دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

تجزیه پایداری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر در هیبریدهای چغندرقند

پرویز فصاحت[۱]، سمر خیامیم[۲]، جمشید سلطانی ایدلیکی[۳]، سعید دارابی[۴]، عادل پدرام[۵]، مهدی حسنی[۶]، علی جلیلیان[۷] و بابک بابائی[۸]

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: fasahat@sbsi.ir)
۲- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- مربی، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۴- مربی، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۵- مربی، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۶- محقق، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۷- استادیار، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۸- مربی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۵
صفحه: ۳۳ تا ۴۰

چکیده

در برنامه‌های معرفی رقم، آزمون ژنوتیپ‌های گیاهی در مناطق مختلف به‌منظور بررسی پایداری آن‌ها انجام می‌گیرد. در این تحقیق، ۱۷ ژنوتیپ چغندرقند در ۵ منطقه کرج، همدان، میاندوآب، مشهد و شیراز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٦ تکرار در سال ۱۳۹۷ ارزیابی محصولی شدند. پس از تایید همگنی واریانس خطا در پنج آزمایش با آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای عملکرد شکر انجام شد. در این تجزیه اثر مکان، ژنوتیپ و ژنوتیپ در مکان معنی‌دار شد. براساس روش ضریب رگرسیونی و انحراف از رگرسیون، ژنوتیپ‌های G2، G6، G9 و G13 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس واریانس برهمکنش شوکلا و اکووالانس ریک، ژنوتیپ‌های G2، G3، G5 و G6 بالاترین پایداری را به‌خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های G6 و G9 براساس پارامتر واریانس درون مکانی و ژنوتیپ‌های G2 و G5 بر اساس پارامتر ضریب تغییرات پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شدند. با استفاده از روش ضریب تبیین، ژنوتیپ‌های G3، G5 و G6 و با استفاده از روش رگرسیون تای، ژنوتیپ‌های G2، G6 و G12 با داشتن میانگینی بالاتر از متوسط به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. براساس مجموع روش‌های فوق، ژنوتیپ G2 به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ از نظر پایداری عملکرد شکر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، پایداری عملکرد شکر، چغندرقند

مقدمه

به نژادگران گیاهی همواره به‌دنبال تولید و معرفی واریته‌های جدیدی هستند که همراه با افزایش عملکرد، پایداری مناسبی نیز داشته باشند. ارزیابی واریته‌ها همواره در مناطق مختلف صورت می‌پذیرد تا بتوان واریته‌هایی را که پایداری عملکرد بیشتری در شرایط آب و هوایی متغیر دارند انتخاب نمود. یکی از عوامل اثرگذار بر عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که گاهاً سبب تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌شود (۱۳). در آزمایشات ناحیه‌ای عملکرد همواره سعی برآن است که مکان‌های مورد استفاده برای اجرای آزمایشات حتی‌الامکان نماینده مناسبی از منطقه مورد بررسی باشند (۳۶). با بررسی عملکرد واریته‌ها در طی سال‌ها و مکان‌های مختلف مشخص گردیده که برخی از واریته‌های اصلاح شده دارای سازگاری وسیع و برخی نیز دارای سازگاری خاص با شرایط محیطی خاص هستند. انتخاب واریته‌های دارای عملکرد و پایداری بالا همواره مورد توجه بوده و روش‌های متعددی برای نیل به این هدف طراحی شده‌اند (۱۲-۱۴)؛ هرچند که ممکن است نتایج حاصل از هریک از روش‌های تجزیه پایداری با دیگری فرق داشته باشد.

چغندرقند یکی از مهمترین گیاهان برای تامین شکر مورد نیاز جهانی است که به‌همراه نیشکر در کشورهای مختلف کشت و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰). افزایش میزان شکر موجود در ریشه این گیاه همواره مورد توجه اصلاح‌گران بوده است به‌گونه‌ای که در کنار عملکرد ریشه، عیار قند نیز همواره مورد توجه قرار گرفته است. در گذشته یک رابطه منفی با شیب زیاد بین عملکرد ریشه و عیار قند وجود داشت، ولی در سال‌های اخیر شیب این رابطه کاهش یافته است (۱۱). عملکرد شکر حاصل ضرب عملکرد ریشه در عیارقند می‌باشد به‌همین دلیل اصلاح همزمان این دو صفت همواره مورد توجه بوده است. مطالعات زیادی در زمینه بررسی پایداری عملکرد گیاهان مختلف از جمله جو (۲)، ذرت (۸)، یولاف (۲۴) و برنج (۱۲) انجام شده است که در این مطالعات از پارامترهای پایداری، روش گرافیکی GGE biplot و نیز AMMI استفاده شده است. فلورس و همکاران (۱۵) روش‌های تجزیه پایداری را به سه گروه تک متغیره ناپارامتری و روش‌های چند متغیره تقسیم کردند. رومر استفاده از واریانس محیطی را با عنوان پارامتر پایداری پیشنهاد نمود (۱۹)؛ یعنی رقمی که عملکردش نوسان کمتری در بین محیطها نشان دهد واریانس آن کوچکتر بوده و در نتیجه پایدارتر است. فرانسیس و کارنبرگ (۱۶) به‌منظور تعیین پایداری ژنوتیپ‌های ذرت از ضریب تغییرات محیطی استفاده کردند که بر طبق این معیار ژنوتیپی پایدار است که ضریب تغییرات آن کمتر باشد. شاخص پایداری اکووالانس ریک که یکی از پرکاربردترین روش‌های

تعیین پایداری است و مستقیما به اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای هر ژنوتیپ بستگی دارد، در سال ۱۹۶۲ توسط ریک (۳۵) ارائه شد. شوکلا (۳۲) نیز پارامتر واریانس پایداری را برای هر ژنوتیپ مطرح نمود که براساس آن ژنوتیپ پایدار دارای حداقل واریانس می‌باشد. در سال ۱۹۷۱، دو روش رگرسیون دیگر، یکی توسط فریمن و پرکینز (۱۷) و دیگری توسط تای (۳۳) ارائه گردید. لین و بینز در سال ۱۹۸۸ شاخص برتری را ارائه دادند (۲۲). همچنین استفاده از ضریب تبیین به‌جای استفاده از میانگین مربعات انحرافات برای برآورد پایداری ژنوتیپ‌ها پیشنهاد شده است (۲۷). کریمی‌زاده و همکاران (۲۱) پایداری عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ جو را در چهار منطقه به‌مدت سه سال مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده حاکی از همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین پارامترهای واریانس شوکلا و اکووالانس ریک بود. هر چند که علاوه بر دو پارامتر فوق، پارامترهای ضریب رگرسیون، واریانس محیطی و ضریب تغییرات با میانگین عملکرد دانه همبستگی نشان ندادند. کلاته جاری و همکاران (۲۰) از پارامترهای ضریب تغییرات، واریانس محیطی، واریانس پایداری شوکلا، اکووالانس ریک و رگرسیون تای برای بررسی پایداری ۱۰ رقم گرده‌افشان آفتابگردان در ۶ منطقه استفاده کردند. در تحقیق دیگری، امیدی و همکاران (۲۶) ۱۸ ژنوتیپ گلرنگ را مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از پارامترهای مختلف پایداری، یک لاین جدید با پایداری عمومی خیلی خوب و عملکرد بالا در تمام محیط‌ها را انتخاب کردند. تحقیق حاضر به‌منظور شناسایی و معرفی هیبریدهای امیدبخش چغندرقند با پایداری عملکرد بالا و سازگار با مناطق مورد آزمایش و همچنین مقایسه روش‌های مختلف پایداری انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، ۱۳ هیبرید (که از اینجا به بعد تحت عنوان ژنوتیپ یاد می‌شود) بهاره چغندرقند به‌همراه دو رقم شاهد ایرانی و دو رقم شاهد خارجی (جدول ۱) در مناطق کرج، مشهد، شیراز، همدان و میاندوآب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تکرار در سال ۱۳۹۷ کشت و مورد مقایسه قرار گرفتند. کشت در تمامی مناطق در فصل بهار انجام شد و برداشت در اواخر مهرماه صورت پذیرفت. عمق کاشت بذر دو سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف پس از تنک کردن ۱۸ سانتی متر بود. طول هر کرت هشت متر در نظر گرفته شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کشت صورت پذیرفت. سه ردیف کشت در ابتدا و انتهای هر بلوک به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. مراقبت‌های زراعی لازم در طول انجام آزمایشات از قبیل آبیاری، کنترل علف‌های هرز و آفات به‌عمل آمد. توصیه کودی هر آزمایش بسته به نیاز منطقه و با توجه به نتایج آزمون خاک انجام گرفت. عملیات برداشت شامل کندن و سرزنی چغندرقند به‌صورت دستی و توسط نیروی کارگری انجام شد. ریشه های سرزنی شده در کیسه‌های مربوطه جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه تهیه خمیر منتقل شدند. در آزمایشگاه، از ریشه‌های سرزنی شده هرکیسه جهت تجزیه کیفی نمونه خمیر تهیه و نمونه‌ها بلافاصله فریز شدند.

نمونه‌ها پس از فریز شدن، جهت تجزیه کیفی به آزمایشگاه تکنولوژی قند واقع در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند ارسال شدند. عملکرد شکر برحسب رابطه Sy=Ry × SC به‌دست آمد که در آن Ry عملکرد ریشه و SC عیار قند می‌باشد (۶).

جدول ۱- اسامی و کد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سال ۱۳۹۷

Table 1. Code of evaluated genotypes in 2018

کد داده شده	ژنوتیپ	کد داده شده	ژنوتیپ
G1	(201-25*301-11)*S1-940001	G10	(201-25*301-11)*S1-940385
G2	(201-25*301-11)*S1-940221	G11	(201-25*301-11)*S1-940392
G3	(201-25*301-11)*S1-940229	G12	(201-25*301-11)*S1-940393
G4	(201-25*301-11)*S1-940230	G13	(201-25*301-11)*S1-940458
G5	(201-25*301-11)*S1-940232	G14	SBSI-3
G6	(201-25*301-11)*S1-940237	G15	SBSI-9
G7	(201-25*301-11)*S1-940278	G16	F-20871
G8	(201-25*301-11)*S1-940382	G17	F-20880
G9	(201-25*301-11)*S1-940384		

بعد از جمع‌آوری داده‌های مربوط به تمامی محیط‌های مورد آزمایش، ابتدا از تجزیه واریانس معمولی برای بررسی اختلاف بین عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده شد. سپس، آزمون بارتلت به‌منظور بررسی یکنواختی اشتباهات آزمایشی و تجزیه واریانس مرکب انجام شد. از آزمون F در تجزیه مرکب با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر محیط و تکرار برای آزمایش‌ها استفاده شد. به‌منظور بررسی اثرات متقابل از پارامترهای ضریب رگرسیون (b_i)، انحراف از رگرسیون (S^2_{di})، ضریب تبیین (R^2_i)، واریانس برهمکنش شوکلا (σ^2_i)، اکووالانس ریک (W^2_i)، واریانس درون مکانی (P_i)، ضریب تغییرات (CVi)، روش تای (۳۳) شامل واکنش خطی به تغییرات محیطی (α_i) و انحراف از واکنش خطی (λ_i) استفاده شد (۱۳). تمامی محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (v.9.1) انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون بارتلت برای یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بیانگر یکنواخت بودن واریانس‌های مربوطه بود (X2 = ۸/۰۷۳۷). نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد شکر

نشان داد که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین نتیجه‌گیری شد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت‌های ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای صفت عملکرد شکر دارند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد بین مکان‌ها نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌گردد. ۶۳/۲۷ درصد از کل مجموع مربعات به اثرات محیطی مربوط می‌شود، در حالی‌که اثرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب ۶/۰۴ و ۸/۶۴ درصد از تغییرات را برعهده داشتند. مجموع مربعات بزرگ اثرات محیطی نشان‌دهنده آن است که محیط‌ها متنوع بوده و تفاوت‌های زیاد در میانگین‌های محیطی سبب بیشتر تغییرات در عملکرد شکر می‌شود. با توجه به تغییرات کم بین مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و نیز ژنوتیپ، تفاوت قابل توجهی در پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط وجود ندارد. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط بیانگر سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف با مکان‌های مختلف می‌باشد. بهرامی و همکاران (۴) و نیز دربندی و همکاران (۷) معنی‌دار شدن اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان‌دهنده سازگاری ژنوتیپ‌های کلزا با مکان‌های خاص بیان کردند.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد شکر ۱۷ ژنوتیپ چغندرقند مورد ارزیابی شده در پنج منطقه

Table 2. Results of ANOVA for sugar yield of 17 sugar beet genotypes across five regions

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
محیط	۴	۲۶۶۸/۱۳	۶۶۷/۰۳**
اشتباه اول	۲۵	۱۷۱/۶	۶/۸۶**
ژنوتیپ	۱۶	۲۵۴/۸۷	۱۵/۹۲**
ژنوتیپ × محیط	۶۴	۳۶۴/۴۹	۵/۶۹**
اشتباه دوم	۴۰۰	۷۵۷/۸۹	۱/۸۹
ضریب تغییرات (CV%)	۱۷/۰		

**: معنی دار درسطح احتمال آماری یک درصد

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، نتیجه‌گیری گردید که انجام تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدارتر سودمند خواهد بود. نتایج حاصل از تجزیه نه پارامتر پایداری به‌همراه میانگین عملکرد شکر در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین عملکرد شکر ۱۷ ژنوتیپ چغندرقند بین ۷/۱-۹/۷ تن در هکتار تغییر داشت که بیشترین عملکرد شکر به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های G16 (شاهد خارجی آزمایش) و G9 به‌میزان ۹/۷ و ۹/۰ تن در هکتار بود (جدول ۳). در مقابل، پائین‌ترین عملکرد شکر در ژنوتیپ‌های G7 (۷/۱ تن در هکتار) و G11 (۷/۱ تن در هکتار) بدست آمد که با شاهد ایرانی آزمایش (G14) در یک گروه آماری قرار داشتند. میانگین عملکرد کل آزمایش برابر با ۸/۰۷ تن در هکتار، میانگین محیط‌های با عملکرد بالاتر از میانگین کل یا محیط‌های مساعد (کرج و میاندوآب) برابر با ۱۰/۸ تن در هکتار و میانگین محیط‌های نامساعد یا محیط‌های با میانگین عملکرد شکر کمتر از میانگین کل (همدان، مشهد و شیراز) برابر با ۶/۲۴ تن در هکتار بود.

برطبق مدل ابرهارت و راسل (۹)، ضریب رگرسیون برابر یک همراه با انحراف از رگرسیون برابر صفر نشان‌دهنده متوسط پایداری است. زمانی که موارد فوق با میانگین عملکرد شکر بالا همراه باشد، ژنوتیپ‌ها سازگاری عمومی دارند و زمانی‌که با عملکرد شکر پائین همراه باشد ژنوتیپ‌ها سازگاری ضعیفی به تمامی محیط‌ها دارند. مقادیر رگرسیونی بیش از یک توصیف‌کننده ژنوتیپ‌هایی با حساسیت بالا به تغییرات محیطی هستند (زیر پایداری متوسط) و سازگاری خصوصی بیشتری به محیط‌های با عملکرد بالا دارند. ضرایب رگرسیونی پائین‌تر از یک تخمینی از مقاومت بیشتر به تغییرات محیطی را فراهم می‌کنند (بالای پایداری متوسط) و بنابراین سازگاری اختصاصی به محیط‌های با عملکرد پائین افزایش می‌یابد (۱۳-۱۴). در این تحقیق، دامنه ضرایب رگرسیونی از ۰/۶۹ تا ۱/۲۷ نوسان داشت (جدول ۳). این دامنه تغییرات در ضرایب رگرسیونی نشان‌دهنده تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی است. در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، با آنکه ژنوتیپ G12 به‌همراه شاهد ایرانی آزمایش (G15) اختلاف ضریب رگرسیونی معنی‌داری با ضریب رگرسیون یک نشان ندادند اما عملکرد شکر آنها از میانگین کل (۸/۰۷ تن در هکتار) کمتر بود که حاکی از پایداری متوسط و سازگاری عمومی ضعیف می باشد. ژنوتیپ‌های G2، G6، G9 و G13 دارای ضریب رگرسیون معنی‌دار بیشتر از یک، عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل و انحراف از رگرسیون غیر معنی‌دار با صفر (به غیر از G9) هستند بنابراین دارای پایداری متوسط و سازگاری عمومی خوب می‌باشند. مهبدینی و همکاران (۲۵) جهت تجزیه پایداری عملکرد دانه در عدس، گوی و همکاران (۱۸) جهت بررسی پایداری قوه نامیه در ژنوتیپ‌های درخت کائوچو، دربندی و همکاران (۱۳) جهت بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های زمستانه کلزا در مناطق سرد ایران، و سنقرا و همکاران (۲۸) جهت بررسی پایداری صفات کیفی در چغندرقند از این پارامترها استفاده کردند. آبای و بجرنستاد (۱) پایداری عملکرد ۱۰ رقم جو را در ۲۱ محیط با استفاده از روش رگرسیون و GGE biplot مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که نتایج بدست آمده از روش رگرسیون ابرهارت و راسل مطابقت بالایی با روش چند متغیره GGE biplot دارد. شاه‌محمدی و همکاران (۳۰) چهار ژنوتیپ جو را که ضریب رگرسیون نزدیک به یک داشتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار جو معرفی کردند اما چون انحراف از خط رگرسیون این ژنوتیپ‌ها زیاد بود، تنها یک ژنوتیپ را که با استفاده از سایر آماره‌های تک متغیره دیگر به‌عنوان ژنوتیپ پایدار انتخاب شده بود معرفی نمودند.

جدول ۳- میانگین عملکرد شکر و پارامترهای پایداری اندازه‌گیری شده برای ۱۷ ژنوتیپ چغندرقند در ۵ منطقه

Table 3. Mean sugar yield and stability parameters estimated for 17 sugar beet genotypes across five regions

ردیف	ژنوتیپ	میانگین	b_i	S^2d_i	R^2_i	σ^2_i	W^2_i	P_i	CV_i	α_i	λ_i
۱	G1	۷/۲	۱/۱۲**	-۰/۰۶	۰/۹۷	۰/۲۶	۱/۱۷	۵/۱۹	۴۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۶۴
۲	G2	۸/۳	۰/۸۱**	۰/۴۳	۰/۸۸	۰/۸۱	۳/۱۱	۲/۴۷	۲۶/۷۵	-۰/۱۸	۱/۸۷
۳	G3	۸/۱	۱/۱۵**	-۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۹	۲/۶۹	۳۶/۴۴	۰/۱۵	۰/۲۴
۴	G4	۸/۰	۱/۲۷**	-۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۶۹	۲/۶۸	۳/۰۳	۴۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۵۷
۵	G5	۸/۱	۰/۷**	-۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۶	۲/۳۵	۲/۷۱	۲۲/۳۳	-۰/۲۹	۰/۰۵
۶	G6	۸/۸	۱/۰۹*	۰/۳۲	۰/۹۴	۰/۵۴	۲/۱۳	۱/۰	۳۲/۳۹	۰/۰۹	۱/۶۱
۷	G7	۷/۱	۰/۶۹**	۰/۱۲	۰/۹	۱/۰	۳/۷۸	۵/۷۶	۲۶/۲۱	-۰/۳	۱/۱
۸	G8	۷/۷	۱/۱۴**	۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۵	۲/۰	۳/۶	۳۸/۵۶	۰/۱۴	۱/۲۳
۹	G9	۹/۰	۱/۱۲*	۱/۱۸	۰/۸۷	۱/۳۲	۴/۸۹	۱/۲۳	۳۳/۷۱	۰/۱۲	۳/۷۹
۱۰	G10	۷/۸	۰/۸۸*	-۰/۱۳	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۸۸	۳/۰۹	۲۹/۲۴	-۰/۱۱	۰/۴۶
۱۱	G11	۷/۱	۰/۷۹**	۰/۵۸	۰/۸۶	۱/۰	۳/۷۷	۵/۶۹	۳۰/۷۲	-۰/۲	۲/۲۷
۱۲	G12	۸/۰	۱/۰۶	۰/۰۷	۰/۹۶	۰/۲۹	۱/۲۷	۲/۵۲	۳۴/۳۷	۰/۰۶	۰/۹۷
۱۳	G13	۸/۳	۰/۸۷*	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۷۳	۲/۸	۲/۱۴	۲۸/۳۱	-۰/۱۲	۲/۰۲
۱۴	G14	۷/۲	۱/۱*	۴/۴	۰/۶۹	۴/۰۳	۱۴/۴۵	۷/۲۸	۴۷/۱۹	۰/۱	۱۱/۹
۱۵	G15	۷/۵	۱/۰۴	۰/۵۹	۰/۹۱	۰/۷۲	۲/۷۸	۴/۲۵	۳۷/۲۷	۰/۰۴	۲/۲۹
۱۶	G16	۹/۷	۰/۸۹*	۱/۵	۰/۷۹	۱/۵۶	۵/۷۴	۰/۳۱	۲۶/۴۸	-۰/۱	۴/۵۹
۱۷	G17	۸/۶	۱/۱۹**	۱/۳۳	۰/۸۸	۱/۶۲	۵/۹۵	۱/۷۸	۳۷/۵	۰/۱۹	۴/۱۶

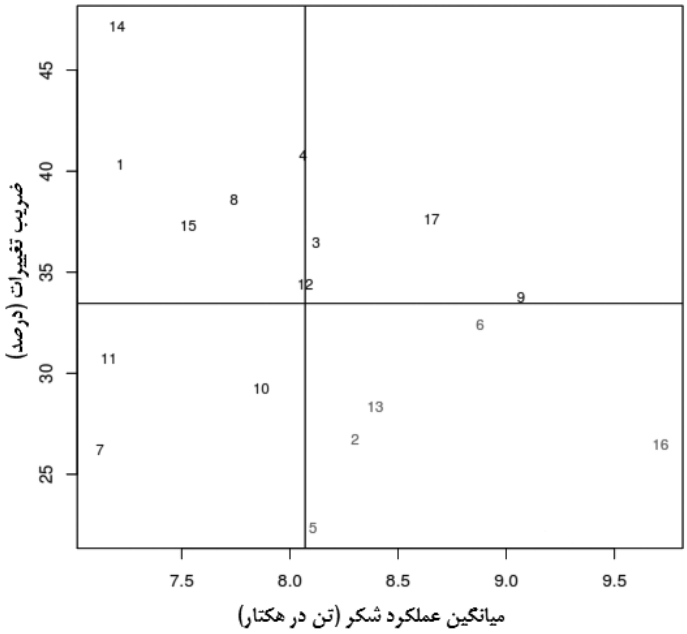
*،**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

استفاده از ضریب تبیین برای تعیین ارقام پایدار در آزمایشات ناحیه‌ای عملکرد، توسط پینتوس در سال ۱۹۷۳ (۲۷) پیشنهاد شد. ضریب تبیین در واقع آن قسمت از تغییرات موجود در عملکرد یک ژنوتیپ را که علت برازش مدل است اندازه می‌گیرد (۱۳). مقدار ضریب تبیین در دامنه ۰/۶۹ تا ۰/۹۹ قرار داشت که در آن میانگین عملکرد شکر با واکنش ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها بیان می‌شود. بر طبق نتایج، ژنوتیپ‌های G3، G5 و G6 بالاترین ضریب تبیین به‌همراه عملکرد شکر را دارا بودند. شومیمو (۳۱) در بررسی پایداری عملکرد دانه ارقام سورگوم از این مدل رگرسیونی استفاده کرد.

نتایج حاصل از بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها بر پایه واریانس برهم‌کنش شوکلا (۳۲) و اکووالانس ریک (۳۵) کاملاً یکسان بوده و نشان‌دهنده مشابهت این دو پارامتر در تعیین ارقام پایدار می‌باشد. براساس دو پارامتر مذکور، ژنوتیپ‌های G2، G3، G5 و G6 کمترین مقدار عددی این دو پارامتر به‌همراه عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل دارا بودند.

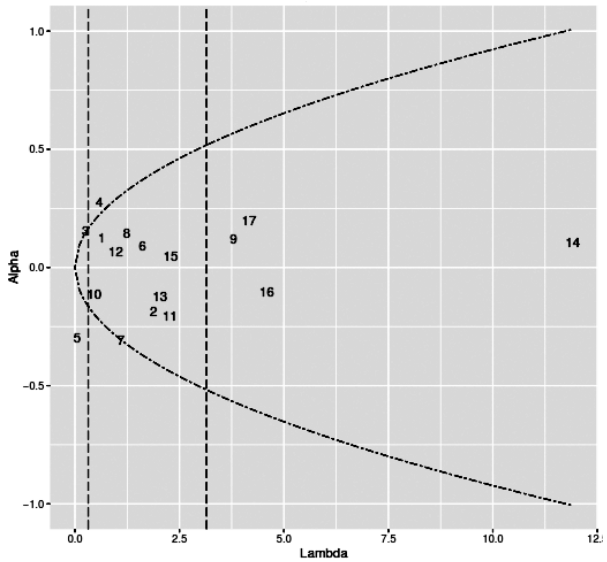
براساس پارامتر واریانس درون مکانی (P_i) ژنوتیپی مطلوب است که در بین مکان‌های مختلف واریانس کمتری ایجاد نموده و لذا واریانس درون مکانی آن کمتر باشد (۱۳). ژنوتیپ‌های G6 و G9 در کنار شاهدهای خارجی آزمایش، ژنوتیپ‌های G16 و G17، کمترین میزان واریانس درون مکانی را به‌خود اختصاص دادند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. محققان دیگری نیز از این پارامتر که به‌عنوان پارامتر نوع چهارم شناخته می‌شود، در مطالعات خود جهت بررسی پایداری ارقام استفاده کرده‌اند (۷،۱۳).

برطبق نظریه فرانسیس و کارنبرگ (۱۶) ژنوتیپ‌هایی که ضریب تغییرات پائین از خود نشان دهند پایدار به‌حساب می‌آیند (۲۳). ژنوتیپ‌های G2، G5، G7 و G13 در کنار شاهد آزمایش ژنوتیپ G16 ضریب تغییرات کمتری را برای صفت عملکرد شکر نشان دادند. با این حال تنها ژنوتیپ‌های G2، G5 و G13 عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل را دارا بودند. برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد شکر بالا با استفاده از ضریب تغییرات درون مکانی، موقعیت ژنوتیپ‌ها با توجه به عملکرد شکر (محور افقی) و ضریب تغییرات (محور عمودی) در محورهای دوبعدی نشان داده شدند (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، ژنوتیپی پایدار است که علاوه بر عملکرد شکر بالا، ضریب تغییرات کمتری داشته باشد. بنابراین ژنوتیپ‌های G2 و G5 بخاطر داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل و ضریب تغییرات پایین در کنار شاهدهای آزمایش، ژنوتیپ‌های G13 و G16 مورد توجه است.



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ های چغندرقند برحسب عملکرد شکر و ضریب تغییرات درون مکانی
Figure 1. Sugar beet genotypes distribution based on sugar yield and coefficient of variation

مدل رگرسیونی تای (۳۳) براساس اصل تجزیه رابطه ساختاری است که در آن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط یک واریته به دو جز تقسیم می‌شود. یکی از این دو جز، واکنش خطی به تغییرات محیطی است که با α_i اندازه‌گیری می‌شود و دیگری انحراف از واکنش خطی است که با λ_i اندازه‌گیری می‌شود. به‌عبارت دیگر، α_i ضریب رگرسیون و با λ_i انحراف از خط رگرسیون می‌باشد. روش رگرسیونی تای همان روش رگرسیونی ابرهارت و راسل است با این تفاوت که از یک وزنی که بر مبنای امید ریاضی داده‌هاست پارامترهای رگرسیونی ابرهارت و راسل تصحیح شده و پارامترهای رگرسیونی تای محاسبه می‌شوند. نمودار هذلولی شکل نشان‌دهنده اثرات رگرسیونی مدل تای در شکل ۲ ترسیم شده است. این نمودار بر اساس ضریب رگرسیون و انحراف از رگرسیون رسم شده است. برطبق این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مختصات λ=۱ و α=۱- باشند دارای پایداری بالا و ژنوتیپ‌هایی که مختصات آنها برابر با λ=۱ و α=۰ باشد، دارای پایداری متوسط هستند. بر طبق این نمودار، ژنوتیپ G6 با ضریب رگرسیون (α) برابر ۰/۰۹ و انحراف از رگرسیون (λ) برابر ۱/۶۱ و دارا بودن عملکرد شکر بیشتر از میانگین، بالاترین میزان پایداری متوسط را به‌خود اختصاص داد و ژنوتیپ G2 نیز با دارا بودن مقدار α برابر ۰/۱۸- و λ برابر ۱/۸۷ رتبه دوم پایداری را داشت. ژنوتیپ G12 با دارا بودن مقدار α برابر ۰/۰۶ و λ برابر ۰/۹۷ رتبه بعدی را از نظر پایداری به‌خود اختصاص داد. آکورا و همکاران (۳) و تلسا (۳۴) از این نمودار به‌ترتیب برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان و باقلا استفاده کردند. شافی و پرایس (۲۹) با استفاده از نمودار تای پایداری عملکرد ۶ ژنوتیپ کلزا را در ۲۷ محیط مورد مطالعه قرار دادند و نشان‌دادند که روش رگرسیون تای توانایی بالایی در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارد. تای (۳۳) گزارش کرد که روش رگرسیونی ارائه شده می‌تواند در مواردی که تعداد ژنوتیپ‌ها و یا محیط‌های آزمایشی کم باشد، مفیدتر از روش رگرسیونی ابرهارت و راسل باشد زیرا با این روش نتیجه تجزیه براساس اثرات ژنوتیپی و فنوتیپی متفاوت می‌باشد.



شکل ۲- نمودار رگرسیون تای برای ژنوتیپ‌های چغندرقند مورد مطالعه
Figure 2. Tai's regression graph for studied sugar beet genotypes

بر اساس نتایج حاصل از روش‌های مختلف تجزیه پایداری استفاده شده در این مطالعه، ژنوتیپ G6 پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد و برای همه محیط‌های انجام آزمایش قابل پیشنهاد است. ژنوتیپ G2 نیز برای محیط‌های مساعد یا محیط‌های با عملکرد بالاتر از میانگین کل و ژنوتیپ‌های G5 و G3 برای محیط‌های نامساعد آزمایش قابل توصیه هستند.

منابع

1. Abay, F. and A. Bjornstad. 2009. Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. Euphytica, 167(2): 181-195.
2. Akbarpour, O.A., H. Dehghani and B. Sorkhi-Lalehloo. 2012. Study of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Iran using regression methods. Iranian Journal of Crop Sciences, 14(2): 155-170 (In Persian).
3. Akcura, M., Y. Kaya, S. Taner and R. Ayranci. 2006. Parametric stability analyses for grain yield of durum wheat. Plant Soil and Environment, 52(6): 254.
4. Bahrami S., M.R. Bihamta, M. Salari, M. Solouki, A. Yousefi and A. Vahabi. 2008. Adaptability and stability of yield of hulless barley (*Hordeum vulgare* L.) in moderate areas. Iranian Journal of Field Crops Research, 6(1): 23-30 (In Persian).
5. Boshagh, B., H. Astraki and P. Pezashkipour. 2018. Evaluation of Faba Bean Genotypes using Drought Tolerance Indices and Multivariate Statistical Methods. Journal of Crop Breeding, 10(27): 1-9.
6. Buchholz, K., B. Märländer, H. Puke, H. Glattkowski and K. Thielecke. 1995. Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerindustrie, 120(2): 113-121.
7. Darbandi, S., B. Alizadeh and K. Mostafavi. 2012. Grain yield stability assessment of winter rapeseed lines in cold region of Iran by using parametric methods. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 7(4): 13-25 (In Persian).
8. Dehghanpour, Z. 2006. Study of yield and stability in early maturating hybrids of maize (*Zea mays* L.). Seed Plant, 22(1): 45-53.
9. Eberhart, S.A. and W.A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.
10. FAO. 2017. http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS.
11. Fasahat, P., M. Aghaeezadeh, L. Jabbari, S.S. Hemayati and P. Townson. 2018. Sucrose Accumulation in Sugar Beet: From Fodder Beet Selection to Genomic Selection. Sugar Tech, 20(6): 635-644.
12. Fasahat, P., K. Muhammad, A. Abdullah, B.M.A. Rahman, N.M. Siing, J.H.G. Gauch and W. Ratnam. 2014. Genotype× environment assessment for grain quality traits in rice. Communications in Biometry and Crop Science, 9(2): 71-82.
13. Fasahat, P., A. Rajabi, S.B. Mahmoudi, M.A. Noghabi and J.M. Rad. 2015. An Overview on the Use of Stability Parameters in Plant Breeding. Biometrics & Biostatistics International Journal, 2(5): 1-11.

14. Fasahat, P., A. Rajabi, J.M. Rad and J. Derera. 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. Biometrics & Biostatistics International Journal, 4(1): 1-24.
15. Flores, F., M.T. Moreno and J.I. Cubero. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analysis G×E interaction, Field Crops Research, 56: 271-286.
16. Francis, T.R. and L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short- season Maize: 1, A descriptive method for grouping genotypes, Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034.
17. Freeman, G.H. and J.M. Perkins. 1971. Environmental and genotype- environmental components of variability VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. Heredity, 27: 15-23.
18. Gouvea, L.R.L., G.A.P. Silva, C.K. Verardi, J.Q. Silva, E.J. Scaloppi. 2012. Temporal stability of vigor in rubber tree genotypes in the pre- and post-tapping phases using different methods. Euphytica, 186(3): 625-634.
19. Grausgruber, H., M. Oberforster, M. Werteker, P. Ruckenbauer and J. Vollmann. 2000. Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. Field Crops Research, 66(3): 257-267.
20. Kalateh Jari, S., K. Mostafavi and A. Nabipour. 2016. Interaction of genotype and environment on the open pollinated sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars based on parametric methods and Tai method. Journal of Crop Breeding, 8(17): 114-122.
21. Karimizadeh, R., B. Vaezi, T. Hoseyn por, A. Mehraban and H. Ghojagh. 2009. Study on correlation and repeatability of parametric and multivariate statistics of grain yield stability in rainfed barley. JWSS, 13(48): 53-63.
22. Lin, C.S. and M.R. Binns. 1988. A method of analyzing cultivar × location × year experiments: A new stability parameter. Theoretical and Applied Genetics, 76(3): 425-430.
23. Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lefcovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Science, 26: 894-900.
24. Mohammadi Nejad, G. and A.M. Rezai. 2005. Analysis of genotype × environment interaction and study of oat (*Avena sativa* L.) genotypes pattern. Journal of Water and Soil Science, 9(2): 89-107 (In Persian).
25. Mohebodini, M., H. Dehghani and S.H. Sabaghpour. 2006. Stability of performance in lentil (Lens culinaris Medik) genotypes in Iran. Euphytica, 149: 343-352.
26. Omidi, A.H., M.R. Shahsavari, A. Alhani and E. Jahanbin. 2012. Selection of new genotypes of safflower (*Carthamus tinctirius* L.) to different environmental conditions by using some statistic sustainability. Journal of Plant Breeding and Seed, 27: 287-303.
27. Pinthus, M.J. 1973. Estimate of genotypic value: A proposed method, Euphytica, 22: 121-123.
28. Sanghera, G.S., K.S. Thind, N. Singh, R.P. Singh and V. Tyagi. 2017. Genotype × environment interactions and stability analysis for root yield and quality traits in sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). Annals of Agricultural Research, 38(2): 235-241.
29. Shafii, B. and W.J. Price. 1998. Analysis of genotype-by-environment interaction using the additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. Journal of Agricultural. Biological, and Environmental Statistics, 335-345.
30. Shahmohamadi M., H. Dehghani and A. Yousefi. 2005. Stability analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in regional trial in cold zone. Journal of Water and Soil Science, 9(1): 143-155 (In Persian).
31. Showemimo, F.A. 2007. Grain yield response and stability indices in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Communications in Biometry and Crop Science, 2(2): 68-73.
32. Shukla, G.H. 1972. Some statistical aspects for partitioning genotype-environment component of variability, Heredity, 29: 237-245.
33. Tai, G.C. 1971. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. Crop Science, 11(2): 184-190.
34. Tolessa, T.T. 2015. Application of AMMI and Tai’ s Stability Statistics for Yield Stability Analysis in Faba bean (*Vicia faba* L.) Cultivars Grown in Central Highlands of Ethiopia. Journal of Plant Sciences, 3(4): 197-206.
35. Wricke G. 1962. Uber eine Methode zur Erfassung der okoligischen Streubreite in Feldversuchen. Z Pflanzenzucht, 47: 92-96.
36. Yazdi Samadi, B., A. Rezaei and M. Valizadeh. 1998. Statistical projects in agricultural research. Tehran University Press, 762 pp.

Stability Analysis of Genotype × Environment Interaction Effect on Sugar Yield in Sugar Beet Hybrids

Parviz Fasahat[1], Samar Khayamim[2], Jamshid Soltani Idliki[3], Saeed Darabi[4], Adel Pedram[5], Mehdi Hasanai[6], Ali Jalilian[7] and Babak Babaei[8]

1 - Assistant Professor, Respectively, Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author: fasahat@sbsi.ir)
2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Karaj, Iran
3- Instructor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
4- Instructor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
5- Instructor, Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
6- Researcher, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
7- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran
8- Instructor, respectively, Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization
Received: February 4, 2019 Accepted: June 26, 2019

Abstract

Testing plant varieties under different regions is necessary to assess their stability. In this study, 17 sugar beet genotypes were evaluated in a randomized complete block design with six replications in five regions including Karaj, Hamedan, Miandoab, Mashhad, and Shiraz. After checking the homogeneity of mean squares in five experiments by Bartlett's test, analysis of the combined was performed for sugar yield. In this analysis, location, genotype and genotype × location interaction effects were significant. Based on regression coefficient and deviation from regression parameters, genotypes G2, G6, G9 and G13 were the most stable genotypes. Genotypes G2, G3, G5 and G6 had the highest stability based on Shukla's stability variance and Wrick's ecovalence. Based on superiority measure, genotypes G6 and G9 and based on coefficient of variation genotypes G2 and G5 were identified as the most stable genotypes. Using coefficient of determination, genotypes G3, G5 and G6 were selected and by Tai's regression method, genotypes G2, G6 and G12 genotypes were selected as the most stable genotypes having sugar yield higher than average. Based on the above mentioned methods, genotype G2 was recognized as the most suitable genotype for sugar yield stability.

Keywords: Genotype × Environment Interaction, Sugar Beet, Sugar Yield Stability