۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۰۶	۰/۶۹
جذب آب	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۳۸	-۰/۶۶	۰/۷۳
محتوای پروتئین	۰/۰۱	۰/۸۰	۰/۰۴	-۰/۳۴	۰/۷۵
عدد زلنی	۰/۱۱	۰/۸۸	-۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۸۱
محتوای گلوتن	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۴۳
شاخص گلوتن	-۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۵۴
عملکرد دانه	۰/۹۸	۰/۰۴	-۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۹۸
عملکرد پروتئین دانه	۰/۹۷	۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۹۷
واریانس توجیه شده (%)	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۳	
واریانس توجیه شده تجمعی (%)	۰/۲۶	۰/۴۴	۰/۵۹	۰/۷۲	

جدول ۸- نتایج تجزیه عامل های صفات مورد اندازه گیری در لاین‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی
Table 8. Results of factor analysis of measured traits of bread wheat lines in the drought-stress field condition

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	میزان اشتراک
حجم نان	-۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۵۷	۰/۳۳
سختی دانه	۰/۰۷	-۰/۱۵	۰/۶۲	۰/۴۲
جذب آب	-۰/۲۱	۰/۸۰	۰/۰۹	۰/۶۹
محتوای پروتئین	۰/۰۱	۰/۷۹	۰/۰۱	۰/۶۳
عدد زلنی	۰/۰۱	۰/۸۱	-۰/۱۲	۰/۶۸
محتوای گلوتن	-۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۷۴	۰/۵۶
شاخص گلوتن	-۰/۳۷	۰/۲۱	-۰/۰۹	۰/۱۹
عملکرد دانه	۰/۹۸	۰/۰۳	-۰/۱۰	۰/۹۶
عملکرد پروتئین دانه	۰/۹۸	۰/۰۷	-۰/۱۰	۰/۹۷
واریانس توجیه شده (%)	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۶	
واریانس توجیه شده تجمعی (%)	۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۶۱	

با توجه به این که در این مطالعه لاین‌های متحمل به تنش خشکی حاوی پروتئین بالا دارای سختی دانه بالایی نیز بودند، احتمالا در دانه‌های سخت محتوای پروتئین در میزان سختی دانه موثر است. به طور میانگین میزان سختی دانه در شرایط معمول ۴۳/۵۰ درصد و در شرایط تنش خشکی ۴۹/۶۰ درصد بود که نشان از افزایش میزان سختی دانه در تنش خشکی می‌باشد. نتایج پژوهش رنا و همکاران (۲۰) تحت تنش خشکی در گندم نان با نتایج این مطالعه هم‌خوانی داشت.

ارزیابی عدد زلنی به منظور تعیین تاثیر تنش خشکی بر کیفیت گلوتن پروتئین و در نتیجه کیفیت نانوایی انجام گرفت (۷). نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب افزایش میانگین این صفت از ۲۶/۴۰ درصد به ۲۹/۴۰ درصد شد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵ مقایسه میانگین‌ها نشان داد که لاین‌های ۱۰، ۵۲، ۵۴، ۶۸ و ۷۱ با ۱۲/۹۶ درصد و لاین‌های ۲۰، ۲۳، ۲۴، ۲۷ و ۹۵ با ۱۲/۱۶ درصد در شرایط معمول به ترتیب بیشترین و کمترین محتوای پروتئین دانه را داشتند. درحالی که در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان پروتئین دانه مربوط به لاین‌های ۱۰، ۲۸، ۳۲، ۶۱ و ۹۳ با ۱۳/۹۴ درصد و کمترین میزان پروتئین دانه را لاین‌های ۱۴، ۴۲، ۵۰، ۶۷ و ۷۵ با ۱۳/۲۳ درصد دارا بودند. میانگین کل محتوای پروتئین دانه در شرایط معمول ۱۲/۶۰ و در شرایط تنش خشکی ۱۳/۷۰ بود. تنش خشکی موجب شد تا میانگین محتوای پروتئین۱/۱۰ درصد افزایش یابد. دامنه محتوای پروتئین دانه در شرایط معمول بین ۱۲ و ۱۳/۱۰ درصد و در شرایط تنش خشکی بین ۱۲/۹۰ و ۱۴/۱۰ درصد متغیر بود. افزایش پروتئین دانه تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش بیشتر محتوای نشاسته آندوسپرم در مقایسه با پروتئین باشد (۲۸). علاوه بر این، شرایط مطلوب محیطی (عدم تنش) پیری برگ را به تأخیر می‌اندازد و جذب نیتروژن خاک و انتقال آن از برگ‌ها را پشتیبانی می‌کند، بنابراین عملکرد دانه بیشتری با محتوای پروتئین کمتر نسبت به شرایط محیطی خشک تولید می‌کند (۲۱). همچنین، میزان تنفس بالا تحت تنش خشکی منجر به کاهش انتقال جذب به دانه‌ها شده و در نتیجه، میزان پروتئین افزایش می‌یابد (۱۲). رنا و همکاران (۲۰) و بلا و همکاران (۳) گزارش کردند که خشکی موجب افزایش ارزش نانوایی گندم در اثر افزایش میزان پروتئین دانه می‌شود. میانگین محتوای گلوتن دانه در شرایط معمول ۲۵/۷۰ درصد و در شرایط تنش خشکی ۲۷ درصد بود که نشان از افزایش ۱/۳۰ درصدی در میزان گلوتن در شرایط تنش خشکی دارد. میانگین کل صفت عملکرد دانه در شرایط معمول ۵۱۴۹/۱۰ و در شرایط تنش خشکی ۳۸۳۸/۱۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). در مطالعه حاضر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به‌طور متوسط ۲۵/۴۶ درصد کاهش یافت. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور و فتوسنتز نسبت داد (۲۳). مونوئوکس و همکاران (۱۷) و لنبانی و ارزانی (۱۴) کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گندم ناشی از تنش خشکی را گزارش نمودند، که هماهنگ با نتایج گزارش حاضر است. اوزتورک و همکاران (۱۸) نیز در شرایط تنش خشکی آخر فصل، کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه و وزن هزار دانه و افزایش در محتوای پروتئین و محتوای گلوتن در گندم نان مشاهده کردند. رنا و همکاران (۲۰) در مطالعه ژنوتیپ‌های گندم نان گزارش نمودند که در تنش خشکی نسبت به شرایط معمول میزان گلوتن افزایش یافت که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. میانگین شاخص گلوتن در شرایط معمول ۲۴/۹۰ و در شرایط تنش خشکی ۲۸/۶۰ بود. شاخص گلوتن در شرایط معمول بین ۹ و ۵۱ و در شرایط تنش خشکی بین ۱۱ و ۵۲ متغیر بوده است.

ضریب تغییرات معیار نسبی از واریانس میان صفات مختلف فراهم می‌کند. براساس جدول ۵ بالاترین ضرایب تغییرات ژنتیکی را در هر دو شرایط محیطی، صفات عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه به خود اختصاص دادند. ضریب تغییرات ژنتیکی صفات نشان می‌دهد که میزان تنوع موجود در صفات مختلف، متفاوت است. در برخی از صفات مورد مطالعه تنوع زیاد و در بعضی صفات تنوع کمی وجود داشت. ضریب تغییرات ژنتیکی بالا برای صفات اشاره شده بیانگر اثر افزایشی ژن‌های کنترل کننده این صفات و نقش تعیین‌کننده این صفات در تنوع ژنتیکی می‌باشد. مسلما هر چه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد انتخاب در آن‌ها منجر به پاسخ به گزینش بهتری خواهد شد (۱۹). به طور کلی در محیط فاقد تنش برای همه صفات میزان وراثت پذیری بالاتر از محیط دارای تنش خشکی بود (جدول ۵). بالاترین میزان وراثت‌پذیری در هر دو شرایط محیطی متعلق به صفت حجم نان بود. کمترین میزان وراثت پذیری متعلق به صفت شاخص گلوتن در هر دو شرایط بود و در نتیجه انتخاب ژنوتیپ براساس این صفت چندان مفید نیست. بالا بودن وراثت پذیری صفاتی نظیر حجم نان نشان‌دهنده پایین بودن اثرات محیطی بر این صفات است (۱۹). علاوه براین، سل واراجی و همکاران (۲۲) گزارش کردند که ضریب تغییرات ژنتیکی بالا در کنار وراثت پذیری بالا دیدگاه روشن تری برای گزینش ژنوتیپ‌ها ارائه می‌کند.

با توجه به ضرایب همبستگی مشخص شد که در شرایط معمول سختی دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص گلوتن و همبستگی منفی با عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه دارد. محتوای پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با جذب آب و عدد زلنی دارد. لی و همکاران (۱۳) رابطه مثبت و معنی‌داری را بین عدد زلنی و محتوای پروتئین دانه را در گندم گزارش کردند. عملکرد پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی-داری با عملکرد دانه و محتوای گلوتن و همبستگی منفی با سختی دانه داشت (جدول ۶). در شرایط تنش خشکی محتوای پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با جذب آب و عدد زلنی دارد. عملکرد پروتئین همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارد. شاخص گلوتن همبستگی منفی با عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه دارد (جدول ۶). در هر دو شرایط محیطی عملکرد پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارد بنابراین، عملکرد پروتئین در هکتار تا حد زیادی به تنوع در عملکرد دانه بستگی داشت تا به محتوای پروتئین دانه. این بدان معنا است که هنگامی که تیمار خشکی باعث کاهش عملکرد دانه شد، با اینکه محتوای پروتئین دانه افزایش یافت، عملکرد پروتئین دانه بطور همزمان کاهش یافت. نتایج این مطالعه با نتایج هوشمند و همکاران (۱۰) در گندم دوروم همسو بود.

با استفاده از روش آماری تجزیه به عامل‌ها می‌توان همبستگی بین تعداد زیادی از متغیرها را در قالب تعداد کمتری از عوامل مستقل توضیح داد. تجزیه به عامل‌ها می‌تواند جایگزین تجزیه رگرسیون مرحله‌ای بوده و اطلاعات اضافی را نیز در اختیار قرار دهد (۲۵). در این روش چون مقدار KMO

بیشتر از ۰/۵ است می‌توان گفت که نمونه کفایت لازم برای تحلیل عاملی را دارد. نتایج تجزیه به عامل‌ها در جداول ۷ و ۸ آمده است. جهت توجیه بهتر، عامل‌ها را به روش واریمکس دوران داده شد. در نهایت این تجزیه منجر به شناسایی ۴ عامل پنهانی در شرایط معمول و ۳ عامل در شرایط تنش خشکی شد که این عوامل در مجموع در شرایط معمول و تنش خشکی توانستند به ترتیب ۷۲ و ۶۱ درصد از تنوع بین داده‌ها را توجیه کنند. در شرایط معمول، در عامل اول صفاتی مانند عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه دارای ضرایب بالاتری بودند و می‌توان عامل اول را عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه نامید. در حالی که در عامل دوم صفات محتوای پروتئین دانه و عدد زلنی دارای ضرایب بالاتری بودند و می‌توان عامل دوم را عامل محتوای پروتئین دانه و عدد زلنی نامید و در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرند. در عامل سوم صفات سختی دانه و شاخص گلوتن ضرایب بالاتری داشتند و در عامل چهارم صفت حجم نان ضریب بالاتری داشت و می‌توان آن را عامل حجم نان نامید. شهبازی و همکاران (۲۳) در مطالعه خود بر روی لاین‌های گندم گزارش کردند که تجزیه به عامل‌ها در شرایط عادی ۶۰ درصد از تنوع بین داده‌ها را توجیه کرده است. در شرایط تنش خشکی، در عامل اول صفات عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه دارای ضریب بالاتری بودند و می‌توان این عامل را عامل عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه خطاب کرد. در عامل دوم صفات جذب آب، محتوای پروتین دانه و عدد زلنی دارای ضرایب بالاتری بودند و در آخر، در عامل سوم صفت محتوای گلوتن دانه دارای ضریب بالاتری بود و می‌توان آنرا عامل محتوای گلوتن دانه نامید. میزان اشتراک بخشی از واریانس یک متغیر است که به عامل‌های مشترک مربوط می‌شود و هر چه بیشتر باشد نشان دهنده دقت بیشتر در برآورد واریانس متغیر مربوط است. میزان اشتراک عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه در هر دو شرایط معمول و تنش خشکی بالا بود و توانستند درصد بالایی از تنوع موجود در صفات را توجیه کنند. با توجه به میزان اشتراک، محتوای گلوتن دانه در شرایط معمول و شاخص گلوتن در شرایط تنش خشکی کمترین دقت برآورد را دارا بودند. به طور کلی با انتخاب صفات معرفی شده توسط روش تجزیه به عامل‌ها می‌توان معیارهای مناسبی را در ارتباط با گزینش لاین‌های برتر از لحاظ کیفیت نانوایی که از پایه‌های مهم اصلاحی محسوب می‌شوند، بدست آورد.

نتیجه‌گیری کلی

کمیت و کیفیت پروتئین بر فرآوری خمیر و کیفیت پخت نان تاثیری کلیدی دارد. در مطالعه حاضر، تنش خشکی انتهای فصل موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه گردید. لاین‌های متحمل به تنش خشکی حاوی پروتئین بالا از سختی دانه بالایی نیز برخوردار بودند؛ بدین مفهوم که در تنش خشکی موجب افزایش سهم پروتئین به لحاظ کاهش سهم نشاسته در آندوسپرم دانه شده است. بدین ترتیب سختی دانه افزایش یافته و در نتیجه کیفیت نانوائی بهتر شده است. محتوای پروتئین دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با جذب آب و عدد زلنی داشت. علاوه بر این، شاخص گلوتن همبستگی منفی با عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه نشان داد. بطور کلی تنش خشکی با بهبود کمیت (محتوای گلوتن) و کیفیت (عدد زلنی) گلوتن موجب افزایش محتوا و کیفیت پروتئین و در نتیجه کیفیت نانوائی گندم گردید.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به جهت فراهم کردن امکانات لازم برای انجام آزمایش و همچنین اندازه‌گیری صفات کیفی دانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Arzani, A. and M. Ashraf. 2017. Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health-beneficial food products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16: 477-488.
2. Bacu, A., V. Ibro and M. Nushi. 2020. Compared salt tolerance of five local wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars of Albania based on morphology, pigment synthesis and glutathione content. The EuroBiotech Journal, 4: 42-52.
3. Balla, K., M. Rakszegi, Z.G. Li, F. Bekes, S. Bencze and O. Veisz. 2011. Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. Czech Journal of Food Sciences, 29: 117-128.
4. Cappelli, A., M. Mugnaini and E. Cini. 2020. Improving roller milling technology using the break, sizing, and reduction systems for flour differentiation. LWT - Food Science and Technology, 133: e110067.
5. Derkx, A.P. and D.J. Mares. 2020. Late-maturity α-amylase expression in wheat is influenced by genotype, temperature and stage of grain development. Planta, 251: 1-14.
6. De Santis, M.A., M. Soccio, M.N. Laus and Z. Flagella. 2021. Influence of drought and salt stress on durum wheat grain quality and composition: A review. Plants, 10: e2599.
7. El Gataa, Z., S. El Hanafi, K. El Messoadi, K. Samir, Z. Kehel and W. Tadesse. 2021. Genome wide association and prediction studies of agronomic and quality traits in spring beard wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain-fed environment with terminal moisture stress. Journal of Cereal Science, 101: e103278.
8. Fu, Z., S. Yu, J. Zhang, H. Xi, Y. Gao, R. Lu, H. Zheng, Y. Zhu, W. Cao and X. Liu. 2022. Combining UAV multispectral imagery and ecological factors to estimate leaf nitrogen and grain protein content of wheat. European Journal of Agronomy, 132: e126405.

9. Guzmán, C., J.E. Autrique, S. Mondal, R.P. Singh, V. Govindan, A. Morales-Dorantes, G. Posadas-Romano, J. Crossa, K. Ammar and R.J. Peña. 2015. Response to drought and heat stress on wheat quality, with special emphasis on bread-making quality, in durum wheat. Field Crops Research, 186: 157-165.
10. Houshmand, S., A. Arzani and S.A.M. Maibody. 2014. Effects of salinity and drought stress on grain quality of durum wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45: 297-308.
11. Jiang, D., H. Yue, B. Wollenweber, W. Tan, H. Mu, Y. Bo, T. Dai, Q. Jing and W. Cao. 2009. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on accumulation of high-molecular-weight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. Journal of Agronomy and Crop Science, 195: 89-97.
12. Kumar, R., V. Singh, S.K. Pawar, P.K. Singh, A. Kaur and D. Sharma. 2019. Abiotic Stress and Wheat Grain Quality: A comprehensive review. p. 63-87. *In:* M. Hasanuzzaman *et al.,* (Eds.) Wheat Production in Changing Environments. Springer, Singapore.
13. Li, Y.F., Y. Wu, N. Hernandez-Espinosa and R.J. Pena. 2013. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. Journal of Cereal Science, 57: 73-78.
14. Lonbani, M. and A. Arzani. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. Agronomy Research, 9: 315-329.
15. Magallanes-López, A.M., K. Ammar, A. Morales-Dorantes, H. González-Santoyo, J. Crossa and C. Guzmán. 2017. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition. Journal of Cereal Science, 75: 1-9.
16. Moghaddam, E.M., M. Khodarahmi, K. Mahmoudi, H. Akbari Moghaddam, M. Sayahfar, S. Tahmasebi, G. Lotfalie Aeineh, A. Naderi, N. Amir Bakhtiar, M. Farhadi Sadr, F. Afshari, M. Dalvand, A. Zakeri, N. Tabatabaei, M. Yasaei, R. Roohparvar and S. Kia. 2019. 'Barat', A new bread wheat cultivar, suitable for irrigated areas in southern warm and dry zone of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 7: 139-147 (In Persian).
17. Monneveux, P., M.P. Reynolds, R. Trethowan, H. González-Santoyo, R.J. Peña and F. Zapata. 2005. Relationship between grain yield and carbon isotope discrimination in bread wheat under four water regimes. European Journal of Agronomy, 22: 231-242.
18. Ozturk, A., E. Erdem, M. Aydin and M.M. Karaoglu. 2021. The effects of drought after anthesis on the grain quality of bread wheat depend on drought severity and drought resistance of the variety. Cereal Research Communications, 18: 1-12.
19. Pezeshkpour, P., S. Afkar. 2018. The study of genetic diversity, heritability and genetic advance of morphological traits, yield and yield components in different chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes. Journal of Crop Breeding, 9: 61-68 (In Persian).
20. Reena, M., M. Shashi, M. Renu and R. Hasija. 2015. Drought stress induced changes in quality and yield parameters and their association in wheat genotypes. Environment and Ecology, 33: 1639-1643.
21. Salehi, M. and A. Arzani. 2013. Grain quality traits in triticale influenced by field salinity stress. Australian Journal of Crop Science, 7: 580-587.
22. Selvaraj, C.I., P. Nagarajan, K. Thiyagarajan, M. Bharathi and R. Rabindran. 2011. Genetic parameters of variability, correlation and path-coefficient studies for grain yield and other yield attributes among rice blast disease resistant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology, 10: 3322-3334.
23. Shahbazi, H., A. Arzani and M. Esmailzadeh Moghadam. 2014. Evaluation of grain quality in bread wheat recombinant inbred lines under drought stress conditions. Journal of Crop Production and Processing, 4: 285-294 (In Persian).
24. Singh, A.K., S. Dhanapal and B.S. Yadav. 2020. The dynamic responses of plant physiology and metabolism during environmental stress progression. Molecular Biology Reports, 47: 1459-1470.
25. Tabatabai, S. 2021. Study of genetic diversity and cluster analysis for morphological traits of bread wheat under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14: 913-928 (In Persian).
26. Winkel, A. 1989. Breeding for drought tolerance in cereals. Vorträge für Pflanzenzüchtung, 16: 368-375.
27. Zhao, C.X., M.R. He, Z.L. Wang, Y.F. Wang and Q. Lin. 2009. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. Comptes Rendus Biologies, 332: 759-764.
28. Zheng, Y., X. Xu, Z. Li, X. Yang, C. Zhang, F. Li and G. Jiang. 2009. Differential responses of grain yield and quality to salinity between contrasting winter wheat cultivars. Seed Science and Technology, 3: 40-43.

Evaluation of Grain-Quality Related Traits of F_5 Lines of Wheat under Terminal Drought Stress Conditions

Saeed Omrani[1], Ahmad Arzani[2], Mohsen Esmaeilzadeh Moghaddam[3] and Tohid Najafi Mirak[3]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, (Corresponding author: a_arzani@iut.ac.ir)
3- Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: 17 February, 2022 Accepted: 16 April, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Drought stress is the most prevalent and limiting factor in the growth and productivity of crop plants. According to the challenge of deficiency in precipitation or consecutive droughts in recent years in Iran and as a result of a shortage of irrigation water in wheat production, knowledge of the relationship between grain quality and grain yield under drought stress can be particularly important to identify lines with drought tolerance. The present study, hence, evaluated the effects of drought stress on the grain quality of 104 F_5 lines derived from a cross between Barat × Nogal in wheat.

Material and Methods: The effects of drought stress on grain-quality-related traits of wheat were investigated using 104 F_5 lines under normal and drought conditions. A randomized complete block design with three replications was used in each environment in the 2020-2021 cropping season. Grain yield, protein yield, grain hardness, Zeleny sedimentation volume, protein content, bread volume, gluten content, and gluten index were evaluated.

Results: Analysis of variance showed that there was significant genetic variation in the lines for all traits in both environmental conditions. Stress and stress × line interactions were also significant for all of the studied traits. Mean comparison of lines showed that the quality in bread wheat was improved under drought stress conditions due to increment in protein content and grain hardness. The highest grain protein content was found in lines 10, 52, 54, 68, and 71 with 12.96% under normal conditions, while it was found in lines 10, 28, 32, 61, and 93 with 13.94% under drought-stress conditions. Although the growth and consequently grain yield were limited under drought stress conditions, increased concentrations of grain-derived ingredients including protein content, gluten content, gluten index, and Zeleny volume were noted. On the other hand, grain protein showed a significant and positive correlation with the Zeleny volume and water absorption in both environmental conditions.

Conclusion: From the work carried out it can be concluded that firstly, selection of wheat lines in respect to grain quality must be undertaken separately for each of the normal and stressed environments, and secondly that the grain quality of wheat lines under drought stress conditions was significantly better than that of normal field conditions.

Keywords: Bakery quality, Drought stress, Grain protein, Gluten index, Zeleny sedimentation volume