پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۳): ۲۲۹-۲۱۹ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (3): 219–229 (2024)-*Research Article*

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2024.18151

ارزیابی مقاومت ارقام تجارتی چغندرقند به *Pythium aphanidermatum*

نازنین علاقه‌بندزاده[۱]، سعید رضایی[۱]، حمیدرضا زمانی‌زاده[۱]، پیمان نوروزی[۲]، سیدباقر محمودی[۲]✉

[۱]گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. [۲]موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ✉b.mahmoudi@areeo.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶

چکیده

بیمارگر *Pythium aphanidermatum* یکی از عوامل پوسیدگی ریشه چغندرقند در ایران می‌باشد. به‌منظور بررسی واکنش ارقام در برابر این بیمارگر، ابتدا روش غربال ارقام چغندرقند در برابر بیمارگر بهینه‌سازی شد. سپس تعداد ۲۴ رقم که در ایران مورد کشت و کار قرار می‌گیرند، در برابر بیمارگر ارزیابی شدند. سه روش مختلف ارزیابی در گلخانه شامل مایه‌زنی با سوسپانسیون برگ چمن، سوسپانسیون ااسپور و سوسپانسیون برگ چمن با ایجاد زخم روی ریشه با یکدیگر مقایسه شدند. تعداد ۱۲ رقم با این سه روش مایه‌زنی شدند. نتایج نشان داد سه روش ارزیابی مقاومت با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار دارند. سپس تعداد ۲۴ رقم تجارتی چغندرقند با روش مایه‌زنی سوسپانسیون برگ چمن در شرایط گلخانه ارزیابی شدند. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه شاخص بیماری پوسیدگی پیتیومی ریشه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، ارقام ایوانو، بومرنگ، فلورس و توس با متوسط شاخص آلودگی به بیماری به ترتیب ۲,۵۸، ۲,۶۵، ۲,۷۲ و ۲,۷۵ کمترین میزان پوسیدگی را در بین ارقام دارا بودند و به‌عنوان ارقام مقاوم به این بیماری معرفی شدند. ارقام جلگه، رسول، شیرین و جام به‌عنوان ارقام حساس دسته‌بندی شدند.

کلمات کلیدی: پوسیدگی پیتیومی، غربال، ژرم پلاسم، ارزیابی گلخانه‌ای، ااومیستها

Evaluation of the resistance of commercial sugar beet cultivars to *Pythium aphanidermatum*

Nazanin Alaghehbandzadeh[1], Saeed Rezaee[1], Hamidreza Zamanizadeh[1], Payman Norouzi[2], Seyed Bagher Mahmoudi[2]✉

[1]Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. [2]Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. ✉b.mahmoudi@areeo.ac.ir

Received: 6 June 2023 Revised: 24 February 2024 Accepted: 25 February 2024

Abstract

The pathogen, *Pythium aphanidermatum* is one of the causal agents of sugar beet root rot in Iran. In order to evaluate the reaction of cultivars to the pathogen, at first, the screening method of evaluation was optimized. Then, a number of 24 cultivars that are commonly cultivated in Iran were evaluated against the pathogen. Three different evaluation methods in the greenhouse including grass leaf suspension, oospore suspension, and grass leaf suspension using through making wounds on the roots were compared with each other. A number of 12 cultivars were inoculated with these three inoculation methods. The results showed that positive and significant correlation of the three methods with each other. Then, 24 commercial sugar beet cultivars were evaluated with grass leaf suspension method under the greenhouse conditions. Based on the results of the evaluation of the 24 commercial cultivars of sugar beet and the comparison of the disease index of Pythium root rot based on Duncan's multi-range test, Ivano, Boomrang, Flores and Tous had the lowest rot index among the cultivars with the average index of 2.58, 2.65, 2.72 and 2.75 respectively and were introduced as resistant cultivars to the disease. Cultivars Jolgeh, Rasool, Shirin and Jam were categorized as susceptible.

Keywords: Pythium root rot, Screening, Germplasm, Greenhouse evaluation, Oomycetes

How to cite:
Alaghehbandzadeh N, Rezaee S, Zamanizadeh H, Norouzi P, Mahmoudi SB, 2024. Evaluation of the resistance of commercial sugar beet cultivars to *Pythium aphanidermatum*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (3): 219–229.

مقدمه

چغندرقند به‌عنوان یکی از گیاهان صنعتی و مهم هرسال به‌صورت بهاره و پاییزه در ایران در سطحی حدود ۱۲۰ هزار هکتار کشت می‌شود (Taleghani *et al.* 2010). یکی از عوامل آسیب‌رسان به این محصول، عوامل مولد پوسیدگی ریشه هستند. تاکنون گروه‌های قارچی و شبه قارچی متعددی به‌عنوان عامل مرگ گیاهچه، بوته‌میری و پوسیدگی ریشه در ایران معرفی‌شده‌اند (Mahmoudi & Soltani 2005). گونه *Pythium aphanidermatum* Fitzpatrick(Edson) برای اولین بار در سال ۱۳۵۰ به‌عنوان عامل پوسیدگی ریشه چغندرقند گزارش شد (Fatemi 1971). این بیمارگر به‌عنوان یکی از عوامل مهم فساد بذر، مرگ گیاهچه، پوسیدگی ریشه و حتی فساد ریشه در سیلو نیز معرفی‌شده است (Ahmadinejad 1973; Mahmoudi *et al.* 2000) و در غالب مناطق کشور از استان‌های خراسان رضوی (Abbasimoghadam *et al.* 1998)، البرز (Arzanlou *et al.* 2000)، قزوین (Afzali & Banihashemi 2000)، فارس (Fasihiani 1991)، کرمانشاه (Sheikholeslami *et al.* 2005) و آذربایجان غربی (Irani & Ershad 1995) گزارش‌شده است. در یک مطالعه جامع در زراعت پاییزه در استان خوزستان نیز گونه‌های مختلفی از جنس پیتیوم به‌عنوان عوامل بوته‌میری و پوسیدگی ریشه معرفی شدند که در بین آن‌ها *P. aphanidermatum* از فراوانی بالایی برخوردار بود (Zamani Noor *et al.* 2004). جنس پیتیوم در اوایل به‌عنوان بیمارگر بذر، گیاهچه و بافت‌های گیاهی نابالغ موردتوجه بود؛ درحالی‌که تعدادی از گونه‌های این جنس به بافت‌های گیاه بالغ نیز حمله کرده و در آن‌ها باعث بیماری می‌شوند؛ به‌طوریکه گونه *P. aphanidermatum* در سال‌های ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ در آریزونا باعث پوسیدگی ریشه در چغندرقندهای بالغ شده و درنتیجه منجر به اپیدمی شد (Von Bretzel *et al.* 1988).

یکی از روش‌های کارآمد کاهش خسارت بیماری‌های خاکزی، کاربرد ارقام مقاوم است. از منظر کشاورزان استفاده از ارقام مقاوم ساده‌ترین و درعین‌حال کارآمدترین روش مدیریت بیماری‌های خاکزی است. پیش‌نیاز تهیه ارقام مقاوم، شناسایی منابع مقاومت به بیمارگر می‌باشد. تاکنون اطلاعات زیادی از مقاومت ژرم پلاسم چغندرقند به بیمارگر پیتیوم در دسترس نیست. مقاومت ژرم پلاسم گونه‌های جنس *Beta* نسبت به *P. ultimum* trow عامل گیاهچه‌میری چغندرقند، موردبررسی قرارگرفته و ژنوتیپ‌هایی با سطوح مختلف مقاومت معرفی شدند (Luterbacher *et al.* 2000, 2005). در ایران نیز Abrinnia *et al.* (2007)، مقاومت ۲۰ لاین چغندرقند تحت شرایط گلخانه‌ای نسبت به دو جدایه *P. ultimum* ارزیابی کردند. اولین گزارش از وجود منبع مقاومت در چغندرقند نسبت به *P. aphanidermatum* از ایران با معرفی چهار گرده‌افشان مقاوم در سال ۱۳۹۰ انجام شد (Fattahi *et al.* 2011). بعد از آن محرز شد که در جنس *Beta* در ژنوتیپ‌های مقاوم به (Kuhn) *Rhizoctonia solani* سطوحی از مقاومت به سایر بیمارگرهای خاک زاد نظیر (Mahmoudi & Ghashghaie 2013) *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid و شبه قارچ *Phytophthota drechsleri* (Tucker) وجود دارد (Kakouinezhad *et al.* 2017). به‌این‌ترتیب با توجه به معرفی ارقام تجاری چغندرقند مقاوم به *R. solani* در فهرست ملی ارقام گیاهی ایران (سایت موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال http://spcri.org/page-Main/fa/0/form/pId477)، این مطالعه باهدف بررسی واکنش آن‌ها نسبت به بیمارگر *P. aphanidermatum* که در زراعت بهاره و پاییزه ایران شیوع دارد، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

بهینه‌سازی روش ارزیابی مقاومت ارقام چغندرقند در شرایط گلخانه

بر مبنای پژوهش‌های قبلی (Zamani Noor *et al.* 2004; Fattahi *et al.* 2011; Kakouinezhad *et al.* 2017)، سه روش مختلف مایه‌زنی مورد مقایسه قرار گرفتند. روش‌های مایه‌زنی عبارت بودند از: ۱- مایه‌زنی با سوسپانسیون برگ چمن ۲- مایه‌زنی با االوسپو و ۳- مایه‌زنی سوسپانسیون برگ چمن همراه با ایجاد زخم روی ریشه گیاه.

در روش مایه‌زنی با سوسپانسیون برگ چمن، تعداد ۱۲ رقم چغندرقند در گلدان‌های حاوی خاک لومی رسی سترون کشت و در شرایط گلخانه نگهداری شدند. پس از گذشت ۱۵ هفته از رشد گیاهان، آلوده‌سازی توسط مایه تلقیح انجام شد. مایه تلقیح شامل یک بطری محتوی یک‌صد میلی‌لیتر سوسپانسیون برگ چمن بود (شکل ۱).

به‌منظور تهیه سوسپانسیون برگ چمن، صد میلی‌لیتر آب مقطر به ۰/۵ گرم برگ چمن اضافه گشته و سوسپانسیون موجود دو روز متوالی اتوکلاو شد. سپس یک بلوک حاوی کشت دو روزه *P. aphanidermatum* روی محیط کشت آرد ذرت- آگار CMA (Corn Meal Agar) به هر شیشه حاوی سوسپانسیون برگ چمن افزوده شد و به مدت یک هفته در دمای آزمایشگاه نگهداری شد.

شکل ۱. تهیه مایه تلقیح روی برگ چمن استریل شده در شیشه‌های با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر.

Figure 1. Inoculum preparation on sterile grass leaves in bottles with 200 ml volume.

از جدایه PA-8 که به‌عنوان بیماری‌زاترین جدایه تعیین شده بود (Kakouinezhad *et al.* 2017) استفاده گردید. به‌منظور تلقیح ریشه‌های چغندرقند در این آزمایش، خاک اطراف ریشه را کمی کنار زده، سوسپانسیون مایه تلقیح در کنار ریشه قرار گرفت (شکل ۲) و روی آن با خاک سترون پوشانیده شد. آبیاری بلافاصله انجام شد. برای ایجاد شرایط اشباع، گلدان‌ها درون جعبه‌های پلاستیکی قرارگرفته و درون جعبه‌ها مقداری آب ریخته شد (شکل ۳). هر دو روز یک‌بار سطح گیاهان آبپاشی شد. گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در گلخانه از شرایط نور طبیعی روز استفاده شد. برای هر رقم سه گلدان به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. گیاهان شاهد فقط برگ چمن استریل حاوی محیط کشت CMA را دریافت کردند. آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی با ۳۰ تکرار اجرا شد. یک ماه بعد از مایه‌زنی، تمامی ریشه‌ها از خاک خارج‌شده و پس از شستشوی سطحی بلافاصله مورد بررسی قرار گرفتند. ریشه‌ها برش طولی داده شدند و در صورت مشاهده علائم پوسیدگی و تغییر رنگ، میزان پوسیدگی در داخل بافت توسط مقیاس نه‌گانه باتنر و همکاران (2004) Buttner *et al.* برآورد شد (شکل ۴).

شکل ۲. کنار زدن خاک پای ریشه و قرار دادن سوسپانسیون مایه تلقیح کنار ریشه.

Figure 2. Putting aside the soil attached the root and placing the inoculum suspension beside the root.

در روش مایه‌زنی با سوسپانسیون ااسپور نیز، تعداد ۱۲ رقم چغندرقند مشابه روش قبل، در گلدان‌های حاوی خاک لومی رسی سترون کشت و در شرایط گلخانه نگهداری شدند. پس از گذشت ۱۵ هفته از رشد گیاهان، آلوده سازی توسط مایه تلقیح انجام شد. نحوه تلقیح و شرایط آزمایش کاملاً مشابه روش قبل بود با این تفاوت که به‌منظور آلوده سازی تعداد ده هزار عدد ااسپور به هر بوته مایه‌زنی شد. برای این کار، خاک اطراف ریشه را کمی کنار زده، مایه تلقیح در کنار ریشه قرار گرفت و روی آن با خاک سترون پوشانیده شد. شرایط نگهداری گلدان‌ها در گلخانه مشابه روش قبلی بود. برای تهیه سوسپانسیون اووسپور، ابتدا سوسپانسیون برگ چمن مشابه روش قبل تهیه شد. قبل از قرار گرفتن مایه تلقیح در اطراف ریشه در این روش، سوسپانسیون موجود به‌وسیله مخلوط‌کن، همگن و تعداد ااسپورها به‌وسیله اسلاید هماسیتومتر شمارش و غلظت ااسپور تعیین شد. در این روش نیز یک ماه پس از مایه‌زنی تمامی ریشه‌ها از خاک خارج‌شده و پس از شستشوی سطحی بلافاصله

مورد بررسی قرار گرفتند. ریشه‌ها برش طولی داده شدند و در صورت مشاهده علائم پوسیدگی و تغییر رنگ، میزان پوسیدگی در داخل بافت توسط مقیاس نه‌گانه مشابه روش قبل (Buttner *et al*. 2004) برآورد شد (شکل ۴). آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی با ۳۰ تکرار اجرا شد.

در روش مایه‌زنی سوسپانسیون برگ چمن با ایجاد زخم نیز تعداد ۱۲ رقم مشابه روش مایه‌زنی سوسپانسیون برگ چمن گیاهان ۱۵ هفته‌ای مایه‌زنی شدند. مایه تلقیح مانند روش سوسپانسیون برگ چمن تهیه شد. تفاوت این روش با روش اول در این است که در زمان تلقیح در این روش، نزدیک به نوک ریشه چغندرقند به‌وسیله اسکالپل زخم ایجادشده و سپس سوسپانسیون برگ چمن به همراه بلوک قارچ که توسط اسکالپل قطعه‌قطعه شده بود؛ در کنار محل زخم قرار گرفت. شرایط آزمایش در این بررسی کاملاً مشابه با دو روش قبل بود. این آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی و با ۳۰ تکرار انجام شد. در این روش، دو هفته پس از مایه‌زنی، تمامی ریشه‌ها از خاک خارج‌شده و پس از شستشوی سطحی بلافاصله موردبررسی قرار گرفتند. ریشه‌ها برش طولی داده شدند؛ علائم پوسیدگی و تغییر رنگ در داخل بافت توسط مقیاس نه‌گانه مشابه روش قبل (Buttner *et al*. 2004) برآورد شد (شکل ۴).

شکل ۳. قراردادن گلدان‌های تلقیح شده در تشت‌های حاوی آب به‌منظور ایجاد شرایط اشباع پیرامون ریشه.

Figure 3. Putting the inoculated pots in trays containing water in order to create saturated conditions around the roots.

شکل ۴. مقیاس نمره دهی به ریشه‌های چغندرقند آلوده با *Pythium aphanidermatum*.

Figure 5. The scale 1-9 in sugar beet roots infected with *Pythium aphanidermatum*.

ارزیابی مقاومت ارقام چغندرقند

مقاومت ۲۴ رقم چغندرقند در شرایط گلخانه ارزیابی شد. این ارقام جزو ارقامی هستند که با توجه به خصوصیات آن‌ها (جدول ۱) در کشور موردتوجه کشاورزان هستند و به‌عنوان ارقام رایج محسوب می‌شوند. به‌منظور ارزیابی مقاومت، از هر رقم ۳۰ گلدان و در هر گلدان یک بوته کشت شد. پس از گذشت ۱۵ هفته از رشد گیاهان، آلوده سازی به روش سوسپانسیون برگ چمن انجام شد. ریشه‌ها برش طولی داده شدند و در صورت مشاهده علائم پوسیدگی و تغییر رنگ، میزان پوسیدگی در داخل بافت توسط مقیاس نه‌گانه (Buttner *et al*. 2004) برآورد شد

(شکل ۴).

محاسبات آماری

در همه آزمایش‌ها، ابتدا شدت آلودگی در هر بوته در هر رقم (Buttner *et al*. 2004) برآورد شد. در نهایت شاخص بیماری (Disease Index: DI) برای هر رقم محاسبه شد. برای محاسبه شاخص بیماری از فرمول زیر استفاده شد (Kakouinezhad *et al*. 2017):

$$\text{شاخص بیماری} = \frac{\text{مجموع (تعداد بوته در آن شدت آلودگی * شدت آلودگی)}}{\text{تعداد بوته‌ها}}$$

به‌منظور دسته‌بندی واکنش ارقام به بیماری، شاخص بیماری خود در چهار کلی گروه دسته‌بندی شد (جدول ۲).

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات به روش دانکن ($p< 0.05$) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS version 21 و نرم‌افزار SAS صورت گرفت. ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) مبنای مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی مقاومت بود و برای محاسبه آن از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

جدول ۱. خصوصیات ارقام چغندرقند برای ارزیابی مقاومت به *Pythium aphanidermatum*.

Table 1. Characteristics of sugar beet cultivars for evaluating resistance to *Pythium aphanidermatum*.

No	Cultivar	Company	Resistance/ Tolerance
1	Pauletta	KWS	Rhizomania and Beet Cyst Nematode
2	Flores	Maribo	Rhizomania and Rhizoctonia
3	Ivano	Sesvanderhave	Rhizomania and Rhizoctonia
4	Roziere	FlorimondDesprez	Rhizomania and Rhizoctonia
5	Novodoro	Syngenta	Rhizomania and Rhizoctonia
6	Boomerang	Sesvanderhave	Rhizomania and Rhizoctonia
7	Tous	Syngenta	Rhizomania and Rhizoctonia
8	Dorotea	Syngenta	Rhizomania and Rhizoctonia
9	Ekbatan	SBSI	Tolerant to Rhizoctonia
10	Latitia	KWS	Rhizomania and Rhizoctonia
11	Torbat	SBSI	Resistant to Rhizomania
12	Mandarin	Maribo	Resistant to Rhizomania
13	Primier	Maribo	Rhizomania and Rhizoctonia
14	Azar	Sesvanderhave	Rhizomania and Rhizoctonia
15	Rasta	Syngenta	Resistant to Rhizomania
16	Brigita	KWS	Resistant to Rhizomania
17	Magnolia	KWS	Rhizomania and Rhizoctonia
18	Pars	SBSI	Tolerant to Rhizomania
19	Spartak	Syngenta	Resistant to Rhizomania and Bolting
20	Niksus	Syngenta	Resistant to Rhizomania and Bolting
21	Jaam	SBSI	Tolerant to Rhizomania and Rhizoctonia
22	Rasoul	SBSI	Tolerant to Bolting
23	Jolgeh	SBSI	-
24	Shirin	SBSI	-

نتایج و بحث

همبستگی بین روش‌های مختلف مایه‌زنی ارقام چغندرقند

همبستگی روش‌های ارزیابی مقاومت با محاسبه ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. سه روش مختلف مایه‌زنی، با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند (جدول ۳). این بدان معنی است که این سه روش می‌توانند جایگزین یکدیگر در ارزیابی مقاومت ارقام شوند و تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد.

جدول ۲. دسته‌بندی ارقام بر مبنای شاخص پوسیدگی ریشه.

Table 2. Sugar beet classification on the basis of root rot Index (DI).

No.	Disease Index (DI)	Genotypes
1	1-2.99	Resistant
2	3-4.99	Semi-Resistant
3	5-6.99	Semi-Susceptible
4	7-9	Susceptible

در جدول ۴ نتایج سه روش مختلف مایه‌زنی روی ۱۲ رقم در شرایط گلخانه آورده شده است. این ۱۲ رقم بر مبنای شاخص آلودگی در دو روش مایه‌زنی با سوسپانسیون برگ چمن و یا سوسپانسیون اووسپور با استفاده از آزمون دانکن در پنج گروه دسته‌بندی شدند حال‌آنکه درروش مایه‌زنی با ایجاد زخم، ارقام به سه دسته تقسیم شدند. در هر سه روش ارزیابی، رقم جلگه به‌عنوان رقم حساس شناخته شد. ارقام فلورس، ایوانو، نودورو، روزیر و توس در دو روش مایه‌زنی با برگ چمن و اووسپور در دسته مقاوم طبقه‌بندی شدند. سایر ارقام در گروه نیمه مقاوم دسته‌بندی شدند.

جدول ۳. ضرایب همبستگی روش‌های مختلف ارزیابی مقاومت به پوسیدگی پیتیومی ریشه در ارقام مختلف چغندرقند.

Table 3. Correlation coefficients of different methods of sugar beet cultivars evaluating to Pythium root rot.

Evaluating methods	Grass leaf suspension	Oospore suspension
Oospore suspension	0.848**	1
Grass leaf suspension with root wound	0.832**	0.798**

Significant at 0.01**

در روش مایه‌زنی با ایجاد زخم، هیچ‌کدام از ارقام در گروه مقاوم دسته‌بندی نشدند (جدول ۴). این ۱۲ رقم در روش مایه‌زنی با زخم در سه گروه نیمه مقاوم، نیمه حساس و حساس دسته‌بندی شدند (جدول ۴). به نظر می‌رسد که زخم در ورود بیمارگر به ریشه کمک کرده و شدت آلودگی را افزایش داده است. برخی از بیمارگرها قادر به عبور از سدهای فیزیکی موجود در ساختار ریشه نیستند و زمانی که زخمی ایجاد شود به‌راحتی از طریق آن وارد گیاه می‌شوند (Willsy *et al*. 2017).

در بررسی شدت آلودگی، بوته‌هایی که نمره یک دریافت می‌کنند به‌عنوان بوته‌های سالم تلقی می‌شوند (Buttner *et al*. 2004). به نظر می‌رسد که در هر روش ارزیابی که در آن تعداد بوته‌های دارای شدت آلودگی یک، کمتر باشد احتمالاً از دقت بیشتری برخوردار است زیرا بوته‌ای که از بیماری فرار کرده باشد وجود ندارد. در این بررسی، درصد بوته‌هایی که نمره شدت آلودگی آن‌ها یک بود، در سه روش مایه‌زنی محاسبه شد (جدول ۵). در روش ارزیابی با زخم درصد بوته‌های سالم و عاری از بیماری کمترین مقدار بود. همچنین، در این روش علائم بیماری در مقایسه با دو روش دیگر که در زمان مایه‌زنی زخم ایجاد نشد زودتر ظاهرشده و گیاهان دو هفته پس از مایه‌زنی برداشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اگرچه مؤثرترین روش کنترل بیماری‌های ناشی از گونه‌های پیتیوم استفاده از ارقام مقاوم است (Bannet *et al*. 2007; Kens 2008)، ولی تحقیقات اندکی برای معرفی منابع مقاوم به این بیمارگر در چغندرقند صورت گرفته است. تاکنون تحقیق مدونی در زمینه مقاومت به بیمارگر *P. aphanidermatum* در مرحله بلوغ در چغندرقند صورت نگرفته است اما نتایج پژوهش‌ها وجود مقاومت به *P. ultimum* در مرحله گیاهچه‌ای نشان داده است (Luterbacher *et al*. 2005; Abrinnia *et al*. 2007). در ایران بیمارگر *P. aphanidermatum* یکی از شایع‌ترین عوامل پوسیدگی ریشه چغندرقند در مرحله بلوغ می‌باشد (شکل ۵) و در مرحله گیاهچه این بیمارگر اهمیت چندانی ندارد.

معمولاً در ایران بذر چغندرقند با تراکم بیشتری در مزرعه کاشته می‌شود. میزان مصرف بذر در هر هکتار یک‌صد هزار عدد بذر تعریف‌شده است حال‌آنکه در ایران به دلایل مختلف بالغبر ۲۵۰ هزار عدد بذر در هر هکتار کشت می‌شود (Taleghani *et al*. 2010)، در عمل هرچند که تعداد زیادی از بذرها و گیاهچه‌ها از بین می‌روند، بازهم تعداد کافی و حتی بیشتر از آن باقی می‌ماند و از این نظر خسارت بیماری در این مرحله معمولاً مورد توجه نمی‌باشد. همچنین، بذر چغندرقند دریافتی توسط کشاورزان به‌وسیله قارچ‌کش‌های مختلف تیمار و یا پلت (Pallet) شده است، به همین دلیل بیماری مرگ گیاهچه ناشی از این بیمارگر و یا سایر عوامل قارچی مسبب مرگ گیاهچه، در ارقام چغندرقند اهمیت چندانی ندارد. علاوه بر موارد ذکرشده بیمارگر *P. aphanidermatum* دارای دمای بهینه ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی گراد می‌باشد، بنابراین اوج فعالیت این بیمارگر در ماه‌های گرم تابستان است که مصادف با مرحله بلوغ ریشه‌های چغندرقند می‌باشد. با توجه به اهمیت این بیمارگر در ایران به‌عنوان یکی از عوامل پوسیدگی ریشه چغندرقند و تحقیقات اندک صورت گرفته در این زمینه، ضروری به نظر می‌رسید که ابتدا مقاومت ارقام تجارتی موجود در بازار نسبت به بیمارگر *P. aphanidermatum* مورد بررسی قرار گیرد تا به‌توان در کوتاه‌مدت دغدغه کشاورزان را از خسارت این بیماری کاهش داد و همچنین در راستای تهیه ارقام مقاوم و یا متحمل گام برداشت.

جدول ۴. مقایسه شاخص بیماری پوسیدگی پیتیومی ریشه در ارقام چغندرقند با سه روش مختلف مایه‌زنی.

Table 4. Comparison of Pythium root rot index in sugar beet cultivars inoculated by three different methods.

No.	Cultivar	Inoculation with grass leaf suspension		Inoculation with oospore		Inoculation with grass leaf suspension plus wounding	
		Disease index	Grouping	Disease index	Grouping	Disease index	Grouping
1	Pauletta	3.1^{ab}	Semi Resistant	1.2^{a}	Resistant	5.33^{b}	Semi susceptible
2	Flores	2.9^{a}	Resistant	1.4^{a}	Resistant	4^{ab}	Semi resistant
3	Ivano	2.61^{a}	Resistant	1.7^{ab}	Resistant	3.36^{a}	Semi resistant
4	Novodoro	2.91^{a}	Resistan t	2.2^{abc}	Resistant	5.3^{b}	Semi susceptible
5	Rosiere	2.96^{a}	Resistant	2.5^{abc}	Resistant	3.86^{a}	Semi resistant
6	Tous	2.9^{a}	Resistant	2.6^{abc}	Resistant	3.14^{a}	Semi resistant
7	Dorotea	3.34^{abc}	Semi resistant	3.5^{bcd}	Semi resistant	5.67^{b}	Semi susceptible
8	Ekbatan	3.96^{cd}	Semi Resistant	3.7^{cd}	Semi Resistant	5.79^{b}	Semi susceptible
9	Perimier	4.05^{cd}	Semi Resistant	3.9^{cd}	Semi Resistant	4.9^{b}	Semi resistant
10	Magnolia	4.6^{cd}	Semi resistant	3.9^{cd}	Semi resistant	5.43^{b}	Semi susceptible
11	Brigita	5.09^{d}	Semi resistant	5^{d}	Semi resistant	5.51^{b}	Semi susceptible
12	Jolgeh	8.45^{e}	Susceptible	8.5^{e}	Susceptible	8.8^{c}	Susceptible

In each column, the averages with the same letters have no significant difference ($p\leq0.05$)

جدول ۵. مقایسه درصد بوته‌های سالم ارقام در سه روش مایه‌زنی مختلف با بیمارگر *Pythium aphanidermatum*.

Table 5. Comparison of the percentage of healthy plants in cultivars in three different inoculation methods with *Pythium aphanidermatum*.

Method	percentage of healthy plants
Grass leaf suspension	22.75%
Oospore suspension	14.39%
Grass leaf suspension plus wounding	4.24%

جدول ۵. مقایسه درصد بوته‌های سالم ارقام در سه روش مایه‌زنی مختلف با بیمارگر *Pythium aphanidermatum*.

Table 5. Comparison of the percentage of healthy plants in cultivars in three different inoculation methods with *Pythium aphanidermatum*.

Method	Percentage of healthy plants
Grass leaf suspension	22.75%
Oospore suspension	14.39%
Grass leaf suspension plus wounding	4.24%

با توجه به شیوع حدود ۲۰ درصدی این بیماری در زراعت چغندرقند در ایران (Mahmoudi & Soltani 2005) و عدم معرفی رقم مقاوم به آن در فهرست ملی ارقام گیاهی ایران، لذا بر مبنای تحقیقات پیشین (Fattahi *et al*. 2011; Mahmoudi & Ghashghaie 2013; Kakouinezhad *et al*. 2017; Moshari *et al*. 2021) ارقام مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی در چغندرقند، سطحی از مقاومت به سایر عوامل بیمارگر قارچی را دارند. این پژوهش برای تسریع در تعمیم این نتیجه و استفاده کشاورزان از ارقام موجود در کشور اجرا شد و نشان داد که ارقامی از فهرست ملی کشور که به‌عنوان مقاوم به ریزوکتونیا ثبت شده اند می‌توانند در مناطق آلوده به بیمارگر *P. aphanidermatum* نیز توصیه شوند.

شکل ۵. علایم پوسیدگی در ریشه چغندرقند مایه‌زنی شده با *Pythium aphanidermatum*.

Figure 5. Symptoms of sugar beet root inoculated with *Pythium aphanidermatum*.

ارزیابی مقاومت ارقام چغندرقند

در این تحقیق مقاومت ۲۴ رقم از ارقام شناخته‌شده که برخی از آن‌ها به‌عنوان ارقام مقاوم به ریزوکتونیا در فهرست ملی ارقام گیاهی کشور ثبت‌شده‌اند، نسبت به *P. aphanidermatum* در گلخانه، با استفاده از روش مایه‌زنی سوسپانسیون برگ چمن مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۶).

مقایسه میانگین شاخص بیماری ارقام مختلف با استفاده از آزمون دانکن نشان داد ارقام ایوانو، بومرنگ، فلورس و توس دارای کمترین میزان آلودگی بوده و به‌عنوان ارقام مقاوم معرفی شدند. در مطالعات قبلی این ارقام به‌عنوان ارقام تجارتی خارجی مقاوم به ریزوکتونیا و ریزومانیا معرفی‌شده بودند (Fattahi *et al*. 2011; Mahmoudi & Ghashghaie 2013). ذکر این نکته نیز جالب‌توجه است که ارقام چغندرقند رسول، ایوانو و اسپارتاک در این پژوهش با تحقیق دیگری به‌منظور بررسی مقاومت ارقام چغندرقند به *Phytophthora drechsleri* Tucker مشترک و نتایج این دو تحقیق یکدیگر را تائید کرد (Kakouinezhad *et al*. 2017). در مطالعه‌ای که اخیراً در خصوص ارزیابی ارقام چغندرقند در چهار منطقه مختلف تربت‌جام، ارومیه، قزوین و کرمانشاه انجام‌شده است، رقم دوروتی در برابر پوسیدگی پی تیومی ریشه در شرایط مزرعه واکنشی مشابه نتایج این تحقیق داشت (Eslami *et al*. 2021).

به‌طورکلی فاکتورهای بیماری‌زایی شناخته‌شده در اائومیست ها شامل آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی مانند اندوسلولازها، ۱ و ۳ بتا گلوکانازها، بتاگلوکوسیدازها، کوتینازها، پکتین استرازها، گالاکتانازها و اندو پلی‌گالاکتورونازها (West *et al*. 2003) و همچنین آنزیم‌های لایتیک شامل پکتولایتیک (پکتین لیاز) و سلولایتیک (Endo & Colt 1974) می‌باشند. مکانیسم بیماری‌زایی *P. aphanidermatum* به‌طور عمده از طریق تولید آنزیم‌های پکتولیتیک، سلولولیتیک و ترکیبات

فیتوتوکسیک (Endo & Colt 1974) است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که درجاتی از مقاومت نسبت به بیمارگر *P. aphanidermatum* در ژنوتیپ‌های اصلاحی مقاوم به ریزوکتونیا وجود دارد.

جدول ۶. مقایسه شاخص بیماری پوسیدگی پیتیومی ریشه در ارقام چغندرقند تلقیح شده با مایه تلقیح برگ چمن.

Table 6. Comparison of Pythium root rot index in sugar beet genotypes in the greenhouse, inoculated by grass leaf suspension.

No.	Cultivar	Disease index	Grouping
1	Rasoul	8.5^{a}	Susceptible
2	Jolgeh	8.2^{a}	Susceptible
3	Shirin	7.75^{ab}	Susceptible
4	Jaam	7.3^{ab}	Susceptible
5	Pars	6.85^{b}	Semi susceptible
6	Brigita	5.35^{c}	Semi susceptible
7	Magnolia	5.17^{cd}	Semi susceptible
8	Ekbatan	4.76^{cd}	Semi resistant
9	Spartak	4.7^{cde}	Semi resistant
10	Dorotea	4.68^{cde}	Semi resistant
11	Rasta	4.35^{cdef}	Semi resistant
12	Azar	4.25^{cdef}	Semi resistant
13	Primier	4.1^{cdefg}	Semi resistant
14	Torbat	4^{cdefgh}	Semi resistant
15	Latitia	3.95^{cdefgh}	Semi resistant
16	Mandarin	3.95^{cdefgh}	Semi resistant
17	Novodoro	3.82^{cdefgh}	Semi resistant
18	Nixus	$3.8d^{efgh}$	Semi resistant
19	Pauletta	3.31^{efgh}	Semi resistant
20	Rosiere	3.09^{fgh}	Semi resistant
21	Tous	2.75^{gh}	Resistant
22	Flores	2.72^{gh}	Resistant
23	Boomerang	2.65^{gh}	Resistant
24	Ivano	2.58^{h}	Resistant

In each column, the averages with the same letters have no significant difference ($p\leq0.05$)

در مطالعات Luterbacher *et al.* (2005) نیز درجاتی از مقاومت در گونه‌های جنس *Beta* نسبت به *P. aphanidermatum* و *R. solani* دیده شد؛ بنابراین به نظر می‌رسد که مقاومت به بیمارگرهای پیتیوم و ریزوکتونیا در چغندرقند با مکانیسم‌های نسبتاً مشابهی کنترل می‌شوند. اطلاعات چندانی در رابطه با مکانیسم مقاومت چغندرقند نسبت به بیمارگر پیتیوم وجود ندارد. با توجه به مکانیسم مقاومت به ریزوکتونیا در چغندرقند که با تولید ماده پروتئینی از فعالیت آنزیم پکتین لیاز بیمارگر جلوگیری می‌نماید (Bugbee 1993)، می‌توان مقاومت به پیتیوم را تا حدی به شباهت آنزیم‌های درگیر در فرایند بیماری‌زایی این دو بیمارگر، آنزیم‌های پکتین لیاز و اندوپلی گالاکتروناز، ارتباط داد.

در تحقیقاتی که قبلاً برای ارزیابی مقاومت گیاهچه‌های چغندرقند نسبت به *P. ultimum* عامل مرگ گیاهچه چغندرقند صورت گرفته است نیز درجاتی از مقاومت دیده‌شده است. در بررسی‌هایی که Luterbacher *et al.* (2000, 2005) انجام دادند، منابعی از مقاومت نسبت به *P. ultimum* را در گونه‌های مختلف جنس *Beta* به دست آوردند و بیان کردند که سطح بالایی از مقاومت به *P. ultimum* در دو بخش *Procombentes* و *Beta* از جنس *Beta*، در مرحله گیاهچه‌ای دیده‌شده است.

در ایران نیز مقاومت ۲۰ لاین چغندرقند تحت شرایط گلخانه‌ای نسبت به دو جدایه *P. ultimum* عامل گیاهچه‌میری چغندرقند ارزیابی شد و نتایج بررسی‌ها نشان داد که از بین ۲۰ لاین مورد آزمایش، چهار لاین Bulk-8150، MstC2،Mst231 و 9597-p58 نسبت به گیاهچه‌میری متحمل‌تر بودند (Abrinnia *et al.* 2007). آن‌ها چنین نتیجه‌گیری کردند که استفاده از لاین‌های مقاوم، مؤثرتر از تیمار بذر با قارچ‌کش همیکسازول و ایپرودیون است.

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، ضمن تائید مطالعات قبلی مبنی بر این‌که ارقام مقاوم به ریزوکتونیا، سطحی از مقاومت به بیمارگر پیتیوم نیز دارند، به کشاورزان این امید را می‌دهد که در مناطق با آلودگی‌های قارچی و شبه قارچی مختلف می‌توان از این ارقام در جهت کاهش خسارت بیماری‌های ریشه‌ای چغندرقند بهره جست. در مدیریت بیماری‌های گیاهی، یکی از

کارهایی که در ابتدا می‌توان به‌منظور کاهش خسارت بیماری انجام داد این است که ارقام تجارتی موجود و در دسترس که سطحی از مقاومت به بیماری را دارند شناسایی و به کشاورزان توصیه نمود (Omrani *et al*. 2023). این تحقیق همچنین به‌نژادگران نیز این نوید را می‌دهد که در ژرم‌پلاسم گونه های جنس *Beta* مقاومت به *P.aphanidermatum* نیز وجود دارد و برنامه‌ریزی برای تهیه ارقام مقاوم به این بیمارگر می‌تواند در دستور کار آن‌ها قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند به خاطر در اختیار قراردادن امکانات آزمایشگاهی و گلخانه‌ای و همچنین بذر ارقام چغندرقند تشکر می‌نمایند.

References

Abbasimoghadam A, Falahati-Rastegar M, Jafarpour B, 1998. Etiological studies of sugar beet root rot in Khorasan province. *Proceeding of the 13th Iranian Plant Protection Congress* August 23–27, Karaj, Iran. P. 125. (In Persian).

Abrinnia M, Babai- Ahari A, Majidi Heravan I, 2007. Assessment of resistance in sugar beet lines to Damping-off caused by *Pythium ultimum* Trow var. ultimum under greenhouse conditions. *Plant Pathology Journal* 6 (3): 266–270

Afzali H, Banihashemi Z, 2000. A new record of a species of Pythium as a causal agent of sugar beet root rot. *Proceedings of the 14th Iranian Plant Protection Congress*. September 5–8, Isfahan, Iran. P. 254 (In Persian).

Ahmadinejad A, 1973. Seedling diseases of sugar beet in Iran and the effect of some fungicides on the causal agents. *Iranian Journal of Plant Pathology* 9: 129–141(In Persian with English abstract).

Arzanlou M, Okhovat S M, Hejaroud Gh, 2000. Identification of fungi related to sugar beet root rot in Karaj area. *Proceedings of the 14th Iranian Plant Protection Congress*. September 5–8, Isfahan, Iran. P. 258 (In Persian).

Bannet J, Danan S, Boundet C, Barchi L, Sag- Palloix A, 2007. Are the polygenic architecture of resistance to *Phytophthora capsici* and *P. parasitica* independent in pepper? *Theoric Applied Genetic* 115: 253–264.

Bugbee W M, 1993. A pectin lyase inhibitor protein from cell walls of sugar beet. *Phytopathology* 83: 63–68.

Buttner G, Pfahler B, Marlander B, 2004. Greenhouse and field techniques for testing sugar beet for resistance to *Rhizoctonia* root and crown root. *Plant breeding* 123(2): 158–166.

Endo RM, and Colt WM, 1974. Anatomy, cytology and physiology of infection by *Pythium*. *American phytopatholgical society* 1: 215–223.

Eslami A S, Safaie N, Mahmoudi S B, Mojerlou S, 2021. Sugar beet root rot loss: ANN and Regression models. *European Journal of Agronomy* 131: 126392.

Fasihian A, 1991. Root rot of sugar beet in Fars province. *Proceeding of the 10th Iranian Plant Protection Congress*. September 1–5, Kerman, Iran. P. 106 (In Persian).

Fatemi J, 1971. *Phytophthora* and *Pythium* root rot of sugar beet in Iran. *Phytopathology* 71: 25–28.

Fattahi Sh, Zafari D, Mahmoudi SB, 2011. Evaluation of superior sugar beet genotypes for resistance to important root rot pathogens in the greenhouse. *Journal of Sugar Beet* 27(1): 25–38 (In Persian with English abstract).

Irani H, Ershad J, 1995. Identification of fungi related to sugar beet root rot in West Azarbayjan. *12th Iranian Plant Protection Congress*. September 2–7, Karaj, Iran. P. 126 (In Persian).

Kakueinezhad M, Taheri P, Mahmoudi S B, Tarighi S, 2017. Sources of resistance to *Phytophthora* root rot within genus *Beta*. *Euphytica* 213: 193–209.

Kens JP, 2008. Biology and management of *Pythium* root function in North Carolina. PhD Thesis, Faculty of North Carolina State University.

Luterbacher MC, Asher MJC, Beyer W, Mandolio G, Scolten OE, 2005. Source of resistance to disease of sugar beet in related beta germplasm: II. Soil-borne disease. *Euphitica* 141: 49–63.

Luterbacher MC, Smith JM, Asher MJC, Frees L, 2000. Disease resistance in collection of Beta species. *Sugar Beet Research* 37: 39–47.

Mahmoudi, SB, Ghashghaee S, 2013. Reaction of sugar beet S1 lines and cultivars to different isolates of *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani*

AG-2-2IIIB. *Euphytica*: 190: 439–445.

Mahmoudi SB, Soltani J, 2005. Sugar beet root rot in Iran. *Newsletter of Iranian Sugar Industries Research and Training Center* 16 (178): 14-18 (In Persian).

Mahmoudi S B, Todehfallah M, Arjand M, Nihlgaard M, 2000. Ethological studies of fungal agents of sugar beet root rot in Karaj and their role on post-harvest decay of roots. *14th Iranian Plant Protection Congress*. September 5–8, Isfahan, Iran. P. 265 (in Persian with English abstract).

Moshari S, Mahmoudi SB, Hemmati R, Naderpour M, Uemura M, Pedram A, Azizi H, *et al*. (2022). Evaluation of yield and resistance of sugar beet cultivars to fungal root rots under drought stress. *Australasian Plant Pathology*, 51(1), 91-100.

Omrani A, Roohparvar R, Shahbazi K, 2023. Resistance of commercial wheat cultivars to Septoria leaf blotch caused by *Zymoseptoria tritici* in the Moghan region. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (4): 365–376.

Sheikholeslami M, Younesi H, Safaee D, 2005. Characterization of the fungi involved in sugar beet root rot and their distribution in Kermanshah province**.** *Journal of Sugar Beet* 21(1): 99–100 (In Persian with English abstract)

Taleghani D, Sadeghzade hemayati S, Mesbah M, 2010. National strategic document for sugar beet research. SBSI Press. 520 pp (In Persian).

Zamani-Noor N, Minasian V, Banihashemi Z, Mostofizadeh-Ghalamfarsa R, 2004. Identification and pathogenicity of Pythium species on sugar beet root rot in Khuzestan. *Iranian Journal of Plant Pathology* 40: 179–200.

Von Bretzel P, Stanghellini ME, Kronland WC, 1988. Epidemiology of *Pythium* root rot of mature sugar beets. *Plant Disease* 72: 707–709.

West PV, Appiah AA, Gow NAR, 2003. Advance in research on oomycete root pathogens. *Physiological & Molecular Plant Pathology* 62: 99–113.

Willsey T, Chatteron S, Carcao H, 2017. Interactions of root-feeding insects with fungal and oomycete plant pathogens. *Frontiers in Plant Science* 8: 1764.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons .org/licenses/by-nc/2.0/)