10.22092/rafhc.2024.364574.1338

نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی
جلد ۱۳، شماره ۱، سال ۱۴۰۳

حسنا، رقم منوژرم چغندرقند با مقاومت دوگانه در برابر بیماری ریزومانیا و نماتد سیستی

Hosna, monogerm sugar beet cultivar with dual resistance to rhizomania and cyst nematode

مهدی حسنی[۱]، پیمان نوروزی[۲]، جمشید سلطانی[۳]، علی جلیلیان[۴]، مژده کاکوئی‌نژاد[۱]، جواد رضائی[۳]، سعید دارابی[۵]، داریوش طالقانی[۲]، سید باقر محمودی[۲]، حمزه حمزه[۶] و علی صارمی‌راد[۷]

۱، ۲ و ۷- به ترتیب، استادیار، دانشیار و کارشناس، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۵- مربی، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
۶- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷

چکیده

حسنی، م.، نوروزی، پ.، سلطانی، ج.، جلیلیان، ع.، کاکوئی‌نژاد، م.، رضائی، ج.، دارابی، س.، طالقانی، د.، محمودی، س. ب.، حمزه، ح.، و صارمی‌راد، ع. ۱۴۰۳. حسنا، رقم منوژرم چغندرقند با مقاومت دوگانه در برابر بیماری ریزومانیا و نماتد سیستی. **نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی ۱۳ (۱): ۱۵۸- ۱۳۳.**

بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی از چالش‌های مهم زراعت چغندرقند در ایران و جهان محسوب می‌شوند. کارآمدترین و ساده‌ترین روش برای کاهش خسارات ناشی از این بیماری‌ها، استفاده از ارقام مقاوم است. در این راستا، رقم حسنا پس از بررسی‌های متعدد مقدماتی و پیشرفته، در نتیجه تلاقی میان یک لاین اینبرد گرده‌افشان حاصل از جمعیت SB27 که حامل ژن‌های مقاومت به ریزومانیا و نماتد سیستی بود، با یک پایه مادری سینگل‌کراس منوژرم به دست آمد. برای ارزیابی عملکرد این رقم، آزمون تعیین ارزش زراعی و مصرف در همدان، مشهد، شیراز و میاندوآب تحت شرایط آلوده به ریزومانیا و در کرج تحت شرایط عاری از آلودگی، انجام شد. به‌طور هم‌زمان، مقاومت هیبریدها نسبت به نماتد سیستی در قالب آزمایش دیگری تحت شرایط کنترل‌شده (گلخانه) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از برتری رقم حسنا با متوسط عملکرد شکر سفید ۱۱/۵۲ تن در هکتار نسبت به رقم شاهد خارجی آذر (۱۱/۳۶ تن در هکتار) و ارقام شاهد داخلی شکوفا و آرتا (به‌ترتیب ۱۰/۱۹ و ۱۰/۱۲ تن در هکتار) با اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود، اما با رقم شاهد خارجی روزیر (۱۲/۰۲ تن در هکتار) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. حسنا، یک رقم دیپلوئید منوژرم، مقاوم به بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی و مناسب کشت بهاره در مناطق مختلف کشور است. علاوه بر مقاومت به بیماری، از دیگر ویژگی‌های بارز این رقم می‌توان به پتانسیل عملکرد شکر بالای آن اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: بیماری ویروسی، تست‌کراس، عملکرد شکر، غربال ژرم‌پلاسم.

نویسنده مسئول: m.hasani@areeo.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۲۶۱۳

مقدمه

چغندرقند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تولید قند پس از نیشکر به شمار می‌رود (Monteiro *et al.*, 2018)، به‌طوری که در حال حاضر بر اساس برآوردهای انجام‌شده بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از تولید قند را در سراسر جهان به خود اختصاص می‌دهد (Iqbal and Saleem, 2015; Ribeiro *et al.*, 2016). لذا با توجه به اهمیت چغندرقند در تغذیه جوامع بشری، لازم است تولید کمی و کیفی این محصول مورد توجه قرار گیرد (Saremirad and Taleghani, 2022).

بیماری‌ها و آفات از جمله تنش‌های زیستی بسیار مهمی هستند که هر دو جنبه کمی و کیفی محصولات گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Abdallah *et al.*, 2003; Oerke, 2006; Saremirad *et al.*, 2021). در این میان چغندرقند نیز از این قاعده مستثنی نبوده و تحت‌الشعاع عوامل بیماری‌زا قرار می‌گیرد. بیماری ریزومانیا یکی از مهم‌ترین بیماری‌های شایع در مزارع چغندرقند جهان به شمار می‌رود (Galein *et al.*, 2018) که می‌تواند موجب کاهش شدید عملکرد و کیفیت محصول شود (Rezaei, 2007). عامل بیماری ریزومانیا، ویروس زردی نکروتیک رگبرگ چغندرقند (Beet necrotic yellow vein virus) و ناقل آن قارچ *Polymyxa beta* keskin است (Tamada, 1975; Tamada and Baba, 1973) که به‌طور بالقوه یک بیماری مخرب چغندرقند در مقیاس جهانی است (McGrann *et al.*, 2009)؛ به‌نحوی‌که میزان خسارت ناشی از آن ممکن است به نابودی کامل مزارع چغندرقند در سطح وسیع منجر شود (Rajabi *et al.*, 2023). اولین گزارش منتشرشده در جهان در خصوص این بیماری مربوط به شمال ایتالیا در سال ۱۹۵۲ است (Pavli *et al.*, 2011). این بیماری در ایران اولین بار در مناطقی از فارس توسط ایزدپناه و همکاران (Izadpanah *et al.*, 1996) گزارش گردید و بعدها وجود آن در مزارع چغندرقند بیشتر نواحی کشور به اثبات رسید (Arjmand and Ahun Manesh, 1996). امروزه گستره پراکنش بیماری ریزومانیا، مناطق چغندرکاری غرب کشور (استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی، کرمانشاه، همدان و لرستان) و مناطقی از استان‌های خراسان شمالی و فارس را در بر گرفته است. البته گسترش بیماری ریزومانیا تنها مختص ایران نبوده، بلکه در حال حاضر این بیماری به‌عنوان مهم‌ترین عامل خسارت‌زا در مزارع چغندرقند بیشتر کشورهای جهان شناخته شده است (Galein *et al.*, 2018; Lennefors *et al.*, 2005; Tamada, 1999). نماتد مولد سیست نیز یکی دیگر از عوامل خسارت‌زای چغندرقند است و بیش از ۹۰ درصد از خسارت ناشی از نماتدها را به خود اختصاص می‌دهد (Moore *et al.*, 2009). این نماتد می‌تواند باعث کاهش قابل‌توجهی در عملکرد کمی و کیفی چغندرقند شود و در

نتیجه تأثیر اقتصادی جبران‌ناپذیری در تولید آن به همراه داشته باشد. میزان خسارت ناشی از آن با توجه به سطح آلودگی از ۳۰ تا ۶۰ درصد متغیر است (Wright *et al.*, 2022). نماتد سیستی می‌تواند ظهور گیاهچه‌ها را به تأخیر اندازد و حتی در آلودگی‌های شدید، گیاهچه‌ها را پیش از سبز شدن از بین برد و یا باعث توقف رشد و پژمردگی در گیاهان آسیب‌دیده شود (Wright *et al.*, 2022). از طرفی این نماتد گیاهان را مستعد آلودگی ثانویه توسط سایر عوامل بیماری‌زای خاک‌زی نظیر ریزومانیا و پیتیوم می‌کند (Poindexter, 2011; Wright *et al.*, 2022). لذا در صورتی که از روش‌های مؤثری جهت کنترل دو بیماری ریزومانیا و نماتد سیستی استفاده نشود، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث کاهش عملکرد، درصد قند و کیفیت ریشه می‌شوند (Rezaei, 2007; Wright *et al.*, 2022).

تاکنون روش‌های کنترل ژنتیکی، شیمیایی، زراعی و بیولوژیکی برای مبارزه با بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی ارائه شده است. در بین روش‌های ذکرشده، کنترل زراعی و بیولوژیکی به علت توانایی پایین در مبارزه و کنترل عامل بیماری از اهمیت چندانی برخوردار نبوده و در مقایسه با دو روش کنترل ژنتیکی و شیمیایی به‌مراتب کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترل شیمیایی عامل بیماری توسط سموم شیمیایی نیز به دلیل هزینه بالا، خطر ایجاد مقاومت عامل بیماری‌زا در برابر آن و احتمال آلودگی محیط‌زیست همیشه عملی نمی‌باشد؛ از طرفی، با توجه به خاک‌زاد بودن عوامل بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی و عدم کارایی روش‌های متداول مبارزه با بیماری‌های خاک‌زاد، پیشگامان اصلاح ارقام مقاوم به بیماری‌ها، مقاومت ژنتیکی را مؤثرترین روش کاهش خسارت این قبیل بیماری‌ها می‌دانند. در این رابطه، بر اساس بررسی‌ها و آزمایش‌های انجام‌شده، رقم جدید چغندرقند حسنا، با مقاومت ژنتیکی دوگانه در برابر بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی و مناسب کشت بهاره در مناطق مختلف کشور، معرفی شد.

مواد و روش‌ها

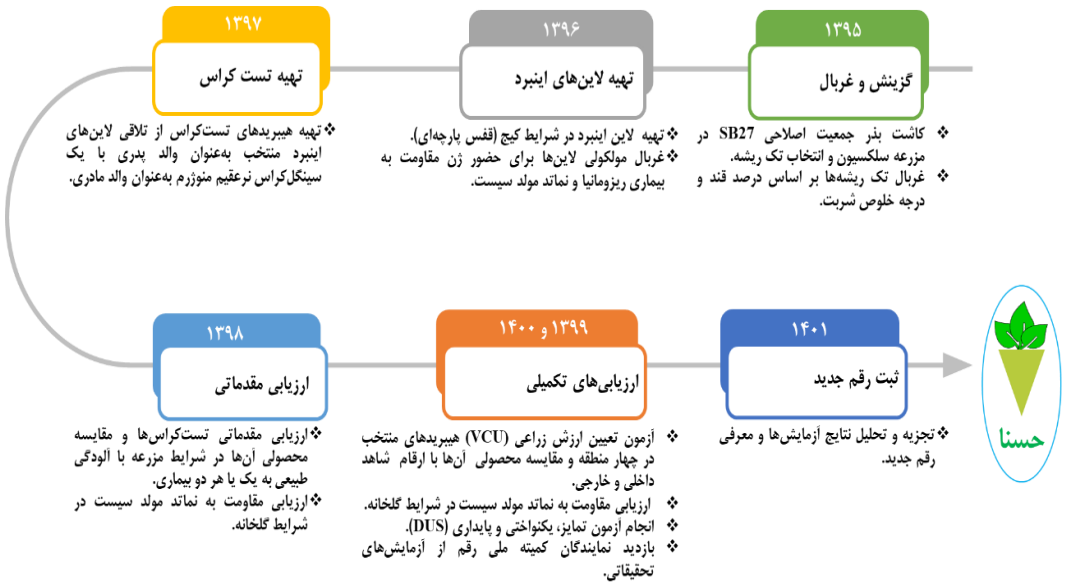
برای اصلاح رقم جدید حسنا، از جمعیت اصلاحی SB 27 (جدول ۱) استفاده شد که از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند تهیه گردید. این جمعیت از نظر ژنتیکی حامل ژن‌های مقاومت به بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی چغندرقند بود (Hassani and Norouzi, 2016). پس از ارزیابی‌های مشاهده‌ای در شرایط آلوده به هر دو بیماری و مطالعات ژنتیکی در سطح مولکولی (Hassani and Norouzi, 2016)، از این جمعیت اصلاحی تعداد ۴۴ لاین اینبرد گرده‌افشان تهیه شد. برنامه اصلاحی با هدف تولید هیبریدهای مقاوم، با تلاقی میان ۴۴ لاین اینبرد گرده‌افشان و یک سینگل کراس نرعقیم

منوژرم با شجره 7112/SB36 به‌عنوان پایه مادری ادامه یافت (شکل ۱). سینگل کراس مورد استفاده، از تلاقی لاین نرعقیم ۷۱۱۲ با لاین اوتایپ SB 36 که مقاوم به بیماری ریزومانیا می‌باشد، به‌دست‌آمده و به‌عنوان پایه مادری اغلب ارقام تجاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند به کار گرفته شده است. به استناد مطالعات قبلی (Ebrahimi Koulaei *et al.*, 2019; Mahmoudi *et al.*, 2019) و با توجه به قابلیت ترکیب‌پذیری مناسب لاین نرعقیم ۷۱۱۲ با پایه‌های مختلف اوتایپ و همچنین عملکرد بالای سینگل کراس‌های حاصل از آن، از این سینگل کراس منوژرم به‌عنوان پایه مادری استفاده شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات جمعیت اصلاحی SB 27

Table 1. Some characteristics of SB 27 breeding population

محتوی قند (درصد) Sugar content (%)	رنگ برگ Leaf color	حالت برگ Leaf status	مقاومت به بیماری Disease resistance
16-18	Dark Green	Erect	Rhizomania, cyst nematode and powdery mildew



شکل ۱- روند اصلاحی رقم جدید حسنا با مقاومت دوگانه در برابر ریزومانیا و نماتد سیستی

Fig. 1. The breeding process of the Hosna new cultivar with dual resistance against rhizomania and cyst nematode

ارزیابی مقدماتی ۴۴ هیبرید حاصل از تلاقی در قالب دو آزمایش جداگانه انجام شد. در هر یک از این آزمایش‌ها، تعداد ۲۲ هیبرید به همراه رقم شاهد داخلی شکوفا و دو رقم شاهد خارجی

ساکارا (Succara) و BTS 213 (جدول ۲) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی مشهد، شیراز، کرمانشاه و همدان (جدول ۳) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج ارزیابی‌های مقدماتی، از میان ۴۴ هیبرید مورد بررسی تعداد ۱۲ هیبرید (جدول ۴) برای ارزیابی‌های تکمیلی گزینش شدند که به همراه دو رقم شاهد داخلی مقاوم به ریزومانیا و نماتد سیستی شکوفا و آرتا و دو رقم شاهد خارجی مقاوم به ریزومانیا و نماتد سیستی آذر (Azare) و روزیر (Rosire) در قالب آزمون تعیین ارزش زراعی و مصرف (Value for cultivation and use test) طی دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در پنج ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرج، مشهد، میاندوآب، شیراز و همدان (جدول ۳) با سطوح متفاوت آلودگی به یک یا هر دو بیماری ریزومانیا و نماتد سیستی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مقایسه عملکرد شدند.

جدول ۲- مشخصات ژنوتیپ‌های جدید آزمایشی چغندرقند در دو آزمایش ارزیابی مقدماتی و شاهدهای آزمایش

Table 2. Properties of experimental sugar beet new genotypes in two preliminary evaluation experiments and check cultivars

ژنوتیپ Genotype	شجره ژنوتیپ‌های آزمایش اول Genotypes pedigree of first experiment		ژنوتیپ Genotype	شجره ژنوتیپ‌های آزمایش دوم Genotypes pedigree of second experiment	
	♀	♂		♀	♂
1	7112/SB36	S1-960004	1	7112/SB36	S1-960215
2	7112/SB36	S1-960007	2	7112/SB36	S1-960216
3	7112/SB36	S1-960008	3	7112/SB36	S1-960222
4	7112/SB36	S1-960011	4	7112/SB36	S1-960223
5	7112/SB36	S1-960012	5	7112/SB36	S1-960224
6	7112/SB36	S1-960014	6	7112/SB36	S1-960227
7	7112/SB36	S1-960015	7	7112/SB36	S1-960234
8	7112/SB36	S1-960026	8	7112/SB36	S1-960241
9	7112/SB36	S1-960045	9	7112/SB36	S1-960258
10	7112/SB36	S1-960046	10	7112/SB36	S1-960279
11	7112/SB36	S1-960047	11	7112/SB36	S1-960281
12	7112/SB36	S1-960056	12	7112/SB36	S1-960283
13	7112/SB36	S1-960061	13	7112/SB36	S1-960284
14	7112/SB36	S1-960072	14	7112/SB36	S1-960290
15	7112/SB36	S1-960089	15	7112/SB36	S1-960294
16	7112/SB36	S1-960090	16	7112/SB36	S1-960295
17	7112/SB36	S1-960190	17	7112/SB36	S1-960309
18	7112/SB36	S1-960192	18	7112/SB36	S1-960313
19	7112/SB36	S1-960195	19	7112/SB36	S1-960318
20	7112/SB36	S1-960196	20	7112/SB36	S1-960328
21	7112/SB36	S1-960206	21	7112/SB36	S1-960334
22	7112/SB36	S1-960212	22	7112/SB36	S1-960336
Succara	Check		Succara	Check	
BTS 213	Check		BTS 213	Check	
Shokoufa	Check		Shokoufa	Check	

در هر دو ارزیابی مقدماتی و تکمیلی، هر هیبرید در سه ردیف به طول هشت متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر کاشته شد. تمامی آزمایش‌ها از ۲۰ تا ۳۰ فروردین‌ماه هر سال اجرای آزمایش‌ها کشت شدند. در طول فصل زراعی، مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری، مصرف کود و سایر فعالیت‌های مدیریتی مزرعه بر اساس نظر کارشناسان مربوطه انجام گردید. علاوه بر این، به‌طور مرتب، ردیابی و پیشگیری از حمله آفات چغندرقند در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی که لازم بود، انجام شد. از ۱ تا ۱۰ آبان‌ماه هر سال اجرای آزمایش، ریشه‌های هر کرت آزمایشی با حذف یک متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت، شمارش و توزین گردید. سطح مقاومت به نماتد سیستی ۴۴ هیبرید اولیه در سال ۱۳۹۸ و ۱۲ هیبرید منتخب مجدداً در سال ۱۴۰۰ در شرایط گلخانه نیز بررسی گردید. به این منظور، ابتدا هیبریدها در خاک سالم حاوی پیت‌ماس و خاک مزرعه به نسبت ۲:۱ کشت شدند. در هر گلدان ۲۵۰ سانتی‌متر مکعبی یک بوته نگهداری شد. پس از گذشت دو تا سه ماه از زمان کشت، هر بوته به‌وسیله لاروهای زنده و فعال نماتد سیستی چغندرقند (۱۰۰۰ لارو برای هر بوته) در دو تا سه نوبت مایه‌زنی شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام و از هر تیمار ۲۴ بوته ارزیابی شد.

آزمایش تحقیقی-ترویجی در سال ۱۴۰۲ با هدف مقایسه عملکرد رقم جدید حسنا در شرایط مزرعه با پنج رقم تجاری شامل یک رقم خارجی آگاتلا (Agatella) و چهار رقم داخلی دنا، نیکا، شکوفا و سینا در چهار منطقه کرج، مشهد، میاندوآب و کرمانشاه (جدول ۳) به مرحله اجرا در آمد. در این بررسی هر رقم در سطحی معادل ۱۰۰۰ مترمربع تحت شرایط زراعی و مدیریتی یکسان کشت شدند. آزمایش در هر چهار منطقه به روش نشتی آبیاری گردید.

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های تحقیقاتی در آزمون‌های مقدماتی و تعیین ارزش زراعی (VCU)

Table 3. Properties of the research stations in preliminary and VCU experiments

کد محیط Environment code	سال Year	مکان Location	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
E1	2020	Karaj, Iran	1312	35°55'N	50°54'E
E2	2021				
E3	2020	Mashhad, Iran	1316	36°30'N	59°37'E
E4	2021				
E5	2020	Miandoab, Iran	1296	36°58'N	46°05'E
E6	2021				
E7	2020	Shiraz, Iran	1484	29°32'N	52°36'E
E8	2021				
E9	2020	Hamedan, Iran	1818	34°47'N	48°30'E
E10	2021				
Preliminary	2019	Kermanshah, Iran	1362	34°15'N	46°48'E

جدول ۴- مشخصات هیبریدهای جدید آزمایشی چغندرقند و شاهدهای آزمایش

Table 4. Properties of examined sugar beet new hybrides and check cultivars

ژنوتیپ Genotype	شجره Pedigree		ژنوتیپ Genotype	شجره Pedigree	
	♀	♂		♀	♂
SBSI 124	7112/SB36	S1-960008	SBSI 133 (Hosna)	7112/SB36	S1-960258
SBSI 125	7112/SB36	S1-960212	SBSI 134	7112/SB36	S1-960281
SBSI 126	7112/SB36	S1-960014	SBSI 135	7112/SB36	S1-960284
SBSI 127	7112/SB36	S1-960015	SBSI 136	7112/SB36	S1-960294
SBSI 128	7112/SB36	S1-960195	Shokoufa	Check	
SBSI 129	7112/SB36	S1-960196	Arta	Check	
SBSI 130	7112/SB36	S1-960215	Azare	Check	
SBSI 132	7112/SB36	S1-960222	Rosire	Check	

زمان شروع آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A محاسبه و به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها اعمال شد. سایر عملیات داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز و آفات در حد مطلوب و مطابق با عرف منطقه و طبق نظر کارشناسان مربوطه انجام شد. نهایتاً در زمان برداشت عملکرد هر رقم یادداشت شد.

ارزیابی بیماری و اندازه‌گیری صفات کمی و کیفی ریشه

یادداشت‌برداری از شدت بیماری ریزومانیا در مرحله برداشت ریشه‌ها بر اساس روش لوترباچر و همکاران (Luterbacher *et al.*, 2005) در مقیاس ۹-۱ در دو ایستگاه تحقیقات کشاورزی مشهد و شیراز انجام شد. آزمایش در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی میاندوآب و همدان نیز در شرایط آلوده به بیماری انجام شد، اما داده‌های شدت آلودگی در این دو ایستگاه ثبت نگردید. در این روش آلودگی گیاهان با ثبت نمره ۱ برای گیاهان با ریشه‌های سالم (فاقد ریشه ریشی یا تغییر رنگ)، نمره ۳ برای گیاهان با ریشه ریشی محدود و قدری تغییر رنگ یافته، نمره ۵ برای گیاهان با ریشه ریشی متوسط و تغییر رنگ یافته، نمره ۷ برای گیاهان با ریشه ریشی شدید، نکروز و به‌شدت تغییر رنگ یافته و نمره ۹ برای گیاهان مرده، ریشه‌های نکروز شده و پوسیده بررسی شد. نمرات ۲، ۴، ۶ و ۸ به گیاهانی که حد واسط دو نمره فرد بودند، اختصاص داده شد. ثبت واکنش هیبریدهای آزمایشی از نظر آلودگی به نماتد سیستی، ۱۰ هفته پس از آخرین مایه‌زنی با شمارش تعداد سیست در هر گلدان انجام شد. به این صورت که گیاهچه‌ها به‌آرامی از گلدان بیرون کشیده شدند و تعداد نماتد بالغ روی ریشه با استفاده از بینوکولر شمارش گردید.

پس از عملیات برداشت و ثبت آلودگی و عملکرد ریشه، شستشوی ریشه‌ها صورت گرفت و به‌طور تصادفی از ریشه‌های هر کرت نمونه خمیر تهیه گردید. نمونه‌های خمیر تهیه‌شده در آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. برای

این منظور، پس از خارج شدن نمونه‌ها از حالت انجماد، از هر یک از آن‌ها ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سو استات سرب (Lead (II) hydroxide acetate) به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط گردید. پس از گذراندن محلول از صافی، مایع شفافی حاصل شد که با استفاده از دستگاه بتالایزر (Betalyser) درصد قند ناخالص، نیتروژن آمینه و عنصرهای سدیم و پتاسیم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Kunz *et al.*, 2002) و در نهایت از مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت تخمین عملکرد شکر سفید به ترتیب بر اساس روابط ۱ تا ۳ استفاده شد (Cooke and Scott, 1993; Reinfeld *et al.*, 1974):

رابطه ۱: $MS = 0.343(K^+ + Na^+) + 0.094(alpha\ amino\ N) - 0.31$

رابطه ۲: $WSC = SC - (MS + 0.6)$

رابطه ۳: $WSY = WSC \times RY$

در این روابط، MS درصد قند ملاس، K^+ پتاسیم برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، Na^+ سدیم برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، *alpha amino* N نیتروژن آمینه برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSC درصد قند خالص، SC درصد قند ناخالص، RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار و WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت (Bartlett, 1937) در آزمایش‌های ارزیابی مقدماتی و تکمیلی، تجزیه‌های مربوط به هر یک از آن‌ها انجام شد. تجزیه واریانس مرکب (Moore and Dixon, 2015) و مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های دو آزمایش ارزیابی مقدماتی انجام شد. تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های آزمایشی در ارزیابی تکمیلی بر اساس مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (Additive main effects and multiplicative interaction, AMMI) برای صفت عملکرد شکر سفید با استفاده از رابطه ۴ صورت پذیرفت (Gauch, 1992).

رابطه ۴: $$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge}$$

در این رابطه، Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش،

γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار باقی‌مانده و ε_{ge} مربوط به خطا می‌باشد (Gauch, 1992). با انجام تجزیه واریانس امی با استفاده از نرم‌افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد. شاخص میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات (Weighted average of absolute scores, WAAS) با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده برای مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Olivoto *et al.*, 2019). در این شاخص کلیه مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط (نه‌فقط مؤلفه اول و دوم) در نظر گرفته شده و برای ترسیم بای‌پلات میانگین عملکرد در برابر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ-محیط، جایگزین اولین مؤلفه اصلی می‌شود. در نتیجه واریانس برهمکنش ژنوتیپ- محیط به‌طور کامل در گزینش ژنوتیپ برتر لحاظ می‌گردد (Olivoto *et al.*, 2019).

رابطه ۵: $$WAAS_i = \frac{\sum_{k=1}^{P} |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^{P} EP_k}$$

در این رابطه، $WAAS_i$ میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ/ محیط iام، $IPCA_{ik}$ قدر مطلق امتیاز ژنوتیپ/ محیط iام در مؤلفه برهمکنش kاو و EP_k مقادیر واریانس توجیه‌شده توسط مؤلفه برهمکنش kام می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی مقدماتی

تجزیه واریانس مرکب برای تشریح اثرات اصلی و کمی کردن برهمکنش‌های بین منابع تغییر در هر دو آزمایش بررسی مقدماتی انجام شد و نتایج آن در جدول ۵ ارائه گردید. میانگین مربعات اثرات اصلی مکان و ژنوتیپ و نیز اثر برهمکنش ژنوتیپ-مکان در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌داری را برای عملکرد شکر سفید در هر دو آزمایش نشان دادند. برهمکنش ژنوتیپ-مکان زمانی رخ می‌دهد که ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط محیطی متفاوت در مکان‌های مختلف واکنش متفاوتی نشان دهند. همین امر سبب می‌شود تا عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های آزمایشی از محیطی به محیط دیگر متفاوت باشد که نشان‌دهنده غیر قابل اجتناب بودن برهمکنش‌های مختلف در تحقیقات کشاورزی است (Sabaghnia *et al.*, 2010; Yan and Kang, 2002). برهمکنش ژنوتیپ- مکان در درجه اول این واقعیت را نمایان می‌کند که ژنوتیپ‌ها به مکان‌های مختلف واکنش معکوس نشان می‌دهند، لذا بر ضرورت ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متنوع تأکید می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش صادق‌زاده حمایتی و همکاران (Sadeghzadeh Hemayati *et al.*, 2022)، محیط و برهمکنش آن با ساختار ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف، نقش بسزایی را بر بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های چغندرقند داشته است و سبب شده است

تا ژنوتیپ‌ها با توجه به شرایط محیط‌های مختلف، پاسخ‌های متفاوتی را از نظر عملکرد شکر سفید ارائه نمایند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه صارمی‌راد و طالقانی (Saremirad and Taleghani, 2022)، حاکی از این بود که برهمکنش ژنوتیپ-محیط، ویژگی‌های کمی و کیفی عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد، لذا هنگام اصلاح هیبریدهای جدید باید این موضوع مدنظر قرار گیرد؛ زیرا برآورد برهمکنش ژنوتیپ-محیط این امکان را فراهم می‌نماید تا در خصوص اصلاح برای سازگاری عمومی یا خصوصی که بستگی به ثبات و پایداری عملکرد در یک دامنه محدود یا گسترده‌ای از شرایط محیطی دارد، تصمیم‌گیری شود و گام مؤثری در جهت توسعه ارقام حائز پایداری و سازگاری با محیط‌های هدف طی گردد.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های چغندرقند در دو آزمایش ارزیابی مقدماتی

Table 5. Combined analysis of variance of white sugar yield of sugar beet genotypes in two preliminary evaluation experiments

منابع تغییر Source of variation		درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
			آزمایش اول First experiment	آزمایش دوم Second experiment
Location	مکان	3	1414.15**	1816.44**
Error 1	خطای ۱	20	10.21	4.68
Genotype	ژنوتیپ	24	14.85**	16.48**
Genotype× location	ژنوتیپ× مکان	72	2.84**	4.39**
Error 2	خطای ۲	480	1.89	1.62

**: Significant at 1% probability level. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

نتایج مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید و واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی نسبت به بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی در دو آزمایش جداگانه ارزیابی مقدماتی به تفکیک هر آزمایش به‌ترتیب در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. در مجموع در هر یک از این دو آزمایش، تعداد شش ژنوتیپ که بیشترین عملکرد را داشتند، انتخاب شدند. این ژنوتیپ‌ها در آزمایش اول ارزیابی مقدماتی شامل ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۹، ۶، ۲۲، ۳ و ۷ به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۸/۴۱، ۸/۱۴، ۷/۹۱، ۷/۸۵، ۷/۸۳ و ۷/۷۳ تن در هکتار بودند. این ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب با نمره آلودگی به ریزومانیا ۱، ۱، ۱، ۱، ۲ و ۳ در محیط آلوده مشهد و ۴، ۳، ۴، ۴، ۴، و ۴ در محیط آلوده شیراز و علاوه بر این‌ها به‌ترتیب با شاخص تولیدمثلی نماتد سیستی ۲۴/۸۰، ۱۸/۹۰، ۲۳/۹۵، ۲۳/۱۰، ۲۰/۵۰ و ۱۹/۸۵ درصد، از نظر هر دو بیماری واکنشی در محدوده مقاوم تا نیمه مقاوم

نشان دادند. شش ژنوتیپ منتخب آزمایش دوم ارزیابی مقدماتی شامل ژنوتیپ‌های ۱۵، ۲، ۱، ۹، ۱۳ و ۳ بود که به‌ترتیب میانگین عملکرد ۸/۴۹، ۸/۴۷، ۸/۳۵، ۸/۳۱، ۸/۲۳ و ۸/۱۷ تن در هکتار نشان دادند. ژنوتیپ‌های مذکور به‌ترتیب با ثبت نمره ۲، ۳، ۳، ۲، ۲ و ۲ در محیط آلوده به ریزومانیای مشهد، ۴، ۳، ۴، ۴، ۳، و ۴ در محیط آلوده به ریزومانیای شیراز و شاخص تولیدمثلی نماتد سیستی ۹/۷۰، ۱۹/۴۰، ۵/۰۰، ۶/۷۰، ۷/۹۰ و ۱۶/۳۰ درصد، واکنشی در محدوده مقاوم تا نیمه مقاوم بروز دادند. در مجموع ۱۲ ژنوتیپ منتخب حاصل از آزمایش‌های ارزیابی مقدماتی، مواد ژنتیکی آزمایش‌های تکمیلی را تشکیل دادند.

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد شکر سفید (تن در هکتار) ژنوتیپ‌های چغندرقند در دو آزمایش ارزیابی مقدماتی

Table 6. Means comparison of white sugar yield (tha^{-1}) of sugar beet genotypes in two preliminary evaluation experiments

آزمایش اول First experiment			آزمایش دوم Second experiment		
ژنوتیپ Genotype	عملکرد شکر سفید White sugar yield	گروه Group	ژنوتیپ Genotype	عملکرد شکر سفید White sugar yield	گروه Group
1	6.64	jk	1	8.35	cd
2	7.38	defghijk	2	8.47	c
3	7.83	cdefg	3	8.17	cdef
4	6.93	fghijk	4	7.12	g
5	7.47	defghij	5	7.84	cdefg
6	7.91	cde	6	7.60	cdefg
7	7.73	cdefgh	7	7.48	defg
8	7.06	efghijk	8	7.94	cdefg
9	7.17	efghijk	9	8.31	cd
10	7.62	cdefghi	10	7.80	cdefg
11	7.10	efghijk	11	8.14	cdef
12	7.71	cdefgh	12	7.48	defg
13	6.73	ijk	13	8.23	cde
14	6.56	jk	14	7.90	cdefg
15	6.79	hijk	15	8.49	c
16	6.46	k	16	7.34	efg
17	6.89	ghijk	17	7.78	cdefg
18	7.31	defghijk	18	7.79	cdefg
19	8.14	bcd	19	7.42	efg
20	8.41	bc	20	7.32	fg
21	7.30	defghijk	21	8.07	cdef
22	7.85	cdef	22	7.62	cdefg
Succara	8.77	b	Succara	9.64	b
BTS 213	9.83	a	BTS 213	11.09	a
Shokoufa	6.45	k	Shokoufa	7.33	fg

میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one common letter do not have a significant difference at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

جدول ۷- واکنش ژنوتیپ‌های چغندرقند در دو آزمایش ارزیابی مقدماتی نسبت به بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی

Table 7. Reaction of sugar beet genotypes in two preliminary evaluation experiments to rhizomania and cyst nematode diseases

آزمایش اول First experiment				آزمایش دوم Second experiment			
ژنوتیپ Genotype	ریزومانیا Rhizomania		نماتد سیستی Cyst nematode	ژنوتیپ Genotype	ریزومانیا Rhizomania		نماتد سیستی Cyst nematode
	مشهد Mashhad	شیراز Shiraz	شاخص تولیدمثل Female index		مشهد Mashhad	شیراز Shiraz	شاخص تولیدمثل Female index
1	3 (R)	7 (S)	15.20	1	3 (R)	4 (MR)	5.00
2	3 (R)	5 (MS)	19.10	2	3 (R)	3 (R)	19.40
3	2 (R)	4 (MR)	20.50	3	2 (R)	4 (MR)	16.30
4	3 (R)	5 (MS)	11.20	4	4 (MR)	5 (MS)	21.40
5	3 (R)	5 (MS)	15.30	5	3 (R)	5 (MS)	16.70
6	1 (R)	4 (MR)	23.95	6	3 (R)	5 (MS)	20.20
7	3 (R)	4 (MR)	19.85	7	3 (R)	4 (MR)	14.20
8	3 (R)	5 (MS)	16.10	8	3 (R)	5 (MS)	10.80
9	3 (R)	4 (MR)	16.25	9	2 (R)	4 (MR)	6.70
10	3 (R)	4 (MR)	14.45	10	4 (MR)	5 (MS)	10.60
11	3 (R)	5 (MS)	14.30	11	3 (R)	4 (MR)	20.90
12	3 (R)	4 (MR)	24.10	12	4 (MR)	5 (MS)	6.90
13	3 (R)	5 (MS)	13.30	13	2 (R)	3 (R)	7.90
14	3 (R)	5 (MS)	16.20	14	3 (R)	6 (MS)	6.70
15	2 (R)	5 (MS)	14.10	15	2 (R)	4 (MR)	9.70
16	3 (R)	5 (MS)	25.00	16	3 (R)	6 (MS)	19.70
17	3 (R)	4 (MR)	34.10	17	4 (MR)	6 (MS)	22.60
18	3 (R)	5 (MS)	18.00	18	4 (MR)	5 (MS)	9.70
19	1 (R)	3 (R)	18.90	19	3 (R)	5 (MS)	19.40
20	1 (R)	4 (MR)	24.80	20	3 (R)	5 (MS)	34.10
21	4 (MR)	4 (MR)	14.10	21	4 (MR)	5 (MS)	23.60
22	1 (R)	4 (MR)	23.10	22	4 (MR)	6 (MS)	18.20
Succara	3 (R)	5 (MS)	11.20	Succara	3 (R)	5 (MS)	16.80
BTS 213	1 (R)	4 (MR)	30.00	BTS 213	1 (R)	4 (MR)	40.00
Shokoufa	4 (MR)	5 (MS)	29.10	Shokoufa	4 (MR)	5 (MS)	50.00
Pauletta	-	-	10.20	Pauletta	-	-	22.20
Rasoul	-	-	100	Rasoul	-	-	100

R: Resistant, MR: Moderately Resistant, MS: Moderately Sensitive, S: Sensitive.

ارزیابی‌های تکمیلی

نتیجه آزمون بارتلت مؤید یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. لذا با توجه به یکنواخت بودن واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف جهت تعیین برهمکنش ژنوتیپ-محیط بر روی داده‌های حاصل از عملکرد شکر خالص، تجزیه واریانس مرکب بر اساس مدل AMMI انجام شد (جدول ۸). اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. برهمکنش ژنوتیپ-محیط تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. معنی‌دار بودن برهمکنش‌ها، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در

سال‌ها و مکان‌های مورد بررسی و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ‌ها بود. اثر ضرب‌پذیر مدل AMMI به مؤلفه‌های اصلی برهمکنش تجزیه شد. بر اساس این نتایج (جدول ۸)، سه مؤلفه اول برهمکنش دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و مؤلفه چهارم دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بودند. مؤلفه اصلی اول ۳۱/۹۰ درصد از تغییرات برهمکنش را توجیه نمود. مؤلفه‌های اصلی دوم تا چهارم توانستند به‌ترتیب ۲۲/۲۰، ۱۶/۲۰ و ۱۱/۹۰ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ-محیط را تبیین نمایند، این مؤلفه‌ها به همراه مؤلفه اول در مجموع ۸۱/۹۰ درصد از تغییرات کل برهمکنش ژنوتیپ-محیط را توجیه کردند. مصطفوی و صارمی‌راد (Mostafavi and Saremirad, 2021) در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل AMMI انجام دادند، بیان نمودند که مؤلفه اصلی اول برهمکنش معنی‌دار می‌باشد و حدود ۶۳ درصد از تنوع داده‌ها را تبیین می‌نماید. کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2008) نشان دادند که پنج مؤلفه اصلی برهمکنش در مجموع ۹۰/۳۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ-محیط را توجیه می‌کنند. عمرانی و همکاران (Omrani *et al.*, 2019) در مطالعه خود نشان دادند که چهار مؤلفه اول مجموعاً ۸۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ-محیط را تبیین می‌کند.

جدول ۸- تجزیه واریانس عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های چغندرقند بر اساس مدل AMMI

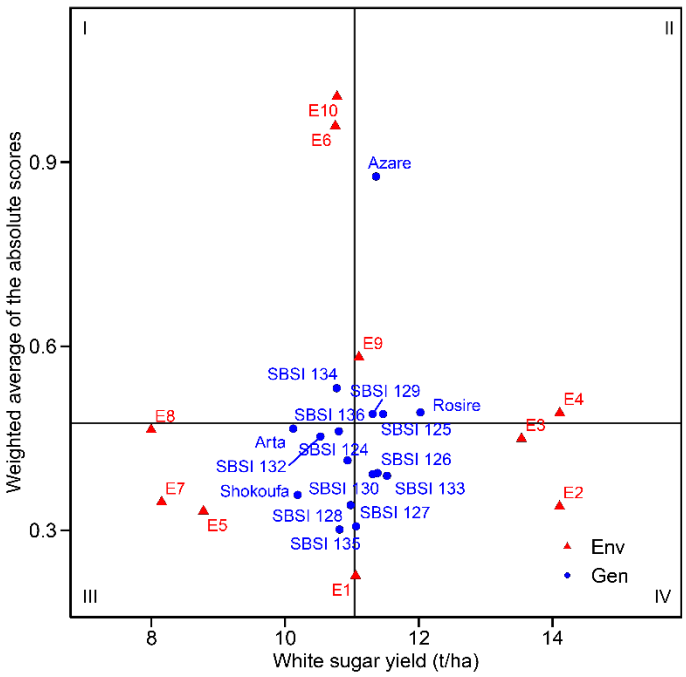
Table 8. Analysis of variance of white sugar yield in experimental sugar beet genotypes based on the AMMI model

منابع تغییر Source of variation		درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس نسبی Relative variance	واریانس تجمعی Accumulative variance
Environment	محیط	9	340.90**	-	-
Error 1	خطای ۱	30	4.96	-	-
Genotype	ژنوتیپ	15	10.07**	-	-
Genotype× environment	ژنوتیپ× محیط	135	3.06**	-	-
PC1	مؤلفه ۱	23	5.73**	31.90	31.90
PC2	مؤلفه ۲	21	4.36**	22.20	54.00
PC3	مؤلفه ۳	19	3.54**	16.20	70.30
PC4	مؤلفه ۴	17	2.83*	11.60	81.90
PC5	مؤلفه ۵	15	2.09^{ns}	7.60	89.50
PC6	مؤلفه ۶	13	1.52^{ns}	4.80	94.30
PC7	مؤلفه ۷	11	1.14^{ns}	3.00	97.30
PC8	مؤلفه ۸	9	0.81^{ns}	1.80	99.10
PC9	مؤلفه ۹	7	0.55^{ns}	0.90	100.00
Error 2	خطای ۲	450	1.56	-	-

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

**, * and ns: Significant at 1% and 5% probability level, and non-significant, respectively.

در شکل ۲، ژنوتیپ‌های با مقادیر WAAS صفر یا نزدیک به صفر به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین از نظر عملکرد شکر سفید SBSI 135، SBSI 127، SBSI 128، SBSI (133) حسنا، شکوفا، SBSI 130، SBSI 126 و SBSI 124 دارای برهمکنش ژنوتیپ-محیط پایین و پایداری بالایی بودند، اما ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی است که مقدار WAAS صفر یا نزدیک به صفر و مقدار ارزش عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل داشته باشد. رقم جدید حسنا با متوسط عملکرد شکر سفید ۱۱/۵۲ تن در هکتار علاوه بر پایداری، ارزش عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین کل داشت، لذا به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد مطلوب انتخاب شد. مقایسه میانگین هیبریدها بر اساس متوسط عملکرد شکر سفید (جدول ۹) در دو سال زراعی و در پنج مکان مورد بررسی نشان داد که اگرچه رقم شاهد روزیر با متوسط ۱۲/۰۲ تن در هکتار بیشترین عملکرد شکر سفید را به خود اختصاص داد، اما اختلاف معنی‌داری بین رقم مذکور و رقم حسنا با متوسط ۱۱/۵۲ تن در هکتار وجود نداشت. ارقام آرتا و شکوفا به‌ترتیب با ۱۰/۱۱ و ۱۰/۱۸ تن در هکتار شکر سفید اختلاف معنی‌داری با رقم حسنا داشتند. با توجه به این‌که در حال حاضر ارقام شکوفا و آرتا به‌عنوان ارقام تجارتی



شکل ۲- بای‌پلات عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند با میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات (WAAS)

Fig. 2. Biplot of experimental sugar beet genotypes white sugar yield with weighted average absolute scores (WAAS)

جدول ۹- مقادیر عملکرد شکر سفید (تن در هکتار) هیبریدهای آزمایشی طی دو سال زراعی در پنج ایستگاه تحقیقات کشاورزی مختلف کشور

Table 9. Values of white sugar yield (tha^{-1}) of experimental hybrids during two cropping seasons in five different agricultural research stations of the country

ژنوتیپ Genotype	کرج Karaj		مشهد Mashhad		میاندوآب Miandoab		شیراز Shiraz		همدان Hamedan		میانگین کل Total mean	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	ارزش Value	گروه Group
SBSI 124	10.76	14.24	14.10	14.84	7.59	11.84	7.27	7.61	10.44	10.64	10.93	cdef
SBSI 125	10.43	14.42	14.82	14.64	10.32	11.59	7.85	6.75	12.15	11.65	11.46	bc
SBSI 126	11.46	14.43	13.42	12.82	10.13	12.53	7.84	8.04	12.03	11.10	11.38	bc
SBSI 127	10.89	13.97	13.43	13.92	7.95	12.25	7.84	7.47	11.38	11.50	11.06	bcdef
SBSI 128	11.27	13.46	14.79	12.81	8.94	10.86	8.14	7.06	10.82	11.64	10.98	bcdef
SBSI 129	10.76	14.64	14.08	14.24	8.93	9.07	9.21	9.00	11.90	11.27	11.31	bcde
SBSI 130	12.11	14.80	13.82	15.24	8.42	11.62	8.49	8.00	10.51	10.09	11.31	bcde
SBSI 132	10.89	13.16	13.67	13.79	8.35	10.64	8.15	8.37	9.70	8.54	10.53	fg
SBSI 133 (Hosna)	10.53	14.76	12.75	15.24	9.12	12.56	9.34	8.43	11.30	11.19	11.52	ab
SBSI 134	11.29	15.17	14.01	14.06	7.63	10.20	8.33	8.32	9.42	9.27	10.77	ef
SBSI 135	11.32	14.22	11.70	13.52	8.15	10.51	9.05	8.26	11.43	9.95	10.81	def
SBSI 136	11.40	13.84	12.92	13.50	8.08	9.04	7.96	7.35	11.57	12.36	10.80	ef
Shokoufa	10.52	13.20	13.00	13.40	8.58	8.90	7.07	8.25	10.23	8.71	10.19	g
Arta	10.18	13.49	10.92	12.29	8.39	9.95	7.54	6.95	11.22	10.26	10.12	g
Azare	11.06	12.98	14.20	14.83	8.78	8.97	7.76	9.59	11.46	13.97	11.36	bcd
Rosire	11.97	14.90	14.92	16.57	11.06	11.46	8.55	8.45	12.07	10.26	12.02	a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with at least one common letter do not have a significant difference at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

داخلی مقاوم به ریزومانیا و نماتد سیستی به کشاورزان عرضه می‌شود، برتری معنی‌دار هیبرید جدید از نظر عملکرد شکر سفید مؤید این مطلب است که می‌توان از آن به‌عنوان جایگزین مطمئن این ارقام در مناطق آلوده به بیماری‌های مورد نظر استفاده نمود.

نتایج بررسی واکنش هیبریدهای آزمایشی در برابر بیماری ریزومانیا بر اساس روش لوترباچر و همکاران (Luterbacher *et al.*, 2005) در جدول ۱۰ آورده شده است. بررسی فراوانی حساسیت/مقاومت ژنوتیپ‌ها در برابر عامل بیماری ریزومانیا در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی طی دو سال نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش در برابر این بیماری متفاوت هستند، اما اکثریت آن‌ها واکنشی در محدوده مقاوم تا نیمه مقاوم داشتند، لذا این ژنوتیپ‌ها می‌توانند حامل ژن‌هایی باشند که در بروز مقاومت مشاهده‌شده در آن‌ها دخیل هستند. بر طبق ارزیابی ژنوتیپ‌ها در برابر بیماری در آزمایش ایستگاه تحقیقاتی مشهد طی سال ۱۳۹۹، رقم حسنا با نمره بیماری ۳ به همراه رقم شاهد شکوفا واکنش مشابهی در محدوده مقاوم نشان دادند. در خصوص واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به بیماری ریزومانیا در این ایستگاه در سال ۱۴۰۰، رقم حسنا واکنش مقاومت بروز داد و به همراه شاهدهای آذر، روزبیر و شکوفا با نمره بیماری ۲ در یک گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شدت آلودگی ژنوتیپ‌ها به بیماری در ایستگاه تحقیقاتی شیراز، هیچ‌یک از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای واکنش مقاومت کامل در برابر بیماری طی دو سال اجرای آزمایش نبودند و واکنشی در محدوده نیمه مقاوم تا نیمه حساس را در پی داشتند. رقم حسنا در سال ۱۳۹۹ با نمره بیماری ۴ همراه با ارقام مقاوم آذر و شکوفا و در سال ۱۴۰۰ با نمره بیماری ۲ همراه با رقم مقاوم شکوفا در یک گروه قرار گرفت. به‌طور کلی طی هر دو سال آزمایش، شدت آلودگی ژنوتیپ‌ها به بیماری ریزومانیا در ایستگاه تحقیقاتی شیراز بیشتر از ایستگاه تحقیقاتی مشهد بوده است. لذا می‌توان اذعان نمود که در شیراز شرایط محیطی برای توسعه و نیز استقرار جدایه‌های پر آزارتر بیماری ریزومانیا مساعدتر از شرایط محیطی مشهد بوده است، بنابراین، باید ژنوتیپ‌هایی برای کشت در شیراز توصیه شوند که دارای ژن‌های مقاومت مؤثرتری در برابر بیماری باشند تا از توسعه آن و ایجاد خسارات سنگین ناشی از کاهش درصد قند و عملکرد ریشه جلوگیری شود که در این ارتباط رقم حسنا توانست بسیار موفق عمل کند.

بررسی مقاومت ژنوتیپ‌ها نسبت به نماتد سیستی در شرایط گلخانه نشان داد که دامنه تغییرات شاخص تولیدمثل (Female Index) برابر ۳۳/۲۳ واحد بود، در این مطالعه رقم کاکتوس و ژنوتیپ‌های SBSI 135 و SBSI 132 به‌ترتیب با مقادیر ۱۷/۱۷، ۱۹/۰۴ و ۱۹/۹۷ واحد کمترین مقدار شاخص مذکور را به خود اختصاص داده و در بین ژنوتیپ‌های مورد

بررسی بیشترین مقاومت به نماتد را نشان دادند، بعد از ژنوتیپ‌های مذکور رقم شاهد خارجی فرناندو و هیبرید SBSI 126 و رقم حسنا به‌ترتیب با مقادیر ۲۲/۶۷ و ۲۴/۷۶ و ۲۶/۶۹ درصد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۱۰). در این بررسی بالاترین مقدار شاخص تولیدمثل با متوسط ۵۰/۴۰ درصد به رقم شکوفا اختصاص یافت، ژنوتیپ SBSI 128 و رقم شاهد داخلی آرتا نیز در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به نماتد شناخته شدند، نتایج نشان داد به غیر از ژنوتیپ SBSI 128 مقدار مقاومت در هیبریدهای جدید به‌صورت چشم‌گیری بالاتر از شاهدهای متحمل داخلی بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- واکنش هیبریدهای آزمایشی چغندرقند نسبت به بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی

Table 10. Reaction of experimental sugar beet hybrids to rhizomania and cyst nematode diseases

ژنوتیپ Genotype	مشهد Mashhad		شیراز Shiraz		نماتد سیستی Cyst nematode
	2020	2021	2020	2021	شاخص تولیدمثل Female index
SBSI 124	1 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	33.16
SBSI 125	2 (R)	3 (R)	3 (R)	3 (R)	28.74
SBSI 126	3 (R)	2 (R)	3 (R)	2 (R)	24.76
SBSI 127	2 (R)	2 (R)	3 (R)	2 (R)	29.41
SBSI 128	3 (R)	2 (R)	4 (MR)	3 (R)	45.58
SBSI 129	1 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	33.36
SBSI 130	3 (R)	2 (R)	4 (MR)	3 (R)	34.01
SBSI 132	1 (R)	2 (R)	4 (MR)	3 (R)	19.97
SBSI 133 (Hosna)	3 (R)	2 (R)	4 (MR)	2 (R)	26.69
SBSI 134	2 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	28.93
SBSI 135	1 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	19.04
SBSI 136	3 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	27.94
Shokoufa	3 (R)	2 (R)	4 (MR)	2 (R)	50.4
Arta	2 (R)	3 (R)	3 (R)	3 (R)	39.46
Azare	1 (R)	2 (R)	4 (MR)	3 (R)	-
Rosire	1 (R)	2 (R)	3 (R)	3 (R)	-
Fernando	-	-	-	-	22.67
Cactus	-	-	-	-	17.17

R: Resistant, MR: Moderately Resistant.

آزمایش تحقیقی-ترویجی

نتایج حاصل از آزمایش تحقیقی-ترویجی به تفکیک مکان‌های اجرای آن در جدول ۱۱ آورده شده است. در آزمایش اجرا شده در کرج و کرمانشاه رقم شاهد خارجی آگاتلا به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۲/۶۰ و ۱۰/۹۴ تن

در هکتار نسبت به رقم حسنا به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۱/۷۹ ۹/۶۳ تن در هکتار برتری ۶/۸۸ و ۱۳/۶۶ درصدی داشت. اما در مناطق مذکور رقم حسنا در مقایسه با دنا به‌ترتیب با ۴۶/۶۳ و ۱۷/۶۹ درصد، نیکا به‌ترتیب با ۲۵/۶۷ و ۴/۳۵ درصد، شکوفا به‌ترتیب با ۱۹/۷۹ و ۱۰/۲۵ درصد و سینا به‌ترتیب با ۲۲/۷۵ و ۲۰/۶۸ درصد اختلاف عملکرد، برتری نشان داد. نتایج آزمایش اجرا شده در مشهد و میاندوآب نشان داد که رقم حسنا به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۳۰ و ۱۰/۲۸ تن در هکتار پس از رقم نیکا در منطقه مشهد (۱۱/۶۱ تن در هکتار) و دنا در منطقه میاندوآب (۱۱/۷۹ تن در هکتار) با اختلاف عملکرد ۱۵/۷۰ و ۱۴/۶۴ درصد در رتبه دوم قرار گرفت. سایر ارقام شاهد از جمله رقم شاهد خارجی آگاتلا در رتبه‌های پس از رقم حسنا قرار گرفتند، به‌طوری که در آزمایش اجراشده در مشهد رقم حسنا نبست به ارقام آگاتلا، دنا، شکوفا و سینا به‌ترتیب ۵/۸۰، ۴/۸۱، ۱۰/۵۰ و ۷/۶۴ درصد و در آزمایش اجراشده در میاندوآب نسبت به ارقام آگاتلا، نیکا، شکوفا و سینا به‌ترتیب ۶/۸۸، ۴/۰۷، ۱۶/۷۰ و ۹/۰۰ درصد عملکرد شکر سفید بالاتری نشان داد. در مجموع، رقم حسنا با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۵۰ تن در هکتار نسبت به شاهدهای آگاتلا، دنا، نیکا، شکوفا و سینا به‌ترتیب با میانگین عملکرد شکر سفید ۱۰/۳۹، ۸/۸۹، ۹/۸۶، ۸/۹۱ و ۸/۸۴ تن در هکتار برتری ۱/۰۵، ۱۵/۳۳، ۶/۱۰، ۱۵/۱۴ و ۱۵/۸۱ درصدی نشان داد.

توصیه ترویجی

در مجموع، رقم جدید حسنا با شجره "S_1" 7112/SB36//SB27-960258 در مقایسه با ارقام شاهد داخلی و خارجی از پتانسیل عملکرد شکر بسیار خوبی با میانگین ۱۰/۵۰ تن در هکتار برخوردار بود. علاوه بر این، نتایج حاصل حاکی از مقاومت مناسب این رقم نسبت به هر دو بیماری ریزومانیا و نماتد سیستی می‌باشد. در نتیجه، این هیبرید به‌عنوان یک رقم جدید مقاوم به ریزومانیا و نماتد سیستی چغندرقند با عملکرد شکر مطلوب انتخاب و جهت معرفی در نظر گرفته شد. حسنا، دیپلوئید منوژرم و مناسب کشت بهاره در اکثر مناطق چغندرکاری کشور است. در راستای دستیابی به پتانسیل عملکرد، داشتن تراکم بوته مناسب با میانگین یکصد هزار بوته در هکتار و ایجاد یک برنامه تغذیه مناسب بر اساس نتایج آزمایش خاک به‌ویژه ارزیابی سطوح نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک حائز اهمیت است. مقادیر کود مورد نیاز برای کشت بر اساس سطوح عناصر مذکور در جدول ۱۲ آورده شده است. در صورتی که نیتروژن خاک کم‌تر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد، به ۳۰۰-۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره معمولی نیاز است، اما اگر نیتروژن خاک در بازه ۱۰-۵، ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، به‌ترتیب ۲۵۰-۳۰۰، ۱۵۰-۲۵۰ و ۱۰۰-۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار مورد نیاز خواهد بود. در خاک‌های با بیش ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن نیازی به استفاده از کود

جدول ۱۱- نتایج آزمایش تحقیقی-ترویجی رقم حسنا در مناطق مختلف مورد بررسی

Table 11. Results of research-extension studies of Hosna variety in different studied regions

مکان Location	عملکرد شکر سفید رقم حسنا (تن در هکتار) Hosna white sugar yield (tha^{-1})	ارقام شاهد Check cultivar	عملکرد شکر سفید ارقام شاهد (تن در هکتار) Check cultivar white sugar yield (tha^{-1})	میزان تفاوت عملکرد شکر سفید رقم حسنا نسبت به ارقام شاهد (درصد) White sugar yield difference compared to the check cultivar (%)
کرج Karaj	11.79	Agatella	12.60	-6.88
		Dena	6.29	46.63
		Nika	8.76	25.67
		Shokoufa	9.45	19.79
		Sina	9.10	22.75
کرمانشاه Kermanshah	9.63	Agatella	10.94	-13.66
		Dena	7.92	17.69
		Nika	9.21	4.35
		Shokoufa	8.64	10.25
		Sina	7.64	20.68
مشهد Mashhad	10.30	Agatella	8.45	15.80
		Dena	9.55	4.81
		Nika	11.61	-15.70
		Shokoufa	8.98	10.50
		Sina	9.27	7.64
میاندوآب Miandoab	10.28	Agatella	9.58	6.88
		Dena	11.79	-14.64
		Nika	9.87	4.07
		Shokoufa	8.57	16.70
		Sina	9.36	9.00
میانگین Average	10.50	Agatella	10.39	1.05
		Dena	8.89	15.33
		Nika	9.86	6.10
		Shokoufa	8.91	15.14
		Sina	8.84	15.81

اوره نیست. کوددهی کشت چغندرقند با استفاده از کودهای فسفاته بر مبنای فسفر قابل‌جذب خاک به چهار گروه تقسیم می‌شود. به خاک‌هایی که میزان فسفر کمتر از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و به خاک‌های با ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل‌جذب به‌ترتیب ۲۰۰-۱۵۰ و ۱۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل اضافه می‌شود، اما در خاک‌های با بیش از ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل‌جذب، نیازی به کود مذکور نخواهد بود. برای خاک‌های با پتاسیم کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مقدار ۳۰۰-۲۰۰ گیلوگرم در هکتار، ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مقدار ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۰۰-۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مورد

جدول ۱۲- مقادیر کودهای مورد نیاز بر اساس آزمایش خاک

Table 12. Fertilizer amounts required based on soil testing

نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) Nitrogen (ppm)	اوره (کیلوگرم در هکتار) Urea ($kgha^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) Phosphorus (ppm)	سوپرفسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار) Triple superphosphate ($kgha^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) Potassium (ppm)	سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulfate ($kgha^{-1}$)
<5	300-400	<5	200	<100	300
5-10	250-300	5-10	150-200	100-150	200-300
10-15	150-250	10-15	100-150	150-200	150-200
15-20	100-150	15<	0	200-250	150
20<	0	-	-	250<	0

نیاز خواهد بود. در صورتی که خاک مزرعه بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم داشته باشد، نیازی به استفاده از کود سولفات پتاسیم نیست. ذکر این نکته ضروری است که کوددهی باید به برنامه‌های پیش کشت و پس کشت (سرک) تقسیم شود. قبل از کشت، قسمتی از نیتروژن کل (تقریباً ۴۰ درصد) و تمامی کودهای فسفر و پتاسیم اعمال می‌شود.

به‌طور کلی، از آنجایی که قیمت یک واحد از بذر این رقم معادل ۳۵ درصد رقم مشابه خارجی می‌باشد، لذا درصورتی‌که فقط پنج درصد سطح زیر کشت کشور به این رقم اختصاص یابد، معادل سیصد میلیارد ریال صرفه‌جویی ارزی برای کشور به‌دنبال خواهد داشت. همچنین با در نظر گرفتن موارد جانبی دیگر نظیر تولید ملی و اشتغال‌زایی در داخل کشور، معرفی این رقم در راستای سیاست‌های اقتصاد مقاومتی و همسو با آن تلقی می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند و ایستگاه‌های تحقیقاتی به دلیل همکاری و حمایت ارزشمند در طول اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Abdallah, J. M., Goffinet, B., Cierco-Ayrolles, C., and Pérez-Enciso, M. 2003. Linkage disequilibrium fine mapping of quantitative trait loci: a simulation study. Genet. Sel. Evolution 35 (6): 513. https://doi.org/10.1186/1297-9686-35-6-513

Arjmand, M. N., and Ahun Manesh, A. 1996. Rhizomania a new disease of sugar beet. Sugar Beet 12 (1): 62-71. https://doi.org/10.22092/jsb.1997.116487 (In Persian).

Bartlett, M. S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences 160 (901): 268-282. https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109

Cooke, D. A., and Scott, R. K. 1993. The Sugar Beet Crop: Science Into Practice. Chapman & Hall. https://books.google.com/books?id=r0hDnQAACAAJ

Ebrahimi Koulaei, H., Mansouri, H., Soltani, J., Mahmoudi, S. B., Aghaeezadeh, M., Hasani, M., Orazizadeh, M. R., and Pedram, A. 2019. Ekbatan: The first Iranian sugar beet cultivar with resistance to rhizoctonia and tolerance to rhizomania. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 8 (1): 117-134. https://doi.org/10.22092/rafhc.2019.115382.1095 (In Persian).

Galein, Y., Legrève, A., and Bragard, C. 2018. Long term management of rhizomania disease—Insight into the changes of the beet necrotic yellow vein virus RNA-3 observed under resistant and non-resistant sugar beet fields. Front. Plant Sci. 9: 795. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00795

Gauch, H. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. 278 pp.

Hassani, M., and Norouzi, P. 2016. Development of sugar beet full sib families resistant to rhizomania and cyst nematode using molecular markers. Sugar Beet Seed Institute, AREEO, Karaj, Alborz, Iran. (In Persian).

Iqbal, M. A., and Saleem, A. M. 2015. Sugar beet potential to beat sugarcane as a sugar crop in Pakistan. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 15 (1): 36-44. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.1.12480

Izadpanah, K., Hashemi, P., Kamran, R., Pakniat, M., Sahandpour, A., and Masoumi, M. 1996. Extensive existence of root canal disease in Fars. J. Plant Diseases 32: 200-206. (In Persian).

Karimizadeh, R., Dehghani, H., and Dehghanpour, Z. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype-environment interaction in early maturing corn hybrids. Seed and Plant J. 23 (4): 531-546. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110766 (In Persian).

Kunz, M., Martin, D., and Puke, H. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. Zuckerindustrie 127 (1): 13-21.

Lennefors, B. L., Savenkov, E., Mukasa, S., and Valkonen, J. 2005. Sequence divergence of four soilborne sugarbeet-infecting viruses. Virus Gen. 31 (1): 57-64. https://doi.org/10.1007/s11262-004-2199-y

Luterbacher, M., Asher, M., Beyer, W., Mandolino, G., Scholten, O., Frese, L., Biancardi, E., Stevanato, P., Mechelke, W., and Slyvchenko, O. 2005. Sources of resistance to diseases of sugar beet in related Beta germplasm: II. Soil-borne diseases. Euphytica 141 (1): 49-63. https://doi.org/10.1007/s10681-005-5231-y

Mahmoudi, S., Aghaeezadeh, M., Mehdikhani, P., Ahmadi, M., Soltani, J., Ghaemi, A., Bazrafshan, M., Fotohi, K., Darabi, S., and Matloubi, F. 2019. Shokofa, sugar beet monogerm variety resistant to rhizomania and cyst nematode. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 8 (1): 145-156. https://doi.org/10.22092/rafhc.2019.111051.1082 (In Persian).

McGrann, G. R., Grimmer, M. K., Mutasa-Göttgens, E. S., and Stevens, M. 2009. Progress towards the understanding and control of sugar beet rhizomania disease. Mol. Plant Path. 10 (1): 129-141. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00514.x

Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M. C., Paulo, O. S., Loureiro, J., and Romeiras, M. M. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. Fron. Plant Sci. 9: 74-89. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00074

Moore, A., Stark, J., Brown, B., and Hopkins, B. 2009. Southern Idaho Fertilizer Guide, Sugar Beets. University of Idaho, Current Inf. Ser. 1174. 8 pp.

Moore, K. J., and Dixon, P. M. 2015. Analysis of combined experiments revisited. Agron. J. 107 (2): 763-771. https://doi.org/10.2134/agronj13.0485

Mostafavi, K., and Saremirad, A. 2021. Genotype-environment interaction study in corn genotypes using additive main effects and multiplicative interaction method and GGE-biplot method. J. Crop Production. 14 (3): 1-12. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.17527.2293 (In Persian).

Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. The J. Agric. Sci. 144 (1): 31-43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708

Olivoto, T., Lúcio, A. D., da Silva, J. A., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., and Jost, E. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agron. J. 111 (6): 2949-2960. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.022

Omrani, S., Omrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji, S., and Foroozesh, P. 2019. Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. J. Crop Breeding 11 (31): 153-163. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.11.153.163 (In Persian).

Pavli, O. I., Stevanato, P., Biancardi, E., and Skaracis, G. N. 2011. Achievements and prospects in breeding for rhizomania resistance in sugar beet. Field Crops Res. 122 (3): 165-172. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.03.019

Poindexter, S. 2011. Managing sugar beet cyst nematode. Michigan State University Extension. https://www.canr.msu.edu/news/managing_sugar_beet_cyst_nematode.

Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M., and Saremirad, A. 2023. Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta*

vulgaris L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. Food Sci. Nutrition. 11 (3): 1403-1414. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3180

Reinfeld, E., Emmerich, A., Baumgarten, G., Winner C., and Beiss, U. M. 1974. Zur Voraussage des Melassezuckers aus rubenanalysen. Zucker, Chapman & Hall, World Crop Series.

Rezaei, J. 2007. Evaluation of resistance of sugar beet commercial cultivars to rhizomania in field conditions. Final report of the research project. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. (In Persian).

Ribeiro, I. C., Pinheiro, C., Ribeiro, C. M., Veloso, M. M., Simoes-Costa, M. C., Evaristo, I., Paulo, O. S., and Ricardo, C. P. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. Front. Plant Sci. 7: 193305. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01293

Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010. Genetic analysis of oil yield, seed yield, and yield components in rapeseed using additive main effects and multiplicative interaction biplots. Agron. J. 102 (5): 1361-1368. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0084

Sadeghzadeh Hemayati, S., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Jalilian, A., Ahmadi, M., Azizi, H., Hamidi, H., Hamdi, F., and Matloubi Aghdam, F. 2022. Evaluation of white sugar yield stability of some commercially released sugar beet cultivars in Iran from 2011-2020. Seed and Plant J. 38 (3): 339-364. https://doi.org/10.22092/spj.2023.362024.1305 (In Persian).

Saremirad, A., Mostafai, K., and Hosseini, M. S. 2021. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in sunflower genotypes (*Hellianthus annuus* L.). Plant Production Tech. 12 (2): 1-18. https://doi.org/10.22084/ppt.2021.17747.1895 (In Persian).

Saremirad, A., and Taleghani, D. 2022. Utilization of univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. J. Crop Breeding 14 (43): 49-63. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.14.43.49 (In Persian).

Tamada, T. 1975. Beet necrotic yellow vein virus. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses 144: 1-4. https://doi.org/10.1079/cabicompendium.10257

Tamada, T. 1999. Benny Viruses. Pp. 154-160. In: Webster, R. G., and Granoff, A. Encylopedia of Virology, Manipal University, Jaipur.

Tamada, T., and Baba, T. 1973. Beet necrotic yellow vein virus from rizomania-affected sugar beet in Japan. Japanese J. Phytopathology 39 (4): 325-332. https://doi.org/10.3186/JJPHYTOPATH.39.325

Wright, A. J., Stevens, M., Back, M. A., and Sparkes, D. L. 2022. A new method to validate and compare varietal resistance and yield tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris*) against the beet cyst nematode, Heterodera schachtii Schmidt. Pest Management Sci. 78 (7): 2767-2778. https://doi.org/10.1002/ps.6885

Yan, W., and Kang, M. S. 2002. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool For Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 288 pp. https://doi.org/10.1201/9781420040371

Hosna, monogerm sugar beet cultivar with dual resistance to rhizomania and cyst nematode

M. Hassani[1], P. Norouzi[2], J. Soltani[3], A. Jalilian[4], M. Kakoueinezhad[1], J. Rezaei[3], S. Darabi[5], D. Taleghani[2], S. B. Mahmoudi[2], H. Hamze[6], A. Saremirad[7]

1, 2 and 7. Assistant Professor, Associate Professor and Researcher, respectively, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.
4. Associate Professor, Sugar Beet Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
5. Researcher, Sugar Beet Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARREO). Shiraz, Iran.
6. Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

ABSTRACT

Hassani, M., Norouzi, P., Soltani, J., Jalilian, A., Kakoueinezhad, M., Rezaei, J., Darabi, S., Taleghani, D., Mahmoudi, S. B., Hamze, H., and Saremirad, A. 2024. Hosna, monogerm sugar beet cultivar with dual resistance to rhizomania and cyst nematode**. Research Achievements for Field and Horticulture Crops Journal 13 (1): 133-158. (in Persian).**

Sugar beet cultivation faces significant challenges from diseases such as rhizomania and cyst nematode, both in Iran and globally. The most effective and straightforward approach to mitigate the damage caused by these diseases is the use of resistant varieties. The Hosna cultivar was developed after extensive preliminary and advanced research. This variety was produced by crossing a pollinator inbred line from the SB27 population, which carried resistance genes for both rhizomania and cyst nematode, with a monogerm single cross maternal line. A value-for-cultivation and use (VCU) test was conducted in Hamadan, Mashhad, Shiraz, and Miandoab under rhizomania-infected conditions and in Karaj under non-infected conditions to evaluate this variety's performance. Simultaneously, the resistance of the hybrids to cyst nematode was evaluated in another experiment under controlled conditions (greenhouse). The results showed the superior performance of Hosna cultivar, which produced an average white sugar yield of 11.52 tha^{-1}, outperforming the foreign control variety Azare (11.36 tha^{-1}) and the domestic control varieties Shokoufa and Arta (10.19 and 10.12 tha^{-1}, respectively). However, no significant difference was found between Hosna and the foreign control Rosier (12.02 tha^{-1}). Hosna is a diploid monogerm cultivar, resistant to both rhizomania and cyst nematode, and suitable for spring cultivation across various regions of the country. In addition to its disease resistance, this cultivar has a high potential for sugar yield.

Keywords: Germplasm screening, Sugar yield, Testcross, Viral disease.

Corresponding author: m.hasani@areeo.ac.ir **Tel.:** +982632702613

Received: 05 February, 2024
Accepted: 07 Augst, 2024