بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
اهدنا الصراط المستقیم صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم ولا الضالین

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
گروه زراعت واصلاح نباتات

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی کشاورزی گرایش اصلاح نباتات

عنوان پایان نامه

ارزیابی مقاومت به خشکی در ژنوتیپ های یولاف زراعی (*Avena sativa*) با استفاده از شاخص های زراعی، فیزیولوژیکی و متابولیکی

اساتید راهنما
دکتر صحبت بهرامی نژاد
دکتر عزت اله فرشادفر

نگارش
عاطفه ظاهری

شهریور ۱۳۹۰

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

یولاف (*Avena sativa*) یکی از هشت محصول مهم دنیاست(Walsh *et al.*,2003). تولید جهانی یولاف بیش از ۲۳ میلیون تن می باشد(FAO,2009[1]). چون یولاف درطول دوره رشد به حدود بیش از ۵۰۰ میلیمتر آب نیاز دارد ، زراعت آن در ایران رواج چندانی ندارد و به مقدار بسیارکم در شمال و غرب کشورکاشته می شود (خدابنده،۱۳۸۷) .

کشور ما در یکی از مناطق بسیار خشک جهان واقع شده است. متوسط میزان بارش سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک سوم متوسط میزان بارش جهانی می‌باشد. علاوه بر خشک بودن، ایران کشوری مستعد خشکسالی است و میزان خسارت خشکسالی به‌علّت کاهش سرانهٔ آب قابل دسترس ناشی از افزایش جمعیّت، تغییر اقلیم و بهره‌برداری بیش از حد و کاهش کیفی منابع آب موجود (شوری و آلودگی) در حال افزایش است (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۷).

تنش خشکی فقط در مواردی که باران به‌طور دراز مدت یا کوتاه مدت قطع شود اتفاق نمی‌افتد، بلکه در مواردی هم که میزان تعرق از میزان جذب آب به‌وسیله ریشه فزونی می گیرد، حتی با وجود آب قابل مصرف کافی در خاک، پیش می‌آید و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کاظمی ، ۱۳۸۷) .

ارقام متحمل به خشکی ارقامی هستند که به طور نسبی در مقابل خشکی مقاومت می کنند و کاهش عملکرد چشمگیری ندارند (Clark *et al.*,1984) . ارزیابی ژنوتیپ ها برای تحمل به تنش عموماً در شرایط تنش و بدون تنش انجام می شود. زیرا هدف اصلی اینگونه تحقیقات انتخاب ژنوتیپ هایی است که با هر دو شرایط سازگار باشند (جزایری و رضایی ، ۱۳۸۵) . شاخص های مختلفی برای انتخاب گیاهان زراعی براساس عملکرد پیشنهاد شده است که عمدتاً بر اساس عملکرد گیاه در دو محیط تنش وبدون تنش تعریف می شوند (Fernandez, 1992a).

فیشر و مورر(۱۹۷۸b) شاخص حساسیت به خشکی را بر مبنای عملکردهای محیط تنش و غیر تنش پیشنهاد کردند. روزیل و هامبلین(۱۹۸۱) شاخص تحمل و میانگین تولید را معرفی کردند. فرناندز (Fernandez, 1992a) شاخص های تحمل به تنش و میانگین هندسی تولید را پیشنهاد نمود. ارزیابی پیشرفتهای اصلاحی در چند دهه اخیر حکایت از اصلاح ژنتیکی عملکرد هم در شرایط مطلوب و هم تنش دارد. قبل از اینکه بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی آشکار شود اصلاح عملکرد

[1] http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx # ancor

صورت گرفته است که بخشی از این اصلاح ژنتیکی مربوط به عملکرد بالقوه و بخشی دیگر نیز در اثر بهبود مقاومت به خشکی است (اهدایی، ۱۳۷۳) . بیشترین تولید غلات جهان مربوط به مناطق خشک می باشد که دراین مناطق رطوبت عامل محدود کننده است. بنابراین توانایی گیاه ازنظر مصرف رطوبت قابل دسترس اهمیت زیادی دارد(Gupta, 1995) لذا شناسایی ارقام تحمل کننده تنش خشکی سازگار با شرایط دیم ضروری به نظر می رسد. یکی از راه‌های مهم برای جلوگیری از مصرف نامناسب و صرفه‌جویی در منابع آب موجود و همچنین استفاده بهینه از منابع کم‌آب برای کشاورزی استفاده از گیاهان مقاوم به تنش آبی است (رجی ، ۱۳۸۲) . در این راستا شناسایی ژنوتیپهایی که با مقدار کم آب عملکرد بالاتری تولید کنند و انتخاب ارقام مناسب از بین آنها حائز اهمیت است، زیرا تنش خشکی عامل اصلی خسارت شدید در بیشتر محصولات گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و یکی از مهمترین عوامل تنش‌زایی محیطی است که رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد. این پدیده بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با تولید مانند رشد (تقسیم و بزرگ شدن)، فتوسنتز (باز و بسته شدن روزنه‌ها و آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی)، تجمع مواد کربوهیدارت و تجمع پرولین را تحت تأثیر قرار می‌دهد (رجی، ۱۳۸۲) .

سازوکارهایی که در مقاومت به خشکی در گندم نقش دارند عبارتند از زودرسی، به طوری که محصول زودتر از دوره خشکی برسد و سیستم ریشه ای عمیق و قوی برای استفاده مؤثر رطوبت موجود در خاک داشته باشد، توانایی در بستن روزنه ها در خلال دوره تنش خشکی که سبب کاهش از دست رفتن آب می گردد و پوشش موم در سطح برگ که موجب کاهش از دست رفتن آب از طریق تنفس می گردد (ارزانی ، ۱۳۸۳) .

اطلاعاتی که بتواند اصلاحگران را از طریق گزینش برای صفات فیزیولوژیکی مرتبط با مقاومت به خشکی، به منظور افزایش عملکرد واریته های زراعی راهنمایی نماید، بسیار اندک می باشد. اما همکاری نزدیک متخصصین فیزیولوژی و اصلاح کنندگان نبات در شناسایی صفات مرتبط با مقاومت به خشکی وبهره برداری از تنوع ژنتیکی موجود برای این صفات مطلوب و انتقال آن ها به ارقام زراعی جدید می تواند در معرفی ارقام پر محصول مقاوم به خشکی مفید واقع گردد (زارعی ،۱۳۸۵) .

این تحقیق به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی در بیست ویک ژنوتیپ یولاف با استفاده از شاخص‌های زراعی و صفات فیزیولوژیکی، بررسی ارتباط صفات مورفولوژیکی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی با شاخص های تحمل خشکی انجام شد.

۱-۲- اهمیت یولاف

یولاف (*Avena sativa*) یکی از هشت محصول مهم دنیاست (Walsh *et al*.,2003). تولید جهانی یولاف بیش از ۲۳ میلیون تن می باشد (FAO,2009). چون یولاف درطول دوره رشد به حدود بیش از ۵۰۰ میلیمتر آب نیاز دارد ، زراعت آن در ایران رواج چندانی ندارد و به مقدار بسیار کم درشمال وغرب کشورکاشته می شود (خدابنده،۱۳۸۷) .

کاه یولاف دارای ارزش غذایی بسیار بالایی است. یولاف را می توان به تنهایی یا به صورت مخلوط با بقولات یکساله برای تهیه علوفه سبز یا خشک کشت نمود. در برخی موارد از یولاف برای مرتع و سیلو نیز استفاده می گردد. ارزش غدایی و قابلیت هضم دانه یولاف به دلیل داشتن مواد پروتئینی ، چربی ، ویتامین E ، B و سایر مواد ، بسیار بالا است (نورمحمدی وهمکاران ،۱۳۷۷) . آرد یولاف دارای مواد آنتی اکسیدان است و در صنعت بسته بندی برای حفظ کیفیت مواد غذایی چرب بکار می رود (خدابنده،۱۳۸۷). واریته های اصلاح شده یولاف سه برابر بیشتر ، علوفه سبز تولید می کند و برخلاف محصولات علوفه ای مرسوم ، تعداد دام های بیشتری را می توانند تغذیه کنند (Nawaz *et al*., 2004) . یولاف یک محصول مقاوم به سرما و خشکی می باشد و در طی دوره ای که علوفه سبز کمیاب است و حیوانات با علوفه خشک تغذیه می شوند ، علوفه سبز تولید می کند(Nawaz *et al*., 2004) .

۱-۳-سطح زیرکشت

سطح زیر کشت یولاف در دنیا بیش از۱۰ میلیون هکتار بوده وکشور هایی که بیشترین سطح زیر کشت را دارند عبارتند از : روسیه ۵/۴ میلیون هکتار ، استرالیا ۱/۲ میلیون هکتار، انگلستان ۷۵۷ هزارهکتار ر و ایالات متحده امریکا ۱۳۵ هزارهکتار (FAO, 2009) .

۱-٤-تاریخچه

مبدأ اولیه یولاف هنوز به طور یقین مشخص نشده است بنا به عقیده واویولوف مبدأ یولاف اروپا، قفقاز وچین می باشد اما باید توجه داشت که در زمان پادشاهی روم قدیم ، زراعت یولاف جهت استفاده دانه آن در تغذیه انسان انجام می شده است (نورمحمدی وهمکاران ،۱۳۷۷) . یولاف های امروزی احتمالاً از یولاف قرمز وحشی آسیا که به عنوان علف هرز در محصولات دانه ای دیگر رشد می کردند ، منشا گرفته اند. مطالعات باستان شناسی نشان داد که یولاف ازحدود ۲۰۰۰سال قبل از میلاد(BC) (به عنوان علف هرز) شناخته شدند.آنها نسبت به غلات دیگر نزدیکتر به تاریخ میلادی می باشند چون بعداز غلات

دیگر کشت شدند. یولاف در اروپای جنوبی و آسیای میانه رشد می کند (Gibson and Benson, 2002).

یولاف در سال ۱۹۰۶ به همراه دانه های دیگر به امریکای شمالی آورده شد (Gibson and Benson ,2002). یولاف یک تاریخچه طولانی در شمال شرقی دارد. اگرچه این محصول بیشتر به عنوان محصول پوششی و یا به منظور تولید علوفه کشت می شده است اما کشت آن برای تولید دانه ، یک منبع درآمد برای کشاورزان می باشد (Darby *et al*., 2011).

۱-۵-ترکیب شیمیایی دانه

قسمت اعظم مواد غذایی دانه یولاف مواد غیر ازته است. بعد از مواد غیرازته ، مواد پروتئینی بیشترین بخش دانه یولاف را تشکیل می دهد. از نظر میزان پروتئین و چربی و مواد معدنی نسبت به گندم برتری دارد. همچنین دانه یولاف دارای ویتامین های B1 ، B2 ، B6 وE می باشدکه از نظر ویتامین های B1 ، B2وB6 نسبت به گندم برتری دارد (نورمحمدی وهمکاران ،۱۳۷۷) . در ایالات متحده امریکا از دانه آن ماده مخصوصی به نام کوئیک[۲] تهیه می نمایندکه بسیار گوارا ودارای طعم مطلوب می باشد و به علت مقوی بودن، همراه صبحانه به مصرف می رسانند. از پوست دانه آن آلکالوئید مخصوصی به نام فورفورال بدست می آید که مصرف صنعتی دارد(خدابنده،۱۳۸۷) .

۱-٦-ویژگی های گیاه شناسی

یولاف از خانواده گندمیان Gramineae و از جنس *Avena* وگونه موردکاشت آن از نوع *Avena sativa* L می باشد. گل آذین آن به شکل پانیکول Panicule ، دانه آن کاریوپسیس(گندمه) می باشد. یولاف دارای دو نوع ریشه ابتدایی و ثانوی (اصلی) افشان می باشد(بهنیا ، ۱۳۷۶). ساقه یولاف مانند سایر غلات توخالی و بندبند می باشد. برگهای یولاف صاف و کشیده و شبیه برگهای گندم بوده و در محل اتصال برگ به ساقه دارای یک زبانک (لیگول) ، لکن فاقد گوشوارک (استیپول) می باشد. برخی ارقام یولاف بدون ریشک هستند. ریشک در ارقام ریشک دار از رگبرگ میانی لما منشأ گرفته و ممکن است مستقیم ، پیچیده یا خمیده (به شکل زانو) باشد(امام ، ۱۳۸۶). وزن هزاردانه یولاف بین ۲۶ تا ۳۲ و گاهی اوقات ۴۰ گرم تغییرمی کند (خدابنده ، ۱۳۸۷). یولاف نسبت به ریزش دانه حساس تر از سایر غلات دانه ای است (امام ، ۱۳۸۶). یولاف برای تولید ماده خشک نیاز به رطوبت بیشتری نسبت به سایر غلات به جز برنج دارد(Coffman and frey., 1961; Downes, 1969) . سرما و آب و هوای مرطوب بهترین

[2] Quick

شرایط برای یولاف می باشند(Forsberg *et al*., 1995). بر اساس چندین مطالعه ، دمای ۱۳ تا ۱۹ درجه سانتیگراد برای یولاف ، مناسب برای تولید عملکرد دانه و کاه بالا می باشد (Sorrels and Simons,1992).

۱-۷-طبقه بندی یولاف

یولاف متعلق به جنس *Avena* می باشد . این جنس شامل گونه های زراعی و وحشی است. مهمترین گونه زراعی آن . *Avena sativa* L است که در تمام نقاط دنیا گسترش دارد. از نظر تعداد کروموزوم همانند گندم به صورت دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید (بترتیب ۲n=۱۴ ، ۲n=۲۸ ،۲n=۴۲) وجود دارد. گونه های زراعی آن بیش از *A. sativa* , *A.byzantina* , *A.nud*(یولاف لخت) با ۴۲ کروموزوم می باشند. (نورمحمدی وهمکاران ،۱۳۷۷)

۱-۸-خشکی

تنش در نتیجه کمبود رطوبت خاک، دمای بالا و وزش باد ایجاد می‌گردد. واکنش گیاه نسبت به آن ، بستگی به مرحله‌ای از رشد گیاه دارد که تنش در آن رخ می‌دهد (حق‌پرست ، ۱۳۷۶) . تنش خشکی فقط در مواردی که باران به‌طور دراز مدت یا کوتاه مدت قطع شود اتفاق نمی‌افتد، بلکه در مواردی هم که میزان تعرق از میزان جذب آب به‌وسیله ریشه فزونی می‌گیرد، حتی با وجود آب قابل مصرف کافی در خاک، پیش می‌آید و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کاظمی ، ۱۳۸۷) .

تنش خشکی زمانی افزایش می یابد که تقاضای تبخیری اتمسفر بالای برگها (تبخیر و تعرق پتانسیل) از ظرفیت و توانایی ریشه ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر و تعرق حقیقی) تجاوز نموده و فراتر رود(Edmeads *et al*., 1989) . بیشتر دانشمندان فیزیولوژی گیاهی از این تعریف برای خشکی استفاده می کنند (زهراوی، ۱۳۷۸) .

۱-۹- اهمیت تنش خشکی

حدود ۲۶ درصد (۱۷۲۵۵۷۰۰ هکتار مربع) از کل اراضی جهان در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند (ایران‌نژاد و شهبازیان ، ۱۳۸۴) . کشور ما در یکی از مناطق بسیار خشک جهان واقع شده است متوسط میزان بارش سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک سوم متوسط میزان بارش جهانی می‌باشد (حیدری‌شریف‌آباد ، ۱۳۸۷) . خشکی از عمده‌ترین خطرات برای تولید موفق محصولات زراعی است و

از این لحاظ، اصلاح ارقام پیشرفته و مقاوم برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری به نظر می‌رسد (گل‌پرور و همکاران ، ۱۳۸۳) .

۱-۱۰-انواع خشکی

گیاهان در معرض سه نوع خشکی قرار می گیرند:

الف– خشکی موقتی

دوره‌های تنش موقت که گاهی در مراحل مختلف نمو گیاه رخ می‌دهند و مشخصهٔ اصلی مناطق نیمه‌خشک می‌باشد.

ب- خشکی انتهایی

با نزدیک شدن به پایان دورهٔ رشد، تنش رطوبتی افزایش می‌یابد و از تشکیل و رسیدگی معمولی دانه جلوگیری می کند. این خشکی در اقلیم‌های مدیترانه‌ای بسیار متداول است .

ج- خشکی فصلی

عبارت از بارندگی ناکافی برای تولید اقتصادی گیاهان زراعی است و مشخصهٔ مناطق خشک می‌باشد، عموماً به صورت دوره‌ای در نواحی حاشیه‌ای مناطق نیمه‌خشک و گاهی در خود مناطق نیمه‌خشک رخ می‌دهد (کوچکی وسلطانی، ۱۳۷۷) .

۱-۱۱-اثرات ناشی از تنش خشکی بر گیاهان زراعی

هر گاه تعرق گیاه از آب جذب شده فزونی یابد پتانسیل آب در گیاه پائین می رود و تنش آب پیش می آید. تنش آب در گیاه می تواند ناشی از زیادی تعرق ، نقصان جذب و یا هردو باشد.

تنش آب از طریق بستن روزنه ها موجب نقصان فتوسنتز می گردد. همزمانی کمبود آب در خاک و پتانسیل بالای تبخیر و تعرق، فتوسنتز را به شدت کاهش می دهد. تنش های دوره ای آب منجر به تغیرات آنانومیکی زیادی می شود. از جمله سلول ها وفضاهای بین سلولی کوچکتر می گردند. دیواره سلولی ضخیم می شود، بافت های نگهدارنده و مکانیکی توسعه می یابند و در بعضی از گیاهان به تعداد روزنه ها در واحد سطح افزوده می شود. در اثر نقصان پتانسیل هیدرواستاتیک ، توسعه سلول ها و نیز تا حدی تقسیم سلولی کاهش می یابد. اثر این تغییرات در رشد و اندازه ساقه ها ، برگها و میوه ها مشاهده می گردد. بطوری که رشد اندام های جوان در اثر تنش محدود شده و این اندام ها کوچک می مانند ولی برگ های مسن ریزش می یابند.

تنش آب بر متابولیسم گیاه نیز تاثیر می گذارد. تجزیه کربوهیدرات ها ، پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک افزایش می یابد. تجزیه نشاسته و پروتئین ها تولید آلکالوئیدها را افزایش می دهدکه در نتیجه، مقدار

اسانس ها و مواد معطر گیاهان افزایش پیدا می کند. تنش آب تولید پروتئین ها و آنزیم ها را دچار اختلال می کند و از این طریق نیز بر رشد گیاهان تاثیر می گذارد (خواجه پور ،۱۳۷۶) .ثابت شده است که تنش خشکی ، انتقال مواد غذایی را از برگ ها به دانه ها کاهش می دهد و با توجه به این که خشکی ، رسیدن دانه ها را تسریع می کند ، این عکس العمل برکاهش فتوسنتز به کاهش عملکرد غلات هم کمک می کند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۱) .

اثر تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه ها بسیار بارز است، چون عملکرد بالقوه وابسته به وزن هزار دانه است که خود نیاز به تجمع مواد فتوسنتزی در دانه ها دارد . مواد جمع شده در دانه ها ازدو منبع تأمین می شود که یکی از طریق فتوسنتز و دیگری انتقال مواد غذایی از سایرقسمت های گیاه به دانه است. قسمتی از مواد فتوسنتزی قبل از گرده افشانی ساخته می شود و در ساقه یا سایر اعضای گیاه ذخیره شده و سپس به دانه های در حال تشکیل منتقل می شود ولی قسمت اعظم مواد ساخته شده در دانه ها بعد ازگرده افشانی ساخته می شود (Gupta,1995) .کمبود آب بعد از گرده افشانی باعث تسریع در پیری و انتقال بیشتر آسیمیلات های ذخیره شده در قبل از گرده افشانی به دانه غلات می شود (Kobata *et al*., 1992; Palta *et al*., 1994; Zhang *et al*., 1998) .

غلظت بالای سیتوکینین در گیاهان می تواند پیری را به تأخیر بیندازد(Buchanan-Wollaston, 1997) ، در حالی که غلظت بالای اسید آبسزیک (ABA) تاثیر معکوس دارد (Nooden, 1988; Madhu *et al*.,1999 ; Tadas *et al*., 1999)

اسیدآبسزیک همچنین یک تنظیم کننده مهم در انتقال آسیمیلات ها به دانه ها و میوه ها می باشد (Ti etz *et al*., 1981; Clifford *et al*., 1986; Brenner and Cheikh, 1995) .

همچنین نشان داده شده است که خشکی خاک ، غلظت ABA را در برگ ها ، ساقه ها یا تراوشات ریشه افزایش داده و سینوکینین را به طور قابل توجهی در برگ ها کاهش می دهد. ABA به طور معنی داری ، رابطه منفی با میزان فتوسنتز و محتوی کلروفیل در برگ های پرچم داشته در حالی که سیتوکینین همبستگی مثبت با این متغیرها دارد(Yang *et al*., 2002, 2003) .

تنش شدید آب می تواند منجر به بستن روزنه ها گردد و این امر فتوسنتز، تولید ماده خشک و جذب Co2 راکاهش می دهد (Shiri, 2000).

خشکی تشکیل انواع اکسیژن فعال (ROS) را افزایش می دهد که به گیاهان از طریق تخریب رنگدانه های فتوسنتزی، لیپیدهای غشایی، پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می زند (Egert and Tevini., 2002).

فقدان آب، بیوماس گیاهان و عملکرد آنها را تحت تأثیر قرار می دهد و مهمترین عاملی است که باعث عدم قطعیت در تولید محصولات کشاورزی می شود (زارعی ، ۱۳۸۵) .

۱-۱۲-سازوکارهای مقاومت گیاهان به خشکی

مقاومت گیاهان به خشکی، به میزان رطوبت خاک و ژنوتیپ بستگی دارد. به این ترتیب که در مقدار معینی از رطوبت خاک، توانایی عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است بیشتر از ژنوتیپ دیگر باشد. بر این اساس، مقاومت به خشکی در گیاه به مجموعه ای از سازوکارها و واکنش های پیچیده ای اطلاق می

شود که گیاه در صورت مواجه شدن با کمبود آب ، توانایی رشد و نمو موفقیت آمیز خود را تا حدودی حفظ می کند (Rostami and Yazdi Samadi, 1991).

به طورکلی پارامترهای مؤثر بر تحمل به خشکی شامل مورفولوژی، فیزیولوژی، بیوشیمیایی و ژنتیکی می‌باشند. مقاومت گیاهان به خشکی در مناطق دیم نتیجه بسیاری از خصوصیات ظاهری و فیزیولوژیکی است و تنها معیار حقیقی مقاومت به خشکی عبارتست از قابلیت سازگاری گیاهان با اثرات خشکی و قابلیت ادامه رشد و نمو و تولید محصول در شرایط خشک می‌باشد (کوچکی ، ۱۳۷۶).

تفاوت در تحمل تنش می تواند به علت تفاوت در عکس العمل گیاه از لحاظ درک تنش، سیگنال ترانسداکشن، بیان مناسب ژن و یا سایر مسیرهای متابولیکی جدید باشد که منحصر به گیاهان مقاوم می باشند(Bartlez and Sunkar, 2005).

در مفهوم ژنتیکی، سازوکارهای مقاومت به خشکی به سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند: فرار از خشکی ، اجتناب از خشکی و تحمل به خشکی. اما گیاهان هم‌زمان از بیش از یک سازوکار برای مقاومت در برابر خشکی استفاده می کنند (Jiban, 2001).

فرار از خشکی[۳]: توانایی گیاه برای بالغ شدن قبل از آنکه استرس آبی یک فاکتور محدود کننده شود.

اجتناب از خشکی[۴]: توانایی گیاه برای نگهداری مقدار زیاد آب در طی خشکی

تحمل به خشکی[۵]: توانایی گیاه برای تحمل کمبود آب که بوسیله درجه و مدت کاهش پتانسیل آب گیاه اندازه گیری می شود (زارعی ، ۱۳۸۵).

۱-۱۲-۱-فرار از خشکی

فرار از خشکی به‌صورت توانایی یک گیاه برای کامل کردن سیکل زندگی خود قبل از وقوع کمبود آب در گیاه تعریف شده است (Jiban, 2001) . هماهنگ شدن فنولوژی گیاه با تأمین رطوبت همیشه یک هدف مهم به‌نژادی بوده است. صفات فنولوژیکی به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم اثرات متفاوتی بر روی عملکرد دانه دارند. بنابراین مهم است مرحلهٔ بحرانی رشد گیاه که به خشکی بیشترین حساسیت را

---

[3] Drought Escape
[4] Drought Avoidance
[5] Drought Tolerance

دارد مصادف با دورهٔ خشکی معمول در منطقه نباشد. به‌عنوان مثال در غلات محدودیت آب در زمان سنبله رفتن، گرده‌افشانی و تشکیل دانه اثر غیر قابل جبرانی بر عملکرد دانه می‌گذارد. بنابراین تنظیم آهنگ رشد گیاه با توزیع نزولات معمول در منطقه، یک هدف مهم به‌نژادی است بر این اساس ارقام با خصوصایت فنولوژیکی مطلوب را می توان انتخاب یا اصلاح نمود (سرمدنیا وکوچکی،۱۳۷۱).

سرمدنیا و کوچکی (۱۳۶۶) گزارش دادند که گیاه می‌تواند با اتمام دوره زندگی خود قبل از شروع شرایط محیطی مولد تنش، از ایجاد خشکی در بافت‌هایش خودداری نماید. اینگونه گیاهان به جای اجتناب، فرار کننده از خشکی نامیده می‌شود. به دلیل اینکه مواد غذایی بصورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه دوره رشدی، ارتفاع، طول پدانکل، طول سنبله اصلی، عملکرد کاه و حتی طول ریشک کاهش می‌یابد.

۱-۱۲-۲-اجتناب از خشکی

اجتناب از خشکی قابلیت یک گیاه برای گریز از دوره‌های خشکی به‌خصوص در طول حساس‌ترین مراحل تکامل آن است. گیاهان می‌توانند از طریق اجتناب و یا گریز از دوره‌های خشکی به‌خصوص در مراحل حساس تکامل خود، از عهدهٔ تنش خشکی برآیند. این صفت کمی بوده و توسط مولتی‌ژن‌ها کنترل می‌شود (Magloire, 2005).

مکانیزم های اجتناب از تنش را می توان به دو گروه عمده تقسیم بندی کرد

۱-۱۲-۲-۱- تداوم جذب آب توسط گیاه

تداوم رشد ریشه تحت شرایط تنش خشکی یک مکانیزم سازگاری است که جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک را تسهیل می‌کند (Bartles and Sunkar, 2005) خصوصیات ریشه، عوامل کلیدی برای سازگاری گیاه به شرایط محیطی هستند. عمق ریشه و توسعه آن به درون عمق خاک، زمانی که رطوبت قابل دسترس در عمق خاک باشد، برای نمود محصول تحت شرایط محدودیت آب، حیاتی است.

۱-۱۲-۲-۲-کنترل و یا کاهش میزان اتلاف آب از گیاه

چندین صفت در گیاه میزان اتلاف آب را کاهش می‌دهند از جمله هدایت روزنه‌ای، تجمع متابولیت‌های تنش، مومی بودن اپیدرم و خصوصیات برگ (زارعی ، ۱۳۸۵).

۱-۱۲-۲-۳- هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای ظاهراً به‌وسیله سه مکانیزم پاسخ محیطی کنترل می‌شود. اولی شامل تبخیر از اپیدرم مخصوصاً در مناطقی از برگ که کوتیکول نازک‌تر و احتمالاً نفوذپذیرتر است، می‌باشد. مکانیزم دوم در پاسخ به وضع ظاهری آب برگ در رابطه با هدایت و پتانسیل آب که بستگی به ماهیت تنش خشکی دارد می‌باشد. مکانیزم سوم جهت بسته‌شدن روزنه پاسخ به علائم شیمیایی (احتمالاًاسیدآبسزیک) است که به‌وسیله ریشه‌هایی که در معرض خاک خشک قرار می‌گیرند به‌وجود آمده و از طریق آوند چوبی به آپوپلاست سلول محافظ منتقل می‌گردد. این امر می‌تواند دلیل اصلی بسته‌شدن ناقص روزنه حتی قبل از اینکه القاء خشکی تغییری در پتانسیل آب کل بوجود آورد باشد (کافی و مهدوی دامغانی ، ۱۳۸۱). کمبود آب از طریق اثرات روزنه‌ای (کاهش جذب CO_2) مانع از فتوسنتز می‌شود ، استراتژی اجتناب از خشکی به‌وسیله بسته‌شدن زود هنگام روزنه‌ها که مناسب وضعیت آبی مطلوب است ، می‌تواند به پتانسیل عملکرد ضعیف در شرایط خشکی مطلوب باشد (Cla *al*., 2006) vel *et*. همچنین افزایش دمای برگ و کانوپی در تنش خشکی ممکن است به‌دلیل افزایش تنفس و کاهش تبخیر باشد که از بسته‌شدن روزنه‌ها ناشی می‌شود(Siddique *et al*., 2000).

۱-۱۲-۲-٤-تجمع متابولیت‌های تنش

گیاهان در هنگام شرایط تنش محیطی، رشد خود را کاهش می‌دهند و این مسئله را از طریق هورمون‌های گیاهی که بیان ژن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، انجام می دهند. واکنش‌های اولیه به تنش خشکی عموماً یکسان هستند. این تشابه شامل فرایندهای متابولیکی از قبیل افزایش سطوح هورمون گیاهی اسیدآبسزیک می‌باشد (Bartles and Sunkar, 2005). اسیدآبسزیک در عکس‌العمل‌های واسطه‌ای به تنش‌های محیطی، به‌خصوص بسته‌شدن روزنه‌ها و القاء محصولات ژن‌های وابسته به تنش نقش دارد (Thompson *et al*., 2000). می‌توان سطوح اسیدآبسزیک را در بافت‌های رویشی در پاسخ به تنش‌های محیطی مختلف، مخصوصاً تنش خشکی ارزیابی کرد. بنابراین اسیدآبسزیک به‌عنوان یک هورمون تنش شناخته می‌شود (Taylor *et al* ., 2000) ، و در ریشه‌ها در پاسخ به تنش ساخته می‌شود (ShashidHAM *et al* ., 1996).

۱-۱۲-۲-۵- قشر مومی روی بشره و ضخامت کوتیکول

لایهٔ مومی کوتیکول خارجی هم تلفات آب را از طریق کوتیکول کاهش می‌دهد و همچنین ممکن است مقداری از نور آفتاب را منعکس کند که درجه حرارت برگ و بنابراین شیب‌های کمبود فشار بخار و بار

تعرق را کاهش می‌دهد. توانایی انعکاس نور از جوانه‌ها یا میزان کدورت روی آن بستگی به مقدار موم و همچنین شکل آنها (صاف یا پرزدار) دارد. تنوع ژنتیکی در مومی بودن با مقاومت به خشکی در گندم و جو همراه بوده است اما در ذرت اینگونه نبوده است (کافی و مهدوی دامغانی ، ۱۳۸۱).

۱-۱۲-۲-٦-خصوصیات برگ

خصوصیات سطح برگ از صفات گوناگونی از جمله شکل، ترکیب موم کوتیکولی و اپی‌کوتیکولی و رنگ آن ناشی می‌شود.کمبود آب باعث افزایش موم کوتیکولی می‌شود و بازتاب از برگ را افزایش می‌دهد(Saxana and O′Toole, 2000). لوله‌شدن برگ، مهمترین واکنش به کمبود آب بخصوص در غلات است. این به عنوان ساز وکاری در کاهش انرژی هدایتی روی برگ در استرس آبی ارزیابی می‌شود. لوله شدن برگ با از دست رفتن آماس به‌وجود می‌آید. تنظیم اسمزی لوله شدن برگ در برگ‌هایی که تنظیم اسمزی را انجام داده‌اند، کمتر می‌باشد (Blum, 1988). کرک‌های سطح برگ به‌عنوان یک معیار سازگار با شرایط تنش خشکی محسوب می‌شوند. این کرک‌ها ضمن این که امکان تثبیت بیشتر کربن را برای برگ‌ها فراهم می‌سازند پتانسیل بالایی برای جلوگیری از تلف‌شدن برگ‌ها در دمای بالا را نیز فراهم می‌کنند و آب کمتری از دسترس گیاه خارج می‌شود. در نتیجه امکان رشد طولانی‌تر گیاه در شرایط خشکی فراهم می‌شود. معمولاً در مواقع محدویت رطوبت ژنوتیپ‌های حاوی کرک و موم وکوتیکول ضخیم با میزان تعرق و تبخیر کمتر از سطح برگ، نقش سودمندی در استفادهٔ بهینه از رطوبت ایفا می‌نمایند (صباغ‌پور، ۱۳۸۷).

۱-۱۲-۳-مکانیزم های تحمل به خشکی

تحمل خشکی قابلیت گیاه برای تحمل یا ایستادگی در یک دورهٔ خشک با حفظ تعادل داخلی مطلوب آب تحت شرایط خشکی است. در واقع توانایی گیاه برای تحمل شرایط کمبود آب می‌باشد، که با درجه و مدت کاهش پتانسیل آب گیاه اندازه‌گیری می‌شود. ویژگی‌هایی مانند جابه‌جایی آسیمیلات‌ها، تجمع پرولین، تنظیم اسمزی و قابلیت ارتجاع سلولی در این سازوکار دخالت دارند (نورمحمدی و کاشانی ، ۱۳۷۶; یزدان‌سپاس ، ۱۳۷۰).

۱-۱۲-۳-۱-تجمع پرولین

تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی بسیار رایج در بسیاری از گیاهان به دامنه وسیعی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌باشد (Verbruggen and Hermans ,2008) .هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد و با کم‌آبی مواجه می‌شود با تنظیم فشار اسمزی سعی در تخفیف اثرات ناشی از

تنش آبی می‌کند. یکی از اسیدهای آمینه‌ای که نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاهان دارد، پرولین است (Pandy and Agarwal, 2001).

در بافتهای تحت تنش آب، نیتروژن محلول کل افزایش می یابد که به دلیل افزایش پروتئولیز، کاهش سنتز پروتئین و افزایش ساخت اسیدهای آمینه نوزا[6] و کاهش ترکیب آنها برای تولید پروتئین ها است(Petrie and Wood, 1988). تجمع اسید آمینه پرولین در بافت های چندین گونه گیاهی به عنوان پاسخ عمومی به تنش آب و سایر تنش ها ربط داده می شود(Chen *et al*., 1964; Chu *et al*., 1976).

۱-۱۲-۳-۲-تنظیم فشار اسمزی

هنگامی که گیاهان آب خود را به‌تدریج از دست می‌دهند، تورژسانس مثبتی برای حفظ خصوصیات مکانیکی برگ، رشد برگ و فعالیت‌های متابولیکی سلول لازم است. تغییر در پتانسیل اسمزی ممکن است برای حفظ فشار تورژسانس در پتانسیلی در گیاه که نتیجه‌اش از دست رفتن تورژسانس خواهد بود، ضروری باشد (Olsovska *et al*., 2001). تنظیم اسمزی ممکن است به دو صورت انجام شود:

۱) تنظیم غیرفعال که در نتیجه تقلیل مقدار نسبی آب برگ است.

۲) تنظیم فعال که بوسیله تجمع املاح یا متابولیت‌ها یا بوسیله‌کاهش گسترش حجم سلول صورت می‌گیرد (کافی و مهدوی دامغانی،۱۳۸۱).

۱-۱۲-۳-۳-جابجایی آسیمیلات‌ها

پرشدن دانه در غلات وابسته به کربن از دو منبع می باشد: ۱- آسیمیلات های جاری منتقل شده به طور مستقیم به دانه و ۲- آسیمیلات های انتقال یافته از مخزن های ذخیره در بافت های رویشی ، قبل یا بعد از گرده افشانی (Pheloung and Siddique, 1991; Kobata *et al*, 1992; Schnyder, 1993).

قند های ساخته شده در برگ ممکن است در برگ ها باقی مانده و یا از طریق آوند های آبکش به قسمت‌های دیگر گیاه (به صورت ساکارز) منتقل گردند. آنها ممکن است در تنفس، ساخت بافت‌های بیشتر گیاهی، تنظیم اسمزی یا تبدیل مواد به صورت ذخیره‌ای مصرف شوند. در طی مراحل اولیه خشکی، رشد ممکن است بیشتر از فتوسنتز متوقف شده و مواد آسیمیله انباشته گردد. (کافی و مهدوی دامغانی ،۱۳۸۱)

[6] *de novo*

۱-۱۳- معیارها و صفات مناسب در اصلاح گیاهان برای تحمل خشکی

۱-۱۳-۱- شاخص‌های مقاومت به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه

انتخاب و جداکردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش به دو روش مستقیم (سنجش عملکرد) و غیر مستقیم (بر اساس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک که با تحمل تنش همبستگی دارند) انجام می‌شود. تحمل به خشکی در یک ژنوتیپ گیاهی مدیون شماری از ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک آن است وا مروزه تلاش برای معیارهایی که بتوان از آنها به‌طور موثری در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم بهره جست، ادامه دارد. با این حال احتمال اینکه ژن‌های تحمل به خشکی در یک گیاه مجتمع و توسط روش‌های فیزیولوژیک شناخته شوند بسیارکم است. بنابراین پایداری و ثبات عملکرد و اجزای آن تحت شرایط تنش همچنان از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی باقی خواهد ماند. پایداری و ثبات عملکرد نشان دهندهٔ تفاوت بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در طول مدت تنش محیطی است (نبی‌پور و همکاران ،۱۳۸۰). اگر اصلاحگر به دنبال ژنوتیپ های سازگار برای دامنه وسیعی از محیط ها یا مکان هایی با شرایط غیر قابل پیش بینی باشد ، انتخاب باید بر اساس شاخص های مقاومت محاسبه شده از عملکرد در هردو شرایط باشد(Akcura and Ceri, 2011).

بر طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲a) ژنوتیپ ها را بر اساس عکس العمل عملکردشان به شرایط تنش می توان به ۴ گروه تقسیم کرد: (۱) ژنوتیپ هایی که تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش عملکرد بالایی تولید می کنند (گروه A). (۲) ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش (گروهB) . (۳) ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش (گروه C). (۴) ژنوتیپ هایی با نمود ضعیف در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروهD) (Sio-semarde *et al*., 2006) .

برای تشخیص ژنوتیپ های مقاوم به خشکی چندین شاخص انتخاب بر اساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و شرایط مطلوب پیشنهاد شده است (Clarke *et al*., 1984; Huang, 2000).

یکی از شاخص‌های انتخاب، شاخص حساسیت به تنش[۷] (SSI) می‌باشد که فیشر و مورر (۱۹۷۸) آن را پیشنهاد دادند. فیشر و مورر (۱۹۷۸) توضیح دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم هستند و بنابراین کاهش عملکرد آنها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است. این شاخص قادر به تفکیک گروه A از C نیست. SSI به‌طور گسترده توسط محققان برای شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم استفاده شده است (Clarke *et al*., 1984 ; Fischer and Maurer, 1978b; Winter *et al*.,1988) . سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶) نیز شاخص SSI را به عنوان شاخص مناسبی برای تشخیص ارقام مقاوم به خشکی در شرایط تنش شدید معرفی کردند.

[7] Stress Suseptibility Index

شاخص‌های تحمل[8](TOL) و متوسط بهره‌وری عملکرد[9] (MP) توسط روسیل و هامبلین (۱۹۸۱) به‌کار برده شده است. شاخص TOL از اختلاف عملکرد یک ژنوتیپ در محیط بدون تنش و تنش بدست می‌آید. مقدار بالای TOL نشان دهندهٔ حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش می‌باشد این شاخص فقط می‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد نسبی بالا در محیط دارای تنش را انتخاب کند و ژنوتیپ‌های انتخابی تظاهر خوبی در محیط بدون تنش نخواهند داشت (Rossielli and Hamblin, Fernandez, 1992b ; 1981).

هر قدر مقدار شاخص TOL کم باشد مطلوب‌تر می‌باشد. بنابراین شاخص TOL به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A (که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد قابل قبول تولید می‌کنند) محسوب شود. بر اساس شاخص میانگین بهره وری (MP) که به صورت میانگین حاصل جمع عملکرد در شرایط نرمال وتنش تعریف شده است ، ژنوتیپ هایی متحمل تر هستندکه مقادیر بیشتری از این شاخص را داشته باشند(Rosielle and Hamblin, 1981) . هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش موجود باشد شاخص MP دارای اریبی به سمت عملکرد در شرایط غیر تنش می شود. بنابراین برای رفع این مشکل ، شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) (Geometric Mean productivity)که بر اساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ ها تحت شرایط تنش و غیر تنش محاسبه می شود، توسط فرناندز (۱۹۹۲) ارائه گردید . از آنجایی که این شاخص به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش حساسیت کمتری دارد، فرناندز(۱۹۹۲) شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index , STI) را به منظور تعیین ژنوتیپ های با عملکرد بالادر شرایط تنش و بدون تنش و دارای پتانسیل تحمل به تنش معرفی کردکه می تواند گروه های B وC را از یکدیگر تفکیک کند. در تعیین ژنوتیپ های متحمل به تنش ، مقدار بالای GMP و STI مورد نظر است (یوسفی آذر و رضایی ،۱۳۸۶) .

فرناندز (۱۹۹۲a) شاخص تحمل تنش[10] (STI) را پیشنهاد نمود. مقدار بالای STI برای یک ژنوتیپ نشان دهندهٔ تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوهٔ بیشتر آن می‌باشد این شاخص قادر به تفکیک گروه A از گروه C و B می‌باشد. او شاخص دیگری را تحت عنوان میانگین هندسی بهره وری (GMP) معرفی کرد. این شاخص در مقایسه با شاخص MP قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. بر همین اساس بود که فرناندز STI خود را بر اساس GMP بنا نهاد.

حق‌پرست و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی مقاومت به خشکی در چهارده ژنوتیپ گندم نان بیان کردند که در مرحلهٔ اول شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط STI بهترین شاخص می‌باشد و در

[8] Tolerance
[9] Mean Productivity
[10] Stress Tolerance Index

مرحلهٔ بعد برای انتخاب از بین ژنوتیپ‌های با STI یکسان، می‌توان از شاخص TOL و SSI استفاده نمود (Haghparast *et al*, 2003).. میانگین هارمونیک[11] (HAM) نیز از شاخص هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش ژرم پلاسم مورد استفاده قرار می گردد (Farshadfar, 2000).

شاخص عملکرد[12] (YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های گروه A را تشخیص نمی‌دهد (Gavuzzi *et al*,1997).

شاخص پایداری عملکرد[13] (YSI) همان‌طور که توسط بوسلاما و شاپاگ (۱۹۸۴) ذکر شد عملکرد را تحت شرایط تنش یک رقم وابسته به عملکرد غیر تنش آن ارزیابی می‌کند و می‌بایست یک نشانگر مقاومت به خشکی در مواد ژنتیکی باشد. بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که تحت هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند. اما در مطالعه سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰۶) ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط غیر تنش و بالاترین عملکرد را تحت شرایط تنش نشان دادند.

اصلاح کنندگان نباتات، بر روی انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه در محیط‌های هدف به‌عنوان شاخصی اصلی برای انتخاب تکیه دارند. اما ژنوتیپ‌هایی که در آزمایش‌های اصلاحی در معرض تنش قرار می‌گیرند و عملکرد بالایی تولید می‌کنند لزوماً دارای صفاتی برای تحمل به خشکی نمی‌باشند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است دارای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط آبیاری مطلوب باشند و یا توانایی رسیدگی قبل از شروع تنش خشکی را داشته باشند و بدین وسیله از تنش فرار کرده باشند. عملکرد در محیط‌های خشک تحت تأثیر سه جزء پتانسیل عملکرد، مناسب بودن فنولوژی و تحمل خشکی قرار می‌گیرد. سهم نسبی تحمل خشکی در عملکرد واقعی ممکن است نسبت به پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مطلوب بزرگ نباشد. اگر غربال برای تحمل خشکی بر اساس عملکرد دانه باشد، ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که پتانسیل عملکرد بالا و یا فنولوژی مناسب داشته باشند اما فاقد تحمل خشکی باشند(گراوندی ، ۱۳۸۷). بیدینگر و همکاران (۱۹۸۷) شاخص پاسخ به خشکی[14] (DRI) را برای شناسایی ژنوتیپ‌های ارزن مرواریدی متحمل و حساس به خشکی به‌کار بردند. شاخص پاسخ به خشکی عملکرد دانه را تحت شرایط تنش خشکی برای تنوع در تاریخ گلدهی و عملکرد در شرایط بدون تنش تصحیح می‌کند، بنابراین اطمینان می‌دهد که ژنوتیپ‌های انتخاب شده صفات تحمل خشکی را خواهند داشت. این شاخص در گیاهان مختلفی مثل برنج، لوبیا و نخود مورد استفاده قرار گرفته است (*et al*., 2006 . (Ouk

فرشادفر و محمدی(۱۳۸۵) در ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ های گندم نان از شاخص انتخاب چندگانه[15] (MSI) استفاده کردند و بیان کردند که با توجه به کارایی شاخص های مورد بررسی در

[11] HAMmonic Mean
[12] Yield Index
[13] Yield Stability Index
[14] Drought Response Index
[2] Multiple Selection Index

گزینش ژنوتیپ های متحمل به خشکی ، از شاخص انتخاب چندگانه (MSI) ، به منظور انتخاب ژنوتیپ های مورد بررسی براساس چندین شاخص به طور توأم می توان استفاده کرد.

۱-۱۳-۲-صفات فیزیولوژیکی

در گذشته مهمترین شاخص مقاومت به خشکی که در برنامه های اصلاحی استفاده می‌شد، ارزیابی عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش بود، اما در صورت شناسایی صفات فیزیولوژیکی مرتبط با مقاومت به خشکی، به‌نژادگران می‌توانند از صفات فیزیولوژیک به عنوان شاخص گزینش در جمعیت‌های بزرگ استفاده کنند (Winter *et al*., 1988) .

۱-۱۳-۲-۱- آب نسبی از دست رفته[16]

محمدی و فرشادفر (۱۳۸۲) همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد در شرایط دیم با میزان آب نسبی از دست رفته پیدا نمودند و این صفت را به‌عنوان مهمترین صفت فیزیولوژیکی موثر در عملکرد دانه در شرایط دیم گزارش نمودند.

۱-۱۳-۲-۲- محتوای نسبی آب برگ[17]

محتوای نسبی آب برگ، معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به‌عنوان یک شاخص انتخاب جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است(Teulat *et al* .,1997) .

۱-۱۳-۲-۳-پایداری غشاء سلولی[18]

تنش خشکی باعث اثرات قابل ملاحظه‌ای مانند صدمه به غشای سلولی می‌شود و باید به‌خاطر داشته باشیم که غشاء سلولی از اولین هدف‌های مورد حمله در موقع تنش می‌باشد. همچنین درجه پایداری غشاء سلولی یکی از بهترین نشانگرهای فیزیولوژیکی تحمل به تنش خشکی است (Kocheva *et al*., 2004). تحت شرایط تنش آب، اولین نتیجه آسیب پلاسمالما است (Levitt,1980). یک استراتژی مهم برای تکامل مقاومت به خشکی در گیاهان حفظ تمامیت غشاء سلولی پس از تحمیل تنش خشکی است (Vasqtiez-Tel lo *et al*., 1990) . سیستم‌های تعیین آن، پایداری غشاء سلولی (CMS) نامیده می‌شوند و برای تشخیص گیاهان مقاوم به کار می‌روند (Kocheva and Georgieva, 2003).

---

[16] Relative Water Loss
[17] Relative Water Content
[18] Cell Membrane Stability

کوچوا و گئورگیو(۲۰۰۳) در ارزیابی مقاومت به خشکی ارقام جو، در ارقام مقاوم‌تر به خشکی تخریب کمتری در غشاءهای سلولی مشاهده کرد.آنها همچنین با توجه به نتایج این آزمایشات این مسئله را مطرح کردکه پرولین آزاد ممکن است باعث پایداری غشاء در طول تنش آب باشد.

۱-۱۳-۲-٤- میزان پرولین

اندازه‌گیری میزان تجمع پرولین به‌عنوان یکی از روش‌های ارزیابی گیاهان مقاوم به خشکی معرفی شده است (Blum and Ebercon, 1976) . در مطالعات زیادی از اندازه‌گیری آن به‌عنوان روشی برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی استفاده کرده‌اند (Gunes *et al*., 2008 ; Farshadfar *et al*., 2002).

پرولین بسیار ناپایدار است و فقط در طی چند هفته خشکی در سلول‌های در حال رشد تجمع پیدا می‌کند. در حالیکه در بافت‌های بالغ به نظر می‌رسد که علامت مرگ قریب‌الوقوع باشد (کافی و مهدوی دامغانی،۱۳۸۱).

عقاید زیادی وجود دارد که تجمع پرولین باعث تحمل به خشکی می‌شود. یک بازنگری از نتایج منتشر شده نشان می‌دهد که چرا نتایج متضادی بدست آمده و استفاده از تجمع پرولین برای مقاومت به خشکی نامناسب است. عمده‌ترین دلایل وجود این نتایج متضاد که به وسیله بلوم(۱۹۸۸) بیان شده است، به شرح زیر می‌باشد:

اولاً: تجمع پرولین با کاهش پتانسیل آب همراه است. بنابراین مقایسه برای تجمع پرولین ژنوتیپ‌های مختلف باید زمانی صورت گیرد که پتانسیل آب بافت‌ها در همه‌ی ژنوتیپ‌ها یکسان باشد.

ثانیاً: در مطالعاتی که انجام شده اغلب اندازه‌گیری تجمع در واریته‌های حساس و مقاوم بودند و تجمع پرولین با طبیعت خاص مقاومت ارتباط دارد. بنابراین تجمع پرولین با یک جزء از تحمل آب‌گیر و نه با همه ی آنها همبستگی دارد. ضمن اینکه پیدا کردن همبستگی بین تجمع پرولین و مقاومت خشکی بدلیل وجود تعدادی از مراحل و فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی و تمایز که در ضمن آن روی می‌دهد مشکل خواهد بود. بنابراین هرچند که ممکن است تجمع پرولین دربردارنده‌ی مزایای کوتاه‌مدت در سطح سلول باشد ولی از نظر عملی به عنوان معیاری برای گزینش قابل استفاده نخواهد بود.

ثالثاً: باید توجه داشت که تجمع پرولین در واکنش به تنش‌های دیگر به جز کمبود آب ، همانند شوری و درجه حرارت حادث می‌شود و از نظر بیولوژیکی مشکل است که دریابیم تجمع پرولین با مقاومت به یک استرس و حساسیت به استرس دیگر مرتبط است (Blum, 1988) (نقل قول از شریفی،۱۳۸۸).

بلوم و ابرکان (۱۹۷۶) اختلافات ژنتیکی معنی‌داری را در واریته‌های سورگوم از نظر تجمع میزان پرولین بدست آوردند ولی رابطه‌ای بین میزان تجمع پرولین و درجات مختلف تحمل به خشکی پیدا نکردند.