پژوهش‌های بذر ایران/ سال نهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۱/ صفحات: ۷۶-۶۳

مقاله پژوهشی

بررسی کلئوپتیل و مزوکوتیل به عنوان مهم‌ترین عامل‌های استقرار بذر گندم نان در شرایط دیم

حسن غلامی [۱]، روح اله عبدالشاهی [۲*]، مهدی مهیجی [۳]، محسن اسماعیل‌زاده مقدم [۴]

چکیده مبسوط

مقدمه: کلئوپتیل از ساقه‌چه و برگ اول حفاظت می‌نماید تا از جنین به سطح خاک منتقل شوند. کلئوپتیل برای استقرار گیاه بسیار ضروری است. ارقامی که کلئوپتیل و مزوکوتیل بلندتری دارند عمیق‌تر کشت می‌شوند و در شرایط تنش خشکی موفق‌تر هستند. با این وجود، اطلاعات اندکی در مورد ژنتیک آنها وجود دارد. هدف این پژوهش بررسی طول کلئوپتیل و مزوکوتیل در ارقام ایرانی، خارجی و لاین‌های حاصل از برنامه‌های به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان و بررسی ژنتیک این صفات است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۳۰ ژنوتیپ گندم نان از منشاء ایران، سیمیت، ایکاردا، آمریکا و استرالیا و ۵ لاین حاصل از برنامه به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی با ۷ تکرار کشت شد. هر کرت شامل سه خط به طول دو متر و فاصله بذرها از همدیگر ۵ سانتی‌متر بود. در هنگام برداشت بوته‌ها با استفاده از بیل و به آرامی از خاک خارج شدند و حذف خاک‌ها از ناحیه ریشه و شستشوی ریشه انجام شد. در این پژوهش صفات طول کلئوپتیل، طول مزوکوتیل، تعداد ریشه نخستین، طول ریشه، تعداد ریشه بذری، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

یافته‌ها: کلئوپتیل و مزوکوتیل دو صفت مهم برای افزایش تحمل به خشکی در گندم نان هستند. در این پژوهش طول مزوکوتیل از ۵/۲۰ برای رقم اکسکلیبر تا ۲/۰۸ سانتی‌متر برای رقم زاگرس متفاوت بود و وراثت‌پذیری (۰/۴۸) و پاسخ به گزینش (۱۱/۶۱ درصد) بالایی داشت. از طرف دیگر این صفت با طول کلئوپتیل ($r=۰/۵۳^{**}$)، وزن ریشه ($r=۰/۳۸^{*}$) و وزن اندام هوایی ($r=۰/۳۶^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. صفات تعداد ریشه نخستین و تعداد ریشه بذری دارای بیشترین وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۵۹) و طول ریشه دارای کم‌ترین وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۱۳) بود. به طور کلی، ارقام مناسب کشت در شرایط دیم، کلئوپتیل و مزوکوتیل بلندتری نسبت به ارقام فاریاب داشتند. وزن ریشه و اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی داری ($r=۰/۸۲^{**}$) با هم داشتند.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش عملکرد در شرایط دیم و آبی متفاوت است. در برنامه به‌نژادی گندم برای شرایط دیم باید روی صفات کلئوپتیل و مزوکوتیل تاکید ویژه‌ای شود. این صفات تحت تأثیر عادت رشد گیاه قرار نگرفتند.

واژه‌های کلیدی: وراثت‌پذیری، تنش خشکی، پاسخ به گزینش، ژن‌های پاکوتاهی

جنبه‌های نوآوری:

۱- مزوکوتیل ارقام ایرانی برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفت.

۲- لاین‌های ایجاد شده مناسب شرایط دیم در دانشگاه شهید باهنر کرمان کلئوپتیل و مزوکوتیل مناسبی داشتند.

۳- کلئوپتیل و مزوکوتیل همبستگی مثبت و معنی‌داری با هم داشتند.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۲] دانشیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۳] استادیار، بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۴] دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، کرج، ایران

[*] رایانانه نویسنده مسئول: abdoshahi@uk.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.3.6

DOI: 10.61186/yujs.9.2.63

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹)

مقدمه

گندم بخش قابل توجهی از کالری رژیم غذایی در سرتاسر جهان (۲۶ درصد در کشورهای در حال توسعه و ۱۶ درصد در کشورهای توسعه یافته) را تأمین می‌کند و تولید گندم در آینده نقش مهمی را در امنیت غذای جهانی ایفا خواهد کرد (دیکسون[۱] و همکاران، ۲۰۰۹). حدود ۷۰ درصد تولید گندم جهانی در شرایط دیم تولید می‌شود (ریچ[۲] و همکاران، ۲۰۱۶). آب ذخیره شده در اعماق خاک منبع حیاتی برای به حداکثر رساندن عملکرد در شرایط دیم است. این آب ذخیره شده معمولاً در انتهای فصل برای افزایش کربوهیدرات و انتقال آن به دانه‌های در حال رشد استفاده می‌شود (ریچ و همکاران، ۲۰۱۶). تحمل به کشت عمیق نخست به توانایی طویل شدن مزوکوتیل و سپس و با اهمیت کمتر به طویل شدن اولین میانگره بستگی دارد (اوهنو[۳] و همکاران، ۲۰۱۸). کلئوپتیل گندم ساختار غلاف مانندی است که کمک می‌کند ساقه‌چه و برگ اول از جنین به سطح خاک منتقل شوند. کلئوپتیل برای استقرار گیاه بسیار ضروری است، زیرا طول کلئوپتیل حداکثر عمق کاشت را تعیین می‌کند (ریبتزک[۴] و همکاران، ۲۰۱۲). مزوکوتیل اولین میانگره ساقه است که با رشد خود باعث تسهیل خروج گیاهچه از خاک می‌شود (ژیانگ[۵] و همکاران، ۲۰۱۷). در کاشت عمیق بذرهای غلات مزوکوتیل، کلئوپتیل و چند میانگره نخست طویل می‌شوند تا جوانه‌زنی بذرها را تسهیل کنند (لئو[۶] و همکاران، ۲۰۱۷). رشد این اندام‌ها در شرایط کشت عمیق بیشتر به خاطر فتومورفوژنز[۷] در شرایط تاریکی است. به عنوان مثال، بزرگ شدن مزوکوتیل برنج در معرض نور فراقرمز متوقف شد (تاکانو[۸] و همکاران، ۲۰۰۱؛ اوهنو و همکاران، ۲۰۱۸). هورمون‌های گیاهی متعددی از قبیل اسید آبسیزیک، جیبرلین و اسید جاسمونیک تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های کلئوپتیل و مزوکوتیل را کنترل می‌کنند. طول کلئوپتیل بسته به ژنوتیپ گندم متفاوت است. گندم‌های با طول کلئوپتیل کوتاه اگر عمیق‌تر کشت شوند جوانه‌زنی کندتر، رشد اولیه آهسته‌تر و در نهایت عملکرد پایین‌تری خواهند داشت (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در گندم نان کلئوپتیل تا ۱۲۰ میلی‌متر رشد می‌کنند تا موجب رشد ساقه‌چه در زیر خاک شود (ریبتزک و همکاران، ۲۰۰۴). مهدوی صفا[۹] و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند که برای طول کلئوپتیل در مقایسه با بقیه صفات وراثت‌پذیری خصوصی قابل قبولی (حدود ۴۷ درصد) وجود دارد و پاسخ به گزینش برای این صفت در مقایسه با طول و تعداد ریشه می‌تواند سریع‌تر حاصل شود. آن‌ها نتیجه گرفتند که گزینش واریته‌های با کلئوپتیل طویل باعث افزایش قدرت سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها با افزایش عمق کاشت خواهد شد.

با ورود ژن‌های پاکوتاهی رقم نورین[۱۰] ۱۰ به گندم نان، عملکرد در شرایط طبیعی افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد و به انقلاب سبز مشهور شد. در انقلاب سبز رقم‌های پاکوتاه به سرعت جایگزین رقم‌های پابلند شدند، ولی استفاده از رقم‌های پاکوتاه بنیه اولیه گندم را در رقم‌های امروزی کاهش داد (میدوپ[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۲). ژن‌های پاکوتاهی *Rht-B1b* و *Rht-D1b* به طور گسترده در جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این ژن‌ها در اکثر ارقام پاکوتاه و پرمحصول امروزی وجود دارند. این ژن‌ها به طور معنی‌داری طول کلئوپتیل را کاهش داده‌اند (لی[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۷). ارقام دارای ژن‌های *Rht-B1b* و *Rht-D1b* به اسید جیبرلیک غیر حساس هستند. در مقابل، ژن‌های پاکوتاهی حساس به اسید جیبرلیک مثل *Rht4*، *Rht5*، *Rht7*، *Rht8*، *Rht9*، *Rht12*، *Rht13* و *Rht14* ارتفاع بوته را کاهش می‌دهند، بدون اینکه تأثیر معنی‌داری بر طول کلئوپتیل داشته باشند (آلیس[۱۳] و همکاران، ۲۰۰۴؛ بوترایت[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۵).

[1] Dixon
[2] Rich
[3] Ohno
[4] Rebetzke
[5] Xiong
[6] Liu
[7] Photomorphogenesis
[8] Takano
[9] Mahdavi-Safa
[10] Norin 10
[11] Maydup
[12] Li
[13] Ellis
[14] Botwright

اگرچه سیستم ریشه‌ای دارای اهمیت بالایی است، ولی اهمیت آن در پژوهش‌های گیاهی نادیده گرفته می‌شود. به‌نژادگران به طور معمول از ارزیابی مستقیم سیستم ریشه اجتناب می‌کنند دلیل این امر مشکلات فنوتایپینگ، کمبود دانش در مورد سیستم توسعه ریشه و تأثیر زیاد شرایط محیطی بر فنوتیپ سیستم ریشه است (واسون[1] و همکاران ۲۰۱۲؛ ریچ و همکاران ۲۰۱۶). از زمان اهلی شدن گیاهان، حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش، گزینش بر اساس اندام‌های قابل مشاهده روی زمین انجام شده است و در بیشتر موارد نقش ریشه نادیده گرفته شده است (واینس و اهدائی[2]، ۲۰۰۷). به دلیل مشکل ارزیابی ریشه در مزرعه و هزینه بالای ارزیابی، اطلاعات اندکی در مورد آن وجود دارد. سیستم ریشه‌ای بهتر باعث پایداری بیشتر عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌گردد، چون در هنگام تنش خشکی، ریشه آب را از اعماق خاک جذب می‌کند (استدا[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ عبدالشاهی[4] و همکاران ۲۰۱۳). هر ۳۰ سانتی‌متر افزایش عمق سیستم ریشه‌ای می‌تواند در زمان توسعه اندازه دانه،۱۰ میلی‌متر آب بیشتری از اعماق خاک جذب کند که منجر به افزایش ۰/۵ تن در هکتار عملکرد گندم می‌شود (کیرکگارد و لی‌لی[5]، ۲۰۰۷).

در این پژوهش ارقام ایرانی، خارجی و لاین‌های حاصل از برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی گندم نان از لحاظ طول کلئوپتیل، مزوکوتیل و صفات ریشه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر این ژنتیک این صفات شامل پارامترهای واریانس ژنتیکی (σ^2_g)، ضریب تغییرات ژنتیکی (GCV)، ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV)، وراثت پذیری (h^2) و پاسخ به گزینش (R) نیز مورد بررسی قرار گرفت تا برنامه به‌نژادی دقیق‌تری بتوان برای آن‌ها تعیین کرد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این آزمایش ۲۶ رقم گندم نان به نام‌های اکسکلیبر، سیوند، پارسی، پاستور، مهرگان، افلاک، پیشگام، بک کراس روشن بهاره، چمران، روشن، میهن، مهدوی، شاه‌پسند، بهار، شیرودی، هیرمند، سیروان، شیراز، افق، شوش، پیشتاز، زارع، ویبیل، گهر، زرین و زاگرس، دو لاین گزینش شده از رقم کل حیدری (کل حیدری ۱ و کل حیدری ۲)، دو لاین آمریکایی متحمل به فوزاریوم به نام‌های VA04W-433 و VA04W-474 (چن[6] و همکاران، ۲۰۱۲) و پنج لاین به‌نژادی از برنامه‌های به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان شامل دو لاین خالص حاصل از تلاقی روشن و مهدوی (RM1 و RM2) و نسل‌های پیشرفته تلاقی برگشتی روشن، مهدوی و کل حیدری (رقم‌های روشن، مهدوی و کل حیدری که ارقام متحمل به خشکی ولی نسبتاً دیررس هستند (عبدالشاهی و همکاران، ۲۰۱۲) به طور جداگانه با رقم استرالیایی اکسکلیبر (زودرس) تلاقی داده شدند و نتاج حاصل با ارقام ایرانی تلاقی برگشتی داده شد. سپس چندین نسل خودگشنی انجام و در هر نسل زودرس‌ترین بوته گزینش گردید) مورد بررسی قرار گرفت.

ارقام گندم طوری انتخاب گردید که شامل ارقام مطرح دیم و ارقام جدید فاریاب باشد. لاین‌های به‌نژادی دانشگاه شهید باهنر کرمان برای شرایط تنش خشکی ایجاد شده‌اند. دو رقم روشن و مهدوی متحمل به خشکی ولی دارای منشاء و ریخت ظاهری متفاوتی هستند. رقم روشن یک رقم ایرانی است که از گزینش توده‌های بومی با منشأ اصفهان حاصل شده است. رقم مهدوی در ICARDA اصلاح و معرفی شده است و پس از بررسی در ایران با نام مهدوی به کشاورزان معرفی گردیده است. این دو رقم با هم تلاقی داده شدند و دو لاین خالص حاصل از این تلاقی در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. در سه پروژه جداگانه دیگر با استفاده از روش تلاقی برگشتی، زودرسی از رقم استرالیایی اکسکلیبر به ارقام ایرانی روشن، مهدوی و کل حیدری منتقل گردید. لاین‌های به‌نژادی همراه با سایر

[1] Wasson
[2] Waines and Ehdaie
[3] Streda
[4] Abdolshahi
[5] Kirkegaard and Lilley
[6] Chen

ژنوتیپ‌ها در این آزمایش بررسی گردید. جدول ۱ مشخصات ارقام و ژنوتیپ های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

طرح و نحوه اجرای آزمایش

طی این تحقیق ۳۵ ژنوتیپ مختلف گندم نان در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان کشت شدند. برای کاشت در این عمق ابتدا شیاری در عمق ۱۰ سانتی‌متری ایجاد شد و پس از کاشت بذرها خاک اطراف شیار مجدداً درون شیار ریخته شد. آزمایش بر اساس طرح بلوک کامل تصادفی با ۷ تکرار اجرا شد. کشت در ۱۷ آبان سال ۱۳۹۶ انجام شد و سه ماه بعد از کشت (۱۷ بهمن) گیاهان که در مرحله پنجه دهی بودند از زمین بیرون آورده شدند و طول کلئوپتیل، ریشه‌های بذری، تعداد ریشه، طول بزرگترین ریشه، وزن ریشه، وزن اندام هوایی و طول مزوکوتیل اندازه گیری شد. در اندازه‌گیری ریشه‌های بذری طول بلندترین ریشه ملاک اندازه‌گیری بود. مزرعه دارای بافت خاک لومی بود. هر کرت شامل سه خط به طول دو متر و فاصله بذرها از همدیگر ۵ سانتی‌متر بود. در هنگام برداشت بوته‌ها با استفاده از بیل و به آرامی از خاک خارج شدند و حذف خاک‌ها از ناحیه ریشه و شستشوی ریشه انجام شد. در این پژوهش صفات طول کلئوپتیل، طول مزوکوتیل، تعداد ریشه اصلی[1]، طول ریشه، تعداد ریشه فرعی[2]، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. صفات طول کلئوپتیل، طول بزرگترین ریشه و طول مزوکوتیل با استفاده از خط‌کش اندازه گیری گردید. برای اندازه‌گیری صفات ریشه، گیاهان و خاک اطراف آنها از مزرعه خارج شد و با استفاده از شستشو با آب ریشه‌ها با دقت از خاک جدا شدند. ریشه و اندام هوایی در پاکت‌های جداگانه‌ای قرار گرفتند و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس وزن ریشه و اندام هوایی با استفاده از ترازوی دقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. قبل از کاشت، برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه تعداد ۴۰۰ بذر از هر ژنوتیپ وزن و با استفاده از تناسب، وزن هزار دانه محاسبه گردید. آبیاری به فاصله ۱۰ روز انجام شد. با توجه به کوتاه بودن دوره رشد مشکل علف‌های هرز در مزرعه وجود نداشت. همینطور، هیچ کودی به مزرعه داده نشد.

تجزیه‌های آماری

از نرم‌افزار SAS v9.1 (ساس[3]، ۲۰۰۴) (برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

با استفاده از امید ریاضی هر منبع تغییر در جدول تجزیه واریانس طرح پایه بلوک کامل تصادفی، تغییر واریانس ژنتیکی (σ_g^2)، ضریب تغییرات ژنتیکی (GCV)، ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV)، وراثت‌پذیری (h^2) و پاسخ به گزینش (R) بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه گردید (فالکونر و مک‌لی[4]، ۱۹۹۶).

$$\sigma_g^2 = \frac{MSg - MSe}{r}$$

$$GCV = \frac{\sigma_g}{\bar{x}} \times 100$$

$$PCV = \frac{\sigma_p}{\bar{x}} \times 100$$

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_p^2}$$

در این رابطه‌ها MSg و MSe به ترتیب واریانس ژنوتیپ و خطای آزمایش است که از جدول تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی استخراج می‌شوند و i شدت گزینش (۱۰ درصد) است که از جدولی به همین نام بدست می‌آید. برای مقایسه میزان پاسخ به گزینش صفات مورد ارزیابی و مقایسه این صفات با هم میزان پاسخ به گزینش بر اساس درصد محاسبه گردید.

[1] Seminal root number
[2] Nodal root number
[3] SAS
[4] Falconer

جدول ۱. عادت رشدی، منشاء و شرایط کشت ارقام و ژنوتیپ‌های گندم

Table 1. Growth habit, origin and cultivation condition of wheat cultivars and genotypes

رقم Cultivar	عادت رشدی Growth habit	منشأ Origin	شرایط کشت Cultivation condition	وزن هزار دانه 1000-grain weight
Excalibur	Spring type	Australia	Dryland	37
Sivand	Spring type	Iran	Irrigated condition	41
Parsi	Spring type	Iran	Irrigated condition	43
RM1	Facultative	Iran	Dryland	46
Pastor	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	42
Mehregan	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	44
Kalheydari2	Winter type	Iran	Dryland	43
RM2	Facultative	Iran	Dryland	47
Kalheydari 1	Winter type	Iran	Dryland	42
Aflak	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	40
Backcross of Kalheydari	Spring type	Iran	Dryland	44
Pishgam	Facultative	Iran	Irrigated condition	47
Backcross of Roshan	Spring type	Iran	Dryland	42
Chamran	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	41
Roshan	Facultative	Iran	Irrigated condition	43
VA04W-433	Spring type	USA	Irrigated condition	47
Mihan	Winter type	Iran	Irrigated condition	41
Mahdavi	Spring type	ICARDA	Irrigated condition	45
Shahpasand	Winter type	Iran	Irrigated condition	36
Bahar	Spring type	ICARDA	Irrigated condition	39
Shiroodi	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	43
Hirmand	Spring type	Iran	Irrigated condition	40
Sirvan	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	39
Shiraz	Spring type	Iran	Irrigated condition	40
Roshan-Backcross4	Facultative	Iran	Dryland	44
Ofough	Spring type	Iran	Irrigated condition	41
Shoush	Spring type	ICARDA/Iran joint project	Irrigated condition	44
Pishtaz	Spring type	Iran	Irrigated condition	40
Zare	Winter type	CIMMYT	Irrigated condition	37
VA04W-474	Spring type	USA	Irrigated condition	47
Weeibill1	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	41
Gahar	Spring type	ICARDA	Dryland	43
Backcross of Mahdavi	Spring type	Iran	Dryland	43
Zarin	Facultative	ICWWIP	Irrigated condition	43
Zagros	Spring type	CIMMYT	Irrigated condition	40

جدول ۲. تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای صفات طول مزوکوتیل، طول کلئوپتیل، تعداد ریشه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی ارقام گندم

Table 2. Analysis of variance of randomized complete block design for sub-crown internode, coleoptile length, seminal root number, root length, nodal root number, root dry weigh and shoot dry weight

Source of Variation	منابع تغییر	درجه آزادی Degree of freedom	تعداد ریشه اصلی Seminal root number	طول ریشه Root length	تعداد ریشه فرعی Number of nodal root	وزن ریشه Root weight	وزن اندام هوایی Shoot weight	طول مزوکوتیل Sub-crown internode	طول کلئوپتیل Coleoptile length
Replication	بلوک	6	8.88^{**}	21.27^{**}	51.08^{**}	0.09^{**}	1.97^{**}	5.95^{**}	11.93^{**}
Genotype	ژنوتیپ	34	1.60^{**}	2.59^{ns}	2.27^{**}	0.03^{*}	0.81^{**}	2.15^{**}	1.51^{*}
Dryland vs irrigation	دیم در مقابل آبی	1	1.63^{*}	2.00^{ns}	12.93^{**}	0.29^{**}	7.85^{**}	5.78^{**}	0.43^{ns}
Spring vs winter type	بهاره در مقابل پاییزه	1	0.01^{ns}	0.00^{ns}	0.11^{ns}	0.10^{*}	3.34^{**}	0.81^{ns}	0.20^{ns}
Error	خطا	124	0.63	2.18	0.92	0.02	0.39	1.13	0.93
CV%	ضریب تغییرات	-	17.91	13.81	13.86	17.00	18.50	15.2	12.76

*، ** و ns معنی داری در سطح ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی دار، *, ** and ns are significant at $p<0.05$, $p<0.01$ and not significant

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ژنوتیپ‌ها از لحاظ وزن اندام هوایی، وزن ریشه، تعداد ریشه بذری، تعداد ریشه اصلی، طول کلئوپتیل و طول مزوکوتیل تنوع ژنتیکی معنی‌داری دارند (جدول ۲). این تنوع ژنتیکی نشان می‌دهد گزینش برای بهبود این صفات مؤثر است.

طول مزوکوتیل

یکی از صفات مهم و مورد توجه در این پژوهش طول مزوکوتیل بود. رقم‌هایی که طول مزوکوتیل بیشتری داشته باشند، می‌توانند عمیق‌تر کشت شوند و از رطوبت اعماق خاک بهتر استفاده کنند (اوهنو و همکاران، ۲۰۱۸). این رقم‌ها در شرایط دیم بسیار موفق‌تر هستند. طول مزوکوتیل از ۵/۲۰ سانتی‌متر برای رقم اکسکلیبر (مناسب برای شرایط دیم) تا ۲/۰۸ سانتی‌متر برای رقم زاگرس (مناسب برای شرایط فاریاب) متفاوت بود (جدول ۳). به طور کلی ارقام موفق در شرایط دیم مانند اکسکلیبر، لاین‌های برگرفته از رقم کل‌حیدری (کل‌حیدری ۱ و ۲)، روشن، میهن و مهدوی از طول مزوکوتیل مناسبی برخوردار بودند (طول مزوکوتیل آن‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها ۱۷٪ بلندتر بود). در این پژوهش از لاین‌های پیشرفته تلاقی‌ها نیز استفاده شد. لاین‌های RM1 و RM2، نسل‌های پیشرفته بک‌کراس حاصل از روشن و کل‌حیدری نیز دارای طول مزوکوتیل مناسبی بودند. صفت مزوکوتیل از وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۴۸) و پاسخ به گزینش (۱۱/۶۱ درصد) خوبی برخوردار است (جدول ۴). با توجه به این نتایج گزینش در نسل‌های در حال تفکیک باعث ایجاد پاسخ به گزینش مناسبی در این صفت خواهد شد. از این رو، برای به‌نژادی این صفت می‌توان از روش‌هایی مثل شجره‌ای و تلاقی برگشتی استفاده کرد. در روش تلاقی برگشتی تعداد زیادی بوته تلاقی برگشتی داده می‌شود، ولی پس از رسیدگی و اندازه‌گیری طول مزوکوتیل فقط تلاقی‌هایی نگه‌داری می‌شوند که بوته مورد نظر دارای طول مزوکوتیل مناسبی باشند.

جدول ۳. مقایسه میانگین ۳۶ ژنوتیپ گندم نان با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Table 3. Mean comparison of 36 wheat cultivars using Duncan's multiple range test

ژنوتیپ Genotype	طول مزوکوتیل Sub-crown internode (cm)	طول کلئوپتیل Coleoptile length (cm)	تعداد ریشه اصلی Seminal root number	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه فرعی Number of nodal roots	وزن ریشه Root weight (gr)	وزن اندام هوایی Shoot weight (gr)
Excalibur	5.20^{a}	4.05^{a-e}	3.95^{e-g}	9.69^{bc}	3.22^{a-c}	0.21^{a-f}	1.23^{a-e}
Sivand	5.13^{ab}	5.59^{a}	4.68^{b-f}	9.44^{c}	1.87^{a-e}	0.12^{b-f}	0.42^{c-f}
Parsi	5.03^{abc}	5.00^{a-d}	5.53^{ab}	11.03^{a-c}	3.55^{a}	0.29^{a-e}	0.89^{a-f}
RM1‡	4.58^{a-d}	3.80^{c-e}	3.76^{fg}	11.57^{a-c}	1.72^{b-e}	0.19^{a-f}	0.51^{b-f}
Pastor	4.51^{a-e}	5.29^{ac}	4.50^{b-f}	9.60^{c}	1.33^{d-f}	0.19^{a-f}	0.28^{ef}
Mehrgan	4.50^{a-f}	5.50^{ab}	3.00^{g}	10.00^{bc}	2.00^{a-e}	0.09^{ef}	0.11^{f}
Kalheydari2	4.48^{a-f}	4.98^{a-d}	4.28^{b-g}	10.62^{a-c}	2.21^{a-e}	0.29^{a-f}	1.35^{a-d}
RM2	4.37^{a-f}	3.21^{e}	4.09^{c-g}	10.15^{bc}	2.27^{a-e}	0.35^{ab}	1.17^{a-e}
Kalheydari 1	4.34^{a-f}	4.16^{a-e}	4.12^{c-g}	10.31^{bc}	2.84^{a-d}	0.19^{a-f}	0.75^{a-f}
Aflak	4.30^{a-f}	4.18^{a-e}	5.41^{a-c}	12.89^{a}	3.50^{a}	0.12^{b-f}	0.43^{c-f}
Backcross of Kalheydari	4.23^{a-f}	4.99^{a-d}	4.31^{b-f}	10.95^{a-c}	2.32^{a-e}	0.38^{a}	1.51^{ab}
Pishgam	4.22^{a-f}	4.84^{a-d}	4.31^{b-f}	10.75^{a-c}	2.41^{a-e}	0.20^{a-f}	0.62^{a-f}
Backcross of Roshan	4.21^{a-f}	3.87^{b-e}	4.61^{b-f}	10.98^{a-c}	2.89^{a-d}	0.20^{a-f}	1.09^{a-f}
Chamran	4.18^{a-f}	3.86^{b-e}	4.80^{b-f}	9.68^{bc}	1.65^{b-e}	0.11^{c-f}	0.34^{d-f}
Roshan	4.16^{a-f}	4.63^{a-e}	4.47^{b-f}	10.48^{a-c}	2.24^{a-e}	0.33^{a-d}	1.41^{a-c}
VA04W-433	4.13^{a-f}	4.83^{a-d}	3.85^{fg}	11.31^{a-c}	1.10^{ef}	0.15^{a-f}	0.36^{d-f}
Mihan	4.10^{a-f}	4.38^{a-e}	4.75^{b-f}	11.23^{a-c}	2.94^{a-d}	0.34^{a-c}	1.58^{a}
Mahdavi	4.09^{a-f}	4.87^{a-d}	4.07^{c-g}	10.54^{a-c}	1.87^{a-e}	0.27^{a-f}	1.08^{a-f}
Shahpasand	4.02^{a-f}	5.20^{a-d}	4.80^{b-f}	10.32^{a-c}	2.60^{a-e}	0.19^{a-f}	0.67^{a-f}
Bahar	3.94^{a-f}	4.43^{a-e}	3.79^{fg}	11.74^{a-c}	2.06^{a-e}	0.19^{a-f}	0.54^{b-f}
Shiroodi	3.74^{a-g}	4.13^{a-e}	3.81^{fg}	10.11^{bc}	1.60^{c-f}	0.14^{a-f}	0.50^{b-f}
Hirmand	3.55^{a-g}	4.92^{a-d}	6.20^{a}	10.50^{a-c}	1.56^{c-f}	0.10^{d-f}	1.03^{a-f}
Sirvan	3.54^{a-g}	4.56^{a-e}	4.03^{d-g}	10.85^{a-c}	1.30^{d-f}	0.20^{a-f}	0.42^{c-f}
Shiraz	3.51^{a-g}	4.93^{a-d}	4.12^{c-g}	9.82^{bc}	3.36^{ab}	0.19^{a-f}	0.75^{a-f}
Roshan-Backcross4	3.46^{a-g}	4.17^{a-e}	4.36^{b-f}	10.86^{a-c}	2.94^{a-d}	0.22^{a-f}	0.64^{a-f}
Ofough	3.44^{a-g}	4.04^{a-e}	4.15^{c-g}	10.25^{bc}	2.55^{a-e}	0.12^{b-f}	0.47^{c-f}
Shoush	3.31^{b-g}	3.81^{c-e}	5.20^{a-e}	10.70^{a-c}	3.11^{a-c}	0.27^{a-f}	0.87^{a-f}
Pishtaz	3.22^{c-g}	3.88^{b-e}	5.33^{a-d}	10.62^{a-c}	2.31^{a-e}	0.17^{a-f}	0.50^{b-f}
Zare	3.18^{c-g}	4.21^{a-e}	4.33^{b-f}	10.93^{a-c}	1.03^{ef}	0.18^{a-f}	0.73^{a-f}
VA04W-474	3.13^{d-g}	4.78^{a-e}	4.07^{c-g}	10.44^{a-c}	1.28^{d-f}	0.08^{ef}	0.39^{c-f}
Weeibill1	3.12^{d-g}	3.58^{de}	4.77^{b-f}	11.78^{a-c}	0.10^{f}	0.07^{ef}	0.30^{ef}
Gahar	2.88^{d-g}	4.05^{a-e}	4.40^{b-f}	9.37^{c}	1.73^{b-e}	0.05^{f}	0.24^{ef}
Mahdavi Backcross	2.69^{e-g}	4.40^{a-e}	4.24^{b-g}	11.37^{a-c}	2.34^{a-e}	0.27^{a-f}	0.67^{a-f}
Zarin	2.61^{fg}	3.68^{c-e}	4.93^{b-f}	10.41^{a-c}	1.05^{ef}	0.08^{ef}	0.45^{c-f}
Zagros	2.08^{g}	4.50^{a-e}	4.38^{b-f}	12.27^{ab}	2.36^{a-e}	0.07^{ef}	0.18^{ef}

- ژنوتیپ های دارای حروف مشابه در هر ستون در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری با هم ندارند.

- Genotypes followed by a similar letter in each column are not significantly different at $p<0.05$ probability level.

‡ ژنوتیپ های RM لاین‌های خالصی هستند که از تلاقی روشن و مهدوی حاصل شده‌اند.

‡ RM genotypes are pure lines derived of Roshan and Mahdavi cross.

این امر روش تلاقی برگشتی را با افزایش هزینه همراه خواهد کرد.

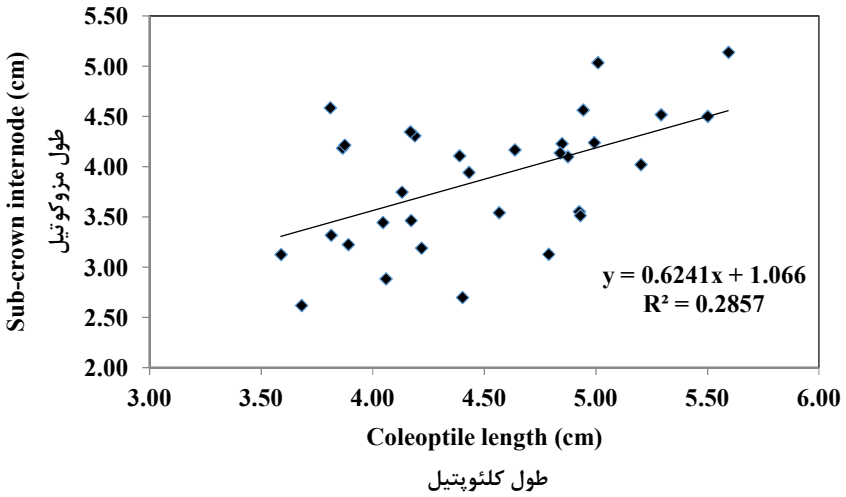
طول کلئوپتیل

روش شجره‌ای مشکل خاصی ایجاد نمی‌شود. به طور کلی اگر در به‌نژادی گندم برای شرایط دیم از سایر روش‌های به‌نژادی مانند بالک و بالک تک بذر نیز استفاده شود، توصیه می‌گردد پس از رسیدن به خلوص لاین‌ها از لحاظ طول مزوکوتیل ارزیابی شوند و لاین‌های دارای طول مزوکوتیل مناسب به مراحل بعدی ارزیابی راه یابند.

طول کلئوپتیل صفت بسیار ارزشمندی برای هر دو شرایط تنش خشکی و نرمال رطوبتی است. ولی با توجه به این که ارقام دیم عمیق‌تر کاشت می‌شوند، این صفت در شرایط تنش خشکی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. کلئوپتیل گندم کمک می‌کند ساقه‌چه و برگ اول از جنین به سطح خاک منتقل شوند و طول آن حداکثر عمق کاشت را تعیین می‌کند (ریبتزک و همکاران، ۲۰۱۴). طول کلئوپتیل از ۳/۲۱ سانتی‌متر برای لاین دوم حاصل از تلاقی روشن و مهدوی (RM2) تا ۵/۵۹ سانتی‌متر برای رقم سیوند متغیر بود (جدول ۳). RM2 برای پاکوتاهی گزینش شده است. به طور کلی، ارقام ایرانی از لحاظ طول کلئوپتیل تنوع زیادی نداشتند، ولی با این وجود ارقام مناسب شرایط تنش خشکی کلئوپتیل بلندتری داشتند. وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۳۸) و پاسخ به گزینش (۶/۵۶ درصد) طول کلئوپتیل مقدار متوسطی است. این پاسخ همبسته به بهبود شرایط ارقام اصلاح شده در شرایط تنش خشکی می‌انجامد. ژن‌های پاکوتاهی *Rht-B1b* و *Rht-D1b* در اکثر ارقام پاکوتاه و پرمحصول امروزی وجود دارند، این ژن‌ها طول کلئوپتیل را کاهش داده‌اند (لی و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به این نتایج اکثر ارقام امروزی مناسب برای کشت در شرایط دیم نیستند و باید برنامه به‌نژادی ویژه‌ای برای این شرایط در نظر گرفت.

نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۵۳^{**}$) بین طول کلئوپتیل و طول مزوکوتیل وجود دارد (جدول ۵ و شکل ۱). همبستگی مثبت بین این دو صفت نشان می‌دهد که گزینش برای یکی از این صفات در برنامه‌های به‌نژادی گندم باعث بهبود صفت دیگر می‌گردد. با توجه به ارتباط مثبت و معنی‌دار طول کلئوپتیل و ارتفاع بوته (آلیس و همکاران، ۲۰۰۴؛ بوترایت و همکاران، ۲۰۰۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۷)، به نظر می‌رسد که ارقام پاکوتاه امروزی کلئوپتیل و مزوکوتیل کوتاهی داشته باشند. اگرچه این شرایط برای کشت گندم در شرایط طبیعی (کشت در عمق کم خاک انجام می‌شود) مشکلی ایجاد نمی‌کند، ولی برای کشت دیم (نیاز به کشت عمیق بذر) نامناسب است.

طول مزوکوتیل با وزن ریشه ($r=۰/۳۸^{*}$) و وزن اندام هوایی ($r=۰/۳۶^{*}$) ارتباط مثبت و معنی‌داری دارد. با توجه به این نتایج پیشنهاد می‌گردد به طول مزوکوتیل در مطالعات به‌نژادی توجه ویژه‌ای معطوف گردد.



شکل ۱. همبستگی بین طول مزوکوتیل و کلئوپتیل در ارقام گندم

Fig. 1. Correlation between sub-crown internode and coleoptile length

جدول ۴. بررسی میانگین، ضریب تغییرات ژنتیکی، ضریب تغییرات فنوتیپی، واریانس ژنتیکی، واریانس محیطی، وراثت‌پذیری خصوصی، پاسخ به گزینش در ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی.

Table 4. Comparison of mean, GCV, PCV, genotypic variance, phenotypic variance; the narrow-sense heritability, and response to selection in the studied wheat genotypes.

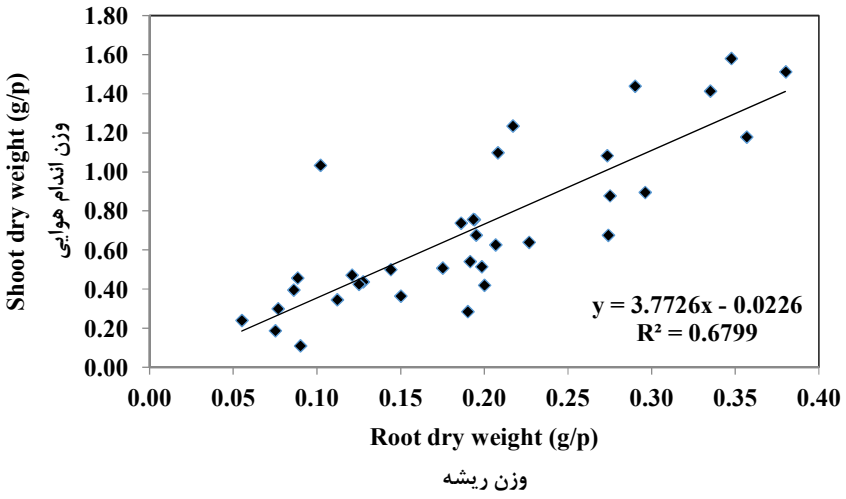
Character	صفت	میانگین Mean	CV ژنتیکی Genotypic CV	CV فنوتیپی Phenotypic CV	واریانس ژنتیکی Genetic variance σ_g^2	واریانس محیطی Environmental variance σ_e^2	وراثت پذیری Heritability h_n^2	پاسخ به گزینش Response to selection R%
Sub-crown internode	مزوکوتیل	3.90	9.9	14.31	0.15	1.13	0.48	11.61
Coleoptile length	کلئوپتیل	4.42	6.40	10.36	0.08	0.93	0.38	6.56
Seminal root number	ریشه اصلی	4.43	8.13	10.58	0.13	0.63	0.59	2.25
Root length	طول ریشه	10.69	2.09	5.61	0.05	2.18	0.13	1.21
Nodal root number	ریشه فرعی	2.18	19.99	25.94	0.19	0.92	0.59	25.93
Root weight	وزن ریشه	0.19	16.64	28.82	0.001	0.02	0.33	0.97
Shoot weight	وزن اندام هوایی	0.74	33.10	44.81	0.06	0.39	0.54	29.61

صفات ریشه‌ای

در این پژوهش خصوصیات ریشه از جمله تعداد ریشه نخستین، طول ریشه، تعداد ریشه بذری و وزن ریشه مورد بررسی قرار گرفت. جمعیت مورد بررسی برای صفت طول ریشه تنوع نشان نداد، ولی سایر خصوصیات ریشه از تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برخوردار بود (جدول ۲). با این وجود در مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها، تفاوت برخی از ارقام معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد ریشه بذری از ۶/۲۰ برای رقم هیرمند تا ۳/۰۰ برای رقم مهرگان، تعداد ریشه بذری از ۳/۵۵

برای پارسی تا ۰/۱۰ برای ویبیل و وزن ریشه از ۰/۳۸ گرم برای بک‌کراس کل حیدری تا ۰/۰۵ گرم برای گهر متغیر بود (جدول ۳). تعداد ریشه‌های بذری و تعداد ریشه‌های نخستین بیشترین میزان وراثت‌پذیری (۰/۵۹) را در بین صفات مورد مطالعه داشتند. صفت طول ریشه کم‌ترین تنوع ژنتیکی را داشت و کم‌ترین میزان وراثت‌پذیری (۰/۱۳) را نیز به خود اختصاص داد. صفت وزن ریشه دارای وراثت‌پذیری نسبتاً پایینی (۰/۳۳) بود. صفت تعداد ریشه بذری نه تنها بالاترین وراثت‌پذیری خصوصی را به خود اختصاص داد بلکه درصد پاسخ به گزینش درخور توجهی (۲۵/۹۳) نیز داشت (جدول ۴). تعداد ریشه بذری با وزن ریشه ($r=0/44^{**}$) و وزن اندام هوایی ($r=0/40^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. به‌نژادگران به طور معمول به دلیل مشکلات فنوتایپینگ، کمبود دانش در مورد سیستم توسعه ریشه و تأثیر زیاد شرایط محیطی بر فنوتیپ سیستم ریشه از ارزیابی مستقیم ریشه اجتناب می‌کنند (واسون و همکاران، ۲۰۱۲؛ ریچ و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به نتایج بدست آمده توصیه می‌گردد از صفت تعداد ریشه بذری به دلیل راحتی ارزیابی، وراثت‌پذیری بالا، پاسخ به گزینش خوب و همبستگی مثبت با سایر صفات مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی استفاده گردد.

وزن ریشه و اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/82^{**}$) با هم دارند (جدول ۵). این ارتباط در شکل ۲ نیز نشان داده شده است. با توجه به ارتباط مستقیم و معنی‌دار بین ریشه و اندام هوایی توصیه می‌گردد گزینش برای اندام هوایی انجام شود با این امید که سیستم ریشه‌ای نیز به طور هم‌زمان بهبود یابد. به عبارت دیگر همبستگی قوی مشاهده شده بین دو صفت باعث ایجاد پاسخ همبسته در صفت ریشه خواهد شد.



شکل ۲. ارتباط مثبت وزن ریشه و اندام هوایی ارقام گندم

Fig. 2. Positive relationship between root and shoot dry weight

جدول ۵. همبستگی صفات طول مزوکوتیل، طول کلئوپتیل و صفات ریشه‌ای در ارقام گندم

Table 5. Correlation of sub-crown internode, coleoptile length and root traits

		مزوکوتیل Sub-crown internode	کلئوپتیل Coleoptile length	ریشه اصلی Seminal root number	طول ریشه Root length	ریشه فرعی Nodal root number	وزن ریشه Root weight	وزن اندام هوایی Shoot weight
Sub-crown internode	مزوکوتیل	1.00	0.53^{**}	-0.13^{ns}	-0.24^{ns}	0.30^{ns}	0.38^{*}	0.36^{*}
Coleoptile length	کلئوپتیل		1.00	-0.10^{ns}	-0.19^{ns}	0.04^{ns}	0.02^{ns}	-0.01^{ns}
Seminal root number	ریشه اصلی			1.00	0.15^{ns}	0.16^{ns}	-0.02^{ns}	0.13^{ns}
Root length	طول ریشه				1.00	0.07^{ns}	0.06^{ns}	-0.02^{ns}
Nodal root number	ریشه فرعی					1.00	0.44^{**}	0.40^{**}
Root weight	وزن ریشه						1.00	0.82^{**}
Shoot weight	وزن اندام هوایی							1.00

*، ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح ۵٪، ۱٪ و غیرمعنی دار

*, ** and ns are significant at 5% and 1% significant probability levels and not significant, respectively.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد ارقام مناسب کشت دیم نسبت به ارقام مناسب کشت آبی طول کلئوپتیل، مزوکوتیل، تعداد ریشه، وزن ریشه و وزن اندام هوایی بیشتری داشتند. طول کلئوپتیل و مزوکوتیل بلندتر امکان کشت عمیق بذر در شرایط دیم را مهیا می‌کند. در شرایط کشت عمیق ریشه‌ها از رطوبت موجود در عمق خاک (بخصوص در مرحله دانه بستن) استفاده می‌کند و عملکرد در واحد سطح افزایش می‌یابد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار مزوکوتیل با صفات طول کلئوپتیل ($r=۰/۵۳^{**}$)، وزن ریشه ($r=۰/۳۸^{*}$) و وزن اندام هوایی ($r=۰/۳۶^{*}$) و وراثت‌پذیری خصوصی بالای (۰/۴۸) این صفت توصیه می‌گردد این صفت در برنامه‌های به نژادی گندم برای شرایط تنش خشکی مورد توجه ویژه قرار گیرد. خصوصیات ریشه‌ای نیز در شرایط تنش خشکی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کنند. با توجه به نتایج بدست آمده در صورتی که امکان ارزیابی کل سیستم ریشه به دلایل مالی وجود نداشته باشد توصیه می‌گردد از صفت تعداد ریشه بذری به دلیل راحتی ارزیابی، وراثت‌پذیری بالا (۰/۵۹)، پاسخ به گزینش خوب (۲۵/۹۳ درصد) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن ریشه ($r=۰/۴۴^{**}$) و وزن اندام هوایی ($r=۰/۴۰^{**}$) در برنامه‌های به‌نژادی استفاده گردد. به طور کلی، با توجه به مسیر متفاوت به‌نژادی در شرایط دیم و طبیعی باید برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش عملکرد در شرایط دیم به طور اختصاصی و جداگانه پیگیری و به صفاتی مانند مزوکوتیل و کلئوپتیل توجه ویژه‌ای گردد. لازم به ذکر است که صفات مزوکوتیل و کلئوپتیل تحت تأثیر تیپ رشد (بهاره یا پاییزه) قرار نمی‌گیرند (جدول ۲).

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان به دلیل تأمین مالی پروژه و از مؤسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر به دلیل در اختیار قرار دادن بذر ارقام استفاده شده در این تحقیق سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., and Mohamadi-Nejad, G. 2012. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science, 59(5), 685-704. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.667080

Abdolshahi, R., Salarpour, M., Sadat-Hosseini, T. and Amiri, H. 2013. Effect of root system and water use efficiency on grain yield and drought tolerance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science, 44(3): 455-465. [In Persian with English Summary].

Botwright, T.L., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. and Richards, R.A. 2005. Influence of the gibberellin-sensitive Rht8 dwarfing gene on leaf epidermal cell dimensions and early vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). Annals of Botany, 95: 631-639. https://doi.org/10.1093/aob/mci069

Chen, J., Griffey, C.A., Liu, S., Maroof, M.A.S., Murphy, J.P., Navarro, R.A., Sneller, C.H., Brown-Guedira, G.L. and Souza, E.J. 2012. Registration of fusarium head blight-resistant soft red winter wheat Germplasm VA04W-433 and VA04W-474. Journal of Plant Registrations, 6(1): 111-116. https://doi.org/10.3198/jpr2011.07.0397crg

Dixon, J., Braun, H.J. and Crouch, J. 2009. Overview: transitioning wheat research to serve the future needs of the developing world. In 'Wheat Facts and Future'. 1th (ed.). CIMMYT, Mexico.

Ellis, M.H., Rebetzke, G.J., Chandler, P. Bonnett, D., Spielmeyer, W. and Richards, R.A. 2004. The effect of different height reducing genes on the early growth of wheat. Functional Plant Biology, 31: 583-589. https://doi.org/10.1071/FP03207

Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th (ed.). Longman, London.

Kirkegaard, J.A. and Lilley, J.M. 2007. Root penetration rate benchmark to identify soil and plant limitations to rooting depth in wheat. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47: 590-602. https://doi.org/10.1071/EA06071

Li, G., Bai, G., Carver, B.F., Elliott, N.C., Bennett, R.S., Wu, Y., Hunger, R., Bonman, J.M. and Xu, X. 2017. Genome-wide association study reveals genetic architecture of coleoptile length in wheat. Theoretical and Applied Genetic, 130: 391-401. https://doi.org/10.1007/s00122-016-2820-1

Liu, H., Zhang, L., Wang, J., Li, C., Zeng, X., Xie, S., Zhang, Y., Liu, S., Hu, S., Wang, J., Lee, M., Lübberstedt, T. and Zhao, G. 2017. Quantitative trait locus analysis for deep sowing germination ability in the maize IBM Syn10 DH population. Frontiers in Plant Science, 8: 1-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00813

Mahdavi-Safa, D., Moghaddam, M., Kazemi, H. and Shakiba, M.R. 1989. Biometric analysis of some traits related to drought and cold resistance in autumn wheat by diallel method. Agricultural Knowledge Journal, 1(4): 26-48. [In Persian with English Summary].

Maydup, M.L., Antonietta, M. Guiamet, J.J. and Tambussi E.A. 2012. The contribution of green parts of the ear to grain filling in old and modern cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Evidence for genetic gains over the past century. Field Crops Research, 134: 208-215. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.06.008

Ohno, H., Banayo, N.P.M.C., Bueno, C.S., Kashiwagi, J., Nakashima, T., Corales, A.M., Garcia, R., Sandhu, N., Kumar, A. and Kato, Y. 2018. Longer mesocotyl contributes to quick seedling establishment, improved root anchorage, and early vigor of deep-sown rice. Field Crops Research, 228: 84-92. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.08.015

Rebetzke, G., Bonnett, D.G. and Ellis, M.H. 2012. Combining gibberellic acid-sensitive and insensitive dwarfing genes in breeding of higher-yielding, sesqui-dwarf wheats. Field Crops Research, 127: 17-25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.003

Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Sirault, X.R.R. and Morrison, A.D. 2004. Genetic analysis of coleoptile lenght and diameter in wheat. Australian Journal of Agricultural Research, 55: 733-743. https://doi.org/10.1071/AR04037

Rebetzke, G.J., Verbyla, A.P., Verbyla, K.L., Morell, M.K. and Cavanagh, C.R. 2014. Use of a large multiparent wheat mapping population in genomic dissection of coleoptile and seedling growth. Plant Biotechnology Journal, 12: 219-230. https://doi.org/10.1111/pbi.12130

Rich, S.M., Wasson, A.P., Richards, R.A., Katore, T., Prashar, R., Chowdhary, R., Saxena, D.C., Mamrutha, H.M., Zwart, A., Misra, S.C., Prasad, S.V.S., Chatrath, R., Christopher. J. and Watt, M. 2016. Wheats developed for high yield on stored soil moisture have deep vigorous root systems. Functional Plant Biology, 43(2): 173-188. https://doi.org/10.1071/FP15182

SAS Institute Inc. 2004. Base SAS 9.1 procedures guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Streda, T., Dostal, V., Horakova, V. and Chloupek, O. 2012. Effective use of water by wheat varieties with different root system size in rain-fed experiments in Central Europe. Agriculture Water Management, 104: 203-209. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.018

Takano, M., Kanegae, H., Shinomura, T., Miyao, A., Hirochika, H. and Furuya, M. 2001. Isolation and characterization of rice phytochrome A mutants. Plant Cell 13: 521-534. https://doi.org/10.1105/tpc.13.3.521

Waines, J. and Ehdaie, B. 2007. Domestication and crop physiology: Roots of green revolution heat. Annals of Botany, 100: 991-998. https://doi.org/10.1093/aob/mcm180

Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.V.S., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J. and Watt, M. 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. Journal of Experimental Botany, 63: 3485-3498. https://doi.org/10.1093/jxb/ers111

Xiong, Q., Ma, B., Lu, X., Huang, Y.H., He, S.J., Yang, C., Yin, C.C., Zhao, H., Zhou, Y., Zhang, W-K., Wang, W-S., Li, Z.K., Chen, S.Y. and Zhang, J.S. 2017. Ethylene-inhibited jasmonic acid biosynthesis promotes mesocotyl/coleoptile elongation of etiolated rice seedlings. Plant Cell, 29: 1053-1072. https://doi.org/10.1105/tpc.16.00981

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 9(2): 63-76

Research Article

Investigation of coleoptile and mesocotyl as the most important factors for the establishment of bread wheat seed under rain-fed conditions

Hassan Gholami[1], Roohollah Abdolshahi[2*], Mehdi Mohayeji[3], Mohssen Esmailzade Moghadam[4]

Extended Abstract

Introduction: Wheat coleoptile protects the plumule and the first leaf so they can move from the embryo to the soil surface. Coleoptile is essential for plant establishment. Cultivars with longer coleoptiles and mesocotyls are sown deeper and are more successful under drought stress conditions. However, there is not much information about their genetics. The objective of the present study was to evaluate the coleoptile and mesocotyl of Iranian, overseas and the lines developed as a part of Shahid Bahonar University breeding program, and estimate of genetic parameters of these traits.

Materials and Methods: In this research, 30 bread wheat genotypes originated from Iran, CIMMYT, ICARDA, USA, and Australia and five lines from Shahid Bahonar University of Kerman breeding programs were sown at a 10 cm depth of soil in the research field of Shahid Bahonar University in a randomized complete block design with seven replications. Each plot consisted of three rows with two meters long and a 5 cm intra-row spacing. At harvest, the plants were gently removed from the soil, and after removing the soil from the root area, the roots were washed. In this study, coleoptile and mesocotyl length, number of seminal roots, root length, root and shoot dry weight were measured.

Results: Coleoptile and mesocotyl are important traits for increasing drought tolerance in bread wheat. In the present research, mesocotyl length varied from 5.20 for Excalibur to 2.08 for Zagros, and showed a high heritability (0.48) and response to selection (11.61%). Furthermore, this trait had a positive significant correlation with coleoptile length (r=0.53**), root weight (r=0.38*) and shoot weight (r=0.36*). Seminal and nodal root number had the highest (0.59), while root length had the lowest (0.13) narrow-sense heritability. Overall, suitable cultivars for rain-fed conditions had higher coleoptile and mesocotyl than the others. Breeding lines in Shahid Bahonar University of Kerman suitable for rain-fed conditions had longer coleoptile and mesocotyl lengths. Root and shoot dry weight had a significant positive correlation (r=0.82**).

Conclusions: In general, breeding programs to increase grain yield differ under rain-fed and irrigated conditions. In wheat breeding programs under rain-fed conditions, special attention should be paid to coleoptile and mesocotyl traits. These traits were not influenced by the plant growth habit.

Keywords: Coleoptile, Drought stress, Dwarf genes, Heritability, Response to selection

Highlights:

1- Mesocotyl of the Iranian cultivars was evaluated for the first time.
2- Breeding lines developed by Shahid Bahonar University of Kerman suitable for rain-fed had appropriate coleoptiles and mesocotyls.
3- Coleoptile and mesocotyl had a significant and positive correlation.

[1] M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Associated Professor, Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[4] Associated Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

*Corresponding author, E-mail: abdoshahi@uk.ac.ir

(Received: 11.06.2021; Accepted: 05.09.2022)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.3.6

DOI: 10.61186/yujs.9.2.63