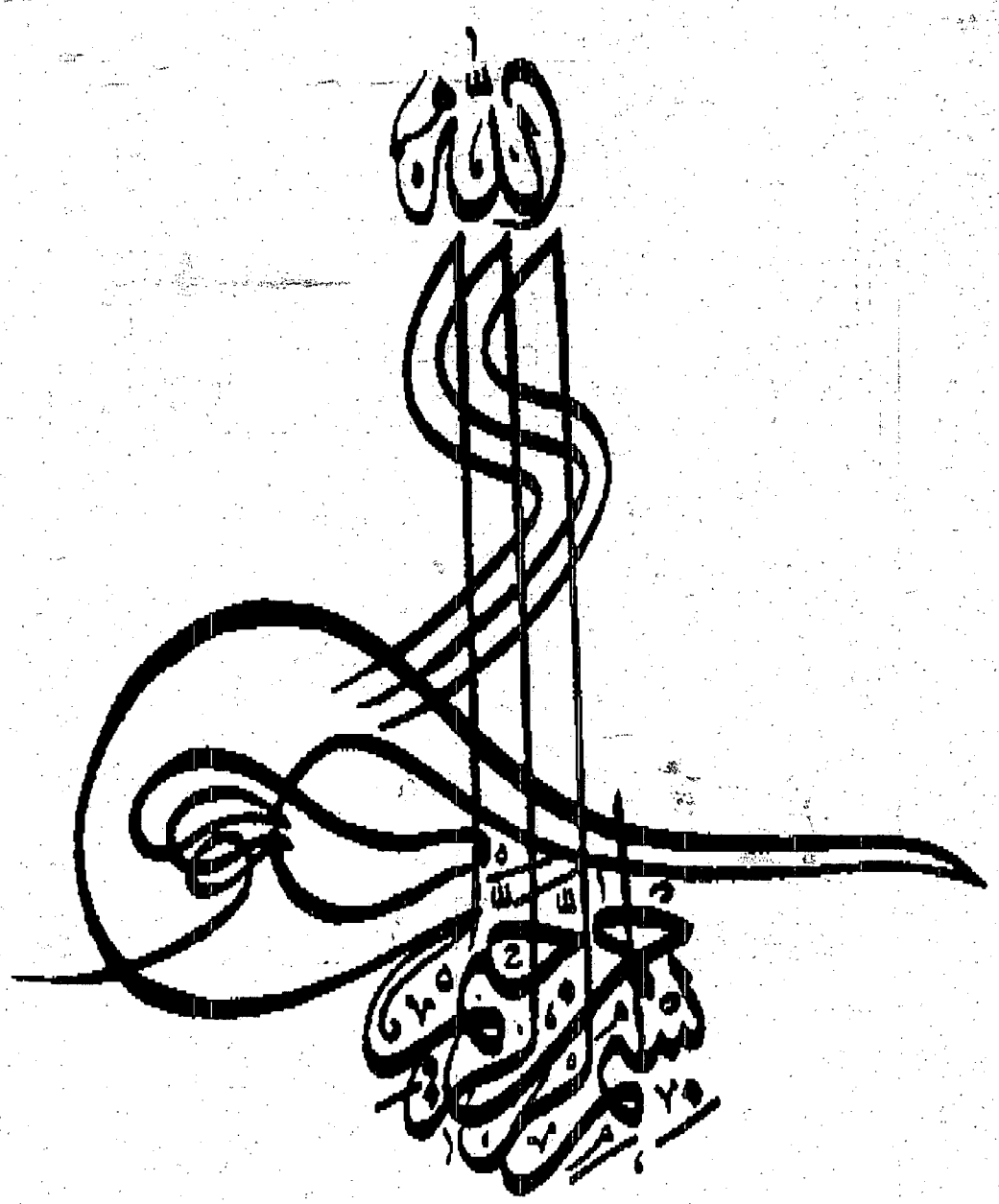

١٤٥٨٤٣ - ٢٠٢٣٣٩٢

دانشگاه تبریز

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت و اصلاح نباتات

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته بیوتکنولوژی کشاورزی

عنوان:

شناسایی ژن (های) کنترل کننده عملکرد دانه و برخی صفات مورفولوژیک گندم نان تحت تنش کم آبی با نشانگرهای SSR

استادان راهنما:

دکتر سید ابوالقاسم محمدی دکتر محمد مقدم واجد

استاد مشاور:

دکتر مظفر روستایی

۱۳۸۹/۹/ ۳

پژوهشگر:

یوسف محمدی

شهریور ۱۳۸۹ شماره پایان نامه: ۵

۱۴۵۸۴۳

تقدیم به:

پدر و مادرم،

خانواده عزیزم و

روح پاک برادرم

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خدایی که آموختن آموخت.

از استادان عزیزم جناب آقایان دکتر سید ابوالقاسم محمدی، دکتر محمد مقدم واحد، دکتر مصطفی ولی‌زاده و دکتر مظفر روستایی به خاطر راهنمایی و صبر و شکیباییشان در به اتمام رسیدن این پایان‌نامه کمال تشکر را دارم.

از تمامی اساتید گروه زراعت و اصلاح نباتات که چندین سال در محضرشان علم و زندگی آموخته‌ام تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از آقای مهندس امیر کهنموئی و خانم مهندس شکوئی تکنیسن های آزمایشگاه ژنومیکس و اصلاح نباتات مولکولی که در تمام مراحل کار آزمایشگاهی بی دریغ یاری ام کردند نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

از تک تک دوستان و هم کلاسی هایم مخصوصا هم آزمایشگاهی هایم آقایان محمد سخنور، کاظم علیرضالو، اکبر شاهی، اصغر ابراهیمی و خانمها بهامین، زارعی ، عنصرودی، غفاریان و اسدخانی نهایت تقدیر و تشکر را دارم و بهترین ها را برایشان آرزومندم.

از پدر و مادر و خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی ام پشتیبانم بوده اند سپاسگذارم.

نام خانوادگی: محمدی **نام:** یوسف

عنوان پایان نامه: شناسایی ژن (های) کنترل کننده عملکرد دانه و برخی صفات مورفولوژیک گندم نان تحت تنش کم آبی با نشانگرهای SSR

استادان راهنما: دکتر سید ابوالقاسم محمدی و دکتر محمد مقدم واحد

استاد مشاور: دکتر مظفر روستایی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** اصلاح نباتات **گرایش:** بیوتکنولوژی کشاورزی

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** کشاورزی

کلید واژه‌ها: گندم، خشکی، نشانگرهای SSR، مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب

کم آبی مهمترین تنش غیر زیستی است که رشد و عملکرد گندم را در اکثر نقاط جهان محدود می‌کند. برای شناسایی مکان‌های ژنی کنترل کننده صفات مرتبط با تحمل خشکی در گندم نان، ۱۴۲ لاین اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی رقم مقاوم به خشکی آذر۲ و رقم 87Zhong 291 در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد بررسی و صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول و عرض برگ پرچم و طول و عرض برگ دوم اندازه‌گیری شد. بر اساس توزیع فنوتیپی برای کلیه صفات مورد مطالعه، تفکیک متجاوز مشاهده گردید. چند شکلی والدین با استفاده از نشانگرهای SSR و ISSR ارزیابی و ۲۴ نشانگر SSR و ۱۶ نشانگر ISSR چند شکل بین والدین برای غربال جمعیت استفاده شد. تجزیه پیوستگی۴۰ نشانگر چند شکل را به نقشه قبلی جمعیت مشتمل بر ۴۵ نشانگر SSR و AFLP منتسب کرد. بر اساس مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب ۷۱ QTL برای صفات مورد مطالعه تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مکان‌یابی شد. برای عملکرد دانه ۱۰و ۲۰، ارتفاع بوته ۱ و ۴، طول برگ پرچم ۴ و ۱ و طول سنبله ۵ و ۲ QTL به ترتیب در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، مکان‌یابی گردید. علاوه براین، ۷، ۸ و ۹ QTL به ترتیب برای عرض برگ پرچم، طول برگ دوم و عرض برگ دوم در شرایط دیم شناسایی شد. در این مطالعه تعدادی QTL برای صفات مختلف مشترک بود که این امر پیوسته بودن QTLها یا اثرات پلیوتروپیکی بین QTLها را نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع ۴

۱-۱- گندم ۵

۱-۱-۱- اهمیت گندم ۵

۱-۱-۲-ژنتیک گندم ۷

۱-۲- خشکی ۷

۱-۲-۱-عکس‌العمل گیاهان به تنش خشکی ۸

۱-۲-۲- اثر تنش خشکی بر فرآیندهای بیولوژیکی سلول ۸

۱-۲-۳- مکانیسم‌های مقاومت به خشکی ۱۰

۱-۳- ارزیابی تحمل به تنش ۱۲

۱-۴- صفات زراعی مرتبط با تحمل به خشکی ۱۳

۱-۴-۱- طول و عرض برگ پرچم و برگ دوم ۱۳

۱-۴-۲- ارتفاع بوته ۱۵

۱-۴-۳- طول سنبله ۱۶

۱-۴-۴- عملکرد دانه ۱۷

۱-۵- مکان‌یابی ژن‌های کنترل کننده صفات کمی ۱۷

۱-۵-۱- ارتفاع بوته ۱۸

۱-۵-۲- طول سنبله ۱۹

۱-۵-۳- عملکرد دانه ۱۹

فصل دوم: مواد و روش‌ها ۲۲

۲-۱- مواد گیاهی ۲۳

۲-۲- ارزیابی فنوتیپی ۲۳

۲-۳- صفات ۲۳

۲-۴- ارزیابی مولکولی ۲۳

۲-۴-۱- تهیهٔ نمونه های برگی برای استخراج DNA ۲۳

۲-۴-۲- استخراج DNA ی ژنومی ۲۴
۲-۴-۳- تعیین کمیت و کیفیت DNA ۲۵
۲-۴-۴- واکنش زنجیره‌ای پلیمراز ۲۵
۲-۵- آغازگرهای ریزماهواره ۲۶
۲-۶- الکتروفورز محصولات PCR ۲۶
۲-۷- امتیازدهی افراد جمعیت از نظر الگوهای نواری نشانگرهای ریزماهواره و ISSR ۲۸
۲-۸-تجزیه داده‌ها ۲۸
فصل سوم: نتایج و بحث ۳۰
۳-۱- توزیع فنوتیپی صفات زراعی در جمعیت ۳۱
۳-۱-۱- ارتفاع بوته ۳۱
۳-۱-۲- عملکرد دانه ۳۱
۳-۱-۳- طول سنبله ۳۲
۳-۱-۴- طول برگ پرچم ۳۲
۳-۱-۵- عرض برگ پرچم ۳۲
۳-۱-۶- طول برگ دوم ۳۳
۳-۱-۷- عرض برگ دوم ۳۳
۳-۲- تجزیه پیوستگی ۳۷
۳-۳- تجزیه QTL ۴۰
۳-۳-۱- عملکرد دانه در شرایط دیم ۴۰
۳-۳-۲- عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۲
۳-۳-۳- عملکرد دانه درمیانگین دو محیط ۴۴
۳-۳-۴- ارتفاع بوته در شرایط دیم ۴۷
۳-۳-۵- ارتفاع بوته در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۸
۳-۳-۶- ارتفاع بوته در میانگین دو محیط ۵۰
۳-۳-۷- طول برگ پرچم در شرایط دیم ۵۱
۳-۳-۸- طول برگ پرچم در شرایط آبیاری تکمیلی ۵۳
۳-۳-۹- عرض برگ پرچم در شرایط دیم ۵۴

۳-۳-۱۰- طول برگ دوم در شرایط دیم ۵۶
۳-۳-۱۱- عرض برگ دوم در شرایط دیم ۵۸
۳-۳-۱۲- طول سنبله در شرایط دیم ۶۰
۳-۳-۱۳- طول سنبله در شرایط آبیاری تکمیلی ۶۲
۳-۳-۱۴- طول سنبله در میانگین دو محیط ۶۳
۳-۴- QTLهای مشترک شناسایی شده برای صفات مورد مطالعه ۶۴
۳-۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۹
۳-۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۹
۳-۵-۲- پیشنهادات ۷۰
فهرست منابع ۷۲
ضمیمه ۸۲

فهرست جداول

جدول۱-۱- تولید گندم در کشورهای مختلف طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به میلیون تن ۶
جدول ۲-۱- اجزای مورد استفاده برای PCR در تجزیهٔ ریزماهواره‌ها ۲۵
جدول ۲-۲- اسامی آغازگرهای چند شکل SSR و دمای اتصال آنها ۲۷
جدول ۲-۳- اسامی، توالی آغازگرهای چند شکل ISSR و دمای اتصال آنها ۲۷
جدول ۳-۱- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی عملکرد دانه در شرایط دیم ۴۰
جدول ۳-۲- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۲
جدول۳-۳- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی عملکرد دانه در میانگین دو محیط ۴۵
جدول ۳-۴- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی ارتفاع بوته در شرایط دیم ۴۷
جدول ۳-۵- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی ارتفاع بوته در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۸
جدول ۳-۶- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی ارتفاع بوته در میانگین دو محیط ۵۱
جدول ۳-۷- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول برگ پرچم در شرایط دیم ۵۲
جدول ۳-۸- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول برگ پرچم در شرایط آبیاری تکمیلی ۵۳
جدول ۳-۹- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی عرض برگ پرچم در شرایط دیم ۵۵
جدول ۳-۱۰- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول برگ دوم در شرایط دیم ۵۶

جدول ۳-۱۱- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی عرض برگ دوم در شرایط دیم ۵۹
جدول ۳-۱۲- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول سنبله در شرایط دیم ۶۰
جدول ۳-۱۳- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول سنبله در شرایط آبیاری تکمیلی ۶۲
جدول ۳-۱۴- جایگاه، گروه پیوستگی، فاصله از نشانگر سمت چپ، LOD، اثر افزایشی و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی طول سنبله در میانگین دو محیط ۶۳
جدول ۳-۱۵- جایگاه، گروه پیوستگی، صفت مورد نظر و سهم هر QTL در واریانس فنوتیپی صفت مربوطه برای QTLهای مشترک در جمعیت لاین‌های اینبرد گندم نان حاصل از تلاقی آذر۲ و 87Zhong291 ..... ۶۶

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱- الگوی نواری و نحوه امتیازدهی الگوی نواری نشانگرهای ریزماهواره در جمعیت ۲۹
شکل ۲-۲- الگوی نواری و نحوه امتیازدهی نشانگرهای ISSR در جمعیت ۲۹
شکل ۳-۱- توزیع فراوانی صفات مورد بررسی در لاین‌های اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی دو والد آذر۲ و 87Zhong291 تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ۳۴
شکل ۳-۲- نقشه پیوستگی نشانگرهای SSR، AFLP و ISSR جمعیت لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی آذر۲ و 87Zhong291 با ۱۴۲ فرد ۳۹
شکل ۳-۳- نقشه پیوستگی نشانگرهای SSR، AFLP و ISSR جمعیت لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم نان حاصل از تلاقی آذر۲ و 87Zhong291 با ۱۲۱ فرد ۳۹
شکل ۳-۴- نشانگرهایی که به هیچ گروه پیوستگی منتسب نشدند. الف) در نقشه پیوستگی با ۱۴۲ فرد ب) در نقشه پیوستگی با ۱۲۱ فرد ۳۹
شکل ۳-۵- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۲ و ۴ برای عملکرد دانه در شرایط دیم ۴۱
شکل ۳-۶- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۴ و ۸ برای عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۳
شکل ۳-۷- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۳ و ۴ برای عملکرد دانه در شرایط میانگین دو محیط ۴۶
شکل ۳-۸- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTL مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۴ برای ارتفاع بوته در شرایط دیم ۴۷
شکل ۳-۹- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۲ و ۴ برای ارتفاع بوته در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۹
شکل ۳-۱۰- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTL مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۵ برای ارتفاع بوته در شرایط میانگین دو محیط ۵۱
شکل ۳-۱۱- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۳ برای طول برگ پرچم در شرایط دیم ۵۲
شکل ۳-۱۲- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTL مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۲ برای طول برگ پرچم در شرایط آبیاری تکمیلی ۵۳

شکل ۳-۱۳- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۳ برای عرض برگ پرچم در شرایط دیم ۵۵
شکل ۳-۱۴- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۲ و ۴ برای طول برگ دوم در شرایط دیم ۵۷
شکل ۳-۱۵- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۳ برای عرض برگ دوم در شرایط دیم ۵۹
شکل ۳-۱۶- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه‌های پیوستگی ۲ و ۳ برای طول سنبله در شرایط دیم ۶۱
شکل ۳-۱۷- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTLهای مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۵ برای طول سنبله در شرایط آبیاری تکمیلی ۶۲
شکل ۳-۱۸- مقادیر LOD و محل اوج نمودار QTL مکان‌یابی شده در گروه پیوستگی ۱ برای طول سنبله در شرایط میانگین دو محیط ۶۴

مقدمه

مقدمه

گندم یکی از مهمترین و قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که سازگاری به شرایط محیطی مختلف دارد و غذای یک سوم جمعیت جهان با بیش از ۵۰ درصد کالری و نزدیک ۵۰ درصد پروتئین را فراهم می‌کند (داندا و همکاران، ۲۰۰۴؛ واسیل، ۲۰۰۷). از نظر سطح زیر کشت، رتبه اول را در دنیا دارد و در سال ۲۰۰۸ با کشت در سطحی معادل ۲۲۳ میلیون هکتار، ۶۸۹ میلیون تن تولید داشت (فائو، ۲۰۰۸). در ایران نیز در سال ۱۳۸۸ سطح زیر کشت گندم معادل ۶/۶ میلیون هکتار و تولید آن ۱۳/۴ میلیون تن بود (بی‌نام، ۱۳۸۸).

خشکی از پدیده‌های اقلیمی رایج در طبیعت و مهمترین تنش محیطی در سطح جهان می‌باشد که رشد تمام گیاهان را محدود می‌کند (کاتیویلی و همکاران، ۲۰۰۸). خشکی یک فرآیند فیزیکوشیمیایی پیچیده است که بسیاری از ماکرومولکول‌ها و مولکول‌های کوچک زیستی مانند DNA، RNA، پروتئین‌ها، قندها، لیپیدها، هورمون‌ها، یون‌ها، رادیکال‌های آزاد و عناصر معدنی در پاسخ به آن دخیل هستند. در واقع کلیه جنبه‌های زیستی در تحمل خشکی درگیر می‌باشند (بایومی و همکاران، ۲۰۰۸). اکثر گیاهان زراعی در مراحل مختلف رشد و نمو خود با نوعی تنش کمبود آب مواجه می‌شوند و کمتر گیاهی به طور کامل می‌تواند از تنش خشکی اجتناب کند. کمبود آب عمده‌ترین عامل کاهش عملکرد گندم در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (کاتیوللی و همکاران، ۲۰۰۸). کولاکو و هریسون (۲۰۰۲) بیان کردند که در حدود ۴۵ درصد کاهش عملکرد گندم در اثر تنش خشکی‌می باشد. علی‌رغم چندین دهه تحقیقات، هنوز خشکی چالشی بزرگ برای کشاورزی و پژوهشگران این عرصه محسوب می‌گردد. این چالش ناشی از غیرقابل پیش بینی بودن شدت، زمان وقوع، دوام دوره و واکنش‌های متقابل خشکی با سایر تنش‌های غیرزیستی می‌باشد (دیاب و همکاران، ۲۰۰۸).

کلهون و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که در گندم ارزیابی همزمان در شرایط تنش خشکی و فاقد تنش موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌شود. بنابراین، بررسی صفات مختلف و از جمله عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و فاقد تنش به عنوان یک نقطه شروع برای شناخت فرایند

تحمل به خشکی و گزینش ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است. صفات شاخص برای ارزیابی تحمل به خشکی توارث کمی داشته و تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. بنابراین، گزینش در نسل های در حال تفکیک برای این صفات و استفاده از روش‌های کلاسیک اصلاحی در جهت اصلاح آن به دلیل کنترل پلی ژنیک آنها، اپیستازی و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، زمان بر بوده و کارآیی کم دارد (حسین، ۲۰۰۶). نشانگرهای مولکولی بدلیل خصوصیات مختلف ابزارهای مفیدی برای گزینش در برنامه‌های اصلاحی هستند. این نشانگرها تحت تاثیر محیط قرار نمی‌گیرند، بنابراین در تمامی مراحل رشد گیاه می‌توان از آنها استفاده کرد. گزینش به کمک نشانگر، موثر، غیر مخرب و خطای انتخابی پایینی دارد. انتخاب به کمک نشانگر به دلیل کاهش زمان تولید رقم‌های جدید، اصلاح گیاهان را سریعتر می‌کند. نشانگرهای ریزماهواره بدلیل توارث هم بارز، چند اللی بودن و تنوع بالا به عنوان ابزارهای کارا و مکمل برای روش‌های اصلاحی کلاسیک در مکان‌یابی ژن‌ها و نواحی ژنومی کنترل کننده صفات مختلف در گیاهان زراعی می‌باشند. شناسایی نشانگرهای ریزماهواره پیوسته با ژن (های) کنترل کننده صفات مرتبط با تحمل خشکی در گندم می‌تواند در برنامه های گزینش به کمک نشانگر جهت گزینش و یا تولید ارقام مقاوم به خشکی استفاه شود (کاتیویلی و همکاران، ۲۰۰۸).

اهداف

یکی از اهداف اصلاح گندم در مناطق سردسیر دیم، دست‌یابی به ارقامی است که تحت شرایط تنش رطوبتی، تحمل بیشتری به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد به ویژه خشکی آخر فصل را دارا بوده و کاهش عملکرد کمتری داشته باشد. بنابراین، اصلاح گندم بر اساس معیارهای زراعی و با کمک نشانگرهای مولکولی برای مشخص کردن خصوصیات زراعی موثر در تحمل تنش خشکی و مکان‌های ژنی کنترل کننده آنها مهم می‌باشد.

اهداف این تحقیق عبارتند از:

- اشباع نقشه پیوستگی جمعیت لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم با استفاده از نشانگرهای SSR و ISSR

- مکان‌یابی QTL (های) صفات مرتبط با تحمل به خشکی
- تعیین عمل ژنی هر QTL و سهم آن در تعیین واریانس فنوتیپی صفت

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱- گندم

۱-۱-۱- اهمیت گندم

گندم یکی از مهمترین محصولاتی است که همراه با ذرت و برنج بیش از ۶۰ درصد کالری و پروتئین انسان را فراهم می‌کند (گیل و همکاران، ۲۰۰۴). این گیاه منبع اصلی کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت کشور نیز بوده و ۷۵٪ پروتئین و ۶۵٪ کالری دریافتی هر فرد را تشکیل می‌دهد (بی‌نام، ۱۳۸۰). اگر چه گندم بیشتر در مناطق معتدل (بین ۶۰-۳۰ درجه شمالی جنوبی) با دمای بهینه ۲۵ درجه سانتیگراد رشد می‌کند، اما می‌تواند در حوزه قطب شمال تا نزدیک‌های بالای استوا، در مناطق هم‌سطح دریا تا ارتفاع ۳۰۴۸ متر بالای دریا نیز رشد کند. گندم در سال ۲۰۰۸ با تولید ۶۸۹ میلیون تن در ۲۲۳ میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داد (فائو، ۲۰۰۸). در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ سطح زیر کشت آن در ایران ۶۶۴۷۳۶۷ هکتار بود که از این مقدار ۲۴۴۳۰۳۶ هکتار مربوط به کشت آبی و ۴۲۰۴۳۳۱ هکتار مربوط به کشت دیم بود. این مقادیر نشان می‌دهد که ۳۶/۷۵٪ سطح کشت گندم کشور مربوط به کشت آبی و ۶۳/۲۵٪ آن مربوط به کشت دیم است. در همین سال میزان کل تولید گندم درکشور ۱۳۴۸۴۴۶۵ تن بود که ۸۹۷۱۹۵۸ تن از گندم آبی و ۴۵۱۲۵۰۷ تن از گندم دیم بدست آمد. به عبارت دیگر ۶۶/۵۴٪ تولید، مختص کشت آبی و ۳۳/۴۶٪ به کشت دیم تعلق داشت. بر این اساس متوسط عملکرد گندم آبی ۳۶۷۲/۴۶ و گندم دیم ۱۰۷۳/۳ کیلوگرم در هکتار برآورد گردیده است (بی‌نام، ۱۳۸۸). برحسب آمار فائو (۲۰۰۸) میزان تولید گندم در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۸، پنج درصد کاهش داشت (جدول ۱-۱).

جدول۱-۱- تولید گندم در کشورهای مختلف طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به میلیون تن

کشور	میزان تولید در سال ۲۰۰۸	پیش‌بینی میزان تولید در سال ۲۰۰۹
اتحادیه اروپا	۱۵۰/۰۳	۱۳۸
چین	۱۱۲/۴۶	۱۱۱
هند	۷۸/۵۷	۷۷
آمریکا	۶۸/۰۲	۵۵
روسیه	۶۳/۷۶	۵۵
کانادا	۲۸/۶۱	۲۵
پاکستان	۲۰/۹۵	۲۳
اوکراین	۲۵/۸۸	۱۹
استرالیا	۲۱/۳۹	۲۲
ترکیه	۱۷/۷۸	۲۰
قزاقستان	۱۲/۵۳	۱۴
ایران	۱۰/۰۰	۱۳/۵
آرژانتین	۸/۴۲	۹/۶
مصر	۷/۹۷	۷/۸
سوریه	۴/۰۴	۴
سایر کشورها	۵۹/۵۳	۵۸/۸
کل تولید دنیا	۶۸۹/۹۴	۶۵۵/۸

۱-۱-۲- ژنتیک گندم

گندم نان (*Triticum aestevium* L.) از خانواده پواسه[1] و تیره تریتیسه[2] است. لینه نخستین بار در سال ۱۷۵۳ میلادی گندم را داخل جنس Triticum قرار داد. ساکامورا (۱۹۱۸) گزارشی از تعداد کروموزوم های گونه های شناخته شده گندم ارائه کرد که نقطه عطفی در طبقه بندی آن بشمار می‌آید و گندم‌ها را در سه گروه دیپلوئید (x=7, 2n=14)، تتراپلوئید (x=7, 2n=4x=28) و هگزاپلوئید (x=7, 2n=6x=42) قرار داد. گندم در مقایسه با بسیاری از گیاهان ژنوم بزرگی دارد. اندازه DNA هاپلوئید گندم برابر با ۱۷×۱۰^{۹} bp است که در حدود ۱۰۰ برابر ژنوم آرابیدوپسیس، ۴۰ برابر ژنوم برنج و ۶ برابر ژنوم ذرت است. ژنوم بزرگ گندم ناشی از پلی‌پلوئیدی و وجود نواحی تکراری فوق‌العاده زیاد در آن است. بطوریکه این نواحی تکراری ۸۰ درصد ژنوم گندم را شامل می‌شوند. ژنوم گندم شامل سه ژنوم A، B و D می‌باشد که هر کدام از این ژنوم‌های هومیولوگ دارای ۷جفت کروموزوم است. این ویژگی موجب شده است که گندم بتواند در محدوده وسیعی از اقلیم‌های متفاوت رشد کند.

۱-۲- خشکی

در مورد خشکی تعاریف مختلفی ارائه شده است. کرامر (۱۹۸۳) خشکی را به عنوان نبود یا کمبود رطوبت در مراحل حساس رشد گیاه تعریف نموده است. گیبس (۱۹۷۵) خشکی را به مفهوم عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب برای گیاه تلقی کرد. ادمیس و همکاران (۱۹۸۹) معتقد بودند که تنش خشکی هنگامی افزایش می‌یابد که تقاضای تبخیری اتمسفر بالای برگ (تبخیر و تعرق پتانسیل) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر و تعرق حقیقی) فراتر رود.

1- Poaceae
2- Triticeae