

مطالعه خصوصیات ریشه و اندام‌های هوایی لاین‌های حساس و متحمل

نخود زراعی (*Cicer arietinum*) در پاسخ به تنش رطوبتیماندا صفوی^۱، سعید ملک‌زاده شفارودی^{۲*}، علی گنجعلی^۳ و عبدالرضا باقری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- به ترتیب استادیار و استاد گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۲۵

چکیده

خشکی، از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده در تولید نخود زراعی است که اختلاف قابل‌توجهی میان پتانسیل تولید و مقدار واقعی آن ایجاد می‌کند. برای ارزیابی اثرات خشکی بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه خصوصاً در ریشه و اندام‌های هوایی، چهار ژنوتیپ شامل دو ژنوتیپ متحمل (ICC4958 و MCC696)، یک ژنوتیپ حساس (MCC759) و یک رقم محلی با نام جم (MCC361)، در سه زمان نمونه‌گیری (پیش از تنش، پس از اعمال تنش در زمان آغاز گل‌دهی و دوره بازیابی گیاه در اولین آبیاری پس از ۱۰ روز اعمال تنش) در قالب سه تکرار، مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفتند. نتایج کلی حاکی از آن بود که مقاومت یا حساسیت به خشکی با تخصیص و تسهیم محصولات فتوسنتزی به اندام‌های مختلف در طول دوره‌ی رشد و دوره‌ی تنش تعیین گردیده و تخصیص نابه‌جا و بیشتر این محصولات به اندام‌های هوایی آن‌چنان‌که در رقم حساس به طور معنی‌داری مشاهده شد، عامل تعیین‌کننده‌ای در حساسیت آن به خشکی در مقایسه با لاین‌های متحمل بود. به نظر می‌رسد که افزایش نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه، تحت شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش در هدررفت آب از طریق سطح تعرق‌کننده‌ی کمتر، منجر به افزایش تحمل در لاین‌های ICC4958 و MCC696 گردید.

واژه‌های کلیدی: تخصیص ماده خشک، تنش رطوبتی، صفات ریشه

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) گیاهی است یک‌ساله، خودگرد افشان و دیپلوئید ($2n=2x=16$) که از نظر اهمیت در میان بقولات، رتبه سوم دنیا و جایگاه نخست آسیا و مناطق شمال آفریقا را دارا می‌باشد (Malhotra & Saxena, 2002). در میان کلیه‌ی محصولات دانه‌ای جهان، نخود زراعی رتبه‌ی پانزدهم را به خود اختصاص داده است. این محصول، در بین بقولات، پس از لوبیا بیشترین سطح زیرکشت جهانی را دارا بوده (Millan *et al.*, 2006) و در دامنه‌ی وسیعی از شرایط آب و هوایی، از نواحی نیمه‌گرمسیری شبه‌قاره‌ی هند و شمال شرقی استرالیا تا مناطق مدیترانه‌ای حوزه‌ی مدیترانه،

غرب آسیا، شمال آفریقا و جنوب و جنوب غربی اروپا کشت می‌شود (Siddique *et al.*, 1999). سطح زیرکشت آن در بیش از ۴۲ کشور جهان، حدود ۱۱ میلیون هکتار و تولید سالیانه آن، بالغ بر نه میلیون تن گزارش شده است (Saxena, 2005). دلیل اهمیت این محصول، دارا بودن منابع غنی و ارزان قیمت پروتئین گیاهی در مقایسه با پروتئین‌های حیوانی ذکر شده است. بذر نخود حاوی ۳۰-۲۰٪ پروتئین، ۴۰٪ کربوهیدرات و تنها ۳-۶٪ روغن می‌باشد. علاوه بر این، منبع غنی عناصر معدنی نظیر Ca, Mg, K, S, Fe, Zn و Mn نیز به‌شمار می‌رود. تولید کاروتنوئیدهای سودمندی مانند β -کاروتن و همین‌طور قابلیت تثبیت نیتروژن از دیگر دلایل اهمیت این گیاه می‌باشد (Millan *et al.*, 2006).

تنش‌های زیستی و غیرزیستی سالانه منجر به افت شدید عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر دنیا می‌گردند. در این میان، نقش تنش‌های غیرزیستی حدود ۷۰ درصد و میزان

* نویسنده مسئول: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، کد پستی: ۹۱۷۷۹-۴۸۹۷۸
تلفکس: ۰۵۱۱۸۷۹۶۸۴۱، پست الکترونیک: malekzadeh-s@um.ac.ir

اندام‌های هوایی و شاخص برداشت، رابطه‌ی مستقیمی با عملکرد اینبرد لاین‌های حاصل دارند (Serraj *et al.*, 2004). در آزمایش دیگری، صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه، طول و تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد برگ، تعداد گل و تعداد غلاف در طول دوره‌ی رشد در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه نخود تحت شرایط تنش و کنترل اندازه‌گیری شد که برای تمامی این صفات، تفاوت معنی‌داری در مراحل اولیه‌ی اعمال تنش خشکی بین ژنوتیپ‌های مختلف مشاهده شد. با گذشت زمان و بروز اثرات خشکی در پایان فصل رشد، بین صفات در سطوح مختلف خشکی نیز تفاوت‌های معنی‌داری آشکار شد. برتری سطوح بدون تنش در طول فصل رشد در مورد این صفات همواره برقرار بود و در مورد هر صفت، بین ژنوتیپ‌ها تنوع زیادی دیده شد. تسریع در گل‌دهی و غلاف‌دهی در شرایط تنش نسبت به شرایط عدم تنش در اکثر ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید (Masoomi *et al.*, 2005). کاملاً طبیعی است که گیاه به منظور سازش با شرایط نامساعد محیطی، واکنش‌هایی را در سطح مورفولوژیک نسبت به تنش بروز دهد (Bhattarai & Fetig, 2005) و از آنجا که وجود سیستم ریشه‌ی قوی و گسترده تا حدود زیادی باعث افزایش تحمل و مقاومت گیاه نسبت به شرایط خشکی می‌گردد (Serraj *et al.*, 2003)، به نظر می‌رسد که گیاهان مقاوم، با کاهش سطح اندام‌های هوایی و افزایش نسبت ریشه به کل گیاه، قادر به تحمل شرایط نامساعد تنش می‌گردند.

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی اثرات تنش خشکی بر روی برخی از مهم‌ترین خصوصیات مورفوفیزیولوژیک با تأکید بر مطالعه‌ی ریشه در مقایسه با اندام‌های هوایی بود. این کار با مطالعه‌ی چهار ژنوتیپ مختلف نخود با درجات متفاوتی از تحمل به خشکی تحت شرایط تنش، به منظور تعیین و تفسیر رابطه‌ی احتمالی میان این صفات با تحمل گیاه به تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایشی

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاهان حساس و متحمل نخود زراعی، چهار ژنوتیپ مختلف شامل MCC877 (ICC4958)، MCC361 (جم)، MCC696 و MCC759، انتخاب شدند و بذور آن‌ها از بانک بذر حبوبات دانشگاه فردوسی (Mashhad Chickpea Collection; MCC) تأمین گردید. لاین دسی MCC877 با نام بین‌المللی ICC4958، به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ نخود

تأثیرگذاری تنش‌های زیستی حدود ۳۰ درصد برآورد شده‌است. در میان تنش‌های غیرزیستی مؤثر بر کاهش عملکرد نخود زراعی، نقش تنش خشکی و در مورد اثرات زیستی کاهنده‌ی عملکرد این محصول، نقش بیماری پژمردگی فوزاریومی پُراهمیت‌تر از سایرین گزارش شده‌است (Hussain, 2006).

خشکی، سرما و شوری، محرک‌های تنش‌زای غیرزیستی می‌باشند که به علت تأثیر چندجانبه و بسیار گسترده بر گیاهان، موجب وارد آمدن خسارات اقتصادی شدید به محصولات کشاورزی می‌شوند. تأثیر هر یک از محرک‌های غیرزیستی، از طریق اثرگذاری بر میزان آب گیاه و دسترسی گیاه به آن، چه در سطح سلول و چه در سطح کل گیاه می‌باشد که واکنش‌های تخصصی و غیرتخصصی، آسیب‌ها و تأثیر بر سازگاری گیاه را در پی دارد. میزان کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی، بیش از سایر تنش‌ها گزارش شده‌است. از دیدگاه زراعی، خشکی مهم‌ترین تنش غیرزیستی است که اُفت شدید عملکرد را در محصولات کشاورزی موجب می‌شود. میزان اُفت عملکرد محصول نخود زراعی در نتیجه‌ی تنش خشکی بین ۵۰-۱۴٪ (Saxena *et al.*, 2005) و عموماً بین ۲۵-۲۰٪ گزارش شده‌است (Tuberosa & Salvi, 2004).

در اغلب نقاط ایران، کشت نخود غالباً به صورت دیم و در اوایل فصل بهار انجام می‌گیرد. در این شرایط، به دلیل کمبود بارش و رطوبت و نیز افزایش درجه‌حرارت در طول دوره‌ی رشد گیاه و به ویژه تخلیه‌ی رطوبت خاک در اواخر بهار و در نتیجه، مواجه شدن دوره‌ی زایشی گیاه با تنش خشکی و گرما، عملکرد عموماً پایین و فاقد ثبات می‌باشد. بیشترین خسارت ناشی از کاهش عملکرد حاصل از تنش خشکی، به همزمانی دوره‌ی تنش با مرحله گل‌دهی گیاه باز می‌گردد (Mantri *et al.*, 2007).

وجود سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده در گیاه نخود، با مقاومت این گیاه نسبت به تنش خشکی مرتبط است. در بررسی که به منظور تعیین صفات ریشه در ۲۵۷ لاین اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی لاین مقاوم به خشکی ICC4958 (دارای سیستم ریشه‌ای گسترده) با واریته مطلوب زراعی ICC1882 انجام گرفت، مشخص شد که تنوع ژنتیکی معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های جمعیت مورد بررسی برای صفات چگالی طول ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی، پس از گذشت ۳۵ روز از کاشت و برای وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه در زمان رسیدگی وجود داشت. در این بررسی، هیچ همبستگی بین عملکرد دانه و میزان رشد ریشه دیده نشد اما مشخص شد که میزان ماده‌ی خشک

متحمل می‌شود (Mantri et al., 2007) اعمال تنش خشکی به گیاهان، در مرحله گل‌دهی صورت پذیرفت. پیش از اعمال تنش خشکی، گلدان‌ها روزانه توزین شده و وزن آن‌ها به صورت ثابت در حالت FC ۸۰٪ (حالت آبیاری کامل) نگه داشته شد. مشاهده نخستین گل در هر ژنوتیپ، به عنوان مشخصه‌ای برای آغاز تنش در نظر گرفته شد. در هر ژنوتیپ، به محض مشاهده‌ی نخستین گل باز، اعمال تنش خشکی (FC ۲۵٪) برای گیاهان آن ژنوتیپ، از طریق توزین گلدان‌ها آغاز شد و برای مدت ۱۰ روز ادامه یافت. در تمام این مدت، آبیاری گیاهان کنترل به صورت کامل (FC ۸۰٪)، ادامه داشت. پس از گذشت دوره‌ی تنش، گیاهان تنش دیده در روز دهم وارد مرحله‌ی بازیابی شده و مجدداً آبیاری شدند.

بررسی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک در ریشه و اندام‌های هوایی
این خصوصیات در ژنوتیپ‌های منتخب، در سه مرحله، درست پیش از اعمال تنش خشکی، ۱۰ روز پس از اعمال تنش و ۱۰ روز پس از مرحله‌ی بازیابی گیاهان، صورت گرفت. بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌هایی همچون ارتفاع ساقه‌ی اصلی، سطح برگ، تعداد انشعاب، وزن خشک کل اندام‌های هوایی، عمق ریشه، حجم ریشه، قطر ریشه، سطح ریشه و وزن خشک کل ریشه، اغلب به صورت تخریبی بر روی بوته‌ها صورت پذیرفت. به منظور تعیین شاخص سطح برگ، آنالیز تصویری سیستم WinDias-2.0 به کار برده شد. وزن خشک ساقه و برگ‌ها (اندام‌های هوایی) با به کارگیری آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۸ ساعت) اندازه‌گیری شد. بخش زیرزمینی بوته، با ملایمت با آب جاری شستشو داده شد تا کل ریشه با حداقل آسیب، استحصال گردد. برای اندازه‌گیری حجم ریشه، از استوانه‌ی مدرج حاوی آب و تعیین تغییر حجم آب، با وارد شدن کامل ریشه استفاده شد. برای محاسبات مربوط به قطر، طول و سطح کل ریشه نیز از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده (متیلن بلو)، پس از چند بار اسکن شدن استفاده شد. وزن خشک کل ریشه همچون ساقه اندازه‌گیری گردید و نسبت وزن خشک کل ریشه‌ها به وزن خشک کل گیاه (R/T)، به عنوان شاخصی که توزیع بیوماس گیاه در اندام‌های هوایی و زیرزمینی را روشن می‌کند (Kashiwagi et al., 2007)، محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با کمک نرم‌افزار MiniTab-14.17 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح معنی‌داری ۵٪ و به کمک آزمون توکی (HSD) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های

نسبت به تنش خشکی شناخته می‌شود (Millan et al., 2006). ژنوتیپ نیمه‌حساس MCC361 با نام زراعی جم در بررسی جاری به عنوان رقم شاهد مورد استفاده قرار گرفت. دو لاین دیگر MCC696 و MCC759، به ترتیب ژنوتیپ‌های کاندیدای بومی مقاومت به تنش خشکی و با حساسیت نسبت به آن می‌باشند که پیش‌تر طی آزمایشاتی به عنوان کاندیداهای بومی مقاومت و حساسیت معرفی شده بودند (Ganjeali et al., 2009). در آزمایشات مذکور، شاخص‌های کمی مقاومت و حساسیت نسبت به تنش خشکی محاسبه شده و از نتایج آن‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای تحقیق جاری بهره گرفته شد. ژنوتیپ MCC696 که از نظر شاخص‌های مقاومت و پاسخ به خشکی ($DRI > 3.8$) برتر از سایرین بود، به عنوان کاندیدای مقاومت به خشکی و ژنوتیپ MCC759، با دارا بودن ضعیف‌ترین شاخص‌ها، به عنوان کاندیدای حساسیت نسبت به تنش خشکی معرفی شدند (Ganjeali et al., 2009). بذور یکنواخت انتخابی به مدت چند ساعت پیش از کاشت، به منظور تسهیل جوانه‌زنی، در محیط مرطوب قرار داده شده و برای مدت ۱۵ دقیقه نیز در محلول کربوکسی تیرام ضد عفونی شدند.

از خاکی مناسب (۶۰٪ خاک باغچه و ۴۰٪ ماسه بادی) جهت کشت استفاده شد. از آنجا که مسیرهای پاسخ به سیگنال‌های خشکی و شوری در بسیاری از موارد هم‌پوشانی دارند، نمونه‌ای از این خاک، پیش از پُر کردن گلدان‌ها از نظر هدایت الکتریکی ($EC < 4$) مورد ارزیابی قرار گرفت تا از عدم شوری آن اطمینان حاصل گردد. برای کاشت از ۷۲ گلدان مشابه استفاده شد. وزن هر گلدان با گرانول و خاک، به دقت جهت اندازه‌گیری‌های بعدی تعیین و به وزن ۳ کیلوگرم رسانیده شد. طرح آزمایشی اسپیلیت پلات فاکتوریل در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. کرت‌های اصلی شامل تنش و کنترل (عدم وجود تنش) بودند که در این آزمایش تنش خشکی معادل حفظ ۲۵٪ ظرفیت زراعی (Field Capacity) و شرایط نرمال معادل حفظ ۸۰٪ ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی شامل ژنوتیپ‌ها (چهار ژنوتیپ) و زمان‌های نمونه‌برداری (در سه سطح) بودند. پس از سبز شدن تمام گیاهان و پیش از ورود به مرحله گل‌دهی، تمام گلدان‌ها هم‌زمان تُنک شده و تنها دو بوته در هر گلدان نگاه داشته شد.

در بررسی جاری، اعمال تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی صورت گرفت. لذا پیش از کاشت، ظرفیت زراعی به صورت دقیق بر روی گلدان‌های مشابه، تعیین شد. همچنین از آنجا که گیاه، در مرحله گل‌دهی بیشترین حساسیت را نسبت به تنش خشکی دارا می‌باشد و بیشترین آسیب را در این مرحله

مورفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف نخود تحت شرایط تنش خشکی، داده‌های حاصل از سه تکرار، روی مهم‌ترین صفات مورد آزمون، تجزیه واریانس گردید و مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده از این تجزیه و مقایسات میانگین مربوط به برخی از خصوصیات مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- (a) نتایج تجزیه واریانس برای واریانس شده اثرات اصلی و متقابل به تفکیک هر یک از صفات مورد بررسی (b) مقایسات دوبروی میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵٪

Table 1. (a) Results of the analysis of variance for the main effects and interactions on studied morphophysiological traits (b) Pairwise comparisons of the means based on tukey's test in $\alpha = 0.05$

(a) اثرات اصلی و متقابل Main effects / interactions	MS(adjusted)					
	حجم ریشه Root volume	مجموع طول ریشه Total root length	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	سطح کل برگ Total leaf area	وزن خشک ریشه به وزن خشک کل Root/Total
تنش Stress (main plot)	21.989 *	91290675 *	0.3451 *	0.3192 *	1683 ns	0.0051 ns
ژنوتیپ Genotype	113.913 **	182893398 **	0.1249 ns*	0.6671 **	14140 **	0.0277 **
مرحله زمانی Time stages	346.005 **	1512151780 **	0.8306 **	1.1349 **	32860 **	0.0131 ns
ژنوتیپ × زمان Gen. × Time	41.664 **	86679369 **	0.1367 ns	0.2063 **	2933 **	0.0045 ns
ژنوتیپ × تنش Stress × Gen.	6.304 ns	8594370 ns	0.0817 ns	0.006 ns	321 ns	0.0020
تنش × زمان Stress × Time	27.468 *	38268399 ns	0.0982 ns	0.1472 *	311 ns	0.0001 ns
تنش × ژنوتیپ × زمان Stress × Gen. × Time	9.882 ns	7567633 ns	0.2451 *	0.0457 ns	527 ns	0.0093 ns

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

ns, * and **: Not Significant, significant at $\alpha = 0.05$ & $\alpha = 0.01$, respectively.

- لازم به یادآوری است به‌دلیل وجود محدود گلدان‌های از دست رفته در برخی موارد، درجه آزادی خطای فرعی آزمایش (subplot) در آزمون، بین ۴۱ تا ۴۴ متفاوت بوده است. همچنین جهت ارائه تفسیر دقیق‌تر از اثر سایر تیمارها، اثر متقابل سه‌گانه در شرایط غیرمعنی‌دار، با خطای فرعی آزمایش پولد گردید.

(b)

اثرات اصلی و متقابل Main effects / interactions	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	مجموع طول ریشه Total root length	سطح کل برگ Total leaf area	وزن خشک ریشه به وزن خشک کل Root/Total
ژنوتیپ Genotype						
1. MCC759 (کاندیدای حساس)	10.738 c*	0.8146 b	1.1819 b	19941 b	127.66 b	0.3809 a
2. MCC361 (نیمه‌حساس - شاهد جم)	10.528 c	0.5753 ab	1.0057 b	19974 b	89.27 a	0.3559 a
3. MCC696 (کاندیدای متحمل بومی)	7.908 b	0.6977 ab	0.8150 a	17080 ab	64.30 a	0.4459 b
4. MCC877 (متحمل بین‌المللی)	5.389 a	0.5393 a	0.7360 a	13445 a	68.27 a	0.4151 a
سطوح تنش Stress levels						
1. Non stress (بدون تنش - شاهد)	9.271 b	0.6987 a	1.0042 b	18682 b	92.37 a	0.4096 a
2. Stress (تنش)	8.010 a	0.6148 a	0.8651 a	16538 a	82.38 a	0.3894 a
مرحله زمانی Time stages						
1. Pre-stress (شاهد)	6.160 a	0.4843 a	0.7159 a	26788 c	61.63 a	0.3975 a
2. Stress (تنش)	6.646 a	0.5724 a	0.9251 b	11188 a	69.55 a	0.3846 a
3. Recovery (بازیابی)	13.116 b	0.9135 b	1.1629 c	14854 b	130.95 b	0.4164 a

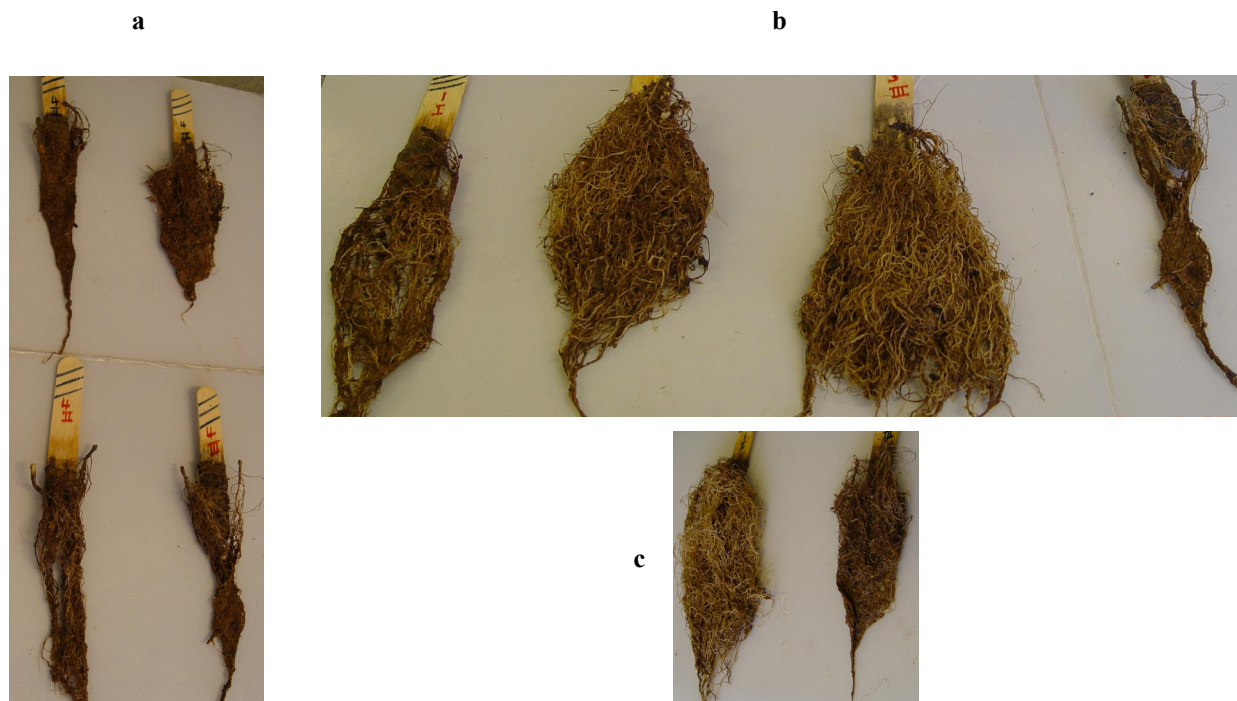
*Means with a letter in common are not significantly different.

* میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

حجم ریشه

تجزیه واریانس صفت حجم ریشه نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی ($P < 0.000$)، سطوح تنش ($P < 0.043$) - تنش ۲۵٪ ظرفیت زراعی و شاهد بدون تنش)، زمان نمونه‌گیری ($P < 0.000$) و اثرات متقابل بین ژنوتیپ و زمان نمونه‌گیری ($P < 0.000$) و سطوح تنش و زمان نمونه‌گیری ($P < 0.023$) از لحاظ این صفت وجود دارد. مقایسه میانگین میان ژنوتیپ‌ها حاکی از اختلاف معنی‌دار بین هر جفت ژنوتیپ، جز میان MCC361 و MCC759 بود که البته این شباهت میان ژنوتیپ‌های حساس و نیمه‌حساس، به‌دلیل

نوع واکنش به شرایط تنش، تا حدودی قابل پیش‌بینی بود. عدم وجود اختلاف معنی‌دار میان مراحل قبل و بعد از اعمال تنش، حاکی از عدم تغییر جدی در حجم ریشه، طی مرحله‌ی اعمال تنش بود چرا که آن‌ها قادر به جذب آب بیشتر و توسعه‌ی رویشی ریشه نبودند. اگر چه، بین سه مرحله نمونه‌گیری، در کل اختلاف معنی‌داری ثبت گردید. نکته جالب آن‌که در دوره‌ی بازیابی گیاه، حجم ریشه افزایش چشم‌گیر و معنی‌داری در تمام ژنوتیپ‌ها، غیر از ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی (ICC4958) نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه حجم ریشه در چند مورد از نمونه‌های تیمار شده از ژنوتیپ‌ها:

(a) مقایسه حجم ریشه در ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی (ICC4958) در دوره‌ی بازیابی بین نمونه‌های کنترل بدون تنش (بالا) و نمونه‌های تنش‌دیده (پایین)

(b) مقایسه حجم ریشه در میان چهار ژنوتیپ مورد بررسی در نمونه‌های تنش‌دیده در دوره بازیابی

(از چپ به راست به ترتیب MCC696، MCC361، MCC758 و ICC4958)

(c) مقایسه‌ی حجم ریشه ژنوتیپ MCC696 (چپ) و ICC4958 در شرایط بدون تنش

Fig. 1. Comparison of root volume among some of the studied treatments:

a) In recovery stage among stress treated samples (down) and control (up) in ICC4958

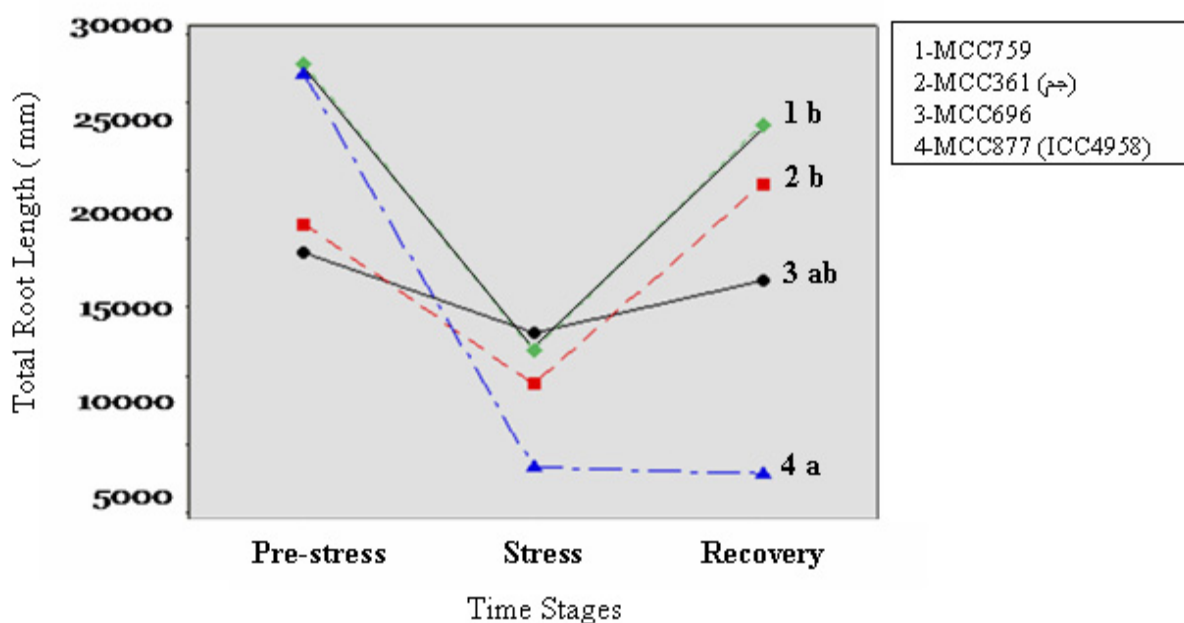
b) Among the genotypes (MCC696, MCC361, MCC758 and ICC4958, respectively) in recovery stage of stress treated samples

c) Between MCC696 (left) and ICC4958 in non-stress condition (control)

مجموع طول ریشه‌ها

مجموع طول ریشه‌ها در هر چهار ژنوتیپ مورد مطالعه، روند کاهشی شدیدی را در زمان مواجهه با تنش و روند افزایشی معنی‌داری را در تمامی ژنوتیپ‌ها، به جز ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی، در دوره بازیابی آشکار ساخت. آن‌طور که از نتایج آنالیز واریانس داده‌های مرتبط با مجموع طول ریشه‌ها استنباط شد، تفاوت معنی‌داری در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش ($p < 0.000$)، زمان‌های نمونه‌برداری ($p < 0.000$)، سطوح تنش ($p < 0.038$) و اثر متقابل ژنوتیپ در زمان نمونه‌گیری ($p < 0.001$) وجود داشت. با استفاده از آزمون مقایسه میانگین مشخص گشت که وجود تفاوت در سطوح مختلف ژنوتیپ، تنها به تفاوت میان ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی با سایر ژنوتیپ‌های حساس، نیمه‌حساس و متحمل بومی مرتبط بود درحالی‌که در

سایر جفت ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری دیده نشد. همچنین تفاوت میان تمام سطوح مورد مطالعه‌ی دیگر (زمان نمونه‌گیری و تنش) بسیار معنی‌دار بود به این صورت که کاهش شدیدی در مجموع طول ریشه در زمان مواجهه با تنش و روند افزایشی معنی‌داری نیز بلافاصله پس از برطرف شدن شرایط تنش، در کلیه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. تفاوت روند رفتاری ژنوتیپ ICC4958 در دوره‌ی بازیابی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بسیار تأمل برانگیز می‌باشد. در این ژنوتیپ، با وجود دریافت آب کافی پس از برطرف شدن تنش، در مجموع طول ریشه‌ها روند افزایشی‌ای دیده نشد درحالی‌که این روند افزایشی در ریشه‌های سایر ژنوتیپ‌ها، به محض دریافت آب، به صورت چشم‌گیری مشاهده شد (شکل ۲).



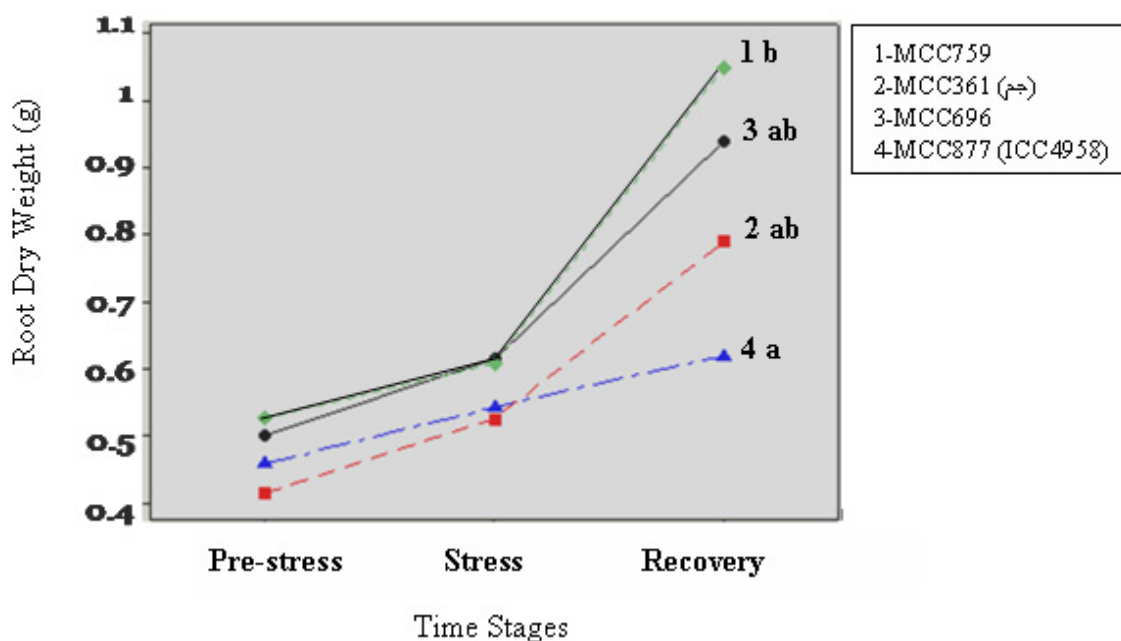
شکل ۲- تغییرات مجموع طول ریشه‌ها در ژنوتیپ‌های مختلف پیش از اعمال تنش خشکی، به هنگام مواجهه با تنش و در دوره‌ی بازیابی

Fig. 2. Total root length variation in different studied genotypes in pre-stress, stress and recovery stages

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه در کلیه ژنوتیپ‌ها همواره روند افزایشی مشخصی را نشان داد. تجزیه واریانس، میزان این افزایش را در دوره‌ی بازیابی بیش از دوره‌ی تنش تعیین کرد در صورتی‌که تفاوت چندان معنی‌داری بین انواع ژنوتیپ مشاهده نشد اما در هر حال تفاوت بین دو سطح تنش ($P < 0.018$) و تفاوت بین

سه سطح زمان نمونه‌برداری ($p < 0.000$) معنی‌دار بود. آزمون مقایسه میانگین، این معنی‌داری را به تمام سطوح به غیر از سطوح اول و دوم زمان نمونه‌برداری، نسبت داد. روند افزایشی این صفت، از تخصیص بیوماس برای تکمیل رشد رویشی گیاه به تناسب حضور آب حکایت دارد (شکل ۳).



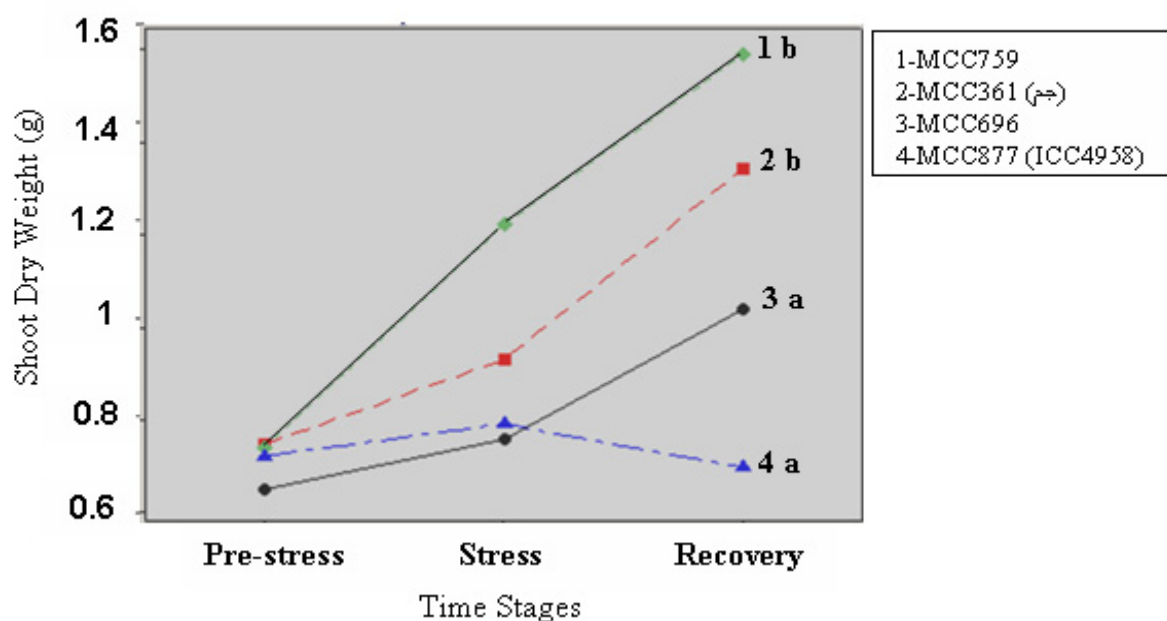
شکل ۳- تغییرات وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های مختلف نخود زراعی پیش از اعمال تنش خشکی، به هنگام مواجهه با تنش و در دوره‌ی بازیابی

Fig. 3. Root dry weight variation in different studied genotypes in pre-stress, stress and recovery stages

وزن خشک اندام‌های هوایی

بر پایه تجزیه واریانس داده‌های حاصل، تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش ($p < 0.004$)، ژنوتیپ ($p < 0.000$)، زمان نمونه‌گیری ($p < 0.000$) و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در زمان نمونه‌گیری ($p < 0.000$) در مورد این صفت دیده شد. بر پایه آزمون مقایسه میانگین (توکی ۰.۵) تفاوت بین MCC696 و MCC877 (ژنوتیپ‌های متحمل) معنی‌دار بود. اگر چه تفسیر

اثرات متقابل ساده نیست اما وزن خشک اندام‌های هوایی در تمام ژنوتیپ‌ها در دوره‌ی تنش نسبت به پیش از آن تقریباً ثابت باقی ماند درحالی‌که در دوره‌ی بازیابی، افزایش شدیدی نشان داد که البته آن‌طور که پیش‌تر نیز در مورد روند رفتاری ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی بیان شد این افزایش، شامل ژنوتیپ ICC4958 نبود (شکل ۴).



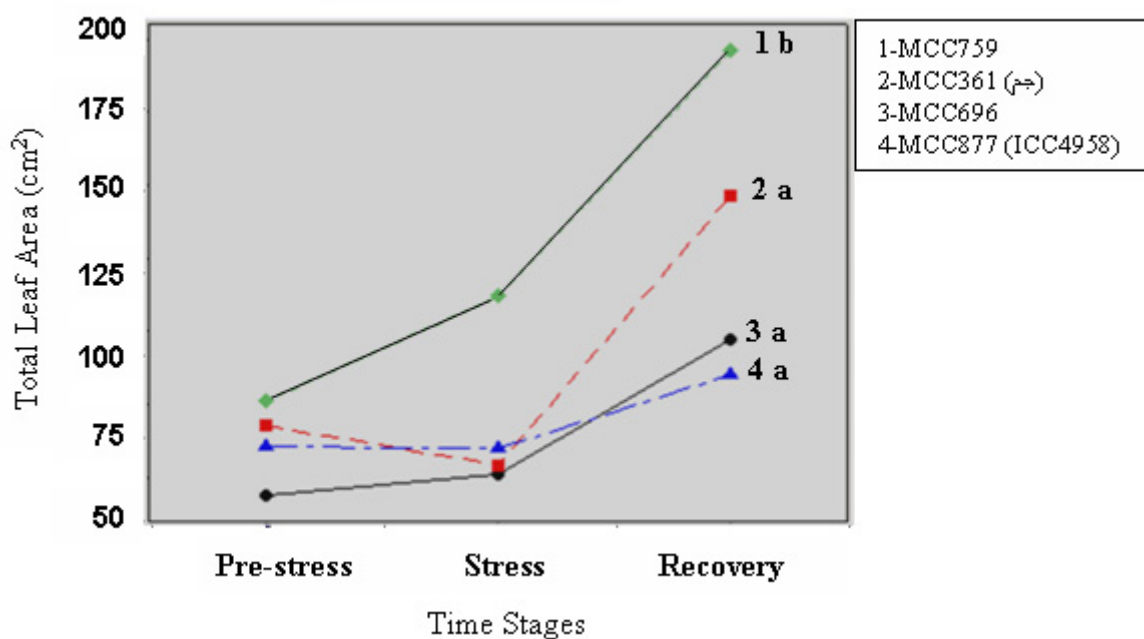
شکل ۴- تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی در ژنوتیپ‌های مختلف نخود پیش از اعمال تنش خشکی، به هنگام مواجهه با تنش و در دوره‌ی بازیابی

Fig. 4. Shoot dry weight variation in different studied genotypes in pre-stress, stress and recovery stages

سطح کل برگ

سطح کل برگ ژنوتیپ حساس MCC759، روند تغییرات بسیار متفاوتی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها آشکار ساخت به طوری که همواره و مستقل از شرایط تنش، روند افزایشی تقریباً ثابتی را در سطح برگ نشان داد در حالی که در سایر ژنوتیپ‌ها، این روند در طول دوره‌ی تنش، ثابت ماند و یا حتی به روند کاهنده بدل شد و با برطرف شدن شرایط تنش، مجدداً به روند افزایشی بازگشت. تجزیه واریانس، تفاوت معنی‌داری را بین انواع ژنوتیپ ($p < 0.000$)، زمان نمونه‌برداری ($p < 0.000$) و اثر متقابل آن‌ها ($p < 0.007$) نشان داد. بر پایه آزمون مقایسه میانگین تفاوت بین ژنوتیپ‌ها، در بین MCC759 و MCC361، MCC759 و MCC759 و ICC4958 و همچنین طور MCC361 و ICC4958 معنی‌دار نبود، به علاوه، تفاوت میان سطوح اول و

دوم زمان نمونه‌برداری نیز معنی‌دار نبود. مطابق شکل ۵ و با مراجعه به مقایسه اثرات متقابل ژنوتیپ و زمان نمونه‌گیری، وجود اختلاف در روند رفتاری ژنوتیپ بومی کاندیدای حساسیت با سایر ژنوتیپ‌ها، می‌تواند به عنوان یکی از دلایل عدم تحمل این لاین نسبت به تنش خشکی معرفی گردد بدین معنی که با وجود کاهش سطح برگ و میزان اندام‌های هوایی در سایر ژنوتیپ‌ها، زمان مواجهه با تنش به منظور به حداقل رساندن صدمات ناشی از تنش، از طریق کاهش تبخیر و تعرق و کاهش تخصیص انرژی برای رشد و نگاه داشتن اندام‌های هوایی، ژنوتیپ حساس با افزایش نسبت این اندام‌ها، زمینه آسیب‌پذیری هر چه بیشتر را در برابر تنش فراهم ساخت (شکل ۵).



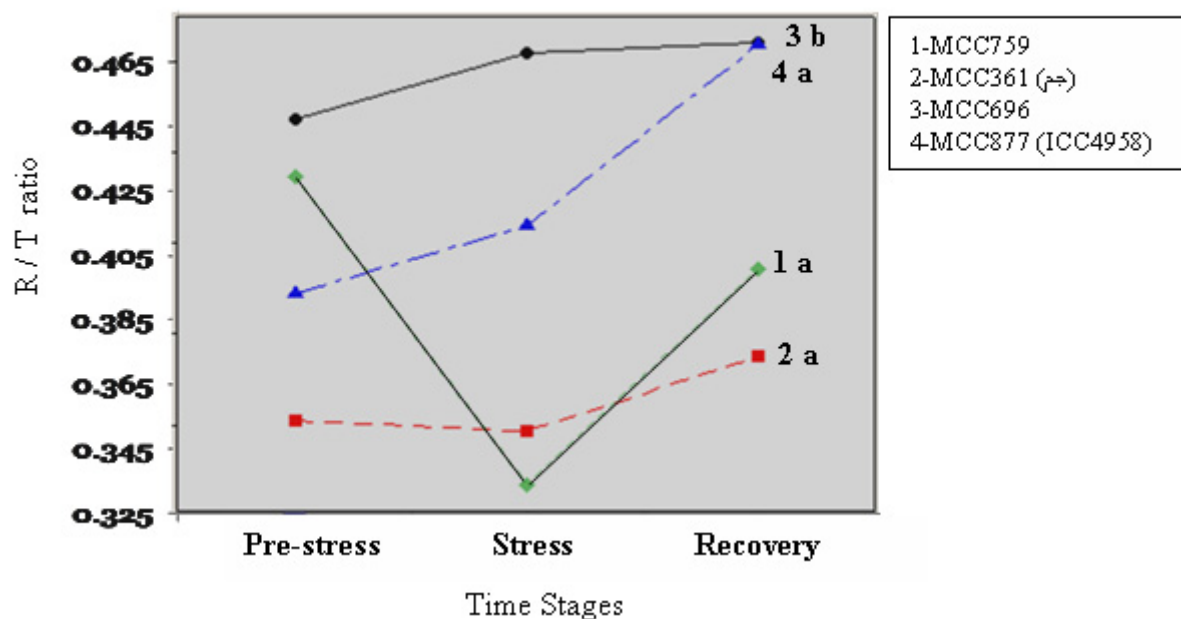
شکل ۵- تغییرات سطح کل برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی پیش از اعمال تنش خشکی، به هنگام مواجهه با تنش و در دوره‌ی بازیابی

Fig. 5. Total leaf area variation in different studied genotypes in pre-stress, stress and recovery stages

ژنوتیپ‌های مقاوم افزایش یافت که نشان از توجه گیاه به افزایش رشد و توسعه‌ی اندام‌های جذب‌کننده‌ی آب و از سوی دیگر، کاهش نسبت سطح اندام‌های هوایی دارد. این نسبت در رقم جم در دوره‌ی تنش، بدون تغییر ماند درحالی‌که در ژنوتیپ حساس MCC759، کاهش بسیار شدیدی را نشان داد و به پایین‌ترین میزان در میان ژنوتیپ‌ها رسید که نشان‌گر ترجیح گیاه به تکمیل رشد رویشی و افزایش اندام‌های هوایی در زمان رویارویی با شرایط سخت محیطی دارد. پس از ورود گیاه به مرحله‌ی بازیابی، روند افزایشی ملایمی در شاخص R/T ژنوتیپ‌های مقاوم بین‌المللی، مقاوم بومی و نیمه‌حساس دیده شد درحالی‌که روند افزایشی مذکور در ژنوتیپ حساس MCC759، بسیار چشم‌گیر بود. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با افزایش مقاومت ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی، تمایل آن‌ها برای گسترش ریشه و کاهش اندام‌های هوایی در دوره‌ی تنش، افزایش یافته و از این طریق سعی در کاهش اتلاف انرژی و ذخیره‌ی آب خود در شرایط سخت و گسترش اندام‌های گیرنده آب می‌کنند (شکل ۶).

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه

شاخص R/T، نشان‌دهنده‌ی نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه می‌باشد. افزایش این شاخص، نشان‌گر تمایل گیاه به رشد بیشتر ریشه و کاهش آن، نشان‌گر تمایل گیاه به رشد بیشتر اندام‌های هوایی است. تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ($P < 0.007$) در مورد نسبت ذکر شده، نسبی بودن تخصیص بیوماس را به رشد ریشه در ژنوتیپ حساس، در مقایسه با انواع نیمه‌متحمل و متحمل نشان داد. روند تغییرات این شاخص در ژنوتیپ کاندیدای حساسیت (MCC759) بسیار متفاوت از سایر ژنوتیپ‌ها بود. با وجود اختلاف غیرمعنی‌دار در اثرات متقابل، در شرایط مطلوب پیش از تنش، نسبت R/T در ژنوتیپ متحمل MCC696 بالاترین سطح قرار داشت و پس از آن به ترتیب، ژنوتیپ‌های MCC759 (حساس)، ICC4958 (مقاوم بین‌المللی) و MCC361 (رقم جم) در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند، از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که این شاخص در شرایط طبیعی نمی‌تواند معیار صحیحی از مقاومت و یا حساسیت باشد. در دوره‌ی اعمال تنش خشکی، نسبت R/T



شکل ۶- تغییرات نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه پیش از اعمال تنش خشکی، به هنگام مواجهه با تنش و در دوره‌ی بازیابی

به‌جز اختلاف کلی ژنوتیپ‌ها، سایر اختلافات میان زمان‌های نمونه‌گیری و اثرات متقابل، معنی‌دار نبوده است.

Fig. 6. Root dry weight/total dry weight (R/T) variation in different studied genotypes in pre-stress, stress and recovery stages

هوایی تخصیص می‌دهد درحالی‌که پس از برطرف شدن شرایط تنش در این ژنوتیپ، شاخص R/T افزایش دیگری نشان داد که نشان از پرداختن مجدد گیاه به رشد ریشه در شرایط طبیعی رشد می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که ژنوتیپ حساس MCC759 در شرایط مطلوب رشدی، سیستم ریشه خود را در جهت جذب بیشتر آب و تکمیل رشد رویشی توسعه می‌دهد اما به محض مواجهه با شرایط سخت تنش، تولیدات فتوسنتزی این ژنوتیپ به رشد اندام‌های هوایی اختصاص می‌یابد و مجدداً گیاه پس از برطرف شدن شرایط تنش، به رشد ریشه می‌پردازد. در حقیقت واکنش غیرطبیعی این ژنوتیپ، زمان مواجهه با تنش و کاهش رشد ریشه و تمرکز بر گسترش اندام‌های هوایی آن در این دوره که منجر به افزایش مصرف آب و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق می‌شود، درست زمانی که گیاه برای جذب آب بیشتر نیاز به تمرکز بر رشد ریشه دارد دلیل احتمالی حساسیت آن نسبت به تنش و از

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که توزیع بیوماس در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش یکسان نبوده که احتمالاً منشأ تنوع در مقاومت و یا حساسیت ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی می‌باشد. همان‌گونه که اشاره شد شاخص R/T، نشان دهنده‌ی تخصیص نسبی بیوماس برای تکمیل رشد ریشه‌ی گیاه می‌باشد و فرایند تخصیص آن در ژنوتیپ‌های مختلف بسیار قابل توجه است. آنالیز آماری این شاخص، تفاوت قابل توجه آن را در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش آشکار ساخت. پیش از اعمال تنش، میزان این شاخص در ژنوتیپ حساس MCC759 بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود که نشان از توجه این ژنوتیپ به تکمیل رشد ریشه در شرایط عادی بدون تنش و تخصیص درصد بالایی از بیوماس آن به رشد ریشه داشت. اما میزان این شاخص در دوره‌ی اعمال تنش، به صورت معنی‌داری کاهش نشان داد که می‌توان این‌طور استنباط کرد که گیاه در زمان مواجهه با تنش، بیوماس خود را به تکمیل رشد اندام‌های

بین رفتن آن در چنین شرایطی می‌باشد.

تغییرات شاخص R/T در رقم جم (MCC361) که به عنوان ژنوتیپ کنترل استفاده شد، تا حدی مشابه روند تغییرات ژنوتیپ‌های مقاوم MCC696 و MCC877 (ICC4958) بود. میزان شاخص R/T در ژنوتیپ جم (MCC361) پیش از اعمال تنش، در بین ژنوتیپ‌ها در کمترین سطح بود ولی زمان اعمال تنش، تغییر چندانی در آن دیده نشد که احتمالاً نشان‌گر این موضوع می‌باشد که گیاه در زمان مواجهه با شرایط تنش، فاقد استراتژی لازم برای رشد بیشتر ریشه و یا کاهش اندام هوایی است. در هر حال، پس از برطرف شدن تنش، میزان R/T در این ژنوتیپ نیز افزایش یافت. تغییرات R/T در ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی ICC4958 و ژنوتیپ کاندیدای بومی مقاوم MCC696 بسیار مشابه یکدیگر بود به صورتی که زمان مواجهه با تنش، شاخص R/T آن‌ها نسبت به قبل، افزایش نشان داد. این موضوع مؤید این مطلب است که ژنوتیپ‌های مقاوم، هنگام مواجهه با شرایط دشوار خشکی اقدام به تکمیل و گسترش سیستم ریشه خود نموده و اندام‌های هوایی را در جهت کاهش تبخیر و تعرق و بنابراین ذخیره‌ی آب، کاهش می‌دهند. چنین به نظر می‌رسد که تخصیص بیوماس گیاه به اندام‌های مختلف، دلیل مقاومت و یا حساسیت آن نسبت به تنش خشکی می‌باشد. بنابراین تخصیص نامناسب تولیدات فتوسنتزی به تکمیل اندام‌های هوایی در زمان مواجهه با تنش، دلیل احتمالی حساسیت ژنوتیپ MCC759 نسبت به تنش خشکی می‌باشد.

الگوی رشدی ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی ICC4958، بسیار متفاوت از سایر ژنوتیپ‌ها بود. به طور نمونه در مورد صفت وزن خشک اندام‌های هوایی در سه ژنوتیپ دیگر، پس از آغاز مرحله‌ی بازیابی، افزایش شدیدی دیده شد در صورتی که میزان آن در ژنوتیپ مذکور، پس از آبیاری مجدد، افزایش نیافت. به نظر می‌رسد که این ژنوتیپ، تمایلی به گسترش بخش‌های هوایی خود در زمان مواجهه با تنش نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر رشد رویشی در این ژنوتیپ، زودتر از سایرین کامل می‌گردد. روند رفتاری این ژنوتیپ در سایر صفات نیز از جمله وزن خشک ریشه، با سایر ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. این ژنوتیپ همواره روند ثابتی را در افزایش وزن خشک ریشه، مستقل از میزان آب دریافتی نشان داد درحالی که افزایش وزن خشک ریشه در سه ژنوتیپ دیگر در دوره‌ی بازیابی، بیش از دوره‌ی تنش برآورد شد.

یافته‌های ما درباره‌ی نسبت R/T انطباق بسیار خوبی با نتایج آزمایشات Kashiwagi *et al.* (2007) دارد. آن‌ها بیشترین میزان این شاخص را در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گزارش کردند. همچنین Anbessa & Bejiga (2002) نشان دادند که واکنش گیاه به تنش خشکی در وزن خشک ریشه کمتر از وزن خشک اندام‌های هوایی است و نسبت ریشه به اندام‌های هوایی در ژنوتیپ‌های متحمل مورد بررسی آن‌ها در شرایط تنش، افزایش معنی‌داری نشان داد. به نظر می‌رسد سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر در ژنوتیپ‌های متحمل تحت شرایط تنش که معمولاً همراه با سطح برگ و اندام‌های هوایی کمتر است، شرایط مناسبی برای ذخیره‌ی آب گیاه در شرایط نامطلوب فراهم می‌کند. این استراتژی، گیاه را متحمل‌تر می‌سازد و در مقابل، همراهی سیستم ریشه‌ای کمتر توسعه‌یافته با اندام‌های هوایی گسترش‌یافته، گیاه را حساس‌تر می‌نماید. این یافته‌ها نیز با آنچه توسط Anbessa & Bejiga (2002) گزارش شده، مطابقت می‌نماید.

در مورد صفت سطح کل ریشه، تمام ژنوتیپ‌ها زمان مواجهه با تنش، کاهش نشان دادند و میزان این کاهش در ژنوتیپ مقاوم بین‌المللی بیشتر از سایرین بود اما تفاوت رفتاری این ژنوتیپ با سایرین، پس از دریافت مجدد آب در دوره‌ی بازیابی دیده می‌شد که با وجود افزایش سریع سطح ریشه در سه ژنوتیپ دیگر، هیچ‌گونه افزایشی در سطح ریشه‌ی آن مشاهده نگردید. به‌علاوه این تفاوت در مورد صفت سطح برگ نیز مشاهده شد. به نظر می‌رسد که این صفت به تأمین رطوبت وابسته است به‌طوری که با وجود افزایش سطح برگ در سه ژنوتیپ دیگر، پس از دریافت آب، سطح برگ در ژنوتیپ مقاوم (ICC4958) افزایش نیافت. صفات اندازه‌گیری شده‌ی دیگر نیز از جمله وزن تر ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه و مجموع طول ریشه، مؤید الگوی رفتاری متفاوت ژنوتیپ مقاوم (ICC4958) در طول دوره‌ی بازیابی می‌باشند. به نظر می‌رسد که این ژنوتیپ پیش از سایرین، رشد رویشی خود را کامل نموده و بنابراین در زمان مواجهه با تنش، حداقل صدمه را دریافت می‌نماید. علاوه بر این، ژنوتیپ ICC4958 در دوره‌ی بازیابی، واکنشی به تأمین آب مورد نیاز نشان نداده و افزایش معنی‌داری را در اغلب صفات مورفولوژیک خود نسبت به دوره‌ی تنش نشان نداد.

نتایج کلی این تحقیق حاکی از آنست که مقاومت یا حساسیت به خشکی با تخصیص و تسهیم محصولات

سیاس‌گزاری

در اینجا لازم است از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و نیز هیأت رئیسه محترم دانشکده‌ی کشاورزی در اجرای این طرح پژوهشی به شماره ۳۴۹/پ (مصوب ۱۳۸۷/۳/۱) کمال تشکر خود و همکاران این مقاله ابراز داشته و پیگیری چاپ دومین مقاله مستخرج از این طرح پژوهشی را که به مطالعه‌ی مولکولی نخود در شرایط تنش اختصاص دارد، نوید دهیم.

فتوسنتزی به اندام‌های مختلف در طول دوره‌ی رشد و دوره‌ی تنش، تا حدود زیادی تعیین می‌شود و تخصیص نابهنجار این محصولات به اندام‌های هوایی، آنچنان‌که در لاین حساس به طور معنی‌داری مشاهده شد، عامل تعیین‌کننده‌ای در حساسیت آن به خشکی در مقایسه با لاین‌های متحمل است. به نظر می‌رسد افزایش نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه، تحت شرایط تنش خشکی منجر به افزایش تحمل در لاین‌های ICC4958 و MCC696 شده است. زیرا تغییر این نسبت می‌تواند سبب کاهش هدررفت آب از طریق سطح تعرق‌کننده‌ی کمتر شود.

منابع

1. Anbessa, Y., and Bejiga, G. 2002. Evaluation of Ethiopian chickpea landraces for tolerance to drought. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49: 557-564.
2. Bhattarai, T., and Fettig, S. 2005. Isolation and characterization of a dehydrin gene from *Cicer pinnatifidum*, a drought-resistant wild relative of chickpea. *Plant Physiol.* 123: 452-458.
3. Ganjeali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum*) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Field Crop Research* 7: 196-204.
4. Hussain, S.S. 2006. Molecular breeding for abiotic stress tolerance: drought perspective. *Proc. Pakistan Acad. Sci.* 43: 189-210.
5. Kashiwagi, L., Krishnamurthy, P.M., Gaur, S., Chandra, H.D., and Upadhyaya. 2007. Estimation of gene effects of the drought avoidance root characteristic in Chickpea (*C. arietinum* L.). *Field Crops Research* 105: 64-69.
6. Malhorta, R.S., and Saxena, M.C. 2002. Strategies for overcoming drought stress in chickpea. *ICARDA caravan (ICARDA)*. 17: 20-22
7. Mantri, N., and Ford, R. 2007. Transcriptional profiling of chickpea genes differentially regulated in response to high-salinity, cold and drought. *BMC Genomics* 8.
8. Masoomi, A., Zamyad, H., and Sarvari, M. 2005. Study on root parameters of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes in the water stress condition.
9. Millan, T., Clarke, H.J., Siddique, K.H.M., Buhariwalla, H.K.B., Gaur, P.M., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., and Winter, P. 2006. Chickpea molecular breeding: new tools and concepts. *Euphytica* 147: 81-103.
10. Saxena, N.P. 2003. Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science Publishers Inc, NH, USA.
11. Saxena, N.P., Singh, O., Sethi, S.C., Krishnamurthy, L., Singh, S.D., and Johansen, C. 2005. Genetic enhancement of drought tolerance in chickpea (short note). Available at web site <http://www.ICRISAT.org>.
12. Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., and Crouch, J.H. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research* 88: 115-127.
13. Siddique, K.H.M., Brinsmead, R.B., Knight, R., Knights, E.J., Paull, J.G., and Rose, I.A. 1999. Adaptation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and fababean (*Vicia faba* L.) to Australia. In: L. Leport, N.C. Turner, R.J. French, M.D. Barr, R. Duda, S.L. Davis, D. Tennat, and K.H.M. Siddique (Eds.). Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy* 11: 279-291.

14. Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K., and Moghaddam, M. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid an environment. *Agricultural Water Management* 49: 225-237.
15. Tuberosa, R., and Salvi, S. 2004. Markers, genomics and post-genomics approaches. In “proceeding of 4th International Crop Science Congress” pp. 1-19. Publ. CDROM. Available at web site <http://www.CROPSCIENCE.org.au>.

Study of root and shoot characteristics in reaction to drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Safavi¹, M., Malekzadeh Shafaroudi^{2*}, S., Ganjeali³, A. & Bagheri² A.

1- MSc. Student of Biotechnology and Plant Breeding, Agricultural College, Ferdowsi University of Mashhad

2- Faculty members of Biotechnology and Plant Breeding department, Agricultural College,
Ferdowsi University of Mashhad

3- Faculty of Science College, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 23 August 2010

Accepted: 15 June 2011

Abstract

Drought is the main constraint limiting chickpea productivity which makes a considerable difference between the potential and actual yield. In order to evaluate the effect of drought stress on different morpho-physiological characteristics of chickpea, four distinct genotypes were studied in three sampling times (pre-stress, stress and recovery) with three replications. As the results implicated, it is supposed that the tolerance or the sensitivity to drought is determined by the devotion of photosynthetic assimilates to different organs of plant during stress period and the misappropriation of plant assimilate to shoot parts is a reason of sensitiveness e.g. in MCC759. It assumed that increasing the ratio of root dry weight to total dry weight (R/T) under stress condition leads to drought tolerance in ICC4958 and MCC696 due to reduction of water loss through aerial parts.

Key words: Dry matter partitioning, Root characteristics, Water-limited condition

* Corresponding Author: E-mail: malekzadeh-s@um.ac.ir, Tel/Fax: +98 511 8796841