

واکنش عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های زودرس نخود (*Cicer arietinum* L.) به تنش خشکی

علی گنجعلی^{۱*}، حسن پُرسا^۲ و عبدالرضا باقری^۳

۱- عضو هیأت علمی گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- کارشناس ارشد گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی و عضو پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۰۴

چکیده

زودرسی یا فرار از خشکی به عنوان راهبرد اولیه گیاه، در سازگاری به مناطق دارای تنش خشکی انتهایی فصل، مطرح است. گیاهان از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک، به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. بر این اساس، دو آزمایش جداگانه با هدف بررسی واکنش عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های زودرس نخود نسبت به تنش خشکی، انجام شد. روز تا گل‌دهی و عملکرد ۳۰ ژنوتیپ زودرس به‌همراه ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، در دو شرایط تنش خشکی (دیم) و بدون تنش (فاریاب)، در قالب طرح کرت‌های خردشده با سه تکرار، طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد مورد بررسی قرار گرفتند. در آزمایش دوم، صفات مورفوفیزیولوژیک مؤثر در بهبود تحمل به خشکی پنج ژنوتیپ زودرس نامزد برای تحمل به خشکی به‌همراه رقم تجاری جم، در دو شرایط تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد (ظرفیت زراعی) مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اتاقک رشد انجام شد. نتایج نشان داد که صفت روز تا گل‌دهی عمدتاً ژنتیکی بوده و تأثیر عوامل محیطی، به‌ویژه شرایط رطوبتی خاک بر این صفت، ناچیز است. دامنه‌ی وسیع کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی (۲۳ تا ۸۶ درصد) نشان‌دهنده‌ی تنوع بالای موجود میان ژنوتیپ‌ها در پاسخ به تنش خشکی بود. در محیط تنش، همبستگی منفی و معنی‌دار میان روز تا گل‌دهی و عملکرد دانه، مؤید اتخاذ راهبرد فرار از خشکی در ژنوتیپ‌های زود گل‌ده است. ژنوتیپ‌های MCC80، MCC392، MCC78، MCC552 و MCC537 از عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش برخوردار بودند. از آنجا که شاخص تحمل به خشکی نیز در این ژنوتیپ‌ها از میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بالاتر بود، لذا این ژنوتیپ‌ها به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد می‌شوند. با توجه به ماهیت زودرسی و اتخاذ راهبرد فرار از خشکی انتهایی فصل در ژنوتیپ‌های منتخب در این آزمایش، به‌نظر می‌رسد مکانیسم‌های تحمل به پسابیدیگی در این ژنوتیپ‌ها احتمالاً ایجاد نگردیده و یا به‌طور کامل تکامل نیافته است. بنابراین میان ژنوتیپ‌های زودرس منتخب و ژنوتیپ شاهد، تفاوت‌های معنی‌داری از حیث اغلب صفات مؤثر در بهبود تحمل به خشکی، قابل مشاهده نبود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، زودرسی، شاخص پایداری غشاء، نخود

مقدمه

بهبود تولید نخود در شرایط دیم مورد توجه است. در منطقه‌ی خراسان، نخود اغلب به صورت سنتی در انتهای فصل باران (اسفند یا فروردین)، بر اساس رطوبت ذخیره شده در خاک کشت می‌شود. در این مناطق، رشد سریع گیاه همزمان با مرحله‌ای است که رطوبت خاک به‌طور فزاینده‌ای با گذشت زمان کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، مقدار و پراکنش بارندگی در طول فصل رشد، بسیار نامناسب بوده و گیاهان معمولاً در دوره‌های رشد رویشی و زایشی با تنش خشکی و گرما به

انطباق مراحل حساس فنولوژی با فراهمی رطوبت در خاک و نیز گزینش برای گیاهانی که بتوانند چرخه‌ی زندگی خود را قبل از وقوع خشکی و گرمای انتهایی فصل تکمیل نمایند (زودرسی و فرار از خشکی)، به عنوان اولین گام برای

* نویسنده مسئول: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی، همراه: ۰۹۱۵۳۰۵۷۶۴۵، پست الکترونیک: ganjeali@um.ac.ir

تنش)، بعضی صفات انطباق‌پذیر^۱ می‌توانند به عنوان صفات بهبود دهنده‌ی عملکرد در شرایط تنش خشکی مورد توجه قرار گیرند (Parameshwarappa & Salimath, 2008; Cattivell et al., 2008). واضح است که این صفات بایستی گیاه را در مقابل تنش خشکی - که معمولاً هر ساله در مرحله‌ی معینی از رشد اتفاق می‌افتد - حمایت نمایند. به طور مثال درجه‌ی معینی از زودرسی، یک راهبرد اصلاحی مؤثر برای افزایش ثبات عملکرد در مناطق مدیترانه‌ای است، جایی که محصولاتمانند گندم، جو، نخود و عدس، اغلب با تنش خشکی انتهایی مواجه می‌شوند (Cattivell et al., 2008).

تنش خشکی، رشد گیاه را از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ساختار گیاه و همچنین از طریق تأثیر بر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متعدد مانند فتوسنتز، تنفس، متابولیسم عناصر غذایی و جذب، تراوایی غشاهای سلولی و پایداری آن‌ها، روابط آبی و غیره تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jaleel et al., 2009). درک تغییرات صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه در پاسخ به تنش خشکی، می‌تواند موقعیتی را فراهم آورد که دستاورد آن، شناسایی، اصلاح و تولید واریته‌های گیاهی است که در محیط دارای تنش خشکی از تولید بالاتری برخوردار هستند.

نگاه اجمالی به تحقیقات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که تحقیقات منسجم و هدفمند در مورد بهبود تحمل به خشکی از نظر زودرسی و کاهش طول دوره‌ی رشد در حبوبات سرمادوست به‌ویژه نخود، انجام نشده است. بنابراین مطالعه‌ی حاضر با هدف ارزیابی ژرم‌پلاسم نخودهای نامزد برای زودرسی و انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس برای مناطق دارای خشکی انتهایی فصل و پیشنهادهای صفات مورفوفیزیولوژیک مؤثر در زودرسی و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، دو آزمایش مزرعه‌ای و کنترل شده با هدف ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های زودرس نخود (تیپ کابلی) و نیز بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر در بهبود عملکرد ژنوتیپ‌های زودرس نامزد برای مقاومت به خشکی، به مرحله‌ی اجرا درآمد.

آزمایش اول

در این آزمایش، ۳۰ ژنوتیپ زودرس به‌همراه ژنوتیپ‌های

صورت توأم مواجه می‌شوند (Ganjeali & Nezami, 2008). فرار از خشکی به معنای تکمیل دوره‌ی رشد گیاه قبل از شروع خشکی انتهایی فصل می‌باشد که اغلب به عنوان راهبرد اولیه‌ی گیاه در سازگاری به مناطق دارای تنش خشکی، مورد توجه قرار می‌گیرد (Loss & Siddique, 1994; Turner et al., 2003; Anbessa et al., 2006). بررسی‌ها در این ارتباط تأیید نموده‌اند که زمان مطلوب گل‌دهی، یک مؤلفه‌ی مهم در سازگاری گیاه به شرایط محیطی و یک صفت بحرانی برای سازگار شدن گیاه به یک عرض جغرافیایی خاص می‌باشد (Subbarao et al., 1995; Bonato & Vello, 1999). در مناطق خشک، گل‌دهی و تشکیل غلاف زودرس در بهبود عملکرد نخود فرنگی و باقلا (Turner et al., 2003) و عدس و نخود (Thomson & Siddique, 1997) که از قابلیت فرار از خشکی برخوردار می‌باشند، مؤثر بوده است.

بررسی‌ها نشان داده است که ارقام رشد نامحدود نخود در صورت فراهم بودن شرایط محیطی، به رشد زایشی (تولید گل و غلاف) ادامه می‌دهند (Khanna-Chopra & Sinha, 1987). این شرایط سبب رشد بیش از حد کانوپی می‌شود که نه‌تنها برای افزایش عملکرد مفید نیست بلکه از طریق اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی، تأثیر منفی در عملکرد خواهد داشت. بنابراین انجام هرگونه اقدام برای محدود کردن رشد رویشی پس از شروع رشد زایشی، به‌منظور پرهیز از تأخیر در رسیدگی و بلوغ گیاه، یک اقدام مناسب به‌شمار می‌رود (Van Rheenen et al., 1994). Shamsuzzaman et al., 2002 مشاهده کردند که موتانت زودرس نخود (Hypersola) نسبت به والدین خود، پس از گذشت چند هفته از رشد، از شاخص سطح برگ و از وزن خشک ساقه‌ی کمتری برخوردار بود. این ویژگی، درجه نامحدود رشدی گیاه را کاهش و زودرسی گیاه را موجب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که زودرسی، از طریق گزینش برای محدود رشدی، فاصله‌ی بین گره‌ای کوتاه‌تر، گل‌دهی سریع‌تر و برخی صفات زراعی دیگر، امکان‌پذیر است (Anbessa et al., 2006). تنوع ژنتیکی وسیعی برای طول میان‌گره و ارتفاع بوته در بسیاری از گیاهان مانند عدس (Ladizinsky, 1997) و نخودفرنگی (Reid & Ross, 1993) که از نظر گیاه‌شناسی قرابت زیادی به نخود دارند، مشاهده شده است. کوچک بودن اندازه‌ی گیاه، کاهش سطح برگ و زودرسی، صفاتی هستند که در مطالعات متعدد فیزیولوژیکی، بر اهمیت آن‌ها در سازگاری گیاهان به مناطق دارای تنش خشکی، تأکید شده است (Karamanos & Papatheohari, 1999). بسته به شرایط تنش در منطقه‌ی هدف (زمان و شدت

¹ Adaptive

معادله (۲)

$$DSI = 1 - (Y_s/Y_p) / SI, SI = 1 - (\hat{Y}_s/\hat{Y}_p)$$

Y_s : عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ در شرایط تنش، Y_p : عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، \hat{Y}_p : میانگین عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، SI : شدت تنش و \hat{Y}_s : میانگین عملکرد دانه‌ی کلیه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش.

آزمایش دوم (گلدانی)

این آزمایش با هدف بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های نخود زودرس معرفی شده در آزمایش قبلی انجام شد. در این آزمایش، پنج ژنوتیپ زودرس نامزد برای مقاومت به خشکی به همراه رقم تجاری جم (MCC361) به‌عنوان شاهد مورد مطالعه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و بدون تنش خشکی (ظرفیت زراعی) در گلدان‌هایی که با نسبت سه به یک به ترتیب با خاک رُس و ماسه در مجموع به وزن دو کیلوگرم پُر شده بودند، رشد نمودند. گیاهان در شرایط کنترل‌شده (اتاقک رشد) که در آن درجه حرارت روز و شب و همچنین تعداد ساعات روشنایی و تاریکی مشابه مناطق کشت نخود در استان خراسان شبیه‌سازی شده بود (جدول ۱) به مدت ۱۰ هفته (تا مرحله غلاف‌دهی) رشد نمودند. به این ترتیب شش ژنوتیپ نخود در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند.

در تیمار تنش خشکی، میزان رطوبت خاک در طول آزمایش به میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد. کنترل میزان رطوبت از طریق توزین روزانه‌ی گلدان‌ها و محاسبه‌ی کسری آب مورد نیاز تا ظرفیت زراعی (۴/۲۰ درصد رطوبت جرمی) و نیز ۲۵ درصد آن (۱/۵ درصد رطوبت جرمی) انجام شد. در ابتدای مرحله‌ی تشکیل غلاف‌ها و قبل از تخریب گلدان‌ها، شاخص پایداری غشاء (MSI)^۵ بر اساس معادله‌ی ۳ تعیین شد (Shanahan et al., 1990).

معادله (۳)

$$MSI = [1 - (C1/C2)].100$$

پتانسیل آب برگ ژنوتیپ‌ها نیز در برگ‌چهره‌ی انتهایی هر گیاه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ (مدل AM 1000 ساخت کشور آمریکا) تعیین شد. برای بررسی خصوصیات مورفولوژیک ریشه و اندام هوایی، گیاهان به دقت از

متحمل به خشکی (Ganjeali et al., 2009) در دو شرایط تنش خشکی (دیم) و بدون تنش (فاریاب)، در قالب طرح کرت‌های خُرد شده با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. عملیات آماده‌سازی زمین در اسفند سال ۱۳۸۶ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با انجام شخم به عمق ۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. پس از اجرای عملیات تسطیح و تهیه‌ی بستر بذر، کودپاشی اوره و سوپرفسفات تریپل به ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار انجام شد و سپس عملیات کشت در اواخر اسفند ماه ۱۳۸۶ اجرا گردید.

هر واحد آزمایشی از یک کرت با پنج ردیف، به طول چهار متر و فاصله‌ی بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر تشکیل شد و بذور به فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف‌ها با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع کشت شدند. کاشت بذور به صورت دستی در عمق پنج سانتی‌متری انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات داشت شامل آبیاری در تیمار کشت فاریاب (با فواصل ۱۰ روزه)، دفع آفات و کنترل علف‌های هرز به دقت اجرا گردید. به منظور دفع آفات، به‌ویژه هلیوتیس از حشره‌کش دیازینون با نسبت ۱/۵ در هزار استفاده شد. علف‌های هرز به‌صورت دستی در سه نوبت وجین شدند. به منظور اطمینان از سبزشدن بذور، یک نوبت آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت برای تمام کرت‌ها از جمله کرت‌های مربوط به تیمار تنش خشکی انجام شد اما پس از آن تا پایان فصل رشد، هیچ‌گونه آبیاری برای کرت‌های تیمار خشکی انجام نگرفت. نمودار میزان بارندگی و دمای روزانه در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در شکل ۱ نشان داده شده است.

به منظور ارزیابی زودرسی ژنوتیپ‌ها، روز تا گل‌دهی در تمامی واحدهای آزمایشی ثبت شد. در پایان فصل رشد، پس از حذف حاشیه‌ها (دو ردیف کناری و نیم متر از انتهای هر ردیف)، بوته‌های باقیمانده‌ی کرت برداشت گردیدند و پس از بوجاری، عملکرد دانه در هر کرت تعیین شد.

برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی، با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش، از شاخص تحمل به خشکی (STI)^۳ (معادله ۱) و شاخص حساسیت به خشکی (DSI)^۴ (معادله ۲) استفاده شد و در نهایت با توجه به بررسی‌های هم‌جانبه، ژنوتیپ‌های زودرس نامزد برای مقاومت به خشکی برای مطالعه بعدی انتخاب شدند.

معادله (۱)

$$STI = (Y_s.Y_p)/(\hat{Y}_p)^2$$

³ Stress Tolerance Index (STI)

⁴ Drought Susceptibility Index (DSI)

⁵ Membrane Stability Index (MSI)

خشکی انتهایی هستند، پیشنهاد نمودند. در این بررسی، روز تا گل‌دهی، تحت تأثیر محیط (تنش و عدم تنش خشکی) قرار نگرفت و واکنش ژنوتیپ‌ها به دو محیط، یکسان بود (جدول ۳). این نتایج، یافته‌های *Pundir & Silim et al., 1993* و *reddy, 1998* را در رابطه با تأثیر بیشتر ژنوتیپ نسبت به رژیم رطوبتی، بر تاریخ گل‌دهی در نخود، تأیید می‌کند. در بسیاری از ژنوتیپ‌های نخود، روز تا گل‌دهی تابعی از درجه حرارت است و تنها در تعداد معدودی از ژنوتیپ‌ها، روز تا گل‌دهی به‌وسیله فتوپریود کنترل می‌شود. مطابق اظهارات *(Kumar & Abbo, 2001)*، روز تا گل‌دهی یک صفت کمی است و به‌وسیله چند ژن کنترل می‌شود، اما یک ژن بزرگ به‌عنوان ژن مسئول جهت تنوع بالای موجود برای این صفت در میان ژنوتیپ‌های نخود گزارش شده است.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج، محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۲). تنش خشکی، عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها را کاهش داد (جدول ۳). از آنجا که نخود، گیاهی رشد نامحدود است، لذا فراهمی رطوبت باعث تداوم رشد گیاه، افزایش سطح فعال فتوسنتزی و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی می‌گردد که این خود، بهبود سرعت و طول دوره مؤثر پُرشدن دانه‌ها و نهایتاً انتقال مؤثر مواد فتوسنتزی تولید شده به دانه‌ها را به‌دنبال دارد. این عوامل نیز در نهایت به افزایش عملکرد دانه منجر می‌گردد. برعکس، تنش خشکی از طریق القای زودرسی، زمان لازم برای رشد بیشتر گیاه و انتقال بهینه‌ی تولیدات فتوسنتزی به دانه‌ها را محدود نموده و لذا پتانسیل عملکرد دانه کاهش می‌یابد (*Kumar & Abbo, 2001*).

بر اساس نتایج، در میان ۲۷ ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ MCC68 با ۳۴۲/۶ گرم در مترمربع از بیشینه‌ی عملکرد برخوردار بود اما در محیط تنش، بیشترین عملکرد دانه به ژنوتیپ MCC392 با ۹۱/۹ گرم در مترمربع اختصاص داشت. در میان ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، بیشترین مقادیر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، پس از ژنوتیپ MCC68 در ژنوتیپ‌های MCC80 (با ۳۲۰/۳ گرم در مترمربع)، MCC878 (با ۳۰۹/۵ گرم در مترمربع) و MCC774 (با ۲۹۰/۹ گرم در مترمربع) به‌دست آمد اما در شرایط تنش، این ژنوتیپ‌ها حایز بیشینه‌ی عملکرد نبودند.

گلدان‌ها خارج گردیده و بخش ریشه و اندام‌های هوایی آن‌ها، جُداسازی گردید. سپس مجموعه‌ی ریشه‌های هر گیاه به‌طور کامل و با حداقل آسیب‌دیدگی شستشو داده شده و به منظور جلوگیری از پلاسیدگی بلافاصله به یخچال منتقل شدند. در ادامه، صفات مربوط به ریشه شامل مجموع طول ریشه‌ها (TRL)^۶، سطح ریشه‌ها (RA)^۷، متوسط قطر ریشه‌ها، وزن خشک ریشه‌ها (RDW)^۸ و نیز نسبت وزن خشک ریشه‌ها به وزن خشک اندام‌های هوایی (Root/Shoot)^۹ اندازه‌گیری شد. همچنین برخی صفات مربوط به اندام‌های هوایی نیز اندازه‌گیری گردید. این صفات شامل ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد شاخه و وزن خشک اندام هوایی بودند. طول و سطح ریشه با استفاده از یک دستگاه اسکنر متصل به کامپیوتر برای آنالیز ریشه (شرکت دلتا تی)^{۱۰} تعیین شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (شرکت ADC) اندازه‌گیری گردید. تجزیه‌ی واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزارهای آماری Mstat-C و Excel انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول

روز تا گل‌دهی

تأثیر محیط (تنش و بدون تنش) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر صفت تعداد روز تا گل‌دهی، معنی‌دار نبود. اما ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر روز تا گل‌دهی داشت (جدول ۲). در این ارتباط، تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی بین ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید (جدول ۳). دامنه‌ی تعداد روز تا گل‌دهی از ۴۷/۷ روز در ژنوتیپ MCC552 تا ۶۲ روز در ژنوتیپ MCC774 در شرایط بدون تنش متفاوت بود (جدول ۳). تفاوت‌های بسیار معنی‌داری از نظر روز تا گل‌دهی میان ژنوتیپ‌های زودرس با ژنوتیپ شاهد MCC361 (رقم رایج منطقه) وجود داشت که مؤید گزینش صحیح ژنوتیپ‌ها برای زودگل‌دهی در آزمایش‌های قبلی بوده است. در این راستا، تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی برای روز تا گل‌دهی در میان ژنوتیپ‌های نخود به‌وسیله‌ی سایر محققان گزارش شده است (*Singh & Saxena, 1993; Anbessa et al., 2006*). این محققان، کوتاه بودن روز تا گل‌دهی را به‌عنوان یک صفت سودمند، برای مناطقی که دارای تنش

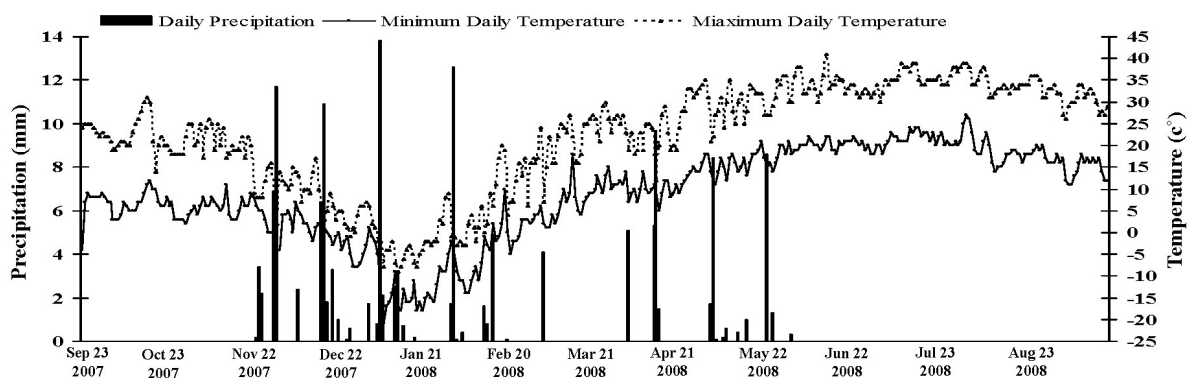
⁶ Total Root Length (TRL)

⁷ Root Area (RA)

⁸ Root Dry Weight (RDW)

⁹ Root Dry Weight/Shoot Dry Weight (Root/Shoot)

¹⁰ ΔT Scan



شکل ۱- نمودار میزان بارندگی و دمای حداقل و حداکثر روزانه در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مشهد
 Fig. 1. Daily precipitation and daily maximum & minimum temperature during growth season of 2007-2008 at Mashhad

جدول ۱- تغییرات میزان دما و طول دوره‌ی روشنایی و تاریکی در اتاقک رشد ژنوتیپ‌های نخود
 Table 1. Temperature and light-dark period in germinator for chickpea genotypes

درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) Temperature (C°)		طول دوره‌ی روشنایی و تاریکی (ساعت) Light & Dark period (h)		دوره‌ی رشد (هفته) Growth period (week)
شب Night	روز Day	شب Night	روز Day	
8	21	11.5	12.5	1-5
12	27	11	13	6-10

جدول ۲- منابع تغییر، درجات آزادی و سطح معنی‌داری میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش کاشت ژنوتیپ‌های نخود در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی، در آزمایش مزرعه‌ای در مشهد (سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶)

Table 2. Source of variances, degree of freedom and levels of significance of mean squares for measured traits of chickpea genotypes in stress and non-stress condition at Mashhad (2008)

سطح معنی‌داری میانگین مربعات Levels of significance of mean squares			
عملکرد دانه (گرم در متر مربع) Seed yield (g.m ²)	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of variance
ns	ns	2	تکرار (Replication)
*	ns	1	فاکتور تنش (دیم و آبی) (Stress factor)
ns	ns	2	خطا (Error a)
**	**	26	فاکتور ژنوتیپ (Genotype)
**	ns	26	ژنوتیپ×تنش (Genotype×Stress)
ns	ns	104	خطا (Error b)

ns: n.s. * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح $\alpha=0.05$ و $\alpha=0.01$.

ns: Non-significant; * and **: Significant at $\alpha=0.05$ & $\alpha=0.01$, respectively.

ناشی از تنش خشکی از ۲۳ درصد در ژنوتیپ MCC674 تا ۸۶ درصد در ژنوتیپ MCC774 متفاوت بود. ژنوتیپ‌های اخیر به ترتیب دارای کمترین و بیشترین شاخص حساسیت به خشکی بودند (جدول ۳).

در محیط دارای تنش، بیشترین عملکرد دانه پس از ژنوتیپ MCC392، در ژنوتیپ‌های MCC78 (با ۸۶/۵ گرم در مترمربع)، MCC674 (با ۸۵/۳ گرم در مترمربع) و MCC537 (با ۷۸/۹ گرم در مترمربع) مشاهده شد. دامنه‌ی کاهش عملکرد

جدول ۳- میانگین تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی و عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های نخود در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی به همراه شاخص حساسیت به خشکی (DSI) و شاخص تحمل به خشکی (STI) آن‌ها در آزمایش مزرعه‌ای در مشهد (سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶)

Table 3. Days to flowering, seed yield, Drought Susceptibility Index (DSI) and Stress Tolerance Index (STI) of chickpea genotypes in stress and non-stress conditions at Mashhad (2008)

شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی Drought Resistance & Susceptibility Indices		عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed Yield (g.m ⁻²)		تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی Days to Flowering		ژنوتیپ نخود Chickpea Genotype (MCC no.)	شماره ردیف Row no.
		تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress		
STI	DSI						
0.189	0.302	55.4	184.3	58.0	59.7	60	1
0.261	1.829	65.3	185.2	52.0	51.7	65	2
0.434	2.824	55.1	342.6	50.3	50.7	68	3
0.365	2.384	65.3	233.2	51.0	50.3	69	4
0.492	1.953	86.5	246.9	50.3	51.3	78	5
0.545	2.787	63.9	320.3	53.0	53.0	80	6
0.161	1.854	47.1	159.2	56.3	58.0	252	7
0.123	1.752	45.7	116.4	51.0	51.3	342	8
0.258	2.606	47.2	216.3	51.7	53.3	344	9
0.152	2.304	44.1	142.9	60.3	61.7	361	10
0.306	2.752	44.6	206.4	53.3	53.3	378	11
0.524	1.970	91.9	233.0	50.0	51.7	392	12
0.094	1.794	41.2	105.0	59.7	61.3	427	13
0.326	1.087	78.9	159.2	55.3	60.3	537	14
0.252	2.232	59.0	170.9	58.7	60.7	543	15
0.161	1.486	58.9	119.1	57.0	58.0	546	16
0.254	2.520	51.5	185.7	49.3	52.0	550	17
0.320	2.678	53.3	247.9	51.0	51.7	551	18
0.351	2.057	68.9	236.9	47.7	50.0	552	19
0.233	-0.160	85.3	110.9	56.3	58.0	674	20
0.158	2.430	41.3	166.4	50.0	51.0	685	21
0.144	2.590	34.9	194.3	59.0	60.7	693	22
0.251	1.710	65.5	172.8	51.0	56.7	696	23
0.244	1.990	63.9	155.4	51.7	55.7	760	24
0.277	2.990	38.4	290.9	61.7	62.0	774	25
0.300	2.250	57.8	198.9	60.0	57.0	823	26
0.429	2.740	57.6	309.5	54.0	57.0	878	27
0.282	2.063	58.1	200.4	54.1	55.5	(Mean)	میانگین
0.276	2.071	118.4		3.2		LSD_(0.05)	

همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری میان روز تا گل‌دهی در محیط تنش و بدون تنش مشاهده شد ($r=0.83$). به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش از روز تا گل‌دهی بیشتری برخوردارند در محیط بدون تنش نیز برای شروع رشد زایشی و گل‌دهی به زمان طولانی‌تری نیاز دارند. (2006) *Anbessa et al.*, همبستگی مثبت و بالایی ($r=0.44$) بین روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی در ژنوتیپ‌های نخود گزارش کردند. فاصله‌ی مطلوب روز تا گل‌دهی، یک جزء عمده‌ی سازگاری گیاهان به شرایط محیطی است (Subbaro *et al.*, 1995) و یک صفت بحرانی برای سازگاری گیاه به یک عرض جغرافیایی خاص می‌باشد (Bonato & Vello, 1999). واضح است که زودرسی بیش از حد، منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Kumar *et al.*, 2006). مطابق یافته‌های (2001) Kumar & Abbo، ژن‌های گل‌دهی از طریق تأثیر بر شروع رشد زایشی و به‌دنبال آن، دوام مرحله‌ی رشد زایشی، بر روز تا رسیدگی تأثیرگذار هستند.

Blum (1988) بیان داشت‌گزینه‌ش برای تحمل به خشکی در میان ژنوتیپ‌های نخود بایستی بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و بدون تنش انجام شود. بر این اساس ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد می‌شوند. برای مثال، ژنوتیپ MCC68 در محیط بدون تنش، دارای بالاترین عملکرد است اما عملکرد آن در شرایط تنش، ۸۴ درصد کاهش یافت. از طرفی، شاخص حساسیت به خشکی این رقم (۲/۸۲) بالا بوده و لذا این ژنوتیپ در کلاس ژنوتیپ‌های حساس به خشکی طبقه‌بندی می‌شود. همچنین هرچند درصد کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ MCC674 در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش، حداقل بود و کمترین شاخص حساسیت به خشکی را داشت ولی به دلیل پتانسیل پایین عملکرد (۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، در کلاس ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، طبقه‌بندی نگردید. همبستگی منفی و معنی‌داری میان عملکرد دانه و روز تا گل‌دهی در محیط تنش وجود داشت (جدول ۴). همچنین

جدول ۴- همبستگی میان صفات تعداد روز تا گل‌دهی، عملکرد دانه، شاخص حساسیت به خشکی (DSI) و شاخص تحمل به خشکی (STI) در ژنوتیپ‌های نخود در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در آزمایش مزرعه‌ای در مشهد (سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶)

Table 4. Correlation among days to flowering, seed yield, Drought Susceptibility Index (DSI) and Stress Tolerance Index (STI) of chickpea genotypes in stress and non-stress conditions at Mashhad (2008)

DSI	عملکرد دانه (بدون تنش) Seed yield (non stress)	روز تا گل‌دهی (بدون تنش) Days to flowering (non stress)	عملکرد دانه (تنش) Seed yield (stress)	روز تا گل‌دهی (تنش) Days to flowering (stress)
				عملکرد دانه (تنش) Seed yield (stress) *
			ns	روز تا گل‌دهی (بدون تنش) Days to flowering (non stress) **
		ns	ns	عملکرد دانه (بدون تنش) Seed yield (non stress) ns
	**	ns	(-) *	DSI ns
ns	**	(-) *	**	STI (-) *

n.s. و * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح $\alpha=0.05$ و $\alpha=0.01$.

ns :Non-significant, *and **: Significant at $\alpha=0.05$ & $\alpha=0.01$, respectively.

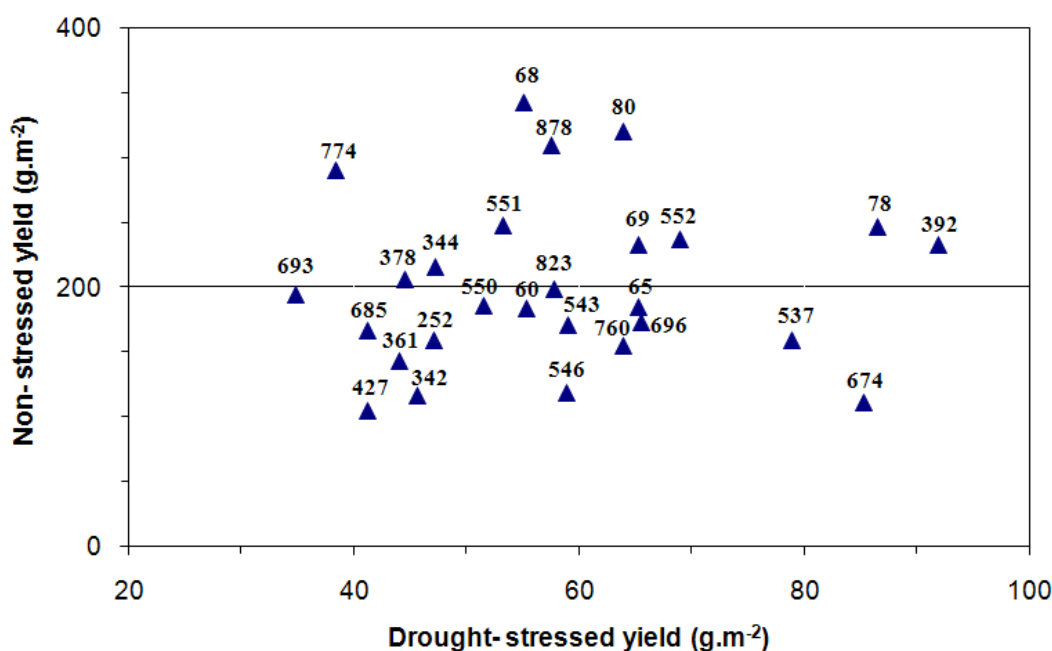
ژنوتیپ‌هایی که در مناطق مختلف با شدت‌های متفاوت تنش خشکی‌گزینه‌ش می‌شوند، ممکن است متفاوت باشد. برای مثال ژنوتیپ‌هایی که در محیط‌های با شدت تنش کمتر از ۰/۵ گزینه‌ش می‌شوند نسبت به ژنوتیپ‌هایی که در محیط‌های با شدت بالای تنش (بیش از ۰/۵) گزینه‌ش می‌شوند از تحمل به خشکی کمتری برخوردار هستند. در این آزمایش، ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش گروه‌بندی شدند

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها

بخش عمده‌ای از کاهش شدید عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش خشکی، به شدت نسبتاً بالای تنش خشکی در این سال مربوط می‌شود ($SI=0.72$). شدت‌های تنش خشکی معادل ۰/۰۲ تا ۰/۹ بسته به مناطق مختلف توسط محققان دیگر گزارش شده است (Ganjeali *et al.*, 2009; Teran & Singh, 2002). بنابراین درجه‌ی تحمل به خشکی در

ژنتیکی در برنامه‌های اصلاح برای تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند. اما ژنوتیپ‌های MCC80، MCC392، MCC78 و MCC552 دارای عملکرد بالا در هردو محیط تنش و بدون تنش بودند به نحوی که میزان آن از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از دو محیط، بالاتر بود. همچنین ژنوتیپ MCC537 نیز عملکرد بالایی در محیط تنش و نیز عملکرد نسبی بالایی در محیط بدون تنش داشت. به علاوه، شاخص تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها نسبت به میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، بیشتر بود. لذا پنج ژنوتیپ اخیر به عنوان ژنوتیپ‌های زودرس و متحمل به خشکی برای بررسی‌های بعدی پیشنهاد شدند.

(شکل ۲). ژنوتیپ‌هایی مانند MCC68، MCC774، MCC551، MCC344 و MCC378 که عملکرد آن‌ها در محیط بدون تنش، بالا ولی در شرایط تنش، پایین بود در گروه ژنوتیپ‌های پرمحصول ولی حساس به خشکی دسته‌بندی شدند. شاخص حساسیت به خشکی در این ژنوتیپ‌ها بیشتر از میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. ژنوتیپ‌های MCC674، MCC696، MCC65، MCC760 و MCC546 دارای عملکرد نسبتاً بالایی در محیط تنش بوده ولی عملکرد پایینی در محیط بدون تنش داشتند. شاخص حساسیت به خشکی در این ژنوتیپ‌ها کمتر از میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش بود. این گروه از ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان پایه‌های



شکل ۲- گروه‌بندی ۲۷ ژنوتیپ زودرس نخود بر اساس میانگین عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش اعداد داخل شکل، شماره‌ی MCC ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

Fig. 2. Classification of 27 earliness chickpea genotypes according to mean yield evaluated in non-stressed and drought environments
Numbers inside the figure refers to MCC codes of genotypes.

(متوسط ۵۸ درصد) کاهش داد (جدول ۷). برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش خشکی در این آزمایش، معنی‌دار نبود و در این راستا واکنش تمامی ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی مشابه بود (جدول ۵). کمبود آب قابل دسترس از طریق کاهش سرعت و دوره‌ی رشد رویشی به کاهش ارتفاع بوته منجر می‌شود (Gupta, 1997). افزایش ارتفاع بوته در تیمار شاهد (بدون تنش) به رشد نامحدودی گیاه نخود مربوط می‌شود چرا که فراهمی

آزمایش دوم

خصوصیات اندام هوایی

ارتفاع بوته

ژنوتیپ‌های زودرس منتخب از نظر ارتفاع بوته، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و نیز با رقم شاهد نداشتند اما تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (جدول ۵) و میزان آن را در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی به شدت

داشت (جدول ۶). تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۵). در تمامی ژنوتیپ‌ها، سطح برگ در گیاه در محیط دارای تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۷). بیشترین و کمترین سطح برگ در شرایط تنش، به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC80 و در شرایط بدون تنش به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC361 تعلق داشت (جدول ۷). در آزمایش‌های متفاوت، حساسیت برگ به کاهش رطوبت خاک تأیید شده است (Ganjeali & Nezami, 2008). (2001) Wang *et al.* نیز کاهش سطح برگ را در گیاه لوبیا در شرایط تنش شوری و خشکی اعلام نمودند. نتایج مطالعات (1995) Neumman *et al.* نیز نشان داد که در شرایط تنش خشکی، سطح برگ‌ها به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار تورژانس سلول‌های برگ، کاهش می‌یابد.

رطوبت، موجب تداوم رشد رویشی و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. محققان، افزایش درجه‌حرارت همراه با تنش خشکی را عامل مؤثر بر تسریع فنولوژی و کاهش دوره‌ی رشد گیاه اعلام نمودند (Auld *et al.*, 1988). به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق افزایش سرعت نمو و کاهش دوره‌ی رشد رویشی، کاهش ارتفاع بوته را القاء می‌نماید.

سطح برگ در بوته

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر سطح برگ، تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۵ و ۶). دامنه‌ی سطح برگ از ۱۰/۱۷ سانتی‌مترمربع در ژنوتیپ زودرس MCC392 تا ۴۷/۲ سانتی‌مترمربع در ژنوتیپ MCC361 (شاهد) متفاوت بود. در این رابطه، ژنوتیپ MCC392 از نظر سطح برگ، تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های MCC361، MCC78 و MCC80

جدول ۵- منابع تغییر، درجات آزادی و سطح معنی‌داری میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش ژنوتیپ‌های منتخب زودرس نخود برای مقاومت به خشکی در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در آزمایش‌های گلدانی

Table 5. Source of variances, degree of freedom and levels of significance of mean squares for measured traits of selected chickpea genotypes in stress and non-stress conditions

سطح معنی‌داری میانگین مربعات Levels of significance of mean squares									درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییر Source of Variance
نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه Root/shoot dry weight	سطح ریشه Root area	مجموع طول ریشه Root length	وزن خشک ریشه Root dry weight	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	سطح برگ Leaf area	ارتفاع بوته Plant height		
**	ns	ns	*	ns	ns	**	*	ns	5	ژنوتیپ (Genotype)
**	**	**	**	ns	**	**	**	**	1	تنش (Stress)
ns	ns	ns	*	ns	**	*	*	ns	5	ژنوتیپ×تنش (Genotype×Stress)
									25	خطا (Error)

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح $\alpha=0.05$ و $\alpha=0.01$.

ns: Non-significant, * and **: Significant at $\alpha=0.05$ & $\alpha=0.01$, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش ژنوتیپ‌های منتخب زودرس نخود برای مقاومت به خشکی

Table 6. Comparison of mean traits of selected chickpea genotypes in the second experiment

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی	سطح ریشه‌های بوته (سانتی‌متر مربع)	مجموع طول ریشه‌ها در بوته (متر)	وزن خشک ریشه در بوته (گرم)	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	پتانسیل آب برگ (بار)	وزن خشک اندام هوایی در بوته (گرم)	سطح برگ بوته (سانتی‌متر مربع)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	ژنوتیپ نخود Chickpea Genotype
Root/shoot dry weight	Root area per plant (cm ²)	Total root length per plant (m)	Root dry weight per plant (g)		Leaf water potential (bar)	Shoot dry weight per plant (g)	Leaf area per plant (cm ²)	Plant height (cm)	
1.11	56.2	11.1	1.56	0.64	15.8	1.55	48.7	25.1	MCC78
0.88	62.8	12.4	1.75	0.56	17.1	2.06	101.7	32.8	MCC392
0.72	38.7	7.6	1.05	0.74	16.6	1.70	93.9	25.3	MCC552
1.01	43.5	8.6	1.19	0.86	14.8	1.21	75.9	21.5	MCC537
1.36	37.4	7.4	1.01	0.72	14.2	1.01	69.3	20.5	MCC80
0.91	30.5	6.0	0.81	0.62	17.2	1.29	47.2	22.8	MCC361
0.32	24.2	5.9	0.57	0.32	3.9	0.62	27.5	9.6	LSD _(0.05)

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش ژنوتیپ‌های منتخب زودرس نخود برای مقاومت به خشکی در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در آزمایش گلدانی

Table 7. Comparison of some measured traits of selected chickpea genotypes in stress and non-stress conditions

شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	پتانسیل آب برگ (بار)		وزن خشک اندام هوایی بوته (گرم)		سطح برگ بوته (سانتی‌متر مربع)		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)		ژنوتیپ نخود Chickpea Genotype	
	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress		
0.58	0.71	18.5	13.2	0.40	2.70	28.3	69.2	12.3	37.9	MCC78
0.52	0.59	17.5	16.8	0.87	3.24	52.3	151.0	22.0	43.7	MCC392
0.67	0.81	19.7	13.4	0.41	2.99	31.7	150.2	12.0	38.6	MCC552
0.83	0.88	17.1	12.5	0.84	1.59	51.6	100.2	18.5	24.4	MCC537
0.62	0.80	16.5	11.2	0.32	1.69	25.4	113.0	9.8	31.2	MCC80
0.54	0.80	18.3	16.2	0.46	2.13	29.6	64.7	12.5	33.1	MCC361
0.44		4.5		0.87		40.3		12.4		LSD _(0.05)

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش ژنوتیپ‌های منتخب زودرس نخود برای مقاومت به خشکی در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در آزمایش گلدانی

Table 8. Comparison of some measured traits of selected chickpea genotypes in stress and non-stress conditions

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root/shoot dry weight		سطح ریشه‌های بوته (سانتی‌متر مربع) Root area per plant (cm ²)		مجموع طول ریشه‌ها در بوته (متر) Total root length per plant (m)		وزن خشک ریشه در بوته (گرم) Root dry weight per plant (g)		ژنوتیپ نخود Chickpea Genotype
تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	تنش Stress	بدون تنش Non-Stress	
1.26	0.96	20.2	92.3	4.0	18.3	0.51	2.61	MCC78
0.96	0.81	32.9	92.6	6.5	18.4	0.88	2.62	MCC392
0.85	0.59	14.7	62.8	2.9	12.4	0.35	1.75	MCC552
1.14	0.89	35.0	51.4	6.9	10.2	0.94	1.42	MCC537
1.87	0.85	22.9	51.1	4.5	10.1	0.59	1.41	MCC80
1.05	0.77	18.8	41.8	3.7	8.3	0.47	1.14	MCC361
0.46		34.1		8.0		0.77		LSD _(0.05)

پتانسیل آب برگ ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۵). تنش خشکی، پتانسیل آب برگ ژنوتیپ‌ها را به‌طور متوسط تا ۱۳ درصد کاهش داد. محققان زیادی کاهش پتانسیل آب برگ را در واکنش به تنش خشکی گزارش کردند (Isanlo *et al.*, 2008; Jinmin, & Huang, 2001). تفاوت‌های ژنوتیپی در پتانسیل آب ژنوتیپ‌ها به قابلیت گیاهان برای جذب بیشتر آب از خاک و نیز توانایی گیاهان برای جلوگیری از تلفات آب از طریق روزنه‌ها وابسته است (Siddique *et al.*, 2001). در مقیاس سلولی، گیاهان از طریق تغییر متابولیسم سلولی در جهت مقابله با تنش، سعی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی دارند. در این راستا گیاهانی که بتوانند پتانسیل فشاری خود را ضمن کاهش پتانسیل آب خاک، همچنان بالا نگه‌دارند، تحمل بیشتری به خشکی خواهند داشت (Bayoumi *et al.*, 2008).

شاخص پایداری غشاء

ژنوتیپ، تنش خشکی و برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری غشای ژنوتیپ‌ها نداشتند (جدول ۵). بالاترین شاخص پایداری غشاء به ژنوتیپ MCC537 و کمترین آن به ژنوتیپ‌های MCC392 و ژنوتیپ شاهد (MCC361) تعلق داشت اما تفاوت‌های موجود از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۶). واکنش تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تنش خشکی و فراهمی رطوبت از نظر شاخص پایداری غشاء، یکسان و تفاوت معنی‌داری از این نظر در میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد (جدول ۷).

وزن خشک اندام هوایی در بوته

ژنوتیپ، تنش و برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی داشتند (جدول ۵). بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی با مقادیر ۲/۰۶ و ۱/۰۱ گرم در بوته به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC80 تعلق داشت (جدول ۶). وزن خشک اندام هوایی در تمامی ژنوتیپ‌ها در محیط تنش کاهش یافت به‌طوری که میزان آن در اکثر موارد، معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی در بوته در محیط تنش، با مقادیر ۸۶ و ۴۷ درصد به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC552 و MCC537 تعلق داشت (جدول ۷). Lecoer & Sinclair (1996) بیان داشتند فرآیندهایی مانند رشد برگ که وابسته به حجم سلول و آماس سلولی هستند نسبت به سایر فرآیندهای گیاهی نسبت به کمبود آب، حساس‌تر می‌باشند. بنابراین تنش خشکی منجر به کاهش شاخص سطح برگ و به دنبال آن تولید آسیمیلات در گیاه می‌شود. در این راستا به نظر می‌رسد که اگرچه تعداد و سطح برگ به درجات مختلف تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، در عین حال این دو صفت با ژنوتیپ گیاه نیز ارتباط عمیقی دارند.

پتانسیل آب برگ

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر پتانسیل آب برگ، تفاوت معنی‌داری نداشتند اما تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر

خصوصیات ریشه

وزن خشک ریشه

ژنوتیپ، تنش و برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نخود داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ریشه نشان داد که ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC78 از بیشترین و رقم شاهد (MCC361) از کمترین وزن خشک ریشه برخوردار بودند (جدول ۶). تنش خشکی، وزن خشک ریشه را در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش داد (جدول ۸). در این رابطه بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن خشک ریشه به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC78 با ۸۰ درصد و MCC537 با ۳۴ درصد، اختصاص داشت (جدول ۸). در این آزمایش، ژنوتیپ MCC537 از کمترین کاهش وزن خشک اندام هوایی در محیط تنش نیز برخوردار بود (جدول ۷). لذا به نظر می‌رسد این ژنوتیپ از ثبات بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط‌های دارای تنش، برخوردار است. در محیط بدون تنش، وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC78 تفاوت معنی‌داری با رقم شاهد داشتند ولی این تفاوت در محیط دارای تنش، معنی‌دار نبود (جدول ۸). (Ganjeali & Kafi, 2007) بیان داشتند در مراحل اولیه‌ی رشد نخود، ویژگی‌های ریشه بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیک است ولی با گذشت زمان و افزایش دوره‌ی تنش خشکی، نقش عوامل ژنتیک به تدریج کاهش یافته و عوامل محیطی نقش مؤثری در بروز استعداد‌های ژنتیک ژنوتیپ‌ها ایفا می‌نمایند. (Singh et al., 2000) در بررسی ۳۰ ژنوتیپ نخود در مرحله‌ی گل‌دهی، تنوع ژنتیکی زیادی را از نظر وزن خشک ریشه‌ها گزارش کردند. در این آزمایش در محیط تنش، تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های زودرس و رقم شاهد از نظر وزن خشک ریشه وجود نداشت.

طول و سطح ریشه‌ها

بررسی‌ها نشان داده است که همبستگی‌های مثبت و بسیار بالایی بین وزن خشک، طول و سطح ریشه‌ها در گیاه نخود وجود دارد. (Gregory, 1988; Ganjeali & Kafi, 2007). بنابراین، تغییرات طول و سطح ریشه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اغلب با نتایج وزن خشک ریشه انطباق زیادی دارند. نتایج مقایسه‌ی میانگین طول و سطح ریشه‌ها در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC78 از بیشترین و رقم شاهد (MCC361) از کمترین طول و سطح ریشه برخوردار بودند (جدول ۶). تنش خشکی، طول و سطح ریشه‌ها را در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش داد (جدول

۸). بیشترین و کمترین کاهش طول ریشه با مقادیر ۷۸ و ۳۳ درصد، به ترتیب در ژنوتیپ‌های MCC78 و MCC537 مشاهده شد. در این رابطه، درصد کاهش طول ریشه در ژنوتیپ شاهد (MCC361)، حدود ۵۵ درصد بود که تقریباً حد واسط دو ژنوتیپ فوق می‌باشد. با این حال در محیط تنش، تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها و رقم شاهد از حیث طول و سطح ریشه‌ها وجود نداشت (جدول ۸). صفات زودرسی (فرار از خشکی) و اجتناب از پسابیدگی (کاهش تعلق یا افزایش جذب آب از طریق اتخاذ مکانیسم‌های کارآمد ریشه)، به عنوان صفات انطباق‌پذیر، بهبود تحمل به خشکی را در گیاهان و از جمله نخود سبب می‌شوند (Anbessa et al., 2007; Turner, 2003). در این رابطه، مطالعات تأیید نموده است که درجه‌ی معینی از زودرسی، یک راهبرد مؤثر اصلاحی برای افزایش ثبات عملکرد در مناطق مدیترانه‌ای است (Cattivell et al., 2007). جایی که محصولاتی مانند نخود و عدس، اغلب با تنش خشکی انتهایی مواجه می‌شوند (Ganjeali & Nezami, 2008). به نظر می‌رسد در ژنوتیپ‌های منتخب در این آزمایش به دلیل ماهیت زودرسی و اتخاذ راهبرد فرار از خشکی انتهایی فصل، مکانیسم‌های تحمل و مقاومت به پسابیدگی به‌طور کامل تکامل نیافته است لذا در این آزمایش، تفاوت‌های معنی‌داری از این نظر در میان ژنوتیپ‌های زودرس منتخب و ژنوتیپ شاهد مشاهده نشد.

بررسی‌ها مؤید این است که با افزایش تداوم تنش خشکی، هم‌زمان با کاهش فتوسنتز برگ و افزایش نیاز گیاه به کربوهیدرات برای تنظیم آسمزی سلول، دسترسی به مواد فتوسنتزی کاهش یافته و متعاقب آن رشد ریشه، کاهش و در نهایت متوقف خواهد شد (Lu et al., 1998). واکنش رشد ریشه، متأثر از شدت تنش، ژنوتیپ و مرحله‌ی فنولوژی گیاه است. در این ارتباط، تنش خشکی باعث کاهش رشد و نمو ریشه می‌شود اما زمان شروع کاهش رشد، به زمان محدودیت دریافت مواد فتوسنتزی توسط ریشه‌ها بستگی دارد (Fagera et al., 2006 Saxina, 2003).

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی

ژنوتیپ و تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های نخود داشتند (جدول ۵). نسبت ریشه به اندام هوایی از ۱/۳۶ در ژنوتیپ MCC80 تا ۰/۷۲ در ژنوتیپ MCC552 متفاوت بود. این دو ژنوتیپ، تفاوت معنی‌داری از نظر نسبت ریشه به اندام هوایی با یکدیگر داشتند. تفاوت ژنوتیپ‌ها (به جز MCC80) با

همچنین عکس آن نیز صادق است.

در محیط تنش، همبستگی منفی و معنی‌دار میان روز تا گل‌دهی و عملکرد دانه، مؤید اتخاذ راهبرد فرار از خشکی در ژنوتیپ‌های زودگل‌ده است. شاید بخش عمده‌ی کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، وجود شدت بالای تنش خشکی در سال مطالعه باشد ($SI=0/71$)، بنابراین ژنوتیپ‌های منتخب در این آزمایش، احتمالاً از درجه‌ی تحمل به خشکی مناسبی برخوردار خواهند بود. ژنوتیپ‌های MCC80، MCC392، MCC78، MCC552 و MCC537 که از عملکرد بالا در محیط تنش و بدون تنش برخوردار بودند و نیز شاخص تحمل به خشکی و راندمان تحمل به خشکی بالاتری نسبت به میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند، به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی پیشنهاد شدند. در این آزمایش با وجود فراهمی رطوبت، با طولانی‌تر شدن روز تا گل‌دهی، میانگین عملکرد دانه در کلاس‌های گل‌دهی به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یافت. به نظر می‌رسد در ژنوتیپ‌های زودگل‌ده، انطباق دوره‌ی رشد زایشی با شرایط مطلوب حرارتی فصل (فرار از درجه‌حرارت‌های بالا و تبخیر و تعرق شدید انتهای فصل)، کاهش عملکرد ناشی از کوتاه شدن دوره‌ی رشد رویشی و زایشی را جبران می‌نماید.

زودرسی، راهبرد مؤثر اصلاحی برای ثبات عملکرد در مناطق دارای تنش خشکی انتهایی است. در این آزمایش، زودرسی به عنوان یک صفت انطباق‌پذیر، باعث بهبود تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد.

ژنوتیپ شاهد از این حیث معنی‌دار نبود (جدول ۶). تنش خشکی، نسبت ریشه به اندام هوایی را به صورت معنی‌داری تا ۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، عمدتاً به کاهش بیشتر وزن خشک اندام هوایی نسبت به ریشه، در شرایط تنش خشکی مربوط می‌شود. (Krishnamurthy *et al.* (2003) بیان داشتند که تنش خشکی، نسبت ریشه به اندام هوایی را در غالب گیاهان افزایش می‌دهد و این افزایش عمدتاً به کاهش بیشتر رشد اندام‌های هوایی نسبت به ریشه مربوط می‌شود. البته شواهدی نیز در این ارتباط وجود دارد که افزایش رشد ریشه‌ها را در شرایط تنش خشکی تأیید می‌کند (Gregory, 1988; Saxina, 2003).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی از نتایج این آزمایش و سایر آزمایش‌های قبلی چنین به نظر می‌رسد که تاریخ گل‌دهی (روز تا گل‌دهی) عمدتاً ژنتیکی است و تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه شرایط رطوبتی خاک بر این صفت، ناچیز است. در این ارتباط، بررسی‌ها نشان می‌دهند که نقش درجه‌حرارت، با اهمیت‌تر است. وجود تفاوت‌های معنی‌دار میان ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش و نیز دامنه‌ی وسیع کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی (۲۳ تا ۸۶ درصد)، نشان از تنوع بالایی موجود میان ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به تنش خشکی است که گروه‌بندی آن‌ها را از نظر مقاومت به خشکی میسر ساخته است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط بدون تنش، ضرورتاً از عملکرد بالا در شرایط تنش برخوردار نبودند و

منابع

1. Anbessa, Y., and Bejiga, G. 2002. Evaluation of Ethiopian chickpea landraces for tolerance to drought. *Genetic Res. & Crop Evol.* 49: 557-564.
2. Anbessa, Y., Warkentin, T., Bueckert, R., and Vandenberg, A. 2007. Short internode, double podding and early flowering effects on maturity and other agronomic characters in chickpea. *Field Crops Research* 102: 43-50.
3. Anbessa, Y., Warkentin, T., Vandenberg, A., and Ball, R. 2006. Inheritance of time to flowering in chickpea in a short-season temperate environment. *J. Hered.* 97: 55-61.
4. Auld, D.L., Crock, J.E., and Kephart, K.D. 1988. Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chickpea. *Agron. J.* 80: 909-910.
5. Bayoumi, T.Y., Eid, M., and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes: *African Journal of Biotechnology* 7: 2341-2352.
6. Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environment*. CRC press. Roca Raton, FL. pp. 38-78.
7. Bonato, E.R., and Vello, N.A. 1999. *E6*, a dominant gene conditioning early flowering and maturity in soybeans. *Genet. Mol. Biol.* 22: 1-6.

8. Cattivell, L., Rizza, F., Badek, F.W., Mazzucotell, E., Mastrangleo, A.M., Frabcica, E., Mare, C., Tondell, A., and Michele Stanka, A. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Research* 105: 1-14.
9. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Clark, R.B. 2006. *Physiology of Crop Production*. Food Products Press.
10. Ganjeali, A., and Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pak. J. Bot.* 39: 1523-1531.
11. Ganjeali, A., and Nezami, A. 2008. Ecophysiology and yield barriers in pulse crops. In: M. Parsa and A. Bagheri (Eds.). *Pulses*. Jihad Daneshgahi Mashhad Publisher, p. 522.
12. Ganjeali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Field Crops Research* 6: 295-203.
13. Gregory, P.J. 1988. Root growth of chickpea, faba bean, lentil and pea and effects of water and salt stresses. In: R.J. Summer field (Eds.). *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers, p. 857-867.
14. Gupta, U.S. 1997. *Crop Improvement: Vol. II. Stress Tolerance*. Oxford and IBH Publishing. CO. PVT. LTD.
15. Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M., and Schnurbusc, T. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany* 59: 3327-3346.
16. Jaleel, C.A, Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 100-105.
17. Jinmin, F.U., and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 45: 105-114.
18. Karamanos, A.J., and Papatheohari, A.Y. 1999. Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the Water Potential Index. *Crop Sci.* 39: 1792-1797.
19. Khanna-Chopra, R., and Sinha, S.K. 1987. Chickpea: physiological aspects of growth and yield. In: M.C. Saxena and K.B. Singh (Eds.). *The Chickpea*. CAB International, Wallingford, UK, p. 163-189.
20. Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., and Upadhyaya, H.D. 2003. Genetic diversity of drought avoidance root traits in the mini-core germplasm collection of chickpea. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletters* 10: 21-24.
21. Kumar, J., and Abbo, S. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semi-arid environments. *Advances in Agronomy* 72: 107-138.
22. Ladizinsky, G. 1997. Dwarfing genes in the genus *Lens* Mill. *Theor. Appl. Genet.* 95: 1270-1273.
23. Lecoer, J., and Sinclair, T. R. 1996. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Sci.* 36: 331-335.
24. Loss, S.P., and Siddique, K.H.M. 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. Agron.* 52: 229-276.
25. Lu, Z., and Neumann, P.M. 1998. Water stressed maize, barley and rice seedling show species specific diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *J. Experimental Botany* 49: 1945-1952.
26. Parameshwarappa, S.G., and Salimath, P.M. 2008. Field screening of chickpea genotypes for drought resistance. *Karnataka Journal of Agriculture Science* 21: 113-114.
27. Pundir, R.P.S., and Reddy, G.V. 1998. Two new traits-open flower and small leaf in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica* 102: 357-361. {a} Genetic Resources Div., ICRISAT Asia Center, Patanacheru 502 324, A.P, India.
28. Reid, J.B., and Ross, J.J. 1993. A mutant based approach, using *Pisum sativum*, to understand plant growth. *Int. J. Plant Sci.* 154: 22-34.
29. Saxena, N.P. 2003. *Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options"*. Science Publishers Inc, NH, USA.

30. Shamsuzzaman, K.M., Gibson, A.H., Oram, R.N., and Shaikh, M.A.Q. 2002. Assimilation and partitioning of dry matter and nitrogen in Hyprosola, a more determinate mutant of chickpea, and in its parental cultivar. *Field Crops Research* 77: 51-59.
31. Shanahan, J.F., Edwards, I.B., Quick, J.S., and Fenwick, J.R. 1990. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. *Crop Science* 30: 247-251
32. Silim, S.N., Saxena, M.C., and Singh, K.B. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. *Field Crops Research* 34: 137-146.
33. Singh, K.B., and Saxena, M.C. 1993. Breeding for stress tolerance in cool-season food legume. *Johan Wiley and Sons Publisher*.
34. Singh, D.N., Massod Ali, R.I., and Basu, P.S. 2000. Genetic variation in dry matter partitioning in shoot and root influences of chickpea to drought. 3rd International Crop Science Congress 2000.
35. Subbarao, G.V., Johansen, C., Slinkard, A.E., Nageswara Rao, R.C., Saxena, N.P., and Chauhan, Y.S. 1995. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critic Rev. Plant Sci.* 14: 469-523.
36. Teran, H., and Singh, S.P. 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Sci.* 42: 64-70.
37. Thomson, B.D., and Siddique, K.H.M. 1997. Grain legume species in low rainfall Mediterranean environment type of WA. 1. Phenology and seed yield. *Field Crop Research* 54: 189-199.
38. Turner, N.C., Wright, G.C., and Siddique, K.H.M. 2003. Adaptation of grain legumes to water-limited environment: Selection for physiological, biochemical and yield component characteristics for improved drought resistance. In: N.P. Saxena (Ed.). *Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options"*. Science Publishers Inc, NH, USA, p. 43-80.
39. Van Rheenen, H.A., Pundir, R.P.S., and Miranda, J.H. 1994. Induction and inheritance of determinate growth habit in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica* 78: 137-141.

Response of yield and morphophysiological characteristics of earliness chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress

Ganjeali^{1*}, A., Porsa², H. & Bagheri³, A.

1- Contribution of Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad

2- MSc. in Agronomy, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

3- Faculty of Agricultural College and Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 25 September 2010

Accepted: 24 April 2011

Abstract

Earliness and drought escape are as a primary strategy for plant adaptation in regions that plants are subjected to terminal drought stress. Plants react to drought through morphological changes and alteration in physiological behavior. Accordingly, two separate experiments to assess the response of yield and morphophysiological characteristics of earliness chickpea genotypes to drought stress were carried out. In the field experiment, days to flowering and yield of 30 earliness chickpea genotypes with drought tolerant genotypes were evaluated in drought stress (Rain fed) and non stress (Irrigated) conditions as a split plot design with three replications, during 2007-8. In the second experiment, five candidate's chickpea genotypes with commercially Jam cultivars in stress conditions (25 percent field capacity) and control (field capacity) were studied in a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. Results showed that days to flowering is mainly controlled genetically and the effect of environmental factors, especially soil moisture condition was negligible. Wide range of yield reduction due to drought stress (23 to 86 percent) approved a high variation among the genotypes in response to drought stress. In stress environment, significant and negative correlation between days to flowering and seed yield, confirmed drought escape strategy in early flowering genotypes. MCC80, MCC392, MCC78, MCC552 and MCC537 genotypes produced high yield in stress and non stress environments. Also, the stress tolerance index in these genotypes was higher than that of average genotypes studied, therefore mentioned genotypes are suggested as drought tolerant genotypes. It seems that in the screened genotypes in this experiment due to their nature of earliness and drought escape strategy, the tolerance mechanisms to drought stress have not been created or not fully evolved. Therefore there weren't significant differences among screened earliness genotypes and control in respect to most traits for drought tolerance.

Key words: Chickpea, Drought stress, Earliness, Membrane stability index

*Corresponding author. E-mail: ganjeali@um.ac.ir; Tel: 09153057645