



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Breeding for resistance to rhizoctonia root rot in sugar beet- A review

Seyed Bagher Mahmoudi¹, Mozhdeh Kakueinezhad^{2*}, Parviz Fasahat², Mehdi Hassani², Jamshid Soltani Idliki³, Hamze Hamze⁴, Masoud Ahmadi²

(Received: 31 May. 2026; Accepted: 22 August. 2026)

How to cite this article:

Mahmoudi SB, Kakueinezhad M, Fasahat P, Hassani M, Soltani Idliki J, Hamze H, Ahmadi M. Breeding for resistance to rhizoctonia root rot in sugar beet. Journal of Sugar Beet. 2026; (41)2. 175-194. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2026.372949.1409

Extended Abstract

Introduction

Rhizoctonia root rot is one of the most important diseases limiting sugar beet production, particularly in spring-sown sugar beet in Iran. The disease is mainly caused by the soil-borne fungus *Rhizoctonia solani* Kühn, especially anastomosis group AG-2-2 IIIB. Its long-term survival in soil as sclerotia and mycelium, together with its broad host range, makes effective disease management difficult. Depending on environmental conditions and pathogen pressure, disease severity may range from minor damage to more than 60% reduction in root yield loss and a 5–10% reduction in extractable white sugar. Under severe disease pressure, the disease can lead to complete crop failure. Symptoms include seedling damping-off during early growth stages and crown and root rot in later growth stages. Therefore, the development and deployment of genetically resistant cultivars represent an essential component of sustainable disease management.

Materials and Methods

A comprehensive review and synthesis of research conducted in Iran and other countries on the genetic resistance of sugar beet to *R. solani* were undertaken. Studies involving conventional breeding, artificial inoculation, field and greenhouse screening, microplot evaluation, genetic mapping, QTL analysis, and molecular marker development were critically examined. Particular attention was given to the

inheritance of resistance, resistant germplasm, evaluation methodologies, development of O-type and pollinator lines, hybrid breeding, and the application of molecular markers for marker-assisted selection. The optimized field microplot method, involving artificial inoculation with *R. solani*-colonized maize kernels and disease assessment using a 1–9 rating scale, was considered as a reliable approach for screening breeding materials for resistance to Rhizoctonia root rot.

Results and Discussion

Resistance to *R. solani* in sugar beet is generally considered a quantitative and polygenic trait, with incomplete dominance and the involvement of at least two major genes together with minor genes having variable effects. QTL mapping studies have identified important resistance loci on chromosomes four, five, and seven, which together account for approximately 71% of the observed phenotypic variation. In addition, the SNP marker RsBv1 on chromosome six has been validated across different genetic backgrounds. An allele-specific molecular marker associated with resistance has also recently been developed in Iran, providing an opportunity to accelerate the selection of resistant genotypes.

Reliable and standardized phenotyping is essential for successful resistance breeding. Conventional field trials based on artificial inoculation are affected by environmental variation and are generally limited to one evaluation cycle per year. Greenhouse screening methods, including toothpick inoculation and the use of infected millet or barley seeds, provide controlled conditions for resistance assessment. Among field-

1. Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2. Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding author: m.kakuei@gmail.com

3. Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

4. Sugar Beet Seed Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran.



based approaches, the optimized microplot method has demonstrated particular value for precise screening. In this method, plots are inoculated with infected maize kernels colonized by *R. solani*, regularly irrigated, and evaluated approximately two months after inoculation using a 1–9 disease severity scale. Disease and harvest indices can subsequently be calculated, with roots scoring 1–3 generally classified as resistant. This method is routinely applied at the Hamedan and Kermanshah research stations for screening O-type and pollinator lines.

Breeding efforts in Iran have resulted in the development and identification of resistant full-sib (S1) pollinator lines from resistance-gene-carrying populations available in the gene bank of the Sugar Beet Seed Institute. Screening programs have identified superior resistant lines and base populations. Resistant O-type lines have also been identified under artificial inoculation and incorporated into the production of maternal single crosses. Resistant hybrids are generally developed through three-way crosses involving a resistant pollinator parent and a resistant or partially resistant maternal single-cross parent. The combination of resistance in both parental components is expected to provide more stable resistance in commercial hybrids. Given the diversity of fungal and fungus-like pathogens responsible for root rot in Iranian soils, identifying lines resistant to *Rhizoctonia* could provide a basis for developing lines with resistance or tolerance to other soil-borne pathogens as well.

Several Iranian cultivars with relative resistance to *R. solani* have been released, including Ekbatan, in which resistance was mainly contributed by the pollinator parent, as well as Sina, Dena, and Donya. The latter cultivars combine resistance to *rhizoctonia* root rot and *rhizomania* with improved yield performance. Because *rhizomania* is widely prevalent in Iran, cultivars possessing resistance only to *rhizoctonia*, such as Ekbatan, have experienced limited adoption. Consequently, simultaneous incorporation of resistance to both pathogens is considered an important breeding objective. Among licensed imported cultivars, approximately 22% (60 cultivars) possess resistance to *rhizoctonia* root rot, and most of these also carry resistance to *rhizomania*.

Conclusion

The availability of resistant germplasm, standardized phenotyping methods, particularly the microplot technique, and molecular markers has created favorable conditions for the development of *rhizoctonia*-resistant sugar beet cultivars. Integrating molecular markers with conventional selection can accelerate the identification of resistant genotypes and reduce the time required for cultivar development and release. Given the increasing challenges associated with drought and climate change in spring cultivation and the expansion of autumn sowing, particularly in Khuzestan where late-season root rot has become increasingly important, resistance to

R. solani should be incorporated into breeding programs for both spring- and autumn-sown sugar beet. The use of resistant commercial cultivars as sources of resistance genes and the establishment of appropriate resistant gene pools are recommended as key strategies for future breeding programs. Genetic resistance should also be complemented by integrated disease management practices, including appropriate crop rotation, avoidance of highly susceptible preceding crops such as soybean and maize, timely chemical control, and biological control.

Keywords: Disease evaluation, Genetic resistance, Molecular markers, *Rhizoctonia solani*

References

- Norouzi P, Tork N, Kakueinezhad M, Mahmoudi SB, Maleki M. Development of a repulsive molecular marker linked to *Rhizoctonia* resistance gene(s) in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2025; 40(1):13-30. (In Persian). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.365710.1360>
- Mansouri H, Hamze H, Hassani M. Determining the appropriate time for evaluating the resistance of sugar beet roots to *Rhizoctonia* rot under microplot conditions based on growing degree days (GDD). *Journal of Sugar Beet*. 2023; 39(1):67-76. (In Persian with English abstract). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.364027.1336>
- Rafiei V, Velez H, Dixelius C, Tzelepis G. Advances on molecular interactions on the *Rhizoctonia solani*-sugar beet pathosystem. *Fungal Biology Reviews*. 2023; 44:100297. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.11.005>



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

اصلاح برای مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در چغندرقد

سید باقر محمودی^۱، مژده کاکویی نژاد^۲، پرویز فصاحت^۳، مهدی حسنی^۴، جمشید سلطانی ایدلیکی^۴، حمزه حمزه^۵، مسعود احمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۳۱

نوع مقاله: مروری

DOI: 10.22092/jsb.2026.372949.1409

س.ب. محمودی، م. کاکویی نژاد، پ. فصاحت، م. حسنی، ج. سلطانی ایدلیکی، ح. حمزه، م. احمدی، ۱۴۰۵. اصلاح برای مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی

ریشه در چغندرقد. چغندرقد ۴۱(۲): ۱۷۵-۱۹۴

چکیده

پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه از مهم‌ترین بیماری‌های کشت بهاره چغندرقد در ایران به شمار می‌رود. عامل این بیماری، قارچی خاک‌زاد است که به دلیل توانایی بقا و پایداری طولانی‌مدت در خاک، مدیریت بیماری با چالش‌های قابل توجهی همراه است. یکی از روش‌های مؤثر کاهش خسارت این بیماری استفاده از ارقام مقاوم به بیمارگر است. اصلاح و تهیه ارقام مقاوم نیازمند دسترسی به منابع ژنتیکی مقاوم، توسعه روش‌های دقیق ارزیابی مقاومت و شناسایی لاین‌های برتر اصلاحی است. با توجه به وجود توده‌های اصلاحی مقاوم به بیمارگر، امکان تهیه لاین‌های مقاوم فراهم شد. به منظور دستیابی به این هدف، روش فنوتیپی ارزیابی مقاومت در میکروپلات بهینه‌سازی شد و لاین‌های مقاوم شناسایی و توسعه یافتند. بررسی مطالعات نشان داد که در ایران بیمارگر *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB شیوع دارد و جدایه با شدت بیماریزایی بالا (Rh133) شناسایی و مورد استفاده قرار گرفت. پژوهش‌های انجام‌شده منجر به معرفی ارقام تجاری مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی شد و اولین رقم مقاوم به نام اکباتان معرفی شد. با توجه به اینکه در کشت بهاره چغندرقد، بیماری ریزومانیا نیز یکی از تهدیدهای مهم به شمار می‌رود و اگر رقمی صرفاً به بیمارگر ریزوکتونیا مقاوم باشد، در عرصه تولید موفق نخواهد بود، متخصصان اصلاح نباتات مقاومت به هر دو بیماری را در لاین‌ها تثبیت و ارقام سینا، دنا و دنیا را معرفی نمودند. این مقاله ضمن مرور فعالیت‌های پیشین، مسیر توسعه و تولید ارقام جدید سازگار با شرایط ایران را تبیین کرده و راهکارهایی برای مدیریت پوسیدگی انتهای فصل در کشت پاییزه چغندرقد را نیز ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *Rhizoctonia solani*، ارزیابی بیماری، مقاومت ژنتیکی، نشانگرهای مولکولی

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

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

* - نویسنده مسئول: m.kakuei@gmail.com

۳. دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

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

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



مقدمه

پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه از عوامل مهم بیماری‌زا و محدودکننده زراعت و تولید چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) در کشور به شمار می‌رود و در مراحل مختلف رشد ریشه، تهدید جدی برای این گیاه محسوب می‌شود. پوسیدگی بذر و مرگ گیاهچه از جمله بیماری‌های مراحل اولیه رشد محصول و پوسیدگی ریشه و طوقه و بلایت برگی از بیماری‌های مراحل بعدی رشد چغندرقد هستند (Mahmoudi et al. 2004). پیشگامان اصلاح ارقام چغندرقد در برابر بیماری‌های ریزوکتونیایی، مقاومت ژنتیکی را مؤثرترین روش کنترل این بیماری دانستند (Gaskill et al. 1970) و تا دهه ۷۰ شمسی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA-ARS) بالغ بر ۱۷ ژرم پلاسما مقاوم به *R. solani* را عرضه کرد. اگرچه متخصصان اصلاح نباتات موفق به ایجاد ارقام مقاوم به بیماری‌های قارچی مختلف شده‌اند اما آن‌ها دائماً با نژادهای جدید بیمارگرهای قارچی مواجه‌اند که مشکلات جدیدی را ایجاد می‌نمایند (Cornelissen et al. 1996). لذا مقاومت‌ها معمولاً به‌تدریج کارایی خود را از دست می‌دهند و این امر، استمرار در ارزیابی ژرم پلاسما و تهیه ارقام جدید را ضروری می‌سازد. گاسکیل و همکاران (Gaskill et al. 1970) اولین محققینی بودند که توانستند دو رقم چغندرقد مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه و طوقه را معرفی نمایند. بعد از آن‌ها هکر و راپل (Hecker and Ruppel 1976) یک پروژه به‌نژادی مشابهی را در ایالت‌های کلرادو و میشیگان آمریکا اجرا کردند. لاین‌های توصیه شده توسط آنان، به منظور توسعه مقاومت در ارقام هیبرید تجاری مورد استفاده قرار گرفت. پس از مایه‌زنی ارقام تجاری مقاوم و حساس با *R. solani*، میزان بیماری در ارقام مقاوم حدود ۶۵ درصد نسبت به ارقام حساس کاهش یافت (Hecker and Ruppel 1976).

اصلاح مقاومت به *R. solani* چغندرقد با انتخاب توده‌ای و همچنین ارزیابی مشاهده‌ای در مزرعه بعد از یک فشار یکنواخت و زیاد بیماری از طریق آلودگی مصنوعی صورت گرفته است

(Ruppel et al. 1979; Schneider et al. 1982). هکر و راپل (Hecker and Ruppel, 1977) در پروژه به‌نژادی چغندرقد برای مقاومت به *R. solani* دریافتند که لاین‌های مقاوم تهیه‌شده در آمریکا، توانستند در ژاپن نیز مقاومت خوبی از خود نشان دهند و به مرگ گیاهچه نیز تاحدی مقاوم بودند؛ حال آن‌که اختلافی بین لاین‌های حساس و مقاوم در مایه‌زنی با جدایه‌های بلایت برگی ناشی از *R. solani* مشاهده نشد. آن‌ها لاین‌های چغندرقد مقاومی را انتخاب کردند که مقاومت قابل توجهی در برابر جدایه‌های ریزوکتونیایی جداشده از ریشه و طوقه، مرگ گیاهچه و بلایت برگی، نشان دادند و نتیجه گرفتند که این مقاومت اختصاصی نژاد نبوده و ماهیتی چندژنی دارد. بر اساس مطالعات ایشان مقاومت چغندرقد به ریزوکتونیا غالبیت ناقص داشته و توسط حداقل دو ژن اصلی و چند ژن با اثرات متغیر کنترل می‌شود. وراثت‌پذیری نسبتاً بالای مقاومت چغندرقد به ریزوکتونیا باعث شد که طی ۱۰ سال بالغ بر ۱۵ لاین مقاوم تهیه و معرفی شود (Panella and Ruppel 1996). بر اساس مطالعات ژنتیکی و نقشه‌یابی QTL، چند منبع اصلی مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی چغندرقد شناسایی و جایگاه‌های ژنی مرتبط با مقاومت روی کروموزوم‌های مختلف مکان‌یابی شده‌اند. لین و همکاران (Lein et al. 2008) با استفاده از توالی‌های مرتبط با پاسخ به عامل بیماری‌زا به‌عنوان نشانگر مولکولی، جایگاه‌های ژنی روی کروموزوم‌های شماره چهار، پنج و هفت را شناسایی کردند که در مجموع حدود ۷۱ درصد از تنوع فنوتیپی مقاومت را توضیح می‌دادند (Lein et al. 2008). راوی و همکاران (Ravi et al. 2022) یک نشانگر SNP با نام RsBv1 را شناسایی کردند که روی کروموزوم شماره شش قرار گرفته و با مقاومت به ریزوکتونیا در سه منبع ژنتیکی جغرافیایی متفاوت اعتبارسنجی شده است.

دادخواه (Dadkhah 1999) مقاومت ۲۷ رقم تجاری را هم در مرحله گیاهچه‌ای و هم در مرحله گیاه کامل نسبت به *R. solani* (AG-4) مورد ارزیابی قرار داد. در تحقیق گسترده‌ای در سال ۱۳۸۴ حدود ۷۰۰ ژرم پلاسما از جنس *Beta* نسبت به بیماری‌های خاکزاد *Pythium ultimum*، *Aphanomyces cochlioides*

تعداد چهار رقم با مقاومت نسبی بالا به این بیماری را رسماً معرفی و در دسترس کشاورزان قرار داده است. ارقام هیبرید چغندر قند معمولاً با استفاده از سه والد و به روش تلاقی سه طرفه (Three way cross) تهیه می‌شوند. در این چهار رقم معرفی شده، مقاومت به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی از طریق والد گرده‌افشان در رقم تثبیت شده است.

این مقاله با مرور پژوهش‌های پیشین، راه‌های توسعه مقاومت و نیازهای پژوهشی مرتبط با این موضوع را بیان می‌نماید. امید است این یافته‌ها مسیر را برای پژوهشگران آینده در راستای توسعه ارقام چغندر قند مقاوم به بیماری‌های پوسیدگی ریشه هموار سازد و زمینه را برای تولید ارقامی متناسب با نیازهای کشاورزان چغندرکار در کشت بهاره و پاییز فراهم آورد.

پوسیدگی ریزوکتونیایی چغندر قند در ایران

قارچ ریزوکتونیا نخستین بار در سال ۱۱۹۴ شمسی توسط DeCandolle توصیف شد (Ogoshi 1996) و گونه *R. solani* در سال ۱۲۳۷ شمسی توسط Julius Kühn به عنوان عامل پوسیدگی طوقه و ریشه چغندر قند معرفی شد (Windels et al. 1997). پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه در تمام مناطق چغندرکاری جهان گزارش شده و یک بیماری مهم و شناخته‌شده محسوب می‌شود (Büttner et al. 2003) از نظر جغرافیایی، این بیماری در مناطق مهم تولید چغندر قند مانند چین، شیلی، ایران، اسپانیا، آلمان، بلژیک، هلند و آمریکای شمالی گسترش دارد (Büttner et al. 2003) و در برخی مزارع خسارت و چالش‌های قابل توجهی در تولید ایجاد کرده است (Bolton et al. 2010; Khan and Bolton 2021).

میزان خسارت وارده به محصول چغندر قند توسط این قارچ بسیار متغیر بوده و به شدت بیماری و شرایط محیطی بستگی دارد (Das and Pattanayak 2022). خسارت ناشی از این بیماری می‌تواند از مقادیر جزئی تا ۵۰ درصد یا حتی بیش از ۶۰ درصد باشد و در شرایط شدید بیماری گاهی اوقات منجر به نابودی کامل محصول شود (Das and Pattanayak 2022). این بیماری علاوه بر کاهش عملکرد ریشه، می‌تواند قند سفید قابل

R. solani و ریزومانیا مورد ارزیابی قرار گرفتند (Luterbacher et al. 2005). در تحقیق دیگری ۷۰ ژنوتیپ چغندر قند از نظر مقاومت به پوسیدگی ریشه و طوقه ناشی از *R. solani* AG-2-2 در میکروپلات (کرت‌های کوچک) مورد بررسی قرار گرفت (Ebrahimi Koulaei and Mahmoudi 2008). همچنین ژرم‌پلاس SR98 در مقابل بیماری‌های مرگ گیاهچه و پوسیدگی طوقه و ریشه ناشی از *R. solani* مقاومت بالایی نشان داد. این ژرم‌پلاس هم عملکرد مطلوبی داشته و هم مقاومت متوسطی را در برابر دو بیمارگر *A. cochlidioides* و *Cercospora beticola* نشان داد (McGrath et al. 2015). در ایران در سال ۱۳۹۸ لاین‌های نرعیق و اوتایپ مقاوم به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی شناسایی شدند (Hassani et al. 2019).

در خاک‌های ایران انواع مختلفی از عوامل مسبب پوسیدگی ریشه قارچی و شبه قارچی وجود دارند که می‌توان با شناسایی لاین‌های مقاوم به بیمارگر ریزوکتونیا، اقدام به تهیه لاین‌های مقاوم یا متحمل به سایر بیمارگرها نیز نمود. بدین منظور مقاومت لاین‌های چغندر قند حاصل از جمعیت مقاوم به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی (SB-19) نسبت به عوامل دیگر پوسیدگی ریشه چغندر قند از جمله *Pythium aphanidermatum* و *Phytophthora drechsleri* مورد ارزیابی قرار گرفتند و برخی از لاین‌ها سطوحی از مقاومت را نسبت به این عوامل نشان دادند (Kakueinezhad et al. 2017; Kakueinezhad et al. 2018). عامل دیگر پوسیدگی ریشه بیمارگر *Macrophomina phaseolina* است که موجب پوسیدگی زغالی ریشه چغندر قند می‌شود و بیشتر در دماهای بالا و شرایط خشکی فعالیت می‌کند. با توجه به تغییر اقلیم و وجود چنین شرایطی در آینده در مناطق چغندرکاری کشور، توجه به تهیه و توسعه لاین‌های مقاوم به *M. phaseolina* و *R. solani* نیز می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Mahmoudi and Ghashghaee 2012).

طی یک دهه گذشته مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند با بهینه‌سازی روش‌های ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های چغندر قند به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه،

(2021). قارچ *R. solani* باعث مرگ گیاهچه، پوسیدگی ریشه و طوقه در گیاهان جوان و بالغ (Brantner and Chanda 2021)، پوسیدگی مرطوب (Misra et al. 2023) و شانکر خشک (Barreto et al. 2020) در چغندرقد می‌شود. بطور مشخص، گروه آناستوموزی AG-4 در مراحل اولیه رشد گیاه موجب مرگ گیاهچه می‌شود و در ریشه‌های بالغ علائم به صورت پوسیدگی خشک در بخشهای مختلف ریشه بروز می‌یابد این علائم در مراحل اولیه به صورت لکه‌های کوچک و فرورفته ظاهر شده و سپس به تدریج گسترش می‌یابند و بخش‌های وسیعی از ریشه را درگیر می‌کند (Mahmoudi et al. 2004; Mahmoudi et al. 2020). در گروه آناستوموزی AG-2-2، علائم پوسیدگی در ریشه‌های بالغ به صورت پوسیدگی قهوه‌ای رنگ در سطح ریشه همراه با ترک‌خوردگی مشاهده می‌شود. در مقطع عرضی این ریشه‌ها، تغییر رنگ قهوه‌ای در بافت پوست ریشه مشاهده می‌شود؛ درحالی‌که در مراحل اولیه علائم مشخصی از پوسیدگی خشک وجود ندارد. با پیشرفت بیماری، پوسیدگی به تدریج از بخش‌های خارجی به سمت مرکز آن گسترش می‌یابد (Pourrahim et al. 2016).

کنترل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه در چغندرقد نیازمند به‌کارگیری راهبرد مدیریت تلفیقی است و مدیریت پایدار آن شامل تناوب زراعی مناسب، استفاده از ارقام دارای مقاومت نسبی به این بیماری و به‌کارگیری به موقع روشهای کنترل شیمیایی و زیستی است (Noor and Khan 2014; Aeni et al. 2023). اجرای تناوب چند ساله با محصولات غیرمیزبان، از راهبردهای مؤثر برای کاهش فشار بیماری است (Kalika-Singh et al. 2025). تناوب چغندرقد با غلات غیر میزبان مانند گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) یا چاودار (*Secale cereale*) به مدت حداقل سه سال، می‌تواند به کاهش قابل توجه سطح مایه تلقیح AG-2-2 IIIB *R. solani* و AG-2-2 IV کمک کند (Ithurrart et al. 2004; Kalika-Singh et al. 2025). همچنین باید از کشت سویا (*Glycine max*) و ذرت (*Zea mays*) در تناوب اجتناب شود، زیرا هر دو گیاه

استحصال از ریشه‌های آلوده را نیز پنج تا ده درصد کاهش دهد (Aeni and Khodakaramian, 2018; Bolton et al. 2010; Kalika-Singh et al. 2025).

گونه‌های متعددی از جنس *Rhizoctonia* به عنوان عوامل بیماری‌زای چغندرقد گزارش شده‌اند، درمیان آن‌ها *R. solani*، *R. bataticola* و *R. violeacea* از مهم‌ترین گونه‌های بیماری‌زای این محصول به‌شمار می‌روند (Kalika-Singh et al. 2025; Misra et al. 2023).

قارچ *Rhizoctonia solani* Kühn یک قارچ بازیدیومیست خاک‌زاد است که عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه چغندرقد به‌شمار می‌رود (Aeni and Khodakaramian, 2018; Das and Pattanayak, 2022; Kalika-Singh et al. 2025). مرحله جنسی این قارچ با نام *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk شناخته می‌شود (Ajayi-Oyetunde and Bradley, 2018; Biancardi, 2005; Windels et al. 1997; Sherwood, 1967). این قارچ می‌تواند به مدت طولانی در خاک، به شکل اسکروت و میسلیوم، باقی بماند و طیف وسیعی از گیاهان میزبان را آلوده نماید (Aeni and Khodakaramian 2018).

این بیمارگر بر اساس گروه‌های آناستوموزی (AGs) طبقه‌بندی می‌شود که هر گروه با دامنه میزبان‌ها و الگوهای تهاجمی متفاوتی مرتبط است. در ایران، گروه آناستوموزی AG-2-2 IIIB به‌عنوان عامل اصلی شیوع بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه در مزارع چغندرقد گزارش شده است، در حالی‌که AG-2-2 IV و چند گروه دیگر با فراوانی کمتر نیز شناسایی شده‌اند و می‌توانند در تفاوت‌های منطقه‌ای در بروز بیماری نقش داشته باشند (Soltaninezhad et al. 2007; Engelkes and Windels 1996; Carling et al. 2002). گروه آناستوموزی AG-4 عمدتاً با بیماری مرگ گیاهچه در چغندرقد مرتبط است (Ajayi-Oyetunde and Bradley 2018).

این قارچ گیاه را در مراحل مختلف رشد آلوده می‌کند و علائم آن از مرحله بذر تا گیاهان بالغ قابل مشاهده است (Aeni and Khodakaramian 2018; Brantner and Chanda

Bacillus، شامل *B. subtilis* و *B. velezensis*، پتانسیل قابل توجهی در کاهش شدت پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه چغندر قند دارند (Farhaoui et al. 2023; Khan et al. 2023; Misra et al. 2023). میکروارگانیسم‌های مفید دیگری از جمله *Trichoderma harzianum* و *Streptomyces lydicus* نیز اثرات مهارکنندگی این بیمارگر را نشان داده اند (Misra et al. 2023).

مقاومت به ریزوکتونیا در چغندر قند:

روشهای ارزیابی مقاومت:

اصولا اصلاح برای مقاومت به بیماری، مستلزم استفاده از روش‌های ارزیابی دقیق و قابل اعتماد است (Büttner et al. 2004). یکی از روش‌های ارزیابی مقاومت چغندر قند به *R. solani*، ارزیابی فنوتیپی بوته‌ها در شرایط مزرعه پس از ایجاد فشار بالا و یکنواخت بیماری از طریق آلودگی مصنوعی است (Ruppel et al. 1979; Schneider et al. 1982). با این حال، آزمایش‌های مزرعه‌ای با محدودیت‌هایی همراه هستند؛ از جمله اینکه، ارزیابی بیماری معمولا تنها یکبار در سال امکان پذیر است و کنترل عوامل و نوسانات محیطی نیز در شرایط مزرعه دشوار است. این عوامل می توانند موجب تغییرپذیری نتایج در سال‌های مختلف شوند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، انجام ارزیابی‌های مقاومت در شرایط گلخانه‌ای توصیه شده است. در این راستا، روش‌های مختلف ارزیابی گلخانه‌ای مقاومت به بیماری از جمله روش مایه‌زنی با استفاده از خلال دندان آلوده پیشنهاد شده‌اند (Schuster et al. 1958). کامپیل و آلتمن (Campbell and Altman 1976) فرض کردند که میزان درصد گیاهچه‌های جوان هر ژنوتیپ که پس از رشد در خاک آلوده به ریزوکتونیا، علائم مرگ گیاهچه را نشان می‌دهند، می‌تواند به‌عنوان یکی از شواهد اولیه در ارزیابی میزان حساسیت به پوسیدگی ریشه باشد. با این حال سایر محققین مرگ گیاهچه در گلخانه را به عنوان روشی مطمئن و جایگزین آزمایش گیاه بالغ در شرایط مزرعه‌ای نمی‌دانند (Campbell and Bugbee 1993). هکر و راپل (Hecker and Ruppel 1977) به منظور

می‌توانند میزبان *R. solani* AG-2-2IIIB باشند (Ithurrart et al. 2004; Das and Pattanayak 2022). استفاده از ارقام چغندر قند با مقاومت ژنتیکی یکی از پایدارترین راهبردها برای کنترل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندر قند است (Kalika-Singh et al. 2025). توسعه ارقام با مقاومت مطلوب و پایدار، نیازمند دسترسی به منابع مقاومت و همچنین شناخت کافی از ژنتیک عامل بیماری‌زا و گیاه میزبان است (Kakueinezhad et al. 2017; Fasahat et al. 2019). توده‌های اصلاحی مانند FC727 و FC709-2 مقاومت بالایی در برابر پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی نشان داده‌اند (Bolton et al. 2010). همچنین ژنوتیپ SR98 برای مقاومت به مرگ گیاهچه و پوسیدگی طوقه و ریشه و ژنوتیپ EL51 از نظر مقاومت به مرگ گیاهچه معرفی شده اند (Nagendran et al. 2009; McGrath et al. 2015). با این حال بسیاری از ارقام تجاری موجود تنها از مقاومت کم تا متوسطی برخوردارند، که کارایی آن‌ها را در شرایط فشار بالای بیماری محدود می‌کند (Kalika-Singh et al. 2025). علاوه بر این استفاده به موقع از قارچ‌کش‌ها نیز نقش مهمی در مدیریت مؤثر این بیماری دارد (Khan and Bolton 2021; Misra et al. 2023). آزوکسی استروبین از گروه قارچ‌کش‌های QoI ها، کنترل مؤثری بر پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی در چغندر قند دارد (Khan and Bolton 2021). همچنین کاربرد ترکیب آزوکسی استروبین با قارچ‌کش‌هایی مانند پروتیوکونازول یا پیراکلو استروبین به همراه فلوکسپایروکساد، می‌تواند به بهبود کنترل بیماری کمک کند (Khan and Bolton 2021; Khan et al. 2017). قارچ‌کش پنتیوپیراد که در گروه مهارکننده‌های دهیدروژناز سوکسینات (SDHI) قرار دارد، محافظت مؤثری در اوایل فصل در برابر *R. solani* فراهم می‌کند و در صورت استفاده به عنوان تیمار بذر می‌تواند در حفاظت از گیاهچه و استقرار اولیه گیاه مؤثر باشد (Liu and Khan 2016; Misra et al. 2023). علاوه بر این روش‌های کنترل زیستی به عنوان رویکردهای مکمل برای مدیریت *R. solani* در چغندر قند مورد توجه قرار گرفته‌اند (Kiewnick et al. 2001; Misra et al. 2023). گونه‌های

اصلاح چغندرقد برای مقاومت به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی، با مقایسه روش‌های مختلف مایه‌زنی، روش ارزیابی مواد ژنتیکی چغندرقد نسبت به این بیماری در مزرعه را به صورت استاندارد درآوردند. در این روش استاندارد، چغندرقد در دهه اول اردیبهشت کشت و یک ماه بعد تنک می‌شود و در دهه سوم شهریور در برابر بیماری ارزیابی می‌شود. مواد ژنتیکی معمولاً در ردیف‌های شش متری در پنج تکرار کشت می‌شوند و نه هفته پس از کاشت با مایه تلقیح قارچ (پودر بذور جو کلونیزه شده با *R. solani* ۱۷ گرم برای هر ردیف) مایه‌زنی می‌شوند. ارزیابی بیماری بر اساس شاخص آلودگی با استفاده از مقیاس ۰-۷ انجام می‌شود (Panella 1998) که در آن نمره صفر نشان دهنده عدم وجود علائم آلودگی در ریشه و نمره هفت نشان دهنده پوسیدگی کامل ریشه‌ها است. پانلا (Panella 1998) نیز در پروژه تهیه ارقام مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی از روش پیشنهادی هکر و راپل (Hecker and Ruppel 1977) استفاده کرد. بنکر (Benker 2000) با طرح این سؤال که آیا ارقام مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه می‌توانند در کنترل این بیماری مشارکت کنند، بیان کرد که ارزیابی مواد ژنتیکی در شرایط طبیعی مزرعه، به دلیل غیر قابل پیش‌بینی بودن اپیدمی‌های ناشی از ریزوکتونیا و آلودگی لکه‌ای بیماری، از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار نیست. از این رو، بهبود روش‌شناسی ارزیابی ارقام در برابر *R. solani* برای پاسخگویی به نیاز برنامه‌های به‌نژادی و توسعه ارقام مقاوم ضروری است. در ادامه تحقیقات برای دستیابی به روشی ساده و قابل اعتماد برای ارزیابی ژرم‌پلاسما چغندرقد نسبت به ریزوکتونیا، شولتن و همکاران (Scholten et al. 2001) یک آزمون گلخانه‌ای را توسعه دادند. آن‌ها نشان دادند که کشت گیاهان در خاک غنی و مایه‌زنی در مرحله هشت تا نه هفتگی گیاه با ۰/۶ گرم دانه ارزن آلوده به ریزوکتونیا و سپس ارزیابی پنج هفته پس از مایه‌زنی بر اساس مقیاس ۰-۷، می‌تواند نتایج قابل قبولی با همبستگی بالا با ارزیابی مزرعه‌ای را فراهم کند. در ژاپن، برای غربالگری سریع ارقام چغندرقد نسبت به *R. solani* روشی مشابه روش شولتن و همکاران (Scholten et al. 2001) توسعه یافته است. در این روش، ارقام

مورد نظر در لوله‌های آزمایش بلند کشت و هشت تا نه هفته بعد با مایه تلقیح تهیه‌شده از کاه گندم و ورمیکولیت آلوده می‌شوند. سپس ۲۰ روز پس از مایه‌زنی، میزان پوسیدگی ریشه با استفاده از مقیاس ۰-۵ ارزیابی می‌شود (Takenaka and Sayama 2001). اهمیت دستیابی به روشی ساده و مطمئن در ارزیابی چغندرقد نسبت به *R. solani* به حدی است که باتنر و همکاران (Büttner et al. 2004) با هدف تسهیل تهیه مایه تلقیح، بهبود اجرای آزمون‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و ارائه یک سیستم امتیازدهی یکسان با سایر بیماری‌های چغندرقد، روشی استاندارد برای ارزیابی مقاومت پیشنهاد کردند و آن را روشی سریع و دقیق برای ارزیابی مقاومت معرفی کردند. محمودی و همکاران (Mahmoudi et al. 2003) نیز با مقایسه چهار روش مختلف ارزیابی مقاومت به *R. solani* هر یک از روش‌ها را متناسب با هدف مورد نظر توصیه کردند. برای ارزیابی تعداد زیادی لاین، دو روش ارزیابی درون شیشه‌ای و ارزیابی گلخانه در مرحله گیاهچه‌ای پیشنهاد شد. در حالی که برای تعداد کمتری از لاین‌های پیشرفته و هنگامی که بررسی سایر صفات ظاهری نیز مدنظر باشد، ارزیابی در شرایط میکروپلات مزرعه‌ای را مناسب‌تر دانستند. همچنین، در صورتی که هدف انتخاب تک بوته باشد، می‌توان از روش ارزیابی بوته‌های هشت‌هفته‌ای در شرایط گلخانه‌ای استفاده کرد. در حال حاضر روش ارزیابی مزرعه‌ای در شرایط میکروپلات بهینه‌سازی و استاندارد شده است (Mansoori et al. 2023). با استفاده از این روش، لاین‌های اوتایپ و گرده‌افشان‌های متعددی نیز ارزیابی شده‌اند (Mansoori et al. 2024; Hamze et al. 2021).

منابع مقاومت

در سال ۱۳۶۴ ژرم‌پلاسماهای مقاوم FC727 و FC709-2 توسط وزارت کشاورزی آمریکا (USDA-ARS) با همکاری بنیاد توسعه چغندرقد معرفی شدند (Panella 1999). پس از آن، با توسعه روش‌های ارزیابی مقاومت در آمریکا و اروپا، منابع ژنتیکی مقاوم بیشتری شناسایی و برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی در دسترس شرکت‌های تولید بذر قرار گرفتند

شناسایی سریع و کشف گسترده SNP ها، استفاده از فناوری های توالی یابی نسل جدید (NGS) مانند Illumina، SOLiD و IonTorrent است (Davey *et al.* 2011). این فناوری ها امکان شناسایی تعداد زیادی نشانگر SNP در مدت زمان کوتاه و با هزینه نسبتاً پایین را فراهم می کنند (Varshney *et al.* 2009). با استفاده از این روش، می توان ژنوتیپ های مختلف یک گونه را در نواحی ژنومی مشابه مقایسه و تغییرات نوکلئوتیدی را شناسایی نمود (Garvin *et al.* 2010). پس از اعتبارسنجی و تأیید نشانگرهای SNP، می توان از آن ها در مطالعات ژنتیکی و برنامه های اصلاحی بعدی استفاده کرد. در سال ۱۴۰۱ نشانگر مولکولی مرتبط با مقاومت به *R. solani* AG2-2-IIIB در چغندر قند معرفی شد (Ravi *et al.* 2022). همچنین، اخیراً نیز در ایران یک نشانگر مولکولی ناجفت مرتبط با مقاومت به ریزوکتونیا در چغندر قند توسعه یافته و در برنامه های ارزیابی مقاومت به کار گرفته شده است (Norouzi *et al.* 2025).

تهیه رقم مقاوم به ریزوکتونیا در چغندر قند

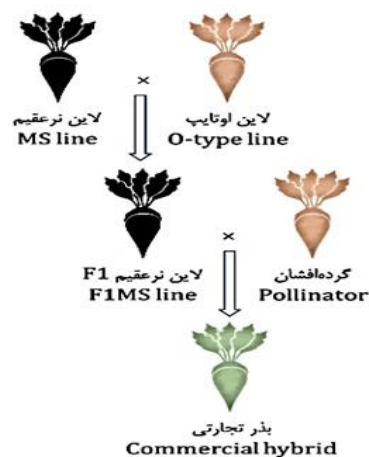
مفهوم رقم در چغندر قند همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود به صورت هیبریدی است که حاصل تلاقی یک والد گرده افشان مولتی ژرم با یک والد مادری سینگل کراس مونو ژرم و نرعیق می باشد (Mahmoudi *et al.* 2020). والد مادری سینگل کراس نیز خود حاصل تلاقی یک لاین گرده افشان اوتایپ با یک لاین نرعیق مونو ژرم غیر خودی می باشد (Aghaezadeh and Sadeghzadeh Hemayati 2020). بنابراین رقم هیبریدی چغندر قند در ایران معمولاً از طریق یک تلاقی سه طرفه تهیه می شود. در صورتی که مقاومت به یک صفت در هر سه جز یک رقم ظهور داشته باشد، حتماً در هیبرید نیز حضور خواهد داشت. با توجه به ژنتیک مقاومت به ریزوکتونیا در چغندر قند که به صورت غالبیت مثبت منتقل می شود، متخصصان اصلاح نباتات ابتدا اقدام به تهیه لاین های گرده افشان مقاوم می کنند و سپس مقاومت را در لاین های اوتایپ تثبیت می کنند.

(Luterbacher *et al.* 2005, Panella and Hanson 2007).

ژنتیک مقاومت و نشانگرهای مولکولی

از دهه ۱۳۳۰ شمسی برنامه های اصلاحی گسترده برای مقاومت به بیمارگر ریزوکتونیا آغاز شد و چند منبع ژنتیکی مقاوم معرفی شدند (Gaskil 1970). بعد از آن مطالعات ادامه یافت و مشخص شد که مقاومت به *R. solani* ماهیت کمی (Quantitative) دارد و حداقل دو جایگاه ژنی، به همراه احتمال مشارکت ژن های با اثر جزئی دیگر، در مقاومت نقش دارند (Hecker and Ruppel 1975; Hecker and Ruppel 1976). این مطالعات نشان دادند که سیتوپلاسم نازای نر (Male-sterile cytoplasm) تأثیری بر مقاومت ندارد و هیبریدهای بر پایه والد مادری سینگل کراس نیز سطحی از مقاومت را دارا می باشند. در نهایت لینه و همکاران (Lein *et al.* 2008) با استفاده از مطالعات نقشه یابی ژنتیکی نشان دادند که سه QTL روی کروموزوم های چهار، پنج و هفت، در مجموع ۷۱ درصد تغییرات فنوتیپی مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه را توجیه می کنند.

بهبود مقاومت از طریق روش های اصلاحی سنتی فرآیندی زمان بر و پرهزینه است؛ از این رو، در سال های اخیر از نشانگرهای مولکولی DNA به منظور تسریع فرآیند انتخاب و افزایش دقت اصلاحی استفاده می شود که در میان آن ها، نشانگرهای چندشکلی تک نوکلئوتیدی (SNP) از اهمیت ویژه ای برخوردارند. نشانگرهای تک نوکلئوتیدی به عنوان یکی از رایج ترین و قابل اعتمادترین انواع نشانگرها مولکولی، برای شناسایی نواحی ژنومی و ژنهای مرتبط با صفات مورد نظر در گیاهان زراعی استفاده می شوند (Stevanato *et al.* 2015). افزایش تراکم نشانگرهای SNP، امکان انتخاب ژنوتیپ های مطلوب در برنامه های اصلاحی را با سهولت، سرعت و کارایی بیشتری فراهم می کند و می توان از طریق انتخاب به کمک نشانگر، صفات مطلوب را حفظ و صفات نامطلوب را حذف کرد (Würschum, 2012). یکی از متداول ترین روش ها برای



شکل ۱ نمای شماتیک از مراحل تهیه رقم در چغندر قند
Figure 1 Schematic diagram of cultivar development stages in sugar beet.

تهیه لاین‌های گرده افشان

به منظور تهیه لاین‌های گرده افشان مقاوم به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی، می‌توان از توده‌های ژنتیکی حامل ژن‌های مقاومت به این بیمارگر استفاده کرد. توده‌هایی مانند FC709-FC703، 2 و یا FC727 که توسط وزارت کشاورزی آمریکا معرفی شده‌اند، می‌توانند منابع مناسبی برای این منظور باشند (Panella 1999; Panella and Hanson 2007). در صورتی که به هر دلیلی منابع ژنتیکی مقاومت در دسترس نباشد، استفاده از ارقام تجاری مقاوم نیز امکانپذیر است (Shahbazi et al. 2015). در این حالت ابتدا بایستی جمعیت حامل ژن‌های مقاومت تهیه و از آن به منظور تهیه والد گرده افشان بهره برد. به هر حال پس از دستیابی به توده مقاوم، از میان بوته‌های آن، تک‌بوته‌های مناسب انتخاب و با بذرگیری درون کیج، نسل S1 یا اولین نسل خودگشتی (Selfing) تهیه می‌شود (شکل ۲). لاین‌های S1 تهیه شده بایستی از نظر مقاومت به بیمارگر مورد ارزیابی قرار گیرند. در گذشته این ارزیابی عمدتاً با استفاده از روش‌های فنوتیپی و روش ارزیابی بهینه شده انجام می‌شد (Ebrahimi Koulaee et al. 2010). با این حال، با توجه به توسعه و در دسترس بودن نشانگر مولکولی مرتبط با مقاومت، می‌توان در جمعیت اولیه، بوته‌های حامل ژن مقاومت را شناسایی و انتخاب کرد و سپس از بوته‌های منتخب، در شرایط کیج، بذرگیری خودگشتی انجام داد. این رویکرد می‌تواند موجب کاهش تعداد بوته‌های مورد نیاز برای ارزیابی فنوتیپی و افزایش سرعت فرایند انتخاب شود. سپس

همه لاین‌های S1 با یک والد مادری تلاقی یافته و هیبرید تهیه می‌شود (Test cross). بر مبنای ارزیابی محصولی هیبریدها، بهترین والد گرده افشان شناسایی می‌شود. سپس می‌توان نسل دوم خودگشتی را در این والد مجدداً تکرار و به این ترتیب ضمن ارتقا مقاومت، لاین‌های گرده افشان بهبودیافته جدید تهیه نمود. در ایران، ارزیابی مقاومت لاین‌های اصلاحی نسبت به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی در ایستگاه اکباتان واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، در میکروپلات‌هایی به مساحت دو متر مربع که به این منظور تهیه شده‌اند، انجام می‌شود (شکل ۳). حدود ده هفته پس از کشت، برای مایه‌زنی، دانه‌های ذرت آلوده به *R. solani* در مجاورت ریشه هر بوته قرار داده می‌شوند. پس از مایه‌زنی، به منظور تسریع در گسترش بیماری، میکروپلات‌ها به مدت دو هفته، یک روز در میان و هر بار به مدت یک ساعت آبیاری می‌شوند. حدود دو ماه پس از مایه‌زنی، ریشه‌های چغندر قند برداشت و شدت بیماری بر اساس مقیاس درجه‌بندی ۱ تا ۹ ارزیابی می‌شود. در این مقیاس، به ریشه‌های کاملاً سالم نمره یک و به ریشه‌های کاملاً پوسیده نمره نه اختصاص داده می‌شود و سایر ریشه‌ها، متناسب با شدت پوسیدگی، نمره‌ای بین این دو حد دریافت می‌کنند. بر اساس این نمره‌دهی، شاخص بیماری (Disease Index; DI) و شاخص برداشت (Harvest Index; HI) برای هر کرت محاسبه می‌شود. در این ارزیابی، ریشه‌های با نمره یک تا سه به عنوان

پتانسیل مناسبی برای مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی برخوردار بودند. همچنین پنج لاین برتر شامل S1-980022، S1-980004، S1-980002، S1-980025 و S1-980032 به عنوان ژنوتیپ‌های دارای بالاترین سطح مقاومت شناسایی شدند. این لاین‌های امیدبخش به عنوان والدین گرده‌افشان مقاوم در برنامه‌های اصلاحی آینده مورد استفاده قرار گیرند و از طریق تلاقی با والدین مادری مناسب، در توسعه هیبریدهای تجاری مقاوم به ریزوکتونیا به کار گرفته شوند.

فرآیند سیستماتیک غربالگری، انتخاب و تثبیت مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی در لاین‌های گرده‌افشان پدری، یکی از ارکان اساسی تولید هیبریدهای مقاوم به این بیماری است با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد ارزیابی مقاومت و روش‌های آماری مناسب، می‌توان منابع ژنتیکی دارای سطح مطلوب مقاومت را با دقت و اطمینان بیشتری شناسایی و انتخاب کرد. معرفی لاین‌های گرده‌افشان مقاوم جدید، ظرفیت و دامنه انتخاب اصلاحگران برای توسعه ارقام برتر بر پایه راهبرد مقاومت ژنتیکی را افزایش می‌دهد.



شکل ۳ کرت های میکروپلات مورد استفاده در ارزیابی مقاومت لاین ها به پوسیدگی ریزوکتونیایی
Figure 3 Microplot trials for evaluating the resistance of sugar beet lines to Rhizoctonia root rot.

ریشه‌های مقاوم در نظر گرفته می شوند. شاخص بیماری از حاصل ضرب هر نمره در تعداد ریشه‌های دارای آن نمره، تقسیم بر تعداد کل ریشه‌های آن کرت به دست می آید. شاخص برداشت نیز از تقسیم تعداد ریشه‌های با نمره (۱ تا ۳) بر تعداد کل ریشه‌های دارای نمره (۱ تا ۹) در هر کرت محاسبه می شود (Büttner 2002).

با توجه به وجود چند توده اصلاحی حامل ژن‌های مقاومت به بیمارگر ریزوکتونیا در بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، از این توده ها به عنوان منابع مقاومت استفاده شد و لاین‌های S1 گرده افشان از آن‌ها تهیه و مقاومت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای، ۱۱ لاین گرده‌افشان از نظر شاخص برداشت، عملکرد بهتری نسبت به شاهد مقاوم SB19 نشان دادند که در نهایت، یکی از نتایج این فرایند به معرفی رقم مقاوم اکباتان منجر شد (Ebrahimi Koulaee et al. 2010). در پژوهشی جدیدتر منصوری و همکاران (Mansouri et al. 2024)، مقاومت ۴۷ لاین S1 با منشأ ژنتیکی مختلف را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که دو جمعیت پایه P.107 و P.121 از



شکل ۲ قفس پارچه‌ای (کیج) مورد استفاده برای تهیه بذرهای S1

Figure 2 Experimental tents (cages) used for the production of S1 seeds

تهیه لاینهای اوتایپ

لاین‌های اوتایپ (O-type) که از نظر ژنوم هسته‌ای با لاین‌های نرعقیم سیتوپلاسمی مشابه بوده اما دارای سیتوپلاسم بارور هستند، نقش اساسی در حفظ و تکثیر لاین‌های نرعقیم و در نهایت تولید بذور هیبرید منوژرم چغندرقد ایفا می‌کنند. شناسایی و معرفی لاین‌های اوتایپ مقاوم به بیماری، یکی از مراحل مهم در توسعه هیبریدهای مقاوم است. در سطح جهانی، اقدامات به‌نژادی برای دستیابی به مقاومت در برابر مهم‌ترین عوامل پوسیدگی ریشه چغندرقد، به‌ویژه ریزوکتونیا و آفانومایسس، سابقه‌ای طولانی دارد. مقاومت در چغندرقد به این بیماری‌ها معمولاً ماهیت کمی و چندژنی دارد و در برخی موارد نیز نقش ژن‌هایی با اثرات افزایشی و غیر افزایشی در بیان مقاومت گزارش شده است (Campbell and Bugbee 1993). این امر امکان انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سطح مطلوب مقاومت را در نسل‌های اولیه اصلاحی فراهم می‌کند؛ با این حال، دستیابی به سطوح بالاتر و پایدارتر مقاومت معمولاً نیازمند تداوم چرخه‌های انتخاب و ارزیابی است. در دهه‌های اخیر، تحقیقات در زمینه شناخت مبانی فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و ژنتیکی مقاومت و استفاده از نشانگرهای مولکولی پیوسته با ژن‌های مقاومت افزایش یافته است (Rafiei et al. 2023). این رویکردها می‌توانند با افزایش دقت و کارایی انتخاب، به شناسایی سریع‌تر ژنوتیپ‌های مطلوب و تسریع فرایند تولید لاین‌های اوتایپ مقاوم کمک کنند و در کنار روش‌های فنوتیپی، زمینه استفاده مؤثرتر از روش‌های نوین اصلاحی و فناوری‌های زیستی را فراهم سازند.

در ایران، برنامه‌های به‌نژادی چغندرقد در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد بر مقابله با مهم‌ترین بیماری‌ها، به‌ویژه پوسیدگی ریزوکتونیایی و بیماری ریزومانیا، تمرکز داشته است. این تلاش‌ها منجر به دستاوردهای قابل توجهی در زمینه تولید لاین‌ها و ارقام مقاوم شده است. از سال ۱۳۸۲، غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد در شرایط آلودگی مصنوعی به ریزوکتونیا در ایستگاه‌های تحقیقاتی، از جمله همدان (اکباتان) و کرمانشاه آغاز شد. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که با وجود فراوانی کم منابع ژنتیکی با سطح بالای مقاومت در

ژرم‌پلاسم موجود، استفاده از روش انتخاب متناوب و تکرار چرخه‌های انتخابی می‌تواند موجب شناسایی و توسعه لاین‌هایی با مقاومت متوسط تا مطلوب شود. این اقدامات را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱- منبع مقاومت اولیه: شناسایی توده‌های مقاوم و استفاده از آن‌ها در ترکیب با لاین‌های نرعقیم برای انتقال صفات مقاومت به لاین‌های اوتایپ.

۲- غربالگری و انتخاب والدین: یکی از مهم‌ترین مراحل در ایران، غربالگری لاین‌های اوتایپ جدید است. این لاین‌ها به‌عنوان پایه ژنتیکی در تولید بذور هیبرید مقاوم به کار می‌روند. لاین‌های اوتایپ کاندید برای مقاومت، بر اساس یک دستورالعمل استاندارد شده و با استفاده از روش ارزیابی فنوتیپی مقاومت در شرایط میکروپلات و آلودگی مصنوعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Hamze et al. 2021).

۳- معیارهای انتخاب: لاین‌های اوتایپ دارای سطح مطلوب مقاومت، بر اساس کمترین میانگین شاخص بیماری، و در عین حال برخوردار از ویژگی‌های زراعی مطلوب، از جمله عملکرد مناسب ریشه و درصد قند، به‌عنوان لاین‌های برتر انتخاب و برای ادامه برنامه اصلاحی حفظ و تکثیر می‌شوند. در این مرحله، انتخاب هم‌زمان مقاومت به بیماری و صفات زراعی مطلوب، احتمال دستیابی به لاین‌هایی با ارزش اصلاحی بالاتر و قابلیت استفاده در تولید هیبریدهای مقاوم را افزایش می‌دهد.

تهیه هیبریدهای مقاوم

به منظور تهیه هیبریدهای مقاوم یا متحمل به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندرقد، اولین و شاید ساده‌ترین روش این است که لاین‌های گرده‌افشان مقاوم به این بیماری با یک یا چند والد مادری با ترکیب‌پذیری خوب تلاقی یافته و هیبریدهای به دست آمده در شرایط با آلودگی طبیعی در چند منطقه مورد مقایسه محصولی قرار گیرند. سپس هیبریدهای منتخب می‌توانند مجدداً در مناطق هدف بیشتر و علاوه بر این تحت شرایط کنترل شده و در حضور بیمارگر نیز ارزیابی شوند و در صورت شناسایی هیبرید مناسب، فرایند قانونی و رسمی معرفی رقم جدید طی

استقبال چندانی قرار نگرفت. پس از آن ارقام ایرانی سینا و دنا که به هر دو بیماری مقاومت نسبی داشتند، توجه بیشتری را به خود جلب کردند (Rajabi *et al.* 2020). در سال ۱۴۰۲، رقم دنیا که سطح مقاومت آن به بیمارگر ریزوکتونیا بهبود یافته و عملکرد شکر بیشتری نسبت به رقم دنا داشت، معرفی شد.

فهرست و ویژگی‌های ارقام چغندر قند مقاوم به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی در ایران

با گسترش عوامل بیماری‌زای مهم چغندر قند، از جمله ریزومانیا، پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه و نماتدهای سیستمی و ریشه گره‌ای، در مناطق چغندرکاری کشور و باوجود توصیه و اجرای روش‌های زراعی و تدابیر مدیریتی برای پیشگیری و کاهش آلودگی مزارع، استفاده از ارقام مقاوم همچنان یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین راهکارهای مدیریت بیماری‌ها به شمار می‌رود. از این رو، با توجه به اهمیت و پراکنش این عوامل بیماری‌زا، برخورداری از مقاومت به یک یا چند عامل بیماری‌زا به یکی از ویژگی‌های مهم ارقام وارداتی و اصلاح‌شده داخلی تبدیل شده است. در همین راستا، طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴، از میان بیش از ۶۰۰ رقم متقاضی ورود به کشور، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند تا سال ۱۳۹۲ و پس از آن مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، با همکاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، در مجموع ۲۷۰ رقم منوژرم را بر اساس برخورداری از سطح قابل قبول مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، مقاومت یا تأخیر در ساقه‌روی و سایر صفات مطلوب، برای ورود به کشور تأیید کردند. بررسی صفات ثبت‌شده در این ارقام نشان داد که مقاومت به ریزومانیا (۷۵ رقم)، مقاومت یا تأخیر در ساقه‌روی (۵۸ رقم)، مقاومت هم‌زمان به ریزومانیا و ریزوکتونیا (۳۰ رقم) و مقاومت به ریزوکتونیا (۲۴ رقم)، مهم‌ترین صفات مرتبط با بیماری و ساقه‌روی در ارقام وارداتی بودند. همچنین، مقاومت هم‌زمان به و نماتد سیستمی (۲۳ رقم)، مقاومت به نماتد سیستمی (۱۳ رقم)، ارقام کلاسیک فاقد صفت مقاومت (۱۰ رقم)، ریزومانیا همراه با بولتینگ (هشت رقم)، بولتینگ همراه با سرکوسپورا (هشت رقم) و چغندر

شود. رقم اکباتان در ایران با این شیوه معرفی شد (Ebrahimi Koulaei *et al.* 2019). روش دیگر تهیه هیبرید مقاوم یا متحمل به بیماری این است که در صورت دستیابی به لاین اوتایپ مقاوم، سینگل کراس‌های مختلفی به‌عنوان والد مادری تهیه و در صورت دستیابی به چندین سینگل کراس، هر یک از آن‌ها با یک یا چند والد گرده‌افشان مناسب تلاقی داده شوند. در این صورت نیز به چندین هیبرید می‌توان دست یافت و باید مشابه روش قبل، هیبریدها را در چند منطقه مقایسه محصولی نمود و در نهایت هیبرید برتر را به‌عنوان نامزد معرفی رقم جدید انتخاب کرد (Mahmoudi *et al.* 2020). در صورتی که متخصصان اصلاح نباتات در بانک مواد اصلاحی خود، دارای والد‌های گرده‌افشان و سینگل کراس‌های مقاوم به بیماری متعددی باشند، می‌توانند با بررسی ترکیب‌پذیری بین آن‌ها، ارقام جدید مقاوم مناسبی را تهیه و معرفی نمایند. بدیهی است با توجه به ژنتیک مقاومت به ریزوکتونیا در چغندر قند، اگر هم والد گرده‌افشان و هم والد مادری حامل سطحی از مقاومت باشند، هیبرید حاصله مقاومت مناسبی از خود بروز خواهد داد.

معرفی رقم

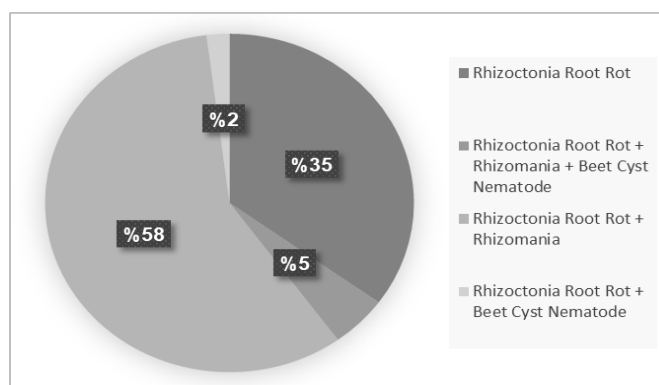
در معرفی رقم، مهم‌ترین نکته این است که رقم جدید باید علاوه بر داشتن سطح مطلوبی از تحمل یا مقاومت نسبی به این بیماری، از نظر صفات زراعی مانند عملکرد ریشه و درصد قند از ارقام رایج فعلی که کشاورزان چغندرکار در دسترس دارند، نیز بهتر باشد. از این رو، در معرفی رقم جدید، ظهور و بروز صفات زراعی بویژه در مناطق هدف باید در مقایسه با ارقام رایج مطلوب تر باشد. با توجه به گستردگی و شیوع تقریباً وسیع بیماری ویروسی ریزومانیا در ایران، ارقامی که به این بیماری مقاومت نداشته باشند، ولو به هر بیماری دیگری مقاومت بالایی هم داشته باشند، قابل پذیرش برای چغندرکاران نیستند. بنابراین، در برنامه‌های اصلاحی برای تهیه رقم مقاوم به بیمارگر ریزوکتونیا، توجه هم‌زمان به مقاومت به بیماری ریزومانیا ضروری است. رقم اکباتان (Ebrahimi Koulaei *et al.* 2019) که معرفی شد به دلیل عدم برخورداری از مقاومت کافی به بیماری ریزومانیا مورد

علوفه‌ای (هفت رقم) نیز در میان ارقام بررسی شده مشاهده شد. افزون بر این، ترکیب‌های دیگری از صفات شامل ریزوکتونیا و نماتد سیستی، ریزومانیا و سرکوسپورا و ریزومانیا، نماتد و بولتینگ، هر کدام در دو رقم و ترکیب‌های خشکی، سرکوسپورا، ریزومانیا و نماتد ریشه گره‌ای، ریزومانیا و ریزوکتونیا همراه با نماتد و ریزومانیا، ریزوکتونیا و بولتینگ، هر کدام در یک رقم، ثبت شده است. در مجموع، از ارقام موجود در فهرست ملی ارقام، حدود ۲/۶ درصد به چغندر علوفه‌ای، ۳/۷ درصد به ارقام کلاسیک فاقد صفت مقاومت، ۶۴/۱ درصد به ارقام دارای مقاومت نسبت به یک عامل بیماری‌زا یا یک تنش غیر زیستی، ۲۷ درصد به ارقام دارای دو صفت مقاومت، ۱/۵ درصد به ارقام دارای سه صفت مقاومت و ۱/۱ درصد به ارقام با وضعیت مقاومت نامشخص اختصاص داشته است.

ارقام دارای مقاومت به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی

از مجموع ارقام وارداتی بررسی شده، ۶۰ رقم (۲۲/۲ درصد) دارای صفت مقاومت به ریزوکتونیا بودند (جدول ۱). از این تعداد، ۳۵ رقم (۵۸ درصد) دارای مقاومت هم‌زمان به ریزومانیا و ریزوکتونیا، ۲۱ رقم (۳۵ درصد) دارای مقاومت به ریزوکتونیا به تنهایی، ۳ رقم (۵ درصد) دارای مقاومت هم‌زمان به ریزومانیا، ریزوکتونیا و نماتد سیستی و یک رقم (۲ درصد) دارای مقاومت هم‌زمان به ریزوکتونیا و نماتد سیستی بودند (شکل ۴). در نتیجه، ۳۹ رقم (۶۵ درصد) از مجموع ۶۰ رقم مقاوم به ریزوکتونیا، علاوه بر این

بیماری، حداقل یک صفت مقاومت دیگر نیز داشتند. این موضوع بر اهمیت مقاومت چندگانه در انتخاب ارقام و برنامه‌های اصلاحی چغندرقد تأکید می‌کند. از نظر شرکت یا مؤسسه اصلاح‌کننده، ارقام دارای صفت مقاومت به ریزوکتونیا به مجموعه‌ای از شرکت‌ها و مؤسسات داخلی و بین‌المللی تعلق داشتند. در این میان، شرکت KWS با ۲۰ درصد، بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. پس‌از آن، Florimond Desprez با ۱۶/۶ درصد، SESVanderHave و Syngenta هر یک با ۱۱/۷ درصد، Betaseed و Maribo به ترتیب با ۱۰ و ۸/۳ درصد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد با ۶/۷ درصد و Maribo-Strube, Hilleleshog و Kuhn & Co هر یک با ۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این پراکنش نشان‌دهنده تنوع منابع اصلاحی مورد استفاده برای تأمین ارقام دارای مقاومت به ریزوکتونیا در ایران است. از نظر کشور مبدأ نیز، بیشترین سهم منابع دارای مقاومت به ریزوکتونیا مربوط به آلمان با ۳۵ درصد اختصاص داشت. پس‌از آن فرانسه و سوئد هر یک با ۱۶/۷، بلژیک با ۱۱/۷ درصد، دانمارک با ۸/۲ درصد، ایران با ۶/۷ درصد و هلند با ۵ درصد قرار گرفتند؛ بنابراین، بخش عمده منابع ژنتیکی دارای مقاومت به ریزوکتونیا در فهرست ملی ارقام ایران، منشأ اروپایی دارند؛ با این حال، حضور منابع اصلاحی داخلی نیز نشان‌دهنده نقش برنامه‌های اصلاحی کشور در توسعه و معرفی ارقام مقاوم است.



شکل ۴ توزیع درصدی ارقام وارداتی چغندرقد دارای مقاومت به پوسیدگی ریشه ریزوکتونیایی (Rhizoctonia root rot) بر اساس ترکیب صفات مقاومت به بیماری‌های مهم چغندرقد

Figure 4 Percentage distribution of imported sugar beet cultivars resistant to Rhizoctonia root rot based on combinations of resistance traits to major sugar beet diseases.

جدول ۱* ارقام چغندر قند دارای مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه مندرج در فهرست ملی ارقام طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۴
Table 1* Sugar beet cultivars with resistance to Rhizoctonia root rot listed in the National List of Iranian Cultivars during 2000–2025

ردیف No.	نام رقم Cultivar name	مقاومت رقم به Resistant to			سال ثبت در فهرست ملی ارقام Registration year	کشور تولید کننده Country of origin	شرکت تولید کننده Company
		Rhizoctonia	Rhizomania	Cyst Nematode			
1	9K954	*		*	1400 (2021)	Germany	KWS
2	Aigrette	*			1393 (2014)	France	Florimond Desprez
3	Amaranda	*			1398 (2019)	Germany	KWS
4	Amatos	*			1398 (2019)	Belgium	SESVanderhave
5	Annemartha (9K937)	*	*		1400 (2021)	Germany	KWS
6	Aries (MA3022)	*			1401 (2022)	Sweden	Maribo-Hilleshog
7	Azare	*	*		1388 (2009)	Belgium	SESVanderhave
8	Bahar (Kuhn52)	*	*		1401 (2022)	Netherlands	Kuhn&Co
9	Balaton	*	*		1402 (2023)	Sweden	Maribo hilleshog
10	Basima	*	*		1398 (2019)	Germany	KWS
11	Bornita	*			1398 (2019)	Germany	KWS
12	BTS 1930 RHC	*	*		1400 (2021)	Germany	Betaseed
13	BTS 233 (BTS 180)	*	*		1393 (2014)	Germany	Betaseed
14	BTS 2770	*	*		1402 (2023)	Germany	Betaseed
15	BTS 3645 RHC	*	*		1400 (2021)	Germany	Betaseed
16	BTS 4665 RHC	*	*		1400 (2021)	Germany	Betaseed
17	BTS 6385 RHC	*	*		1404 (2025)	Germany	Betaseed
18	Bumerang	*	*		1388 (2009)	Belgium	SESVanderhave
19	Cadet	*			1393 (2014)	Sweden	Syngenta
20	Davida (8K885)	*	*		1400 (2021)	Germany	KWS
21	Dena	*	*		1397 (2018)	Iran	SBSI
22	Donya	*	*		1402 (2023)	Iran	SBSI
23	Dorotea	*	*		1379 (2000)	Sweden	Syngenta
24	Dozer	*			1402 (2023)	Sweden	Maribo hilleshog
25	Efesos	*	*		1391 (2012)	Denmark	Maribo
26	Ekbatan	*			1392 (2013)	Iran	SBSI
27	FD Chop	*	*		1400 (2021)	France	Florimond Desprez
28	FD Crampon	*	*		1403 (2024)	France	Florimond Desprez
29	FD Epee	*			1400 (2021)	France	Florimond Desprez
30	FD Souani	*	*	*	1400 (2021)	France	Florimond Desprez
31	FD Outsider	*	*		1403 (2024)	France	Florimond Desprez
32	FD Winch	*	*		1400 (2021)	France	Florimond Desprez
33	Firmina	*	*		1404 (2025)	Germany	KWS
34	Flores	*	*		1384 (2005)	Denmark	Maribo
35	Gecko	*	*		1397 (2018)	Belgium	SESVanderhave
36	Glacita	*			1398 (2019)	Germany	KWS
37	Iris	*			1390 (2011)	Netherlands	Kuhn & Co
38	Ivano	*			1387 (2008)	Sweden	Syngenta
39	Jenara	*			1398 (2019)	Germany	KWS
40	Karta	*			1394 (2015)	Sweden	Syngenta
41	Kermit	*			1390 (2011)	Denmark	Maribo
42	Laetitia	*	*		1382 (2003)	Germany	KWS
43	Loriquet	*	*	*	1393 (2014)	France	Florimond Desprez
44	Loriot	*	*		1397 (2018)	France	Florimond Desprez
45	Magnolia	*			1384 (2005)	Germany	KWS
46	Modex	*			1391 (2012)	Denmark	Maribo
47	Novella	*			1394 (2015)	Denmark	Maribo
48	Novodoro	*	*		1389 (2010)	Sweden	Syngenta
49	Pantera	*			1390 (2011)	Belgium	SESVanderhave
50	Permeier	*	*		1388 (2009)	Germany	Strube
51	Rosamina	*	*		1394 (2015)	Netherlands	Kuhn & Co
52	Sina	*	*		1397 (2018)	Iran	SBSI
53	Tabal	*			1393 (2014)	Sweden	Syngenta
54	Tiaris	*	*		1401 (2022)	Belgium	SESVanderHave
55	Tooka	*			1398 (2019)	Belgium	SESVanderhave
56	Tourelle	*	*		1392 (2013)	France	Florimond Desprez
57	Tous	*	*		1385 (2006)	Sweden	Syngenta
58	Urselina	*	*		1399 (2020)	Germany	KWS
59	Vucko (ST103)	*	*		1402 (2023)	Germany	Strube
60	Wawilow	*	*	*	1399 (2020)	Germany	Strube

* برگرفته از انتشارات عملکرد پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند سال ۱۳۹۳ به شماره ۶۷۹۲۵ مورخه ۱۴۰۴/۰۶/۱۵ و فهرست ملی ارقام منتشر شده

درسایت موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی

*From the Research Performance Publications of Sugar beet seed Institute, 2014, No. 67925, dated (September, 2025) and the National List of Released Varieties published on the website of Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization

در مجموع، شناسایی ۶۰ رقم دارای صفت مقاومت به ریزوکتونیا و سهم بالای ارقام دارای مقاومت هم‌زمان به ریزومانیا و ریزوکتونیا، بر اهمیت استفاده از مقاومت چندگانه در مدیریت بیماری‌های مهم چغندر قند تأکید دارد. تنوع موجود در منابع ژنتیکی مقاومت، علاوه بر فراهم کردن امکان انتخاب ارقام مناسب برای مناطق آلوده و مستعد بیماری، ظرفیت ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی آینده فراهم می‌کند. استفاده هدفمند از این منابع در برنامه‌های تلاقی و انتخاب می‌تواند به توسعه هیبریدهای منورژم با مقاومت چندگانه و پایدار، عملکرد و کیفیت مطلوب و سازگاری مناسب با شرایط مختلف کشت چغندر قند در کشور منجر شود.

نتیجه گیری

بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه چغندر قند از مهمترین بیماریهای اقتصادی این محصول در ایران به‌شمار می‌رود. با توجه به خاک‌زاد بودن عامل بیماری و همچنین دامنه میزبانی نسبتاً گسترده این بیمارگر، یکی از مؤثرترین روشهای کاهش خسارت آن، استفاده از ارقام مقاوم است. وجود منابع ژنتیکی دارای مقاومت و توسعه روش‌های کارآمد برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم، امکان بهره‌گیری از برنامه‌های اصلاحی برای تولید هیبریدهای مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی طوقه و ریشه چغندر قند را فراهم کرده است. فعالیت‌های اصلاحی انجام‌شده در ایران نیز به شناسایی و توسعه لاین‌ها و ارقام دارای سطوح مطلوب مقاومت به این بیمارگر منجر شده است. با این حال، با توجه به ماهیت کمی و چندژنی مقاومت به ریزوکتونیا، تداوم انتخاب و ارزیابی منابع ژنتیکی، برای دستیابی به مقاومت پایدار ضروری است. توسعه و استفاده از نشانگرهای مولکولی پیوسته با مقاومت به بیمارگر *R. solani* می‌تواند با افزایش دقت و سرعت انتخاب، فرایند تهیه لاین‌های مقاوم را تسهیل کند. از این‌رو، تکمیل فرایند شناسایی، اعتبارسنجی و

کاربرد این نشانگرهای مولکولی در برنامه‌های اصلاحی چغندر قند می‌تواند نقش مهمی در تسریع انتخاب به کمک نشانگر داشته باشد.

از سوی دیگر، با توجه به شیوع گسترده بیماری ریزومانیا در مناطق مختلف چغندرکاری ایران، توجه هم‌زمان به مقاومت در برابر ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی در برنامه‌های اصلاحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین، توسعه لاین‌ها و هیبریدهایی که بتوانند در برابر هر دو بیماری سطح مطلوبی از مقاومت یا تحمل نشان دهند، می‌تواند به افزایش پایداری عملکرد ارقام جدید در شرایط واقعی تولید کمک کند. استفاده از ارقام تجاری دارای مقاومت مطلوب و ویژگی‌های زراعی مناسب نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از راهبردهای تأمین منابع ژنتیکی برای ایجاد جمعیت‌های اصلاحی و توسعه ذخایر ژنی (Gene pool) مورد توجه قرار گیرد. این جمعیت‌ها می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی آینده برای شناسایی و ترکیب منابع مختلف مقاومت و صفات زراعی مطلوب مورد استفاده قرار گیرند. در نهایت، با توجه به محدودیت‌های روزافزون کشت بهاره چغندر قند در برخی مناطق کشور، ناشی از خشکسالی، محدودیت منابع آبی و تغییرات اقلیمی، کشت پاییزه چغندر قند در حال توسعه است. در کشت پاییزه چغندر قند در خوزستان، پوسیدگی ریشه در مراحل پایانی فصل رشد می‌تواند اهمیت پیدا کند؛ بنابراین، ارزیابی منابع مقاومت به *R. solani* در شرایط کشت پاییزه و استفاده از این منابع در برنامه‌های اصلاحی برای توسعه ارقام سازگار با این نظام کشت، می‌تواند به‌عنوان یکی از محورهای پژوهشی آینده مورد توجه قرار گیرد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

منابع مورد استفاده

- Aeini M, Khodakaramian G. Rhizosphere bacterial composition of the sugar beet using SDS-PAGE methodology. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2018; 60:1-13. **Doi:** <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160374>
- Aghaezadeh M and Sadeghzadeh Hemayati S. Sugar beet breeding. Technical Report, Sugar Beet Seed Institute, 2020; No. 56864;. (In Persian)
- Ajayi-Oyetunde OO, Bradley CA. *Rhizoctonia solani*: Taxonomy, population biology and management of rhizoctonia seedling disease of soybean. *Plant Pathology*. 2018; 67:3-17. **Doi:** <https://doi.org/10.1111/ppa.12733>
- Barreto A, Paulus S, Varrelmann M, Mahlein AK. Hyperspectral imaging of symptoms induced by *Rhizoctonia solani* in sugar beet: comparison of input data and different machine learning algorithms. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2020; 127:441-451. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00344-8>
- Benker M. Rhizoctonia root rot - Can resistant sugar beet varieties contribute to control the disease. *Sugar Industry*. 2000; 125(9):693-697
- Biancardi E. History of sugar beet breeding In: Biancardi E, Campbell LG, Skaracis GN, De Biaggi M, (Eds.) *Genetics and breeding of sugar beet*. Enfield (NH): Science Publishers; 2005; p. 38-40. **DOI:** <https://doi.org/10.1017/S0014479705283540>
- Bolton MD, Panella L, Campbell L. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* root and crown rot of sugar beet. *Phytopathology*. 2010; 100:689-697. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/phyto-100-7-0689>
- Brantner JR, Chanda AK. Effects of inoculum density and cultivar susceptibility on *Rhizoctonia* damping-off and crown and root rot in sugar beet. *Plant Diseases*. 2021; 105:1019-1025. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/pdis-02-20-0336-re>
- Büttner G, Führer Ithurrart ME, Buddemeyer J. Späte rübenfäule (*Rhizoctonia solani*) – verbreitung, wirtschaftliche bedeutung und integrierte bekämpfungskonzepte. *Zuckerindustrie*. 2002; 127:856-866.
- Büttner G, Pfähler B, Märlander B. Greenhouse and field techniques for testing sugar beet for resistance to rhizoctonia root and crown rot. *Plant Breeding*. 2004; 123(2):158-166. **Doi:** <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2003.00967.x>
- Büttner G, Pfahler B, Petersen J. *Rhizoctonia* root rot in Europe—incidence, economic importance and concept for integrated control. In: *Proceedings of the 66th IIRB-ASSBT Congress*; 2003. p. 897-901.
- Campbell CL, Altman J. Rapid laboratory screening of sugar beet cultivars for resistance to *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*. 1976; 66: 1373-1374. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/Phyto-66-1373>
- Campbell LG, Bugbee WM. Pre-breeding for root-rot resistance. *Journal of Sugar Beet Research*. 1993;30(4).
- Carling DE, Kunita S, Brainard KA. Hyphal anastomosis reactions, rDNA-internal transcribed spacer sequences, and virulence levels among subsets of *Rhizoctonia solani* anastomosis Group-2 (AG-2) and AG-BI. *Phytopathology*. 2002; 92(1):43-50. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/phyto.2002.92.1.43>
- Cornelissen JHC. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. *Journal of Ecology*. 1996; 84:573-582. **Doi:** <https://doi.org/10.2307/2261479>
- Dadkhah A. Evaluation resistance of sugar beet varieties to rhizoctonia root rot in Isfahan. (MSc thesis). Tarbiat Modares University. 1999. p. 120 (In Persian)
- Das S, Pattanayak S. Soil-borne pathogen-mediated root rot diseases of sugar beet and their management. pp. 591-606. In: Misra V, Srivastava S, Mall AK. (Eds.) *Sugar Beet Cultivation, Management, and Processing*. Cham: Springer; 2022. **Doi:** https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_28
- Davey JW, Hohenlohe P.A, Etter PD, Boone JQ, Catchen JM, Blaxter ML. Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing. *Nature Reviews Genetics*. 2011; 12(7):499-510. **Doi:** <https://doi.org/10.1038/nrg3012>
- Ebrahimi Koulaee H, Mahmoudi SB, Hasani M. Evaluation of the resistance of sugar beet breeding lines to rhizoctonia root and crown rot. *Journal of Sugar Beet*. 2010; 26(1):31-42. doi:10.22092/JSB.2010.758. (In Persian with English abstract). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2010.758>
- Ebrahimi Koulaei H, Mahmoudi SB. Evaluation of resistance of sugar beet genotypes to rhizoctonia root and crown rot in microplot conditions. In: *Proceedings of the 18th Iranian Plant Protection Congress*; 2008. p. 24-27.
- Ebrahimi Koulaei H, Mansouri H, Soltani J, Mahmoudi SB, Aghaezadeh M, Hassani M, Orazizadeh MR, Pedram A. Ekbatan, The first Iranian sugar beet cultivar resistant to rhizoctonia and tolerant to rhizomania. *Research Findings in Field and Horticultural Crops*. 2019; 8(1):117-134. (In Persian). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/rafhc.2019.115382.1095>

- Ebrahimi Koulaei H, Mansouri H, Aghaezadeh M, Mohammadian R, Soltani J, Fotouhi K, Sharifi M. Evaluation of yield potential and resistance to *Rhizoctonia solani* (*Rhizoctonia solani*) disease of new sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. Iranian Journal of Crop Sciences. 2019; 21(2):173-187. **Doi:** <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.173>
- Engelkes CA, Windels CE. Susceptibility of sugar beet and beans to *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIB and AG-2-2 IV. Plant Disease. 1996; 80:1413-1417. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/pd-80-1413>
- Farhaoui A, El Alami N, Khadiri M, Ezrari S, Radouane N, Baala M, *et al.* Biological control of diseases caused by *Rhizoctonia solani* AG-2-2 in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Physiological and Molecular Plant Pathology. 2023; 124:101966. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.101966>
- Fasahat P, Khayamim S, Soltani IJ, Darabi S, Pedram A, Hasanai M, Jalilian A, Babaei B. Stability analysis of genotype× environment interaction effect on sugar yield in sugar beet hybrids. Journal of Crop Breeding. 2019. 11(32), 33-40. **Doi:** <https://doi.org/10.29252/jcb.11.32.33>
- Garvin MR, Saitoh K, Gharrett AJ. Application of single nucleotide polymorphisms to non-model species: a technical review. Molecular Ecology Resources. 2010; 10(6):915-934. **Doi:** <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02891.x>
- Gaskill JO, Mumford DL, Ruppel EG. Preliminary report on breeding sugar beet for combined resistance to leaf spot, curly top, and Rhizoctonia. Journal of the American Society of Sugar beet Technologist. 1970; 16: 207-213. **Doi:** <https://doi.org/10.5274/jsbr.16.3.207>
- Hamze H, Hassani M, Mansouri H. Screening O-type lines of sugar beet in terms of resistance to Rhizoctonia root rot. Journal of Sugar Beet. 2021; 37(2):153-165. (In Persian with English abstract) **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2022.357181.1296>
- Hassani M, Heidari B, Mahmoudi SB, Taleghani DF, Stevanato P. Identification of Owen -Type male sterility maintainers carrying resistance against Rhizoctonia crown and root rot (Rcrr) disease in sugar beet germplasm. Sugar Tech. 2019; 21(6):959-965. **Doi:** <https://dx.doi.org/10.1007/s12355-019-00733-w>
- Hecker RJ, Ruppel EG. Inheritance of resistance to rhizoctonia root rot in sugar beet. Crop Science. 1975; 15:487-490. **Doi:** <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500040011x>
- Hecker RJ, Ruppel EG. Polyploid and maternal effects on rhizoctonia root rot resistance in sugar beet. Euphytica. 1976; 25:419-423. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/bf00041575>
- Hecker RJ, Ruppel EG. Rhizoctonia root rot resistance in sugar beet: breeding and related research. Journal of Sugar beet Research. 1977; 19(3): 246-256.
- Ithurrart ME, Büttner G, Petersen J. Rhizoctonia root rot in sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *altissima*)-epidemiological aspects in relation to maize (*Zea mays*) as a host plant. Journal of Plant Diseases and Protection. 2004; 111(3):302-312.
- Kakueinezhad M, Taheri P, Mahmoudi SB, Tarighi S. Sources of resistance to Phytophthora root rot within the genus *Beta*. Euphytica. 2017; 213(8):193–209. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1985-2>
- Kakueinezhad M, Taheri P, Mahmoudi SB, Tarighi S. Resistance assessment and biochemical responses of sugar beet lines against *Pythium aphanidermatum*, causing root rot. European Journal of Plant Pathology. 2018; 151(2):307-19. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1373-8>
- Kalika-Singh S, Del Rio Mendoza L, Khan M. Rhizoctonia crown and root rot in sugar beet: A review on biology, epidemiology, and sustainable management. South Asian Journal of Agricultural Sciences. 2025; 5(2):238-242. **Doi:** <https://doi.org/10.22271/27889289.2025.v5.i2c.215>
- Khan AF, Liu Y, Khan MF. Efficacy and safety of generic azoxystrobin in controlling *Rhizoctonia solani* in sugar beet. Crop Protection. 2017; 93:77-81. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.024>
- Khan MFR and Bolton MD. Management of rhizoctonia root and crown rot of sugar beet. NDSU Agriculture; 2021. Available from: <https://www.ndsu.edu/agriculture/ag-hub/publications/management-Rhizoctonia-root-and-crown-rot-sugarbeet>
- Khan MR, Haque Z, Rasool F, Salati K, Khan U, Mohiddin FA, *et al.* Management of root-rot disease complex of mungbean caused by *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* through soil application of *Trichoderma* spp. Crop Protection. 2019; 119:24-29. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.014>
- Kiewnick S, Jacobsen BJ, Braun-Kiewnick A, Eckhoff JL, Bergman JW. Integrated control of Rhizoctonia crown and root rot of sugar beet with fungicides and antagonistic bacteria. Plant Disease. 2001; 85(7):718-722. **Doi:** <https://doi.org/10.1094/pdis.2001.85.7.718>
- Lein JC, Sagstetter CM, Schulte D, Thurau T, Varrelmann M, Saal B, *et al.* Mapping of rhizoctonia root rot resistance genes in sugar beet using pathogen response-related sequences as molecular markers. Plant Breeding. 2008; 127(6):602-611. **Doi:** <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01525.x>

- Liu Y, Khan MFR. Penthiopyrad applied in close proximity to *Rhizoctonia solani* provided effective disease control in sugar beet. *Crop Protection*. 2016; 85:33-37. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.017>
- Luterbacher MC, Asher MJC, Beyer W, Mandolino G, Scholten OE, Frese L, *et al.* Sources of resistance to diseases of sugar beet in related *Beta* germplasm: II. Soil-borne diseases. *Euphytica*. 2005; 141(1):49-63. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s10681-005-5231-y>
- Mahmoudi B, Mesbah M, Alizadeh A, Ebrahimi-koulaii H. Comparison of different methods for evaluation of resistance to rhizoctonia root and crown rot in selected genotypes of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2003; 19(1):1-22. (In Persian with English abstract). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2003.7149>
- Mahmoudi SB, Ghashghaie S. Reaction of sugar beet S1 lines and cultivars to different isolates of *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* AG-2-IIIIB. *Euphytica*. 2012; 190:439-445. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0832-8>
- Mahmoudi SB, Mesbah M, Alizadeh A. Pathogenic variability of sugar beet isolates of *Rhizoctonia solani*. *Iranian Journal of Plant Pathology*. 2004. 40(3-4):253- 280. ((In Persian with English abstract).)
- Mahmoudi SB, Noruzi P, Khayamim S, Bazarafshan M, Mansouri H, Ahmadi M, Sadeghzadeh S, Aghaezadeh M. Identification of proper maternal parent for producing sugar beet cultivars resistant to major soil-borne diseases. *Journal of Sugar Beet*. 2020; 36(1):1-13. (Persian with English abstract). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2021.351187.1244>
- Mansouri H, Hamze H, Hassani M. Determining the appropriate time for evaluating the resistance of sugar beet roots to rhizoctonia rot under microplot conditions based on growing degree days (GDD). *Journal of Sugar Beet*. 2023; 39(1):67-76. (In Persian with English abstract). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.364027.1336>
- Mansouri H, Hamze H, Hassani M. Identification of resistant pollinator lines to soil-borne *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, 1858 in sugar beet using SIIG technique. *Agricuiturae Conspectus Scientificus*. 2024; 89(3):199-208.
- McGrath JM, Hanson LE, Panella L. Registration of SR98 sugar beet germplasm with resistances to rhizoctonia seedling and crown and root rot diseases. *Journal of Plant Registrations*. 2015; 9(2):227-231. **Doi:** <https://doi.org/10.3198/jpr2013.08.0052crg>
- Misra V, Mall AK, Singh D. Rhizoctonia root-rot diseases in sugar beet: Pathogen diversity, pathogenesis and cutting-edge advancements in management research. *The Microbe*. 2023; 1:1-17. **Doi:** <https://doi.org/10.1016/j.microb.2023.100011>
- Nagendran S, Hammerschmidt R, Mitchell McGrath J. Identification of sugar beet germplasm EL51 as a source of resistance to post-emergence rhizoctonia damping-off. *European Journal of Plant Pathology*. 2009. 123: 461–471. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9384-0>
- Noor A, Khan MFR. Efficacy and safety of mixing azoxystrobin and starter fertilizers for controlling *Rhizoctonia solani* in sugar beet. *Phytoparasitica*. 2014; 43:51-55. **Doi:** <https://doi.org/10.1007/s12600-014-0416-3>
- Norouzi P, Tork N, Kakueinezhad M, Mahmoudi SB, Maleki M. Development of a repulsive molecular marker linked to rhizoctonia resistance gene(s) in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2025; 40(1):13-30. (In Persian). **Doi:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.365710.1360>
- Ogoshi A. Introduction — the Genus *Rhizoctonia*. In: Sneh B, Jabaji-Hare S, Neate S, Dijst G. (Eds.) *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Dordrecht: Springer; 1996. p. 1-9
- Panella L, Frese L, Srivastava HM, Lange W. Screening and utilizing *Beta* genetic resources with resistance to rhizoctonia root rot and cercospora leaf spot in a sugar beet breeding programme. In: International *Beta* Genetic Resources Network. A report on the 4th International *Beta* Genetic Resources Workshop and World *Beta* Network Conference; 1996 Feb 28–Mar 3; Izmir, Turkey. Rome: IPGRI; 1998. Vol. 12.
- Panella L, Hanson LE. Registration of FC723 and FC723CMS monogerm sugar beet germplasm resistant to rhizoctonia root rot and moderately resistant to cercospora leaf spot. *Journal of Plant Registrations*. 2007;1(1):66-67. **Doi:** <https://doi.org/10.3198/jpr2006.12.0771crg>
- Panella L, Ruppel EG. Availability of germplasm for resistance against *Rhizoctonia* spp. In: Sneh B, Jabaji-Hare S, Neate S, Dijst G. (Eds.) *Rhizoctonia* species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Dordrecht: Springer Netherlands; 1996. p. 515-527. **Doi:** https://doi.org/10.1007/978-94-017-2901-7_47
- Panella L. Registration of FC709-2 and FC727 sugar beet germplasms resistant to rhizoctonia root rot and cercospora leaf spot. *Crop Science*. 1999; 39:298-299. **Doi:** <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183x003900010071x>

- Pourrahim R, Najafi H, Farzadfar Sh, Ardeh MJ, Sheikholeslami M, Fatemy S, Ghasemi A, Arbabi M. Sugar beet handbook (Plant Protection). Ministry of Jihad-e-Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran, Registration No. 50954. 2016; p. 157 (In Persian).
- Rafiei V, Velez H, Dixelius C, Tzelepis G. Advances on molecular interactions on the *Rhizoctonia solani*-sugar beet pathosystem. Fungal Biology Reviews. 2023; 44:100297. **Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.11.005>**
- Rajabi A, Aghaezadeh M, Taleghani D, Noruzi P, Yousefabadi V, Mahmoudi SB, Jalilian A, Pedram A, Bazarafshan M. "Sina" a monogerm sugar beet cultivar resistant to rhizomania and root rot. Tat Reflection. 2020; 3(10):8-9. (In Persian).
- Ravi S, Hassani M, Heidari B, Deb S, Orsini E, Li J, Richards CM, Panella LW, Srinivasan S, Campagna G, Concheri G, Squartini A, Stevanato P. Development of an SNP assay for marker-assisted selection of soil-borne *Rhizoctonia solani* AG-2-2-IIIB resistance in sugar beet. Biology. 2022; 11(1):49. **Doi: <https://doi.org/10.3390/biology11010049>**
- Ruppel SC. Conodonts from the lower mississippian fort payne and tuscumbia formations of northern Alabama. Journal of Paleontology. 1979; 55-70.
- Schneider C, Newman RA, Sutherland DR, Asser U, Greaves MF. A one-step purification of membrane proteins using a high efficiency immunomatrix. Journal of Biological Chemistry. 1982; 257(18):10766-10769. **Doi: [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)33889-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)33889-4)**
- Scholten OE, Panella LW, De Bock TS, Lange W. A greenhouse test for screening sugar beet (*Beta vulgaris*) for resistance to *Rhizoctonia solani*. European Journal of Plant Pathology. 2001; 107(2):161-166. **Doi: <https://doi.org/10.1023/a:1011208903344>**
- Schuster ML, Jensen SG, Sayre RM. Toothpick method of inoculating sugar beets for determining pathogenicity of *Rhizoctonia solani*. Journal of the American Society of Sugar beet Technologist. 1958; 10:142-149. **Doi: <https://doi.org/10.5274/jsbr.10.2.142>**
- Shahbazi H, Aghaezadeh M, Sadeghian SY, Ahmadi M, Soltani J, Ghaemi A, Ashraf Mansouri G, Bazarafshan M, Hassani M, Fotouhi K, Pedram A, Orazizadeh MR, Fathi MR, Matloobi F, Vahedi S, Sadeghzadeh S, Kakueinezhad M. Motahar, A multigerm sugar beet cultivar resistant to rhizomania disease. Research Achievements for Field and Agricultural Crops. 2015; 1(1):73-84. (In Persian).
- Sherwood RT. Anastomosis in relation to morphology and physiology of *Rhizoctonia solani*. Phytopathology. 1967; 57:830-836. **Doi: <https://doi.org/10.1525/9780520318243-008>**
- Smith GA, Gaskill JO. Inheritance of resistance to cercospora leaf spot in sugar beet. Journal of the American Society of Sugar beet Technologist. 1970; 16(2):172-180.
- Soltaninezhad S, Mahmoudi SB, Farokhi NR. Characterization of sugar beet rhizoctonia isolates in Iran. Journal of Sugar Beet. (In Persian with English abstract) 2008; 23(2):135-150. **Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2007.1315>**
- Stevanato P, Trebbi D, Panella L, Richardson K, Broccanello C, Pakish L, Fenwick AL, Saccomani M. Identification and validation of a SNP marker linked to the gene for nematode resistance in sugar beet. Plant Molecular Biology Reporter. 2015; 33:474-479. **Doi: <https://doi.org/10.1007/s11105-014-0763-8>**
- Takenaka, S.; Sayama, M. Rapid screening method of sugar beet cultivars for resistance to *Rhizoctonia* root and crown rot in: Proceedings of the Japanese Society of Sugar Beet Technologists. 2001; P. 58-63.
- Varshney RK, Nayak SN, May GD, Jackson SA. Next-generation sequencing technologies and their implications for crop genetics and breeding. Trends in Biotechnology. 2009; 27(9):522-530. **Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.05.006>**
- Windels CE, Kuznia RA, Call J. Characterization and pathogenicity of *Thanatephorus cucumeris* from sugar beet in Minnesota. Plant Disease. 1997; 81:245-249. **Doi: <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.3.245>**
- Würschum T. Mapping QTL for agronomic traits in breeding populations. Theoretical and Applied Genetics. 2012; 125(2):201-210. **Doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1887-6>**