به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۶
صفحه‌های ۶۵۱-۶۳۹

ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و زراعی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط گلخانه

خدابخش گودرزوند چگینی[1]*، رضا فتوت[2]، محمدرضا بی‌همتا[3]، منصور امیدی[3] و علی‌اکبر شاه‌نجات‌بوشهری[3]

۱. دکتری ژنتیک‌بیومتری، دانشگاه زنجان و کارشناس پژوهش‌های کاربردی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب در اراضی دیم دانشگاه تهران (کوهین)
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

به‌منظور مطالعهٔ تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر اجزای عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیکی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های متحمل، نیمه‌متحمل و حساس نخود زراعی، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرحی کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل عدم‌تنش کم‌آبی، تنش متوسط و تنش شدید و عامل دوم شامل ۱۱ ژنوتیپ بود. نتایج تجزیهٔ واریانس حاکی از معنادار شدن عامل ژنوتیپ در تمامی صفات به‌جز محتوای نسبی آب برگ بود. اثر متقابل ژنوتیپ × آبیاری به‌جز وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، قطر ریشه، طول ساقه و تعداد شاخهٔ اصلی در سایر صفات معنادار شد. بیشترین درصد تغییر صفت مربوط به وزن خشک ساقه، وزن تر ساقه و عملکرد زیست‌توده در محیط تنش شدید بود. کمترین درصد تغییر صفت مربوط به نرخ آب ازدست‌رفته بود. ژنوتیپ متحمل فارس شاهپور ۳۶۵۹ با دمای تاج‌پوش پایین بیشترین عملکرد زیست‌توده، وزن تر ریشه، وزن ساقهٔ تر و طول ساقه در محیط عدم‌تنش را داشت. ژنوتیپ حساس فارس شاهپور ۳۷۲۳ با دمای تاج‌پوش بالا عملکرد زیست‌توده، وزن تر ریشه، وزن ساقهٔ تر و وزن خشک ساقهٔ پایینی داشت که کاهش قطر ریشه، تعداد شاخهٔ اصلی و محتوای نسبی آب برگ پایینی را نیز در شرایط تنش شدید نشان داد. بنابراین، این دو ژنوتیپ محکی در آزمایش‌ها بعدی در شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل و حساس استفاده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پایداری غشای سلولی، درصد تغییر صفت، نرخ آب ازدست‌رفتهٔ برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن ریشهٔ تر.

* نویسنده مسئول
Email: kchegini@ut.ac.ir

۱. مقدمه

رشد گیاه به‌واسطهٔ عوامل متعددی کنترل می‌شود که در این میان آب نقشی بسیار حیاتی دارد. خشکی، در حال رشد گیاه، بلافاصله فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی را کاهش می‌دهد [۲۱]. تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکنندهٔ رشد، نمو و بهره‌وری گیاهان مهم اقتصادی است. گزارش‌های مختلفی، خشکی را مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد در نواحی خشک و نیمه‌خشک شناسایی کرده‌اند [۸]. از آنجا که بیش از ۹۵ درصد سطح زیر کشت نخود کشور دیم است، تنش خشکی در مراحل مختلف رشدونمو گیاه از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد آن به‌شمار می‌رود [۱۴]. برخی میانگین تولید، میانگین هندسی، میانگین هارمونیکی و شاخص تحمل تنش را مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی نخود پیشنهاد کرده‌اند.

علاوه بر صفات مورفولوژیکی که در سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی اهمیت دارد، صفات فیزیولوژیکی نیز اهمیت حیاتی در بقا و سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی دارد. ازاین‌رو، توجه به تغییرات فیزیولوژیکی ایجادشده در خشکی از جنبه‌های مهم مقاومت به خشکی در گیاهان محسوب می‌شود [۴]. خصوصیات ریشه نظیر زیست‌توده، طول، تراکم و عمق ریشه، از صفات اصلی اجتناب از خشکی است که به عملکرد نهایی تحت شرایط محیط خشکی آخر فصل کمک می‌کند.

بر اساس نظریهٔ برخی محققان وزن تر ریشه بهترین و ساده‌ترین ویژگی در ارزیابی تحمل به خشکی است. سیستم ریشه‌ای عمیق و ضخیم برای استخراج آب از عمق‌های قابل‌توجه مفید است [۱۵]. تحت تنش خشکی و گرما، غشای سلولی پایداری خود را ازدست می‌دهد و در صورت قرارگرفتن برگ در محیط آبی مواد محلول سلول‌های آن تراوش می‌یابد. لذا ،پایداری غشا با ارزیابی تراوش یون‌ها تعیین می‌شود. میزان پایداری غشای سلولی به‌خوبی با تحمل سایر فرایندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز مرتبط است و شاخص تحمل به تنش تعیین شده است [۹]. محتوای نسبی آب برگ مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاه است. به‌همین دلیل، کاربرد آن بیش از سایر روش‌هاست [۱۰].

با توجه به اینکه تنش خشکی عامل اصلی کاهش عملکرد و تعیین‌کنندهٔ پراکنش نخود دیم در کشور است و از طرفی تأثیر خشکی اصلی‌ترین عامل کاهش عملکرد بین عوامل تنش‌زای غیرزیستی است، این تحقیق علاوه‌بر درک بیشتر صفات دخیل در عملکرد با استفاده از تنوع ژنتیکی مدنظر اصلاح‌گر، نقش به‌نژادی را در افزایش عملکرد و بهره‌وری در مناطق دیم وابسته به بارندگی و انتخاب رقم مناسب، پررنگ می‌کند. بنابراین، ارزیابی شاخص‌ها و ویژگی‌های تحت تأثیر تنش خشکی در شرایط کنترل‌شدهٔ گلخانه، موجب گزینش بهتر ارقام متحمل به خشکی و سبب افزایش دانش در زمینهٔ صفات مؤثر و مرتبط با عملکرد با معرفی رقم برتر متحمل به خشکی می‌شود. مطالعهٔ برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی را نیز با هدف معرفی شاخص‌های گزینشی تسهیل می‌کند.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور ارزیابی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های نخود در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب کوهین (دانشگاه تهران) در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرحی کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام شد. هر واحد آزمایشی در گلدان ۳ کیلوگرمی با سه عدد بذر کاملاً سالم در سه تکرار کاشته شد. دمای روز ۲۶ درجه با روشنایی ۱۶ ساعت و دمای شب ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد با تاریکی هشت ساعت تعیین شد. فاکتور نخست، شامل سه سطح بدون تنش

(۱۰۰ درصد آبیاری)، تنش متوسط (۷۵ درصد آبیاری) و تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری) بر مبنای رطوبت در دسترس بود؛ بدین‌ترتیب که نمونهٔ خاک مورد استفاده به آزمایشگاه خاک‌شناسی گروه علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران ارسال و رطوبت در دسترس از طریق تفاضل ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی ۱۶درصد وزن خاک تعیین شد. سپس، مقدار آب مورد نیاز تیمار عدم تنش (۱۰۰ درصد آبیاری)، معادل ۴۸۰ گرم (با احتساب ۳۰۰۰ گرم وزن خاک ضربدر ۱۶ درصد)، تیمار تنش متوسط معادل ۳۶۰ گرم (با احتساب ۷۵ درصد آبیاری کامل) و تیمار تنش شدید معادل ۲۴۰ گرم (احتساب ۵۰ درصد آبیاری کامل) تعیین شد. بنابراین، وزن کل گلدان‌ها با احتساب میزان آب مورد نیاز در تیمار عدم‌تنش ۳۴۸۰ گرم، در تیمار تنش متوسط ۳۳۶۰ گرم و در تیمار تنش شدید ۳۲۴۰ گرم محاسبه شد. آبیاری دوره‌ای تیمارها با توزین گلدان و تأمین کسری آب به نسبت آبیاری دورهٔ قبلی بود. عامل دوم مشتمل بر ۱۱ ژنوتیپ انتخابی شامل پنج ژنوتیپ متحمل، چهار ژنوتیپ نیمه‌متحمل (نیمه‌حساس) و دو ژنوتیپ حساس بود که در آزمایش‌های قبلی از طریق شاخص‌های معتبر تحمل به خشکی انتخاب شد (جدول ۱). طی فصل رشد صفات مورفولوژیکی موردانداز‌ه‌گیری عبارت بود از عملکرد زیست‌توده، وزن تر ریشه، وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، قطر ریشه، طول ساقه و تعداد شاخهٔ اولیه. همچنین، صفات فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری شامل دمای تاج‌پوش، میزان کلروفیل، پایداری غشای سلولی، نرخ آب ازدست‌رفته و محتوای نسبی آب بود.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) با استفاده شاخص‌های واکنش به تنش خشکی برآوردشده

کد	ژنوتیپ	عملکرد بالقوه	عملکرد واقعی	میانگین تولید	میانگین هندسی	میانگین هارمونیک	شاخص تحمل تنش	واکنش به خشکی
۱۱	آزاد	۴۹۷/۶۵	۴۶۴/۷۵	۴۸۱/۲۰	۴۸۰/۹۲	۴۸۰/۶۴	۰/۵۶۰	نیمه‌متحمل
۷	تربت شادمه ر۴۰۱۰	۵۶۵/۰۸	۳۶۶/۵۰	۴۶۵/۷۹	۴۵۵/۰۸	۴۴۴/۶۳	۰/۵۰۲	نیمه‌متحمل
۵	فارس شاهپور ۳۶۵۹	۸۶۹/۷۹	۴۵۳/۵۰۰	۶۶۱/۶۵	۶۲۸/۰۵	۵۹۶/۱۷	۰/۹۵۵	متحمل
۴	فارس شاهپور ۳۶۶۳	۹۳۹/۸۳	۵۰۴/۲۵	۷۲۲/۰۴	۶۸۸/۴۱	۶۵۶/۳۵	۱/۱۴۸	متحمل
۸	فارس شاهپور ۳۶۷۲	۶۳۱/۴۵	۳۱۵/۰۰	۴۷۳/۲۲	۴۴۵/۹۹	۴۲۰/۳۲	۰/۴۸۲	نیمه‌متحمل
۱۰	فارس شاهپور ۳۷۲۳	۳۳۸/۱۹	۱۹۷/۵۰	۲۶۷/۸۵	۲۵۸/۴۴	۲۴۹/۳۷	۰/۱۶۲	حساس
۹	فسا ۶۸۸۰	۱۶۱/۸۱	۸۶/۲۵	۱۲۴/۰۳	۱۱۸/۱۴	۱۱۲/۵۲	۰/۰۳۴	حساس
۱	کرج ۳۶۴۵	۱۱۸۶/۵۲	۶۹۴/۵۰	۹۴۰/۵۱	۹۰۷/۷۷	۸۷۶/۱۶	۱/۹۹۶	متحمل
۲	کرج ۳۶۵۴	۱۰۹۵/۴۹	۵۹۹/۲۵	۸۴۷/۳۷	۸۱۰/۲۳	۷۷۴/۷۲	۱/۵۹۰	متحمل
۳	کرج ۳۶۲۸	۱۳۸۷/۹۵	۶۹۸/۰۰	۱۰۴/۹۷	۹۸۴/۲۷	۹۲۸/۸۷	۲/۳۴۶	متحمل
۶	کرج ۳۶۴۲	۶۴۰,۷	۳۶۰/۲۵	۵۰۰/۵۰	۴۸۰/۴۵	۴۶۱/۲۰	۰/۵۵۹	نیمه‌متحمل

با دستگاه کلروفیل‌سنج، یک عدد اسپد[1] بر اساس رنگ برگ و سبزینگی به‌روش میانگین عددی سه بوته در هر تیمار محاسبه شد [۲۷]. محتوای نسبی آب‌برگ[2] از طریق حاصل تفاضل وزن‌تر از وزن خشک تقسیم بر حاصل تفاضل وزن آماس از وزن خشک ضربدر ۱۰۰ اندازه‌گیری شد [۱۳]. نرخ ازدست‌رفتن آب از برگ‌های بریده[3]، از طریق حاصل تفاضل وزن اولیه و وزن خشک برگ پس از دو ساعت قرارگیری در دمای اتاق تقسیم‌بر حاصل تفاضل وزن خشک برگ پس از دو ساعت قرارگیری در دمای اتاق منهای وزن خشک ثابت در خشک‌کن ضربدر ۱۰۰ اندازه‌گیری شد.

پایداری غشای سلولی[4] با استفاده از دستگاه ECسنج قرائت‌های اول و دوم نمونه‌های محیط تنش (C1) و (C2) و قرائت‌های اول و دوم نمونه‌های شاهد در (T1) و دوم (T2) خوانده و طبق رابطهٔ (۱) محاسبه شد [۱۱].

(۱)

$$CMS[\%]= 100-[1- (1-T1/T2)/ (1- (C1/C2))\ ]$$

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات مورد ارزیابی، درصد تغییرات نشان‌دهندهٔ درجهٔ حساسیت آن صفت نسبت به شرایط تنش خشکی محاسبه شد [۱۱]. تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین صفات با نرم‌افزار MSTATC و آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده با تطبیق منابع تفسیر شد. در نهایت، علاوه‌بر مقایسهٔ ارقام و ژنوتیپ‌ها، اهمیت صفات مورد بررسی نیز برای غربال‌گری ژنوتیپ‌ها بیان شد.

۳. نتایج و بحث

از آنجا که ژنوتیپ‌ها قبلاً از نظر تحمل به خشکی غربال‌شده بودند، لذا با توجه به پیچیدگی عملکرد دانه از نظر کمّی‌بودن، وراثت‌پذیری پایین و تأثیرپذیری از محیط، نتایج تجزیهٔ واریانس صفات مبتنی بر ژنوتیپ، محیط یا اثر متقابل ژنوتیپ با محیط را نشان داد. مقایسات میانگین دوبه‌دوی صفات در انتخاب و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۱.۳. دمای تاج‌پوش

این صفت از نظر هر دو عامل آبیاری و ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنادار شد و دارای کمترین ضریب تغییرات (۲/۵۸ درصد) بود. بیشترین افزایش دمای تاج‌پوش در تنش‌شدید (۴/۷۰+ درصد) رخ داد (جدول ۲). ژنوتیپ متحمل ۴ در محیط عدم‌تنش کمترین، ژنوتیپ حساس ۱۰ در محیط تنش متوسط و تنش شدید بیشترین دمای تاج‌پوش را نشان داد. نتایج حاکی از تأثیر بالای ساختار ژنتیکی ژنوتیپ‌های انتخابی و واکنش مناسب آن‌ها به محیط بود که برحسب تحمل و حساسیت نسبت به خشکی، به‌ترتیب دمای پایین و بالای تاج‌پوش را نشان داد (جدول ۳ و شکل ۱). پس دمای تاج‌پوش در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مؤثر بود. دمای تاج‌پوش به فرایندهای فیزیولوژیکی متعددی وابسته است و شاخص مناسبی در ارزیابی تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش است [۲۲]. دمای تاج‌پوش معیاری از کارایی پتانسیل عملکرد طی خشکی است و به‌طور مؤثر تکنیک ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌ها به خشکی استفاده می‌شود [۲۷]. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ شرایط رطوبتی بهتر گیاه است [۷].

۲.۳. شاخص اسپد (SPAD)

در تجزیهٔ واریانس آثار آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنادار شد که حاکی از اهمیت آن در تعیین محدودهٔ اصلاحی صفت مورد نظر

1. soil-plant analysis development
2. relative water content
3. rate of water lost
4. cell membrane stability

است. بیشترین کاهش این شاخص (۲۲/۹۵- درصد) در تنش شدید رخ داد (جدول ۲). رقم نیمه‌متحمل آزاد در محیط عدم‌تنش بیشترین و ژنوتیپ نیمه‌متحمل ۸ در محیط تنش شدید کمترین میزان را داشت (جدول ۳، شکل ۱). لذا، میزان آن در سطوح تنش علاوه‌بر ژنوتیپ به محیط و تأثیر سایر صفات نیز بستگی دارد و همراه با صفات مؤثر دیگر به‌خصوص در انتخاب توده‌ای در کاهش حجم مواد اصلاحی مؤثر است. البته، چون این صفت در سطح برگ سنجیده شده است و محتوای کلروفیل کل بوته مشخص نیست، لذا ممکن است بدون درنظرگرفتن عملکرد زیست‌توده نتایج گمراه‌کننده باشد. پس بهتر است از صفات دیگر نیز بهره‌گیری شود.

فیزیولوژیست‌ها معتقدند که محتوای کلروفیل ابزار ارزش‌مندی برای اطلاع از پاسخ به تنش‌های گیاهی است [۱۲، ۴]. کلروفیل‌سنج در برنج [۲۴]، پنبه [۱۹] و نخود [۱۶، ۴] استفاده می‌شود. در آفتابگردان [۱۸] تنش موجب کاهش معنادار کلروفیل شد. در آزمایشی، تفاوت ژنتیکی، کلروفیل‌سنج را تحت تأثیر قرارداد [۱۷]. دمای تاج‌پوش و محتوای کلروفیل ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط نرمال و تنش اختلاف داشت. همچنین، همبستگی معناداری بین این صفات، عملکرد و مقادیر شاخص تحمل برای پاسخ خشکی وجود داشت [۲۶].

۳.۳. صفات عملکرد زیست‌توده و وزن تر ریشه

آثار اصلی و اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنادار شد، ولی اثر متقابل قطر ریشه معنادار نبود. در کل، ژنوتیپ متحمل ۵ در محیط عدم‌تنش بیشترین و ژنوتیپ حساس ۱۰ در محیط تنش شدید کمترین مقدار صفات مذکور را نشان داد. بیشترین درصد کاهش زیست‌توده و وزن‌تر ریشه در تنش شدید و بیشترین درصد کاهش قطر ریشه در محیط تنش متوسط رخ داد که قابل‌توجه نبود. وزن تر ریشه نسبت به وزن تر ساقه تفکیک بهتری ایجاد کرد (جدول ۲). این صفات در سطوح مختلف تنش در انتخاب ژنوتیپ متحمل و در تنش شدید در انتخاب ژنوتیپ حساس مؤثر بود (جدول ۳، شکل ۱).

وراثت‌پذیری خصوصی بالایی برای صفت زیست‌توده گزارش شد که در کنترل این صفت آثار افزایشی نقش عمده‌ای ایفا می‌کند [۳]. برخی وزن ریشه تر را بهترین و ساده‌ترین ویژگی ارزیابی تحمل خشکی دانستند [۱۵]. بنابراین، در گزینش ارقام استفاده می‌شود.

تعداد شاخهٔ اصلی تنها در سطح اصلی ژنوتیپ معنادار بود و در سطوح مختلف تنش در ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل و حساس نشان‌دهندهٔ واکنش ژنوتیپ‌های غربال‌شده نسبت به شرایط تعریف‌شده بود که در جهت انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار یا حذف ژنوتیپ‌های حساس مؤثر است. بیشترین کاهش تعداد شاخهٔ اصلی (۲۱/۳۶ درصد) در محیط تنش شدید رخ داد (جدول ۳، شکل ۱).

در پایداری غشای سلولی، آثار اصلی و متقابل عامل آبیاری و ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنادار بود. بیشترین افزایش پایداری غشای سلولی (۴/۹۳+) در محیط تنش شدید رخ داد (جدول ۲). ژنوتیپ متحمل ۲ در تنش شدید بیشترین و ژنوتیپ حساس ۱۰ در عدم تنش کمترین مقدار را داشت. لذا، پایداری غشای سلولی در سطوح مختلف تنش به غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش انجامید. به‌عبارتی، این صفت هم در جهت انتخاب و هم حذف ژنوتیپ‌های مورد بررسی مؤثر است (جدول ۳، شکل ۱). پایداری غشای سلولی روشی سریع، محتاج فضای کم و با امکان کنترل دقیق شرایط محیطی و روشی ارزش‌مند برای غربال‌گری صفت تحمل به خشکی در عدس [۲۳] و نخود [۴] است. گزارش‌شده است که تنش خشکی تأثیر به‌سزایی بر کاهش پایداری غشای سلولی دارد [۶].

در بررسی محتوای نسبی آب برگ، تنها اثر متقابل

آبیاری با ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنادار بود که بیانگر تأثیر سطوح تنش بر تفکیک ژنوتیپ‌هاست. بیشترین کاهش این صفت در تنش شدید (۱۱/۲۷- درصد) رخ داد (جدول ۲). ژنوتیپ نیمه‌متحمل ۷ در محیط عدم‌تنش بیشترین و در محیط تنش شدید کمترین مقدار را داشت که حاکی از اجتناب ژنوتیپ نیمه‌متحمل از خشکی بود (جدول ۳، شکل ۱). ازجمله نخستین آثار تنش خشکی بر نخود کاهش محتوای نسبی آب برگ است که تعادل بین آب تأمین‌شده و آب موجود در حالت آماس را نشان می‌دهد [۵] و در واقع شاخص کلیدی درجهٔ پسابیدگی است [۱۰]. کاهش محتوای نسبی آب برگ باعث اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و تغییر سوخت‌وساز پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها در نخود می‌شود. ارقام حساس به خشکی کاهش شدیدتری نشان داده‌اند [۲۵].

میزان آب ازدست‌رفتهٔ برگ اثر اصلی عامل ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ با آبیاری و معنادار بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر بیشتر ژنوتیپ بر تفکیک شرایط محیطی است (جدول ۲). ژنوتیپ نیمه‌متحمل ۷ در محیط عدم‌تنش و محیط تنش شدید به‌ترتیب بیشترین و کمترین آب ازدست‌رفتهٔ برگ را داشت. ممکن است نتایج در محیط عدم تنش گمراه‌کننده به‌نظر برسد ولی می‌توان به‌خوبی دریافت که در محیط عدم‌تنش ازدست‌رفتن آب برگ تعرق بیشتر را به‌همراه داشته باشد و همان ژنوتیپ در محیط تنش از طریق تطابق با محیط کمترین آب ازدست‌رفته را نشان داد. این به‌معنای انعطاف‌پذیری رشدی، هدایت روزنه‌ای و کنترل تعرق در شرایط مختلف است. بیشترین درصد افزایش اتلاف آب نسبی برگ در تنش شدید نسبت به تنش متوسط رخ داد (جدول ۳، شکل ۱). نرخ اتلاف آب، روشی ساده با قطع برگ و توزین کاهش وزن اولیه در زمان مشخص است که با عملکرد گندم رابطهٔ منفی داشت [۲].

سطوح اصلی و متقابل آبیاری و ژنوتیپ در وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه در سطح ۱ درصد معنادار شد. بیشترین کاهش وزن تر ساقه (۴۹/۹۹ درصد)، وزن خشک ساقه (۵۰/۰۴) در محیط تنش شدید رخ داد (جدول ۲). بالابودن وزن تر ساقه در سطوح مختلف تنش نشان‌دهندهٔ اثر ژنوتیپ‌ها و پایین‌بودن این میزان به‌خوبی نشان‌دهندهٔ اثر محیط است که ژنوتیپ حساس بیشتر کاهش یافت. وزن خشک ساقه نیز با اختلاف جزئی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را متمایز کرد، ولی بهتر از وزن خشک ریشه در تفکیک تنش شدید از تنش متوسط عمل کرد و توأم با سایر صفات نشان‌دهندهٔ حساسیت ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خواهد بود (جدول ۳، شکل ۱).

تنش خشکی در مراحل مختلف به‌ویژه در زمان پرشدن دانه، همچنین به‌علت کاهش فتوسنتز و از طرف دیگر کاهش انتقال مواد پرورده به اجزای گیاه، سبب کاهش انتقال هیدرات کربن و در نتیجه کاهش مادهٔ خشک هر بوته می‌شود [۱]. در تحقیقی روی لوبیا تنش رطوبت در مقایسه با شرایط بهینهٔ آبیاری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تعداد گره و وزن خشک ساقه در لوبیا را کاهش داد [۲۰].

ویژگی‌های ریشه نظیر زیست‌توده، طول، تراکم و عمق ریشه صفات اصلی اجتناب از خشکی است که به عملکرد نهایی تحت تنش خشکی آخر فصل کمک می‌کند. بر اساس نظریهٔ برخی محققان، وزن تر ریشه بهترین و ساده‌ترین ویژگی در ارزیابی تحمل به خشکی است و سیستم ریشه‌ای عمیق و ضخیم برای استخراج آب از عمق‌های قابل‌توجه مفید است [۱۵].

در خصوص طول ساقه، آثار اصلی ژنوتیپ و آبیاری در سطح ۱ درصد معنادار شد. بیشترین درصد کاهش (۲۱/۳۲) در محیط تنش شدید نسبت به عدم‌تنش رخ داد (جدول ۲). در سطوح مختلف تنش، طول ساقهٔ بالاتر نشان‌دهندهٔ سازگاری ژنوتیپ متحمل و نیمه‌متحمل بود و تا حدودی در انتخاب توده‌ای جهت حذف ژنوتیپ‌های حساس مؤثر است (جدول ۳).

جدول ۲. میانگین مربعات ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ۱۱ ژنوتیپ نخود زراعی در شرایط مختلف تنش خشکی

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	دمای تاج‌پوشش	میزان کلروفیل	عملکرد زیست‌توده	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	قطر ریشه	طول ساقه	شاخهٔ اصلی	پایداری غشای سلولی	میزان آب ازدست‌رفته	محتوای آب نسبی
آبیاری	۲	۹/۸۳*	۱۳۶۲/۹**	۱۱۲/۸**	۶/۳۷*	۵۷/۸**	۰/۲۷۸*	۹/۱**	۰/۷۲*	۳۹۲/۱**	۴/۳ n.s	۷۵۱۹/۸*	۱۰/۴۳n.s	۳۹۲/۸ n.s
ژنوتیپ	۱۰	۱/۳**	۱۴۵/۷**	۳۳/۸**	۳/۸**	۱۷/۶**	۰/۳۵**	۱/۹۷**	۰/۴۹**	۹۴/۵**	۲/۳۶**	۴۹۳۸/۴**	۵۲/۳*	۵۵/۷n.s
ژنوتیپ×آبیاری	۲۰	۰/۴۹ n.s	۷۰/۳**	۸/۷**	۱/۱۹**	۴/۱۷**	۰/۰۵۹n.s	۰/۰۶n.s	۰/۰۹n.s	۱۷/۱n.s	۰/۳۵n.s	۱۲۸۶/۰۸**	۶۸/۵**	۶۶/۳**
خطای کل	۶۶	۰/۳۶۵	۳۱/۰۴	۱/۹۵	۰/۲۹	۱/۲۸	۰/۳۸	۰/۰۷۴	۰/۱	۲۱/۲	۰/۵	۱۶۷۷/۶	۲۶/۹	۳۷/۷
کل	۹۸													
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۵۸	۱۱/۲۵	۲۳/۴۱	۲۷/۷۷	۲۹/۱۵	۳۹/۰۲	۳۹/۳۳	۱۳/۹۸	۱۵/۹۱	۲۳/۴۱	۱۷/۲۱	۲۵/۲۱	۱۰/۶۲
تغییر صفت (۲۵- ۰ درصد)		-۳/۰۲	+۸/۱۲	+۲۷/۷۹	+۲۲/۱۱	+۲۸/۹۸	+۲۵/۳۳	+۱۶/۶۵	+۱۱/۸۳	+۹/۰۱	+۷/۹۵	-۰/۲۶	-۵/۱۳	+۵/۰۸
تغییر صفت (۵۰- ۰ درصد)		-۴/۷۰	+۲۲/۹۵	+۴۶/۳۵	+۳۶/۲۵	+۴۹/۹۹	+۵۰/۰۴	+۲۲/۳۹	+۸/۹۱	+۲۱/۳۲	+۲۱/۳۶	-۴/۹۳	-۰/۶۷	+۱۱/۲۷
تغییر صفت (۵۰- ۲۵ درصد)		-۱/۶۳	+۱۶/۱۳	+۲۵/۷۱	+۱۸/۱۵	+۲۹/۵۹	+۳۳/۱۰	+۶/۸۹	-۳/۳۲	+۱۳/۵۳	+۱۴/۵۷	-۴/۶۶	+۴/۲۴	+۶/۵۲

* معنادار در سطح ۵ درصد؛ ** معنادار در سطح ۱ درصد؛ n.s غیر معنادار

جدول ۳. میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر حسب صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد

آبیاری	ژنوتیپ	دمای تاج پوشش (درجه)	رتبه	میزان کلروفیل (اسپد)	رتبه	عملکرد زیست‌توده (گرم)	رتبه	وزن تر ریشه (گرم)	رتبه	وزن تر ساقه (گرم)	رتبه	وزن خشک ساقه (گرم)	رتبه	وزن خشک ریشه (گرم)	رتبه
۱	۱	۲۲/۴	GH	۶۰/۴	AB	۷/۶۷	B-E	۲/۴۷	B-E	۵/۰۲	B-E	۳/۲۱	A	۰/۹۱	A-D
۱	۲	۲۲/۴	GH	۵۶/۶۷	A-F	۷/۸۹	B-E	۳/۲۹	B	۴/۲۴	C-H	۳/۱۳	AB	۰/۹۳	A-C
۱	۳	۲۲/۴۷	F-H	۵۸/۹۳	A-C	۱۰/۰۷	B	۳/۳۱	B	۶/۵۳	B	۲/۴	A-D	۱/۰۳	AB
۱	۴	۲۲/۲	H	۵۸/۷	A-D	۶/۴۱	D-I	۱/۹	D-I	۳/۹۸	C-J	۱/۳۹	D-I	۰/۶	B-E
۱	۵	۲۲/۴	GH	۵۳/۴۵	A-G	۱۷/۰۷	A	۵/۲۷	A	۱۱/۶۸	A	۲/۰۴	B-F	۰/۷۳	A-E
۱	۶	۲۲/۷۷	D-H	۵۵/۹۷	A-G	۹/۰۷	B-D	۲/۷۵	B-D	۶/۱۸	BC	۲/۶۵	A-C	۰/۷۱	A-E
۱	۷	۲۳/۱۵	B-H	۵۳/۵	A-G	۶/۸۷	D-H	۱/۷۱	D-I	۴/۹۷	B-F	۰/۸۱	G-I	۰/۲۸	E
۱	۸	۲۳/۲	B-H	۵۷/۲۷	A-E	۵/۸۲	E-L	۱/۹۶	D-H	۳/۷	E-K	۲/۶	A-D	۰/۸۶	A-D
۱	۹	۲۲/۶۳	E-H	۵۳/۲۳	A-G	۶/۱۶	E-J	۱/۴۹	E-I	۴/۰۵	C-J	۲/۰۶	A-F	۱/۰۷	AB
۱	۱۰	۲۴/۰۵	A-C	۳۷/۵۵	J-L	۳/۰۳	MN	۱/۰۴	G-I	۱/۶۹	K	۰/۷۷	G-I	۰/۳۶	DE
۱	۱۱	۲۳/۰۷	B-H	۶۱/۹۳	A	۷/۲۲	C-F	۱/۲۹	HI	۵/۹۶	B-D	۲/۱۱	A-E	۱/۲۱	A
۲	۱	۲۲/۹	C-H	۵۳/۵۷	A-G	۵/۵۲	E-M	۱/۸۲	D-I	۴/۰۲	C-J	۲/۰۵	B-F	۰/۸۹	A-
۲	۲	۲۳/۱۲	B-H	۴۹/۷۳	B-H	۶/۰۹	E-K	۲	D-H	۳/۸۲	D-K	۱/۶۶	C-I	۰/۵۸	B-E
۲	۳	۲۲/۹۷	B-H	۵۰/۶	B-H	۶/۸۹	D-H	۲/۳۹	B-F	۴/۲۲	C-H	۱/۹۹	B-G	۰/۸۷	A-D
۲	۴	۲۳/۳۳	B-H	۴۶/۵۷	E-J	۵/۲۲	E-N	۱/۸۱	D-I	۳/۲۲	E-K	۱/۳۷	D-I	۰/۵۵	B-E
۲	۵	۲۳/۸۶	A-E	۵۲/۶۷	A-G	۹/۴۵	BC	۳/۲	BC	۶/۱۱	BC	۱/۷۲	C-I	۰/۸۳	A-E
۲	۶	۲۳/۴	B-H	۵۴/۱۳	A-G	۴/۱۳	I-N	۱/۷۵	G-I	۲/۸۳	F-K	۱/۶۶	C-I	۰/۶۳	B-E
۲	۷	۲۳/۲۲	B-H	۴۷/۶۴	D-J	۶/۵	D-I	۱/۴۴	E-I	۴/۸۳	B-G	۱/۰۴	F-I	۰/۳۸	DE
۲	۸	۲۳/۵	B-G	۴۶/۵	E-J	۵/۴۸	E-M	۲/۲۸	C-G	۳/۱۱	E-K	۱/۵۲	C-I	۰/۸۱	A-E
۲	۹	۲۳/۶۳	B-F	۵۴/۳	A-G	۴/۳۲	G-N	۱/۴۶	E-I	۲/۶۹	G-K	۱/۵۶	C-I	۰/۶۵	B-E
۲	۱۰	۲۴/۸۵	A	۴۵/۷	F-K	۳/۹۶	H-N	۱/۲۲	D-I	۲/۳۱	H-K	۱/۸۶	E-I	۰/۵۲	B-E
۲	۱۱	۲۳/۶۳	B-F	۵۶/۸۳	A-F	۵/۴۹	E-M	۱/۲۶	G-I	۴/۱۴	C-I	۱/۸۸	C-H	۰/۷۲	A-E
۳	۱	۲۴/۱	A-C	۴۸/۷۷	C-I	۴/۴۵	F-N	۱/۷۱	D-I	۲/۶۳	G-K	۱/۵۵	C-I	۰/۸۹	A-D
۳	۲	۲۳/۶	B-G	۳۸/۱۷	I-L	۳/۱۵	L-N	۱/۱۵	HI	۲/۹۶	I-K	۱/۱۲	E-I	۰/۶۴	B-E
۳	۳	۲۳/۵۳	B-G	۳۴/۹	G-K	۵/۲۷	E-N	۲/۱۴	C-G	۳/۰۲	E-K	۱/۰۹	E-I	۰/۷۶	A-E
۳	۴	۲۳/۴۳	B-G	۳۵/۵۷	KL	۳/۳۳	K-N	۱/۳۴	F-I	۲/۳۰	I-K	۰/۷	HI	۰/۳۹	C-E
۳	۵	۲۴/۱۵	AB	۵۲/۲۵	A-G	۵/۵۹	E-M	۱/۸۱	D-I	۳/۵۹	E-K	۰/۸۳	F-I	۰/۵۶	B-E
۳	۶	۲۳/۹۵	A	۴۸/۲۷	C-J	۳/۴۶	J-N	۱/۱۴	HI	۱/۹۵	H-K	۰/۵۵	I	۰/۳۹	C-E
۳	۷	۲۳/۷۵	A-E	۳۹/۷۵	H-L	۵/۱۶	E-N	۲/۰۲	D-H	۱/۸۹	E-K	۰/۹۲	E-I	۰/۳۷	C-E
۳	۸	۲۳/۳	BH	۳۳/۶۵	L	۳/۸۹	I-N	۱/۸۸	D-I	۱/۸۹	I-K	۰/۶۷	HI	۰/۴۷	DE
۳	۹	۲۳/۷۳	A-E	۴۸/۳۷	C-J	۲/۸۸	MN	۱/۱	HI	۱/۸۶	JK	۱/۷۷	C-H	۰/۸۱	A-E
۳	۱۰	۲۴/۸۳	A-D	۴۰	H-L	۲/۶۴	N	۰/۸۷	I	۱/۷۱	K	۰/۵۴	I	۰/۴۳	C-E
۳	۱۱	۲۴/۱۳	AB	۳۸/۵۰	I-L	۶/۶۴	C-G	۱/۶۴	E-I	۵/۱۹	B-E	۱/۸۳	C-I	۱/۰۳	AB

ادامه جدول ۳. میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برحسب صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد

آبیاری	ژنوتیپ	قطر ریشه (گرم)	رتبه	طول ساقه (سانتی‌متر)	رتبه	تعداد شاخه اصلی	رتبه	پایداری غشا (درصد)	رتبه	آب ازدست‌رفته (درصد)	رتبه	محتوای نسبی آب (درصد)	رتبه
۱	۱	۲/۴۳	A-G	۳۲	A-G	۳/۳۳	A-C	۷۵/۷۴	A-C	۱۸/۶۸	C-G	۵۹/۱۸	B-E
۱	۲	۲/۵۸	A-D	۳۳/۳	A-E	۳	BC	۷۷/۸۹	A-C	۱۴/۳۹	FG	۵۵/۳۶	C-F
۱	۳	۲/۶۳	A-C	۳۴/۴۷	A-D	۳	BC	۷۷/۲۸	A-C	۱۹/۸۴	B-G	۵۶/۹۵	C-F
۱	۴	۲/۰۹	A-I	۳۲/۰۵	A-F	۳	BC	۷۱/۹۵	A-E	۱۹/۵۷	B-G	۵۸/۱۳	B-F
۱	۵	۲/۷	AB	۴۰/۵	A	۴	AB	۷۴/۹۳	A-D	۱۴/۳	FG	۵۶/۳	C-F
۱	۶	۲/۵۴	A-D	۳۱/۶	B-G	۳/۳۳	A-C	۷۵/۸۸	A-C	۱۹/۲۳	B-G	۶۰/۳۲	A-D
۱	۷	۲/۳	A-H	۲۵/۲۵	D-I	۴/۵	A	۷۲/۸۳	A-E	۳۰/۱۴	A	۷۱/۴	A
۱	۸	۲/۳۷	A-G	۲۸/۹۷	B-G	۴	AB	۷۴/۷۶	A-D	۱۹/۲۱	B-G	۶۹/۹۸	AB
۱	۹	۲/۲۸	A-I	۳۳/۶۷	A-E	۳	BC	۷۶/۹۵	A-C	۲۴/۳۵	A-F	۶۳/۳۹	A-C
۱	۱۰	۱/۹	E-I	۲۷/۳	C-I	۲/۵	CD	۶۴/۱۸	E	۱۸/۷	C-G	۵۵/۷	C-F
۱	۱۱	۲/۵۸	A-D	۳۵/۱۷	A-C	۳	BC	۷۱/۱۵	B-E	۳۳/۴۳	A-F	۶۵/۱۶	A-C
۲	۱	۲/۵۲	A-E	۲۹/۴	B-G	۳	BC	۸۰/۶۴	A-C	۱۷/۵۸	D-G	۵۵/۹۳	C-F
۲	۲	۱/۸۳	G-I	۲۹/۶	B-G	۳	BC	۷۸/۰۸	A-C	۱۷/۱۶	D-G	۵۴/۰۱	C-F
۲	۳	۲/۱۷	A-I	۳۰/۵۳	B-G	۳	BC	۷۲/۰۴	A-E	۱۷/۲۸	D-G	۵۴/۴	C-F
۲	۴	۱/۹۵	HI	۲۶/۶۳	C-I	۳	BC	۷۴/۶۹	A-E	۱۴/۷۷	FG	۵۳/۳۴	C-F
۲	۵	۲/۵۵	A-D	۳۷/۰۲	AB	۳/۳۳	A-C	۷۴/۳۵	A-E	۱۸/۶	C-G	۵۷/۱۶	C-F
۲	۶	۲/۱۱	A-I	۲۶/۶	C-I	۳/۳۳	A-C	۷۸/۵۷	A-C	۲۹/۲۲	AB	۶۰/۷۸	A-D
۲	۷	۲/۰۸	B-I	۲۶/۳۷	C-I	۴/۰۸	AB	۷۸/۰۸	A-C	۲۴/۶۲	A-F	۶۰/۹۲	A-D
۲	۸	۱/۹۵	D-I	۲۸/۸۵	B-G	۲/۵	CD	۷۱/۶۷	A-E	۲۶/۸۵	A-D	۶۰/۷۳	A-D
۲	۹	۲/۰۴	C-I	۲۹/۵	B-G	۲/۶۷	B-D	۷۲/۵۳	A-E	۲۲/۳۹	A-F	۶۰/۴۶	A-D
۲	۱۰	۱/۷۳	D-I	۲۸	B-H	۲/۵	CD	۷۰/۲	C-E	۱۸/۵۵	C-G	۵۷/۲۹	C-F
۲	۱۱	۲/۳۸	A-G	۲۹/۸۵	B-G	۳/۳۳	A-C	۶۴/۹۰	DE	۲۶/۱۹	A-E	۶۳/۱۱	A-C
۳	۱	۲/۰۷	B-I	۲۲/۷۵	I	۳	BC	۷۸/۷۷	A-C	۱۶/۲۲	E-G	۴۹/۶۶	D-F
۳	۲	۲/۲۳	A-I	۲۲/۹۷	F-I	۲/۶۷	B-D	۸۲/۹	A	۲۸/۸۴	A-C	۵۷/۱۴	C-F
۳	۳	۲/۱۷	A-I	۲۶/۷	C-I	۲/۶۷	B-D	۷۵/۳۲	A-D	۲۲/۲	A-F	۵۷/۲۳	C-F
۳	۴	۲	I	۲۳/۹۷	F-I	۲	CD	۷۴/۴۷	A-E	۱۹/۱۱	B-G	۵۴/۱۷	C-F
۳	۵	۲/۷۲	A	۳۲/۱	A-F	۳	BC	۷۳/۹۳	A-E	۲۰/۳۴	A-G	۵۶/۴۱	C-F
۳	۶	۲/۴۸	A-F	۲۴/۷۳	E-I	۲	CD	۷۹/۹۵	A-C	۲۲/۴۵	A-F	۵۶/۸۱	C-F
۳	۷	۲	F-I	۱۸/۹۳	G-I	۴	AB	۸۱/۳	AB	۱۱/۸۶	G	۴۶/۴۳	F
۳	۸	۲/۱۵	A-I	۱۹/۷۵	HI	۲/۵	CD	۷۹/۳۱	A-C	۱۶/۶۲	D-G	۴۷/۰۳	EF
۳	۹	۲/۳	A-H	۲۸/۹۷	B-G	۲/۳۳	CD	۷۶/۱۷	A-C	۲۲/۳۷	A-F	۵۹/۰۴	B-E
۳	۱۰	۱/۶۵	C-I	۲۸/۷۵	B-H	۱/۵	D	۷۶/۰۲	A-C	۲۰/۸	A-G	۵۵/۰۱	C-F
۳	۱۱	۲/۴۵	A-G	۲۹/۱۲	B-G	۳/۱۷	A-C	۷۶/۶۰	A-C	۷۲/۸۲	A-F	۵۷/۵۷	C-F

وجود اختلاف معنادار بین صفات در تجزیهٔ واریانس نمایانگر تفاوت بین ژنوتیپ‌ها و امکان گزینش آن‌ها با توجه به صفات معنادار است [۴]. بنابراین، اختلاف موجود بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای تحمل خشکی است. به‌طور کلی، بین محیط عدم‌تنش و تنش شدید بیشترین درصد تغییر صفت اغلب صفات، بین محیط عدم‌تنش و تنش شدید رخ داد و تنها صفت نرخ آب نسبی ازدست‌رفتهٔ برگ بیشترین درصد تغییر صفت را بین محیط عدم‌تنش و تنش متوسط نشان داد. صفات میزان کلروفیل، عملکرد زیست‌توده، وزن‌تر ریشه، وزن‌تر ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک‌ریشه، طول ساقه و تعداد شاخهٔ اصلی به‌دلیل معنادار شدن اختلاف میانگین بین ژنوتیپ‌ها و تغییر صفت بیش از ۲۰ درصد صفات خوبی بود و در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل، نیمه‌متحمل و حساس دخیل است. صفات عملکرد زیست‌توده، وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه در تنش متوسط و شدید تغییرات خوبی داشت. مثبت‌بودن درصد تغییر صفت به معنای افت میزان آن صفت و منفی‌بودن آن به‌منزلهٔ افزایش میزان آن صفت در محیط‌های تنش خواهد بود [۴].

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی‌شده از قبل، دمای تاج‌پوش، میزان کلروفیل، وزن تر ساقه، قطر ریشه، وزن خشک ساقه و طول ساقه در شرایط عدم‌تنش قادر به انتخاب ژنوتیپ متحمل است؛ میزان کلروفیل، وزن خشک ریشه، تعداد شاخهٔ اصلی، میزان آب ازدست‌رفتهٔ برگ و محتوای نسبی آب برگ قادر به انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار در شرایط تنش متوسط است؛ و پایداری غشای سلولی و وزن تر ریشه در شرایط تنش شدید قادر به انتخاب ژنوتیپ متحمل است. عملکرد زیست‌توده و وزن ریشه تر در تمامی شرایط ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را مشخص می‌کند و پایداری غشای سلولی در شرایط تنش شدید قادر به مشخص‌کردن ژنوتیپ متحمل و حساس است. ژنوتیپ متحمل فارس شاهپور-۳۶۵۹ (ژنوتیپ ۵) با دمای تاج‌پوش پایین بیشترین وزن تر ریشه، وزن تر ساقه و طول ساقه در محیط عدم‌تنش را داشت. ژنوتیپ حساس فارس شاهپور-۳۷۲۳ (ژنوتیپ ۱۰) با دمای تاج‌پوش بالا دارای عملکرد زیست‌توده، وزن تر ریشه، وزن ساقهٔ تر و وزن خشک ساقهٔ پایینی بود که قطر ریشه، تعداد شاخهٔ اصلی و محتوای نسبی آب پایینی را نیز در شرایط تنش شدید نشان داد. پس این دو ژنوتیپ در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس قابل‌استفاده است و عملکرد زیست‌توده و وزن تر ریشه نیز محکی برای سایر صفات در غربالگری ژنوتیپ‌هاست.

منابع

۱. امام ی (۱۳۹۰) زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز، ویرایش چهارم. ۱۹۴ ص.

۲. توانا ش (۱۳۹۳) مقایسهٔ گزینش مبتنی بر عملکرد دانه و اجزای آن با گزینش بر مبنای برخی صفات کاربردی مؤثر در مقاومت به خشکی در گندم. دانشگاه زنجان. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد.

۳. فرشادفرع و محمدی ر (۱۳۸۵) ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های زراعی و فیزیولوژیکی. مجلهٔ علمی کشاورزی. ۲۹: ۸۷-۹۷.

۴. فرشادفرع و جوادی‌نیا ج (۱۳۹۰) ارزیابی ژنوتیپ‌های نخود از نظر تحمل تنش خشکی. مجلهٔ به‌نژادی نهال و بذر. ۲۷. ۵۱۷-۵۳۷.

۵. کافی م، برزوئی ا، صالحی م، کمندی ع، معصومی ع و نباتی ج (۱۳۸۸) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۲ ص.

6. Bahavar N, Ebadi A, Tobeh A and Jamati-e-Somarin SH (2009) Effects of nitrogen application on growth of irrigated chickpea under drought stress in hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences. 3(4): 448-455.

7. Balota M, Payne WA, Evett SR, Lazar MD and Peters TR (2008) Morphological and physiological traits associated with canopy temperature depression in three closely related wheat lines. Crop Science. 48: 1897-1910.

8. Batlang U (2010) Identification of Drought-Responsive Genes and Validation for Drought Resistance in Rice. Virginia Polytechnic Institute and State University, Ph.D Dissertation.

9. Bazrafshan AH and Ehsanzadeh P (2016) Evidence for differential lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in sesamum indicum L. genotypes under NaCl salinity. Journal of Agricultural Science and Technology. 18(1): 202-222.

10. De Marcelo AS, Jifon JL, Silva JAGD and Sharma V (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilan Journal of Plant Physioly. 19(3): 193-201.

11. Farshadfar E and Ghasemi M (2015) Evaluation of drought tolerance in bread wheat using water relations and integrated selection index. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 6(1): 77-84.

12. Fotovat R, Valizadeh M and Toorehi M (2007) Association between water-use efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (Triticum aestivum) under well-watered and drought stress conditions. Journal of Food Agriculture and Environment. 5: 225-227.

13. Gunes A, Inal A, Adak MS, Bagci EG, Cicek N and Eraslan F (2008). Effect of drought stress implemented at pre-or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. Russian Journal of Plant Physiology. 55(1): 59-67

14. Kashiwagi J, Krishnamurthy L, Crouch JH and Serraj R (2006) Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea under terminal drought stress. Field Crops Research. 95: 171-181.

15. Kavar T, Maras M, Kidric M, Sustar-Vozlic J and Meglic V (2007). Identification of genes involved in the response of leaves of Phaseolus vulgaris to drought stress, Molecular Breeding. 21: 159-172.

16. Mafakheri A, Siosemardeh A, Bahramnejad B, Struik PC and Sohrabi Y (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science. 4: 580-585.

17. Majidi A (2014). Using of chelorophyll meter for possibility of management of nitrogen fertilizer in three cultivars of wheat. Journal of Soil Research (soil and water sciences). 28(2): 245-254.

18. Manivannan P, Jaleel CA, Sankar B, Kishorekumar A, Somasundaram R, Alagu Lakshmanan GM, Panneerselvam R (2007) Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids Surfaces Biointerfaces. 59: 141-149.

19. Massacci A, Nabiev SM, Pietrosanti L, Nematov SK, Chernikova TN, Thor K and Leipner J (2008) Response of the photosynthetic apparatus of cotton to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiology and Biochemistry, 46: 189-195

20. Nasri MB, Aouani ME Mhamdi R (2007) Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. Soil Biology & Biochemistry. 30, 1744-1750.

21. PourMohammadi P, Moieni A and Komatsu S (2012) Comparative proteome nalysis of drought-sensitive and drought-tolerant rapeseed roots and their hybrid. Amino Acids. 43(5): 2137-2152.

22. Reynolds MP, Pierre CS, Saad ASI, Vargas M and Condon AG (2007) Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. Crop Science. 47: 172-189.

23. Salehi M, Shekari F and haghnazari A (2008) A study of drought tolerance with cell membrane stability testing and germination stress Index in genotypes of Lentil (*Lens culinaris*). Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 14(5): 39-50.

24. Sikuku PA, Netondo GW, Onyango JC and Musyimi DM (2010) Chlorophyll fluorescence, protein and chlorophyll content of three Nerica rainfed rice varieties under varying irrigation regimes. Journal of Agricultural and Biology Science. 5: 19-25.

25. Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K and Mohammadi V (2006) Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Researche. 98: 222-229.

26. Talebi R (2011) Evaluation of chlorophyll content and canopy temperature as indicator for drought tolerance in Durum wheat. Austrian Journal of Basic and Applied Sciences. 5(11): 1457-1462.

27. Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K and Pleijel H (2007) Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. Photosynthesis Research. 91: 37-46.

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 19 ■ No. 3 ■ Autumn 2017

Evaluation of drought stress effects on morphological, physiological and agronomical charactristice of chickpea genotypes in greenhouse

Khodabakhsh Goodarzvand Chegini[1] Reza Fotovat[2], Mohammad Reza Bihamta[3], Mansour Omidi[3], Aliakbar Shahnejant Boushehri[3]*

1. Ph.D., Zanjan University, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor, Plant Breeding and Agronomy, Zanjan University, Zanjan, Iran
3. Professor, Plant Breeding and Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: September 14, 2016 **Accepted: January 4, 2017**

Abstract

In order to evaluate the effect of drought stress on morphological, physiological and agronomical charactristice of tolerant, semi-tolerante and sensitive chickpea genotypes, a greenhouse exprimemt was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications. The first factors included of no water deficit stress, mild stress and sever stress and second factor included of 11 genotypes. Analysis of variances results indicated significant effect of genotype factor between all the traits exept relative water content and all intractions of genotype irrigation were significant except root dry weight, shoot dry weight, root diameter, shoot length and primary branch numbers. The greatest percentage of trait changes belonged to shoot dry weight, shoot fresh weight and biological yields in high drought stress and the lowest percentage of trait changes belonged to rate of water lost. The tolerant genotype of Fars shahpoor-3659 with low canopy temperature had the highest root fresh weight, shoot fresh weight and shoot length under non stress conditions and the sensitive genotype of Fars shahpoor-3723 with high canopy temperature had low biomass yields, root fresh weight, shoot fresh weight and shoot dry weight which showed reduction of root diameter, primary branch numbers and relative water content under high stress, too. Thus, these two genptypes could be used as indexes for identification of tolerant and sensitive varirties in later experimets.

Keywords: cellular membrane stability, rate of water content, rate of water lost, root fresh weight, trait change percentage.

Corresponding Author: kchegini@ut.ac.ir