ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های چغندرقند با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

Evaluation of drought tolerance of sugar beet genotypes using drought tolerance indices

محسن بذرافشان[۱]، فرشید مطلوبی[۲]، محمود مصباح[۳] و لادن جوکار[۱]

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۱۷

م. بذرافشان، ف. مطلوبی، م. مصباح و ل. جوکار. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های چغندرقند با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. **مجله چغندرقند ۲٤(۲): ۳۵-۱۵.**

چکیده

این بررسی با هدف ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های چغندرقند با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی در طی سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (زرقان) و در طی سال‌های ۱۳۸۱ لغایت ۱۳۸۳ در ایستگاه مهندس مطهری کمال‌آباد کرج انجام گردید. آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده با پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی به سه تیمار عدم‌تنش، تنش‌ملایم و تنش شدید خشکی (به ترتیب تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰درصد نیاز آبی) و کرت‌های فرعی به ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند اختصاص یافتند. شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، تحمل به خشکی (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین حسابی بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HARM) و نسبت افت عملکرد (S) با استفاده از عملکردقند در شرایط تنش (SYs) و بدون‌تنش (SYp) محاسبه گردیدند. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد قند در شرایط تنش و عدم‌تنش و برخی از شاخص‌های محاسبه شده نشان داد که در منطقه زرقان و در شرایط تنش‌ملایم و شدید شاخص‌های STI، GMP، MP و HARM و در منطقه کرج در تنش ملایم شاخص‌های STI، GMP، MP و HARM و در تنش شدید شاخص‌های STI، GMP و HARM مناسب‌ترین شاخص‌ها هستند. با توجه به این شاخص‌ها و SYs و SYp بالا و هم‌چنین نمودار چند متغیره بای‌پلات مشخص شد که در زرقان ژنوتیپ‌های 7221-I-79 و MST261*W-7221-I-79 در تنش‌ملایم و 7221-I-79 در تنش‌شدید و در کرج ژنوتیپ‌های MSTC2*W-7221-I-79 و 7221-I-79 در تنش‌ملایم و MSTC2*W-7221-I-79 و BP ــ مشهد در تنش‌شدید برترین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش هستند. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای پلات وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، چغندرقند، شاخص‌های تحمل به خشکی

۱ - مربی پژوهشی بخش تحقیقات چغندرقند مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس* - نویسنده مسئول bazrafshan@farsagres.ir
۲ - مربی پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند ـ اداره اصلاح و تهیه بذر
۳- استاد مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال،کرج

مقدمه

با توجه به موقعیت اقلیمی کشور و توجه به کمبود آب و اثرات تنش خشکی که مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید محصول به‌شمار می‌آید، اصلاح ارقام متحمل به تنش خشکی با کارایی بیشتر مصرف آب ضروری است. تحمل به خشکی یکی از ویژگی‌های مهم برای هر ژنوتیپ می‌باشد، لذا تعیین تحمل نسبی هر ژنوتیپ به خشکی امری ضروری است. علاوه‌بر این با مشخص شدن میزان تحمل ژنوتیپ‌های مورد بررسی، برای مناطقی که احتمال کمبود آب در مراحل حساس رشدی وجود دارد و یا کمبود آب مانع کشت می‌شود، با اطمینان بیشتری می‌توان به کشت ارقام مورد نظر اقدام نمود (صادقیان و همکاران ۲۰۰۰).

پایداری و ثبات عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش همچنان ازجمله شاخص‌های اصلی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی می‌باشد (عبدمیشانی و شاه‌نجات بوشهری ۱۳۷۴ و قدسی و همکاران ۱۳۷۷). کارآمدترین روش برای اصلاح ارقام متحمل به خشکی، اعمال گزینش همزمان براساس چندین عامل مختلف است که همه آن‌ها بر عملکرد گیاه زراعی در شرایط تنش تأثیر می‌گذارند (فرشادفر و همکاران ۱۳۸۰).

چغندرقند گیاهی است که در مقایسه با اکثر گیاهان زراعی توانائی بیشتری در تولید ماده‌خشک در شرایط تنش خشکی دارد (Schittenhel 1999). این گیاه به سرعت با کم‌آبیاری سازگار می‌شود، زیرا از آب ذخیره‌شده در اعماق خاک استفاده می‌نماید و به دنبال برطرف شدن تنش‌شدید رشد خود را به سرعت جبران می‌کند (Cooke and Scott 1993). چغندرقند از نظر تحمل به خشکی با سورگوم قابل مقایسه است و می‌تواند در دامنه گسترده‌ای از سطوح آبیاری رشد کند (Winter 1980).

صفت تحمل به خشکی پلی‌ژنیک بوده و اجرای برنامه‌های اصلاحی در این زمینه مشکل و پیچیده می‌باشد. با استفاده‌از گزینش می‌توان کارایی مصرف آب را در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند بالا برد. نتایج تحقیقات نشان داده است که ژنوتیپ‌های با کارایی مصرف آب بالا قابل دسترس می‌باشند (صادقیان و همکاران ۲۰۰۰)، ضمن این‌که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در ژرم‌پلاسم چغندرقند ازنظر تحمل به خشکی و کارایی مصرف آب وجود دارد که می‌توان از آن در افزایش تحمل به خشکی در این گیاه استفاده نمود. نتایج بررسی پرویزی آلمانی و همکاران (۱۳۷۷) نشان داد که از بین موادژنتیکی موجود در کشور می‌توان ارقامی از چغندرقند را که دارای عملکرد قابل قبولی در شرایط تنش خشکی و محیط بدون‌تنش باشند، گزینش نمود و انتخاب مداوم در دو محیط در افزایش کمیت و کیفیت چغندرقند بسیار مؤثر است.

برای انتخاب براساس عملکرد، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها عملکرد گیاه در دو محیط تنش و بدون‌تنش را در بر می‌گیرند. فیشر و مورر (Fischer and Maurer 1978)، شاخص حساسیت به تنش SSI (Sterss Susceptibility Index) را پیشنهاد نمودند. مقادیر کوچک‌تر این شاخص، بیان‌گر تحمل بیشتر به تنش است. روزلی و هامبلین (Rosielle and Hambelen 1981) شاخص تحمل به خشکی TOL و میانگین حسابی بهره‌وری

MP (Mean Productivity) را پیشنهاد کردند. مقدار بالای TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش است، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس مقادیر کم TOL صورت می‌گیرد. شاخص MP نیز معیار گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌باشد که عملکرد بالایی در شرایط مطلوب و عملکرد پائینی در شرایط نامطلوب دارند. فرنانـدز (Fernandez 1992)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP (Geometric Mean Productivity) را پیشنهاد کرد و شاخص STI تحت عنوان شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) خود را براساس GMP بنا گذاشت. همبستگی بین STI و GMP بسیار بالا و نزدیک یک می‌باشد. شاخص دیگر به نام شاخص هارمونیک HARM نیز پیشنهاد شده است که هرچه مقدار این شاخص بالاتر باشد، نشان‌دهندهٔ تحمل به خشکی بالاتر آن ژنوتیپ می‌باشد (فرشادفر و همکاران ۱۳۸۰). شاخص نسبت افت عملکرد S (Yield Loss Ratio)، مشابه شدت تنش محاسبه می‌گردد با این تفاوت که در این معادله به جای نسبت میانگین عملکرد تنش به عملکرد بدون تنش کلیه ژنوتیپ‌ها، از عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط تنش به بدون‌تنش استفاده می‌شود (کرمی و همکاران ۱۳۸۵).

پرویزی آلمانی و همکاران (۱۳۷۷) دریافتند بین میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش با شاخص‌های STI، MP، SSI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد و با در نظر گرفتن کلیه صفات، شاخص STI را برای شرایط مختلف تنش خشکی جهت شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های چغندرقند معرفی نمودند. محمدیان و همکاران (۱۳۸۱) بیان داشتند که استفاده از شاخص‌های MP، GMP و STI در شرایط تنش و بدون‌تنش در غربال ژنوتیپ‌ها باعث افزایش عملکردقند می‌گردد، ضمن این‌که ضریب همبستگی هر سه شاخص با یکدیگر مثبت و معنی‌دار بود. وزان (۱۳۸۱) معتقد است که شاخص‌های STI، MP و GMP در تنش‌های ابتدای دوره رشد بهتر از سایر شاخص‌ها می‌باشند.

این مطالعه با هدف ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های چغندرقند به خشکی با استفاده‌از شاخص‌های تحمل و همچنین شناسایی بهترین شاخص تحمل به خشکی جهت ارزیابی میزان حساسیت و تحمل ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند انجام گردید تا به‌توان با تعیین ژنوتیپ‌های مناسب، از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی و تهیه ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در ایستگاه تحقیقاتی مهندس مطهری در کمال‌آباد کرج و در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس (زرقان) انجام شد. تعداد ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند مطابق جدول یک در قالب طرح کرت‌های خرد شده آزمون گردیدند که کرت‌های اصلی آن در طرح بلوک‌های کامل تصادفی پیاده شده بود. کرت‌های اصلی به سه تیمار آبیاری اختصاص داشت که شامل تیمار آبیاری بدون‌تنش، آبیاری با تنش متوسط و در نهایت آبیاری با اعمال تنش شدید بوده است. مقدار نیازآبی تیمار بدون‌تنش براساس میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چغندرقند با روش پنمن ـ

مانتیس (Penman-Montith) و اعمال ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد گیاه صورت پذیرفت و میزان آب مصرفی در هر بار آبیاری تعیین و در اختیار تیمار مربوطه قرار گرفت. مقدار آب مصرفی در تیمارهای تنش ملایم و شدید به ترتیب به میزان ۷۵ و ۵۰درصد نیازآبی تیمار بدون تنش در نظر گرفته شد. شدت تنش SI (Stress Intensity) در تنش ملایم و شدید در زرقان به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۳۷ و در کرج ۰/۱۹ و ۰/۲۶ بود.

جدول ۱ مشخصات ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند مورد آزمایش

ردیف	ژنوتیپ
۱	W-1014-79
۲	W-1005-79
۳	W-1006-79
۴	W-7221-I-79
۵	MSTC2*W-7221-I-79
۶	MSTNB1*W-7221-I-79
۷	MSTR*W-7221-I-79
۸	MST261*W-7221-I-79
۹	BP – مشهد
۱۰	رسول (شاهد)

آزمایش دارای چهار تکرار بود. هر کرت اصلی شامل ۳۲ ردیف به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۱۰ متر بود که با توجه به تفاوت زمان و مقدار آب آبیاری در تیمارهای مختلف و امکان تأثیرگذاری رطوبت از کرتی به کرت دیگر در طرفین و در بالا و پایین کرت‌های اصلی حداقل دو متر فاصله منظور گردید. هر کرت اصلی به ۱۰ کرت‌فرعی تقسیم شده و ژنوتیپ‌ها به صورت تصادفی در کرت‌های فرعی در اواسط اردیبهشت کشت گردیدند. آبیاری اول و دوم جهت سبز شدن یکنواخت بذور کشت شده به صورت کاملاً یکنواخت برای تمامی تیمارها انجام پذیرفت و پس‌از سبزشدن گیاهچه و استقرار بوته‌های چغندرقند تیمارهای آبیاری اعمال گردید.

از آن‌جا که تأثیر تنش بر عملکردریشه و عیارقند به اثبات رسیده است، بنابراین از عملکردقند که برآیند این دو صفت می‌باشدو به عنوان معیار مهم استفاده گردید. با استفاده‌از عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش شاخص‌های کمی تحمل به خشکی از روابط زیر محاسبه شد:

SSI=[1-(SYs/SYp)]/SI SI=1-

$(\overline{SY_S} / \overline{SY_P})$ (۱)

HARM= 2(SYp.SYs)/(SYp + SYs) (۲)

TOL=SYp-SYs (۳)

MP=(SYp+SYs)/2 (۴)

$GMP= (SYp.SYs)^{1/2}$ (۵)

$STI=(SYp.SYs)/(\overline{SY_P})^2$ (۶)

S=1-(SYs/SYp) (۷)

که دراین روابط SYs و SYp به ترتیب عملکردقند در شرایط با و بدون‌تنش، $\overline{SY_P}$ و $\overline{SY_S}$ به ترتیب میانگین عملکردقند ژنوتیپ‌ها در شرایط با و بدون‌تنش است (فیشر و مورر ۱۹۷۸؛ فرناندز ۱۹۹۲ و روزیلی و هامبلین ۱۹۸۱).

برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده و نتایج با استفاده‌از نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس مرکب گردید. برای تعیین بهترین شاخص‌ها از همبستگی ساده بین عملکردقند در شرایط تنش (SYs) و بدون‌تنش (SYp) با

شاخص‌های فوق‌الذکر استفاده گردید (ضابط و حسین‌زاده ۱۳۸۲؛ فرشادفر و همکاران ۱۳۸۰؛ کارگر و قنادها ۱۳۸۳؛ فرناندز ۱۹۹۲ و Golabadi et al 2006). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مورد مطالعه انجام شد و باتوجه به روابط مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی، نمودار بای‌پلات (Biplot) برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ترسیم گردید (Gabriel 1971). تعیین انواع همبستگی با استفاده‌از نرم‌افزار SAS و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات از نرم‌افزار Statgraph استفاده شد.

نتایج

آزمون بارتلت و تجزیه واریانس نتایج نشان داد که تجزیه مرکب تمامی سال‌ها برای هر منطقه امکان‌پذیر است. بنابراین از میانگین صفات برای هر منطقه استفاده گردید.

زرقان

به منظور تعیین مناسبترین شاخص، همبستگی بین عملکردقند ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون‌تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۲). شاخص‌هایی که در محیط تنش و بدون‌تنش دارای همبستگی بالایی با عملکردقند بودند، به عنوان مناسبترین شاخص‌ها معرفی شدند. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح اعتماد ۱٪) عملکردقند در شرایط تنش و بدون‌تنش با شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP، این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در تنش ملایم و شدید انتخاب شدند. قابل ذکر است که در تنش ملایم همبستگی شاخص‌های TOL و S و در تنش‌شدید همبستگی شاخص TOL تنها با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش معنی‌دار بود لذا نمی‌توانند شاخص‌های مناسبی تشخیص داده شوند.

جدول ۲ همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش ملایم (SI=۰/۲۳) و تنش شدید (SI=۰/۳۷) در زرقان

شاخص‌ها / عملکردقند	SSI	Tol	MP	STI	HARM	GMP	S
تنش ملایم							
SYp	۰/۷۲۲*	۰/۸۵۵**	۰/۹۷۹**	۰/۹۷۱**	۰/۹۵۹**	۰/۹۷۰**	۰/۷۲۲*
Sys	۰/۲۶۲ns	۰/۴۵۱ns	۰/۹۳۸**	۰/۹۳۹**	۰/۹۶۳**	۰/۹۵۱**	۰/۲۶۲ns
تنش شدید							
SYp	۰/۱۱۲ ns	۰/۸۵۶**	۰/۹۸۷**	۰/۹۷۸**	۰/۹۶۷**	۰/۹۷۸**	۰/۱۱۲ ns
Sys	-۰/۳۰۱ns	۰/۵۶۸ns	۰/۹۶۶**	۰/۹۶۱**	۰/۹۸۶**	۰/۹۷۷**	-۰/۳۰۱ns

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح اعتماد پنج و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

در شرایط تنش ملایم مقادیر شاخص‌ها برای ده ژنوتیپ در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۸ و ۶ (جدول ۱) براساس SYp، MP، GMP، STI و HARM به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. به‌منظور حصول اطمینان از بقای عملکرد در شرایط تنش‌ملایم از بین چهار ژنوتیپ انتخابی مرحله اول ژنوتیپ‌های ۴، ۸ و ۶ که بیشترین عملکردقند در شرایط تنش‌ملایم (SYs) را داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب گردیدند.

جدول ۳ میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها از طریق شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در شرایط تنش ملایم (SI=۰/۲۳) در زرقان

ژنوتیپ	SYp (Kg)	SYs (Kg)	SSI	Tol (Kg)	MP (Kg)	STI	HARM (Kg)	GMP (kg)	S
۱	۳۷۹۴/۷۶	۲۹۵۴/۴۵	۰/۹۷	۸۴۰/۳۱	۳۳۴۸/۳۴	۰/۳۸	۳۳۲۲/۲۹	۳۳۴۸/۳۴	۰/۲۲
۲	۴۹۶۴/۲۵	۴۵۷۶/۹۷	۰/۳۴	۳۸۷/۲۸	۴۷۷۰/۶۱	۰/۷۷	۴۷۶۲/۷۵	۴۷۶۶/۶۸	۰/۰۸
۳	۴۶۳۳/۸۱	۳۸۵۸/۵۵	۰/۷۳	۷۷۵/۲۶	۴۲۴۶/۱۸	۰/۶۱	۴۲۱۰/۷۹	۴۲۲۸/۴۵	۰/۱۷
۴	۷۱۶۸/۴۰	۵۲۴۰/۸۳	۱/۱۸	۱۹۲۷/۵۷	۶۲۰۴/۶۲	۱/۲۸	۶۰۵۴/۹۱	۶۱۲۹/۳۱	۰/۲۷
۵	۷۲۸۷/۰۶	۴۴۰۹/۰۵	۱/۷۳	۲۸۷۸/۰۰	۵۸۴۸/۰۶	۱/۱۰	۵۴۹۳/۹۷	۵۶۶۸/۲۵	۰/۳۹
۶	۶۲۹۱/۳۸	۴۴۳۵/۱۹	۱/۲۹	۱۸۵۶/۲۰	۵۳۶۳/۲۸	۰/۹۵	۵۲۰۲/۶۸	۵۲۸۲/۳۷	۰/۳۰
۷	۳۲۱۷/۹۸	۲۹۳۲/۰۹	۰/۳۹	۲۸۵/۸۹	۳۰۷۵/۰۴	۰/۳۲	۳۰۶۸/۳۹	۳۰۷۱/۷۱	۰/۰۹
۸	۶۰۶۵/۵۸	۵۰۹۷/۹۸	۰/۷۰	۹۶۷/۵۹	۵۵۸۱/۷۸	۱/۰۵	۵۵۳۹/۸۵	۵۵۶۰/۷۷	۰/۱۶
۹	۵۴۲۲/۶۳	۴۰۸۷/۲۹	۱/۰۸	۱۳۳۵/۳۴	۴۷۵۴/۹۶	۰/۷۶	۴۶۶۱/۲۱	۴۷۰۷/۸۵	۰/۲۵
۱۰	۵۳۲۰/۸۱	۴۱۹۳/۹۷	۰/۹۳	۱۱۲۶/۸۴	۴۷۵۷/۳۹	۰/۷۶	۴۶۹۰/۶۶	۴۷۲۳/۹۱	۰/۲۱

در شرایط تنش‌شدید مقادیر شاخص‌ها برای ده ژنوتیپ در جدول ۴ آورده شده است. براساس شاخص‌های SYp، MP، GMP، STI و HARM ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۶ و ۸ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. به‌منظور حصول اطمینان از بقای عملکرد در شرایط تنش‌شدید از بین چهار ژنوتیپ انتخابی مرحله اول ژنوتیپ‌های ۴، ۵ و ۶ که بیشترین عملکردقند در شرایط تنش‌شدید را داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی گردیدند.

جدول ٤ میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها از طریق شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در شرایط تنش شدید (SI=۰/۳۷) در زرقان

ژنوتیپ	SYp (Kg)	SYs (Kg)	SSI	Tol (Kg)	MP (Kg)	STI	HARM (Kg)	GMP (kg)	S
۱	۳۷۹۴/۷۶	۲۲۹۸/۵۰	۱/۰۷	۱۴۹۶/۲۵	۳۰۴۶/۶۳	۰/۳۰	۲۸۶۲/۹۲	۲۹۵۳/۳۵	۰/۳۹
۲	۴۹۶۴/۲۵	۳۵۷۰/۶۲	۰/۷۶	۱۳۹۳/۶۳	۴۲۶۷/۴۳	۰/۶۰	۴۱۵۳/۶۵	۴۲۱۰/۱۶	۰/۲۸
۳	۴۶۳۳/۸۱	۳۰۹۵/۲۸	۰/۹۰	۱۵۳۸/۵۲	۳۸۶۴/۵۵	۰/۴۹	۳۷۱۱/۴۲	۳۷۸۷/۲۱	۰/۳۳
۴	۷۱۶۸/۴۰	۴۶۴۵/۹۸	۰/۹۵	۲۵۲۲/۴۲	۵۹۰۷/۱۹	۱/۱۴	۵۶۳۷/۹۱	۵۷۷۰/۹۸	۰/۳۵
۵	۷۲۸۷/۰۶	۴۰۲۸/۶۴	۱/۲۱	۳۲۵۸/۴۲	۵۶۵۷/۸۵	۱/۰۰	۵۱۸۸/۷۱	۵۴۱۸/۲۰	۰/۴۵
۶	۶۲۹۱/۳۸	۳۹۰۱/۷۶	۱/۰۳	۲۳۸۹/۶۲	۵۰۹۶/۵۷	۰/۸۴	۴۸۱۶/۴۷	۴۹۵۴/۵۴	۰/۳۸
۷	۳۲۱۷/۹۸	۱۸۹۹/۷۲	۱/۱۱	۱۳۱۸/۲۷	۲۵۵۸/۸۵	۰/۲۱	۲۳۸۹/۰۶	۲۴۷۲/۵۰	۰/۴۱
۸	۶۰۶۵/۵۸	۳۷۳۳/۳۷	۱/۰۴	۲۳۳۲/۲۱	۴۸۹۹/۴۷	۰/۷۷	۴۶۲۱/۹۳	۴۷۵۸/۶۸	۰/۳۸
۹	۵۴۲۲/۶۳	۳۰۴۹/۱۳	۱/۱۹	۲۳۷۳/۵۰	۴۲۳۵/۸۸	۰/۵۶	۳۹۰۳/۳۹	۴۰۶۶/۲۴	۰/۴۴
۱۰	۵۳۲۰/۸۱	۳۹۷۵/۱۷	۰/۶۹	۱۳۴۵/۶۴	۴۶۴۷/۹۹	۰/۷۲	۴۵۵۰/۵۹	۴۵۹۹/۰۳	۰/۲۵

ماتریسی که ردیف‌های آن ده ژنوتیپ چغندرقند و ستون‌های آن شاخص‌های محاسبه شده بود تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گردید. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ژنوتیپ‌های چغندرقند ازنظر شاخص‌های مقاومت به خشکی در جدول ۵ به‌طور خلاصه آورد شده است. تجزیه داده‌های حاصله نشان داد که بیشترین تغییرات مورد نظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه بیان می‌شود (به ترتیب ۹۹/۶۰۶ و ۹۹/۷۶۶ در دو تنش‌ملایم و شدید). استفاده‌از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها، تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات شده و تفسیر نتایج براساس دو مؤلفه اول و دوم دارای کارآیی بالاتری می‌باشد. بدین لحاظ ترسیم نمودارها براساس دو مؤلفه اول و دوم صورت گرفت.

جدول ۵ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای هشت شاخص تحمل به خشکی در شرایط بدون‌تنش، تنش‌ملایم (SI=۰/۲۳) و تنش شدید (SI=۰/۳۷) در زرقان

نوع تنش	مولفه	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس
تنش ملایم				
	۱	۷/۲۷	۸۰/۷۷۸	۸۰/۷۷۸
	۲	۱/۶۹۴	۱۸/۸۲۷	۹۹/۶۰۶
	۳	۰/۰۲۸۷	۰/۳۱۹	۹۹/۹۲۵
	۴	۰/۰۰۶۶۷	۰/۰۷۴	۹۹/۹۹۹
	۵	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۱	۱۰۰/۰۰۰
تنش شدید				
	۱	۶/۴۷	۷۱/۹۳۲	۷۱/۹۳۲
	۲	۲/۵۰۵	۲۷/۸۳۴	۹۹/۷۶۶
	۳	۰/۰۱۶۸	۰/۱۸۸	۹۹/۹۵۳
	۴	۰/۰۰۴۱۷	۰/۰۴۶	۹۹/۹۹۹
	۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۱۰۰/۰۰۰

در این بررسی مؤلفه اول همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های SYp، MP، GMP، STI و HARM داشت، لذا این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه عملکرد بالقوه و تحمل به خشکی نامگذاری شد که هرچه مقدار این مؤلفه بیشتر باشد مناسب‌تر است. مؤلفه دوم را که همبستگی منفی و معنی‌داری با SYs و همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های TOL، SSI و S داشت می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری نمود که هر چه مقدار این مؤلفه کمتر باشد مطلوب‌تر است. در تنش ملایم بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم براساس شاخص‌ها به صورت زیر نشان داده شده است.

مؤلفه اول = 0.37 SYp + 0.31 SYs + 0.27 SSI + 0.32 Tol + 0.36 MP + 0.36 STI + 0.35 HARM + 0.36 GMP + 0.27S

مؤلفه دوم = - 0.01 SYp - 0.41 SYs + 0.52 SSI + 0.38 Tol - 0.16 MP - 0.18 STI - 0.22 HARM - 0.19 GMP + 0.52 S

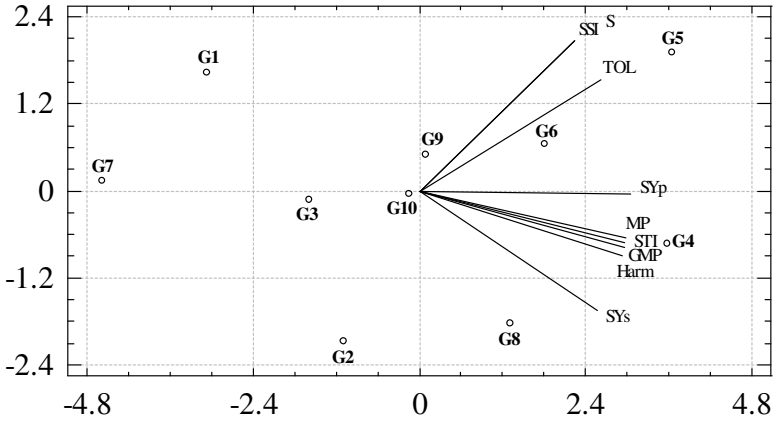
در تنش شدید نیز بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم براساس شاخص‌ها به صورت زیر نشان داده شده است.

مؤلفه اول = 0.39 SYp + 0.38 SYs - 0.002 SSI + 0.31 Tol + 0.39 MP + 0.39 STI + 0.39 HARM + 0.39 GMP - 0.002 S

مؤلفه دوم= 0.08 SYp - 0.19 SYs + 0.63 SSI + 0.39 Tol - 0.03 MP - 0.03 STI - 0.08 HARM - 0.06 GMP + 0.63 S

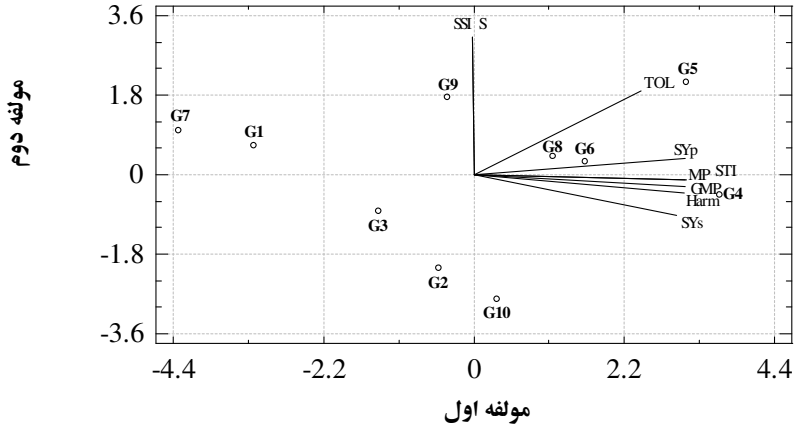
با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی مقادیر بالاتر مؤلفه اول (عملکرد بالقوه و تحمل به خشکی) و مقادیر پایین‌تر مؤلفه دوم (حساسیت به

تنش) مد نظر می‌باشد. لذا ناحیه چهارم (سمت راست و پایین) بای پلات انتخاب گردید و ژنوتیپ‌ها و شاخص‌هایی که در این ناحیه قرار گرفتند مشخص شدند (شکل ۱). در تنش ملایم براساس نمودار بای‌پلات مشخص شد ژنوتیپ‌های ۴ و ۸ که در ناحیه چهارم قرار دارند، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش و با عملکرد بالقوه بالایی هستند. در ناحیه دوم (سمت چپ و بالا) ژنوتیپ‌های ۱ و ۷ قرار دارند که عملکرد پایین و حساسیت بالایی به تنش دارند. در ناحیه تحمل پایین به تنش و عملکرد مناسب در شرایط بدون‌تنش (سمت راست و بالا) ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۹ قرار داشتند. اما ژنوتیپ‌های ۲، ۳ و ۱۰ دارای عملکرد بالقوه پایین ولی تحمل خوبی نسبت به تنش بودند. از آن جا که ژنوتیپ‌های ۴ و ۸ از روش بهترین شاخص‌ها انتخاب و هم‌چنین در ناحیه مطلوب بای پلات نیز قرار داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالقوه بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش مشخص گردیدند.



شکل ۱ نمایش گرافیکی بای‌پلات ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند در نه شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش ملایم (SI=۰/۲۳) در زرقان

در تنش‌شدید براساس نمودار بای پلات مشخص شد ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۰ که در ناحیه چهارم قرار دارند، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش و با عملکرد بالقوه بالایی هستند (شکل ۲). در ناحیه دوم ژنوتیپ‌های ۱، ۷ و ۹ قرار دارند که عملکرد پایین و حساسیت بالایی به تنش دارند. در ناحیه تحمل پایین به تنش و عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های ۵، ۶ و ۸ قرار داشتند. اما ژنوتیپ‌های ۲ و ۳ دارای عملکرد بالقوه پایین ولی تحمل خوبی نسبت به تنش بودند. از آن‌جا که ژنوتیپ چهار از روش بهترین شاخص‌ها انتخاب و هم‌چنین در ناحیه مطلوب بای‌پلات نیز قرار داشت به عنوان ژنوتیپ با عملکرد بالقوه بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش مشخص گردید.



شکل ۲ نمایش گرافیکی بای‌پلات ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند در نه شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش شدید (SI=۰/۳۷) در زرقان

زاویه حاده بین شاخص‌های انتخاب در نمودار بای پلات دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. با توجه به زوایای بین شاخص‌ها در هر دو سطح تنش، می‌توان استنباط نمود که شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP که همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد قند در شرایط بدون‌تنش و تنش دارند به عنوان بهترین شاخص‌ها می‌باشند. هم‌چنین وجود همبستگی بالا بین سه شاخص TOL، SSI و S در هر دو نمودار مشهود است.

کرج

به منظور تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکردقند ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش‌ملایم (SYs) و بدون‌تنش (SYp) با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۶). با توجه به همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار (در سطح ۱٪) عملکردقند در شرایط تنش (SYs) و بدون‌تنش (SYp) با شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص تحمل به خشکی در تنش ملایم انتخاب شدند. قابل ذکر است که همبستگی شاخص TOL تنها با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش معنی‌دار بود و نمی‌تواند شاخص مناسبی تشخیص داده شود. هم‌چنین با توجه به همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار عملکردقند در شرایط تنش شدید و بدون تنش با شاخص‌های STI، HARM وGMP این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص تحمل به خشکی در تنش‌شدید انتخاب شدند. قابل ذکر است که همبستگی شاخص‌های MP و TOL تنها با عملکردقند در شرایط بدون تنش معنی‌دار بودند و نمی‌توانند شاخص مناسبی تشخیص داده شوند.

جدول ٦ همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش‌ملایم (SI=۰/۲۳) و تنش‌شدید (SI=۰/۳۷) در کرج

شاخص / عملکردقند	SSI	Tol	MP	STI	HARM	GMP	S
تنش ملایم							
SYp	۰/۶۵۳ ns	۰/۸۰۳**	۰/۹۵۱**	۰/۹۳۷**	۰/۹۱۷**	۰/۹۳۵**	۰/۶۵۳ ns
SYs	−۰/۱۴۵ns	۰/۰۷۱ns	۰/۸۵۵**	۰/۸۷۳**	۰/۹۰۱**	۰/۸۷۹**	−۰/۱۴۵ns
تنش شدید							
SYp	۰/۷۵۳ ns	۰/۸۴۸**	۰/۸۹۵**	۰/۸۲۳**	۰/۷۳۱*	۰/۸۲۲**	۰/۷۵۳ ns
SYs	−۰/۴۹۱ns	−۰/۳۵۱ns	۰/۶۱۶ ns	۰/۷۱۹**	۰/۸۱۳**	۰/۷۲۱*	−۰/۴۹۱ns

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح آماری پنج و یک درصد، ns نشان دهنده غیر معنی‌دار بودن

مقادیر شاخص‌ها برای ده ژنوتیپ در جدول ۷ آورده شده است. ژنوتیپ‌های ۵، ۲، ۴ و نه براساس SYp، MP، GMP، STI و HARM به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. به منظور حصول اطمینان از بقاء عملکرد در شرایط تنش ملایم از بین چهار ژنوتیپ انتخابی مرحله اول ژنوتیپ‌های ۵، ۴ و ۲ که بیشترین عملکردقند در شرایط تنش ملایم (SYs) را داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب گردیدند.

جدول ۷ میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها توسط شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در شرایط تنش‌ملایم (SI=۰/۱۹) درکرج

ژنوتیپ	SYp (Kg)	SYs (Kg)	SSI	Tol (Kg)	MP (Kg)	STI	HARM (Kg)	GMP (kg)	S
۱	۷۸۰۴/۱۷	۵۵۵۶/۶۷	۱/۴۸	۲۲۴۷/۵۰	۶۶۸۰/۴۲	۰/۶۷	۶۴۹۱/۳۸	۶۵۸۵/۲۲	۰/۲۹
۲	۸۸۰۹/۱۷	۶۶۹۸/۳۳	۱/۲۳	۲۱۱۰/۸۳	۷۷۵۳/۷۵	۰/۹۱	۷۶۱۰/۰۹	۷۶۸۱/۵۸	۰/۲۴
۳	۷۹۸۰/۸۳	۵۹۷۵/۰۰	۱/۲۹	۲۰۰۵/۸۳	۶۹۷۷/۹۲	۰/۷۴	۶۸۳۳/۷۷	۶۹۰۵/۴۷	۰/۲۵
۴	۸۳۱۰/۰۰	۷۰۲۹/۱۷	۰/۷۹	۱۲۸۰/۸۳	۷۶۶۹/۵۸	۰/۹۱	۷۶۱۶/۱۱	۷۶۴۲/۸۰	۰/۱۵
۵	۹۸۶۸/۳۳	۷۳۴۵/۸۳	۱/۳۲	۲۵۲۲/۵۰	۸۶۰۷/۰۸	۱/۱۲	۸۴۲۲/۲۶	۸۵۱۴/۱۷	۰/۲۶
۶	۷۶۲۰/۸۳	۶۷۱۱/۶۷	۰/۶۱	۹۰۹/۱۷	۷۱۶۶/۲۵	۰/۷۹	۷۱۳۷/۴۱	۷۱۵۱/۸۲	۰/۱۲
۷	۷۲۷۸/۳۳	۶۵۹۳/۳۳	۰/۴۸	۶۸۵/۰۰	۶۹۳۵/۸۳	۰/۷۴	۶۹۱۸/۹۲	۶۹۲۷/۳۷	۰/۰۹
۸	۶۷۴۱/۶۷	۶۰۶۰/۸۳	۰/۵۲	۶۸۰/۸۳	۶۴۰۱/۲۵	۰/۶۳	۶۳۸۳/۱۵	۶۳۹۲/۱۹	۰/۱۰
۹	۸۵۶۵/۸۳	۶۶۳۸/۳۳	۱/۱۶	۱۹۲۷/۵۰	۷۶۰۲/۰۸	۰/۸۸	۷۴۷۹/۹۰	۷۵۴۰/۷۵	۰/۲۳
۱۰	۷۳۵۲/۵۰	۶۱۳۰/۰۰	۰/۸۶	۱۲۲۲/۵۰	۶۷۴۱/۲۵	۰/۷۰	۶۶۸۵/۸۳	۶۷۱۳/۴۸	۰/۱۷

مقادیر شاخص‌ها برای ده ژنوتیپ در جدول ۸ آورده شده است. براساس SYp، MP، GMP، STI و HARM ژنوتیپ‌های ۵ و ۹ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. به‌منظور حصول اطمینان از بقاء عملکرد در شرایط تنش‌شدید، همان دو ژنوتیپ انتخابی مرحله اول به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب گردیدند.

جدول ۸ میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها توسط شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در شرایط تنش‌شدید (SI=۰/۲۶) در کرج

ژنوتیپ	SYp (Kg)	SYs (Kg)	SSI	Tol (Kg)	MP (Kg)	STI	HARM (Kg)	GMP (kg)	S
۱	۷۸۰۴/۱۷	۶۰۱۵/۰۰	۰/۸۷	۱۷۸۹/۱۷	۶۹۰۹/۵۸	۰/۷۳	۶۷۹۳/۷۶	۶۸۵۱/۴۳	۰/۲۳
۲	۸۸۰۹/۱۷	۴۸۸۵/۰۰	۱/۶۹	۳۹۲۴/۱۷	۶۸۴۷/۰۸	۰/۶۷	۶۲۸۴/۸۳	۶۵۵۹/۹۴	۰/۴۵
۳	۷۹۸۰/۸۳	۵۸۳۹/۱۷	۱/۰۲	۲۱۴۱/۶۷	۶۹۱۰/۰۰	۰/۷۲	۶۷۴۴/۰۵	۶۸۲۶/۵۲	۰/۲۷
۴	۸۳۱۰/۰۰	۵۵۴۹/۱۷	۱/۲۶	۲۷۶۰/۸۳	۶۹۲۹/۵۸	۰/۷۱	۶۶۵۴/۶۰	۶۷۹۰/۷۰	۰/۳۳
۵	۹۸۶۸/۳۳	۶۶۳۴/۱۷	۱/۲۴	۳۲۳۴/۱۷	۸۲۵۱/۲۵	۱/۰۱	۷۹۳۴/۳۳	۸۰۹۱/۲۴	۰/۳۳
۶	۷۶۲۰/۸۳	۶۰۳۸/۳۳	۰/۷۹	۱۵۸۲/۵۰	۶۸۲۹/۵۸	۰/۷۱	۶۷۳۷/۹۱	۶۷۸۳/۵۹	۰/۲۱
۷	۷۲۷۸/۳۳	۵۷۳۶/۶۷	۰/۸۰	۱۵۴۱/۶۷	۶۵۰۷/۵۰	۰/۶۵	۶۴۱۶/۱۹	۶۴۶۱/۶۸	۰/۲۱
۸	۶۷۴۱/۶۷	۵۶۵۵/۸۳	۰/۶۱	۱۰۸۵/۸۳	۶۱۹۸/۷۵	۰/۵۹	۶۱۵۱/۲۰	۶۱۷۴/۹۳	۰/۱۶
۹	۸۵۶۵/۸۳	۶۴۶۷/۵۰	۰/۹۳	۲۰۹۸/۳۳	۷۵۱۶/۶۷	۰/۸۶	۷۳۷۰/۲۳	۷۴۴۳/۰۹	۰/۲۴
۱۰	۷۳۵۲/۵۰	۶۳۴۴/۱۷	۰/۵۲	۱۰۰۸/۳۳	۶۸۴۸/۳۳	۰/۷۲	۶۸۱۱/۲۲	۶۸۲۹/۷۵	۰/۱۴

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جدول ۹ نشان داد که بیشترین تغییرات موردنظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه بیان می‌شود (به ترتیب ۹۹/۹۲۹ و ۹۹/۷۶۶٪ در تنش ملایم و شدید). استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها، تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات شده و تفسیر نتایج براساس دو مؤلفه اول و دوم دارای کارآیی بالاتری می‌باشد. بدین لحاظ ترسیم نمودارها براساس دو مؤلفه اول و دوم صورت گرفت.

جدول ۹ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای هشت شاخص تحمل به خشکی در شرایط بدون تنش، تنش ملایم (SI=۰/۱۹) و تنش شدید (SI=۰/۲۶)در کرج

نوع تنش	مولفه	مقادیر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس
تنش ملایم				
	۱	۶/۴۵	۷۱/۶۹۱	۷۱/۶۹۱
	۲	۲/۵۴۱	۲۸/۲۳۸	۹۹/۹۲۹
	۳	۰/۰۵۹	۰/۰۶۵	۹۹/۹۹۴
	۴	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۵	۹۹/۹۹۹
	۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۱	۱۰۰/۰۰۰
تنش شدید				
	۱	۵/۷۳	۶۳/۷۰۲	۶۳/۷۰۲
	۲	۳/۲۵۸	۳۶/۲۰۰	۹۹/۹۰۲
	۳	۰/۰۰۷۱	۰/۰۷۹	۹۹/۹۸۱
	۴	۰/۰۰۱۶۷	۰/۰۱۹	۱۰۰/۰۰۰
	۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰

در این بررسی مؤلفه اول همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های SYp، MP، GMP، STI و HARM دارد، لذا این مؤلفه به عنوان مؤلفه عملکرد بالقوه و تحمل به خشکی نامگذاری می‌شود. هر چه مقدار این مؤلفه بیشتر باشد مناسب‌تر است. مؤلفه دوم که همبستگی منفی و معنی‌داری با SYs و همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های TOL، SSI و S داشتند، بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری نمود که هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد مطلوب‌تر است. در تنش‌ملایم بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم براساس شاخص‌ها به صورت زیر نشان داده شده است.

مؤلفه اول= 0.39 SYp + 0.28 SYs + 0.23 SSI + 0.29 Tol + 0.38 MP + 0.38 STI + 0.37 HARM + 0.38 GMP + 0.23 S

مؤلفه دوم = 0.06 SYp - 0.44 SYs + 0.51 SSI + 0.42 Tol - 0.14 MP - 0.16 STI - 0.20 HARM - 0.17 GMP + 0.51 S

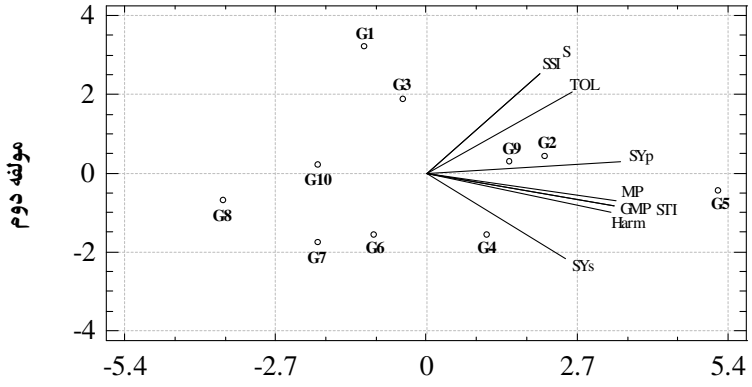
در تنش شدید نیز بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم براساس شاخص‌ها به صورت زیر نشان داده شده است.

مؤلفه اول = 0.40 SYp + 0.18 SYs + 0.24 SSI + 0.29 Tol + 0.41 MP + 0.39 STI + 0.37 Harm + 0.39 GMP + 0.24 S

مؤلفه دوم= 0.14 SYp - 0.50 SYs + 0.45 SSI + 0.40 Tol - 0.12 MP - 0.19 STI - 0.27 Harm - 0.19 GMP + 0.45 S

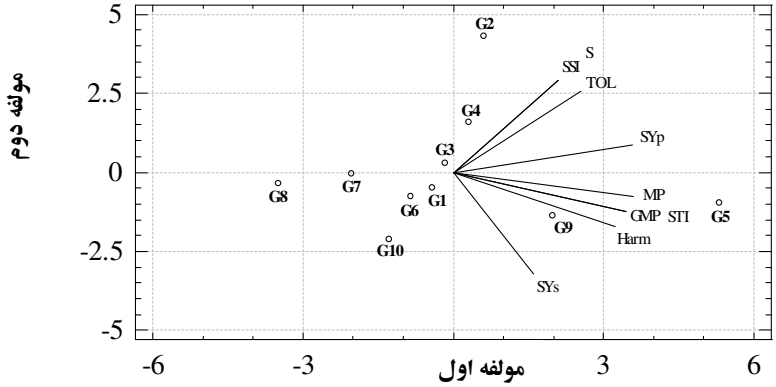
با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی مقادیر بالاتر مؤلفه اول (عملکرد بالقوه و تحمل به خشکی) و مؤلفه دوم (حساسیت به تنش) مدنظر

می‌باشد. لذا ناحیه چهارم بای‌پلات انتخاب گردید و ژنوتیپ‌ها و شاخص‌هایی که در این ناحیه قرار گرفتند معرفی شدند (شکل ۳). براساس نمودار بای‌پلات مشخص شد ژنوتیپ‌های ۴ و ۵ که در ناحیه چهارم قرار دارند، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش و با عملکرد بالقوه بالایی هستند. در ناحیه دوم ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۱۰ قرار دارند که عملکرد پایین و حساسیت بالایی به تنش دارند. در ناحیه تحمل پایین به تنش و عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های ۲ و ۹ قرار داشتند. اما ژنوتیپ‌های ۶، ۷ و ۸ دارای عملکرد بالقوه پایین ولی تحمل خوبی نسبت به تنش بودند. از آن‌جا که ژنوتیپ‌های چهار و پنج از روش بهترین شاخص‌ها انتخاب و هم‌چنین در ناحیه مطلوب بای‌پلات نیز قرار داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالقوه بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش معرفی گردیدند.



شکل ۳ نمایش گرافیکی بای‌پلات ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند در نه شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش ملایم (SI=۰/۱۹) در کرج

در تنش‌شدید براساس نمودار بای‌پلات مشخص شد ژنوتیپ‌های ۵ و ۹ که در ناحیه چهارم قرار دارند، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش و با عملکرد بالقوه بالایی هستند(شکل ۴). در ناحیه دوم ژنوتیپ‌های ۳ و ۷ قرار دارند که عملکرد پایین و حساسیت بالایی به تنش دارند. در ناحیه تحمل پایین به تنش و عملکرد مناسب در شرایط بدون‌تنش ژنوتیپ‌های چهار و دو قرار داشتند. اما ژنوتیپ‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱ دارای عملکرد بالقوه پایین ولی تحمل خوبی نسبت به تنش بودند. از آن‌جا که ژنوتیپ ۵ و ۹ از روش بهترین شاخص‌ها انتخاب و هم‌چنین در ناحیه مطلوب بای‌پلات نیز قرار داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالقوه بالا در هر دو محیط بدون‌تنش و تنش معرفی گردیدند.



شکل ٤ نمایش گرافیکی بای‌پلات ۱۰ ژنوتیپ چغندرقند در نه شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش شدید (SI=۰/۲۶) در کرج

با توجه به زوایای خطوطی که شاخص‌ها نمایش می‌دهند، می‌توان استنباط نمود که شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP که همبستگی مثبت و بالایی با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش‌ملایم دارند به عنوان بهترین شاخص‌ها شناخته شدند. هم‌چنین وجود همبستگی بالا بین سه شاخص TOL، SSI و S در نمودار مشهود است.

بحث

گزینش برای عملکرد بالقوه در شرایط بدون‌تنش به دلیل واریانس ژنتیکی بیشتر و وراثت‌پذیری بالا در این شرایط مؤثرتر است. از آن‌جا که وجود شرایط مطلوب برای رشد و نمو در محیط‌های بدون‌تنش، به ژنوتیپ‌ها فرصت بیان حداکثر پتانسیل ژنتیکی را می‌دهد واریانس ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط بیشتر است (فرناندز ۱۹۹۲). با گزینش ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد در محیط بدون‌تنش و یا در تنش، میانگین عملکرد فقط در هرکدام از این شرایط افزایش می‌یابد، پس انتخاب ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگاری دارند هدف اصلی می‌باشد (فرناندز ۱۹۹۲). به عبارت بهتر شاخص انتخاب مناسب باید بتواند ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط را از ژنوتیپ‌های برتر در یک محیط متمایز نماید (Golabadi et al. 2006).

به طور کلی شاخص‌هایی که در محیط تنش و بدون‌تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شده و نیاز به شاخص انتخاب مناسب را برآورده می‌سازند، چرا که این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (فرناندز ۱۹۹۲ و Ober et al. 2005). در این مطالعه دو شاخص SSI و S به دلیل نداشتن همبستگی با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش، قابل توصیه نبودند (جدول‌های ۲، ۵، ۶ و ۹). محدودیت استفاده از SSI به دلیل عدم تمایز بین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد

زیاد در شرایط بدون‌تنش با ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد کم قبلاً نیز گزارش شده است (Schneider et al. 1997; Clarke et al.1992). البته در مواردی هم SSI همراه با عملکرددانه به عنوان پارامتر پایداری استفاده شده و ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی گندم را مشخص نموده است (Bansal and Sinha 1991). نتایج نشان داد که TOL فقط با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش همبستگی معنی‌دار داشت و نشان‌دهنده این بود که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی انتخاب براساس این شاخص بر روی عملکردقند در محیط بدون‌تنش نیز مؤثر می‌باشد (جدول‌های ۲، ۵، ۶ و۹). از طرفی نبودن همبستگی معنی‌دار بین این شاخص و عملکردقند در شرایط تنش مشخص نمود که انتخاب براساس این شاخص تأثیری بر عملکردقند در شرایط تنش ندارد. به دلیل همبستگی مثبت TOL با عملکرد در شرایط بدون تنش افزایش عملکرد باعث افزایش حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش می‌گردد. به عقیده فرناندز (۱۹۹۲) با استفاده از TOL و SSI ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم در شرایط بدون‌تنش و با عملکرد زیاد در شرایط تنش انتخاب می‌شوند و به همین دلیل قادر به جداسازی این ژنوتیپ‌ها از یکدیگر در گندم (Clarke et al.1992) و لوبیا (Ramirez-Vallejo and Kelly 1998) نیست. اگرچه مقدار کم TOL به عنوان اساس انتخاب ارقام با مقاومت به تنش آب استفاده می‌شده است، اما احتمال انتخاب ارقامی با عملکرد کم و تفاضل کم عملکرد را می‌توان انتظار داشت (Ramirez-Vallejo and Kelly 1998). در این مطالعه نیز چنین وضعیتی وجود داشت برای مثال در زرقان و در دو تنش‌ملایم و شدید ژنوتیپ هفت به ترتیب با ۲۸۵/۸۹ و ۱۳۱۸/۲۷ دارای کمترین مقدار TOL بود و متحمل‌ترین ژنوتیپ به شمار می‌رفت ولی ازنظر عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش کمترین عملکرد را داشت (جدول ۳ و ۴).

با استفاده‌از تحلیل همبستگی و با در نظر گرفتن همبستگی مثبت و معنی‌دار برخی شاخص‌ها با عملکردقند در شرایط تنش و بدون‌تنش، در زرقان MP، STI، HARM وGMP در دو تنش ملایم و شدید و در کرج و در تنش ملایم MP، STI، HARM وGMP و در تنش شدید STI، HARM وGMP به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی انتخاب شدند(جدول‌های ۲، ۵، ۶ و۹). این یافته‌ها با نتایج دیگر محققان در مورد چغندرقند شباهت بسیاری دارد (پرویزی آلمانی و همکاران ۱۳۷۷، محمدیان و همکاران ۱۳۸۱، وزان ۱۳۸۱). در گیاهان زراعی دیگر مانند گندم دوروم MP، STI وGMP (Golabadi et al. 2006)، لوبیا GMP (Ramirez-Vallejo and Kelly 1998) و STI (فرناندز ۱۹۹۲)، نخود MP، STI، HARM وGMP (فرشادفر و همکاران ۱۳۸۰) و سویا STI وGMP (کارگر و قنادها ۱۳۸۳) به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های انتخاب گزارش گردیدند.

بهنژادگرانی که مایلند از عملکرد نسبی استفاده نمایند، شاخص GMP را به دلیل این که تنش خشکی در محیط‌ها و سال‌های مختلف شدت‌های متفاوتی دارد انتخاب می‌نمایند (Ramirez-Vallejo and Kelly 1998). برخی نیز از STI جهت غربال‌نمودن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالقوه زیاد و تحمل به تنش و هم‌چنین شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف تنش خشکی استفاده می‌نمایند (فرناندز ۱۹۹۲ و پرویزی آلمانی و همکاران ۱۳۷۷).

در زرقان و تحت دو شدت تنش و در کرج در تنش ملایم MP جزو بهترین شاخص‌های انتخاب بود ولی در تنش شدید کرج شاخص مناسبی نبود (جدول‌های ۲، ۵، ۶ و۹). مشابه چنین نتایجی نیز در سویا به دست آمد به طوری که بهترین شاخص‌ها بسته به شدت تنش و گروه‌های رسیدگی متفاوت بودند (زارع و همکاران ۱۳۸۳). در گروه‌های رسیدگی III و IV و شدت تنش ۰/۶۲ شاخص‌های GMP و STI و در گروه رسیدگی V و شدت تنش ۰/۲۸ شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP انتخاب گردیدند.

استفاده از شاخص‌های منتخب در غربال‌نمودن ژنوتیپ‌های مختلف جهت تحمل به خشکی باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش می‌گردد و می‌توان آن‌ها را به طور توأم برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای هر شرایط توصیه نمود. در واقع هدایت برنامه‌های اصلاحی باید براساس عملکرد در دو محیط و همراهی این شاخص‌ها باشد. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های انتخابی براساس این شاخص‌ها، ضمن این که از پایداری عملکرد بالاتری برخوردارند دارای میانگین عملکرد بالایی در هر دو محیط نیز هستند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که مقدار بالایی از این شاخص‌ها را داشته باشند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند.

جهت بررسی هم‌زمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های انتخاب باید از ترسیم گرافیکی بای پلات استفاده نمود. بای پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات وارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه می‌باشد و به تجسم برهمکنش ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها عینیت بخشیده و تصویر روشنی از جداسازی ژنوتیپ‌های برتر و پست ارائه می‌نماید (فرناندز ۱۹۹۲ و Ober et al 2005). استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ یا رقم متحمل توسط بیشتر پژوهشگران ازجمله فرشادفر و همکاران (۱۳۸۰) در نخود، زارع و همکاران (۱۳۸۳) در سویا، نورمند مؤید وهمکاران (۱۳۸۰) و گل آبادی و همکاران (Golabadi et al. 2006) در گندم، کرمی و همکاران (۱۳۸۵) در جو، فرناندز (۱۹۹۲) در لوبیا و اوبر و همکاران (Ober et al. 2004) در چغندرقند مورد توجه قرار گرفته است.

در نمودار بای‌پلات ضریب همبستگی بین هر دو شاخص تقریباً با کسینوس زاویه بین بردارهای‌شان برابر است به طوری که $r = \cos 180^o = -1$, $\cos 0^o = 1$, $\cos 90^o = 0$ می‌باشد (Yan and

(Rajcan 2002). بنابراین زاویه منفرجه بین بردارها نشان‌دهنده رابطه منفی شدید، زاویه قائمه نشان‌دهنده رابطه نزدیک صفر و زاویه حاده نشان‌دهنده رابطه مثبت بین شاخص‌ها است. با توجه به زاویه حاده بین شاخص‌های انتخاب در نمودار بای پلات، مشخص گردید که شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP علاوه بر همبستگی مثبت و بالا با عملکردقند در شرایط بدون‌تنش و تنش، با یکدیگر نیز همبستگی مثبت و بالایی دارند و به عنوان بهترین شاخص‌ها شناخته شدند (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). در مطالعه فرشادفر و همکاران (۱۳۸۰)، زارع و همکاران (۱۳۸۳) نیز چنین شرایطی وجود داشت ولی در بررسی نورمند مؤید وهمکاران (۱۳۸۰) شاخص‌های STI وGMP به عنوان بهترین شاخص‌ها، همبستگی مثبت و خیلی بالایی با هم داشتند. همچنین وجود همبستگی بالا بین سه شاخص TOL، SSI و S در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ مشهود بود و در تمامی موارد بردار شاخص‌های SSI و S کاملاً برهم منطبق بود. در نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها در چهار ناحیه این نمودار پراکنده‌اند که به‌طور کلی می‌توان این نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات را حاکی از تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی دانست. بنابراین در حال حاضر منابع ژنتیکی مناسبی برای بهبود وضعیت تحمل به خشکی در چغندرقند وجود دارد.

با توجه شاخص‌های MP، STI، HARM وGMP و SYs و SYp بالا و هم‌چنین نمودار چند متغیره بای‌پلات مشخص شد که در زرقان ژنوتیپ‌های 7221-I-79 و MST261-W-7221-I-79 در تنش‌ملایم و 7221-I-79 در تنش‌شدید و در کرج MSTC2-W-7221-I-79 و 7221-I-79 در تنش‌ملایم و MSTC2-W-7221-I-79 و BP ـ مشهد در تنش شدید بهترین ژنوتیپ‌ها هستند. از آن‌جا که برخی ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش دارای عملکرد بالقوه بالا ولی تحمل کمی به تنش خشکی داشتند، پیشنهاد می‌شود این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی دیگر مورد استفاده قرار گیرند و یا با انجام تلاقی‌های مناسب جنبه تحمل به خشکی آن‌ها تقویت گردد. هم‌چنین ژنوتیپ‌هایی نیز وجود داشتند که در محیط بدون تنش دارای عملکرد بالقوه پایین ولی تحمل قابل توجهی به تنش خشکی داشتند، که پیشنهاد می‌شود با انجام تلاقی‌های لازم به‌توان از این پتانسیل مناسب در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم مؤسسه تحقیقات چغندرقند که منابع مالی انجام این طرح را تأمین نمودند قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده: References:

پرویزی آلمانی، م. صادقیان، س. ی. فتح‌اله طالقانی، د و محمدیان، ر. ۱۳۷۷. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی برای صفات مهم چغندرقند. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۳-۹ شهریور. صفحه ۲۸۵.

پرویزی آلمانی، م. صادقیان، س. ی. فتح‌اله طالقانی، د و محمدیان، ر. ۱۳۷۷. اصلاح تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های چغندرقند از طریق غربال لاین‌ها. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۳-۹ شهریور. صفحه ۲۸۶.

زارع، م. زینالی خانقاه، ح. و دانشیان، ج. ۱۳۸۳. ارزیابی تحمل برخی ژنوتیپ‌های سویا به تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۵(۴): ۸۶۷-۸۵۹.

ضابط، م. حسین زاده، ع. ۱۳۸۲. مطالعه اثرات تنش خشکی بر صفات مختلف و تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی در ماش. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۴(۴): ۸۹۸-۸۸۹.

عبدمیشانی، س و شاه نجات بوشهری، ع. ا. ۱۳۷۴. اصلاح نباتات تکمیلی. جلد اول: اصلاح نباتات متداول. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ صفحه.

فرشادفر، ع. ا. زمانی، م. ر. مطلبی، م. و امام جمعه، ع. ع. ۱۳۸۰. انتخاب برای تحمل به خشکی در لاین‌های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۲(۱): ۷۷-۶۵.

قدسی، م. ناظری، س. م. و زارع فیض‌آبادی، ا. ۱۳۷۷. واکنش ارقام جدید و لاین‌های امیدبخش گندم بهاره نسبت به خشکی. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۳-۹ شهریور. صفحه ۲۵۲.

کارگر، س. م. ع. و قنادها، م. ر. ۱۳۸۳. ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در تعدادی از ژنوتیپ‌های سویا در شرایط آبیاری محدود. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۵(۱): ۱۴۲-۱۲۹.

کرمی، ع. قنادها، م. ر. نقوی، م. ر و مردی، م. ۱۳۸۵. شناسایی ارقام متحمل به خشکی در جو. ۱۳۸۵. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۱-۳۷(۲): ۳۷۹-۳۷۱.

محمدیان، ر. صادقیان، س. ی. مقدم، م و رحیمیان، ح. ۱۳۸۱. ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در تشخیص ژنوتیپ‌های چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی اوایل فصل رشد. مجله چغندرقند، شماره ۱۸(۱): ۴۹-۲۹.

نورمندمؤید، ف. رستمی، م. ع و قنادها، م. ر. ۱۳۸۲. ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در گندم نان. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۲(۴): ۸۰۵-۷۰۹.

وزان، س. ۱۳۸۱. بررسی اثر تنش خشکی بر میزان تجمع اسید آبسزیک و دیگر صفات فیزیولوژیک در چغندرقند. پایان نامه دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۲۱۲ ص.

Bansal KC, Sinha SK (1991) Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* and related species. I.Total dry matter and grain yield stability. Euphytica 56:7-14

Clarke JM, DePauw RM, Townely-Smith TF (1992) Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Sci 32:723-728

Cooke DA, Scott RK (1993) The Sugar Beet Crop: Science into practice. Chapman & Hall, London, New York: 675 PP

Fernandez GCJ (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temprature and Water Stress. Taiwan, p. 257-270

Fischer RA, Maurer R (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield responses. Aus. J Agri. Res. 29:897-912

Gabriel KA (1971) The biplot graphical display of matrics with applications to principal component analysis. Biometrika 58:453-467

Golabadi M, Arzani A, Mirmohammadi Maibodi SAM (2006) Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. Af. J. Agri. Res. 1:162-171

Ober ES, Le Bloa M, Clark CJA, Royal A, Jaggard KW, Pidgeon JD (2005) Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. Field Crops Res. 91:231-249

Ober ES, Clark CJA, Le Bloa M, Royal A, Jaggard KW, Pidgeon JD (2004) Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet: agronomic traits of diverse genotypes under droughted and irrigated conditions. Field Crops Res. 90: 213-234

Ramirez-Vallejo P, Kelly JD (1998) Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99:127-136

Rosielle AA, Hamblin J (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 21:943-946

Sadeghian SY, Fazli H, Taleghani DF, Mesbah M (2000) Genetic variation of drought stress in sugarbeet. J. Sugar Beet Res. 37: 55-77

Schittenhel MS (1999) Agronomic performance of root chichory, Jerursalem artichoke and sugarbeet in stress and nonstress environments. Crop Sci. 39: 1815-1823

Schneider KA, Rosales-Serna R, Iberra-Perez F, Cazares-Enriquez B, Acosta-Gallegos JA, Ramirez-Vallejo P, Wassimi N, Kelly JD (1997) Improving common bean performance under drought stress. Crop Sci. 37:43-50

Winter SR (1980) Suitability of sugarbeets for limited irrigation in a semi-arid climate. Agronomy J. 72: 118-123

Yan W, Rajcan I (2002) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sci. 32:51-57