

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در جو زراعی و وحشی براساس صفات فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل

محمد براتی^۱، محمد مهدی مجیدی^{۲*}، مریم صفاری^۳، آفاق‌فر میرلوحی^۲ و خلیل زینلی‌نژاد^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۲۶)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید گیاهان زراعی در دنیا محسوب می‌شود. اجداد وحشی گیاهان زراعی به‌علت پراکندگی در شرایط اقلیمی و محیطی متنوع، سازگاری بالایی با تنش‌های محیطی مثل خشکی دارند. در این مطالعه ۲۱ ژنوتیپ شامل ۱۰ ژنوتیپ جو زراعی و ۱۱ ژنوتیپ جو اسپانتانوم (*Hordeum vulgare ssp. spontaneum*) (نزدیک‌ترین خویشاوند جو) در سه محیط رطوبتی از نظر عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به تنش (STI و YSI) و تعدادی از صفات فیزیولوژیک در مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان طی سال‌های زراعی ۱۳۹۲ - ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ - ۱۳۹۲ ارزیابی شدند. در هر سه محیط رطوبتی تنوع بالایی بین و درون دو گروه ژنوتیپ زراعی و وحشی از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های STI و YSI مشاهده شد. تفاوت زیادی نیز بین ژنوتیپ‌ها برای صفات فیزیولوژیک وجود داشت. همچنین واکنش بسیار متفاوتی از ژنوتیپ‌ها به محیط‌های رطوبتی مختلف برای همه صفات مشاهده شد. ژنوتیپ‌های جو زراعی با عملکرد بالا از نظر شاخص STI متحمل‌تر بودند، ولی میانگین شاخص پایداری عملکرد در شرایط تنش (YSI) در ژنوتیپ‌های جو اسپانتانوم در مقایسه با ژنوتیپ‌های جو زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها از سطوح تحمل به تنش بالایی برخوردارند. از بین صفات فیزیولوژیک، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه جو زراعی و وحشی برای صفات محتوای آب نسبی و پرولین مشاهده گردید که نشان‌دهنده اهمیت این دو صفت در تفاوت تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های وحشی و زراعی می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های STI و YSI منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در هر سطح تنش گردید. بیشتر این ژنوتیپ‌ها از نمونه‌های جو اسپانتانوم بودند که می‌توانند در تلاقی با ارقام پر عملکردی مانند ریحان^۳ در برنامه‌های اصلاحی جهت افزایش تحمل به تنش خشکی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، پرولین، شاخص STI، خویشاوند وحشی

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکترا، استادان و کارشناس ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جو زراعی با نام علمی *Hordeum vulgare ssp. vulgare* L. بعد از گندم، ذرت و برنج چهارمین غله مهم دنیا از نظر تولید به شمار می‌رود (۱۸ و ۲۹). جو وحشی (*H. vulgare ssp. spontaneum* C. Koch) که به‌عنوان جد گونه زراعی جو محسوب می‌شود، به‌راحتی با جو زراعی تلاقی‌پذیر است و نتاج بارور ایجاد می‌کند و جزو خزانه اولیه جو به‌شمار می‌رود (۲۹ و ۳۰). خاورمیانه و هلال حاصلخیز شامل نواحی غرب ایران مرکز تنوع جو زراعی و وحشی می‌باشد (۲۹ و ۳۰).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در دنیا است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو ساخته است (۹). در کشور ایران به‌جز سواحل دریای خزر و قسمت‌های کوچکی از شمال غربی کشور بقیه مناطق جزء نقاط خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردند (۲۰). انتخاب محیط تنش مناسب و انتخاب ژرم‌پلاسم مناسب از عوامل مهم در اصلاح ژنتیکی صفات زراعی و مقاومت به تنش‌های محیطی هستند (۲۳ و ۳۸). ارقام بومی و اجداد وحشی گونه‌های زراعی به‌دلیل اینکه در شرایط اقلیمی و محیطی متنوعی پراکنده هستند، معمولاً سازگاری بالایی با تنش‌های محیطی مثل خشکی و شوری دارند و لذا جمع‌آوری، نگهداری و ارزیابی تنوع ژنتیکی صفات مورفولوژیک و مقاومت به تنش‌های محیطی در آنها اهمیت بسیار زیادی دارد (۲۹ و ۳۰).

ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان و تغییر آنها در شرایط تنش اهمیت زیادی در تحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی دارند و از این‌رو توجه به این ویژگی‌ها در مطالعه میزان مقاومت به خشکی اهمیت زیادی دارد (۹). از جمله می‌توان به نقش مؤثر پرولین در تنظیم اسمزی گیاه (۱۵ و ۲۷) و جلوگیری از تخریب کلروفیل برگ و دوام فتوسنتز تحت شرایط تنش (۷، ۱۲ و ۱۷) اشاره کرد.

در گذشته مطالعات بسیار زیادی در ارزیابی تحمل به تنش

خشکی در جو زراعی و وحشی صورت گرفته است. از جمله ایواندیک و همکاران (۱۸) واکنش ژنوتیپ‌های جو اسپانتانوم را که از مناطق مختلف فلسطین اشغالی جمع‌آوری شده بودند نسبت به تنش خشکی بررسی کردند و نشان دادند ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده از مناطق با تنش شدیدتر کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفتند. ژاو و همکاران (۴۳) واکنش ژرم‌پلاسم متنوع جو وحشی جمع‌آوری شده از فلات تبت در چین به تنش خشکی را بررسی کردند و ضمن مشاهده تنوع وسیع در واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش تأیید کردند که جو وحشی یک خزانه بسیار با ارزش برای ژن‌های مفید است. زهراوی (۴۱) با کشت و ارزیابی ۳۶ ژنوتیپ جو اسپانتانوم در شرایط شاهد و تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به تنش را اندازه‌گیری کرده و شاخص STI را به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی نمود. کشاورزیا و همکاران (۲۰) با ارزیابی ۳ ژنوتیپ جو زراعی و ۱ ژنوتیپ جو اسپانتانوم در شرایط شاهد و تنش، محتوای نسبی بالای آب برگ و توانایی گیاه در تنظیم اسمزی را به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای تحمل به تنش خشکی معرفی کردند. در نهایت براتی و همکاران (۴) تعدادی از ژنوتیپ‌های جو زراعی و وحشی را از نظر تحمل به تنش خشکی و صفات ریشه در مراحل گیاهچه و گیاه بالغ در شرایط گلدانی بررسی کردند و گزارش کردند نمونه‌های جو وحشی به‌ویژه نمونه‌هایی که از ایران جمع‌آوری شده بودند پتانسیل بالایی در بهبود صفات مرتبط با تنش خشکی به‌ویژه صفات مرتبط با ریشه دارند.

علی‌رغم پراکندگی زیادی که گیاه جو و جد وحشی آن در مناطق مختلف آب و هوایی ایران دارند (۴ و ۳۰)، مطالعات کمی روی نمونه‌های ایرانی جو وحشی صورت گرفته است و کمتر از آنها در برنامه‌های اصلاحی افزایش تحمل به تنش خشکی استفاده شده است. از طرفی بررسی صفات فیزیولوژیک در نمونه‌های جو وحشی و مقایسه واکنش آنها به تنش با نمونه‌های زراعی جو به اندازه کافی صورت نگرفته است. بر این اساس مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی بین و

درون نمونه‌های زراعی و وحشی جو به‌ویژه نمونه‌های ایرانی در سه محیط رطوبتی (شرایط عدم تنش و دو سطح تنش خشکی) و مقایسه واکنش این ژنوتیپ‌ها به سطوح متفاوت تنش خشکی، شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی با توجه به عملکرد، شاخص‌های تحمل به تنش و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و معرفی آنها برای استفاده در برنامه‌های ژنتیکی و اصلاحی مقاومت به تنش خشکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی مورد استفاده، مکان و نحوه انجام آزمایش

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در منطقه لورک نجف‌آباد انجام پذیرفت. این منطقه طبق تقسیم‌بندی کوپن، دارای اقلیم نیمه‌خشک خنک با تابستان‌های خشک می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۴۰ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سلسیوس است. ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۱۰ ژنوتیپ جو زراعی و ۱۱ ژنوتیپ جو اسپانتانوم بودند که از بانک ژن IPK کشور آلمان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و بانک ژن ملی گیاهی ایران تهیه گردیدند و تعدادی از آنها نیز از مناطق مختلف ایران جمع‌آوری شدند (جدول ۱). این ژنوتیپ‌ها در مزرعه در سه محیط رطوبتی عدم تنش (شاهد)، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید در سال‌های زراعی ۱۳۹۳ - ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ - ۱۳۹۳ کشت شدند. آزمایش در هر کدام از سطوح رطوبتی در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی دو خط کاشت با فاصله ۲۵ و طول ۱۲۰ سانتی‌متر بود و فواصل بین واحدها ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش تمامی کرت‌ها از زمان کاشت (اواسط آبان) تا مرحله استقرار کامل بوته‌ها (اول اسفند ماه) از نظر آبیاری و اعمال مدیریت‌های زراعی به‌صورت

یکسان در نظر گرفته شدند. بعد از استقرار کامل بوته‌ها برای اعمال تنش شدید قطع کامل آبیاری صورت گرفت. آبیاری محیط‌های عدم تنش (شاهد) و تنش متوسط براساس ضریب مدیریت مزرعه (MAD) به ترتیب ۵۰ و ۸۵ درصد صورت گرفت. در زمان شروع اعمال تیمارهای تنش، رطوبت خاک در عمق‌های توسعه ریشه (عمق‌های صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شدند و مقدار آب آبیاری برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی مزرعه تعیین و سپس در هر دو تیمار آبیاری اعمال گردید. برای تعیین زمان آبیاری دوم و بعد در هر تیمار به‌منظور کاهش تعداد نمونه‌گیری رطوبت خاک، از روش پیش‌بینی با استفاده از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق تجمعی استفاده گردید. به‌طوری‌که پس از هر آبیاری مقدار تجمعی تبخیر و تعرق (ETc) با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانیتث با اعمال ضریب گیاهی جو (برابر ۱) طی دوره رشد محاسبه گردید (۱) و زمانی که مقدار تبخیر و تعرق تجمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (I_d) در تیمار مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I_d = (FC - PWP) \times D \times BD \times MAD \quad (1)$$

که I_d عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)، FC رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد) (متوسط برای لایه‌های مختلف خاک)، PWP رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد) (متوسط برای لایه‌های مختلف خاک)، D عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر) و BD چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) (متوسط برای لایه‌های مختلف خاک) بودند. بنابراین زمان آبیاری برای تیمارهای مختلف متفاوت بود لیکن مقدار آبی که به تیمارهای مختلف در یک دوره آبیاری داده می‌شد یکسان و برابر با کمبود آب خاک تا حد FC در تیمار عدم تنش بود که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I = (FC - \theta_{\text{ini}}) \times B \times D \quad (2)$$

جدول ۱. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌های جو وحشی و جو زراعی مورد استفاده در ارزیابی مزرعه‌ای تحمل به تنش خشکی در طول دو سال زراعی

شماره	نام ژنوتیپ	کد بانک ژن	منشاء	توضیحات
۱	Hsp02	HOR 9771	آمریکا	جو وحشی اسپانثوم
۲	Hsp06	HOR 10975	تاجیکستان	جو وحشی اسپانثوم
۳	Hsp07	HOR 9470	اسرائیل	جو وحشی اسپانثوم
۴	Hsp08	HOR 2692	ایران	جو وحشی اسپانثوم
۵	Hsp21	HOR2695	ترکمنستان	جو وحشی اسپانثوم
۶	Hsp45	HOR2685	ایران	جو وحشی اسپانثوم
۷	Hsp47	HOR2684	ایران	جو وحشی اسپانثوم
۸	Hsp68	-	ایران (ازنا)	جو وحشی اسپانثوم
۹	Hsp78	-	ایران (کرمانشاه)	جو وحشی اسپانثوم
۱۰	Hsp79	-	ایران	جو وحشی اسپانثوم
۱۱	Hsp80	-	ایران (ایوان)	جو وحشی اسپانثوم
۱۲	Hvu224	HOR14368	ایران	جو زراعی دو ردیفه
۱۳	Hvu235	HOR1902	ایران	جو زراعی دو ردیفه
۱۴	Hvu258	-	ایران	جو زراعی دو ردیفه
۱۵	Hvu603	BCC906	آمریکا	جو زراعی شش ردیفه (رقم مورکس)
۱۶	Hvu627	HOR2862	ایران	جو زراعی شش ردیفه
۱۷	Hvu653	-	ایران	جو زراعی شش ردیفه (رقم نصرت)
۱۸	Hvu654	-	ایران	جو زراعی شش ردیفه (رقم ریحان ۰۳)
۱۹	Hvu659	-	ایران	جو زراعی شش ردیفه
۲۰	Hvu660	-	ایران	جو زراعی شش ردیفه
۲۱	Hvu663	-	ایران	جو زراعی شش ردیفه

صفات مورد بررسی و چگونگی اندازه‌گیری

از هر واحد آزمایشی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب شد و پس از جداسازی دانه، وزن آنها اندازه‌گیری شد و میانگین عملکرد دانه در بوته محاسبه گردید. با توجه به اینکه در این مطالعه ژنوتیپ‌ها در ۳ محیط رطوبتی بررسی شدند، شاخص تحمل به تنش (STI) (۱۶) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) (۱۱) به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی طبق فرمول‌های زیر برای هر سطح

در رابطه فوق θ_{iri} متوسط رطوبت وزنی خاک در عمق توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری در تیمار عدم تنش (درصد)، I عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، FC رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، D عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر) و BD چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد (متوسط برای لایه‌های مختلف خاک) بودند.

تنش به صورت جداگانه محاسبه شد.

$$STI=(Y_p \times Y_s) \times \bar{Y}_p \quad (3)$$

$$YSI=Y_s/Y_p \quad (4)$$

در این فرمول‌ها Y_p و Y_s به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش و عدم تنش و \bar{Y}_p میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط عدم تنش را نشان می‌دهد.

در سال دوم در مرحله گرده‌افشانی محتوای نسبی آب برگ (RWC) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا وزن تازه برگ‌ها (FW) تعیین شد و سپس برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای معمولی و تاریکی قرار گرفتند و متعاقب آن وزن آماس (TW) تعیین شد. در مرحله بعد برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۵ درجه قرار گرفتند، پس از این مدت وزن خشک (DW) آنها ثبت گردید. محتوای آب نسبی برگ (RWC) از رابطه زیر براساس درصد محاسبه شد (۳۳):

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (5)$$

همچنین در مرحله گرده‌افشانی از همه واحدهای آزمایشی نمونه برگ تهیه گردیده و در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. این نمونه‌ها برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b و کارتنوئید برگ با استفاده از روش آرنسون (۲) و اندازه‌گیری محتوای پرولین طبق روش بیتس (۵) استفاده شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار Excel و محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، آزمون نرمال بودن داده‌ها با نرم‌افزار SAS صورت گرفت. تجزیه واریانس به صورت طرح بلوک کامل تصادفی و برای صفات اندازه‌گیری شده در محیط‌های رطوبتی به صورت تجزیه مرکب در قالب بلوک کامل تصادفی انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. به منظور برآورد ارتباط عملکرد، شاخص‌های تحمل

و صفات فیزیولوژیک از ضرایب همبستگی استفاده شد. برای محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات و همچنین ترسیم نمودارهای بای‌پلات از نرم‌افزار StatGraphics استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

براساس مقایسه نتایج آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk در سطح احتمال ۵٪ داده‌های مربوط به همه صفات نرمال بودند. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش (جدول ۲) نشان داد که عامل سال برای عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش متوسط و شاخص‌های تحمل در شرایط تنش متوسط معنی‌دار نبود اما تفاوت معنی‌داری بین دو سال برای عملکرد و شاخص‌های تحمل در شرایط تنش شدید مشاهده گردید. همچنین ژنوتیپ و سال \times ژنوتیپ برای عملکرد و شاخص‌های تحمل در همه محیط‌ها معنی‌دار بودند.

نتیجه مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۳) نشان داد در هر دو سال رقم جو شش ردیفه Hvu654 (رقم ریحان ۰۳) در شرایط عدم تنش بیشترین عملکرد را داشت (۳۵۸/۱ گرم در سال اول و ۳۱۵/۲ گرم در سال دوم). بیشترین عملکرد در شرایط تنش متوسط در سال اول برای ژنوتیپ Hvu654 و در سال دوم برای ژنوتیپ Hsp80 مشاهده شد (به ترتیب ۲۹۰/۸ و ۲۶۰/۶ گرم). بیشترین عملکرد در شرایط تنش شدید در سال اول در ژنوتیپ Hvu653 (۲۲۴/۹ گرم) و در سال دوم برای ژنوتیپ Hsp08 مشاهده شد (۲۷۰/۰ گرم).

از بین دو شاخصی که در این مطالعه استفاده شدند (STI و YSI)، شاخص STI معمولاً با عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش همبستگی دارد (۱۳ و ۳۷). این همبستگی مثبت در این مطالعه نیز در هر دو سطح تنش مشاهده گردید. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالاتری دارند از طریق این شاخص به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر شناسایی می‌شوند. از طرف دیگر شاخص YSI معمولاً با هیچ‌یک از عملکردها

جدول ۲. میانگین مربعات منابع تغییر در تجزیه واریانس مرکب سالها برای عملکرد و شاخصهای تحمل به تنش بررسی شده در ژنوتیپهای مورد مطالعه تحت سه محیط رطوبتی

تنش شدید			تنش متوسط			عدم تنش		منبع تغییرات (درجه آزادی)
YSI	STI	GY	YSI	STI	GY	GY		
۱۲/۲۴**	۱/۱۸**	۸۰۵۶۵/۲**	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۱۷۱۹۸/۱ ^{ns}	۱۴۶۳۳/۶ ^{ns}	سال (۱)	
۰/۱۴	۰/۰۸	۱۳۴۲/۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۲۲۵۲/۰	۳۲۲۳/۳	تکرار در سال (۴)	
۱/۹۳**	۰/۶۹**	۷۹۵۷/۷**	۰/۳۹**	۱/۰۵**	۶۶۹۸/۱**	۳۰۲۵۰/۱**	ژنوتیپ (۲۰)	
۲/۶۷**	۱/۱۹**	۱۶۸۴/۶ ^{ns}	۲/۱۶**	۰/۹۱**	۴۸۴۲/۰*	۱۰۵۷۱۷/۷**	جو زراعی در مقابل جو اسپانتانوم (۱)	
۱/۵۵**	۰/۶۰*	۱۱۴۹۸/۳**	۰/۲۵**	۰/۷۲**	۶۷۶۲/۹**	۱۵۲۱۰/۱**	سال × ژنوتیپ (۲۰)	
۰/۱۹	۰/۰۷	۱۳۲۴/۰	۰/۰۸	۰/۰۹	۱۲۳۲/۰	۲۲۸۱/۶	خطا (۸۰)	
۲۵/۵	۳۱/۳	۲۲/۱	۳۰/۴	۲۹/۹	۱۹/۸	۲۱/۵	ضریب تنوع	

*، **، ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطوح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی داری می باشند

GY عملکرد دانه، STI شاخص تحمل به تنش، YSI شاخص پایداری عملکرد

در مقابل ۲۳۱/۷ گرم)، ولی در شرایط تنش متوسط عملکرد آنها بیشتر بود (۱۸۴/۵ در مقابل ۱۷۰/۷ گرم). تفاوت عملکرد این دو گروه ژنوتیپ در شرایط تنش شدید معنی دار نبود (۱۶۶/۱ گرم در جو وحشی و ۱۶۰/۳ گرم در جو زراعی). در هر دو سطح تنش، میانگین شاخص STI در ژنوتیپهای وحشی کمتر از جو زراعی بود (۰/۹۰ در مقابل ۱/۰۷ در تنش متوسط و ۰/۷۷ در مقابل ۰/۹۶ در تنش شدید) ولی میانگین شاخص YSI در آنها بیشتر از ژنوتیپهای زراعی بود (۱/۰۶ در مقابل ۰/۸۱ در تنش متوسط و ۱/۰۶ در مقابل ۰/۸۳ در تنش شدید). نتیجه مشابهی نیز برای دادههای هر سال به صورت جداگانه حاصل گردید (نتایج نشان داده نشده اند). بر این اساس ژنوتیپهای جو وحشی عملکرد پایین تری در شرایط عدم تنش داشتند ولی پایداری عملکرد آنها در شرایط تنش نسبت به ژنوتیپهای زراعی بیشتر بود و از این نظر تحمل بالایی به تنش خشکی از خود نشان دادند. این تحمل بالا به تنش خشکی می تواند به دلیل ساختار ریشه گسترده تر و عمیق تر ژنوتیپهای وحشی در شرایط تنش خشکی باشد که در مطالعات گذشته به آن اشاره شده است (۴).

همبستگی ندارد (۱۱) و در انتخاب با این شاخص پتانسیل عملکرد در نظر گرفته نمی شود. میانگین این دو شاخص برای هر یک از ژنوتیپها در هر سال و برای هر سطح تنش به صورت جداگانه در شکل ۱ قابل مشاهده است. بیشترین مقدار شاخصهای STI و YSI در شرایط تنش متوسط در سال اول به ترتیب برای رقم ریحان ۰۳ و ژنوتیپ Hsp08 (به ترتیب ۱/۹۳ و ۱/۳۰) و در سال دوم به ترتیب برای ژنوتیپ Hsp06 و Hsp02 (به ترتیب ۱/۹۹ و ۱/۵۱) مشاهده شد. در شرایط تنش شدید، بیشترین مقدار شاخصهای STI و YSI در سال اول به ترتیب در ژنوتیپهای Hvu653 (رقم نصرت) و Hvu258 و در سال دوم به ترتیب در ژنوتیپهای Hvu654 و Hsp08 مشاهده شد.

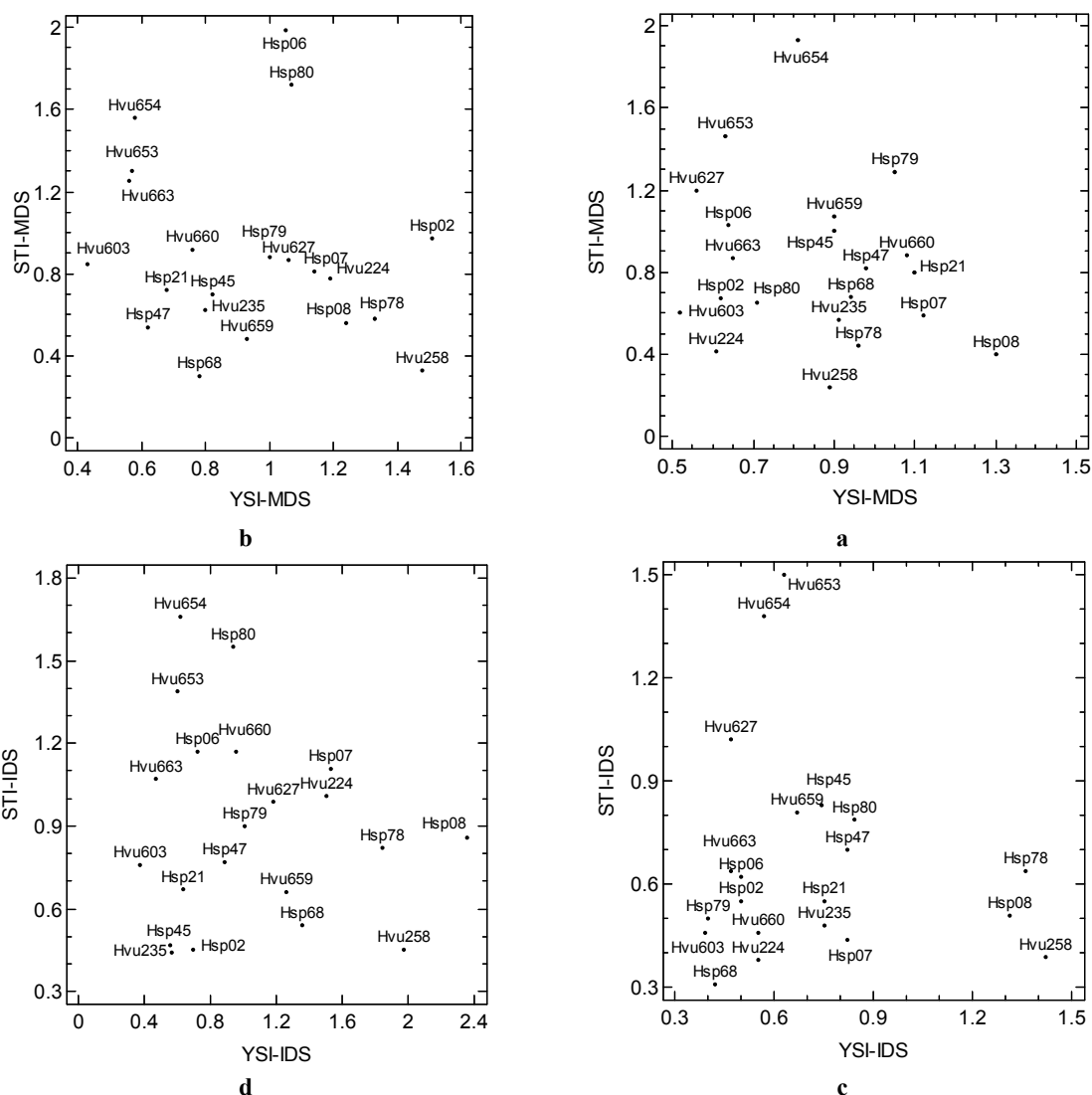
با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، مقایسه گروهی بین جو زراعی و وحشی تفاوت معنی داری را برای عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش متوسط و شاخصهای STI و YSI در هر دو سطح تنش خشکی بین دو گروه نشان داد، اما تفاوت عملکرد این دو گروه ژنوتیپ در شرایط تنش شدید معنی دار نبود. ژنوتیپهای جو وحشی عملکرد کمتری در شرایط عدم تنش نسبت به ژنوتیپهای زراعی داشتند (۱۹۳/۷

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه (گرم در بوته) در ۲۱ ژنوتیپ جو زراعی و جو وحشی اسپانتانوم در سه محیط رطوبتی طی ۲ سال زراعی

ژنوتیپ	شاهد		تنش خشکی متوسط		تنش خشکی شدید	
	سال ۹۱-۹۲	سال ۹۲-۹۳	سال ۹۱-۹۲	سال ۹۲-۹۳	سال ۹۱-۹۲	سال ۹۲-۹۳
Hsp02	۲۴۱/۵	۱۵۴/۴	۱۴۹/۱	۲۳۳/۰	۱۲۰/۰	۱۰۶/۶
Hsp06	۲۹۴/۴	۲۶۵/۰	۱۸۹/۲	۲۷۸/۱	۱۲۹/۱	۱۷۵/۱
Hsp07	۱۶۹/۱	۱۶۱/۹	۱۹۸/۶	۱۸۴/۸	۱۳۹/۳	۲۴۸/۲
Hsp08	۱۲۹/۷	۱۲۹/۰	۱۶۸/۱	۱۶۰/۰	۱۸۷/۷	۲۷۰/۰
Hsp21	۱۹۸/۰	۱۹۶/۹	۲۱۸/۷	۱۳۴/۵	۱۴۸/۳	۱۲۴/۱
Hsp45	۲۴۴/۶	۱۷۶/۹	۲۲۱/۰	۱۵۴/۴	۱۸۰/۲	۹۷/۲
Hsp47	۲۱۳/۲	۱۷۸/۹	۲۰۸/۰	۱۱۰/۸	۱۷۴/۹	۱۵۶/۷
Hsp68	۱۹۷/۳	۱۲۰/۰	۱۸۵/۱	۹۴/۰	۸۳/۴	۱۶۲/۳
Hsp78	۱۵۷/۸	۱۲۷/۱	۱۵۱/۰	۱۹۶/۶	۲۱۴/۳	۲۳۴/۰
Hsp79	۲۵۸/۲	۱۸۰/۰	۲۷۰/۳	۱۸۰/۷	۱۰۳/۶	۱۸۱/۹
Hsp80	۲۲۳/۹	۲۴۴/۰	۱۵۸/۰	۲۶۰/۶	۱۸۷/۹	۲۳۰/۰
Hvu224	۱۹۰/۰	۱۵۶/۰	۱۱۶/۳	۱۸۵/۵	۱۰۴/۹	۲۳۴/۸
Hvu235	۱۸۴/۵	۱۶۸/۹	۱۶۷/۷	۱۳۵/۴	۱۳۸/۴	۹۴/۷
Hvu258	۱۲۰/۸	۹۱/۳	۱۰۷/۶	۱۳۴/۴	۱۷۱/۹	۱۸۰/۰
Hvu603	۲۵۰/۴	۲۷۰/۶	۱۲۹/۳	۱۱۵/۸	۹۷/۱	۱۰۱/۴
Hvu627	۳۴۰/۱	۱۷۴/۷	۱۹۰/۸	۱۸۵/۰	۱۵۹/۵	۲۰۶/۶
Hvu653	۳۵۴/۸	۲۸۹/۲	۲۲۲/۳	۱۶۵/۶	۲۲۴/۹	۱۷۴/۶
Hvu654	۳۵۸/۱	۳۱۵/۲	۲۹۰/۸	۱۸۲/۵	۲۰۴/۴	۱۹۰/۹
Hvu659	۲۵۳/۳	۱۳۸/۱	۲۲۸/۹	۱۲۸/۵	۱۷۰/۲	۱۷۴/۲
Hvu660	۲۱۰/۵	۲۱۱/۸	۲۲۶/۵	۱۶۰/۹	۱۱۶/۳	۲۰۰/۵
Hvu663	۲۹۶/۴	۲۸۶/۸	۱۷۵/۳	۱۶۱/۸	۱۲۵/۹	۱۳۵/۳
	۶۳/۹	۷۴/۱	۵۲/۱	۴۳/۳	۴۳/۹	۵۵/۵
	LSD* (٪۵) اثرات متقابل		۴۶/۶	۴۸/۴	۶۷/۹	۴۸/۴

+ حداقل تفاوت معنی دار برای مقایسه میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر سال به صورت جداگانه

* حداقل تفاوت معنی دار برای مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و سال



شکل ۱. نمودار بای پلات شاخص STI در مقابل YSI در شرایط تنش خشکی متوسط (MDS) در سال اول (a) و سال دوم (b) و در شرایط تنش خشکی شدید (IDS) در سال اول (c) و سال دوم (d). مقدار LSD (۵٪) برای مقایسه میانگین شاخص STI در سال اول، دوم و اثر متقابل ژنوتیپ در سال در سطح تنش متوسط به ترتیب برابر ۰/۳۲، ۰/۳۹ و ۰/۳۹ و در سطح تنش شدید به ترتیب برابر ۰/۳۱، ۰/۳۰ و ۰/۳۳ بود. همچنین مقدار LSD (۵٪) برای مقایسه میانگین شاخص YSI در سال اول، دوم و اثر متقابل ژنوتیپ در سال در سطح تنش متوسط به ترتیب برابر ۰/۳۲، ۰/۴۳ و ۰/۴۵ و در سطح تنش شدید به ترتیب برابر ۰/۳۰، ۰/۳۹ و ۰/۴۹ بود.

a به b معنی دار است (جدول ۴). از نظر کلیه صفات فیزیولوژیک بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی داری مشاهده شد که بیانگر تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌ها از نظر

صفات فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک نشان داد تأثیر تنش رطوبتی بر روی همه صفات فیزیولوژیک به جز نسبت کلروفیل

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک بررسی شده در ۲۱ ژنوتیپ جو زراعی و جو وحشی اسپانتانوم در سه محیط رطوبتی در سال زراعی ۹۴ - ۹۳

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
غلظت	نسبت غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	محتوای نسبی آب برگ		
پرولین	کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کارتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a			
۵۴۳/۸۳**	۱/۱۲ ^{ns}	۰/۹۸**	۳۷/۸۵**	۰/۲۹**	۰/۲۳**	۱۰۰۵/۰*	۲	محیط (تنش)
۴/۱۸	۰/۶۲	۰/۰۳۵	۱/۴۷	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۳۱۷/۶۶	۶	تکرار در محیط
۳۸/۸۰**	۱/۱۰**	۰/۳۹**	۱۴/۷۳**	۰/۱۰**	۰/۱۱**	۲۷۶/۵۴**	۲۰	ژنوتیپ
۷۰/۸**	۳/۹ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱۰/۱**	۱	زراعی در مقابل وحشی
۲۱/۲۹**	۱/۲۸**	۰/۳۹**	۱۷/۵۰**	۰/۱۰**	۰/۱۱**	۱۵۷/۴۶**	۴۰	ژنوتیپ × محیط
۱/۷۷	۰/۳۹	۰/۰۵	۲/۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵	۵۱/۵۹	۱۲۰	خطا
۲۲/۴	۲۵/۳	۱۶/۴	۱۳/۷	۳۱/۳	۱۳/۱	۱۰/۵		ضریب تنوع

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطوح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی داری می باشند.

نسبت به سطح شاهد به طور معنی دار کاهش یافت. از دلایل کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، می توان به افزایش محتوای سلولی جهت تنظیم اسمزی و کاهش پتانسیل آب برگ که خود منجر به کاهش تورژسانس، هدایت روزنه ای و میزان فتوسنتز می شود، اشاره نمود. در چنین شرایطی گیاه با کاهش رشد و در نتیجه کاهش عملکرد مواجه می گردد (۲۲). اسپانفلد و همکاران (۳۶) کاهش مقدار RWC در برگ های گندم را تحت تأثیر تنش رطوبتی گزارش کردند و نتیجه گرفتند که ارقام متحمل به خشکی در هنگام تنش مقدار RWC بیشتری نسبت به ارقام حساس دارا بودند. بنابراین میزان نسبی آب برگ را به عنوان یک نشانگر تحمل به خشکی پیشنهاد کردند. کشاورزیا و همکاران (۲۰) نیز ضمن گزارش کاهش مقدار RWC تحت تنش، کاهش کمتر این صفت را شاخصی مناسب برای تحمل به تنش خشکی در جو معرفی کردند. با توجه به نتایج موجود در جدول ۵، در این مطالعه ژنوتیپ های جو وحشی Hsp45، Hsp08 و Hsp47 بیشترین میزان RWC را به ترتیب در سطوح عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید خشکی دارا بودند (به ترتیب ۸۱/۲۰، ۸۳/۳۶ و ۷۸/۷۳ درصد).

این صفات می باشد. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ برای همه صفات معنی دار شد که بیانگر عدم واکنش یکسان ژنوتیپ ها در محیط های رطوبتی مختلف می باشد. مقایسه گروهی بین نمونه های زراعی و وحشی فقط برای صفات محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین تفاوت معنی دار بین این دو گروه را نشان داد.

میانگین ژنوتیپ ها در سه محیط رطوبتی برای صفات فیزیولوژیک در جدول های ۵ و ۶ قرار داده شده است. دامنه تغییرات در هر سه محیط گسترده بود که نشان دهنده تنوع بالای صفات فیزیولوژیک بین ژنوتیپ های مورد مطالعه است. نتایج نشان داد که مقادیر میانگین محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و کلروفیل کل در شرایط تنش متوسط نسبت به عدم تنش و تنش شدید نسبت به تنش متوسط کاهش یافتند، هر چند به دلیل اثر متقابل معنی دار بین ژنوتیپ و محیط، این نتیجه برای همه ژنوتیپ ها صادق نیست. کاهش این صفات فیزیولوژیک تحت تنش خشکی در مطالعات گذشته نیز مشاهده شده است (۲۰، ۳۶ و ۵۴). در این مطالعه محتوای نسبی آب برگ در سطح تنش شدید

جدول ۶. میانگین صفات مرتبط با غلظت کلروفیل در ۲۱ ژنوتیپ جو زراعی و جو وحشی اسپانتانوم اندازه گیری شده در سه سطح تنش خشکی

شماره ژنوتیپها	غلظت کلروفیل a (mg/g leaf)			غلظت کلروفیل b (mg/g leaf)			غلظت کلروفیل کل (mg/g leaf)			نسبت غلظت کلروفیل a/b		
	شاهد	متوسط	شدید	شاهد	متوسط	شدید	شاهد	متوسط	شدید	شاهد	متوسط	شدید
Hsp02	۱/۰۸	۱/۰۹	۱/۰۸	۰/۶۰	۰/۴۴	۰/۶۰	۱/۶۷	۱/۵۳	۱/۶۸	۲/۰۱	۲/۶۰	۲/۰۱
Hsp06	۱/۰۳	۱/۰۱	۱/۰۳	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۲۵	۱/۰۳	۱/۴۱	۱/۲۸	۲/۳۶	۲/۵۴	۵/۲
Hsp07	۱/۱۳	۰/۷۵	۱/۱۳	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۶۶	۱/۰۲	۱/۱۴	۱/۷۹	۲/۹۲	۲/۲۰	۱/۷۸
Hsp08	۱/۱۱	۱/۰۳	۱/۱۱	۰/۲۰	۰/۵۷	۰/۷۳	۰/۸۲	۱/۶۰	۱/۸۵	۳/۰۹	۲/۰۲	۱/۶۴
Hsp21	۰/۶۴	۱/۰۹	۰/۶۴	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۲۲	۱/۴۹	۱/۵	۰/۸۶	۲/۰۸	۲/۶۰	۲/۹۵
Hsp45	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۱۰	۰/۳۹	۰/۷۳	۰/۵۷	۱/۳۸	۱/۸۵	۱/۶۷	۲/۷۱	۱/۵۸	۲/۰۶
Hsp47	۱/۰۰	۰/۹۴	۱/۰۰	۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۳۷	۱/۶۷	۱/۳۰	۱/۳۸	۲/۲۳	۲/۶۸	۲/۷۲
Hsp68	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۱/۱۴	۰/۸۱	۰/۸۵	۲/۷۴	۲/۹۷	۳/۰۳
Hsp78	۱/۰۹	۰/۸۶	۱/۰۹	۰/۶۲	۰/۲۹	۰/۸۰	۱/۶۹	۱/۱۶	۱/۸۹	۱/۹۴	۲/۹۱	۱/۵۶
Hsp79	۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۱۸	۲/۱۴	۱/۳۰	۰/۷۴	۲/۱۴	۲/۵۵	۳/۱۵
Hsp80	۱/۰۳	۰/۷۸	۱/۰۳	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۴۹	۳/۰۵	۱/۰۷	۱/۵۳	۳/۰۵	۲/۷۵	۲/۱۵
Hvu224	۱/۱۴	۰/۷۷	۱/۱۴	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۶۳	۲/۶۲	۳/۴۵	۱/۷۹	۲/۶۲	۳/۴۵	۱/۷۹
Hvu235	۱/۱۳	۰/۸۰	۱/۱۳	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۷۵	۲/۹۳	۲/۳۸	۱/۵۵	۲/۹۳	۲/۳۸	۱/۵۵
Hvu258	۱/۱۴	۰/۹۴	۱/۱۴	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۶۴	۲/۷۰	۲/۵۵	۱/۸۲	۲/۷۰	۲/۵۵	۱/۸۲
Hvu603	۱/۱۲	۱/۰۸	۱/۱۲	۰/۱۹	۰/۴۲	۰/۷۹	۳/۱۴	۲/۵۷	۱/۴۶	۳/۱۴	۲/۵۷	۱/۴۶
Hvu627	۱/۱۱	۰/۸۰	۱/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۸۷	۲/۹۵	۲/۸۶	۱/۳۱	۲/۹۵	۲/۸۶	۱/۳۱
Hvu653	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۲	۰/۲۳	۰/۴۷	۰/۵۵	۲/۸۱	۲/۴۲	۲/۱۰	۲/۸۱	۲/۴۲	۲/۱۰
Hvu654	۱/۰۸	۱/۱۳	۱/۰۸	۰/۷۵	۰/۶۹	۰/۵۵	۱/۶۷	۱/۶۳	۲/۰۸	۱/۶۷	۱/۶۳	۲/۰۸
Hvu659	۰/۵۱	۱/۰۷	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۴۰	۰/۱۶	۳/۲۷	۲/۵۸	۳/۱۰	۳/۲۷	۲/۵۸	۳/۱۰
Hvu660	۰/۹۰	۱/۰۷	۰/۹۰	۰/۲۲	۰/۶۱	۰/۲۸	۳/۰۴	۱/۹۳	۳/۱۷	۳/۰۴	۱/۹۳	۳/۱۷
Hvu663	۱/۰۷	۱/۰۹	۱/۰۷	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۴۸	۲/۱۷	۱/۹۶	۲/۲۷	۲/۱۷	۱/۹۶	۲/۲۷
	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۸۳	۰/۶۹	۱/۴۸	۰/۸۳	۰/۶۹	۱/۴۸
LSD* اثرات متقابل											۰/۱۱	۰/۵۸
											۰/۱۲	۰/۲۱
											۰/۱۳	۰/۲۱

+ حداقل تفاوت معنی دار برای مقایسه میانگین ژنوتیپها در هر محیط به صورت جداگانه

* حداقل تفاوت معنی دار برای مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط

کارتونوئید با پاک سازی رادیکال های آزاد اکسیژن موجب حفاظت گیاه در برابر تنش های اکسیداتیو می شود (۲۵).

به ترتیب برابر با ۶۸/۶۲ و ۶۳/۶۶ درصد) که می تواند عاملی برای تحمل بیشتر به تنش خشکی در این ژنوتیپها باشد.

گاماگلو تامیل کیناز ممکن است دلیل تجمع بیشتر پرولین تحت شرایط تنش باشد. ولی نمی‌توان با تکیه بر این دلیل بیان نمود که هر گیاهی تحت شرایط تنش خشکی، پرولین بیشتری دارد مقاوم‌تر است. چه بسا ژنوتیپی که تحت شرایط تنش خشکی پرولین بیشتری دارد اما به خشکی حساس‌تر است. ویسی‌پور و همکاران (۳۹) گزارش نمودند که افزایش پرولین منجر به کاهش عملکرد گیاه و افزایش بقا آن در شرایط تنش خشکی می‌شود. افزایش غلظت پرولین در تنش خشکی ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد (۱۹ و ۴۲). در مقایسه ژنوتیپ‌های زراعی و وحشی، میانگین محتوای پرولین در نمونه‌های وحشی به‌طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ‌های زراعی بود (میانگین محتوای پرولین به‌ترتیب برابر با ۵/۷۹ و ۶/۰۹ $\mu\text{mol/g}$)، هرچند در تنش شدید میزان پرولین نمونه‌های وحشی بیشتر از ژنوتیپ‌های زراعی بود (به‌ترتیب برابر ۹/۱۰ و ۷/۸۹ $\mu\text{mol/g}$).

براساس نتایج مقایسه میانگین صفات مرتبط با کلروفیل (جدول ۶)، ژنوتیپ‌های Hvu627، Hvu603، Hvu659 کمترین مقدار میانگین صفت کلروفیل کل را به‌ترتیب در سطح شاهد، تنش خشکی متوسط و شدید به خود اختصاص دادند (۰/۶۷، ۱/۵۰ و ۰/۷۳ mg/g). بیشترین مقدار میانگین کلروفیل کل، متعلق به ژنوتیپ‌های Hvu627، Hsp45 و Hsp79 به‌ترتیب در سطح شاهد، تنش متوسط خشکی و شدید بود (به‌ترتیب ۱/۹۸، ۱/۸۵ و ۱/۸۹ mg/g). نتایج حاصل از مقایسه میانگین محیط‌های رطوبتی برای صفات مرتبط با محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. میزان کلروفیل a، در سطح تنش شدید نسبت به دو سطح شاهد و تنش متوسط به‌طور معنی‌دار کاهش یافت و میزان کلروفیل b در سطح شاهد نسبت به دو سطح تنش بیشتر بود. تنش خشکی شدید به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل کل را کاهش داد. کلروفیل اولین رنگدانه جذب‌کننده نور در برگ است که علاوه بر فتوسنتز، نقش اساسی در اعمال بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه چون ساخت آمینواسیدها، اسیدهای چرب، نشاسته و بسیاری از

به‌عبارت دیگر کارتنوئید از طریق مکانیسمی که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیدان می‌شود (۴۴). بنابراین با توجه به نقش حفاظتی کارتنوئید، ژنوتیپی که در تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب بتواند کارتنوئید بیشتری داشته باشد احتمالاً در مقابل تنش خشکی تحمل بیشتری از خود نشان خواهد داد (۱۷). در این پژوهش تنش خشکی شدید نسبت به حالت عدم تنش و تنش متوسط به‌طور مؤثری باعث کاهش کارتنوئید شد، هرچند به دلیل معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، میزان تغییر در محتوای کارتنوئید در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود (جدول ۵). در شرایط عدم تنش و تنش متوسط به‌ترتیب ژنوتیپ‌های زراعی Hvu627 و Hvu654 بیشترین مقدار کارتنوئید را دارا بودند (به‌ترتیب ۱۳/۵۳ و ۱۳/۰۸ mg/g)، هرچند ژنوتیپ‌های وحشی با مقدار بالای کارتنوئید هم مشاهده شد. در تنش شدید بیشترین مقدار کارتنوئید در جو وحشی Hsp47 مشاهده شد (۱۲/۹۶ mg/g).

با توجه به جدول ۵، کمترین مقدار میانگین پرولین مربوط به ژنوتیپ Hvu603 در شرایط عدم تنش (۰/۶۶ $\mu\text{mol/g}$)، Hsp08 در تنش خشکی متوسط (۰/۵۰ $\mu\text{mol/g}$) و Hsp06 در تنش خشکی شدید (۲/۱۹ $\mu\text{mol/g}$) بود. ژنوتیپ‌های Hvu224، Hvu224 و Hvu654 بیشترین مقدار میانگین این صفت را به‌ترتیب در سطح شاهد، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید نشان دادند (به‌ترتیب برابر ۶/۳۲، ۶/۱۷ و ۱۳/۶۱ $\mu\text{mol/g}$). علی‌رغم افزایش معنی‌دار میانگین میزان پرولین در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم تنش، به دلیل معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط میزان تغییر در میزان پرولین از شاهد به تنش بستگی به ژنوتیپ دارد. افزایش میزان پرولین برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان زراعی متعدد و متنوعی مانند گندم (۳)، اسپرس (۳۹) و فیسکوی بلند (۱۴) گزارش شده است. به‌طور کلی تجمع پرولین تحت شرایط تنش، توانایی گیاه را برای رشد و بقا فراهم می‌کند. بیماریار و همکاران (۶) بیان کردند که کاهش در فعالیت پرولین اکسیداز با افزایش فعالیت

با عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش در در همه محیط‌های رطوبتی در جدول‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است. میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در هر سه محیط با یکدیگر همبستگی مثبت و به شدت معنی‌داری داشتند و همبستگی بین همه این صفات با نسبت کلروفیل a به b در هر سه محیط منفی و معنی‌دار بود. در هر دو سطح تنش محتوای نسبی آب برگ با پرولین همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. در هر دو سطح تنش شاخص STI با هیچ‌یک از صفات فیزیولوژیک همبستگی معنی‌داری نداشت. عملکرد دانه در محیط عدم تنش با هیچ‌یک از صفات همبستگی معنی‌دار نداشت و در محیط‌های تنش متوسط و شدید تنها با STI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. در مطالعاتی که در گذشته بر روی گیاهان زراعی مختلف صورت گرفته همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های فیزیولوژیک نظیر RWC، پرولین و محتوای کلروفیل مشاهده شده است، هرچند گاهی این نتایج ضد و نقیض بوده است (۳، ۱۰، ۱۴، ۲۲، ۳۱، ۳۲، ۳۵ و ۳۹). عدم وجود همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش با صفات فیزیولوژیک در این مطالعه می‌تواند به دلیل وجود مکانیسم‌های متفاوتی باشد که ژنوتیپ‌های مختلف در مواجهه با تنش خشکی دارند. براساس همبستگی بین صفات فیزیولوژیک با عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش، تنها میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید در شرایط تنش متوسط به دلیل همبستگی معنی‌دار با شاخص YSI می‌توانند برای انتخاب غیر مستقیم ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به کار روند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، میانگین نسبت عملکرد دانه در شرایط تنش به عدم تنش در ژنوتیپ‌های جو اسپانتانوم در مقایسه با ژنوتیپ‌های جو زراعی بیشتر بود. بنابراین به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها از سطوح تحمل به تنش بالاتری در مقایسه با جو زراعی برخوردارند و استفاده از این ژنوتیپ‌ها در

ترکیبات متابولیکی ثانویه و همچنین نقش اساسی را در پاسخ به تنش خشکی ایفا می‌کند (۴۴). نتو و همکاران (۳۱) تغییرات متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوستتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کارتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود. رامک و همکاران (۳۲) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر میزان ماده خشک و رنگیزه‌های فتوستتزی در دو گونه اسپرس گزارش کردند که تنش کمبود آب باعث کاهش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها در کلیه محیط‌های تنش شده است، که این با نتایج به دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد. رانگ - هوا و همکاران (۳۴) نتیجه گرفتند که میزان کلروفیل می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اعتماد برای غربال کردن ژنوتیپ‌های جو متحمل به خشکی در نظر گرفته شود. نتایج تحقیق حاضر و برخی مطالعات دیگر نشان می‌دهد که تنش خشکی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوستتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوستتزی می‌گردد (۲۱). به نظر می‌رسد کاهش کلروفیل تحت تنش، به واسطه کاهش در پروتئین‌های غشاء تیلاکوئیدی، افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیلاز، پراکسیداز و اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول ساخت کلروفیل باشد (۸). در این مطالعه نسبت کلروفیل a به b از شاهد به تنش متوسط و از تنش متوسط به تنش شدید افزایش یافت هرچند این افزایش‌ها برای معنی‌دار بودن کافی نبود. لیچنتالر و بوچمن (۲۴) گزارش کردند که تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد که باعث افزایش نسبت کلروفیل a به b می‌شود. بنابراین نسبت کلروفیل a به b یک شاخص از چگونگی انجام فتوستتزی و سازگاری به شرایط محیطی است.

همبستگی صفات عملکرد و شاخص‌های تحمل با صفات فیزیولوژیک

نتایج مربوط به ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات فیزیولوژیک

جدول ۷. همبستگی بین عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به تنش و صفات فیزیولوژیک در شرایط محیطی عدم تنش (بالای قطر) و تنش متوسط (زیر قطر) در ۲۱ ژنوتیپ جو زراعی و اسپانتانوم

عملکرد	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	آب نسبی	صفات
دانه	پرولین	کارتونوئید	کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	برگ	
۰/۳۵	-۰/۰۶	۰/۱۹	-۰/۴۱*	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۱	۱	آب نسبی برگ
۰/۰۴	-۰/۱۱	۰/۹۵**	-۰/۵۳*	۰/۹۵**	۰/۸۲**	۱	۰/۰۵	غلظت کلروفیل a
۰/۱۶	-۰/۰۷	۰/۹۱**	-۰/۸۳**	۰/۹۵**	۱	۰/۷۷**	۰/۱۰	غلظت کلروفیل b
۰/۱۱	-۰/۱۰	۰/۹۷**	-۰/۷۲**	۱	۰/۹۳**	۰/۹۴**	۰/۰۸	غلظت کلروفیل کل
-۰/۳۰	۰/۱۰	-۰/۷۰**	۱	-۰/۸۲**	-۰/۹۴**	-۰/۶۲**	-۰/۰۷	غلظت کلروفیل a/b
۰/۱۰	-۰/۰۷	۱	-۰/۷۶**	۰/۹۳**	۰/۸۴**	۰/۹۱**	۰/۰۶	غلظت کارتونوئید
-۰/۰۴	۱	-۰/۰۲	۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۰	-۰/۰۹	-۰/۷۱**	غلظت پرولین
۱	۰/۲۰	۰/۳۹	-۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۳۵	-۰/۱۴	عملکرد دانه
۰/۷۰**	۰/۲۴	۰/۳۶	-۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۳۰	-۰/۲۵	شاخص تحمل به تنش (STI)
۰/۳۴	-۰/۱۶	-۰/۴۶*	۰/۳۸	-۰/۴۶*	-۰/۳۹	-۰/۴۸*	۰/۲۲	شاخص پایداری عملکرد (YSI)

همبستگی‌های معنی‌دار در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد به ترتیب با ** و * نشان داده شده‌اند.

جدول ۸. همبستگی بین عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به تنش و صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش شدید در ۲۱ ژنوتیپ جو زراعی و اسپانتانوم

عملکرد	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	آب نسبی	صفات
دانه	پرولین	کارتونوئید	کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	برگ	
							۱	آب نسبی برگ
						۱	۰/۰۸	غلظت کلروفیل a
					۱	۰/۸۴**	-۰/۰۷	غلظت کلروفیل b
				۱	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۰/۰۱	غلظت کلروفیل کل
			۱	-۰/۸۸**	-۰/۹۵**	-۰/۷۸**	۰/۱۳	غلظت کلروفیل a/b
		۱	-۰/۸۶**	۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۴**	-۰/۰۰	غلظت کارتونوئید
	۱	۰/۱۹	-۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۴	-۰/۳۸	غلظت پرولین
۱	-۰/۰۱	-۰/۱۱	۰/۱۲	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۰۰	عملکرد دانه
۰/۷۴**	۰/۲۲	-۰/۱۲	۰/۱۱	-۰/۰۲	-۰/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۱۳	شاخص تحمل به تنش (STI)
۰/۳۸	-۰/۲۹	-۰/۲۰	-۰/۲۲	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۱۷	-۰/۱۰	شاخص پایداری عملکرد (YSI)

همبستگی‌های معنی‌دار در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد به ترتیب با ** و * نشان داده شده‌اند.

ژنوتیپ برای همه صفات معنی‌دار شد، که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در بروز صفات، تحت شرایط محیطی مختلف و ضرورت انتخاب محیط مناسب مورد هدف در مطالعات ژنتیکی و برنامه‌های اصلاحی است.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط صندوق پژوهشگران کشور در قالب طرح شماره ۹۳۰۳۲۲۲۷ تأمین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌گردد.

برنامه‌های اصلاحی می‌تواند موجب انتقال ژن‌های کنترل‌کننده صفات مطلوب به جو زراعی گردد. در بین صفات فیزیولوژیک، بیشترین تفاوت بین نمونه‌های وحشی و زراعی جو برای صفات محتوای آب نسبی و محتوای پرولین مشاهده گردید که نشان می‌دهد تفاوت در تحمل به تنش خشکی در این دو گروه ژنوتیپ می‌تواند به این صفات ارتباط داشته باشد. در بین ارقام زراعی، ارقام جو شش ردیفه شامل رقم ریحان ۰۳، رقم نصرت هم در شرایط عدم تنش و هم در شرایط تنش عملکرد بالایی داشتند که می‌توانند گزینه مناسبی برای کشت در مناطق خشک و همچنین به‌عنوان والد در برنامه‌های اصلاحی مرتبط با تحمل به تنش خشکی باشند. همچنین اثر متقابل محیط تنش و

منابع مورد استفاده

1. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evaporatranspiration guide lines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 300: 1-15.
2. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
3. Bajji, M., J. M. Kinet and S. Lutts. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation* 36: 61-70.
4. Barati, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi, F. Pirnajmodini and N. Sharif-Moghaddam. 2015. Response of cultivated and wild barley germplasm to drought stress at different developmental stages. *Crop Science* 55: 2668-2681.
5. Bates, L. S., R. P. Waldren and L. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Science* 39: 205-208.
6. Beemarao, S., A. Cheruth, J. M. Paramasivam, K. Ashok, S. Ramamurthy and P. Rajaram. 2007. Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica* 66: 43-56.
7. Bishop, D. L. and B. G. Bugbee. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. *Journal of Plant Physiology* 153: 558- 565.
8. Blachburn, G. A. 1998. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment* 66: 273-285.
9. Blum, A. 1988. Drought resistance. pp. 43-69. In: A. Blum (Ed.), *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC. Florida.
10. Bokhari, U. and J. Trent. 2006. Proline concentrations in water stressed grasses. *Journal of Range Management Archive* 38: 37-38.
11. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
12. Carter, A. G. and B. A. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality* 31: 1424-1432.
13. Dehbalaei S., E. Farshadfar and M. Farshadfar. 2013. Assessment of drought tolerance in bread wheat genotypes based on resistance/ tolerance indices. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5: 2352-2358.
14. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and A. Noroozi. 2013. Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica* 190: 401-414.
15. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effect, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
16. Fernandez G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the 1th International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shanhuah. pp. 257-270.

17. Foyer, C. H., M. H. Valadier, A. Migge and T. W. Becker. 1998. Drought-induced effects on nitrate reductase activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. *Plant Physiology* 117: 283-292.
18. Ivandic, V., W. T. B. Thomas, E. Nevo, Z. Zhang and B. P. Forster. 2003. Associations of simple sequence repeats with quantitative trait variation including biotic and abiotic stress tolerance in *Hordeum spontaneum*. *Plant Breeding* 122: 300-304.
19. Kavikishore, P. B., S. Sangam, R. N. Amrutha, P. Srilaxmi, K. R. Naidu, K. P. Rao, S. Rao, K. J. Reddy, P. Theriappan and N. Sreenivasulu. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 88: 424-438.
20. Kesahvarznia R., M. Shahbazi, V. Mohammadi, G. HosseiniSalekdeh, A. Ahmadi and E. Mohseni-Fard. 2015. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. *Iranian Journal of Field Crop Science* 45: 553-563. (In Farsi).
21. Kirnak, H., C. Kaya, I. Tas and D. Higgs. 2001. The influence of water deficit vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. *Plant Physiology* 27: 34-46.
22. Kumar, A. and D. P. Singh. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* Species. *Annals of Botany* 81: 413-420.
23. Lakew, B., J. Eglinton, R. J. Henry, M. Baum, S. Grando and S. Ceccarelli. 2011. The potential contribution of wild barley (*Hordeum vulgare ssp. spontaneum*) germplasm to drought tolerance of cultivated barley (*H. vulgare ssp. vulgare*). *Field Crops Research* 120: 161-168.
24. Lichtenthaler, H. K. and C. Buschmann. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. John Wiley and Sons, Inc, New York.
25. Mahajan, S. and T. Nuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139-158.
26. McMullen, M. D., S. Kresovich, H. S. Villeda, P. Bradbury, H. Li, Q. Sun, S. Flint Garcia, J. Thornberry, C. Acharya and E. S. Buckler. 2009. Genetic properties of the maize nested association mapping population. *Science* 325: 737-740.
27. Miller, G., H. Stein, A. Honig, Y. Kapulnik and A. Zilberstein. 2005. Responsive modes of *Medicago sativa* proline dehydrogenase genes during salt stress and recovery dictate free proline accumulation. *Planta* 222: 70-79.
28. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science* 80: 758-762.
29. Morrel, P. L. 2011. *Hordeum*. pp. 309-320, In: C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, Cereals, Springer, New York.
30. Nevo, E. and G. Chen. 2011. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell and Environment* 33: 670-685.
31. Oliviera Neto, C. F., A. K. Silva Lobato, M. C. Goncalves Vidigal, R. C. L. Costa, B. G. Santos Filho, G. A. R. Alves, W. J. M. Silva Maia, F. J. R. Cruz, H. K. B. Neres and M. J. Santos Lopes. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology* 7: 588-593.
32. Ramak, P., R. Khavari-Nejad, H. Hidari Sharifabad, M. Rafiee and K. Khademi. 2006. The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two *sainfoin* species. *Iranian Journal of Rangelands and Forest Plant Breeding and Genetics Research* 14: 80-91. (In Farsi).
33. Ritchie, S. W., H. T. Nguyen and A. S. Holiday. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.
34. Rong-Hua, L., P. G. Guo, B. Michael, G. Stefania and C. Salvatore. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Science in China* 5: 751-757.
35. Sanchez, F. J., M. Manzanares, M. Andres, E. F. Ternorio, J. L. Ayerbe and L. D. Andres. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research* 59: 225-235.
36. Schonfeld, M. A., R., Johnson, B. Caver and D. Mornhiweg. 1998. Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28: 526-531.
37. Sio-Se Mardeh A., A. Ahmadi, K. Poustini, and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222-229.
38. Varshney, R. K., M. J. Paulo, S. Grando, F. A. Van Eeuwijk, L. C. P. Keizer, P. Guod, S. Ceccarelli, A. Kilian, M. Baum and A. Graner. 2012. Genome wide association analyses for drought tolerance related traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Field Crops Research* 126: 171-180.
39. Veisipoor, A., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2012. Traits relationship in sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under normal and water stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 42: 745-756. (In Farsi).
40. Von Korff, M., S. Grando, A. Del Greco, D. This, M. Baum and S. Ceccarelli. 2008. Quantitative trait loci associated with adaptation to Mediterranean dryland conditions in barley. *Theoretical and Applied Genetics* 117: 653-669.
41. Zahravi, M. 2009. Evaluation of Genotypes of Wild Barley (*Hordeum spontaneum*) Based on Drought Tolerance Indices. *Seed and Plant Improvement Journal* 25: 533-549.

42. Zavala-Garcia, F., P. J. Bramel-Cox, J. D. Eastin, M. D. Witt and D. Andrews. 1991. Increasing the efficiency of crop selection for unpredictable environments. *Crop Science* 32: 51-57.
43. Zhao, J., H. Sun, H. Dai, G. Zhang and F. Wu. 2010. Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes, *Euphytica* 172: 395-403.
44. Zimmerman, L. H. 1973. Effect of photoperiod and temperature on rosette habit in safflower. *Crop Science* 13: 80-81.

Evaluation of Drought Tolerance Indices and Physiological Traits in Cultivated and Wild Barley

M. Barati¹, M. M. Majidi^{2*}, M. Safari³, A. Mirlohi² and KH. Zeinalinejad⁴

(Received: September 19-2016; Accepted: November 16-2016)

Abstract

Drought stress is one the most limiting factors for crop production worldwide. The wide ecological and environmental dispersion of crop wild relatives, generates a high potential of their adaptive diversity to abiotic stresses such as drought. In this study 21 (including 10 cultivated and 11 wild barley (*Hordeum vulgare* sp. *spontaneum*)) genotypes were evaluated under three soil water conditions for grain yield, drought tolerance indices (STI and YSI) and some physiological traits during two growing seasons (2012-2013 and 2013-2014). High genetic variation was observed for grain yield and STI and YSI indices between and within cultivated and wild barley groups of genotypes. Differences were also observed between the genotypes for physiological traits. Different responses of the genotypes to different levels of drought stress were also observed for all of the measured traits. The high-yielding varieties were more tolerant based on STI index, but the average of yield stability under stressed conditions (YSI) was significantly higher in the wild barley group of genotypes comparing to cultivated ones, indicating a high level of drought tolerance in wild genotypes. Among physiological traits, significant differences were observed for relative water content and proline content between cultivated and wild barley genotypes, showing the importance of these two traits in different response of the two genotypic groups to drought stress. The STI and YSI indices identified the most drought tolerant genotypes at different soil moisture levels. The tolerant genotypes were mostly belonged to wild barley. These genotypes can be used in breeding programs by crossing them with high-yielding varieties such as Reihan 03 for increasing drought tolerance of cultivated barley.

Keywords: Proline, Chlorophyll, STI index, Wild relatives

1, 2, 3. PhD Student, Professors and MSc of Plant Breeding, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, College of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*. Corresponding Author, Email: majidi@cc.iut.ac.ir