Archiv

Shahid Bahonar University of Kerman
Agricultural Biotechnology Journal
Iranian Biotechnology Society
Print ISSN: 2228-6705 Online ISSN: 2228-6500

QTL mapping of biomechanical traits related to lodging resistance in bread wheat

Majid Rezaeinia

Graduated MSc Student, Agronomy and plant breeding Dept. Shahid Bahonar Unversity of Kerman, Kerman, Iran. Email: majid9101371@gmail.com

Mohammadmehdi Maharlooei

Assistant Professor, Dept of Biosystems Engineering, Shahid Bahonar Unversity of Kerman, Kerman, Iran. Email: maharlooei@uk.ac.ir

Roohollah Abdolshahi

***** Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agronomy & Plant Breeding, and Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: abdoshahi@uk.ac.ir

Abstract

Objective

Lodging is the permanent horizontal growth of stem and has been considered as a limiting factor in cereal production. Identification of traits that affect grain yield is very important in breeding programs. Furthermore, genetic diversity is essential for breeding programs and increasing selection efficiency. This research was set up to study genetic diversity, evaluation of biomechanical traits, assess lodging stem and detect quantitative traits loci (QTLs) in a RIL population of bread wheat.

Materials and methods

A large population including 225 bread wheat lines was assessed in a randomized complete block design with two replications in research field of Shahid Bahonar University of Kerman during 2017-2018 growing season. To define biomechanical properties of stems, a universal testing machine equipped with 3-point bend and shear test probes was used.

www.SID.ir

Archive of SID

Results

Results of ANOVA showed significant difference between wheat genotypes for all traits. Modulus of elasticity of stem had the highest response to selection (21.65) in comparison with other traits. Moreover, this trait had high genetic variation. Based on these results, modulus of elasticity of each individual plant stem can be used as an effective factor in selection programs. Plant height had the highest narrow sense heritability (0.59) among evaluated traits. Cross section area had strong and significant correlation with moment of inertia (r=0.818**). In the molecular assay of this research, linkage map and QTL mapping of traits performed by inclusive composite interval mapping (ICIM) method. Linkage map was constructed based on diversity array technology (DArTs) and SSR markers.

Conclusions

A total of 12 QTLs have been identified which had LOD higher than 2.5. These QTLs were controlling 6 biomechanical traits including: specific shear energy, maximum shear energy, moment of inertia, flexural stiffness, maximum specific bending strength and modulus of elasticity. The information of identified QTLs could be used in wheat breeding programs using marker assisted selection.

Keywords: Quantitative traits loci (QTL) , Bread wheat, Inclusive composite interval mapping (ICIM) , DArT marker

Paper Type: Research Paper.

Citation: Rezaeinia M, Maharlooei M, Abdolshahi R (2020) QTL mapping of biomechanical traits related to lodging resistance in bread wheat. *Agricultural Biotechnology Journal Journal* 12 (4), 79-100.

Agricultural Biotechnology Journal 12 (4), 79-100. DOI: 10.22103/jab.2020.16507.1259

Received: October 22, 2020. Accepted: November 29, 2020.

Faculty of Agriculture and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman-Iranian Biotechnology Society.

© the authors.

www.SID.ir

Archiv

مجله بیوتکنولوژی کشاورزی
شاپا چاپی: ۶۷۰۵-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۶۵۰۰-۲۲۲۸

نقشه یابی QTLهای کنترل‌کننده خصوصیات بیومکانیکی مقاومت به ورس در گندم نان

مجید رضایی‌نیا

دانش آموخته دوره کارشناسی ارشد، بخش مهندسی زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. ایمیل: majid9101371@gmail.com

محمدمهدی مهارلویی

استادیار، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران ایمیل: maharlooei@uk.ac.ir

روح ا... عبدالشاهی

* نویسنده مسئول: دانشیار بخش زراعت و اصلاح نباتات و پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. ایمیل: abdoshahi@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹**

چکیده

هدف: ورس یا خوابیدگی ساقه به‌عنوان یک عامل محدودکننده تولید در غلات مطرح است. بررسی کمی صفت‌های بیومکانیکی مانند مقاومت برشی ویژه، مساحت مقطع عرضی، گشتاور اینرسی، انرژی خمشی ویژه، قطر خارجی، ضخامت پوسته، انرژی برشی ویژه، مقاومت خمشی ویژه و ضریب ارتجاعی ساقه که میزان مقاومت ساقه در مقابل ورس را نشان می‌دهند از اهمیت زیادی برای به نژادگران برخوردار است. با این وجود تاکنون هیچ اطلاعاتی در مورد ژنتیک این صفات وجود ندارد. در این پژوهش QTLهای کنترل کننده صفت‌های بیومکانیکی ساقه در جمعیت دابل هاپلوئید ۲۲۵ لاینی حاصل از تلاقی RAC و Kukri بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۲۲۵ لاین از گندم دابل هاپلوئید در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی کشت شد. پس از برداشت، به منظور مطالعه مشخصه‌های بیومکانیکی ساقه از دستگاه بارگذاری چند منظوره با استفاده از کاوش‌گرهای خمش سه نقطه‌ای و برشی استفاده شد.

www.SID.ir

نتایج: تجزیه واریانس وجود تنوع ژنتیکی برای این صفات را به خوبی نشان داد. ضریب ارتجاعی (مدول الاستیسیته) ساقه بیشترین مقدار کارایی گزینش (۲۱/۶۵) را به خود اختصاص داد. با توجه به ضریب تغییرات ژنتیکی و میزان کارایی گزینش بالا، می‌توان از این صفت در گزینش برای مقاومت به ورس در گندم نان بهره جست. ارتفاع بوته بیشترین میزان وراثت پذیری خصوصی (۰/۵۹) را بین صفات مورد ارزیابی داشت. مساحت مقطع بیشترین همبستگی را با گشتاور اینرسی (r=۰/۸۱۸**) داشت. دراین پژوهش سه QTL بر روی کروموزوم‌های ۳A، ۲D و ۱B شناسایی شد که به طور هم‌زمان کنترل ژنتیکی انرژی برشی ویژه و بیشینه مقاومت برشی ویژه را بر عهده داشتند.

نتیجه گیری: یک QTL بر روی کروموزم ۳D برای ممان اینرسی سطح، دوQTL بر روی کروموزم‌های ۴A و ۴B برای انرژی خمشی ویژه، دو QTL بر روی کروموزم‌های ۵D و ۴B برای حداکثر مقاومت خمشی ویژه، دوQTL بر روی کروموزم‌های ۴A و ۴B برای انرژی خمشی ویژه و یک QTL بر روی کروموزم ۵A برای ضریب ارتجاعی شناسایی شدند. با استفاده از گزینش به کمک نشانگر می توان از این QTLهای شناسایی شده در برنامه‌های به‌نژادی بهره برد.

واژگان کلیدی: خصوصیات بیومکانیک ساقه، مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب جامع (ICIM) ، نشانگر DArT، خوابیدگی

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: رضایی‌نیا مجید، مهارلویی محمدمهدی، عبداشاهی روح ا...، (۱۳۹۹) نقشه یابی QTLهای کنترل‌کننده خصوصیات بیومکانیکی مقاومت به ورس در گندم نان مجله بیوتکنولوژی کشاورزی ۱۲(۴)، ۷۹-۱۰۰.

مقدمه

یکی از مسائل بسیار مهم دانشمندان علوم کشاورزی و به ویژه به‌نژادگران، مسئله افزایش جمعیت و تأمین نیازهای غذایی آن‌ها می‌باشد. امروز گندم حیاتی‌ترین کالای مصرفی بخش عمده‌ای از خانوارهای جهان است، بنابراین بررسی راه‌کارهای صحیح افزایش تولید گندم ضروری می‌باشد. در کشور ایران از تولید ۲۰/۵ میلیون تن غلات، ۱۳/۳ میلیون تن مربوط به تولید گندم می‌باشد (Statitics, 2018). غلات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بیشترین اهمیت را در تغذیه انسان دارا می‌باشند که در این بین گندم مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کند. ورس، به خوابیدگی ساقه و عدم برگشت آن به حالت اولیه خود اطلاق می‌گردد و از دیرباز به‌عنوان یک عامل محدودکننده تولید در غلات مطرح بوده است (Berrry et al. 2004). این خصوصیت دارای توارث کمی بوده و در مزرعه باعث افزایش رطوبت و فراهم آمدن محیطی مناسب برای تکثیر قارچ‌ها، کاهش کارایی برداشت، کاهش انتقال مواد غذایی به سنبله و نهایتاً کاهش عملکرد و کیفیت دانه می‌گردد (Briggs et al. 1999; Xue &Warkentin 2001). این عارضه در گندم نان می‌تواند بین ۴ تا ۲۰ درصد (Briggs et al. 1999) و در برخی مناطق بیشتر از ۴۰ درصد (Easson et al. 1993) کاهش عملکرد دانه را ایجاد کند. ورس به‌طور معمول توسط باد و باران تشدید می‌شود و می‌تواند توسط عواملی هم چون

www.SID.ir

Archive of SID

آفات و بیماری‌ها (Keller et al. 1999) مقدار اضافی نیتروژن محیط کشت، تراکم بالای بوته و میزان رطوبت بالا بوجود آید (Champoux et al. 1995). تنوع ژنتیکی اساس به‌نژادی در گیاهان است که از تکامل طبیعی ناشی شده و از اجزای مهم پایداری نظام‌های زیستی می‌باشد. دو رکن اصلی هر برنامه به‌نژادی تنوع و انتخاب است و داشتن انتخاب موفق منوط به وجود تنوع مطلوب در جامعه مورد بررسی می‌باشد. ازاین‌رو ارزیابی ذخایر ژرم پلاسم برای داشتن تنوع مناسب و ایجاد تغییرات جدید، ضروری به نظر می‌رسد (Mohammadi & Prasanna 2003). تنوع بالا بین ژنوتیپ‌ها امکان بهبود صفت‌ها در آینده را فراهم آورده و میزان تنوع ژنتیکی در تعیین سودمندی انتخاب مؤثر است (Subhshchanra et al. 2009). امروزه آگاهی از تنوع ژنتیکی و مدیریت منابع ژنتیکی به‌عنوان اجزای مهم پروژه‌های اصلاح نباتات تلقی می‌شود (Sing 2003). در سال‌های اخیر پژوهش‌های مختلف نشان داده است که خصوصیات بیومکانیکی ساقه می‌تواند متخصصین اصلاح نباتات را در انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم در شرایط مختلف محیطی و بیماری‌ها، یاری نماید. بیک و همکاران در پژوهشی بر روی ۶ ژنوتیب گیاه نخودفرنگی در دو سطح ابتلا به بیماری دریافتند که همبستگی بسیار قوی بین مقاومت کششی ساقه در ژنوتیپ های مختلف وجود دارد. در مورد سطوح بیماری این روش تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (Beeck et al. 2006). نتایج پژوهش‌های بررسی‌شده نشان داد که خصوصیات بیومکانیکی گیاه تأثیر معنی‌داری در تشخیص ژنوتیپ‌های مختلف یک نوع گیاه دارد. این خصوصیات با نتایج عددی مناسب می‌تواند ما را در شناخت بهتر ژنوتیپ‌های مؤثر در مقاومت به خوابیدگی و توسعه ارقام بر اساس این نتایج، یاری نماید.

مطالعات O'dogherty et al. (1996) در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۵ بر روی ۵ رقم مختلف گندم نشان داد در ارقام مختلف، مقاومت کششی، برشی و همچنین مدول الاستیسیته ساقه گندم به‌طور معنی‌داری تغییر کرده است. این محققین نشان دادند که تأثیر رطوبت محیط در مرحله بلوغ نیز در هر رقم به‌طور مستقل معنی‌دار بوده است. نتایج این تحقیق همچنین تأثیر معنی‌دار مراحل بلوغ را بر فاکتورهای اندازه‌گیری شده نشان داد. Iwaasa et al. (1996) به‌منظور مطالعه انرژی لازم در حین جویدن گیاه یونجه آزمایشی را با به‌کارگیری از یک دستگاه آنالیز بافت و تعیین نیروی برشی از روش وارنر–براتزلر[1] به اجرا گذاشتند. نتایج نهایی این تحقیق نشان داد که نیروی برشی لازم برای برش ساقه در واریته‌های مختلف متفاوت است ولی محل برش تأثیر معنی‌داری در مقدار نیروی برشی ندارد. آنان تغییرات مقدار نیروی برشی را به قطر ساقه، چگالی ساقه و به‌صورت ضعیف‌تر به ترکیبات شیمیایی ساقه مرتبط دانستند. به‌منظور معرفی یک معیار جدید و غیر مخرب برای تعیین کیفیت محصولات علوفه‌ای (Hughes et al. 2000) از مقاومت برشی به روش وارنر–براتزلر استفاده نمودند. در این تحقیق ۱۲ سطح کیفی از ارقام و گونه‌های مختلف براچیاریا[2] مورد بررسی قرار گرفت. هرکدام از این ۱۲ نمونه، علاوه بر روش مقاومت برشی به‌وسیله

1.Warner-Bratzler
2. Brachiaria

Agricultural Biotechnology Journal; Print ISSN: 2228-6705, Electronic ISSN: 2228-6500
www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش‌های مرسوم و تعیین شاخص‌های متداول بیان کیفیت همچون ماده خشک، ماده آلی، شاخص‌های تغذیه‌ای NDF[۳] و ADF[۴] و همچنین مقدار لیگنین و پروتئین خام موردمطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق رابطه مناسب با همبستگی بسیار زیاد بین مقاومت برشی و شاخص‌های ADF و NDF و همچنین مقدار لیگنین نشان داد. این رابطه در تشخیص ارقام و گونه‌ها و همچنین سطوح کیفی، بسیار مؤثر و دقیق عمل نمود. مطالعات در زمینه شناسایی مکان‌های ژنی کنترل‌کننده مقاومت به ورس و همچنین نشانگرهای پیوسته با آن در گیاهان زراعی متفاوت انجام گردیده است. Keller et al. (1999) تعداد نه عدد QTL برای مقاومت به ورس در یک جامعه حاصل از تلاقی گندم نان و گندم اسپلتا (Triticum spelta L) گزارش کردند که دو QTL روی کروموزوم‌های 2A و 4A قرار داشته است. Verma et al. (2005) استفاده از یک جامعه دابل هاپلوئید[۵] گندم نان و نشانگرهای ریز ماهواره، QTL هایی را روی کروموزوم‌های 4B، 4D، 6D و 7D مشخص نموده‌اند که با ورس ارتباط داشت و جمعاً حدود ۳۰ درصد از تنوع فنوتیپی این صفت را تبیین کردند. در یک پژوهش محققان مکان‌های ژنی را روی کروموزوم‌های 4B و 4D در رابطه با کنترل ورس در یک جامعه گندم بهاره گزارش نموده‌اند. همچنین در گیاهان دیگر هم چون ذرت، جو، برنج و نخود نیز QTL های مرتبط با ورس شناسایی‌شده است (McCartney et al. 2006). در یک جامعه دابل هاپلوئید شامل ۱۵۵ لاین که از تلاقی رقم کوفا و لاین Kyle*2/Biodur ایجاد شده بود، نقشه پیوستگی ۵۳ نشانگر چند شکل، ۱۴ گروه پیوستگی و ۱۱ نشانگر ناپیوسته را تشکیل دادند که حدود ۹۷۱ سانتی مورگان از ژنوم گندم دوروم را پوشش می‌داد. نتایج این پژوهش بیانگر ۳ QTL مرتبط با مقاومت به ورس در این جامعه بود (Houshmand et al. 2009).

در پژوهشی Kong et al. (2016) بر روی خصوصیات آناتومی و شیمیایی وابسته به مقاومت به ورس در گندم کارکردند و صفات مرتبط با مقاومت به ورس از قبیل ارتفاع بوته، مقاومت ساقه، ضخامت دیواره و قطر ساقه را بررسی کردند و مشاهده کردند که بین مقاومت به ورس و چندین ویژگی آناتومیکی ازجمله عرض ساقه، وزن میانگره های پایین و عرض دیواره‌های ساقه ارتباط معنی‌داری وجود دارد. همچنین افزایش عرض، ضخامت و تراکم ساقه را از نشانه‌های بهبود مقاومت ساقه دانستند. با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین هدف از مطالعه حاضر، شناسایی مکان‌های ژنی کنترل کننده خصوصیات بیومکانیکی مرتبط با ورس ساقه گندم نان شامل مساحت مقطع ساقه، ممان اینرسی (گشتاور دوم) سطح مقطع ساقه، مدول ارتجاعی، انرژی خمشی و برشی ویژه و بیشینه مقاومت برشی و خمشی ویژه ساقه است.

مواد و روش‌ها

3. Neutral Detergent Fiber
4. Acid Detergent Fiber
۵. Doubled haploid

Agricultural Biotechnology Journal; Print ISSN: 2228-6705, Electronic ISSN: 2228-6500

www.SID.ir

Archive of SID

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه دانشگاه شهید باهنرکرمان انجام شد. منطقه کشت دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان گرم و زمستان‌های معتدل با میانگین درجه حرارت سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به‌منظور مطالعه QTLهای کنترل‌کننده خوابیدگی ساقه (ورس) و صفات زراعی مرتبط با آن در گندم نان حاصل از تلاقی ارقام کوکری و آر.ای.سی تحقیقی با ۲۲۵ لاین دابل هاپلوئید در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با دو تکرار انجام شد. کوکری در سال ۱۹۹۹ در دانشگاه آدلاید استرالیا به‌عنوان رقم زراعی معرفی شد. این رقم دارای کیفیت نانوایی بالا و مقاوم به زنگ زرد، اما حساس به خشکی است. آر.ای.سی ۸۷۵ یک لاین اصلاحی از بخش کشاورزی رزورسی است. این لاین کیفیت نانوایی بالایی دارد و حساس به زنگ زرد است، اما مقاوم به شرایط تنش خشکی است. علاوه بر این لاین‌های ایرانی مهدوی، روشن و شیراز نیز در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. تراکم کاشت ۲۵۰ بوته در مترمربع بود. به‌منظور اندازه‌گیری صفات فنوتیپی در پایان فصل رشد از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادف ۲۰ بوته انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل و صفت‌های ارتفاع، قطر خارجی و ضخامت جداره ساقه اندازه‌گیری شد. صفات مساحت مقطع عرضی و ممان اینرسی سطح از طریق اندازه‌گیری خواص فیزیکی ذکر شده محاسبه شدند. انرژی برشی ویژه، حداکثر نیروی برشی ویژه و سختی خمیدگی، حداکثر مقاومت خمشی ویژه و ضریب ارتجاعی که به کمک دستگاه بارگذاری کششی و فشاری چند منظوره (STM20، سنتام، ایران) به وسیله کاوش‌گر[۶] برشی وارنر براتزلر و کاوش‌گر آزمون خمش سه نقطه‌ای اندازه‌گیری شد. تصاویر دو کاوش‌گر برشی و خمشی را در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

شکل ۱. کاوش‌گرهای مورد استفاده در این پژوهش برای آزمون خمشی (راست) و آزمون برشی (چپ)

Figure 1. Probes used in this study, bending test (right) and shear test (left)

انجام محاسبه و پس پردازش داده‌های خام برای تعیین خصوصیات بیومکانیکی ساقه: به‌منظور مقایسه محاسبه خصوصیات بیومکانیکی محصول محاسبه‌ها و اندازه‌گیری‌های زیر انجام شد. شکل ۲ طرح‌واره ای از برش مقطع یک ساقه

۶. Probe

www.SID.ir

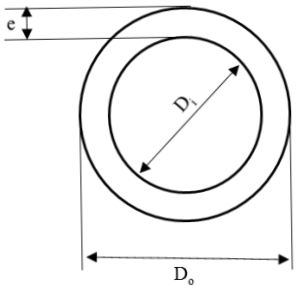
گندم نشان داده شده است. برای اندازه گیری قطر خارجی (D_o) و ضخامت ساقه (e) از کلیس دیجیتالی ۱۵۰ میلیمتری (ECO، چین) با دقت ۰/۰۱± میلی‌متر استفاده شد. به منظور محاسبه قطر داخلی (D_i، قسمت توخالی ساقه) از رابطه ۱ استفاده شد.

$$D_i = D_o - 2e \quad (۱)$$

برای محاسبه مساحت سطح (A) و گشتاور اینرسی سطح (I) که گستردگی سطح را نشان می دهد از رابطه ۲ و۳ استفاده شد

$$A = \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2) \quad (۲)$$

$$I = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4) \quad (۳)$$



شکل ۲. طرح‌واره برش عرضی ساقه گندم و خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده

Figure 2. Schematic cross section of wheat stem and measured physical properties

برای بدست آوردن بیشینه مقاومت برشی و خمشی ساقه، مقدار بیشینه نیروی اندازه گیری شده در دستگاه بارگذاری چند منظوره کششی و فشاری در آزمون‌های خمش سه نقطه‌ای و برشی از اعداد درج شده توسط نرم‌افزار همراه دستگاه بارگذاری کشی و فشاری تعیین شد و با تقسیم بر مساحت سطح ساقه این پارامترها محاسبه شد. انرژی برشی و خمشی ویژه از طریق محاسبه سطح زیر منحنی نیروی‌های برشی و خمشی در مقابل جابه‌جایی، به روش ذوزنقه‌ای به ازاء مساحت هرساقه برحسب ژول‌برمیلی‌مترمربع مطابق شکل ۲ و با استفاده روابط ۴ تا ۶ محاسبه شد (Maharlooei et al. 2014).

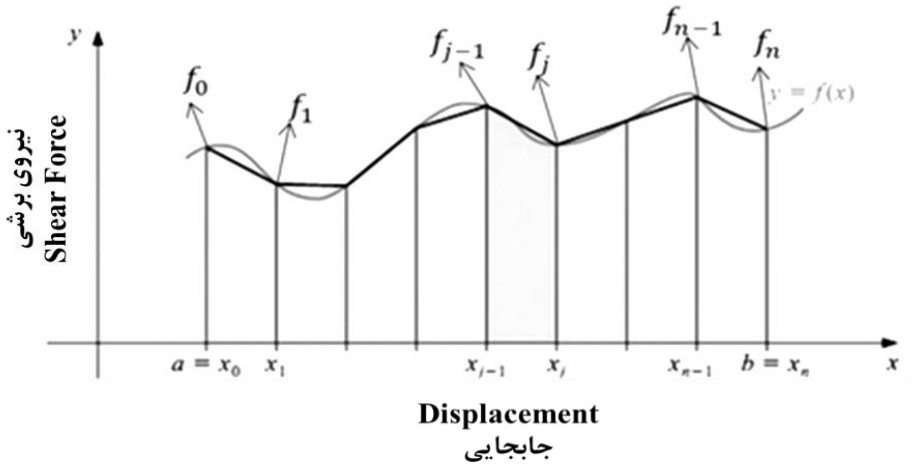
$$Energy = \sum_{j=1}^{n}(x_j - x_{j-1}) \times (\frac{f_j + f_{j-1}}{2}) \quad (۴)$$

$$Specific\ Shear\ Energy = \frac{Shear\ Energy}{Section\ Area} \quad (۵)$$

$$Specific\ Bending\ Energy = \frac{Bending\ Energy}{Section\ Area} \quad (۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. محاسبه انرژی برشی ویژه و انرژی خمشی ویژه به روش ذوزنقه‌ای

Figure 3. Calculating specific shear and bending energy using trapezoidal method

محاسبات آماری: محاسبه واریانس ژنتیکی با توجه به جدول تجزیه واریانس و با استفاده از رابطه ۷ انجام شد.

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{MS_G - MS_E}{r}\right) \quad (۷)$$

در این فرمول σ_A^2 واریانس افزایشی لاین‌های خالص نوترکیب، MS_G میانگین مربعات صفت موردمطالعه، MS_E میانگین مربعات خطا و r تعداد تکرار است. از آنجا که در جمعیت های خالص واریانس غالبیت به صفر می رسد، واریانس فنوتیپی از رابطه ۸ محاسبه شد.

$$\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_E^2 \quad (۸)$$

در این رابطه σ_P^2 واریانس فنوتیپی و σ_E^2 واریانس خطای برآورد شده جدول تجزیه واریانس(MSE) است. وراثت‌پذیری خصوصی (h_{ns}^2) از رابطه ۹ محاسبه شد.

$$h_{ns}^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} \quad (۹)$$

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی لاین‌های اینبرد نوترکیب مورد ارزیابی پارامترهای ژنتیکی ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات اندازه‌گیری شده در جمعیت موردمطالعه محاسبه گردید. ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ محاسبه گردید.

$$CV_p = \sqrt{\frac{S_P^2}{\bar{x}}} \quad (۱۰)$$

$$CV_g = \sqrt{\frac{S_g^2}{\bar{x}}} \quad (۱۱)$$

در این معادلات S_P^2 و S_g^2 به ترتیب واریانس فنوتیپی و ژنوتیپی و $\bar{x}$ میانگین کل است.

Agricultural Biotechnology Journal; Print ISSN: 2228-6705, Electronic ISSN: 2228-6500
www.SID.ir

بر اساس پارامترهای ژنتیکی کارایی گزینش (R) از رابطه ۱۲ محاسبه شد (Falconer 1996).

$$R = ih^2\sigma p \qquad (۱۲)$$

در این فرمول i با شدت گزینش ۱۰ درصد برابر ۱/۶۹۴ می‌باشد.

نقشه یابی مکان های ژنی کنترل کننده صفات مورد ارزیابی: نقشه ژنتیکی این جمعیت در دانشگاه آدلاید استرالیا و با استفاده از ۱۵۹۱۱ نشانگر چند شکل DArT تهیه شده است. مکان‌یابی QTLها با استفاده از نرم‌افزار IciMapping 4.1 با استفاده از روش مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب جامع (ICIM) و بر اساس حداکثر درست نمایی انجام شد. LOD بالای ۲/۵ به‌عنوان ملاک شناسایی QTL در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و اثر ژنوتیپ برای خواص بیومکانیکی ساقه از جمله ارتفاع، قطر خارجی، ضخامت، انرژی برشی ویژه و بیشینه نیروی برشی ویژه معنی‌دار بود (جدول ۱). وجود این تفاوت معنی‌دار بیانگر تنوع ژنتیکی قابل‌قبول در جمعیت مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱. میانگین مربعات (MS) برای صفات مربوط به آزمون برش در لاین‌های دابل هاپلوئید گندم نان

Table 1. Results of mean sum of square of shear test for traits in doubled haploid bread wheat lines

منبع تغییر SOV	درجه آزادی DF	ارتفاع Height	قطر خارجی Outer Dia.	ضخامت Thickness	انرژی برشی ویژه Specifc shear energy	بیشینه مقاومت برشی ویژه Max. specific shear strength
بلوک Block	3	725.10983**	1.351**	0.083^{ns}	0.452^{ns}	0.762^{ns}
تیمار Treatment	224	135.56871**	0.608**	0.050**	1.970**	1.590**
خطا Error	663	34.48555	0.245	0.019	1.162	0.759

ns: not significant; ** highly significant (α=1%)

نتایج تجزیه واریانس صفات آزمون خمش شامل مساحت مقطع عرضی، گشتاور اینرسی، انرژی خمشی ویژه، بیشینه مقاومت خمشی ویژه و ضریب ارتجاعی نشان داد که این صفات به‌طور معنی‌داری بین ژنوتیپ ها متفاوت می‌باشند (جدول ۲).

www.SID.ir

جدول ۱. میانگین مجموع مربعات (MSS) برای صفات مربوط به آزمون خمشی در لاین‌های دابل هاپلوئید گندم نان

Table 2. Results of mean sum of square of bending test for traits in doubled haploid bread wheat lines

منبع تغییر SOV	درجه آزادی DF	مساحت مقطع عرضی Cross section area	ممان اینرسی سطح Section moment of inertia	انرژی خمشی ویژه Speific bending energy	بیشینه مقاومت خمشی ویژه Max. specific bending strength	ضریب ارتجاعی Modulus of elasticity
بلوک Block	3	0.323^{ns}	3.64^{ns}	11287148^{ns}	0.047^{ns}	360557.5^{ns}
تیمار treatment	224	6.94**	64.51**	37623289**	0.711**	1763059.4**
خطا Error	659	3.176	26.52	23586381	0.297	706150

میانگین والدین تلاقی (کوکری و RAC)، میانگین ۱۰ ژنوتیپ برتر و ۱۰ ژنوتیپ ضعیف تر در جدول ۳ آورده شده است. این نتایج نشان داد برای تمام صفات مورد بررسی تفرق خارج از محدوده وجود دارد. ارقام ایرانی از لحاظ ویژگی های بیومکانیکی ساقه در حد وسط این جمعیت استرالیایی قرار گرفتند. این موضوع نشان می دهد به نژادگران ایرانی بایستی توجه بیشتری نسبت به این ویژگی ها داشته باشند. جهت تعیین میزان تنوع صفات موردمطالعه ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی محاسبه شد. بالاترین ضرایب تغییرات ژنتیکی را صفات گشتاور اینرسی (۱۸/۵۴) و ضریب ارتجاعی (۱۹/۴۴) به خود اختصاص دادند. هرچه تنوع ژنتیکی در صفات بیشتر باشد انتخاب در آن‌ها از دقت بالاتری برخوردار است (Falconer 1996). تنوع بالای ژنتیکی امکان بهبود صفات در آینده را فراهم می‌آورد و به‌طور خاص میزان تنوع ژنتیکی در تعیین سودمندی انتخاب مؤثر است (Subhashchandra et al. 2009). همچنین در بین صفات مورد ارزیابی گشتاور اینرسی (۲۸/۷۲)، ضریب ارتجاعی (۲۹/۷۲) و مساحت مقطع عرضی (۱۶/۳۱) بیشترین ضریب تنوع فنوتیپی را داشتند. وجود ضریب تغییرات پایین برای صفات نشان‌دهنده این مطلب است که در طول زمان، گزینش برای این صفات بیشتر بوده و تنوع ژنتیکی آن‌ها را کاهش داده است (Abdolshahi et al. 2015).

Agricultural Biotechnology Journal; Print ISSN: 2228-6705, Electronic ISSN: 2228-6500
www.SID.ir

وراثت‌پذیری و بهره ژنتیکی ناشی از گزینش: صفات ارتفاع، قطر خارجی، ضخامت پوسته، حداکثر مقاومت برشی ویژه، مساحت مقطع عرضی، ممان اینرسی، حداکثر مقاومت خمشی ویژه و ضریب ارتجاعی (به ترتیب ۵۹٪، ۴۲٪، ۴۴٪، ۳۵٪، ۳۷٪، ۴۲٪، ۴۰٪ و ۴۳٪) وراثت‌پذیری خصوصی بالایی داشتند. در مطالعات دیگر نیز وراثت‌پذیری بالایی برای ارتفاع بوته گزارش شده است (Keller et al. 1999; Novoselovic et al. 2004; Iqbal et al. 2007) صفات با وراثت‌پذیری خصوصی بالا بیشتر تحت کنترل اثرات افزایشی ژن‌ها هستند و تأثیر عوامل محیطی بر روی این صفات کم است. همچنین تعداد کمتری ژن بیان شدن این صفات را کنترل می‌کنند. بنابراین، در جمعیت حاضر گزینش بر اساس این صفات می‌تواند بازده ژنتیکی نسبتاً خوبی را ایجاد نماید، زیرا فنوتیپ تقریباً بیان‌کننده ژنوتیپ است. درنتیجه با توجه به وراثت‌پذیری مناسب این صفات می‌توان گزینش‌هایی از طریق این صفات جهت بهبود و کاهش خوابیدگی و افزایش عملکرد انجام داد. کمترین وراثت‌پذیری مربوط به صفات انرژی برشی ویژه (۲۵٪) و بیشینه مقاومت خمشی ویژه (۲۲٪) بود. این امر نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل محیطی و کنترل این صفات توسط تعداد زیادی ژن است. وراثت‌پذیری پایین صفات نشان می‌دهد که صفت به مقدار زیادی تحت تأثیر عوامل محیطی است و انتخاب مستقیم برای صفت مذکور مؤثر نخواهد بود (Farshadfar 2008.) بیشترین مقدار پاسخ به‌گزینش مربوط به صفات ممان اینرسی (۲۰/۳۵) و ضریب ارتجاعی (۲۱/۶۵) است. این رویداد می‌تواند به دلیل بالاتر بودن سهم واریانس ژنتیکی این صفات نسبت به سایر صفات باشد. البته در برآورد پاسخ به‌گزینش علاوه بر وجود تنوع ژنتیکی کافی، وراثت‌پذیری بالا نیز حائز اهمیت است (Falconer 1996).

www.SID.ir

جدول ۲. مقایسه میانگین صفت‌های لاین‌های گندم نان (ارتفاع، قطر خارجی، ضخامت پوسته، انرژی برشی ویژه)

Table 3. Mean comparison of bread wheat line traits (Height, Outer Diameter, Thickness, Specific shear energy)

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع Height (cm)	ژنوتیپ Genotype	قطر خارجی Outer Dia. (mm)	ژنوتیپ Genotype	ضخامت پوسته Thikness (mm)	ژنوتیپ Genotype	انرژی برشی ویژه Specific shear energy (mJ/mm^2)	ژنوتیپ Genotype	بیشینه مقاومت برشی ویژه Max specific shear strength (N/mm^2)
									والدین Parents
Kukri	75	Kukri	4.97	Kukri	0.7	Kukri	2.68	Kukri	2.4
RAC	79	RAC	3.4	RAC	1.32	RAC	3.74	RAC	3.16
									۱۰ لاین برتر Top 10 lines
19	106	158	5.87	67	2.08	10	8.59	3	7.50
Mahdavi	83	135	5.70	212	1.47	19	8.38	249	7.48
116	81	160	5.61	99	1.13	168	8.26	93	7.27
23	80	111	5.56	341	1.11	93	7.99	148	7.08
127	79	99	5.50	171	1.08	334	7.99	19	6.91
132	79	171	5.47	8	1.08	186	7.58	10	6.82
183	79	117	5.42	66	1.08	247	7.47	168	6.70
301	78	124	5.41	158	1.06	301	7.41	11	6.69
110	77	40	5.40	129	1.05	131	7.41	34	6.63
164	77	186	5.32	177	1.04	148	7.38	55	6.58
									۱۰ لاین ضعیف‌تر Bottom 10 lines
41	44	161	3.06	93	0.44	42	2.54	328	2.04
33	44	39	2.98	10	0.44	286	2.48	102	2.03
85	44	68	2.98	25	0.44	39	2.39	159	1.90
199	43	162	2.92	165	0.43	114	2.39	359	1.89
99	42	55	2.90	47	0.41	135	2.24	229	1.86
201	42	25	2.89	168	0.40	359	2.24	46	1.84
172	41.5	142	2.86	148	0.38	159	2.10	168	1.84
2	41	106	2.83	206	0.37	140	2.10	140	1.77
97	41	47	2.75	213	0.34	189	1.75	84	1.77
157	40	119	2.68	108	0.33	58	1.20	189	1.62
$LSD_{0.05}$	8.14	-	0.68	-	0.19	-	1.49	-	1.21

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب ارتجاعی Modulus of elasticity (N/mm^2)	ژنوتیپ Genotype	بیشینه مقاومت خمشی ویژه Max specific shear strength (N/mm^2)	ژنوتیپ Genotype	انرژی خمشی ویژه Speific bending energy (J/mm^2)	ژنوتیپ Genotype	گشتاور اینرسی Moment of inertia (mm^4)	ژنوتیپ Genotype	مساحت مقطع Cross section area (mm^2)	ژنوتیپ Genotype
والدین				Parents					
827.95	Kukri	2.14	Kukri	16447.03	Kukri	21.05	Kukri	8.9	Kukri
3051.75	RAC	2.52	RAC	23658.75	RAC	20.65	RAC	8.32	RAC
۱۰ لاین برتر				Top 10 lines					
4397.31	313	5.10	142	36849.1	105	34.80	171	14.75	67
4277.68	305	4.79	305	35561.6	128	34.70	177	14.01	158
3954.71	88	4.72	168	33080.1	49	33.90	167	13.81	84
3913.78	173	4.53	19	32844.9	357	32.70	76	13.80	177
3756.63	127	4.41	272	32400.1	355	32.63	158	13.54	271
3656.63	52	4.37	172	32370.4	154	32.60	40	12.61	171
3636.74	130	4.34	82	32301.8	305	32.60	Mahdavi	12.50	Mahdavi
3626.25	176	4.30	52	32015.1	272	31.58	69	12.14	40
3550.71	301	4.25	299	32001.8	8	30.61	84	11.92	175
3383.83	295	4.20	67	31821.3	127	30.23	124	11.89	117
۱۰ لاین ضعیف‌تر				Bottom 10 lines					
622.44	229	1.63	80	8364.16	124	3.07	249	3.25	154
621.36	80	1.58	57	8307.88	95	2.98	90	3.24	343
617.20	95	1.57	84	8281.13	107	2.78	130	3.23	82
609.08	48	1.55	336	7981.38	2	2.70	343	3.22	313
608.45	84	1.54	27	7639.13	336	2.63	82	3.18	168
584.88	137	1.45	95	7191.35	312	2.54	32	3.01	93
553.3	114	1.44	8	7017.26	185	2.32	264	2.89	249
545.88	41	1.43	14	6956.70	27	2.22	176	2.81	198
522.02	171	1.23	312	5698.85	114	1.87	142	2.35	77
505.78	122	1.02	2	4778.53	77	1.60	77	2.25	142
1164.63	-	0.76	-	6730.88	-	7.14	-	2.47	$LSD_{0.05}$

جهت تعیین میزان تنوع صفات موردمطالعه ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی محاسبه شد.

بررسی ارتباط بین صفات مورد بررسی: بررسی همبستگی بین صفات مختلف می‌تواند به تعیین اهمیت هر یک از صفات بر عملکرد به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم کمک نماید و اصلاح‌گران را در اولویت‌دهی جهت اصلاح برای مقاومت به خوابیدگی راهنمایی نماید. به این منظور ضرایب همبستگی بین صفات محاسبه گردیده است و در جدول ۵ نشان داده‌شده است. در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی داری بین ارتفاع گندم و قطر خارجی (r=۰/۱۲۷**)، ضخامت پوسته (r=۰/۰۸۷**)، مساحت

www.SID.ir

Archive of SID

مقطع عرضی (r=۰/۱۲۲**) و گشتاور اینرسی (r=۰/۰۸۵**) مشاهده شد. این همبستگی نشان می دهد با افزایش ارتفاع گیاه، این صفات بهبود می‌یابند تا مانع ورس شوند.

شناسایی QTL های کنترل‌کننده صفات مرتبط با خوابیدگی ساقه (ورس): با استفاده از مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب جامع در مجموع ۱۲ مکان دارای LOD بالای ۲/۵ شناسایی شد که کنترل ۶ صفت (حداکثر انرژی برشی خاص، حداکثر نیروی برشی، گشتاور اینرسی، ضریب ارتجاعی، سختی خمیدگی و حداکثر انرژی خمشی خاص) مورد بررسی را برعهده داشتند. برای سایر صفات (ارتفاع، قطر خارجی، ضخامت پوسته و مساحت مقطع عرضی) QTL با LOD بالای ۲/۵ شناسایی نشد.

انرژی برشی ویژه: آر ای سی با ۳/۷۴ میلی‌ژول برمیلی‌مترمربع (mJ.mm-2) نسبت به کوکری انرژی برشی ویژه بیشتری را به خود اختصاص داد. بیشترین انرژی برشی ویژه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۹ با مقادیر ۸/۵۹ و ۸/۳۸ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع بود. کمترین انرژی برشی ویژه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۴۰ و ۱۸۹ با مقادیر ۲/۱ و ۱/۷۵ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع بود. بین ارقام ایرانی مهدوی با ۴/۸۵ میلی‌ژول بر میلی‌مترمربع بیشترین انرژی برشی خاص را به خود اختصاص داد (جدول ۳). برای صفت انرژی برشی ویژه ساقه ۳ QTL شناسایی شد (جدول ۶) که بر روی کروموزم‌های ۳A، ۲D و ۱B قرار دارند. کروموزوم ۲D بیشترین مقدار LOD (۴/۰۶) را داشت و ۹/۰۹ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کرد.

جدول ٤. برآورد اجزای واریانس و وراثت‌پذیری خصوصی صفات مربوط به آزمون برش

Table 4. Variance and narrow sense heritability of shear related traits

پارامترهای ژنتیکی Genetic parameters	ارتفاع Height	قطر خارجی Outer Dia.	ضخامت پوسته Thickness	انرژی برشی ویژه Specifc shear energy	بیشینه مقاومت برشی ویژه Max specific shear strength
واریانس ژنتیکی Genetic variance	12.63	0.045	0.0038	0.101	0.103
واریانس محیطی Environmental variance	8.62	0.061	0.0047	0.29	0.189
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	21.25	0.106	0.0085	0.3915	0.292
وراثت‌پذیری خصوصی Narrow sense heritability	0.59	0.42	0.44	0.25	0.352
ضریب تغییرات ژنتیکی Genetic CV	5.95	5.16	9.94	7.19	8.65
ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic CV	7.73	7.92	14.87	14.15	14.56
درصد پاسخ به‌گزینش Response to selection%	7.71	5.6	10.96	5.97	8.62

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ٤. Table 4. (Continued)

پارامترهای ژنتیکی Genetic parameters	مساحت مقطع Section area	گشتاور اینرسی Momment of inertia	انرژی خمشی ویژه Specific benfing energy	بیشینه مقاومت ویژه Max specific bending strength	ضریب ارتجاعی خمشی Modulus of elasticity
واریانس ژنتیکی Genetic variance	0.47	4.74	1754613.5	0.051	132113.67
واریانس محیطی Environmental variance	0.794	6.63	5896595.25	0.074	176537.50
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	1.264	11.37	7651208.75	0.125	308651.17
وراثت‌پذیری خصوصی Narrow sense heritability	0.37	0.42	0.229	0.408	0.43
ضریب تغییرات ژنتیکی Genetic CV	9.95	18.54	7.34	8.302	19.44
ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic CV	16.31	28.72	15.33	12.99	29.72
درصد پاسخ به‌گزینش Response to selection%	10.16	20.35	5.95	8.86	21.65

www.SID.ir

جدول ۵. ضریب همبستگی پیرسن صفات مورد بررسی لاین‌های گندم

Table 5. Pearson correlation coefficient of traits in wheat lines

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ارتفاع ۱ Height 1										
قطر خارجی ۲ Outer Dia. 2	0.127**									
ضخامت پوسته ۳ Thickness 3	0.087**	**0.456								
انرژی برشی ویژه ۴ Specific shear energy 4	0.042	-0.217**	-0.336**							
بیشینه مقاومت برشی ویژه ۵ Max.specific shear strength 5	0.035	-0.273**	-0.346**	0.808**						
مساحت مقطع ۶ Cross section area 6	0.122**	0.221**	0.305**	-0.196**	-0.207**					
گشتاور اینرسی ۷ Momment of Inertia 7	0.085*	0.258**	0.196**	-0.206**	-0.227**	0.818**				
انرژی خمشی ویژه ۸ Specific bending energy 8	0.038	0.002	0.081*	0.112**	0.133**	0.371**	0.239**			
بیشینه مقاومت خمشی ویژه ۹ Max specific bending strength 9	-0.005	-0.090**	-0.105**	0.282**	0.308**	-0.147**	-0.141**	0.499**		
ضریب ارتجاعی۱۰ Elastic modulus 10	-0.053	-0.221**	**0.117	0.259**	0.315**	-0.486**	-0.566**	0.225**	0.566**	

بیشینه مقاومت برشی ویژه: بین والدین تلاقی و ژنوتیپ‌ها، به ترتیب بیشینه مقاومت برشی ویژه مربوط به آر ای سی و لاین ۳ با ۳/۱۶ و ۲۴۹ نیوتون بر میلی‌مترمربع بود. کمترین نیروی برشی ویژه به لاین ۱۸۹ با ۱/۶۲ نیوتون بر میلی‌مترمربع تعلق داشت. بین ارقام ایرانی مهدوی با ۳/۸۲ نیوتون بر میلی‌متر مربع بیشترین نیروی برشی ویژه را دارا بود (جدول ۳). برای صفت حداکثر نیروی برشی ویژه ساقه ۳ QTL یافت شد (جدول ۶) که بر روی کروموزم‌های ۳A، ۲D و ۱B قرار دارند.

Agricultural Biotechnology Journal; Print ISSN: 2228-6705, Electronic ISSN: 2228-6500
www.SID.ir

کروموزم‌های ۲D و ۳A بیشترین مقدار LOD (۴/۰۲ و ۴/۴۴) را داشتند که به‌ترتیب ۸/۵۴ و ۹/۲۵ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کردند. کروموزوم ۱B کمترین مقدار LOD (۲/۵۱) را داشت که ۵/۱۵ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کرد. به دلیل مثبت بودن اثر افزایشی کروموزم‌های ۳A و ۱B QTL آنها از والد آر ای سی و منفی بودن اثر افزایشی ۲D QTL آن از والد کوکری منشأ گرفته است.

گشتاور اینرسی سطح: والد کوکری با ۲۱/۰۵ میلی‌متر۴ (mm4) حداکثر ممان اینرسی سطح بیشتری نسبت به آر آ سی داشت. بین ژنوتیپ‌ها، لاین ۱۷۱ با ۱۷۷ میلی‌متر۴ حداکثر ممان اینرسی را دارا بود. کمترین ممان اینرسی مربوط به لاین ۷۷ با ۱/۶ میلی‌متر۴ بود. بین ارقام ایرانی روشن با ۱۰/۴۹ میلی‌متر۴ بیشترین و رقم مهدوی با ۴/۹۵ میلی‌متر۴ کمترین گشتاور اینرسی را دارا بودند (جدول ۳). برای صفت گشتاور اینرسی ساقه گندم نان یک QTL یافت شد (جدول ۶) که بر روی کروموزم ۳D قرار دارد. کروموزم‌های ۳D دارای مقدار LOD (۳/۲) که ۷/۷۶ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کرد و در فاصله ۴۵ سانتی‌مورگانی از ابتدای کروموزم قرار داشت. به دلیل مثبت بودن اثر افزایشی کروموزم ۳D QTL آن از والد آر ای سی منشأ گرفته است.

انرژی خمشی ویژه: بین والدین آر ای سی با ۲۳۶۵۸/۷۵ ژول بر میلی‌مترمربع(J/mm^2) بیشترین انرژی خمشی ویژه را به خود اختصاص داد. بیشترین انرژی خمشی ویژه مربوط به ژنوتیپ ۱۲۸ با مقدار ۳۵۵۶۱/۶ نیوتون‌متر بر میلی‌مترمربع بود. کمترین انرژی خمشی ویژه مربوط به ژنوتیپ ۷۷ با مقدار ۴۷۷۸/۸۳ نیوتون‌متر بر میلی‌مترمربع بود. در بین ارقام ایرانی روشن بیشترین و مهدوی کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). برای این صفت ۲ QTL یافت شد (جدول ۶) که بر روی کروموزم‌های ۴A و ۴B قرار داشت و به ترتیب ۹/۹۳ و ۶/۸۹ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کردند. Keller et al. (1999)یک QTL بر روی کروموزم 4A و Verma et al. (2005) و McCartney et al. (2006) نیز یک QTL بر روی کروموزم 4B برای مقاومت به ورس پیدا کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- QTLهای شناسایی شده صفات مرتبط با مقاومت به ورس با استفاده از مکان‌یابی مرکب جامع

Table 6. Identified QTLs for lodging resistance related traits using ICIM

	کروموزوم Choromosome	موقعیت روی کروموزوم Position on chromosome	مارکر سمت چپ Left marker	مارکر سمت راست Right marker	LOD	R^2	اثر افزایشی Additive effect
انرژی برشی ویژه Specifc shear energy	3A	95	IAV902	Wsnp-Ex-c26887-36107413	2.65	4.94	0.158
	2D	37	tb1b0057n10-689	Kukri-c37862-475	4.06	9.09	-0.225
	1B	71	CAP11-rep-c6465-98	BS00091688-51	2.89	4.72	0.162
بیشینه مقاومت برشی ویژه Max specific shear strength	3A	91	BobWhite-c43681-334	BS00003971-51	4.44	9.25	0.213
	2D	40	Kukri-c37862-475	Wsnp-CAP12-c1503	4.03	8.54	-0.204
	1B	72	BS00066456-51	JD-c11168-446	2.51	5.15	0.159
گشتاور اینرسی Momment of inertia	3D	45	Gwm0664	IAV5136	3.20	7.76	1.185
انرژی خمشی ویژه Specific benfing energy	4A	41	Wsnp-Ex-c20386-29451037	RAC875-c754-120	4.35	9.93	-964.58
	4B	51	Ku-c27617-684	Wsnp-Ra-c15715-24192817	3.07	6.89	804.40
بیشینه مقاومت خمشی ویژه Max specific bending strength	5D	40	Ku-c1454-984	JD-c16284-736	2.77	7.08	0.1331
	4B	52	Bobwhit-c4810-190	Wsnp-Ex-c3119-5763762	3.62	6.12	0.1338
ضریب ارتجاعی Modulus of elasticity	5A	187	TA003210	IAV3048	2.67	6.4	-172.12

بیشینه مقاومت خمشی ویژه: در مقایسه با کوکری والد آر ای سی با ۲/۵۲ نیوتون بر میلی‌مترمربع(N/mm^2) بیشینه مقاومت خمشی ویژه بیشتری داشت. بین ژنوتیپ‌ها، لاین‌های ۱۴۲ و ۲ با ۳۰۵ و ۱/۰۲ نیوتون بر میلی‌مترمربع به ترتیب بیشترین

www.SID.ir

و کمترین نیروی خمشی ویژه را دارا بودند. بین ارقام ایرانی روشن با ۲/۹۹ نیوتون بر میلی‌متر مربع بیشترین نیروی خمشی ویژه را دارا بود (جدول ۳). برای این صفت ۲ QTL یافت شد (جدول ۶) که بر روی کروموزم‌های 5D و 4B قرار داشتند. این QTLها به ترتیب ۶/۱۲ و۷/۰۸ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کردند. Verma et al. (2005) و McCartney et al. (2006) نیز یک QTL بر روی کروموزم 4B برای مقاومت به ورس پیدا کردند.

ضریب ارتجاعی: آر ای سی با ۳۰۵۱/۷۵ نیوتون بر میلی‌مترمربع ضریب ارتجاعی بالاتری نسبت به کوکری داشت. بیشترین ضریب ارتجاعی مربوط به لاین ۳۱۳ با ۵۳۹۷/۳۱ نیوتون بر میلی‌متر مربع و کمترین آن مربوط به لاین ۱۲۲ با ۵۰۵/۷۸ نیوتون بر میلی‌مترمربع بود. بین ارقام ایرانی مهدوی با ۳۳۲۹/۰۵ نیوتون بر میلی‌متر مربع بیشترین ضریب ارتجاعی و روشن با ۲۲۳۸/۱۹ نیوتون بر میلی‌مترمربع کمترین ضریب ارتجاعی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). برای این صفت یک QTL بر روی کروموزم 5A یافت شد که ۶/۴ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه کرد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری: در این پژوهش ۱۲ مکان ژنی برای شش صفت مرتبط با مقاومت به ورس (انرژی برشی ویژه، بیشینه مقاومت برشی ویژه، ممان اینرسی سطح، ضریب ارتجاعی، انرژی خمشی ویژه و بیشینه مقاومت خمشی ویژه) شناسایی شد. QTLهای مقاومت به ورس بین ژنوم‌ها به طور یکسان توزیع شده است. به طوری که در هر کدام از ژنوم های A، B و D چهار QTL شناسایی شد. انرژی برشی ویژه و بیشینه مقاومت برشی ویژه توسط مکان‌های ژنی مشابه با اثر پلیوتروپیک کنترل می شوند. این دو صفت همبستگی فنوتیپی بالایی (r=۰/۸۰۸**) با هم دارند. QTLهایی که بر روی کروموزم‌های ۳A، ۲D و ۱B قرار دارند هر دو صفت را کنترل می‌نمایند. یک مکان ژنی بر روی کروموزم ۴B کنترل هر دو صفت انرژی خمشی ویژه و حداکثر مقاومت خمشی ویژه را بر عهده دارد. به طور کلی QTLهای بزگ اثر می‌توانند برای مقاومت به ورس استفاده شوند و به کمک آن‌ها گزینش به وسیله نشانگر (MAS) یا تلاقی برگشتی به‌وسیله نشانگر (MAB) را انجام داد و چندین QTL مطلوب را در یک لاین یا یکی از والدین جمع‌آوری نمود و مقاومت به ورس بهتری را به‌دست آورد.

سپاسگزاری: نگارندگان مقاله از پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان به خاطر تامین اعتبار این پروژه سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

آمارنامه کشاورزی جلد اول گیاهان زراعی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات ۱۳۹۷. چاپ اول.

هوشمند، س و ناکس، ر. (۱۳۸۷) شناسایی برخی مکان‌های ژنی کنترل کننده مقاومت به ورس در گندم دوروم (Triticum turgidum L. var. Durum) با استفاده از نشانگر ریزماهواره. مجله علوم زراعی ایران. ۱۰، ۳۸۹-۳۹۹.

References

www.SID.ir

Abdolshahi R, Nazari M, Safarian A et al. (2015) Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (Triticum aestivum L.) breeding programs using discriminant analysis. Field Crops Res 174, 20-29.

Beeck C, Wroth J, Cowling W (2006) Genetic variation in stem strength in field pea (Pisum sativum L.) and its association with compressed stem thickness. Aust. J Agric Res 57, 193-199.

Berry P, Sterling M, Spink J et al. (2004) Understanding and reducing lodging in cereals. Adv Agron 84, 215-269.

Briggs KG, Kiplagat OK, Johnson-Flanagan AM (1999) Effects of pre-anthesis moisture stress on floret sterility in some semi-dwarf and conventional height spring wheat cultivars. Can J Plant Sci 79, 515-520.

Champoux M, Wang G, Sarkarung S et al. (1995) Locating genes associated with root morphology and drought avoidance in rice via linkage to molecular markers. Theor Appl Genet 90, 969-981.

Easson D, White E, Pickles S (1993) The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. J Agric Sci 121, 145-156.

Falconer DS (1996) Introduction to quantitative genetics. Pearson Education India.

Farshadfar E (2008) Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pak J Biol Sci 11, 1791.

Houshmand, S, Knox et al. (2009) Identification of some quantitative trait loci for lodging in durum wheat (Triticum turgidum L. var. Durum) using microsatellite markers. Iran Crop Sci 10, 389-399(in Persian).

Hughes N, do VALLE CB, Sabatel V et al. (2000) Shearing strength as an additional selection criterion for quality in Brachiaria pasture ecotypes. J Agric Sci 135, 123-130.

Iqbal M, Navabi A, Salmon D et al. (2007) Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. Plant Breed 126, 244-250.

Iwaasa A, Beauchemin K, Buchanan-Smith J et al. (1996) A shearing technique measuring resistance properties of plant stems. Anim Feed Sci Technol 57, 225-237.

Keller M, Karutz C, Schmid J et al. (1999) Quantitative trait loci for lodging resistance in a segregating wheat× spelt population. Theor Appl Genet 98, 1171-1182.

Kong E, Liu D, Guo X et al. (2013) Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. Crop J 1, 43-49.

Maharlooei M, Loghavi M, Raoufat M et al. (2014) Feasibility study of estimating nutritional quality properties of alfalfa crop using on-the-go measurement of shear energy during baling operation. World Res J Agric Biosyst Eng 3, 39-43.

www.SID.ir

McCartney C, Somers D, Lukow O et al. (2006) QTL analysis of quality traits in the spring wheat cross RL4452×'AC Domain'. Plant Breed 125, 565-575.

Mohammadi SA, Prasanna B (2003) Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. Crop Sci 43, 1235-1248.

Novoselovic D, Baric M, Drezner G et al. (2004) Quantitative inheritance of some wheat plant traits. Genet Mol Biol 27, 92-98.

O'dogherty M, Huber J, Dyson J et al. (1995) A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. J Agric Eng Res 62, 133-142.

Singh S (2003) Cluster analysis for heterosis in wheat [Triticum aestivum (L.) em. Thell.]. Indian J Genet Plant Breed 63, 249-250.

Subhashchandra B, Lohithaswa H, Desai S et al. (2009) Assessment of genetic variability and relationship between genetic diversity and transgressive segregation in tetraploid wheat. Karnataka J Agric Sci 22, 36-38.

Verma V, Worland A, Savers E et al. (2005) Identification and characterization of quantitative trait loci related to lodging resistance and associated traits in bread wheat. Plant Breed. 124, 234-241.

Xue A, Warkentin T (2001) Partial resistance to Mycosphaerella pinodes in field pea. Can J Plant Sci 81, 535-540.

www.SID.ir