doi: 10.22124/cr.2020.16448.1599

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۹ (۱۸۰-۱۶۷)

تجزیه همبستگی کانونیک صفات فیزیولوژیک با صفات فنولوژیک و ریشه‌ای در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان

بهنام طهماسب‌پور[۱]، سدابه جهانبخش گده‌کهریز[۲*]، علیرضا تاری‌نژاد[۳] و سیده یلدا رئیسی ساداتی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲

چکیده

به‌منظور برآورد همبستگی و روابط بین صفات مختلف در گندم، ۳۰ ژنوتیپ گندم نان در دو آزمایش جداگانه در گلخانه و مزرعه تحت دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی مورد مطالعه قرار گرفتند. طرح آزمایش در هر دو شرایط گلخانه و مزرعه، طرح کرت‌های خردشده بود که در آن تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی و ژنوتیپ‌های گندم به‌عنوان فاکتور فرعی آزمایش در نظر گرفته شدند، اما طرح پایه در گلخانه طرح کاملاً تصادفی و در مزرعه طرح بلوک‌های کامل تصادفی هر دو با سه تکرار بود. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی کانونیک نشان داد که همبستگی معنی‌داری در هر دو سطح بدون تنش و تنش خشکی بین جفت متغیرهای کانونیک حاصل از صفات فیزیولوژیک با صفات ریشه‌ای و فنولوژیک وجود داشت، به‌طوری‌که در شرایط مزرعه، تابع کانونیک اول برای صفات فیزیولوژیک (V_1) بیش‌تر متأثر از تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و سرعت پر شدن دانه بود، ولی برای صفات فنولوژیک (W_1) بیش‌تر تحت تأثیر صفات کاتالاز، پراکسیداز، مالون دی‌آلدهید، میزان پراکسید هیدروژن برگ و محتوای پرولین قرار داشت. در مقابل در شرایط گلخانه، تابع کانونیک اول برای صفات ریشه‌ای (V_1) بیش‌تر تحت تأثیر میزان پرولین، میزان H_2O_2 برگ، MDA، پراکسیداز، کاتالاز، غلظت کلروفیل کل و کلروفیل a قرار گرفت، در حالی‌که برای صفات فیزیولوژیک (W_1) بیش‌تر متأثر از صفت وزن خشک ریشه بود. نتایج این آزمایش نشان داد که به‌منظور گزینش ارقام متحمل به خشکی تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، افزایش وزن خشک ریشه از طریق افزایش غلظت MDA، میزان H_2O_2 برگ، میزان پرولین، پراکسیداز و کاتالاز و کاهش کلروفیل کل و کلروفیل a تحت شرایط گلخانه و افزایش سرعت پر شدن دانه از طریق افزایش کاتالاز، پراکسیداز و پرولین و کاهش غلظت MDA و H_2O_2 برگ تحت شرایط مزرعه می‌توانند به‌عنوان معیارهای گزینشی مناسب در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پراکسید هیدروژن، پرولین، تنش خشکی، مالون دی‌آلدهید، مرحله گلدهی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۴- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول: jahanbakhsh@uma.ac.ir

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است که حدود ۲۰ درصد از اراضی جهان به کشت آن اختصاص یافته است. گندم گیاه ارزشمندی است که بیشترین استفاده آن برای تأمین غذا بوده، به‌طوری که نزدیک به ۶۸ درصد کل آن، تا به امروز برای تأمین غذا بکار رفته است. میانگین رشد جهانی عملکرد گندم، فقط ۰/۸ درصد در سال، در کشورهای اصلی تولید کننده گندم خواهد بود. گندم مورد نیاز برای تأمین غذا در سال ۲۰۲۰ به ۱۴۵ مگا تن رسیده است که شیب رشد آن نسبت به دهه گذشته، آهسته‌تر است (FAO, 2011-2020). تنش خشکی هر ساله خسارت فراوانی را در محصولات زراعی ایجاد می‌کند و موجب کاهش ۱۷درصدی عملکرد می‌شود. از این رو انجام تحقیقات در زمینه بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی و یافتن راه‌کارهای مناسب جهت به حداقل رساندن تلفات آب در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hadi *et al.,* 2016). حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله گل‌دهی است و خشکی پس از گل‌دهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند پر شدن دانه می‌تواند روی میانگین وزن هر دانه تأثیر منفی بگذارد (Abid *et al.,* 2016). عبدلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2012) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در گندم کاهش بیش‌تر وزن هزار دانه را در مقایسه با دیگر اجزای عملکرد به دنبال دارد. در مطالعه دیگری اعلام شده است که تنش در مرحله گرده‌افشانی عملکرد را از طریق کم شدن وزن هزار دانه کاهش می‌دهد (Dalvandi *et al.,* 2013). پاسخ اجزای عملکرد به تنش خشکی با توجه به زمان وقوع و مدت زمان تنش در ارقام مختلف، یکسان نیست. تولید ارقام با عملکرد دانه بالا، از اهداف اساسی برنامه‌های به‌نژادی گندم است. موفقیت در بهبود ویژگی‌های محصولات زراعی به‌ویژه عملکرد دانه، عموماً به‌میزان تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری اجزای آن بستگی دارد (Smith, 2008). آگاهی از تنوع ژرم‌پلاسم برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و نیز برای بهبود عملکرد دانه در دمای بالا از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین انتخاب ژنوتیپ برتر بر اساس اجزای عملکرد یا سایر صفات مرتبط با عملکرد که وراثت‌پذیری بالایی دارند، انجام می‌گیرد (Rahnema *et al.,* 2000). مطالعات متعددی در زمینه همبستگی بین صفات، به‌منظور بررسی ارتباط میان صفات مورفولوژیک و نیز نوع و میزان تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه از طریق تجزیه علیت و تجزیه به عامل‌ها صورت گرفته و با شناسایی و انتخاب صفات موثر بر عملکرد، جهت انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا اقدام شده است (Talebifar *et al.,* 2014; Kohkan *et al.,* 2015). محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.,* 2010) بیان کردند همبستگی عملکرد دانه در شرایط عادی با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، مثبت و معنی‌دار بود. به دلیل وجود همبستگی بین برخی صفات مرتبط با عملکرد و همچنین به دلیل روابط پیچیده صفات با همدیگر، قضاوت نهایی نمی‌تواند فقط بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد (Soghani *et al.,* 2010). قبل از تجزیه علیت با رگرسیون گام به گام می‌توان اثر صفات بی تأثیر یا کم تأثیر بر عملکرد را در مدل رگرسیونی حذف کرد و صفاتی را که میزان قابل توجهی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند برگزید (Khodadadi *et al.,* 2011). آقایی سربرزه و امینی (Aghaie Sarbarzeh and Amini, 2011) با رگرسیون مرحله‌ای نشان دادند که در گندم نان، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند.

استفاده از روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه همبستگی کانونیک و تجزیه به مولفه‌های اصلی برای درک عمیق‌تر روابط بین صفات ضروری به نظر می‌رسد. روش تجزیه همبستگی کانونیک برای درک روابط و ساختار اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی گیاهان زراعی به‌طور مؤثری استفاده می‌شود و همبستگی موجود بین دو مجموعه صفت را شناسایی و کمی می‌کند (Lorenceti *et al.,* 2006; Johnson and Wichern, 2007; Raykov and Marcoulides, 2008). تجزیه همبستگی کانونیک و تجزیه تابع تشخیص متعارف از روش‌های تجزیه آماری چند متغیره در بررسی تنوع ژنتیکی و تعیین رابطه بین صفات در ارقام زراعی هستند (Yeater *et al.,* 2004; Raykov and Marcoulides, 2008). لورنستی و همکاران (Lorenceti *et al.,* 2006) نیز اهمیت تجزیه همبستگی کانونیک را برای درک ارتباط بین اجزای اولیه و ثانویه عملکرد دانه در یولاف جهت ارزیابی ساختارهای ژنتیکی نشان دادند. علوی‌سینی و صبا (Alavi Siney and Saba, 2014) از تجزیه همبستگی کانونیک برای درک ارتباط بین صفات فیزیولوژیک و زراعی در گندم استفاده و بیان کردند که همبستگی‌های ساده همیشه نمی‌توانند به‌اندازه کافی روابط علت و معلولی بین این صفات را منعکس کنند. بررسی ارتباط بین صفات در برنامه‌های اصلاحی به‌ویژه

وقتی که صفت مقابل مطلوب باشد، ضروری است، زیرا تغییر در یک صفت باعث تغییر در صفات دیگر می‌شود. صبا و همکاران (Saba *et al.*, 2018) گزارش کردند که در تجزیه همبستگی کانونیک صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک گندم نان با صفات مرتبط با عملکرد، اولین متغیر کانونی برای صفات مستقل (U_1) بیش‌تر تحت تأثیر بیوماس و اولین متغیر کانونی برای اجزای عملکرد (V_1) بیش‌تر تحت تأثیر تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه بود.

در گندم، تحقیقات کم‌تری با راهکار تجزیه تشخیص متعارف نسبت به دیگر گیاهان روی صفات مختلف زراعی یا فیزیولوژیک انجام شده است. در این رابطه اتیشا و همکاران (Eticha *et al.*, 2006) با انجام تجزیه تشخیص متعارف در ژنوتیپ‌های گندم، دو تابع متعارف شناسایی کردند که در مجموع ۹۵/۶ درصد از تنوع بین ارقام را توجیه کردند و تراکم سنبله با ضرایب ۰/۰۴۱ و ۰/۴۷ به‌ترتیب در تابع اول و دوم، مهم‌ترین صفت بود. تجزیه همبستگی کانونی به‌دلیل تجزیه همزمان چندین متغیر، روشی موثر برای یافتن روابط بین صفات در مقیاس مزرعه‌ای است. این تجزیه می‌تواند وضعیت گیاه زراعی را که منجر به تولید عملکرد مشخصی می‌شود، مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. هدف از این پژوهش نیز بررسی روابط بین صفات فیزیولوژیک با صفات فنولوژیک و ریشه‌ای به‌طور مجزا و استفاده از این روابط در گزینش ارقام پرمحصول تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در زمان گلدهی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور برآورد همبستگی و روابط بین صفات مختلف در گندم، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان (واقع در ۳۵ کیلومتری جاده تبریز- مراغه با عرض جغرافیایی ″۵۹′۴۶°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ″۱۴′۵۴°۴۵ شرقی و ارتفاع ۱۳۱۸ متر از سطح دریای آزاد با اقلیم نیمه‌خشک و زمستان‌های سرد و یخبندان) انجام شد. مواد گیاهی آزمایش تعداد ۳۰ ژنوتیپ گندم (جدول ۱) بود که از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد (SPII, 2015, 2016). آزمایش در گلخانه و مزرعه به‌صورت طرح کرت‌های خردشده انجام شد و در آن، تنش خشکی (آبیاری مطلوب و تنش خشکی از مرحله گلدهی) فاکتور اصلی و ژنوتیپ‌های گندم فاکتور فرعی آزمایش بودند. طرح پایه در گلخانه طرح کاملاً تصادفی و در مزرعه طرح بلوک‌های کامل تصادفی هر دو با سه تکرار بود. ارقام میهن، اروم و حیدری که تا حدودی به تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی در مناطق سرد متحمل هستند، ارقام شاهد آزمایش در نظر گرفته شدند.

ژنوتیپ‌ها در گلخانه درون گلدان‌های نایلونی با قطر دهانه ۲۸ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که با هفت کیلوگرم خاک مزرعه پر شده بودند، کشت شدند. در هر گلدان تعداد ۱۰ عدد بذر در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک کشت شد که بعد از جوانه‌زنی و در مرحله شروع پنجه‌دهی، به هفت بوته در گلدان کاهش یافت. برای آبیاری گلدان‌ها در شرایط نرمال، گلدان‌ها بسته به نیاز و شرایط گلخانه هر ۵-۴ روز یک‌بار آبیاری شدند. تنش خشکی در مرحله گلدهی با اندازه‌گیری رطوبت خاک گلدان‌ها تعیین و آبیاری در تیمارهای تنش در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد (Hosseinzadeh *et al.*, 2016). با توجه به اینکه برخی ژنوتیپ‌ها زمستانه و برخی بهاره-پاییزه (حدواسط) بودند، ژنوتیپ‌ها در مرحله روزت (پنجه‌دهی یا قبل از ساقه‌رفتن) به‌مدت یک‌ماه تحت تنش سرما قرار گرفتند تا بتوانند به ساقه بروند. کود نیترات آمونیوم نیز به‌صورت محلول در آب آبیاری در سه نوبت (مراحل کاشت، پنجه‌دهی و ساقه‌دهی) و در هر نوبت دو گرم به هر گلدان داده شد (با احتساب ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص).

برای اجرای آزمایش در مزرعه، عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد فارو انجام شد. ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی در چهار ردیف به‌طول دو متر کشت شدند. فاصله بین بذرها دو سانتی‌متر و فاصله بین خطوط کاشت نیز ۱۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در شرایط آبیاری مطلوب در مزرعه، ژنوتیپ‌ها بسته به نیاز و شرایط محیطی معمولاً هر ۱۲ روز یک‌بار آبیاری شدند. برای اعمال تنش در مرحله گلدهی، ظرفیت زراعی مزرعه با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Mosadeghi *et al.*, 2009) تعیین و بر اساس آن، تنش اعمال و آبیاری قطع شد. نمونه‌های خاک در داخل دستگاه اشباع و مکش مورد نظر بر آن‌ها اعمال شد. پس از برقراری تعادل رطوبتی (با گذشت ۲۴ ساعت)، نمونه‌های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک و سپس درصد رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. با در نظر گرفتن احتمال بارندگی از پوشش نایلونی برای جلوگیری از نفوذ آب به تیمارهای تحت تنش استفاده شد.

جدول۱- شجره ارقام مورد مطالعه در این آزمایش

Table 1. Pedigree of the studied cultivars in this experiment

Genotype†	Pedigree	Genotype	Pedigree
CD-1	Zareh	C-93-7	Bow/Crow/3Rsh//Kal/Bb/3/Gun91
CD-2	Ald"s"/Snb"s"//Zrn*2/3/Yaco/Parus//Parus	C-93-8	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
CD-3	Bow/Crow/3Rsh//Kal/Bb/3/Gun91	C-93-9	Bluegil-2/BucuR//Sirena
CD-4	Nwau15/Attila//Shark/F4105W2.1	C-93-10	Ajvina
CD-5	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1	C-93-11	Gul96/Shark-1
CD-6	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1	C-94-3	WON-IR-4257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos
CD-7	WON-IR-4257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos	C-94-4	Ga961565-27-6/La95283Ca-78-1-2
CD-8	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos	C-94-6	Charger/OWL 85224*-3H-*O-*HOH//Alvd
CD-9	Eryt 1554.90/MV17	C-94-7	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1
CD-10	Gul96/Shark-1	C-94-8	Bluegil-2/Bucur//Sirena
CD-11	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Ald"s"/Snb"s"*2/5/Opata*2/Wulp	C-94-9	Or2071681
C-93-3	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1	MV 17	Mv-17
C-93-4	Nwau15/Attila//Shark/F4105W2.1	Heydari	Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87// Shiroodi cultivar
C-93-5	Eryt 1554.90/MV17	Mihan	87Zhong-90/Bkt
C-93-6	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Ald"s"/Snb"s"*2/5/Opata*2/Wulp	Eroum	Her/Alvand//NS732

† Codes CD-1 to CD-11 are related to the test genotypes of 2015 and codes C-93 to C-94 are related to the genotypes of the uniformity tests of 2014 and 2015, respectively.

اندازه‌گیری صفات فنولوژیک

صفات فنولوژیک مانند تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، طول دوره پر شدن دانه (Ellis and Pieta-Filho, 1992)، سرعت رشد رویشی (عملکرد زیستی بر حسب گرم تقسیم بر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) (Khandkar *et al.*, 1992) و سرعت پر شدن دانه (عملکرد تک‌بوته بر حسب گرم تقسیم بر طول دوره پر شدن دانه بر حسب روز) (Ellis and Pieta-Filho, 1992) برای هر کرت ثبت شد. عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بعد از حذف بوته‌های حاشیه هر کرت، اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی گیاه در گلخانه نیز صفات تعداد ریشه، وزن خشک ریشه و حجم ریشه از طریق متوسط ۱۰ بوته اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، ابتدا دو رقم حساس و دو رقم متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، از بین ۳۰ ژنوتیپ مطالعه‌شده در شرایط گلخانه و مزرعه، انتخاب و نمونه‌برداری از این چهار رقم انجام شد و سپس نمونه‌ها با انجماد سریع در ازت مایع، بلافاصله به فریزر ۷۰- درجه سلسیوس منتقل و تا زمان استفاده و اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک در آن نگهداری شدند. غلظت کلروفیل‌های a، b و کل و میزان کاروتنوئیدهای برگ با روش آرنون (Arnon, 1967)، میزان پرولین برگ با روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973)، غلظت پروتئین با روش برادفورد (Bradford, 1976)، فعالیت آنزیم پراکسیداز با روش کار و میشرا (Kar and Mishra, 1976)، غلظت مالون دی‌آلدهید (MDA) با روش اوکاوا و همکاران (Ohkawa *et al.*, 1979)، فعالیت سینتیک (جنبشی) آنزیم کاتالاز با روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1995) و میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2) با روش الکسیوا و همکاران (Alexieva *et al.*, 2001) اندازه‌گیری شد.

برای تجزیه داده‌ها، تجزیه همبستگی کانونیک در مزرعه بین دو گروه صفات فیزیولوژیک و فنولوژیک و در گلخانه بین دو گروه صفات ریشه‌ای و فیزیولوژیک انجام شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9 انجام گرفت.

نتایج

تجزیه همبستگی کانونیک صفات فیزیولوژیک و فنولوژیک در مزرعه

در این پژوهش، صفات فنولوژیک به‌عنوان متغیرهای مستقل و صفات فیزیولوژیک به‌عنوان متغیرهای وابسته ارزیابی شدند. مقادیر همبستگی بین متغیرهای کانونی در جدول ۲ ارایه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، آماره لامبدای ویلکس و مقدار F معادل آن برای تابع کانونی اول در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، به این معنی که همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای فیزیولوژیک (ده متغیر) از یک‌طرف و متغیرهای فنولوژیک (چهار متغیر) از سوی دیگر در این تابع وجود دارد. ترکیب خطی تابع اول برای متغیرهای فنولوژیک (W_i) و فیزیولوژیک (V_i) مورد مطالعه همراه با ضرایب مربوطه (a_{ij} , b_{ik}) به‌صورت روابط (۱) و (۲) به‌دست آمد (جدول‌های ۳ و ۴):

$$W_1 = 0.490X_1 - 0.336X_2 + 0.253X_3 + 0.222X_4 \quad (۱)$$

$$V_1 = -0.193Y_1 - 0.947Y_2 + 0.659Y_3 + 0.753Y_4 - 0.324Y_5 - 0.161Y_6 - 0.604Y_7 - 0.783Y_8 + 0.868Y_9 - 0.501Y_{10} \quad (۲)$$

جدول ۲- همبستگی بین متغیرهای کانونیک در ۳۰ ژنوتیپ گندم در شرایط مزرعه

Table 2. Correlation coefficients between canonical variables of 30 wheat genotypes under field conditions

Canonical correlation coefficient	F-value	P-value	Square of canonical correlation coefficient	Accumulative proportion
0.912*	1.824	0.031	0.832	0.546
0.873	1.332	0.215	0.762	0.898
0.648	0.658	0.805	0.420	0.978
0.409	0.374	0.902	0.167	1.000

*: Significant at 5% probability level.

جدول ۳- ضرایب کانونیک استاندارد شده برای توابع کانونیک حاصل از صفات فنولوژیک ۳۰ ژنوتیپ گندم در شرایط مزرعه

Table 3. Standardized canonical coefficients for canonical functions derived from phonological traits of 30 wheat genotypes under field conditions

Trait	W_1	W_2	W_3	W4
Days to 50% flowering	0.490	1.189	1.103	-0.039
Grain filling period	-0.336	-0.348	3.009	-3.690
Grain filling rate	0.253	-1.664	2.013	-4.564
Vegetative growth rate	0.222	0.432	-1.591	4.304

جدول ۴- ضرایب کانونیک استاندارد شده برای توابع کانونیک حاصل از صفات فیزیولوژیک ۳۰ ژنوتیپ گندم در شرایط مزرعه

Table 4. Standardized canonical coefficients for canonical functions derived from physiological traits of 30 wheat genotypes under field conditions

Trait	V_1	V_2	V_3	V_4
MDA content	-0.193	-0.011	-0.488	-0.620
H_2O_2 content	-0.947	0.699	-0.022	1.136
Proline content	0.659	0.156	0.373	2.258
Chlorophyll-a content	0.753	-0.381	-0.964	0.848
Chlorophyll-b content	-0.324	0.175	0.130	0.921
Carotenoid content	-0.161	0.368	0.247	-0.954
Total chlorophyll content	-0.604	0.087	1.161	-0.861
Protein content	-0.783	0.748	0.299	0.491
Peroxidase content	0.868	-2.392	-0.972	-1.501
Catalase content	-0.501	2.469	0.477	-0.982

همبستگی ساختاری بین صفات اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک همان گروه در جدول‌های ۵ و ۶ ارایه شده است. در بین صفات فنولوژیک، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۰/۹۱۵**) و سرعت پر شدن دانه (۰/۸۹۱**) همبستگی مثبت و معنی‌دار و طول دوره پر شدن دانه (۰/۷۸۲**-) همبستگی منفی و معنی‌داری با تابع کانونیک اول (W_1) در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌هایی که در آن‌ها طول دوره پر شدن دانه کم‌تر بود، روز تا ۵۰٪ گلدهی و سرعت پر شدن دانه بالاتری داشتند. در بین صفات فیزیولوژیک نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کاتالاز (۰/۵۴۵*)، پراکسیداز (۰/۴۵۷*)، پرولین (۰/۴۲۶*) و کلروفیل a (۰/۳۸۲*) با تابع کانونیک اول (V_1) مشاهده شد، اما غلظت مالون‌دی‌آلدهید (۰/۴۸۹*-) و مقدار پراکسید هیدروژن برگ (۰/۴۷۶*-) همبستگی منفی و معنی‌داری با تابع اول نشان دادند، به این معنی که گیاهانی که غلظت مالون‌دی‌آلدهید و مقدار پراکسید هیدروژن برگ کم‌تری داشتند، از محتوای کاتالاز، پراکسیداز، پرولین و غلظت کلروفیل a بالاتری برخوردار بودند.

همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک گروه دیگر نیز در جدول‌های ۷ و ۸ ارایه شده است. در بین متغیرهای فنولوژیک، صفات تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی (۰/۸۳۵**)، سرعت پر شدن دانه (۰/۸۱۳**) و طول دوره پر شدن دانه (۰/۷۱۴**-) همبستگی معنی‌داری با تابع کانونیک مربوط به صفات فیزیولوژیک داشتند، ولی سرعت رشد رویشی دارای همبستگی مثبت و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۷). این موضوع نشان می‌دهد که صفات فنولوژیک تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه همبستگی بالایی با صفات فیزیولوژیک دارند.

جدول ۵- همبستگی ساختاری بین صفات فنولوژیک و توابع کانونیک در شرایط مزرعه

Table 5. Structural correlation between phonological traits and canonical functions under field conditions

Trait	W_1	W_2	W_3	W_4
Days to flowering	0.915**	0.391*	0.076	-0.059
Grain filling period	-0.782**	-0.171	0.541*	0.258
Grain filling rate	0.891**	-0.445*	0.085	0.030
Vegetative growth rate	0.282	-0.615*	0.555*	0.485*

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- همبستگی ساختاری بین صفات فیزیولوژیک و توابع کانونیک در شرایط مزرعه

Table 6. Structural correlation between physiological traits and canonical functions under field conditions

Trait	V_1	V_2	V_3	V_4
MDA content	-0.489*	0.336	-0.721**	0.028
H_2O_2 content	-0.476*	0.431*	-0.656**	0.109
Proline content	0.426*	0.693**	-0.298	0.190
Chlorophyll-a content	0.382*	-0.281	0.587*	0.161
Chlorophyll-b content	-0.038	0.272	0.683**	0.252
Carotenoid content	-0.155	0.366*	0.249	0.128
Total chlorophyll content	0.090	-0.192	0.763**	0.022
Protein content	0.280	-0.162	0.101	0.043
Peroxidase content	0.457*	0.579*	-0.340	-0.06
Catalase content	0.545*	0.740**	-0.181	-0.127

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

در بین متغیرهای فیزیولوژیک نیز همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت مالون‌دی‌آلدهید (*۰/۴۴۷-) و مقدار پراکسیدهیدروژن برگ (*۰/۴۳۴-) با تابع کانونیک مربوط به صفات فنولوژیک (W_1) وجود داشت، اما صفات پرولین، کلروفیل a، پراکسیداز و کاتالاز (به‌ترتیب *۰/۳۸۸، ۰/۳۴۹، *۰/۴۱۷ و *۰/۴۹۷) دارای همبستگی مثبت بودند (جدول ۸). آن‌چه که از این روابط می‌توان استنباط کرد آن است که ارتباط بین تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی و سرعت پر شدن دانه با پرولین، کلروفیل a، پراکسیداز و کاتالاز هم‌سو و مثبت و با غلظت مالون‌دی‌آلدهید و مقدار پراکسیدهیدروژن برگ منفی است. در مقابل، ارتباط بین طول دوره پر شدن دانه با غلظت مالون‌دی‌آلدهید و پراکسیدهیدروژن مثبت است (جدول‌های ۷ و ۸). با توجه به این نتایج می‌توان گفت که تابع V_1 بیش‌تر تحت تاثیر تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه قرار گرفت، اما تابع W_1 بیش‌تر تحت تأثیر کاتالاز، پراکسیداز، غلظت مالون دی‌آلدهید، مقدار پراکسیدهیدروژن برگ، پرولین و کلروفیل a بود. بنابراین، برای افزایش سرعت پر شدن دانه و تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی، افزایش میزان کاتالاز، پراکسیداز و پرولین و کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدهید و میزان پراکسید هیدروژن برگ می‌توانند به‌عنوان معیارهای گزینشی در نظر گرفته شوند.

جدول ۷- همبستگی بین صفات فنولوژیک با توابع کانونیک حاصل از صفات فیزیولوژیک در شرایط مزرعه

Table 7. Correlation between phonological traits and canonical functions from physiological traits under field conditions

Trait	V_1	V_2	V_3	V_4
Days to flowering	0.835**	0.342	0.049	-0.024
Grain filling period	-0.714**	-0.149	0.350*	0.105
Grain filling rate	0.813**	-0.389*	0.055	0.012
Vegetative growth rate	0.258	-0.537*	0.359*	0.198

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- همبستگی بین صفات فیزیولوژیک با توابع کانونیک حاصل از صفات فنولوژیک در شرایط مزرعه

Table 8. Correlation between physiological traits and canonical functions derived from phonological traits under field conditions

Trait	W_1	W_2	W_3	W_4
MDA content	-0.447*	0.293	-0.467*	0.012
H_2O_2 content	-0.434*	0.376*	-0.425*	0.045
Proline content	0.388*	0.605*	-0.193	0.078
Chlorophyll-a content	0.349	-0.245	0.380*	0.066
Chlorophyll-b content	-0.035	0.237	0.442*	0.103
Carotenoid content	-0.141	0.319	0.161	0.052
Total chlorophyll content	0.082	-0.168	0.494*	0.009
Protein content	0.256	-0.141	0.065	0.018
Peroxidase content	0.417*	0.505*	-0.220	-0.025
Catalase content	0.497*	0.646*	-0.117	-0.052

*: Significant at 5% probability level.

تجزیه همبستگی کانونیک برای صفات ریشه و فیزیولوژیک در گلخانه

همبستگی بین جفت متغیرهای کانونیک در ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه در شرایط گلخانه در جدول ۹ ارایه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، آماره لامبدای ویلکس و F معادل آن برای تابع اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، به این معنی که همبستگی معنی‌داری بین صفات فیزیولوژیک (ده متغیر) از یک‌طرف و صفات ریشه (سه متغیر) از سوی دیگر وجود داشت. ترکیب خطی تابع اول برای متغیرهای فیزیولوژیک (W_i) و صفات ریشه‌ای (V_i) مورد مطالعه (جدول‌های ۱۰ و ۱۱) همراه با ضرایب مربوطه (a_{ij} , b_{ik}) به‌صورت روابط (۳) و (۴) به‌دست آمد:

$$W_1 = 0.150X_1 + 0.467X_2 + 0.593X_3 + 0.213X_4 + 0.005X_5 - 0.003X_6 - 0.206X_7 + 0.017X_8 - 0.096X_9 + 0.140X_{10} \quad (۳)$$

$$V_1 = -0.039Y_1 + 1.302Y_2 - 0.581Y_3 \quad (۴)$$

جدول ۹- همبستگی بین جفت متغیرهای کانونیک در ۳۰ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه در شرایط گلخانه

Table 9. Correlation between canonical variables in 30 studied wheat genotypes under greenhouse conditions

Canonical correlation coefficient	F-value	P-value	Square of canonical correlation coefficient	Accumulative proportion
0.995**	6.766	0.0001	0.990	0.984
0.733	1.049	0.449	0.537	0.995
0.568	0.775	0.632	0.323	1.000

**: Significant at 1% probability level.

جدول ۱۰- ضرایب کانونیک استانداردشده برای توابع کانونیک حاصل از صفات فیزیولوژیک ۳۰ ژنوتیپ گندم در شرایط گلخانه

Table 10. Standardized canonical coefficients for canonical functions derived from physiological traits of 30 wheat genotypes in greenhouse conditions

Trait	W_1	W_2	W_3
MDA content	0.150	1.252	-0.935
H_2O_2 content	0.467	-0.969	0.953
Proline content	0.593	1.040	-1.555
Chlorophyll-a content	0.213	1.712	0.119
Chlorophyll-b content	0.005	0.756	-0.337
Carotenoid content	-0.003	-0.566	0.523
Total chlorophyll content	-0.206	-1.558	0.455
Protein content	0.017	0.237	0.217
Peroxidase content	-0.096	-1.235	0.431
Catalase content	0.140	0.261	1.662

جدول ۱۱- ضرایب کانونیک استانداردشده برای توابع کانونیک حاصل از صفات ریشه در ۳۰ ژنوتیپ گندم در شرایط گلخانه

Table 11. Standardized canonical coefficients for canonical functions derived from root traits of 30 wheat genotypes in greenhouse conditions

Trait	V_1	V_2	V_3
Number of root	-0.039	-0.509	1.015
Root dry weight	1.302	-0.506	0.105
Root volume	-0.581	1.420	-0.081

همبستگی ساختاری بین صفات اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک همان گروه در جدول‌های ۱۲ و ۱۳ ارایه شده است. در بین صفات فیزیولوژیک، صفات پرولین (۰/۸۵۱**)، مقدار پراکسید هیدروژن برگ (۰/۷۸۰**)، غلظت مالون دی‌آلدهید (۰/۷۲۱**)، پراکسیداز (۰/۷۵۷**) و کاتالاز (۰/۷۰۲**) همبستگی مثبت و معنی‌داری با تابع کانونیک مربوطه (W_1) نشان دادند، ولی صفات کلروفیل کل (-۰/۶۰۵*) و کلروفیل a (-۰/۵۷۷*) دارای همبستگی منفی و معنی‌دار بودند. این رابطه نشان می‌دهد که گیاهان با غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل کم‌تر، میزان پرولین، میزان پراکسید هیدروژن برگ، غلظت مالون دی‌آلدهید، میزان پراکسیداز و میزان کاتالاز بیش‌تری دارند. در بین صفات ریشه‌ای نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن خشک ریشه (۰/۸۹۷**) با تابع کانونیک مربوطه (V_1) مشاهده شد، اما حجم (۰/۲۹۵) و تعداد ریشه (-۰/۰۶۹) دارای همبستگی غیرمعنی‌دار بودند.

همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده یک گروه با توابع کانونیک گروه دیگر نیز در جدول‌های ۱۴ و ۱۵ ارایه شده است. در بین صفات فیزیولوژیک، غلظت مالون دی‌آلدهید (۰/۷۱۷**)، مقدار پراکسید هیدروژن برگ (۰/۷۷۷**)، میزان پرولین (۰/۸۴۷**)، پراکسیداز (۰/۷۵۳**) و کاتالاز (۰/۶۹۹**) همبستگی مثبت و معنی‌دار و کلروفیل a (-۰/۵۷۴*) و کلروفیل کل (-۰/۶۰۲*) همبستگی منفی و معنی‌دار با تابع کانونیک اول صفات ریشه‌ای (V_1) داشتند.

در بین صفات ریشه‌ای نیز فقط وزن خشک ریشه (۰/۸۹۳**) دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با تابع کانونیک اول مربوط به صفات فیزیولوژیک (W_1) بود و حجم و طول ریشه، همبستگی معنی‌داری با این تابع نداشتند. آن‌چه که از این روابط می‌توان استنباط کرد این است که غلظت مالون دی‌آلدهید، مقدار پراکسید هیدروژن برگ، محتوای پرولین، محتوای پراکسیداز و محتوای کاتالاز دارای ارتباط مثبت و هم‌سو با وزن خشک ریشه بودند، در حالی‌که ارتباط بین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل با وزن خشک ریشه، منفی و غیرهم‌سو بود.

بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در گلخانه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تابع V_1 بیش‌تر تحت تاثیر میزان پرولین، مقدار پراکسید هیدروژن برگ، غلظت مالون دی‌آلدهید، میزان پراکسیداز، میزان کاتالاز، میزان کلروفیل a و میزان کلروفیل کل بود، در حالی‌که تابع W_1 بیش‌تر تحت تأثیر وزن خشک ریشه قرار گرفت. به این ترتیب، برای گزینش ارقام متحمل به خشکی می‌توان وزن خشک ریشه را افزایش داد و یا از طریق افزایش غلظت مالون دی‌آلدهید، مقدار پراکسید هیدروژن برگ، میزان پرولین، پراکسیداز و کاتالاز و کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل کل اقدام کرد.

جدول ۱۲- همبستگی ساختاری بین صفات فیزیولوژیک و توابع کانونیک در شرایط گلخانه

Table 12. Structural correlation between physiological traits and canonical functions under greenhouse conditions

Trait	W_1	W_2	W_3
MDA content	0.721**	-0.216	-0.450*
H_2O_2 content	0.780**	-0.323	-0.345
Proline content	0.851**	0.161	0.292
Chlorophyll-a content	-0.577*	0.578*	0.364*
Chlorophyll-b content	-0.091	0.189	0.284
Carotenoid content	0.215	-0.062	0.120
Total chlorophyll content	-0.605*	0.264	0.353*
Protein content	-0.184	0.171	0.069
Peroxidase content	0.757**	0.023	0.380*
Catalase content	0.702**	0.128	0.608*

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۳- همبستگی ساختاری بین صفات ریشه و توابع کانونیک در شرایط گلخانه

Table 13. Structural correlation between root traits and canonical functions in greenhouse conditions

Trait	V_1	V_2	V_3
Number of root	-0.069	0.028	0.997**
Root dry weight	0.897**	0.380*	0.225
Root volume	0.295	0.850**	0.437*

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۴- همبستگی بین صفات فیزیولوژیک با توابع کانونیک حاصل از صفات ریشه در شرایط گلخانه

Table 14. Correlation between physiological traits and canonical functions derived from root traits in greenhouse conditions

Trait	V_1	V_2	V_3
MDA content	0.717**	-0.158	-0.256
H_2O_2 content	0.777**	0.237	-0.196
Proline content	0.847**	0.118	0.166
Chlorophyll-a content	-0.574*	0.424*	0.207
Chlorophyll-b content	-0.091	0.138	0.162
Carotenoid content	0.214	-0.046	0.068
Total chlorophyll content	-0.602*	0.194	0.201
Protein content	-0.183	0.125	0.040
Peroxidase content	0.753**	0.024	0.216
Catalase content	0.699**	0.094	0.346

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۵- همبستگی بین صفات ریشه با توابع کانونیک حاصل از صفات فیزیولوژیک در شرایط گلخانه

Table 15. Correlation between root traits and canonical functions derived from physiological traits under greenhouse conditions

Trait	W_1	W_2	W_3
Number of root	-0.069	0.021	0.567*
Root dry weight	0.893**	0.278	0.128
Root volume	0.293	0.623*	0.248

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، می‌توان گفت که تحت هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در گلخانه، وزن خشک ریشه مهم‌ترین صفت بود و با افزایش آن می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را گزینش کرد. در این شرایط، صفات میزان پرولین، مقدار پراکسید هیدروژن برگ، غلظت مالون دی‌آلدهید، پراکسیداز و کاتالاز مهم‌ترین صفات تاثیرگذار بر وزن خشک ریشه بودند. از سوی دیگر، تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی در مرحله گلدهی در مزرعه، افزایش سرعت پر شدن دانه و تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی می‌تواند جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل و پرمحصول مورد توجه قرار گیرد. تحت این شرایط نیز آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، میزان کلروفیل a و پرولین می‌توانند به‌عنوان عوامل مهم و تأثیرگذار در نظر گرفته شوند. در این رابطه، لورنستی و همکاران (Lorenceti *et al.*, 2006) اهمیت تجزیه همبستگی کانونیک را برای درک ارتباط میان اجزای اولیه و ثانویه عملکرد دانه در یولاف جهت ارزیابی ساختارهای ژنتیکی نشان دادند. اتیشا و همکاران (Eticha *et al.*, 2010) با استفاده از تجزیه تشخیص کانونیک در جو اعلام کردند که صفاتی که دارای مقادیر و ارزش‌های بالاتری در مولفه اول هستند، می‌توانند به‌خوبی در متمایز کردن ارقام از یک‌دیگر ایفای نقش کنند و از این‌رو توجه به مقدار عددی صفات در مولفه‌ها را مهم دانستند. علوی سینی و صبا (Alavi Siney and Saba, 2014) با تجزیه همبستگی کانونیک صفات زراعی در گندم، سه متغیر کانونی معنی‌دار به‌دست آوردند و همبستگی اولین، دومین و سومین جفت متغیر کانونی را به‌ترتیب ۰/۹۱ ، ۰/۸۴ و ۰/۷۴ گزارش کردند. این محققین اعلام کردند که اولین متغیر کانونی با توجیه ۱۳/۲ درصد از تنوع متغیرهای زراعی با صفات درصد اختصاص ماده خشک به برگ، ارتفاع و شاخص برداشت رابطه منفی و با بقیه صفات زراعی رابطه مثبت داشت، در حالی‌که متغیر کانونی دوم با توجیه ۱۱ درصد از تنوع کل با صفات درصد ماده خشک برگ و سنبله، ارتفاع، طول ریشک، طول پدانکل، وزن مخصوص پدانکل و بیوماس همبستگی مثبت و متغیر کانونی سوم با توجیه ۵/۵ درصد از تنوع کل با همه صفات به‌جز درصد ماده خشک برگ، ارتفاع، وزن هزار دانه، بیوماس و عملکرد همبستگی منفی داشت (Alavi Siney and Saba, 2014). در مطالعه دیگری، صبا و همکاران (Saba *et al.*, 2018) با تجزیه همبستگی کانونیک صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک با صفات اجزای عملکرد دانه گزارش کردند که

اولین متغیر کانونی برای صفات مستقل (U_1) بیش‌تر تحت تأثیر بیوماس گیاه (۰/۶۷۴) قرار گرفت و صفات دمای کانوپی، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد روز تا سنبله‌دهی دارای ضرایب مثبت بودند. مطالعات نشان داده‌اند که جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز و کاتالاز افزایش می‌یابد (Çakmakçi *et al.*, 2009; Patel and Hemantaranjan, 2012). نشانگرهای مالون دی‌آلدهید (MDA) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌عنوان نشانگرهای فیزیولوژیک گیاه در برابر تنش مورد استفاده قرار می‌گیرند و جهت ارزیابی درجه تحمل گیاهان زراعی در برابر تنش خشکی مفید هستند (Zohang *et al.*, 2011). سطوح بالای هردوی آن‌ها در شرایط تنش خشکی، نشان‌دهنده ایجاد تنش اکسیداتیو است (Erdogan *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط گلخانه‌ای، اندازه‌گیری صفاتی از قبیل میزان پرولین، مالون دی‌آلدهید، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و نیز رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و کلروفیل کل به‌عنوان معیارهای گزینشی جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی مفید هستند. در شرایط مزرعه‌ای، جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی می‌توان سرعت پر شدن دانه و تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی را افزایش داد و در این شرایط، افزایش محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، غلظت مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن می‌توانند به‌عنوان صفات مناسب در نظر گرفته شوند. نتایج این آزمایش، اهمیت تجزیه همبستگی کانونیک را برای درک ارتباط بین صفات فیزیولوژیک، فنولوژیک و ریشه در گندم نشان داد. در این تجزیه، به‌دلیل اینکه همزمان چندین متغیر تحلیل می‌شوند، بنابراین می‌تواند روشی موثر برای یافتن روابط بین صفات در مقیاس مزرعه‌ای باشد. همچنین، به‌جای توجه به عملکرد گیاه زراعی در انتهای فصل رشد، این تجزیه ما را قادر می‌سازد تا وضعیت گیاه زراعی را که منجر به عملکرد مشخصی می‌شود، مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم و بنابراین از این روش می‌توان برای مطالعات مشابه در آینده استفاده کرد.

سپاسگزاری

از مسئولین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی که مواد آزمایشی برای انجام این پژوهش را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Alavi Siney, S. M. and Saba, J. 2014. Studying the association between physiological and agronomical characteristics of different wheat genotypes in dryland condition using canonical correlation analysis. **Crop Sciences** 7: 13-23. (In Persian with English Abstract).

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2012. Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. **Annals of Biology Research** 3 (3): 1322-1332. (In Persian with English Abstract).

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S. T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R. and Dai, T. 2016. Improved tolerance to postanthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and sensitive wheat cultivars. **Plant Physiology and Biochemistry** 106 (1): 218-227.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. **Agronomy Journal** 23: 112-121.

Alexieva, V., Sergei, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell Environment** 24: 1337-1344.

Aghaie Sarbarzeh, M. and Amini, A. 2011. Genetic diversity of agronomic traits in the genotypic collection of native bread wheat in Iran. **Journal of Seedlings and Seeds** 27 (1): 581-599. (In Persian with English Abstract).

Bates, L., Waldrem, R. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. **Plant and Soil** 39: 205-207.

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

Chance, B. and Maehly, A. C. 1955. Assay of catalase and peroxidases. **Method in Enzymology** 11: 764-755.

Çakmakçi, R., Erat, M., Oral, B., Erdogan, U. and Şahin, F. 2009. Enzyme activities and growth promotion of spinach by indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 84: 375-380.

Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khalil-Tahmasebi, B. and Nabati, E. 2013. Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. **Advances in Environmental Biology** 7 (4): 619-624. (In Persian with English Abstract).

Eticha, F., Belay, G. and Bekele, E. 2006. Species diversity in wheat landrace populations from two regions of Ethiopia. **Genetic Resources Crop Evolution** 53: 387-393.

Eticha, F., Grausgruber, H. and Berghoffer, E. 2010. Multivariate analysis of agronomic and quality traits of hull-less spring barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Breeding and Crop Sciences** 2: 81-95.

Erdogan, U., Cakmakci, R., Varmazyari, A., Turan, M., Erdogan, Y. and Kitir, N. 2016. Role of inoculation with multi-trait rhizobacteria on strawberries under water deficit stress. **Zemdirbyste-Agriculture** 103 (1): 67-76.

Ellis, H. R. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. **Seed Science Research** 2: 19-25.

FAO. 2011-2020. World food situation. Food and Agriculture Organization. Available at: http://www.fao.org/ worldfoodsituation/ csdb/en/.

Hadi, H., Seyed Sharifi, R. and Namvar, A. 2016. Plant protection and non-biological stresses. Mashhad University Jihad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian).

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. **Photosynthetica** 54 (1): 87-92. (In Persian with English Abstract).

Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 2007. Applied multivariate statistical analysis. 5th Edition. Prentice Hall. 773 p.

Khandkar, U. R., Jain, N. K. and Shinde, D. A. 1992. Response of irrigated wheat to ZnSO4 application in vertisol. **Journal of the Indian Society of Soil Science** 40: 399-400.

Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology** 57: 315-319.

Kohkan, H., Mohammadi, A., Alishah, O. and Hezarjaribi, E. 2015. Study on relationships among yield and some agronomic traits using path coefficient analysis in soybean pure lines. **Applied Field Crops Research (Pajouhesh and Sazandegi)** 28 (106): 29-36. (In Persian with English Abstract).

Khodadadi, M., Dehghani, H. and Fotokian, M. H. 2011. Investigation of heritability, causal analysis and factor analysis in autumn wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Journal of Agronomy Science** 4 (4): 67-78. (In Persian with English Abstract).

Lorenceti, C., Felix de Carvalho, F. I., de Oliviera, A. C., Valerio, I. P., Hartwig, I., Benin, G. and Schmidt, D. A. M. 2006. Applicability of phenotypic and path coefficient in the selection of oat genotypes. **Scientia Agricola** 63: 11-19.

Mosadeghi, M. R., Morshedizad, M., Mahboubi, A. A., Dexter, A. R. and Schulin, R. 2009. Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. **Soil and Tillage Research** 105: 242-250. (In Persian with English Abstract).

Mohammadi, S., Yazdansepas, A., Rezaie, M. and Mirmahmmodi, T. 2010. Study of response of different Iranian bread wheat genotypes to different sowing dates under full-irrigation and terminal drought stress conditions. **Research on Crops** 11(1): 13-19. (In Persian with English Abstract).

Ohkawa, H., Ohishi, N. and Yagi, K. 1979. Assay for lipid peroxidation in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. **Annals of Biochemistry** 95: 351-358.

Patel, P. K. and Hemantaranjan, A. 2012. Antioxidant defence system in chickpea (*Cicer arietinum* L.): Influence by drought stress implemented at pre- and post-anthesis stage. **American Journal of Plant Physiology** 7: 164-173.

Rahnema, A., Bakhshandeh, A. and Noormohammadi, M. 2000. Study of tiller variation, seed yield and yield components of wheat as affected by different plant densities under south Khoozestan climatic condition. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 2: 12-24. (In Persian with English Abstract).

Raykov, T. and Marcoulides, G. A. 2008. An introduction to applied multivariate analysis. Routledge/Psych Press. 498 p.

Saba, J., Tavana, Sh., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F. and Jabbari, F. 2018. Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress. **Journal of Agricultural Science and Technology** 20: 1037-1048.

Soghani, M., Vaezi, Sh. and Sabaghpour, S. H. 2010. Study on correlation and path analysis for seed yield and its dependent traits in white bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). **Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding** 6 (3): 27-36.

SPII. 2015. Report of wheat breeding program results during 2014-2015. Cereal Research Division, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian).

SPII. 2016. Report of wheat breeding program results during 2015-2016. Cereal Research Division, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian).

Smith, S. 2008. Intellectual property protection for plant varieties in the 21st century. **Crop Sciences** 48: 1277-1290.

Talebifar, M., Taghizadeh, R. and Kamal kivi, S. E. 2014. Determination of relationships between yield and yield components in wheat varieties under water deficit stress in different growth stages through path analysis. **Applied Field Crops Research (Pajouhesh and Sazandegi**) 108: 107-113. (In Persian with English Abstract).

Yeater, K. M., Bollero, A. G., Bullock, D. G., Rayburn, A. L. and Rodriguez-Zas, S. 2004. Assessment of genetic variation in hairy vetch using canonical discriminant analysis. **Crop Science** 44 (1): 185-189.

Zohang, L., Zhang, X., Zhang, L. and Gao, M. 2011. Role of nitrate nutrition in alleviation of the adverse effects of drought stress on maize cultivars: Biomass production and anti oxidative capacity. **Pakistan Journal of Botany** 43: 2869-2874.

doi: 10.22124/cr.2020.16448.1599

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 2, Summer 2020 (167-180)

Analysis of canonical correlation of physiological traits with phonological and root traits in different bread wheat genotypes

Behnam Tahmasebpour[1], Sodabeh Jahanbakhsh Godehkahriz[2*], Ali Reza Tarinejad[3] and Seyede Yalda Raeesi Sadati[4]

Received: May 3, 2020 Accepted: August 12, 2020

Abstract

To estimate the relationships and correlations among different traits in wheat, 30 bread wheat genotypes were studied in two separate experiments in greenhouse and field under two conditions (non-stress and drought stress at the beginning of flowering stage). The experimental design in both greenhouse and field conditions was a split plot design in which drought stress and wheat genotype were considered as the main- and sub-factor, respectively, but the basic design in the greenhouse was completely randomized design and in the field was randomized complete block design both with three replications. The results of canonical correlation analysis showed that there was a significant correlation under both non-stress and drought stress conditions between pairs of canonical variables resulting from physiological traits with root and phenological traits, so that in the field conditions, the first canonical function for physiological traits (V_1) was most affected by number of days to 50% flowering and grain filling rate, but for phonological traits (W_1) by catalase (CAT), peroxidase (POX), malondialdehyde (MDA), leaf H_2O_2 and proline contents. In contrast under greenhouse conditions, the first canonical function for root traits (V_1) was more affected by proline, leaf H_2O_2, MDA, POX, CAT, total chlorophyll and chlorophyll-a contents, while for physiological traits (W_1) by root dry weight. The results of this experiment showed that to select drought tolerant cultivars under both non-stress and drought stress conditions, increasing root dry weight by increasing MDA concentration, leaf H_2O_2 content, proline content, POX and CAT and decreasing total chlorophyll and chlorophyll-a under greenhouse conditions and increasing grain filling rate by increasing CAT, POX and proline and decreasing MDA and H_2O_2 under field conditions can be considered as appropriate selection criteria.

Keywords: Drought stress, Flowering stage, H_2O_2, MDA, Peroxidase, Proline

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
4. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
* Corresponding author: jahanbakhsh@uma.ac.ir