دانشکده کشاورزی

گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اصلاح نباتات

عنوان

تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط عادی و تنش کم آبی درگندم

Generation mean analysis in wheat under normal and water deficit stress conditions

استادان راهنما

دکتر محمد مقدم واحد– دکتر سید سیامک علوی کیا

استاد مشاور

دکتر علی بنده حق

پژوهشگر

بفرین مولائی

شهریور ۱۳۹۳

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است به

استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مهربان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم گویم

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار

خستگیتان را بزداید

بوسه بر دستان پرمهرتان

و

تقدیم به دو خواهر مهربانم که همواره همراه و یاورم بودند.

از

اساتید فرزانه و ارجمندم جناب آقای دکتر مقدم و آقای دکتر علوی کیا که راهنما و مشوق بنده در تهیه و تکمیل

این پایان نامه بودند،

و نیز از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر بنده حق که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند
کمال تشکر و قدردانی را دارم .

از جناب آقای دکتر نوروزی که زحمت داوری این پایان نامه را عهده دار بودند نهایت تشکر و سپاس را دارم .

از جناب آقای صفری و سرکار خانم دانیالی و خانم شایان فر به جهت کمک های بی دریغشان و نیز همه دوستان بزگوارم
سپاسگزارم .

همچنین از کلیه اساتید گروه بنژادی و بیوتکنولوژی که افتخار شاگردی ایشان را داشتم تشکر می نمایم .

نام خانوادگی: مولائی نام: بفرین

عنوان پایان‌نامه: تجزیه میانگین نسل‌ها تحت شرایط عادی و تنش کم آبی در گندم

استادان راهنما: دکتر محمد مقدم واحد- دکتر سید سیامک علوی کیا

استاد مشاور: دکتر علی بنده حق

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی کشاورزی گرایش: اصلاح نباتات دانشگاه: تبریز

دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۹۳/۶/۱۸ تعداد صفحات: ۱۰۰

واژه‌های کلیدی: تجزیه میانگین نسل‌ها- وراثت‌پذیری- تنش کم آبی

چکیده

تنش خشکی از عوامل کاهش دهنده عملکرد در سطح جهان محسوب می‌شود. با توجه به این که گندم اکثراً در نواحی نیمه خشک کشت می‌شود، امروزه توجه زیادی به ایجاد ارقام متحمّل به تنش خشکی معطوف شده است. در این پژوهش نحوه توارث برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیک در نسل‌های مختلف حاصل از تلاقی دو رقم بم (والد مقاوم به شوری و خشکی) و آرتا (والد حساس به شوری و خشکی) در شرایط مزرعه از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در دو تکرار صورت پذیرفت. شرایط آبیاری در کرت‌های اصلی و نسل‌های مورد مطالعه در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از گرده‌افشانی به منظور اعمال تنش کم آبی، قطع آبیاری برای کرت‌های واجد تنش صورت گرفت. در تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری در بین نسل‌های مختلف از نظر صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول سنبله، عرض برگ پرچم، مساحت برگ پرچم، وزن سنبله، وزن بوته، وزن کاه، عملکرد دانه و وزن هزار دانه دیده شد. اثر متقابل نسل در شرایط آبیاری تنها برای صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود. با توجه به نتایج تجزیه میانگین نسل‌ها برای صفات طول سنبله و وزن کاه مدل سه پارامتری بهترین برازش را نشان داد. برای صفات وزن هزار دانه در شرایط تنش کم آبی و وزن بوته در شرایط عادی برای مدل شش پارامتری کای اسکور غیر معنی‌دار شد که نشان دهنده کفایت مدل شش پارامتری برای صفات مذکور بود. در سایر صفات مورد مطالعه و در هر دو شرایط کای اسکور برای مدل شش پارامتری معنی‌دار شد. برای صفات طول سنبله، عرض برگ پرچم و مساحت برگ پرچم درجه غالبیت بیشتر از یک و به ترتیب برابر ۲/۳، ۱/۴۳ و ۱/۵۳ بود که وجود پدیده فوق غالبیت را در کنترل این صفات نشان داد. وزن کاه در شرایط عادی، عرض برگ پرچم در هر دو شرایط آبیاری، مساحت برگ پرچم و وزن هزار دانه در شرایط کم آبی دارای وراثت پذیری عمومی بالایی بودند. برآورد وراثت پذیری خصوصی برای همه صفات پایین بود. این نتایج لزوم بهره‌برداری از اثرات غالبیت ژنی را در برنامه‌های اصلاحی گندم در صورت فراهم شدن تولید واریته‌های هیبرید گوشزد می‌کند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... **۱**

بررسی منابع

۱-۱- تاریخچه گندم و اهمیت آن..... ۶

۱-۲- گیاه شناسی گندم..... ۷

۱-۳- اثرات تنش بر گیاهان..... ۱۰

۱-۴- تنش خشکی..... ۱۲

۱-۵- آثار تنش خشکی..... ۱۳

۱-۶- اثر تنش خشکی بر مراحل مختلف رشد گیاه..... ۱۴

۱-۷- سازوکار سازگاری گیاهان به تنش خشکی..... ۱۶

۱-۷-۱- فرار از خشکی..... ۱۶

۱-۷-۲- زودرسی..... ۱۷

۱-۷-۳- مقاومت به خشکی..... ۱۸

۱-۸- شاخص‌های ارزیابی تحمل به تنش..... ۱۹

۱-۹- روش‌های آماری و ژنتیکی..... ۱۹

۱-۱۰- تجزیه میانگین نسل‌ها..... ۲۰

۱-۱۱- ارزیابی مدل ۲۲

۱-۱۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۲۳

مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات محل اجرای آزمایش ۲۸

۲-۲- مشخصات ارقام کشت شده ۲۸

۲-۳- طرح آزمایشی و عملیات زراعی ۲۹

۲-۴- صفات مورد ارزیابی ۳۰

۲-۵- تجزیه آماری و ژنتیکی داده‌ها ۳۲

۲-۶- تجزیه میانگین نسل‌ها ۳۳

نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ۳۶

۳-۱-۱- ارتفاع بوته ۴۳

۳-۱-۲- طول پدانکل ۴۴

۳-۱-۳- طول سنبله ۴۵

۳-۱-۴- عرض برگ پرچم ۴۶

۳-۱-۵- مساحت برگ پرچم ۴۷

۳-۱-۶- وزن سنبله ۴۸

۳-۱-۷- وزن بوته ۴۹
۳-۱-۸- وزن کاه ۵۰
۳-۱-۹- وزن هزار دانه ۵۲
۳-۱-۱۰- عملکرد ۵۳
۳-۲- تجزیه میانگین نسل‌ها ۵۷
۳-۳-۱- عملکرد دانه ۶۳
۳-۳-۲- وزن هزار دانه ۶۴
۳-۳-۳- وزن کاه ۶۶
۳-۳-۴- طول سنبله ۶۷
۳-۳-۵- وزن سنبله ۶۸
۳-۳-۶- وزن بوته ۶۹
۳-۳-۷- طول پدانکل ۷۰
۳-۳-۸- عرض برگ ۷۰
۳-۳-۹- مساحت برگ پرچم ۷۱
۳-۳-۱۰- ارتفاع بوته ۷۲
۳-۴- تجزیه واریانس نسل‌ها ۷۳
۳-۴-۱- عملکرد بوته ۸۰

۳-۴-۲- وزن کاه ۸۰
۳-۴-۳- وزن سنبله ۸۰
۳-۴-۴- طول سنبله ۸۱
۳-۴-۵- وزن بوته ۸۱
۳-۴-۶- ارتفاع بوته ۸۲
۳-۴-۷- طول پدانکل ۸۲
۳-۴-۸- عرض برگ پرچم ۸۳
۳-۴-۹- مساحت برگ پرچم ۸۴
۳-۴-۱۰- وزن هزار دانه ۸۴
۴- منابع مورد استفاده ۸۹

مقدمه

مقدمه

گندم از مهم‌ترین گیاهان زراعی بوده که زمین‌های زیادی در سرتاسر جهان در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، به کشت این غلّه اختصاص داده شده است، زیرا گندم غذای اصلی انسان است که به طور مستقیم مورد مصرف قرار می‌گیرد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰). سطح زیر کشت آن در سال ۲۰۱۲ در جهان و ایران به ترتیب ۲۱۶ و ۷ میلیون هکتار بود (فائو، ۲۰۱۲). گندم به عنوان غذای اصلی مردم بسیاری محسوب می‌شود به طوری که بیش از ۲۰ درصد کالری مورد نیاز جمعیت جهان را تأمین می‌کند (بوشاک و راسپر، ۱۹۹۴). در ایران نیز گندم به عنوان منبع عمده تأمین کالری و پروتئین کشور است و ۷۵ درصد پروتئین و ۶۵ درصد کالری دریافتی روزانه هر فرد را تشکیل می‌دهد (عبد میشانی و شاه نجات بوشهری، ۱۳۷۶).

رشد جمعیت در کشورهای اروپایی ۰/۴ درصد، در کشورهای در حال توسعه ۲/۲ درصد و در ایران ۳/۴ درصد می‌باشد و بدین ترتیب جمعیت دنیا در سال ۲۰۲۵ به ۸/۲ میلیارد نفر خواهد رسید. بیش از دو سوم جمعیت جهان در ممالک در حال توسعه زندگی می‌کنند و ۲۰ درصد جمعیت ممالک توسعه نیافته در قحطی به سر می‌برند و ۵۰ درصد فقر غذایی دارند. علم کشاورزی عهده دار تولید محصولات زیادتر و با کیفیت بهتر است که بتواند جواب‌گوی ازدیاد جمعیت باشد تا بدین وسیله فقر غذایی و گرسنگی را از میان بردارد. در حال حاضر بیش از ۶۰ درصد جمعیت دنیا دارای جیره غذایی معادل ۲۲۰۰ کالری در روز می‌باشد که ۵۰۰-۴۰۰ کالری کمتر از جیره غذایی نگهداری[1] است. چنان‌چه تولیدات مواد غذایی در دنیا افزایش پیدا نکند در ۲۵-۲۰ سال آینده جیره غذایی روزانه به پایین‌تر از ۲۰۰۰ کالری می‌رسد، در نتیجه اختلالاتی در

1. Basal Metabolic Rate (BMR)

فیزیولوژی، آناتومی و مورفولوژی ارگانیسم انسان به وجود خواهد آمد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

تنش محیطی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی در سراسر جهان بوده و به همین دلیل پتانسیل ژنتیکی گیاهان زراعی در تولید محصول نمی‌تواند تحقق یابد (جلال کمالی و همکاران، ۱۳۸۸). در حدود ۳۳ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت گندم دنیا، از جمله مناطق مدیترانه‌ای، با تنش خشکی مواجه هستند و خسارت ناشی از آن در سطح جهان قابل توجه است (ریچارد و همکاران، ۲۰۰۱). بر حسب گونه گیاهی و بافت، آب می‌تواند از ۸۰ تا ۹۰ درصد وزن گیاه متغیر باشد (میر محمدی میبدی و قره یاضی، ۱۳۸۱). بنابراین خشکی اصلی‌ترین تنش غیر زیستی است که تولید محصول در نواحی خشک و نیمه خشک جهان را کاهش می‌دهد. از این رو انتخاب ارقام متحمّل به خشکی با پتانسیل عملکرد بالا از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود.

اهدایی و ونیز (۱۹۹۳) بیان کردند که استفاده از ارقامی که آب در دسترس را با کارایی بیشتری مصرف کرده و قادر به تحمّل تنش خشکی باشند، یک هدف عمده برای افزایش تولید محصول در محیط‌های مستعد خشکی می‌باشد. از آنجا که عملکرد دانه صفت پیچیده‌ای است و اجزای کمّی بسیاری را در بر می‌گیرد و دارای وراثت‌پذیری پایینی است، معمولاً در نسل‌های در حال تفکیک از صفات مرتبط با آن که از نظر ژنتیکی پیچیدگی کم‌تری دارند برای گزینش استفاده می‌کنند (واعظی و همکاران، ۱۳۷۹). اطلاع از نحوه وراثت و کنترل ژنتیکی صفات مختلف و نوع عمل ژن از اهمیّت ویژه‌ای در برنامه اصلاحی برخوردار است. برآورد اجزای افزایشی[1]، غالبیت[2]

1. Additive effect
2. Dominance effect

و اپیستازی برای تعیین روش اصلاحی و تشخیص لزوم تولید دورگ و یا لاین خالص مهم می-باشد. تجزیه میانگین نسل‌ها[1] روشی است که برای محاسبه اثر ژنتیکی از میانگین نسل‌های مختلف استفاده می‌شود و قادر به برآورد اثر متقابل بین مکان‌های ژنی نیز می‌باشد (متر و جینکز، ۱۹۸۲؛ کیرسی و پونی، ۱۹۹۶). از این روش برای تجزیه ژنتیکی مقاومت به خشکی استفاده زیادی شده است (باقی زاده و همکاران، ۱۳۸۳؛ ربتزکی و همکاران، ۲۰۰۶).

1 . Generation mean analysis

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱- تاریخچه گندم و اهمیّت آن

دانه گندم دارای مقدار زیادی مواد غیر ازته، مواد پروتئینی و آب می‌باشد. مواد سلولزی و معدنی به مقادیر بسیار کم در دانه گندم وجود دارد. پروتئین موجود در گندم هر ۱۰ اسید آمینه ضروری را دارا است (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۰). گندم به تنهایی حدود یک پنجم از کالری مورد نیاز انسان را تأمین می‌کند. حدود ۷۰-۶۵ درصد از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و هم‌چنین قسمت زیادی از ویتامین‌های گروه B، املاح و عناصر کم مصرف رژیم غذایی مردم ایران از غلات و فرآورده‌های گندم تأمین می‌شود (قراچورلو، ۱۳۹۰). اولین واریته کشت شده گندم که شامل واریته‌های دیپلوئید (اینکورن)، دارای ژنوم (AA) و تتراپلوئید (ایمر)، دارای ژنوم (AABB) بودند و روابط ژنتیکی آنها نشان می‌دهد که از جنوب شرقی ترکیه سرچشمه گرفته‌اند (هیون و همکاران، ۱۹۹۷؛ نسبت، ۱۹۹۸؛ دوبکووسکی و دوبورک، ۲۰۰۷). ژنوم (A) گندم‌های تتراپلوئید و هگزاپلوئید مربوط به گونه وحشی اینکورن می‌باشد و ژنوم (D) گندم هگزاپلوئید از *T.tauschii* مشتق شده است. در واقع، در گندم‌های هگزاپلوئیدی که اخیراً تولید شده‌اند اختلاف اندکی بین ژنوم (D) گونه‌های هگزاپلوئید و دیپلوئید وجود دارد. در مقابل به عقیده فیلدمن (۲۰۰۱) ژنوم (B) گندم‌های هگزاپلوئید و دیپلوئید از ژنوم (S) سیتوپسیس مربوط به جنس آژیلوپس مشتق شده است. ژنوم (S) مربوط به *A.speltoides* است و این ژنوم به ژنوم (G) در *T.temopheevi* که گونه‌ای با ژنوم A و B است، مشابهت دارد. در حدود ۹۰۰۰ سال قبل با ظهور گندم هگزاپلوئید کشت و کار گندم در شرق توسعه یافت (فیلدمن، ۲۰۰۱). کشت و کار گندم در اروپا حدود ۸۰۰۰ سال پیش، از آناتولی به یونان و پس از آن در شمال از بالکان به دانوب و حدود ۷۰۰۰ سال قبل به ایتالیا، فرانسه و اسپانیا رسید و در نهایت حدود ۵۰۰۰ سال

قبل به انگلستان و اسکاندیناوی گسترش یافت. گسترش گندم حدود ۳۰۰۰ سال قبل از طریق ایران به آسیای مرکزی (چین) و سپس به آفریقا در ابتدا به مصر بوده است (فیلدمن، ۲۰۰۱). هم-چنین حدس زده می‌شود که اولین محل استفاده از گندم در دجله و فرات بوده است. اولین آثار برداشت گندم و جو حدود ۱۵۰۰۰ سال قبل در کبارا و نهالورن فلسطین نیز پیدا شده است (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۰). برای گندم به طور متوسط ۱۰۰۰۰ سال طول عمر تصور می-شود. برای گندم‌هایی که از حفاری‌های ژارمو در نزدیک سلیمانیه در عراق بدست آمده است به کمک کربن رادیو اکتیو توانسته‌اند ۱۰۰۰۰ سال طول عمر تخمین بزنند.

۱-۲- گیاه شناسی گندم

گندم گیاهی است یک‌ساله، تک‌لپه‌ای و از خانواده گندمیان و از جنس تریتیکوم که دارای گونه‌های بسیار زیاد وحشی و اهلی است. نمونه‌های وحشی آن غالباً به صورت علف هرز خودنمایی کرده و مزاحم کشت و کار می‌گردند. گندم دارای ریشه، ساقه، برگ، گل و دانه می-باشد (مریم قراچورلو، ۱۳۹۰).

در چرخه رشد و نمو غلات دو مرحله متوالی رشد رویشی و زایشی دیده می‌شود. مرحله رشد رویشی شامل جوانه زدن، تشکیل ریشه‌ها و پنجه زنی است و مرحله زایشی با طویل شدن ساقه شروع و تشکیل و ظاهر شدن سنبله، گرده افشانی، تشکیل شدن دانه و رسیدن میوه را شامل می‌شود. به منظور انجام عملیات داشت و به ویژه آبیاری و نیز مصرف کود، مراحل مختلف رشد و نمو غلات می‌بایست مشخص گردد. بدین منظور روش‌های کلیدی و ساده‌ای مانند زادکس (۱۹۷۴) ابداع شده‌اند که می‌توان به وسیله آن به راحتی مراحل مختلف رشد را در مزرعه مشخص کرد (نور محمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

چندین مقیاس و روش کد دهی برای توصیف مراحل مختلف رشدی قابل مشاهده در گندم وجود دارد. مقیاس هیون (هیون، ۱۹۷۳) به خوبی مراحل رشد رویشی را تعریف می‌کند و مقیاس فیک (لارگ، ۱۹۵۴) نیز توصیف بسیار مناسبی برای مراحل رشد رویشی و زایشی فراهم می‌کند. با وجود این مقیاس زادکس (۱۹۷۴) برای استفاده بسیار جامع‌تر و ساده‌تر می‌باشد. این مقیاس دارای ۱۰ مرحله اصلی است و نمره‌دهی آن در بازه صفر تا ۹ قرار دارد. پس از سبز شدن همه مراحل بر مشاهدات در ساقه اصلی استوار هستند.

مرحله جوانه زنی- صفر زادکس: آبنوشی[1] به مرحله جذب رطوبت از خاک به وسیله بذر به منظور شکستن خواب بذر و آغاز جوانه زنی اطلاق می‌گردد. حداقل آب جذبی برای جوانه زنی بذر گندم معادل ۳۵ تا ۴۵ درصد از وزن بذر است (ایوانز، ۱۹۷۵). پس از جذب آب، سپرچه[2] شروع به متحرک کردن نشاسته ذخیره شده نموده و هم‌زمان با ترشح آنزیم‌های خود این نشاسته موجود در آندوسپرم را تجزیه می‌کند. این مواد توسط سپرچه جذب و برای رشد جنین در اختیار آن قرار می‌گیرد. سپس برای اولین بار ریشه‌چه ظاهر شده و به همراه چهار ریشه سمینال[3] رو به پایین رشد می‌کند. در ادامه کلئوپتیل[4] ظاهر می‌شود و رشد آن تا زمانی که به سطح خاک برسد ادامه می‌یابد.

مرحله رشد گیاهچه – مرحله ۱ زادکس: این مرحله با ظهور اولین برگ آغاز می‌شود. برگ آغازین در ابتدا به صورت یک برآمدگی در رأس ساقه دیده می‌شود. برگ‌های غلاف مانند در طول ساقه به شکل یک کلاه مخروطی توسعه می‌یابند. زمانی که طول برگ به ۲۰ میلی‌متر رسید

1. Imbibition
2. Scutellum
3. Seminal
4. Coleoptile

زبانک توسعه یافته و پهنای برگ را از غلاف جدا می‌کند. زبانک وظیفه محافظت از گیاه را در برابر بسیاری عوامل مثل باران، حشرات و غیره عهده دار است. آخرین برگ، برگ پرچم نامیده می‌شود و حالتی مخروطی شکل یافته است. برگ پرچم آخرین برگی است که در گیاه سبز باقی می‌ماند و ۸۰ درصد از کربن دی اکسید دانه را جذب می‌کند.

مرحله پنجه دهی– مرحله ۲ زادکس: گیاه گندم قادر به جوانه زنی است. تعداد پنجه در یک گیاه به عواملی مانند ژنتیک، تنوع جمعیت، تاریخ کاشت و میزان آب و مواد غذایی در دسترس بستگی دارد. پنجه زنی به طور معمول با گسترش سومین برگ گیاه و آغاز ظهور برگ چهارم هم‌زمان است. اولین پنجه از زاویه بین برگ‌ها ظهور می‌کند. از پنجه‌هایی که ایجاد می‌شود تنها تعدادی قادر به تولید بذر خواهد بود زیرا بقیه در اثر رقابت حذف خواهند شد. پنجه دهی با آغاز ساقه رفتن گیاه متوقف می‌گردد.

مرحله ساقه رفتن– مرحله ۳ زادکس: ساقه رفتن معمولاً از اواخر برآمدگی دوگانه شروع و تا پایان مرحله ظهور سنبچله ادامه دارد. ساقه رفتن با مراحل رشد برگ‌ها، پنجه‌ها، ریشه‌ها و گل آذین هم‌زمان است که موجب رقابت بر سر مواد قابل جذب می‌شود. ارتفاع گندم در محدوده ۱۵۰–۳۰ سانتی‌متر قرار دارد که تحت تأثیر محیط و ژنوتیپ قرار می‌گیرد. ژن‌های کاهش دهنده ارتفاع (Rth) بر طول میان‌گره تأثیر گذاشته و تا به امروز بیشتر از هر صفت فیزیولوژیک دیگر بر تولید گندم‌های مدرن تأثیر گذاشته‌اند. تا مرحله ساقه رفتن مریستم رأسی ساقه قادر به رشد رویشی است. درست قبل از به ساقه رفتن در رأس آپکس سنبلچه ظاهر می‌شود که نشانه رشد زایشی است.

مرحله متورم شدن ساقه– مرحله۴ زادکس: در این مرحله سنبله در داخل غلاف برگ

پرچم توسعه می‌یابد. مرحله چکمه با ظهور اولین ریشک از غلاف برگ پرچم به پایان می‌رسد و سنبله برای باز شدن غلاف و ظهور خود به آن نیرو وارد می‌کند.

مرحله سنبله رفتن- مرحله ۵ زادکس: زمانی که مرحله طویل شدن ساقه هنوز ادامه دارد سنبله شروع به ظهور از محل غلاف می‌کند. زمان لازم برای ظهور کامل سنبله به مقدار بسیار زیادی بستگی به شرایط محیطی دارد و از یک تا پنج روز متغیر است.

مرحله گل‌دهی– مرحله۶ زادکس: گل‌آذین گندم یک سنبله متشکل از سنبلچه‌های ایجاد شده در گره‌های آن است. گرده افشانی سه تا ده روز پس از سنبله رفتن رخ می‌دهد.

مرحله شیری شدن- مرحله ۷ زادکس: در این مرحله دانه به رنگ سبز و متورم دیده می-شود. اگر دانه بین دو انگشت فشار داده شود مایع شیری رنگی از آن خارج می‌شود.

مرحله خمیری– مرحله ۸ زادکس: ۲۱ روز پس از لقاح رنگ دانه از سبز به زرد تغییر می-کند که اصطلاحاً مرحله خمیری نرم گویند. در این مرحله حجم دانه تقریباً به اندازه معمولی خود می‌رسد. رویان به اندازه واقعی خود می‌رسد و در پایان این مرحله اندوخته شدن مواد غذایی در دانه متوقف می‌گردد.

مرحله رسیدن– مرحله ۹ زادکس: رسیدگی کامل۴۰-۳۰ روز پس از لقاح مشاهده می‌شود. بوته‌ها به طور کامل خشک و برگ‌ها به آسانی ریزش می کنند (زادکس و همکاران، ۱۹۷۴).

۱-۳- اثرات تنش بر گیاهان

به هر گونه اختلالی که اثر منفی بر رشد گیاه بگذارد، اصطلاحاً تنش گفته می‌شود. به طور کلی دو نوع تنش زیستی و غیر زیستی وجود دارد (باقری و همکاران، ۱۳۷۹). رشد گیاهان به

میزان گسترده‌ای به وسیله عوامل غیر زنده محیطی مانند شوری، خشکی و دمای پایین و عوامل زنده مانند پاتوژن‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پاسخ و سازگاری گیاهان به این تنش‌ها به منظور حفظ بقای آن‌ها صورت می‌گیرد. این تنش‌ها گیاه را وادار به پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی می‌نماید. در تحقیقات مختلف چندین ژن را که به تنش پاسخ می‌دهند در مرحله رونویسی شناسایی کرده‌اند (توماشو، ۱۹۹۹؛ هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰). محصول ژن‌های تحت تنش، به دو گروه تقسیم می‌شوند که یک دسته به طور مستقیم گیاه را در برابر تنش حفظ می‌کنند و دسته دوم با تنظیم بیان ژن و انتقال سیگنال به تنش پاسخ می‌دهند. ژن‌های القا کننده تنش با استفاده از تکنیک انتقال ژن برای بهبود تحمّل به تنش در گیاهان وارد شده‌اند (سالمرون و ورنوویج، ۱۹۹۸). یک نکته مهم آن است که تنها تجزیه و تحلیل ژن‌های القا کننده تنش درک درستی از سازوکار تحمّل به تنش و نیز پاسخ گیاهان عالی را در اختیار قرار نمی‌دهد بلکه دستکاری ژنی درگیاه امری ضروری است زیرا صدها ژن در پاسخ به تنش در گیاه نقش دارند (شینوزاکی و یاماگوچی شینوزاکی، ۱۹۹۹). تخمین زده می‌شود که سالیانه ۸۲–۵۱ درصد از پتانسیل عملکردی گیاهان تحت تأثیر تنش های غیر زیستی کاسته می‌شود (جینکز و هاسگاوا، ۲۰۰۵).

استفاده بیش از حد از سفره‌های آب زیر زمینی در سراسر جهان توسط کشاورزان و خطر کاهش سریع این منابع، تهدیدی برای سیستم کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. افزایش آبیاری خطر شور شدن خاک‌های کشاورزی و به دنبال آن کاهش عملکرد محصولات کشاورزی را به طور فزاینده‌ای در سراسر جهان در پی دارد. یکی دیگر از محدودیت‌های تولید، عدم وجود دمای بهینه در عرض‌های دور شمالی، جنوبی و استوایی می‌باشد. تخریب خاک به وسیله عوامل