



تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در مکان برای عملکرد شکر سفید در هیبریدهای جدید چغندرقد[†]

Analysis of genotype x environment interaction for white sugar yield in new sugar beet hybrids

پرویز فصاحت^{۱*}، جواد رضایی^۲، حیدر عزیزی^۳، حمزه حمزه^۴، سعید دارابی^۵، علی جلیلیان^۶ و رحیم محمدیان^۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2023.361196.1321

پ. فصاحت، ج. رضایی، ح. عزیزی، ح. حمزه، س. دارابی، ع. جلیلیان و ر. محمدیان. ۱۴۰۱. تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در مکان برای عملکرد شکر سفید در هیبریدهای جدید چغندرقد. چغندرقد، ۳۸(۲): ۱۶۹-۱۷۸.

چکیده

کیفیت و عملکرد شکر چغندرقد تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و مدیریت زراعی می‌باشد. این مطالعه با هدف تجزیه و تحلیل پایداری عملکرد شکر سفید و سازگاری ۱۵ هیبرید جدید چغندرقد حاصل از تلاقی سینگل کراس‌های مقاوم به بیماری ریزومانیا با شش گرده‌افشان مقاوم به بیمارگر ریزوکتونیا به همراه دو رقم شاهد داخلی و سه رقم شاهد خارجی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در چهار منطقه کرج، مشهد، میاندوآب و همدان اجرا شد. پس از تجزیه واریانس ارقام، تجزیه پایداری و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE-biplot انجام شد. ارزیابی هیبریدها در مشهد حاکی از مقاومت آنها به بیماری ریزومانیا بود. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین عملکرد شکر سفید ارقام وجود دارد. براساس نتایج تجزیه واریانس، نقش اثر اصلی مکان، اثر متقابل ژنوتیپ × مکان و اثر ژنوتیپ به ترتیب ۵۱/۷، ۹/۰ و ۹/۵ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه کرد. همبستگی بین مکان‌ها نشان داد که از نظر رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها، متفاوت بودند. بیشترین عملکرد شکر سفید در میاندوآب و پس از آن کرج، مشهد و همدان به‌دست آمد. بین مناطق همدان و میاندوآب همبستگی مثبت وجود داشت، در حالی که همبستگی منفی بین مکان‌های مشهد و کرج وجود داشت. براساس مدل GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G15، G7 و G10 دارای سازگاری بیشتر و پایداری بیشتر از بقیه ارقام از نظر عملکرد شکر سفید بودند.

واژه‌های کلیدی: اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان، بای‌پلات، پایداری، چغندرقد

[†] این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب «۰۱۰۱۱۲-۰۰۷-۰۲-۰۲-۰۰» می‌باشد.

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*- نویسنده مسئول parviz.fasahat@gmail.com

۲- استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

۴- استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

۵- مربی بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران

۶- دانشیار بخش تحقیقات چغندرقد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۷- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران



مقدمه

با در نظر گرفتن روند انجام فعالیت‌های کشاورزی، محیط‌های مورد استفاده، تنش‌های زیستی و غیرزیستی، به‌نژادگران گیاهی ناچار به انتخاب گیاهانی با ویژگی‌های مطلوب با هدف تجمع ژن‌های مؤثر در واریته‌های جدید هستند. چغندر قند به همراه نیشکر دو منبع عمده تأمین شکر مورد نیاز در دنیا محسوب می‌شوند (FAO 2022). اصلاح‌گزینشی چغندر قند از ابتدای قرن نوزدهم با هدف عمده تولید واریته‌های دارای بیشترین پتانسیل عملکرد ریشه و شکر با کمترین هزینه اقتصادی و زیست محیطی شروع شد. از لحاظ تاریخی، بزرگترین تحول تولیدی در به‌نژادی چغندر قند، تولید بذر منورم، نرعیمی و متعاقب آن تولید هیبرید و در نهایت مقاومت به آفات و بیماری‌ها بوده است (Fasahat et al. 2022).

به‌نژادگران گیاهی در سرتاسر دنیا پس از تهیه واریته‌های جدید برای ثبت و تجاری‌سازی به مؤسسات ثبت و گواهی ارقام گیاهی ملی یا بین‌المللی ارائه می‌کنند که تجاری‌سازی ارقام جدید تحت شرایط محیطی متفاوت صورت می‌گیرد. توصیه یک رقم مناسب به کشاورزان این امکان را می‌دهد که ارقام مناسب با شرایط محیطی مزارع خود را انتخاب کنند. این توصیه‌ها مبتنی بر ارزیابی توانایی‌های سازگاری ارقام با یک محیط خاص یا گروهی از محیط‌ها است که به‌عنوان یک منطقه زراعی-اکولوژیکی نیز شناخته می‌شود. ارزیابی پایداری رقم مطابق با مفهوم دینامیکی حائز اهمیت است که رقم پایدار را رقمی تعریف می‌کند که عملکردی موازی با میانگین عملکرد همه ارقام (معیارهای محیطی) در محیط‌های مورد مطالعه دارد. الگوهای سازگاری ارقام و پایداری آنها با قدرت برهمکنش ژنوتیپ \times محیط مرتبط است. پایدارترین ارقام با اثر متقابل کم ژنوتیپ \times محیط مشخص می‌شوند. داده‌های به‌دست آمده در هر محیط در نرم‌افزارهای متعددی که برای این امر طراحی شده‌اند بارگذاری شده و نتایج به شکل

عددی یا نموداری تفسیر می‌شود (Yan et al. 2007; Fasahat et al. 2015; Fasahat et al. 2016). این امر به‌ویژه برای صنعتی که به دنبال بهترین کیفیت ممکن و مقدار پایدار مواد خام است اهمیت دارد. در تولید شکر، مهم‌ترین صفت کیفی علاوه بر عملکرد ریشه، عیار قند و متعاقب آن عملکرد شکر حاصل از رقم معین است.

پارامترهای آماری مورد استفاده برای تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط را می‌توان به دو دسته تک‌متغیره و چند متغیره تقسیم‌بندی نمود. یکی از روش‌های چند متغیره روش بای پلات است که بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تفسیر و توجیه می‌شود. در این روش، اثر ژنوتیپ، محیط، و اثرات متقابل آنها به‌طور همزمان در یک شکل که بای پلات نامیده می‌شود نمایش داده می‌شوند (Yan 1999). نسخه‌های متنوعی از بای پلات بر اساس روش‌های آماری چندمتغیره معرفی شده‌اند که یک نسخه ویژه از آن GGE بای پلات می‌باشد که به‌طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط را در اختیار قرار می‌دهد. با استفاده از این روش می‌توان ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد در محیط‌های جداگانه، تمام محیط‌ها، ترکیب پایداری و عملکرد، سازگاری خصوصی و عمومی ارزیابی کرد (Yan et al. 2001). در مطالعه حسنی و همکاران (Hassani et al. 2018) در ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندر قند به روش GGE بای پلات دو مؤلفه اول به ترتیب ۶۰/۵ و ۶۲/۹ درصد از تغییرات ژنوتیپ در محیط را برای عملکرد شکر خالص تبیین نمودند و سه ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار نسبت به شرایط محیطی شناسایی کردند. در روش GGE بای پلات از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و هم‌چنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی

متری با فاصله خطوط ۵۰ سانتی متر کشت شد. میزان کودمصرفی براساس آزمایش خاک و توصیه کارشناسان خاک ایستگاه‌های مذکور بود. در طول فصل رشد از صفات زراعی شامل تعداد بوته بعد از تنک، یکنواختی رشد و تعداد بوته گمشده یادداشت‌برداری صورت پذیرفت. به دلیل خسارت شدید نماتد سیستی در مزرعه آزمایشی در زرقان، متأسفانه آزمایش در آن منطقه حذف شد. در زمان برداشت، ریشه‌های هر کرت سرزنی شده، شمارش، توزین و در گونی‌های مربوطه جمع‌آوری شدند. ارزیابی مقاومت به بیماری ریزومانیا براساس مقیاس ۱ تا ۹ (Luterbacher *et al.* 2005) تنها در مشهد صورت پذیرفت که این نمره‌ها به کرت داده شد. پس از تعیین عملکرد هیبریدها در مکان‌های مختلف، خمیر ریشه تهیه شده از نمونه‌های هر کرت به سینی‌های مخصوص منتقل شده و در فریزر نگهداری شدند. سپس جهت تعیین عیارقد، نمونه‌ها به آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات چغندرقد منتقل شدند. در آزمایشگاه، درصدقند به روش پلاریمتری (برحسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندرقد) اندازه‌گیری و عملکرد شکرسفید (بر حسب تن در هکتار) محاسبه شد. آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی انجام شد. عدم‌معنی‌دار بودن آزمون بارتلت برای صفت عملکرد شکرسفید ($X^2 = ۰/۳۴۹۶$) که نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش‌های جداگانه است، امکان تجزیه مرکب را فراهم نمود.

میسر می‌سازد (Yan *et al.* 2001). در مطالعه دیگری، نیازبان و همکاران (Niazian *et al.* 2009) از روش گرافیکی GGE بای پلات جهت ارزیابی پتانسیل ژنوتیپ‌های مادری چغندرقد استفاده کردند و ژنوتیپ 104-436 به‌عنوان بهترین ترکیب شونده عمومی و سینگل‌کراس 7173 × 474 به‌عنوان بهترین ترکیب شونده خصوصی شناسایی شدند. در این تحقیق، هیبریدهای جدید از لحاظ صفات کمی و کیفی در چند منطقه ارزیابی و سپس طی سال‌های آتی و آزمایشات مکرر، تجاری سازی ارقام جدید از میان هیبریدهای برتر صورت می‌گیرد. برای نیل به این هدف، هیبریدهای جدید دیپلوئید که برای مقاومت به ریزومانیا و ریزوکتونیا اصلاح شده‌اند، در چهار منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند تا از میان آنها هیبریدهای برتر انتخاب شوند.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۱۵ هیبرید چغندرقد حاصل از تلاقی سینگل‌کراس‌های مقاوم به بیماری ریزومانیا با شش گرده‌افشان مقاوم به بیمارگر ریزوکتونیا به همراه دو شاهد ایرانی و سه شاهد خارجی در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی در کرج (مزرعه عاری از آلودگی)، تربت‌جام در مشهد، همدان، میاندوآب و زرقان در شیراز در مزارع با آلودگی طبیعی در سال زراعی ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). هر آزمایش در هر مکان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا شد. هر ژنوتیپ در هر تکرار در یک خط هشت

جدول ۱ اسامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در چهار منطقه در سال ۱۴۰۱

کد	ژنوتیپ	کد	ژنوتیپ
G1	(7112 * SB36) * S1 - 960104	G11	SC (940150*940171) * 920541
G2	(7112 * SB36) * S1 - 960132	G12	SC (940156*940171) * 920541
G3	(7112 * SB36) * S1 - 970063	G13	SC (940206*940171) * 920541
G4	(7112 * SB36) * S1 - 970067	G14	SC (940049*940178) * 920541
G5	SC (940156*940028) * 920541	G15	(201-9*301-11) * S1 - 28
G6	SC (940049*940097) * 920541	G16	Sina
G7	SC (940075*940097) * 920541	G17	Dena
G8	SC (940156*940109) * 920541	G18	Pirola
G9	SC (940075*940135) * 920541	G19	Loriquet
G10	SC (940150*940135) * 920541	G20	Modex

۷/۶ درصد را برای اثرات مکان، ژنوتیپ و ژنوتیپ × مکان برای ۱۴ ژنوتیپ چغندر قند در یک آزمایش دوساله گزارش کردند. جاویدفر و همکاران (Javidfar et al. 2011) با مطالعه روی ارقام کلزا در دو سال، به ترتیب ۶۳ و ۶۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها در سال اول و دوم را مربوط به محیط دانستند. پورداد و جمشید مقدم (Pourdad and Jamshid Moghaddam 2013) با آزمایشی که بر روی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزای بهاره اجرا کردند، ۷۹/۲ درصد از تغییرات واریانس کل را به اثر محیط و ۹/۳ و ۱۱/۵ درصد را به ترتیب به اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نسبت دادند. یکی از دلایل کوچک بودن تأثیر ژنوتیپ را می‌توان به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد شکر سفید در برنامه‌های اصلاحی چغندر قند در سال‌های اخیر نسبت داد که با قرار دادن آنها در آزمایشات سازگاری و پایداری عملکرد شکر سفید نقش کمتری را در توجیه تنوع موجود نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ایفا نموده‌اند که مطابق با سایر نتایج گزارش شده می‌باشد (Mohammadi et al. 2014). مکان‌های مورد استفاده در این مطالعه به دلیل دارا بودن عوامل مختلف محیطی، میانگین عملکرد شکر سفید متفاوتی را نشان دادند به گونه‌ای که بیشترین عملکرد شکر سفید در میان دو آب (۱۲/۸ تن در هکتار) و پس از آن کرج (۱۰/۱ تن در هکتار)، مشهد (۹/۳ تن در هکتار) و همدان (۷/۵ تن در هکتار) حاصل شد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های G15 و G7 در کنار شاهد‌های خارجی آزمایش (Modex و Loriquet) و شاهد داخلی دنا عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل (۹/۹ تن در هکتار) را نشان دادند. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در مکان، برای مشخص کردن ژنوتیپ‌های پایدار و مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در مکان از روش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. در این روش، مجموع دو مؤلفه اصلی اول و دوم برابر

جهت انجام تجزیه گرافیکی و تحلیل ساده تر اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان از مدل گرافیکی GGE بای‌پلات استفاده شد. در این روش بای‌پلات‌ها بر اساس پارامترهای ارزیابی سازگاری ژنوتیپ‌ها به مکان‌ها، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب همزمان عملکرد ریشه و پایداری، نمایندگی مکان‌ها در مقابل ویژگی تمایز مکان‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ مطلوب و گروه‌بندی مکان‌ها بر اساس میزان تشابه و عدم تشابه آنها در تفکیک ژنوتیپ‌ها ترسیم شدند. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار R (v. 4.1) و محاسبات تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS (v. 9.1) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی هیبریدها در مشهد نشان داد که تمامی آنها مقاوم به بیماری ریزومانیا بوده و نمره بیماری زیر ۳ را کسب کرده‌اند. نتایج تجزیه مرکب حاکی از اختلاف معنی‌دار اثر مکان بر روی تمامی صفات اندازه‌گیری شده و نیز اختلاف معنی‌دار بین تمامی ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۲). هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ در مکان بر روی تمامی صفات به غیر از صفات سدیم، پتاسیم، ضریب استحصال و قند ملاس معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان اثرات اصلی برای مکان، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای عملکرد شکر سفید به ترتیب برابر ۵۱/۷، ۹/۵ و ۹/۰ درصد مجموع مربعات کل بود. هرچه اثر مکان بزرگتر باشد حاکی از تنوع در شرایط محیطی می‌باشد که سبب ایجاد اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ × مکان و تفاوت در عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌ها می‌شود (Fasahat et al. 2014). در تحقیقی توسط هافمن و همکاران (Hoffmann et al. 2009) اثر مکان، ژنوتیپ و ژنوتیپ × مکان برای صفت عملکرد شکر در نه ژنوتیپ چغندر قند در ۵۲ محیط مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب برابر با ۴۰/۶، ۳/۱ و ۳/۳ درصد بود. هم‌چنین فصاحت و همکاران (Fasahat et al. 2022) نسبت‌های ۵۵/۳، ۴/۴ و

اول و دوم، پیچیدگی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بالا است (Yan and Tinker 2005) اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای پلات نیست.

۷۹/۶ درصد بود که نشان دهنده اثر این دو مؤلفه روی تغییرات زیاد عملکرد شکر سفید است. در صورت عدم توانایی توجیه دامنه وسیعی از تغییرات داده‌ها توسط مجموع دو مؤلفه اصلی

جدول ۲ تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های چغندر قند در چهار مکان

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات									
		عملکرد ریشه	عملکرد درصد شکر	عملکرد درصد شکر سفید	عملکرد درصد قند سفید	سدیم	پتاسیم	نیترژن	ضریب استحصال شکر	قند ملاس	
مکان	۳	۳۸۰/۷**	۴۱۶/۸**	۴۷۰/۲**	۳۸۰/۷**	۱۲۶/۳**	۱۰۱/۸**	۶۶/۹**	۹۲۹/۱**	۳۷/۳**	
اشتباه اول	۱۲	۱۷/۶	۱۹/۶	۸/۳	۱۷/۶	۵/۷	۱/۱	۱/۳	۷۸/۰	۰/۸	
ژنوتیپ	۱۹	۱۱/۱**	۱۱/۹**	۸/۶**	۱۱/۱**	۶/۸**	۲/۳**	۱/۸**	۸۲/۷**	۱/۱**	
ژنوتیپ در مکان	۵۷	۳/۴**	۴/۵**	۱/۵**	۳/۴**	۱/۰۱	۰/۴	۰/۳**	۹/۹	۰/۱	
اشتباه دوم	۲۲۸	۱/۹۵	۲/۳	۰/۷	۱/۹	۰/۸	۰/۳	۰/۱	۸/۳	۰/۱	
ضریب تغییرات		۱۴/۰	۱۲/۲	۴/۹	۱۴/۰	۲۵/۹	۱۲/۳	۱۹/۶	۳/۶	۱۴/۲	

** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال آماری یک و پنج درصد

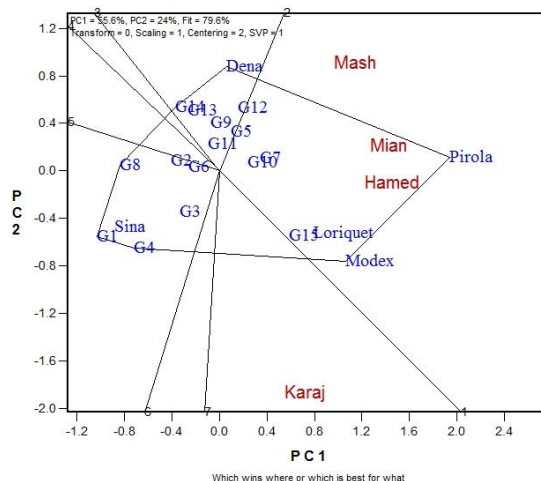
جدول ۳ مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های چغندر قند مورد بررسی در چهار مکان

ژنوتیپ	نمره بیماری مقاومت به ریزومانیا	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)	رتبه	ژنوتیپ	نمره بیماری مقاومت به ریزومانیا	عملکرد شکر سفید (تن در هکتار)	رتبه
G1	۲/۷۵	۹	۱۹	G11	۲/۵	۹/۸	۱۰
G2	۲	۹/۴	۱۵	G12	۲/۷۵	۱۰/۱	۷
G3	۲/۷۵	۹/۵	۱۳	G13	۲/۷۵	۹/۵	۱۴
G4	۲/۵	۹/۳	۱۷	G14	۲/۲۵	۹/۳	۱۶
G5	۲/۲۵	۱۰/۰	۸	G15	۲/۲۵	۱۰/۶	۴
G6	۲/۵	۹/۵	۱۲	Sina	۲/۲۵	۹/۱	۱۸
G7	۲	۱۰/۴	۵	Dena	۲/۲۵	۹/۸	۹
G8	۲/۲۵	۸/۸	۲۰	Pirola	۲	۱۲/۱	۱
G9	۲/۵	۹/۷	۱۱	Loriquet	۲	۱۱/۰	۳
G10	۲/۲۵	۱۰/۲	۶	Modex	۲/۲۵	۱۱/۳	۲
LSD	۲/۷۵	۰/۹۷					

تجزیه بای پلات بر مبنای الگوی چندضلعی

ژنوتیپ‌های G1، G8 و G4 با داشتن بیشترین فاصله از مرکز بای پلات در رئوس چندضلعی قرار دارند (شکل ۱) که از لحاظ عملکرد شکر سفید ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از مکان‌ها و یا همه مکان‌ها می‌باشند (Yan and Kang 2003).
براین اساس، ژنوتیپ‌ها به پنج گروه تقسیم شده‌اند. اولین گروه محیطی شامل ژنوتیپ‌های G15، G10، G7، G12 و G5 به همراه شاهد‌های Pirola، Modex و Loriquet با بیشترین

عملکرد شکر سفید در این گروه مکانی بودند. گروه دوم شامل ژنوتیپ G11، G9، G13 و G14 با عملکرد شکر سفید پایین‌تر از میانگین بود. ژنوتیپ‌های G8، G6 و G13 در هیچ‌کدام از مکان‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌های G2 و G6 که در نزدیک مرکز بای پلات قرار داشتند دارای کمترین نقش در اثر متقابل ژنوتیپ × مکان بودند و براین مبنای می‌توان گفت که دارای سازگاری عمومی هستند.

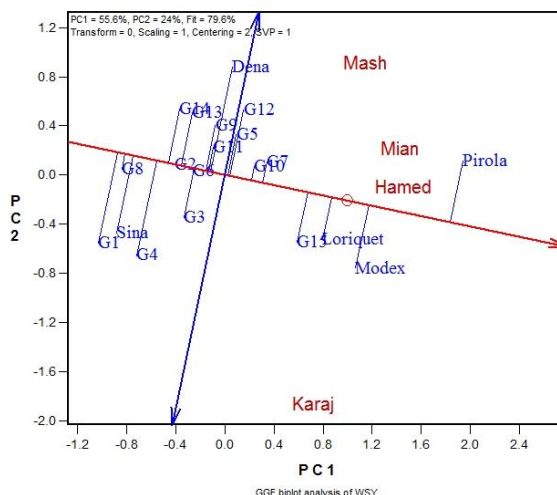


شکل ۱ نمایش گرافیکی چند ضلعی بای پلات برای گزینش ارقام با عملکرد مناسب

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد و پایداری

ژنوتیپ‌های G15، G10 و G7 به دلیل نزدیکی به مرکز دایره‌ای بر روی خط متوسط عملکرد مکان و کمترین فاصله از این خط و نیز قرار گرفتن در سمت راست خط دو سر فلش از لحاظ عملکرد شکر سفید برتر از میانگین بوده و پایدارتر بودند (شکل ۲). در این شکل محور افقی پیکان‌دار که از میانگین مکانی (دایره کوچک) و مبدأ مختصات می‌گذرد تقریبی از عملکرد ژنوتیپ است و خط عمودی نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ در مکان بوده و این خط پایداری ارقام را نشان

می‌دهد. ژنوتیپ‌های G1، G8 و G4 به دلیل قرار گرفتن در سمت چپ خط دو سر فلش عملکرد کمتر از میانگین داشته و از کمترین پایداری برخوردارند. در تحقیقات دیگری نیز از این روش برای مطالعه ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در چغندر قند (Hoffmann *et al.* 2009; Mostafavi *et al.* 2017; Fasahat *et al.* 2022) (Shojaei *et al.* ذرت، 2022) گندم (Bishwas *et al.* 2021) و جو (Meng *et al.* 2022) استفاده و ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند.

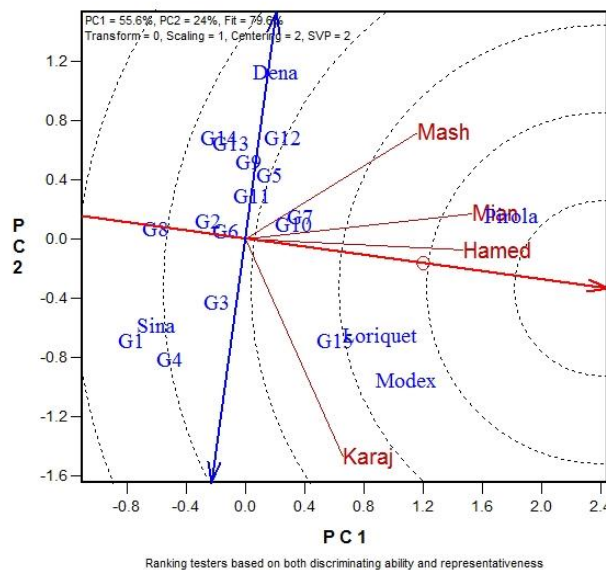


شکل ۲ نمودار بای پلات جهت رتبه بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

ارزیابی ژنوتیپ‌ها براساس ژنوتیپ مطلوب

به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ مطلوب، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات ایجاد شد (شکل ۳). در حقیقت ژنوتیپی مطلوب (ایده‌آل) شناخته می‌شود که هم میانگین عملکرد بالا و هم پایداری بالا داشته باشد. مزیت این گراف نسبت به گراف‌های قبل و سایر روش‌های تجزیه پایداری این است که همه ژنوتیپ‌ها با این ژنوتیپ ایده‌آل ارزیابی می‌شوند. ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ در مرکز دواير متحدالمرکز قرار دارد. براساس شکل ۳، ژنوتیپ G15 به دلیل اینکه در نزدیکترین دایره نسبت به مرکز دواير متحدالمرکز قرار گرفته به عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ، در کنار شاهد‌های Pirola و Loriquet مطرح می‌باشد. ترتیب عملکرد ژنوتیپ‌ها در بای پلات شکل ۳ مشابه بای پلات شکل ۲ می‌باشد؛ از نظر

یان و همکاران (Yan *et al.* 2007) این امر زمانی اتفاق می‌افتد که دامنه PC1 خیلی بیشتر از PC2 باشد. در تحقیقی توسط مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al.* 2017) نه رقم چغندرقد در شش منطقه اصفهان، کرج، کرمانشاه، خوی، مشهد و مغان در آزمایش یکساله مورد بررسی قرار گرفتند. از میان ارقام مورد بررسی، تنها رقم IC به دلیل جایگیری در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دواير متحدالمرکز به عنوان رقم مطلوب انتخاب شد. هم‌چنین، فصاحت و همکاران (Fasahat *et al.* 2022) از میان ۱۴ ژنوتیپ چغندرقد بهاره مورد بررسی در ۱۲ محیط، سه ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ برتر در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای عملکرد شکر سفید براساس ژنوتیپ ایده‌آل انتخاب کردند.



شکل ۳ نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس ژنوتیپ مطلوب

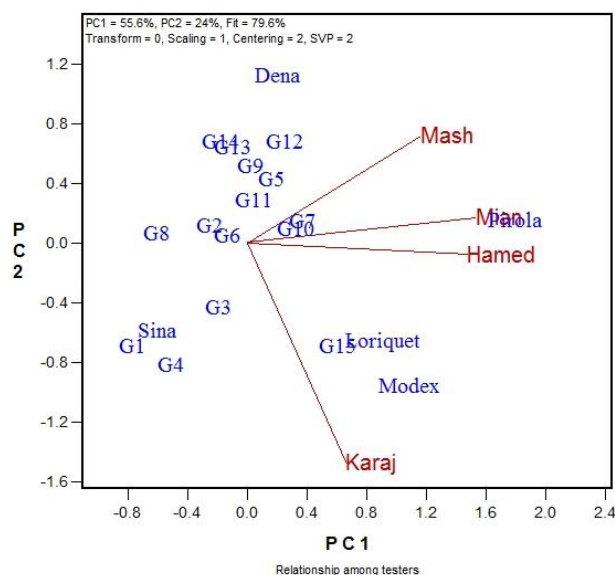
بررسی روابط بین مکان‌ها

در شکل ۴ روابط و همبستگی بین مکان‌ها نشان داده شده است. زمانی که بین مکان‌ها زاویه ۹۰ درجه وجود داشته باشد به این معنا است که بین مکان‌ها همبستگی وجود ندارد اما زمانی که زاویه بین بردارها بزرگ تر از ۹۰ درجه باشد، یعنی

بین مکان‌ها همبستگی وجود دارد ولی این همبستگی به صورت منفی است. براساس توضیحات گفته شده بین مکان‌های همدان و میاندوآب همبستگی مثبتی وجود دارد و بیان‌گر این موضوع است که ارقام در این مکان‌ها بسته به میزان همبستگی، واکنش‌های یکسان دارند. کرج و مشهد

مورد ارقام ارائه دهند (Yan and Kang 2003). ارزیابی بردارهای محیطی برای مکان‌های مورد بررسی نشان داد که مکان کرج از طول بردار محیطی بلندتر و متعاقب آن قابلیت تمایز بیشتری نسبت به سایر محیط‌ها برخوردار است. در مجموع، ژنوتیپ‌های G15، G10 و G7 علاوه بر نمره مقاومت کسب شده نسبت به بیماری ریزومانیا، براساس مدل GGE بای‌پلات ژنوتیپ‌های مطلوب براساس ترکیب عملکرد شکر سفید و پایداری در کنار شاهد‌های آزمایش بودند. بنابراین هر سه ژنوتیپ را می‌توان به‌عنوان هیبریدهای امیدبخش با پایداری و عملکرد شکر بالا برای آزمون تعیین ارزش زراعی و متعاقباً معرفی ارقام جدید چغندر قند معرفی نمود.

به دلیل زاویه ۹۰ درجه بین بردارها همبستگی تقریباً نزدیک به صفر را نشان می‌دهند؛ ارقام در این مکان‌ها دارای روند مستقلی هستند. رتبه عملکرد برخی ژنوتیپ‌ها در این دو مکان عکس هم است؛ یعنی ژنوتیپ‌هایی که در کرج رتبه نخست عملکرد را دارند، در مشهد رتبه آخر را نشان می‌دهند. ویژگی مهم دیگر در بررسی بای‌پلات همبستگی بین مکان‌ها، مربوط به طول بردار محیطی است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و نیز به‌عنوان یک شاخص برای قابلیت تمایز محیط‌ها در نظر گرفته می‌شود. بردارهای بلندتر دارای انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری هستند. قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط می‌باشد به طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در



شکل ۴ نمودار بای پلات بررسی روابط بین مکان‌ها

مراکز تحقیقاتی به جهت کمک در اجرای پروژه مذکور تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند به پاس تأمین هزینه اجرای پروژه و نیز از همکاران

References:

منابع مورد استفاده

Bishwas KC, Poudel MR, Regmi D. AMMI and GGE biplot analysis of yield of different elite wheat lines under terminal heat stress and irrigated environments. *Heliyon*. 2021; 7(6): 07206. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07206.

- FAO. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> [last visited on 23/12/2022]. 2022.
- Fasahat P, Hosseinpour M, Kakueinezhad M, Townson P. Physiological and Molecular Aspects of Sucrose Accumulation in Sugar Beet. In: Sugar Beet Cultivation, Management and Processing, Singapore: Springer Nature Singapore, 2022; pp. 27-48. **doi:10.1007/978-981-19-2730-0_3.**
- Fasahat P, Muhammad K, Abdullah A, Rahman BMA, Siing NM, Gauch JHG, Ratnam W. Genotype× environment assessment for grain quality traits in rice. *Communications in Biometry and Crop Science*. 2014; 9(2): 71-82.
- Fasahat P, Rajabi A, Mahmoudi SB, Noghabi MA and Rad JM. An Overview on the Use of Stability Parameters in Plant Breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2015; 2(5): 1-11. **doi:10.15406/bbij.2015.02.00043.**
- Fasahat P, Rajabi A, Rad JM and Derera J. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2016; 4(1): 1-24. **doi:10.15406/bbij.2016.04.00085.**
- Fasahat P, Rezaei J, Sharifi M, Azizi H, Fotouhi K, Mahdikhani P, Pedram A, Jalilian A, Babaei B. Assessment of Root and White Sugar Yield Stability of Sugar Beet Genotypes. *Seed and Plant Journal*. 2022; 38(2): 223-237. **doi:10.22092/spj.2023.361320.1297.**
- Hassani M, Heidari B, Dadkhodaie A and Stevanato P. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*. 2018; 214: 1-21. **doi:10.1007/s10681-018-2160-0.**
- Hoffmann CM, Huijbregts T, van Swaaij N, Jansen R. Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *European Journal of Agronomy*. 2009; 30(1): 17-26. **doi:10.1016/j.eja.2008.06.004.**
- Javidfar F, Alizadeh B, Amiri OH, Sabaghnia N. Study on genotype×environment interaction in rapeseed genotypes by GGE biplot method. *Iranian Journal of Crop Science*. 2011; 41(4): 771-779. [In Persian]
- Luterbacher MC, Asher MJC, Beyer W, Mandolino G, Scholten OE, Frese L, Biancardi E, Stevanato P, Mechelke W, Slyvchenko O. Sources of resistance to diseases of sugar beet in related Beta germplasm: II. Soil-borne diseases. *Euphytica*. 2005; 141: 49-63. **doi:10.1007/s10681-005-5231-y.**
- Meng Y, Ren P, Ma X, Li B, Bao Q, Zhang H, Wang J, Bai J, Wang H. GGE biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. 2016; 533-543.
- Mohammadi R, Armion N, Zadhassan E, Eskandari, M. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. *Dryland Agriculture*. 2014; 2(2): 1-14. [In Persian]
- Mostafavi K, Orazizadeh M, Rajabi A. Stability Analysis for Root Yield in Sugar Beet Varieties (*Beta Vulgaris*) Using Biplot Graphical Method. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 2017; 12: 1-13. [In Persian]
- Niazian M, Amiri R, Mortazavian SM, Rajabi A and Orazizadeh MR. Genetical analysis for yield traits in tropical beet using of GGE-biplot analysis of diallel cross data. *Journal of Crop Breeding*. 2009; 1(4): 77-94. **doi:10.13140/2.1.1753.0560.**

- Pourdard SS, Jamshid Moghaddam, M. Study on genotype×environment interaction through gge biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding, 2013; 5(12): 1-14. [In Persian]
- Shojaei SH, Mostafavi K, Bihamta MR, Omrani A, Mousavi SMN, Illés Á, Bojtor C, Nagy J. Stability on Maize Hybrids Based on GGE Biplot Graphical Technique. Agronomy. 2022; 12(2), 394. **doi:10.3390/agronomy12020394.**
- Yan W. A study on the methodology of cultivar evaluation based on yield trial data- with special reference to winter wheat in Ontario (PhD thesis). University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 1999.
- Yan W. GGE biplot–A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal. 2001; 93: 1111–1118. **doi:10.2134/agronj2001.9351111x.**
- Yan W, Kang MS, Ma B, Woods S, Cornelius PL. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science. 2007; 47: 643-655. **doi:10.2135/cropsci2006.06.0374.**
- Yan W, Tinker NA. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. Crop Science. 2005; 45: 1004-1016. **doi:10.2135/cropsci2004.0076.**