

شناسایی منابع مقاومت به نماتد مولد گره ریشه در چغندر قند

Identification of Resistance Sources to Root-Knot Nematode in Sugar Beet

منصوره باکوئی^۱، ابراهیم پورجم^۲، سیدباقر محمودی^۳ و ناصر صفائی^۴

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۹

چکیده

باکوئی، م.، پورجم، ا.، محمودی، س.ب. و صفائی، ن. ۱۳۹۵. شناسایی منابع مقاومت به نماتد مولد گره ریشه در چغندر قند. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۲: ۲۴۴-۲۳۱. [10.22092/spij.2017.111299](https://doi.org/10.22092/spij.2017.111299)

چغندر قند یکی از میزبان‌های نماتد مولد گره ریشه است. در این مطالعه طی سه آزمایش جداگانه، دو جمعیت گرده‌افشان باز و فامیل‌های نیمه خواهری آن‌ها (۳۷ فامیل)، دو هیبرید چغندر قند و ارقام تجاری مقاوم به نماتد سیستی (*Heterodera schachtii*) شامل توکان، کاکتوس، سانتا، پائولتا، پائولینا، فرناندو، ساکارا و شکوفا، در برابر *M. arenaria* و *Meloidogyne javanica* در شرایط گلخانه ارزیابی شدند. برای ارزیابی، گیاهچه‌ها با ۵۰۰ و ۷۵۰ لارو سن دوم نماتد مایه‌زنی شدند. حدود ۷۰ روز پس از مایه‌زنی، گیاهان برداشت و تعداد گره‌های روی ریشه شمارش شدند. گیاهان با ۱۰ و کمتر از ۱۰ گره در ریشه به عنوان مقاوم شناخته شدند. نتایج نشان داد که جمعیت‌های گرده‌افشان باز SB33 و SB34 و کلیه فامیل‌های نیمه خواهری آن‌ها مقاوم به نماتد مولد گره ریشه بودند و مقاومت در جمعیت SB33 به صورت غالب به ارث می‌رسد. همچنین تمامی ارقام مقاوم به نماتد سیستی، حساس به نماتد مولد گره ریشه بودند.

واژه‌های کلیدی: چغندر قند، فامیل نیمه خواهری، نماتد مولد گره ریشه، مقاومت.

مقدمه

اقتصادی است (Mahmoudi et al., 2009). با وجود این، به دلیل دامنه میزبانی وسیع نماتد، سمیت شدید نماتدکش‌ها برای انسان و محیط زیست و افزایش مقاومت نماتد به نماتدکش‌ها، کنترل این نماتد روی چغندر قند مشکل است (Weiland and Yu, 2003). مقاومت گیاه میزبان به نماتد مولد گره ریشه یکی از مهم‌ترین راهکارهای سالم جهت کم کردن مشکلات تولید چغندر قند، کاهش خطرات نماتدکش‌ها و مهم‌ترین روش اقتصادی است که نه تنها برای کشاورزان بلکه برای صنعت چغندر قند نیز مهم است (Panella and Lewellen, 2007). اطلاعات کمی در مورد مقاومت گونه‌های چغندر به نماتدهای مولد گره ریشه در دسترس است. اولین بار وجود مقاومت به نماتد مولد گره ریشه چغندر قند در *Beta vulgaris* spp. *maritima* نسبت به نژاد یک *M. incognita* گزارش شده است (Yu, 1995). پس از آن مشخص شد که این نوع مقاومت در برابر گونه‌های *M. javanica*، *M. chitwoodi*، *M. hapla*، *M. arenaria* و نیز عمومی‌ست دارد (Yu et al., 1999). روش گروه‌بندی گیاهچه‌های چغندر قند از نظر مقاومت و حساسیت نسبت به نماتد مولد گره ریشه، تعداد گره است. تعداد گره‌ها در درجات ۰:۰، گره ۱: ۱ تا ۲ گره، ۲:۳ تا ۱۰ گره، ۳:۱۱ تا ۳۰ گره، ۴: ۳۱ تا ۱۰۰ گره و ۵: بیش از ۱۰۰ گره در ریشه گروه‌بندی می‌شوند. در این سیستم گیاهان

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان صنعتی است و یک چهارم کل شکر مصرفی دنیا را تأمین می‌کند (Biancardi et al., 2010). تاکنون گونه‌های *M. incognita*، *Meloidogyne arenaria*، *M. fallax*، *M. javanica*، *M. hapla* و *M. chitwoodi* به عنوان انگل‌های مهم اقتصادی چغندر قند معرفی شده‌اند (Nobre Maleita et al., 2012)؛ (Janati et al., 1982؛ Arnold, 1984؛ Whitehead, 1969). علائم حاصل از *Meloidogyne* با تشکیل گره روی ریشه‌های جانبی و اصلی چغندر قند سبب کاهش شدید عملکرد و کیفیت چغندر قند می‌شود (Whitney and Duffus, 1986). میانگین خسارت سالانه *M. incognita* در مزارع چغندر قند آمریکا ۱۰ تا ۵۰ درصد (Duffus and Ruppel, 1993)؛ (Altman and Thomason, 1971) و در ایتالیا حدود ۵ تا ۱۵ درصد برآورد شده است (Altman and Thomason, 1971). در مصر نیز گزارش‌ها نشان‌دهنده حساسیت چغندر قند نسبت به گونه‌های نماتد مولد گره ریشه است (Korayem et al., 2012)؛ (Ibrahim, 1982؛ El-Nagdi et al., 2004). در افغانستان نیز این نماتد سطح زیر کشت چغندر قند را به شدت کاهش داده به طوری که کشت این محصول در منطقه بغلان غیر

تخم بر روی گوجه‌فرنگی رقم روتگرز (Sasser and Carter, 1985) و تکثیر روی چغندر قند رقم جلگه انجام شد. توده‌های تخم تشکیل شده روی ریشه رقم جلگه، در محیط تاریک با دمای ۲۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد تفریح و سپس لاروهای سن دوم شمارش و با سولفات استرپتومایسین ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و یک درصد به ترتیب به مدت ۲۴ و یک ساعت ضد عفونی شدند.

مواد گیاهی: بذر ۵۰ ژنوتیپ چغندر قند از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند دریافت شد. لازم به ذکر است که با توجه به دگرگش بودن چغندر قند برای تهیه فامیل‌های نیمه‌خواه‌ری از جمعیت‌های گرده‌افشان باز چند جوانه‌ای (SB33 و SB34) در مزرعه در حال تکثیر بذر، تعداد ۵۰ بوته به صورت تک بوته بذرگیری شدند. از بین آن‌ها فامیل‌هایی که بذر کافی داشتند در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. بذر هر ژنوتیپ به طور جداگانه به توری‌های خاصی منتقل و پس از ساییدن سطحی پوسته بذرها، به مدت سه ساعت درون دستگاه شستشو در معرض جریان مداوم آب قرار گرفتند، سپس با مایع سفیدکننده (هیپوکلریت سدیم) تجاری ۱۰ درصد به مدت یک دقیقه ضد عفونی و پس از آن ۱۰ دقیقه زیر جریان روان آب شسته شدند. بذرهای ضد عفونی شده در گلدان‌های تلقی حاوی ۴۵۰ سانتی‌متر مکعب مخلوط خاک مزرعه، پیت ماس و کمپوست (نسبت ۱:۱:۱) پاستوریزه

با تعداد ۱۰ یا کمتر از ۱۰ گره به عنوان مقاوم و گیاهان دارای بیشتر از ۱۰ گره به عنوان حساس در نظر گرفته می‌شوند (Taylor and Sasser, 1978). در ایران نیز گونه‌های *M. javanica*، *M. incognita* و *M. hapla* از مزارع چغندر قند مناطق مختلف اصفهان، دشت مغان، مشهد و همدان جداسازی و شناسایی شده‌اند (Mehdikhani Moghadam et al., 1996؛ Niknam and Kheiri, 1996؛ Karegar, 2006؛ Ommati and Giti, 2010؛ Omidvar, 1968؛ Akhiyani et al., 1993). ولی تاکنون هیچ‌گونه بررسی در مورد حساسیت و مقاومت ارقام چغندر قند در ایران صورت نگرفته است.

یکی از اهداف این مطالعه شناسایی منابع مقاومت چغندر قند نسبت به نماتد مولد گره ریشه و دیگری شناخت واکنش ارقام تجارتي مقاوم به نماتد سیستی، که هم‌اکنون در کشور کشت می‌شوند، در برابر نماتد مولد گره ریشه (*M. arenaria* و *M. javanica*) بود.

مواد و روش‌ها

جدایه‌های نماتد مولد گره ریشه: ریشه‌های چغندر قند آلوده به نماتد مولد گره ریشه از مزارع آلوده در شهرستان‌های جغتای و جوین در استان خراسان رضوی و همچنین یک نمونه از کشور آذربایجان جمع‌آوری شد. خالص‌سازی با استفاده از مایه‌زنی تک کیسه

پدری (جمعیت SB33)، والد مادری (7112×SB36)، نسلی [(7112×SB36)×SB33] حاصل از تلاقی والد پدری و مادری و ده فامیل نیمه‌خواهری جمعیت SB33 به همراه شاهد حساس جلگه و پائولتا با ۵۰۰ و ۷۵۰ لارو سن دوم نماتد *M. javanica* (جدایه‌های شهرستان جغتای و کشور آذربایجان) و *M. arenaria* مایه‌زنی شدند.

آزمایش سوم: در این آزمایش ارقام مقاوم به نماتد سیستمی چغندر قند شامل توکان، کاکتوس، سانتا، پائولتا، پائولینا، فرناندو، ساکارا و شکوفا به همراه یک فامیل نیمه‌خواهری جمعیت SB34 و شاهد حساس جلگه مایه‌زنی شده با ۵۰۰ لارو سن دوم *M. javanica* (جدایه شهرستان جغتای) مورد ارزیابی مقاومت قرار گرفتند.

ارزیابی حساسیت و مقاومت: در پایان هر آزمایش با غرقاب کردن گلدان‌ها درون آب، کل گیاهچه از داخل گلدان خارج و در زیر جریان آب شسته شد. ریشه تمامی گیاهچه‌ها برای شمارش تعداد گره با استفاده از استرئومیکروسکوپ بررسی شد. ارزیابی حساسیت و مقاومت بر اساس شمارش تعداد گره تشکیل شده روی ریشه‌های مایه‌زنی شده بر اساس درجات ۰:۰ گره، ۱:۱ تا ۲ گره، ۲:۳ تا ۱۰ گره، ۳:۱۱ تا ۳۰ گره، ۴:۳۱ تا ۱۰۰ گره و ۵: بیش از ۱۰۰ گره انجام شد. گیاهان با ۱۰ و کمتر از ۱۰ گره در گروه مقاوم و گیاهان با بیش از ۱۰ گره در گروه حساس طبقه‌بندی

شده جوانه زدند. پس از سبز شدن و در مرحله دو برگی، تعداد گیاهچه‌های هر گلدان به یک عدد کاهش یافت. در سه آزمایش جداگانه طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۲، مقاومت ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند در برابر گونه‌های *M. javanica* و *M. arenaria* ارزیابی شد.

مایه‌زنی گیاهچه‌ها: سوسپانسیون نماتد با غلظت ۵۰۰ عدد لارو سن دوم در یک میلی‌لیتر آب مقطر سترون تنظیم شد. دو ماه پس از کاشت بذرها، گیاهچه‌ها با ۵۰۰ (در یک مرحله) و ۷۵۰ (در دو مرحله) مولد گره ریشه با استفاده از سرنگ مایه‌زنی شدند. برای گیاهان شاهد نیز همان مقدار آب مقطر سترون (یک و ۱/۵ میلی‌لیتر) بدون نماتد در نظر گرفته شد. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با حداقل پنج و حداکثر ۲۵ تکرار برای هر تیمار، در گلخانه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند با دمای 22 ± 3 درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۰ روز نگهداری و در موقع نیاز آبیاری و با محلول‌های کودی تغذیه شدند.

آزمایش اول: در این آزمایش عکس‌العمل جمعیت SB34 و ۲۷ فامیل نیمه‌خواهری (Half-Sib Family) آن به همراه شاهد حساس پائولتا مایه‌زنی شده با ۷۵۰ لارو سن دوم نماتد *M. javanica* (جدایه شهرستان جغتای) بررسی شد.

آزمایش دوم: در آزمایش دوم والد

شدند (Taylor and Sasser, 1978). Mann-Whitney و Binomial استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون ناپارامتری Kruskal-Wallis با مقایسه میانگین‌های

نتایج و بحث

مشخصات ژرم پلاسما چغندر قند مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ژرم پلاسما چغندر قند ارزیابی شده در برابر نماتد مولد گره ریشه در گلخانه
Table 1. Sugar beet germplasm screened to root-knot nematode in greenhouse

جمعیت/لاین Population/Line	شجره Pedigree	جوانه‌زنی Germination	جمعیت/لاین Population/Line	شجره Pedigree	جوانه‌زنی Germination
SB ¹ 34	Bulk	Polygerm	34 HSF. ¹⁴	HSF.	Polygerm
SB33	Bulk	Polygerm	34 HSF. ¹⁷	HSF.	Polygerm
7112×SB36	Single cross	Monogerm	34 HSF. ¹⁸	HSF.	Polygerm
(7112×SB36)×SB33	Hybrid	Monogerm	34 HSF. ¹⁹	HSF.	Polygerm
33 HSF. ¹	HSF. ²	Polygerm	34 HSF. ²⁰	HSF.	Polygerm
33 HSF. ²	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²¹	HSF.	Polygerm
33 HSF. ³	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²²	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁴	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²⁴	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁵	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²⁵	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁶	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²⁶	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁷	HSF.	Polygerm	34 HSF. ²⁸	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁸	HSF.	Polygerm	34 HSF. ³¹	HSF.	Polygerm
33 HSF. ⁹	HSF.	Polygerm	34 HSF. ³²	HSF.	Polygerm
33 HSF. ¹⁰	HSF.	Polygerm	34 HSF. ³³	HSF.	Polygerm
34 HSF. ¹	HSF.	Polygerm	34 HSF. ³⁴	HSF.	Polygerm
34 HSF. ³	HSF.	Polygerm	34 HSF. ⁶⁰	HSF.	Polygerm
34 HSF. ⁴	HSF.	Polygerm	Cactus	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ⁵	HSF.	Polygerm	Fernando	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ⁶	HSF.	Polygerm	Paulina	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ⁷	HSF.	Polygerm	Sanetta	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ⁸	HSF.	Polygerm	Tucan	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ⁹	HSF.	Polygerm	Sucarra	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ¹⁰	HSF.	Polygerm	Shokufa	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ¹¹	HSF.	Polygerm	Pauletta	Cultivar	Monogerm
34 HSF. ¹³	HSF.	Polygerm	Jolgeh	Cultivar	Monogerm

1. SB: Sugar Beet

2. HSF: Half-Sib Family

شده از کشور آذربایجان (جدایه باکو) و شهرستان جغتای (جدایه ایرانی) به گونه *Meloidogyne javanica* و جدایه خالص شده از شهرستان جوین (جدایه ایرانی) به نژاد دوم گونه *M. arenaria* تعلق داشتند. نتایج حاصل از آزمایش اول: نتایج حاصل از

گونه نماتد: پس از خالص سازی و تکثیر تک توده تخم، شناسایی گونه بر اساس خصوصیات ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی نماتد ماده بالغ، لارو سن دوم و نماتد نر با استفاده از منابع موجود انجام شد (Taylor and Sasser, 1978)؛ (Jepsen, 1983). جدایه‌های نماتدی خالص

مقاوم طبقه‌بندی شدند. تمامی گیاهچه‌های نسل $F_1[(7112 \times SB36) \times SB33]$ حاصل از تلاقی والد پدری و مادری و تمامی گیاهچه‌های فامیل‌های نیمه‌خواه‌ری جمعیت SB33 فاقد بوته حساس بوده و جزو گروه مقاوم دسته‌بندی شدند. والد مادری (7112×SB36) و هر دو رقم جلگه و پائولتا (به عنوان شاهد حساس) در تمامی تکرارها بیش از ۱۰ گره داشته و در گروه حساس قرار گرفتند. میانگین تعداد گره‌های شمارش شده در سه ژنوتیپ حساس اختلاف آماری معنی‌داری با یک‌دیگر نداشتند ($P \geq 0.05$). مقایسه میانگین تعداد گره‌های تشکیل شده در ژنوتیپ‌های مایه‌زنی شده با هر سه جدایه مختلف نشان داد که ارقام حساس جلگه، پائولتا و والد مادری با ژنوتیپ‌های مقاوم شناخته شده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ داشتند (جدول ۳). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که جمعیت SB33 دارای ژن(های) کنترل‌کننده مقاومت به دو گونه نماتد مولد گره ریشه *M. javanica* و *M. arenaria* هستند. وجود مقاومت در نسل F_1 حاصل از تلاقی والد پدری و مادری نشان داد که مقاومت در این جمعیت از نوع غالب بوده و به گونه‌های مختلف نماتد مولد گره ریشه جدایه‌های ایران و همین‌طور جدایه کشور آذربایجان مقاومت دارند.

نتایج حاصل از آزمایش سوم: در آزمایش سوم ریشه ارقام توکان، کاکتوس، سانتا، پائولتا، پائولینا، فرناندو، ساکارا و شکوفا مایه‌زنی

بررسی ریشه گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با لاروهای سن دوم *M. javanica* (جدایه ایرانی) نشان داد که تنها در یک گیاهچه از ژنوتیپ‌های 34HSF.6 و 34HSF.19 و در تمامی گیاهچه‌های رقم پائولتا بیش از ۱۰ گره مشاهده شده و این گیاهچه‌ها در گروه حساس طبقه‌بندی شدند. یک گیاهچه از ژنوتیپ 34HSF.20 دارای هفت گره و سایر گیاهچه‌های مربوط به ژنوتیپ‌های مختلف نیز فاقد گره بود و تمامی این گیاهان در گروه مقاوم طبقه‌بندی شدند (Taylor and Sasser, 1978). نتایج بررسی‌های آماری نیز نشان داد که جمعیت SB34 و تمامی فامیل‌های نیمه‌خواه‌ری حاصل از آن با میانگین تعداد گره کمتر از ۱۰ در گروه مقاوم قرار گرفته و اختلاف آماری معنی‌داری با یک‌دیگر نداشتند ($P \geq 0.05$). رقم پائولتا نیز با میانگین تعداد گره ۱۱۲ در گروه حساس طبقه‌بندی شد و با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف آماری در سطح احتمال ۵٪ داشت (جدول ۲). نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر آن بود که جمعیت SB34 دارای ژن(های) مقاومت به نماتد مولد گره ریشه هستند.

نتایج حاصل از آزمایش دوم: بر اساس نتایج حاصل از شمارش تعداد گره‌ها روی ریشه گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با ۷۵۰ و ۵۰۰ لارو سن دوم *M. javanica* (جدایه ایرانی و جدایه باکو) و نژاد دو *M. arenaria* تمامی گیاهچه‌های والد پدری (SB33) جزو گیاهان

جدول ۲- مقایسه میانگین تعداد گره در ریشه و واکنش تعدادی از ژنوتیپ‌های چغندر قند نسبت به جدایه ایرانی نماتد

Table 2. Mean number of galls and response of some sugar beet genotypes to Iranian isolate of *Meloidogyne javanica* in the first experiment

ژنوتیپ	میانگین تعداد گره در ریشه	واکنش	ژنوتیپ	میانگین تعداد گره در ریشه	واکنش
Genotype	Mean number of galls per root	Response	Genotype	Mean number of galls per root	Response
SB34	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 19	4 ^{ns}	Resistant, class 2
34HSF. 1	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 20	1.4 ^{ns}	Resistant, class 1
34HSF. 3	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 21	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 4	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 22	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 5	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 24	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 6	4.8 ^{ns}	Resistant, class 2	34HSF. 25	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 7	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 26	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 8	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 28	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 9	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 31	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 10	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 32	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 11	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 33	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 13	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 34	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 14	0 ^{ns}	Resistant, class 0	34HSF. 60	0 ^{ns}	Resistant, class 0
34HSF. 17	0 ^{ns}	Resistant, class 0	Pauletta	112 [~]	Susceptible, class 5
34HSF. 18	0 ^{ns}	Resistant, class 0			

* افراد حساس دارای اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد.

^{ns} افراد مقاوم، فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال پنج درصد.

* Susceptible individuals have significant differences at the 5% probability level.

^{ns} Resistant individuals, no significant difference at the 5% probability level.

گروه ۰: ۰ گره (مقاوم)؛ گروه ۱: ۱ تا ۲ گره (مقاوم)؛ گروه ۲: ۳ تا ۱۰ گره (مقاوم) و گروه ۵: بیش از ۱۰۰ گره (حساس) (Taylor and Sasser, 1978).

Class 0: 0 gall (resistant); class 1: 1-2 galls (resistant); class 2: 3-10 galls (resistant) and class 5: more than 100 galls (susceptible) (Taylor and Sasser, 1978).

خواه‌ری جمعیت SB33، نسل $F_1[(7112 \times SB36) \times SB33]$ حاصل از تلاقی والد پدری و مادری و جمعیت SB34 و فامیل‌های نیمه خواه‌ری این جمعیت در گروه مقاوم و والد مادری (7112×SB36)، ارقام جلگه، توکان، کاکتوس، سانتا، پائولثا، پائولینا، فرناندو، ساکارا و شکوفادر گروه حساس طبقه‌بندی شدند. ویژگی مقاومت به دو گونه نماتد در جمعیت SB33 کارآیی به‌نژادی چغندر قند را جهت انتقال ژن به لاین‌های در حال توسعه تسهیل کرده و ارزش ژنتیکی آن را افزایش می‌دهد. مطالعات سایر محققین نیز حاکی از شناسایی برخی ارقام مقاوم چغندر قند

شده با ۵۰۰ لارو سن دوم گونه *M. javanica* (جدایه ایرانی) دارای گره و کیسه‌های تخم کاملاً مشخص بودند. بررسی‌ها نشان داد که در بیشتر تکرارهای ارقام مورد بررسی تعداد گره بیش از ۱۰۰ عدد بود. تمامی این ارقام در گروه حساس طبقه‌بندی شدند. تمامی گیاهچه‌های فامیل نیمه خواه‌ری جمعیت SB34 فاقد گره بوده و در گروه مقاوم قرار گرفته (جدول ۴) و در طبقه‌بندی تیلور و ساسر هم در گروه صفر دسته‌بندی شدند (Taylor and Sasser, 1978).

نتایج کلی حاصل از این تحقیق نشان داد که جمعیت SB33 (والد پدری)، فامیل‌های نیمه

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد گره در ریشه تعدادی از ژنوتیپ‌های چغندر قند نسبت به نماتد مولد گره ریشه در شرایط گلخانه در آزمایش دوم

Table 3. Mean number of galls per root of some sugar beet genotypes to root-knot nematode greenhouse condition in the second experiment

ژنوتیپ	گونه نماتد	تعداد لارو	میانگین تعداد گره در ریشه
Genotype	Nematode Species	Number of Juvenile	Mean number of galls per root
SB33	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	0.08 ^{ns}
7112×SB36	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	243.2*
(7112×SB36)×SB33	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	0.2 ^{ns}
33HSF. 1	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	0 ^{ns}
Pauletta	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	231*
Jolgeh	<i>Meloidogyne javanica</i>	750	292*
33HSF. 2	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 3	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 4	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 5	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 6	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 7	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
33HSF. 8	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	0 ^{ns}
Pauletta	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	131*
Jolgeh	<i>Meloidogyne javanica</i>	500	107*
33HSF. 9	<i>Meloidogyne javanica</i> ¹	500	0 ^{ns}
Pauletta	<i>Meloidogyne javanica</i> ¹	500	85.5*
Jolgeh	<i>Meloidogyne javanica</i> ¹	500	114*
33HSF. 10	<i>Meloidogyne arenaria</i>	500	0 ^{ns}
Pauletta	<i>Meloidogyne arenaria</i>	500	113.3*
Jolgeh	<i>Meloidogyne arenaria</i>	500	135*

¹ جدایه باکو. بقیه گونه‌ها جدایه‌های ایرانی هستند.

¹ Bakoo isolate. The other species are Iranian isolates.

* افراد حساس دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر جدایه.

^{ns} افراد مقاوم، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد برای هر جدایه.

* Susceptible individuals have significant differences at the 5% probability level for each isolate.

^{ns} Resistant individuals, no significant difference at the 5% probability level for each isolate.

دیگری نیز حساسیت ده ژنوتیپ Ds9004، Lp16، Lp15، Toro، Rosana، Disk-01-99، Swallow و Monte Rosa، Rhist، Ds-9007 چغندر قند را نسبت به *M. incognita* در شرایط گلخانه نشان داده است (Korayem et al., 2012). در مطالعه اثر *M. incognita* بر پاسخ‌های رشدی ارقام Raspoly و Oscarpoly مشخص شده است که این ارقام حساس بوده و رقم Raspoly در سطح زادمایه ۳۰۰۰ نماتد در آزمایش گلخانه‌ای خسارت قابل توجهی می‌بیند

نسبت به نماتد مولد گره ریشه است. در بررسی واکنش ۲۶ رقم چغندر قند نسبت به نماتد مولد گره ریشه (*M. incognita* و *M. javanica*) در مصر ارقام Desprez Av Poly، Delamon، Strio 11628 و KWS 796، FD 9291 شرایط مزرعه‌ای به عنوان مقاوم و رقم Hilma جزء گروه بسیار حساس طبقه‌بندی شدند. در شرایط گلخانه نیز مشخص شد که جمعیت نهایی، سرعت نفوذ، تولید مثل و بلوغ نماتد در ارقام Delamon و KWS 796 پایین بود (Maareg et al., 1998). مطالعات محققین

جدول ۴- واکنش تعدادی از ژنوتیپ‌های چغندر قند مقاوم به نماتد سیستی، نسبت به جدایه ایرانی نماتد *Meloidogyne javanica* در شرایط گلخانه

Table 4. Response of some sugar beet genotypes resistant to cyst nematode, against Iranian isolate of *Meloidogyne javanica* in greenhouse in the third experiment

ژنوتیپ Genotype	میانگین تعداد گره در ریشه Mean number of galls per root ¹	واکنش Response ²
Jolgeh	460a	Susceptible, class 5
Shokufa	435.3a	Susceptible, class 5
Tucan	369.7ab	Susceptible, class 5
Sanetta	278.2bv	Susceptible, class 5
Paulina	236.6cd	Susceptible, class 5
Cactus	186.9ce	Susceptible, class 5
Fernando	181.2de	Susceptible, class 5
Pauletta	177.7e	Susceptible, class 5
Sucarra	140.7e	Susceptible, class 5
34HSF ₅	0F	Resistant, class 0

¹ حروف مشابه در ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار است ($P \geq 0.05$).

² Similar letters in column are not significantly different ($P \geq 0.05$).

³ گروه ۰: ۰ گره (مقاوم) و گروه ۵: بیش از ۱۰۰ گره (حساس) (Taylor and Sasser, 1978).

² Class 0: 0 gall (resistant) and class 5: more than 100 galls (susceptible) (Taylor and Sasser, 1978).

که گونه‌های *Beta patellaris* Moq. و *B. procumbens* Chr. Sm. دارای سطح بالای مقاومت به نماتد سیستی (*Heterodera schachtii* Schm.) و فاقد مقاومت به گونه‌های *Meloidogyne* بودند (Golden, 1959). در مطالعه دیگری گونه *B. procumbens* تنها به سه گونه *M. hapla* و *M. incognita*، *M. javanica* مقاوم، اما به دو گونه *M. arenaria* و *M. naasi* حساس است. دو گونه *B. patellaris* و *B. webbiana* نیز به پنج گونه مذکور نماتد مولد گره ریشه حساس بود (Di Vito, 1983). نتایج یافته‌های دیگری نشان داد که گونه *B. procumbens* دارای مقاومت

(Ismail et al., 1996). از سوی دیگر مقاومت شناخته شده در جمعیت SB33 نسبت به دو جدایه *M. javanica* و گونه *M. arenaria* مؤثر است. این نتایج مشابه یافته‌های سایر محققین می‌باشد که دریافتند گونه *Beta vulgaris* ssp. *maritima* نسبت به شش گونه نماتد مولد گره ریشه مقاومت دارد (Yu et al., 1999).

میانگین تعداد گره در ریشه تمامی ارقام توکان، کاکتوس، سانتا، پائولتا، پائولینا، فرناندو، ساکارا و شکوفا که مقاوم به نماتد سیستی (*Heterodera schachtii*) هستند، بیش از ۱۰۰ عدد بود و لذا میزبان حساس نماتد مولد گره ریشه بودند که با نتایج برخی تحقیقات شباهت دارد. مطالعات مشابه داد (Yu, 1984)

گروه مقاوم دسته‌بندی شدند. در این بررسی گره‌های با اندازه‌های مختلف در ژنوتیپ‌های حساس تشکیل شده که برخی از آن‌ها با چشم غیر مسلح قابل دیدن بود، ولی اکثر گره‌ها کوچک و تنها با چشم مسلح مشاهده شد. همچنین ریشه کم و نامناسب جهت مایه‌زنی نماتد کمتر مؤثر بود؛ چون تنها تعداد معدودی گره ریشه را القاء می‌کند، در حالی که گیاهان با سیستم ریشه‌ای سالم به طور مثبت کارآیی مایه‌زنی را افزایش داده و ارزیابی مقاومت گیاهان را تسهیل می‌کنند (Yu, 1995). شرایط محیطی، شدت نور و درجه حرارت نیز می‌تواند در یک گلخانه تغییر کند و به طور معنی‌داری تعامل بین گیاه آزمایشی و نماتد مولد گره ریشه را تحت تأثیر قرار دهد. درجه حرارت پایین توسعه نماتدها را کاهش داده و گره‌زایی را به تأخیر می‌اندازد، در حالی که درجه حرارت بالای خاک ممکن است پاسخ مقاومت را تغییر دهد، بنابراین بسیار مهم است که ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به نماتد مولد گره ریشه به عنوان استاندارد در هر آزمایشی برای کم کردن تغییرات در شرایط آزمایش گنجانده شوند (Hussey and Boerma, 1981). در این تحقیق نیز ارقام جلگه و پائولتا به عنوان شاهد حساس استفاده شدند و در تمامی آزمایش‌ها نیز این دو رقم با تعداد گره بیش از ۱۰ عدد در گروه حساس قرار گرفته و این نتایج حاکی از شرایط محیطی مساعد گلخانه در غربال مقاومت

نسبی به شش گونه نماتد مولد گره ریشه است (Van Geyt et al., 1990). شیوه نفوذ و مهاجرت لاروهای سن دوم *M. incognita* در ریشه چغندر قند مشابه *H. schachtii* است. در ارقام مقاوم چهار روز پس از مایه‌زنی لاروها، تشکیل سلول‌های پرستار شروع می‌شود. ده روز پس از مایه‌زنی در ارقام مقاوم، لاروها و سلول‌های پرستار رو به زوال رفته و معمولاً ۲۵ روز پس از مایه‌زنی در اکثر موارد سلول پرستار کاملاً از هم پاشیده شده و لاروها نیز کاملاً از بین می‌روند و قابل شناسایی نیستند. به عبارت دیگر مکانیزم مقاومت چغندر قند نسبت به نماتد سیستی و مولد گره ریشه جلوگیری از بلوغ لاروها به ماده بالغ است (Yu and Steele, 1981)، در حالی که در اکثر گیاهان دیگر مقاوم به نماتد مولد گره ریشه، لاروها چهار تا هفت روز پس از مایه‌زنی، با عدم تشکیل جایگاه تغذیه ریشه را ترک می‌کنند یا می‌میرند (Williamson, 1998؛ Hadisoeganda and Sasser, 1982؛ Griffin et al., 1977). در این مطالعه نیز وجود گره در برخی گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های مقاوم SB33، فامیل‌های نیمه خواهری جمعیت SB34 و نسل F₁، حاکی از نفوذ موفقیت‌آمیز لاروها درون ریشه بود که موفق به برقراری ارتباط تغذیه‌ای با میزبان خود شدند، ولی مراحل توسعه بعدی و توسعه نماتد ماده بالغ و تولید مثل (تشکیل کیسه تخم) رخ نداده و تعداد گره در این ژنوتیپ‌ها کمتر از ۱۰ عدد بوده و لذا در

به نماتد سیستمی مقاوم هستند، در برابر نماتد مولد گره ریشه خسارت می‌بینند و بایستی ارقام مقاوم به نماتد مولد گره ریشه با توجه به وجود ژرم پلاسما مقاوم (گرده‌افشان‌های باز SB33 و SB34) توسعه یابند. در پژوهش‌های کاربردی به‌نژادی می‌توان مقاومت به نماتد مولد گره ریشه را به ارقام مقاوم به نماتد سیستمی منتقل و ارقام با مقاومت دوگانه نسبت به هر دو نماتد تهیه و در دسترس کشاورزان قرار داد.

بود. با وجود این، تعداد گره‌های تشکیل شده در این ارقام حساس در سه آزمایش گلخانه‌ای جداگانه با یکدیگر متفاوت بود که این می‌تواند به دلیل تفاوت سیستم ریشه‌ای گیاهچه‌های مختلف باشد، چرا که تعداد گره بیشتری در گیاهچه‌های با حجم ریشه بیشتر تشکیل شده می‌شود. تمامی ارقام حساس در هر سه آزمایش همچنان در گروه حساس قرار گرفته و هیچ رقم حساسی در گروه مقاوم طبقه‌بندی نشد. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که کلیه ارقام تجارتي موجود در کشور که

References

- Akhiyani, A., Damadzadeh, M., and Ahmadi, A. R. 1993.** Identification of plant parasitic nematodes in sugar beet fields in Esfahan. Proceedings of the 11th Iranian Plant Protection Congress. Rasht, Iran. Page 123 (in Persian).
- Altman, J., and Thomason, I. 1971.** Nematodes and their control. pp. 335-370. In: Russell, T. J., John, T. A., George, E. R., and George, R. H. (eds.) Advances in Sugar Beet Production, Principles and Practices. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Arnold, E. S. 1984.** Nematode parasites of sugar beet. pp. 507-569. In: Nickle, W.R. (ed.) Plant and Insect Nematodes. Marcel Dekker Inc., New York and Basel, USA. 925 pp.
- Bakooie, M., Mahmoudi, S. B., Pourjam, E., and Safaie, N. 2015.** Optimal inoculum levels for resistance screening of sugar beet to root-knot nematode under greenhouse condition. Journal of Sugar Beet 30(2): 157-166 (in Persian).
- Biancardi, E., McGrath, J. M., Panella, L. W., Lewellen, R. T., and Stevanato, P. 2010.** Sugar Beet. pp. 173-219. In: Bradshaw, J.E.(ed.). Root and Tuber Crops. Handbook of Plant Breeding Volume 7. Springer Science+Business Media, LLC, New York, USA.

- Di Vito, M. 1983.** Reaction of *Beta* spp. to root knot nematodes. *Journal of Nematology* 15(1): 144-145.
- Duffus, J. E., and Ruppel, E. G. 1993.** Diseases. pp. 347-427. In: Cook, D.A., and Scott, R.K. (eds.). *The Sugar Beet Crop*. Chapman and Hall, London, UK.
- El-Nagdi, W. M. A., Youssef, M. M. A., and Moustafa, Z. R. 2004.** Reaction of sugar beet varieties to *Meloidogyne incognita* root knot nematode based on quantitative and qualitative yield characteristics. *Pakistanian Journal of Nematology* 22: 157-165.
- Golden, A. M. 1959.** Susceptibility of several *Beta* species to the sugar-beet nematode (*Heterodera schachtii*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Journal of American Society of Sugar Beet Technologists* 10: 444-447.
- Griffin, G. D., and Elgin Jr, J. H. 1977.** Penetration and development of *Meloidogyne hapla* in resistant and susceptible alfalfa under differing temperatures. *Journal of Nematology* 9: 51-56.
- Hadisoeganda, W. W., and Sasser, J. N. 1982.** Resistance of tomato, bean, southern pea, and garden pea cultivars to root-knot nematodes based on host suitability. *Plant Disease* 66: 145-150.
- Hussey, R. S., and Boerma, H. R. 1981.** A greenhouse screening procedure for root-knot nematode resistance in soybean. *Crop Science* 21: 794-796.
- Ibrahim, I. K. A. 1982.** Species and races of root-knot nematodes and their relationship to economic host plants in northern Egypt. pp: 66-84. In: *Proceeding of the 3rd Research and Planning Conference on Root-Knot Nematodes Meloidogyne spp.* Coimbra, Portugal.
- Ismail, A. E., Aboul-Eid, H. Z., and Besheit, S. Y. 1996.** Effects of *Meloidogyne incognita* on growth response and technological characters of certain sugar beet varieties. *Afro-Asian Journal of Nematology* 6(2): 195-202.
- Janati, A., Aouragh, E. H., and Meskine, M. 1982.** The root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. in Morocco. pp. 85-93. In: *Proceeding of the 3rd Research and Planning Conference on Root Knot Nematodes Meloidogyne spp.* Coimbra, Portugal.
- Jepsen, S. B. 1983.** Identification of *Meloidogyne*: a general assessment and a comparison of male morphology using light microscopy, with a key to 24 species. *Revue Nematology* 6(2): 291-309.

- Karegar, A. 2006.** Identification of plant-parasitic nematodes associated with sugar beet and their distribution in Hamedan Province, Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 42: 159-178 (in Persian).
- Korayem A. M., El-Bassiouny H. M. S., Abd El-Monem A. A., and Mohamed M. M. M. 2012.** Physiological and biochemical changes in different sugar beet genotypes infected with root-knot nematode. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 1847-1861.
- Maareg, M. F., Hassanein, M. A., Allam, A. I., and Oteifa, B. A. 1998.** Susceptibility of twenty six sugar beet varieties to root knot nematodes *Meloidogyne* spp. in the newly reclaimed sandy soils of Al-Bostan region. *Egyptical Journal of Agronematology* 2(1): 111-125.
- Mahmoudi, B., Vaziri, A., and Abdollah, A. 2009.** Sugar Beet Pests, Diseases and Weeds in Baghlan. *FAO Reporter*. 63 pp.
- Mehdikhani Moghadam, E., Keiri, A., and Okhovat, M. 1996.** Morphological and morphometrical study of three endoparasitic nematodes of sugar beet in Mashhad region. *Iranian Journal of Plant Pathology* 32(1,2): 1-15 (in Persian).
- Niknam, G., and Kheiri, A. 1996.** Identification of plant parasitic nematodes (Tylenchida) in Moghan fields. *Journal of Agricultural Science* 7(1,2): 1-33.
- Nobre Maleita, C. M., Cunha Curtis, R. H., John Powers, S., and Abrantes, I. 2012.** Host status of cultivated plants to *Meloidogyne hispanica*. *European Journal of Plant Pathology* 133: 449-460.
- Omidvar, A. M. 1968.** Plant Parasitic Nematodes, Behavior, Biology, Systematics and Their Control. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. 192 pp. (in Persian).
- Ommati, F., and Giti, M. 2010.** Identification and spread of sugar beet parasitic nematodes of Semnan province. *Proceedings of the 19th Iranian Plant Protection Congress, Tehran, Iran.* Page 5495 (in Persian).
- Panella, L., and Lewellen, R. T. 2007.** Broadening the genetic base of sugar beet: introgression from wild relatives. *Euphytica* 154: 383-400.
- Sasser, J. N., and Carter, C. C. 1985.** An Advanced Treatise on Meloidogyne. Volume I: Biology and Control. A Cooperative Publication of the Department of Plant Pathology and the United States Agency for International Development, North Carolina State University Graphics, Raleigh, North Carolina, USA. 223 pp.

- Taylor, A. L., and Sasser, J. N. 1978.** Biology, Identification and Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species). Raleigh: North Carolina State University Graphics, USA. 111 pp.
- Van Geyt, J. P. C., Lange, W., Oleo, M., and De Bock Th. S. M. 1990.** Natural variation within the genus *Beta* and its possible use for breeding sugar beet: a review. *Euphytica* 49: 57-76.
- Weiland, J. J., and Yu, M. H. 2003.** A cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) marker associated with root-knot nematode resistance in sugar beet. *Crop Science* 43: 1814-1818.
- Whitehead, A. G. 1969.** The distribution of root-knot nematode, *Meloidogyne* spp. in tropical Africa. *Nematologica* 15: 315-333.
- Whitney, E. D., and Duffus, E. 1986.** Compendium of Beet Disease and Insects. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 76 pp.
- Williamson, V. M. 1998.** Root-knot nematode resistance genes in tomato and their potential for future use. *Annual Review of Phytopathology* 36: 277-293.
- Yu, M. H. 1984.** Resistance to *Heterodera schachtii* in *Patellares* section of the genus *Beta*. *Euphytica* 33: 633-640.
- Yu, M. H. 1995.** Root-knot nematode development and root gall formation in sugar beet. *Journal of Sugar Beet Research* 32(1): 47-58.
- Yu, M. H., and Steele, A. E. 1981.** Host-parasite interaction of resistant sugar beet and *Heterodera schachtii*. *Journal of Nematology* 13(2): 206-212.
- Yu, M. H., Heijbroek, W., and Pakish, L. M. 1999.** The sea beet source of resistance to multiple species of root-knot nematode. *Euphytica* 108: 151-155.