

ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) در واکنش به تنش خشکی

علی گنجعلی^{۱*} و عبدالرضا باقری^۲

۱- عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی و عضو پیوسته گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۱۵

چکیده

بخش مهمی از موفقیت تولید در مناطق دارای تنش خشکی به جذب مؤثر آب و عناصر غذایی توسط سیستم ریشه‌ای کارآمد وابسته است. به منظور بررسی خصوصیات مورفولوژیکی ریشه و شناسایی معیارهای مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نخود، چهار آزمایش جداگانه در مراحل مختلف فنولوژی شامل مراحل گیاهچه‌ای، گل‌دهی، تشکیل غلاف‌ها و پُرسیدن دانه‌ها انجام شد. ۱۰ ژنوتیپ نخود با تنوع جغرافیایی مناسب که کشت نخود در آن مناطق انجام می‌شود از کلکسیون نخود مشهد انتخاب شدند. به‌جز در آزمایش اول (مرحله گیاهچه‌ای) که خصوصیات ریشه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش مورد بررسی قرار گرفت، در سه آزمایش دیگر ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش خشکی (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و شاهد قرار گرفتند. آزمایش‌ها جداگانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. در مرحله گیاهچه‌ای تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مربوط به ریشه وجود داشت. ژنوتیپ MCC358 از نظر مجموع طول ریشه‌ها، سطح، وزن خشک و حجم ریشه‌ها، برتر از سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود، با این حال بالاترین نسبت ریشه به اندام هوایی به ژنوتیپ MCC30 تعلق داشت. با وجود این‌که در مراحل گل‌دهی و تشکیل غلاف‌ها، اثر متقابل تنش و ژنوتیپ، تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه اصلی نداشت ولی در مرحله پُرسیدن دانه‌ها، تنش خشکی طول ریشه اصلی را در اکثر ژنوتیپ‌ها نسبت به شاهد کاهش داد. نسبت ریشه به اندام هوایی در واکنش به تنش خشکی تا مرحله گل‌دهی افزایش یافت که به کاهش بیشتر رشد اندام‌های هوایی نسبت به ریشه‌ها در این مرحله مربوط می‌شود. ژنوتیپ‌ها به اقتضای الگوی رشدی در مراحل مختلف فنولوژی، واکنش‌های متفاوتی را نشان دادند و یک روند منطقی از نظر تغییر کمی صفات مورد بررسی میان ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بنابراین با توجه به نتایج این بررسی به نظر می‌رسد گزینش برای یک صفت در مرحله‌ای از فنولوژی گیاه بایستی انجام شود که صفت مذکور در آن مرحله دارای بیشترین اثرگذاری است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ریشه، نخود و نسبت ریشه به اندام هوایی

مقدمه

محیط‌های خشک می‌باشد، بیشترین بازده از نظر رشد و تولید محصول، زمانی حاصل می‌شود که از آب محدود موجود در خاک، حداکثر جذب صورت پذیرد. این خصوصیت تنها از طریق مکانیسم‌های سازگاری مرتبط با سیستم ریشه حاصل خواهد شد. Gregory (1988) بیان داشت در بقولات دانه‌ای، اولویت تخصیص مواد فتوسنتزی در مراحل اولیه رشد عموماً به سمت ریشه‌ها است تا اندام‌های هوایی و لذا بقولات در مرحله گیاهچه‌ای معمولاً از سیستم ریشه‌ای سنگین‌تری برخوردار هستند. از آنجایی که نسبت بالاتر ریشه به اندام‌های هوایی (اندام‌های جذب‌کننده آب نسبت به اندام‌های مصرف‌کننده) توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب متخصصان فیزیولوژی این نسبت را به عنوان یک معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌نمایند (Hussain et al., 2000; Gupta, 1984; Gregory, 1988).

در حال حاضر در اکثر نقاط دنیا، نخود (*Cicer arietinum* L.) به دلیل اهمیت راهبردی آن در تولید پروتئین‌های گیاهی کشت می‌شود. تنش‌های زنده و غیرزنده، محدودکننده‌ی رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از نقاط دنیا هستند و به همین دلیل اختلافات قابل توجهی در عملکرد این محصول در مناطق مختلف قابل مشاهده است. در شرایط اقلیمی خراسان، گیاهان کشت‌شده معمولاً در دوره رشد رویشی خود تحت تأثیر تنش خشکی متناوب قرار می‌گیرند و در مرحله رشد زایشی با تنش خشکی انتهایی و گرما به‌صورت توأم مواجه می‌شوند (Ganjeali & Nezami, 2008). از آنجا که آب قابل‌دسترس، عامل اصلی محدودکننده‌ی رشد در

* نویسنده مسئول: پُست الکترونیک: ganjeali@um.ac.ir

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه خصوصیات مربوط به ریشه در گیاه نخود، چهار آزمایش جداگانه در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این راستا، ۱۰ ژنوتیپ نخود با تنوع جغرافیایی مناسب از مجموعه ژنوتیپ‌های موجود در کلکسیون نخود مشهد انتخاب شدند (جدول ۱). به منظور سهولت مطالعه ریشه از نظر جمع‌آوری، شستشو و اندازه‌گیری صفات مربوط به آن، از شن شسته‌شده به عنوان بستر کاشت و از محلول غذایی هوگلند برای تغذیه گیاهچه‌ها استفاده شد.

در آزمایش اول (مرحله گیاهچه‌ای)، از لوله پلاستیکی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر به عنوان واحد آزمایشی استفاده شد و در آزمایش‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب مراحل گل‌دهی، تشکیل غلاف‌ها و پُرشدن دانه‌ها، از لوله‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. در هر واحد آزمایشی، چهار عدد بذر پس از ضدعفونی کشت شد که پس از سبز شدن، به دو گیاهچه تقلیل یافت. ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌جز در آزمایش اول که خصوصیات ریشه تنها در شرایط بدون تنش مورد بررسی قرار گرفت، در دو شرایط تنش خشکی و شاهد قرار گرفتند. در تیمار تنش خشکی میزان رطوبت خاک در طول آزمایش به اندازه ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد. کنترل میزان رطوبت از طریق توزین روزانه لوله‌های پلاستیکی شاهد که برای این منظور در نظر گرفته شده بودند و محاسبه کسری آب مورد نیاز تا ظرفیت زراعی (۱۷/۶۸ درصد رطوبت جرمی) و نیز ۲۵ درصد آن (۴/۴۱ درصد رطوبت جرمی)، انجام شد. با این میزان رطوبت در طول فصل رشد، هیچ‌گونه علایم ظاهری پژمردگی در گیاهان تحت تأثیر این تیمار مشاهده نشد. آزمایش اول به صورت بلوک‌های کامل تصادفی و آزمایش‌های بعدی هر یک جداگانه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. خصوصیات مورفولوژیکی ریشه در قالب آزمایش‌های جداگانه در هر یک از مراحل گیاهچه‌ای، گل‌دهی، تشکیل غلاف و پُرشدن دانه به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفت به‌طوری که گیاهان در هر آزمایش به دقت از لوله‌های پلاستیکی خارج و به دو بخش ریشه و اندام‌های هوایی تقسیم شدند. تمامی ریشه‌های هر گیاه به‌طور کامل و با حداقل آسیب‌دیدگی شسته و به منظور جلوگیری از پلاسیدگی، بلافاصله به یخچال منتقل

نتایج بررسی‌های انجام شده در ایکریست^۱ نشان داده است که رشد بیشتر ریشه‌ها و انشعابات آن در گیاهچه‌های نخود با مقاومت به خشکی گیاه ارتباط دارد (ICRISAT, 1990). مطالب زیادی در ارتباط با اهمیت تیپ ریشه در اصلاح برای مقاومت به خشکی بیان شده است. در این رابطه Gupta (1984) بیان داشت که گزینش برای بهبود بنیه ریشه‌های اولیه (ریشه‌های بذری)، یک صفت برای اصلاح مقاومت به خشکی است. او اهمیت تعداد ریشه‌های جنینی را به عنوان یک معیار مهم برای گزینش گیاهان مقاوم به خشکی مورد تأکید قرار داد. Singh et al. (2000) بیان داشتند گیاهانی که طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه^۲ و نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتری دارند نسبت به گیاهانی که این خصوصیات را کمتر دارا می‌باشند، مقاومت و تحمل بیشتری به کم‌آبی و تنش خشکی دارند.

اعتقاد اغلب متخصصان بر این است که در نخود حداکثر عمق ریشه، یک صفت ژنتیکی است (Singh & Saxena, 1993; Krishnamurthy, 2003)، در عین حال این صفت تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد (Gregory, 1988; Saxena, Bagheri et al., 1997; Pardo et al., 2000). Singh et al. (2000) در بررسی ۳۰ ژنوتیپ نخود در مرحله گل‌دهی، تنوع ژنتیکی زیادی را از نظر وزن خشک و توزیع ریشه‌ها در لایه‌ی ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک مشاهده کردند. Huang & Gao (2000) بیان داشتند که جذب کارآمد آب توسط ریشه، یک مشخصه مهم برای مقاومت به خشکی است. جذب آب توسط گیاه به اندازه‌ی ریشه (طول یا وزن)، فعالیت و توزیع آن در خاک بستگی دارد بنابراین به نظر می‌رسد برای فهم بیشتر مکانیزم‌های مقاومت و دستیابی به منابع ژنتیکی مورد نیاز در برنامه‌های اصلاحی، درک صفات مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی، ضروری است. به‌طور کلی در مورد ویژگی‌های ریشه بقولات، مطالعات بسیار کمی انجام شده است و لذا مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی تنوع موجود میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات ریشه، تغییرات کمی صفات در واکنش به تنش خشکی و نیز امکان استفاده از این صفات به عنوان معیارهایی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انجام شده است.

¹ International Crop Research Institute for the Semi - Arid Tropics (ICRISAT)

² Root length density

معنی‌داری داشتند (جدول ۲). طول ریشه اصلی (TL) از جهت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در افق‌های متفاوت خاک می‌تواند برای گیاه مفید باشد. دامنه تغییر این صفت در ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ۸/۶ سانتی‌متر بود به‌طوری که ژنوتیپ MCC405 با ۶/۸ سانتی‌متر، حداقل و ژنوتیپ MCC358 با ۱۵/۴ سانتی‌متر از حداکثر طول ریشه برخوردار بودند. ژنوتیپ MCC358 از نظر طول ریشه اصلی تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های MCC405، MCC447 و MCC126 داشت ($P < 0.05$) ولی اختلاف این ژنوتیپ با سایر ژنوتیپ‌ها از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۲). دامنه تغییر طول مجموع ریشه‌ها (TRL) بین ژنوتیپ‌ها ۵۲/۵ سانتی‌متر بود و یک اختلاف تقریباً ۲/۵ برابری بین بیشترین TRL و کمترین آنها مشاهده شد. بیشترین TRL متعلق به ژنوتیپ‌های MCC358 و MCC76 و کمترین آن به ژنوتیپ MCC447 تعلق داشت. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تعداد ریشه‌های جانبی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). بیشترین تعداد ریشه‌های جانبی در ژنوتیپ‌های MCC361 و MCC405 و کمترین آن در ژنوتیپ MCC126 مشاهده شد و یک اختلاف تقریباً ۲/۷ برابری از این جهت بین ژنوتیپ‌ها قابل مشاهده بود (جدول ۲). ژنوتیپ MCC405 که جزو ژنوتیپ‌های دارای بیشترین تعداد ریشه‌های جانبی بود از نظر طول ریشه اصلی بین ژنوتیپ‌ها دارای کمترین مقدار بود. به نظر می‌رسد این ژنوتیپ، عمق کمتر نفوذ ریشه‌های خود را از طریق افزایش تعداد ریشه‌های جانبی برای بهبود جذب آب و عناصر غذایی جبران نموده است. ژنوتیپ MCC358 که از نظر TL و TRL بیش از سایر ژنوتیپ‌ها بود از نظر RA و RV نیز این برتری را دارا بود. دامنه تغییر RA و RV در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر ۳/۵۶ سانتی‌مترمربع و ۰/۴۱ سانتی‌مترمکعب بود (جدول ۲). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد.

به نظر می‌رسد در مرحله گیاهچه‌ای تنوع کمتری را می‌توان در ویژگی‌هایی مانند وزن خشک ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی نسبت به سایر صفات مربوط به ریشه در میان ژنوتیپ‌ها پیدا کرد. با وجود این موضوع، تفاوت‌های معنی‌داری بین برخی از ژنوتیپ‌ها از نظر نسبت ریشه به اندام‌های هوایی وجود داشت. بیشترین مقدار نسبت ریشه به اندام هوایی به ژنوتیپ MCC30 و کمترین آن به ژنوتیپ MCC405 تعلق داشت (جدول ۲).

شدند. صفاتی مانند مجموع طول ریشه‌ها (TRL)^۱، تعداد ریشه‌های جانبی (NLR)^۲، سطح ریشه‌ها (RA)^۳ تنها در مرحله گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شد و صفاتی مانند طول ریشه‌ی اصلی (TL)^۴، حجم ریشه (RV)^۵، وزن خشک ریشه (RDW)^۶ و نسبت‌های بین وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام‌های هوایی^۷ و چگالی ریشه (نسبت وزن خشک ریشه به حجم ریشه)^۸ در هر چهار مرحله اندازه‌گیری و محاسبه شدند. سطح ریشه با استفاده از دستگاه دلتا تی اسکن^۹ تعیین شد و حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرارگیری ریشه در حجم مشخصی از آب محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزارهای آماری Mstat-C و Excel برای هر آزمایش به‌طور جداگانه انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($P < 0.05$) استفاده شد.

جدول ۱: ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش و محل جمع‌آوری آنها

Table 1. Genotypes were used and their region	
نام ژنوتیپ (نمونه)	توضیحات
Genotype name	Comments
MCC4	توده بومی نهبندان (Nehbandan land race)
MCC358	رقم کرچ (Karaj cultivar)
MCC76	توده بومی گناباد (Gonabad land race)
MCC392	توده بومی کرمانشاه (Kermanshah land race)
MCC30	توده بومی سبزوار (Sabzevar land race)
MCC361	رقم جم (Jam cultivar)
MCC405	توده بومی قائن (Gaen land race)
MCC447	توده بومی کلات (Kalat land race)
MCC426	توده بومی قزوین (Gazvin land race)
MCC126	نامشخص (Un known)

نتایج و بحث

مرحله گیاهچه‌ای

در این مرحله، ژنوتیپ‌های نخود از نظر ویژگی‌هایی مانند طول ریشه اصلی، مجموع طول ریشه‌ها، تعداد ریشه‌های جانبی، سطح ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه، تفاوت‌های

¹ Total Root Length (TRL)

² Number of Lateral Root (NLR)

³ Root Area (RA)

⁴ Taproot Length (TL)

⁵ Root Volume (RV)

⁶ Root Dry Weight (RDW)

⁷ Root Dry weight / Shoot Dry weight (Root / Shoot)

⁸ Root Dry Weight / Root Volume (RDW / RV)

⁹ Δ T Scan

جدول ۲- میانگین مقادیر مربوط به برخی خصوصیات ریشه در ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش اول (مرحله گیاهچه‌ای)

Table 2. Mean values for root characteristics of chickpea genotypes in first experiment (seedling stage)

ژنوتیپ Genotype	ریشه اصلی (سانتی متر) Tap root length (cm)	مجموع طول ریشه‌ها (سانتی متر) Total root length (cm)	تعداد ریشه‌های جانبی Number of lateral roots	سطح ریشه (سانتی متر مربع) Root area (cm ²)	حجم ریشه (سانتی متر مکعب) Root volume (cm ³)	وزن خشک ریشه (میلی گرم) Root dry weight (mg)	نسبت ریشه به اندام‌هوایی Root/Shoot	چگالی ریشه (گرم بر سانتی متر مکعب) RDW/RV (g/cm ³)
MCC4	8.60 a-c*	36.57 bc	10.89 bc	3.55 bc	0.35 bc	37 ab	0.87 bc	0.105 b
MCC358	15.38 a	80.77 a	16.13 ab	6.94 a	0.71 a	67 a	1.05 ab	0.094 b
MCC76	9.55 a-c	77.53 a	9.33 bc	5.90 a-c	0.56 a-c	54 ab	0.94 ab	0.096 b
MCC392	11.25 a-c	49.03 a-c	14.00 ab	4.30 a-c	0.41 a-c	38 ab	0.75 bc	0.092 b
MCC30	10.45 a-c	73.12 ab	13.33 ab	4.48 ab	0.56 a-c	56 ab	1.35 a	0.010 b
MCC361	10.50 a-c	75.78 ab	16.68 a	5.80 a-c	0.55 a-c	54 ab	0.94 ab	0.098 b
MCC405	6.75 c	44.85 a-c	16.33 a	3.89 bc	0.31 c	24 b	0.47 c	0.077 b
MCC447	6.75 c	28.22 c	9.70 bc	3.18 c	0.30 c	28 b	0.73 bc	0.093 b
MCC426	11.52 a-c	57.70 a-c	11.67 a-c	5.12 a-c	0.65 ab	46 ab	0.84 bc	0.070 b
MCC126	8.36 bc	46.13 a-c	6.33 c	4.74 a-c	0.36 bc	56 ab	1.21 ab	0.155 a

* میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha=0.05$.

خشکی قرار گرفتند ($P<0.05$). احتمالاً در شروع گل‌دهی (۷۵۰ درجه روز رشد) نیاز آبی کمتر گیاه به دلیل رشد و گستردگی کمتر اندام‌های هوایی و تعرق کمتر گیاه در این مرحله باعث شده است که تخلیه رطوبت خاک، کمتر صورت گیرد و در نتیجه کمبود رطوبت ایجاد شده در حد آستانه لازم برای تحریک رشد ریشه نباشد. از آنجایی که ریشه، نزدیک‌ترین اندام به منبع رطوبت خاک بوده و دیرتر از بخش‌های هوایی به تنش خشکی واکنش نشان می‌دهد، بنابراین تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه در این مرحله، معنی‌دار نیست. در مرحله تشکیل غلاف‌ها (پس از ۱۱۰۰ درجه روز رشد)، طول ریشه اصلی تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت ولی حجم و وزن ریشه گیاه تحت تأثیر تنش قرار گرفتند ($P<0.05$). رشد و توسعه گیاه، افزایش سطح تعرق‌کنندگی و به‌طور کلی افزایش نیاز آبی باعث تخلیه بیشتر رطوبت خاک می‌گردد. شاید راهبرد گیاه در این مرحله حفظ طول ریشه برای جذب بیشتر رطوبت و عناصر غذایی به هزینه کاهش وزن ریشه بوده است. تأثیر تنش خشکی در مرحله پُرشدن دانه‌ها بر تمامی صفات مربوط به ریشه، معنی‌دار بود ($P<0.05$).

در مرحله گل‌دهی اثر متقابل تنش و ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه اصلی نداشت ($P<0.05$). با وجود این موضوع اطلاعات حاصل از مقایسه میانگین طول ریشه اصلی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و شاهد (جدول ۳) نشان داد که برخی ژنوتیپ‌ها از نظر طول ریشه اصلی، واکنش‌های متفاوتی را نسبت به شرایط رطوبتی خاک نشان می‌دهند. به‌طور مثال ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC361 که برترتیب

اگرچه ژنوتیپ MCC30 با ۱/۳۵ برتری خود را از نظر این صفت نشان داد با این وجود ژنوتیپ MCC358 که از نظر سایر خصوصیات برتر بود با ۱/۰۵ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از جایگاه مناسبی برخوردار بود. از آنجایی که نسبت بالاتر ریشه به اندام‌های هوایی (اندام‌های جذب‌کننده آب نسبت به اندام‌های مصرف‌کننده) توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد، لذا اغلب متخصصان فیزیولوژی این نسبت را به عنوان یک معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌نمایند (Gupta, 1984; Gregory, 1988; Hussain *et al.*, 2000). مطالعات انجام شده در ایکریست (ICRISAT, 1990) نشان داده است که بین رشد بیشتر ریشه‌ها و انشعابات آنها (RDW، RV، NLR، TRL) در گیاهچه‌های نخود، با مقاومت به خشکی گیاه در مراحل بعدی رشد، ارتباط نزدیکی وجود دارد. بیشترین چگالی ریشه به ژنوتیپ MCC126 تعلق داشت که با سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری داشت. چگالی ریشه در سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲).

مرحله گل‌دهی تا پُرشدن دانه‌ها

با وجود این که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه و حجم ریشه نداشت، ولی در مرحله تشکیل غلاف‌ها، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و حجم آن داشت و در مرحله پُرشدن دانه‌ها تمامی صفات مربوط به ریشه تحت تأثیر تنش

با ۵۱/۷ و ۶۴/۰ سانتی‌متر دارای کمترین طول ریشه اصلی در شرایط تنش خشکی بودند در شرایط فراهمی رطوبت (شاهد) طول ریشه اصلی آنها به ۸۴/۰ و ۷۵/۵ سانتی‌متر افزایش یافت، در مقابل ژنوتیپ MCC447 که در شرایط تنش خشکی دارای طول ریشه اصلی معادل ۹۲/۳ سانتی‌متر بود در شرایط فراهمی رطوبت، طول ریشه اصلی آن به مقدار ۵۷/۵ سانتی‌متر کاهش یافت (جدول ۳). به‌طور کلی در این مرحله رشدی، طول ریشه اصلی در اغلب ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت و ژنوتیپ‌ها واکنش‌های مشابهی را به رژیم رطوبتی خاک نشان دادند. (Harris & Campbell (1989) در مطالعه عمق ریشه‌دهی در بقولات دانه‌ای از جمله نخود بیان داشتند که طول ریشه اصلی در یک دامنه گسترده‌ای از شرایط رطوبتی خاک، بسیار کم تغییر می‌کند. این محققان تأکید کردند حداکثر طول ریشه اصلی عمدتاً ژنتیکی است ولی عوامل محیطی ممکن است بیان کامل پتانسیل ژنتیکی را محدود نماید. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ در مرحله تشکیل غلاف‌ها بر طول ریشه اصلی معنی‌دار نبود ($P < 0.05$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها مؤید عکس‌العمل مشابه آنها به شرایط رطوبتی خاک می‌باشد (جدول ۴). در مرحله پُرشدن دانه‌ها اثر متقابل تنش و ژنوتیپ بر طول ریشه اصلی بسیار معنی‌دار بود ($P < 0.05$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مؤید این است که طول ریشه اصلی در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط فراهمی رطوبت نسبت به تنش خشکی افزایش یافته است. به نظر می‌رسد با افزایش مدت زمانی که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد و تنش را بیشتر تجربه می‌کند، شرایط محیطی حاکم بر گیاه قابلیت‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌ها را برای رشد، محدود و یا ضعیف‌تر می‌کند و در این شرایط، عوامل محیطی عمدتاً تعیین‌کننده ویژگی‌های ریشه خواهد بود. (Saxena (2003) در مطالعات خود روی نخود کابلی رقم ILC482 دریافت که عمق نفوذ ریشه تحت تأثیر رطوبت منطقه فعالیت ریشه قرار می‌گیرد. وی طول ریشه اصلی این رقم را در مناطق با بارندگی متوسط ۴۶۵ و ۳۲۰ میلی‌متر به ترتیب برابر ۱۰۵ تا ۱۲۰ و ۷۵ تا ۹۰ سانتی‌متر ذکر نمود. این محقق تأکید کرده است که در مراحل انتهایی رشد، معمولاً طول ریشه اصلی به عمق رطوبت خاک وابسته است. بنابراین شاید بتوان چنین استدلال نمود که در دوره‌های تنش خشکی متعادل و دوره‌های نه‌چندان طولانی تنش خشکی، پتانسیل ژنتیکی ارقام، تعیین‌کننده ویژگی‌های ریشه و از جمله طول ریشه اصلی خواهد بود ولی با طولانی‌تر شدن مدت و یا شدت تنش، شرایط محیطی مانع از بروز استعدادهای ژنتیکی ژنوتیپ‌ها شده و در این زمان عوامل محیطی عمدتاً

تعیین‌کننده ویژگی‌های ریشه خواهد بود. در مرحله تشکیل غلاف‌ها، تنش خشکی، وزن خشک ریشه و حجم ریشه را در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی کاهش داد. بیشترین وزن خشک ریشه و حجم ریشه به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC358 و MCC76 در شرایط فراهمی رطوبت تعلق داشت که تفاوت آن با همین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی، معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل از بررسی میانگین حجم و وزن خشک ریشه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و شاهد در مرحله پُرشدن دانه‌ها (جدول ۵)، بیشترین حجم ریشه متعلق به ژنوتیپ‌های MCC4 و MCC426 در شرایط فراهمی رطوبت و کمترین آن متعلق به ژنوتیپ MCC361 در تیمار تنش خشکی بود. ژنوتیپ‌های MCC4 و MCC361 در شرایط فراهمی رطوبت نیز از لحاظ وزن خشک ریشه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. به نظر می‌رسد بیشترین تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه در این مرحله‌ی رشدی است چرا که کاهش سطح برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به دنبال کاهش رطوبت در منطقه‌ی ریشه و به‌طور کلی به‌کارگیری مکانیزم‌های تحمل و مقاومت به خشکی توسط گیاه از یک طرف منجر به کاهش تولید و انتقال اسیمیلات به ریشه‌ها شده است و از طرف دیگر افزایش تقاضا برای دریافت مواد فتوسنتزی توسط دانه‌های در حال رشد باعث شده است که ویژگی‌هایی مانند حجم و وزن خشک ریشه به‌شدت تحت تأثیر قرار گیرند و از نظر کمی کاهش یابند.

بررسی نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه

تنش خشکی در مرحله‌ی گل‌دهی باعث افزایش معنی‌داری در نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه گیاه نخود شد ($P < 0.05$). میانگین نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه در ژنوتیپ‌ها به ترتیب از ۰/۸۳ و ۰/۱۴ در شرایط فراهمی رطوبت، به ۱/۱۳ و ۰/۱۸ در تیمار تنش خشکی افزایش یافت (داده‌ها نشان داده نشده است). در مرحله تشکیل غلاف‌ها نیز این روند وجود داشت به این ترتیب که میانگین نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه در ژنوتیپ‌ها از ۰/۷۱ و ۰/۱۴ در شرایط فراهمی رطوبت به ۰/۹۰ و ۰/۱۶ در تیمار تنش خشکی افزایش یافت اما این روند در مرحله پُرشدن دانه‌ها وجود نداشت و در این مرحله رشدی، تنش تأثیر معنی‌داری بر صفات فوق نداشت. مطالعات متعدد نشان داده است که تنش خشکی، نسبت ریشه به اندام هوایی را در غالب گیاهان افزایش می‌دهد و این

انتخاب طبیعی یا گزینش آگاهانه توسط بشر برای زراعت در مناطق دیم و حاشیه‌ای ایجاد شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌ها با توجه به پتانسیل‌ها و قابلیت‌های ژنتیکی خود برای تداوم این راهبرد یا توقف آن در مرحله خاصی از فنولوژی گیاه و یا تأثیرپذیری از عوامل محیطی به‌خصوص تنش خشکی، متفاوت عمل می‌نمایند. در این آزمایش در مراحل گیاهچه‌ای، گل‌دهی و تشکیل غلاف‌ها، تفاوت‌های معنی‌داری در نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (جدول ۲، ۳ و ۴)، اما در مرحله پُرشدن دانه‌ها ژنوتیپ‌ها عمدتاً از نظر صفات فوق، تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). دلیل احتمالی، راهبرد واحدی است که کم و بیش تمامی ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود از آن تبعیت می‌کنند و آن، تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال رشد و اختصاص کمتر به اندام‌های رویشی و به‌خصوص به ریشه‌ها و احتمالاً انتقال مجدد از اندام‌های رویشی مثل برگ‌ها، دم‌برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها به دانه‌های در حال رشد می‌باشد.

افزایش به کاهش بیشتر رشد اندام‌های هوایی نسبت به ریشه مربوط می‌شود. البته شواهدی بسیار زیادی وجود دارد که افزایش رشد ریشه‌ها را مستقل از اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی تأیید می‌کنند (Gupta, 1984; Krishnamurthy, 2003). در شرایط تنش، افزایش وزن ریشه از یک طرف و کاهش آماس سلولی در سلول‌های ریشه به دلیل محدودیت رطوبت (کاهش حجم) از طرف دیگر، از دلایل اصلی افزایش چگالی ریشه در تیمار تنش خشکی است. در مرحله گل‌دهی، تأثیر ژنوتیپ بر نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه‌ی گیاه نخود بسیار معنی‌دار بود ($P < 0.01$). اما در مرحله تشکیل غلاف‌ها تأثیر ژنوتیپ تنها بر نسبت ریشه به اندام هوایی معنی‌دار بود و در مرحله پُرشدن دانه‌ها ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر هیچ یک از صفات فوق نداشت. در بخش‌های قبلی به این موضوع اشاره شد که راهبرد گیاه نخود در مراحل اولیه رشد، اختصاص بیشتر مواد به ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی است. شاید این صفت در مسیر تکاملی گیاه و به‌صورت

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش دوم (مرحله گل‌دهی، پس از ۷۵۰ درجه‌روز رشد) در

شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت

Table 3. Mean values for root characteristics of chickpea genotypes in second experiment (flowering stage, after 750 GDD) in stress and non stress condition

چگالی ریشه (گرم بر سانتی‌مترمکعب) RDW/RV (g/cm ³)	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	حجم ریشه (سانتی‌مترمکعب) Root volume (cm ³)	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر) Tap root length (cm)	تیمار / ژنوتیپ Treatment / Genotype
تنش خشکی Drought Stress:					
0.19 ab	1.46 ab	427.7 ab	2.50 b-f	88.00 a-c*	MCC4
0.19 ab	1.07 b-d	549.2 ab	3.33 a-e	80.67 a-d	MCC358
0.22 a	1.56 a	469.3 ab	2.33 c-f	74.00 a-e	MCC76
0.17 a-d	1.08 b-d	426.8 ab	3.16 a-f	51.67 e	MCC392
0.19 ab	1.29 a-c	572.8 ab	3.83 a-d	83.00 a-d	MCC30
0.15 b-d	1.10 b-d	410.8 ab	3.00 b-f	64.00 a-e	MCC361
0.18 abc	1.03 b-e	383.2 ab	2.50 b-f	72.33 a-e	MCC405
0.18 abc	0.96 c-e	517.3 ab	3.33 a-e	92.33 a	MCC447
0.19 ab	0.99 c-e	544.0 ab	3.66 a-e	90.67 ab	MCC426
0.22 a	1.20 a-c	567.2 ab	3.42 a-e	90.00 ab	MCC126
فراهمی رطوبت Non Stress:					
0.12 b-d	0.58 ef	184.0 b	1.50 f	62.00 b-e	MCC4
0.16 a-d	0.96 c-e	576.7 ab	3.50 a-e	88.00 a-c	MCC358
0.14 b-d	1.14 a-d	507.3 ab	3.50 a-e	72.25 a-e	MCC76
0.12 b-d	0.51 f	308.5 ab	2.50 b-f	84.00 a-d	MCC392
0.11 c-d	0.91 c-f	470.8 ab	4.00 a-c	83.50 a-d	MCC30
0.14 b-d	0.68 d-f	351.5 ab	2.05 b-f	75.50 a-e	MCC361
0.15 b-d	0.84 c-f	317.5 ab	2.75 b-f	72.00 a-e	MCC405
0.10 d	0.59 e-f	306.3 ab	3.00 a-f	57.50 b-e	MCC447
0.14 b-d	0.97 c-e	634.8 a	5.75 a	92.75 a	MCC426
0.19 ab	0.99 c-e	525.5 ab	2.75 b-f	69.00 a-e	MCC126

*: میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha = 0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش سوم (مرحله تشکیل غلاف‌ها، پس از ۱۱۰۰ درجه روز رشد) در شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت

Table 4. Mean values for root characteristics of chickpea genotypes in third experiment (podding stage, after 1100 GDD) in stress and non stress condition

چگالی ریشه (گرم بر سانتی‌متر مکعب) RDW/RV (g/cm ³)	نسبت ریشه به اندام‌هوایی Root/Shoot	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume (cm ³)	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر) Tap root length (cm)	تیمار / ژنوتیپ Treatment /Genotype
تنش خشکی					
:Drought Stress					
0.10 c-f	0.55 de	265.5 ab	2.52 bc	96.37 ab*	MCC4
0.17 a-d	1.00 a-d	510.2 ab	3.13 bc	92.00 ab	MCC358
0.16 a-e	1.45 a	562.8 ab	3.35 bc	99.00 ab	MCC76
0.09 d-f	0.51 de	236.7 b	2.58 bc	94.05 ab	MCC392
0.14 a-f	0.87 b-e	370.3 ab	2.49 bc	97.17 ab	MCC30
0.21 a	1.02 a-d	507.8 ab	2.75 bc	96.00 ab	MCC361
0.14 a-f	1.26 ab	450.5 ab	3.00 bc	88.67 ab	MCC40
0.13 a-f	0.93 b-e	391.3 ab	2.83 bc	94.67 ab	MCC405
0.13 a-f	0.67 c-e	318.2 ab	2.63 bc	85.67 ab	MCC447
0.19 ab	1.11 a-c	515.2 ab	0.07 c	90.40 ab	MCC126
فراهمی رطوبت					
: Non Stress					
0.12 b-f	0.84 b-e	568.5 ab	4.77 a-c	99.67 ab	MCC4
0.11 b-f	0.88 b-e	674.3 a	8.00 ab	84.00 ab	MCC358
0.11 b-f	0.85 b-e	484.3 ab	10.67 a	75.75 b	MCC76
0.10 b-f	0.46 e	315.3 ab	3.067 bc	89.67 ab	MCC392
0.08 e-f	0.44 e	389.8 ab	4.52 ac	87.33 ab	MCC30
0.08 e-f	0.56 de	524.8 ab	7.00 ab	87.33 ab	MCC361
0.15 a-f	0.66 c-e	401.3 ab	3.83 a-c	90.67 ab	MCC405
0.18 a-f	0.93 b-e	521.5 ab	4.42 a-c	86.33 ab	MCC447
0.12 b-f	0.79 b-e	539.7 ab	6.60 a-c	87.00 ab	MCC426
0.07 f	0.50 de	583.3 ab	8.00 ab	106.0 a	MCC126

*: میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha=0.05$.

مطالعات دیگران (Gregory, 1988; Gupta, 1984; Singh *et al.*, 2000; Krishnamurthy *et al.*, 2003) چنین می‌توان استنباط کرد که نسبت‌های فوق در مرحله‌ی گل‌دهی و قبل از آن، بیشتر در کنترل عوامل درونی و استعداد ژنتیکی گیاه است. در این مرحله، عوامل محیطی به‌ویژه تنش خشکی به‌عنوان یک محرک برای بیان استعدادهای ژنتیکی گیاه در ارتباط با میزان اختصاص به ریشه‌ها و اندام‌های هوایی ایفای نقش می‌کنند. بنابراین در مرحله گل‌دهی به دلیل وجود تنوع در قابلیت‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌ها و نیز واکنش‌های متفاوت آنها به شرایط رطوبتی خاک، تفاوت‌های معنی‌داری را در نسبت‌های فوق شاهد هستیم. در ادامه‌ی مراحل فنولوژی گیاه و با شروع تشکیل غلاف‌ها و پُرشدن دانه‌ها، به تدریج نقش عوامل ژنتیکی و شرایط محیطی در میزان اختصاص به اندام‌های هوایی و ریشه کاهش یافته و احتمالاً شرایط فیزیولوژیکی حاکم بر گیاه، مستقل از عوامل محیطی (عوامل محیطی در این زمان، تسریع‌کننده‌ی مراحل فنولوژی گیاه خواهند بود)

بدیهی است که این روند تا رسیدن گیاه به مراحل پایانی رشد و بلوغ فیزیولوژیکی ادامه می‌یابد و در این شرایط، انتظار خواهیم داشت که نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه مرتباً با طی شدن مراحل فنولوژی گیاه، کاهش یافته و در موقع رسیدگی و برداشت به حداقل مقدار خود برسد.

(Krishnamurthy *et al.*, 2003) در مطالعات خود روی گیاه نخود، کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی را با رسیدن گیاه به مراحل انتهایی رشد گزارش داده و تأیید کردند که دلیل اصلی کاهش نسبت فوق، تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی به‌خصوص به دانه‌های در حال رشد در مقایسه با ریشه‌ها می‌باشد.

اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ، تنها در مرحله گل‌دهی تأثیر معنی‌داری بر نسبت ریشه به اندام هوایی و چگالی ریشه داشت ($P<0.01$). با ادامه فنولوژی گیاه، صفات فوق در هر دو شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت (شاهد) کاهش یافت که دلیل عمده‌ی آن همان‌طور که ذکر شد کاهش رشد ریشه در مقایسه با رشد اندام‌های هوایی می‌باشد. از نتایج این مطالعه و

ذکر شده احتمالاً از دلایل اصلی معنی‌دار نبودن اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ از نظر نسبت‌های فوق در مراحل انتهایی رشد می‌باشد.

تعیین‌کننده‌ی مسیر انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌ها از جمله به دانه‌های در حال پُرشدن می‌باشد. راهبرد اخیر، راهبرد واحدی است که اغلب گونه‌های گیاهی از جمله نخود آن را در مراحل نهایی رشد و رسیدگی اتخاذ می‌کنند. مجموعه عوامل

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش چهارم (مرحله پُرشدن دانه‌ها پس از ۱۶۵۰ درجه روز رشد) در شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت

Table 5. Mean values for root characteristics of chickpea genotypes in fourth experiment (seed filling stage, after 1650 GDD) in stress and non stress condition

چگالی ریشه (گرم بر سانتی‌متر مکعب) RDW/RV (g/cm ³)	نسبت ریشه به اندام‌هوایی Root/Shoot	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume (cm ³)	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر) Tap root length (cm)	تیماژ / ژنوتیپ Treatment / Genotype
تنش خشکی					
:Drought Stress					
0.09 b-d	0.54 a	171.3 a	1.92 ef	86.67 c-e*	MCC4
0.11 b-d	0.49 a	230.8 f	2.002 ef	53.67 f	MCC358
0.11 b-d	0.87 a	324.8 ef	2.752 ef	86.33 de	MCC76
0.11 b-d	0.57 a	238.7 f	2.17 ef	75.67 ef	MCC392
0.11 b-d	0.50 a	221.7 f	2.00 ef	93.00 c-e	MCC30
0.19 ab	0.49 a	234.7 f	1.75 f	87.67 d-e	MCC361
0.11 b-d	0.44 a	270.8 f	2.33 ef	86.33 c-e	MCC405
0.11 b-d	0.49 a	292.3 f	2.50 ef	87.33 c-e	MCC447
0.11 b-d	0.44 a	353.5 d-f	3.25 ef	67.99 c-e	MCC426
0.11 b-d	0.62 a	274.3 f	2.50 ef	92.97 c-e	MCC126
فراهمی رطوبت					
: Non Stress					
0.10 b-d	0.74 a	1360 a	13.00 a	95.00 c-e	MCC4
0.05 cd	0.40 a	944.2 bc	11.75 ab	125.5 a	MCC358
0.08 cd	0.84 a	655.7 bcd	9.87 abc	126.5 a	MCC76
0.14 a-d	0.75 a	652.5 bcd	7.12 b-d	111.5 a-c	MCC392
0.23 a	0.55 a	629.8 cde	4.87 d-f	102.5 b-d	MCC30
0.08 c-d	0.32 a	972.0 b	10.75 ab	105.0 a-d	MCC361
0.04 d	0.20 a	800.5 bc	8.00 b-d	113.0 a-c	MCC405
0.15 a-c	0.71 a	771.5 bc	8.75 a-c	114.0 a-c	MCC447
0.11 b-d	0.48 a	134.2 f	13.38 a	125.0 a	MCC426
0.14 a-d	0.53 a	655.0 bcd	6.00 c-e	119.5 ab	MCC126

*: میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha=0.05$.

ژنوتیپ‌هایی که نسبت ریشه به اندام هوایی آنها در ابتدای فصل برابر ۰/۰۵ بود، رطوبت ذخیره‌شده در منطقه‌ی ریشه آنها به دلیل رشد سریع‌تر و بیشتر اندام‌های هوایی نسبت به ریشه، سریع‌تر تخلیه شد و ژنوتیپ‌ها در مراحل بعدی رشد با تنش خشکی شدید مواجه شدند.

نتیجه‌گیری

معمولاً نخود در مناطقی کشت می‌شود که رطوبت خاک محدودکننده و با خشکی انتهایی فصل همراه است. زمین‌های این مناطق معمولاً از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نامناسب هستند. در چنین مناطقی سیستم ریشه‌ای مناسب برای جذب حداکثر آب محدود موجود در خاک می‌تواند در ثبات عملکرد مؤثر باشد. این خاصیت تنها از طریق

Singh *et al.* (2000) در مطالعه نسبت ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی اظهار داشتند که نسبت ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی نخود در مراحل اولیه رشد برابر ۰/۰۵ بود و این نسبت تا انتهای بلوغ فیزیولوژیک گیاه، تقریباً ثابت باقی ماند، اما در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، این نسبت در مراحل اولیه رشد بیش از ۰/۳۰ تا ۰/۳۵ بود و تا انتهای گل‌دهی، کاهش نامحسوسی پیدا کرد ولی پس از آن به تدریج تا بلوغ فیزیولوژیک به ۰/۰۵ کاهش یافت. این محققان تأکید کردند که نسبت ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های قرارگرفته در شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت، هر دو تا رسیدن گیاه به مرحله بلوغ کاهش یافتند و در موقع برداشت نسبت فوق در تمامی تیمارهای مورد بررسی برابر ۰/۰۵ بود. در این مطالعه

خشکی نقش عوامل ژنتیکی به تدریج کاهش یافته و عوامل محیطی نقش مؤثری در بروز استعدادهای ژنتیکی ژنوتیپ‌ها دارند. ژنوتیپ‌ها به اقتضای الگوی رشدی متفاوت در مراحل مختلف فنولوژی به‌ویژه پس از مرحله گل‌دهی، از نظر ویژگی‌های ریشه و اندام‌های هوایی، واکنش‌های متفاوتی را نشان دادند و یک روند منطقی از نظر تغییر کمی صفات مورد بررسی در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بنابراین در طراحی راهبردهای ژنتیکی برای غلبه بر اثرات تنش خشکی لازم است که تفاوت‌های ژنتیکی در الگوی رشد ریشه مورد توجه قرار گیرد و گزینش برای یک صفت خاص با توجه به شرایط محیطی در مرحله‌ای از فنولوژی گیاه انجام شود که صفت مذکور در آن مرحله دارای بیشترین تأثیرگذاری در رشد و عملکرد گیاه است.

مکانیسم‌های سازگاری مرتبط با ریشه و اندام‌های هوایی حاصل خواهد شد. در این بررسی نسبت ریشه به اندام هوایی گیاه در واکنش به تنش خشکی تا انتهای گل‌دهی، افزایش یافت که احتمالاً به کاهش بیشتر رشد اندام‌های هوایی نسبت به ریشه‌ها در این مرحله مربوط می‌شود ولی نسبت فوق در این مرحله در تیمار شاهد، تقریباً ثابت بود. با گذشت زمان، نسبت فوق در هر دو تیمار تا انتهای فصل کاهش یافت که دلیل اصلی آن اتخاذ راهبرد واحدی است که گیاهان تحت تأثیر هر دو تیمار آن را اتخاذ می‌نمایند و آن، اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی در مراحل پایانی رشد می‌باشد. بررسی‌ها در این مطالعه نشان داد در مراحل اولیه رشد (گل‌دهی و قبل آن) ویژگی‌های ریشه بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی است ولی با گذشت زمان و افزایش دوره تنش

منابع

1. Ali-khan, S.T., and Snoad, B. 1977. Root and shoot development in peas. I. Variability in seven root and shoot characters of seedlings. *Ann. Appl. Biol.* 85: 131-136.
2. Bagheri, A., Nezami, A., Ganjeali, A., and Parsa M. 1997. Chickpea, *Agronomy and Breeding*, Jahad Daneshgahi Mashhad Publisher (Translated).
3. Ganjeali, A., and Nezami, A. 2008. Ecophysiology and yield barriers in pulse crops. In: M. Parsa and A. Bagheri (Eds.). *Pulses*. Jahad Daneshgahi Mashhad Publisher, p. 522.
4. Gregory, P.J. 1988. Root growth of chickpea, faba bean, lentil and pea and effects of water and salt stresses. p. 857-867. In: R.J. Summerfield (Ed.). *World Crops: Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers.
5. Gupta, U.S. 1984. Crop improvement for drought resistance. *Curr. Agric.* 8: 1-15.
6. Harris, G.A., and Campbell, G.S. 1989. Automated quantification of roots using a simple image analyzer. *Agron. J.* 81: 935-938.
7. Huang, B., and Gao, H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivar. *Crop Sci.* 40: 196-203.
8. Hussain, M.M., Reid, J.B., Othman, H., and Gallagher, Y.N. 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptation to drought stress. *Field Crop Research* 23: 1-17.
9. ICRISAT. 1990. Annual Report. Patancheru. India. ICRISAT.
10. 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.
11. Neumann, P.M. 1995. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. *Crop Sci.* 35: 1258-1266.
12. Pardo, A., Amato, M., and Chiaranda, F.Q. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant growth and water distribution*. *Euro. J. of Agron.* 13: 39-45.
13. Saxena, M.P. 2003. *Management of Agricultural Drought: Agronomic and Genetic Options*. Science Publishers, INC.
14. Singh, K.B., and Saxena, M.C. 1993. *Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legume*. Johan Wiley and Sons Publisher.
15. 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. Hamburg-Germany. p. 230.

Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress

Ganjeali^{1*}, A. & Bagheri², A.

1- Contribution from Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

2- Contribution from College of Agriculture & Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 22 July 2009

Accepted: 5 January 2010

Abstract

In dry region, root systems play a major roll in controlling plant growth and yield due to their importance in absorbtion of water and nutrients. In order to evaluate the morphological characteristics of root chickpea and obtaining proper morphological makers for screening drought resistant genotypes, four experiments were conducted in different phenological stages of growth including, seedling, flowering, podding and seed filling stages. Ten conventional Iranian genotypes of chickpea with different geographical regions were selected from Mashhad Chickpea Collection. Except in seedling stage, genotypes were grown in drought stress (25% field capacity) and control (field capacity) conditions. Experiments were arranged in a factorial based on randomized complete block design with three replications. In seedling stage, significant differences were found among genotypes for root traits. The value of RA, RV, RDW and TRL was highest in MCC358 genotype, however R/S ratio was highest in MCC30 genotype. Despite that drought and genotype intraction had not significant effects on tap root length in flowering and podding stages but in seed filling stage, drought stress decreased tap root length significantly compared to control. R/S ratio increased up to flowering stage in response to drought stress. This result was related to decrease in shoot growth compared to the root. We didn't find uniform changes for root traits at different growth stages among the genotypes for introducing high performance genotypes throughout the growing season. So, in order to screen, selection must be done at the phenology of growth, which is most effective.

Key word: Chickpea, Drought stress, Root, Root/Shoot ratio

*Corresponding Author: E-mail: ganjeali@um.ac.ir, Tel.: 0511-8788216, Fax: 0511-8787670