مقاله تحقیقی

تلفیق کنترل ژنتیکی و شیمیایی: رویکردی برای مدیریت بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندرقند

مهدی حسنی[۱]، حامد منصوری[۲]، حمزه حمزه[۳]، علی صارمی‌راد[۴]

۱، ۴– استادیار، دکتری، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲، ۳– استادیار، استادیار، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، همدان، ایران.
مسئول مکاتبات: مهدی حسنی، ایمیل: m.hasani@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹ ۱۰(۲)۳۱–۴۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

چکیده

پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه یکی از شایع‌ترین و خسارت‌زاترین بیماری‌های چغندرقند در ایران و سراسر جهان به شمار می‌رود. در مطالعه حاضر، شیوه‌های مدیریت تلفیقی بیماری از جمله به‌کارگیری ارقام مقاوم و استفاده از سموم قارچ‌کش به‌منظور جلوگیری از توسعه بیماری مورد توجه قرار گرفت. به این منظور، واکنش رقم حساس شکوفا و رقم مقاوم نوودورو نسبت به سه قارچ‌کش سلست، یونیفرم و ماکسیم در شرایط آلودگی طبیعی و مصنوعی میکروپلات طی سال ۱۴۰۱ بررسی شد. نتایج نشان داد که قارچ‌کش یونیفرم توانسته است از توسعه بیماری بر روی رقم مقاوم جلوگیری کند. همین امر موجب شد تا از شاخص برداشت ۷۰/۵۹ درصد برخوردار باشد. اگرچه این قارچ‌کش بر کنترل بیماری رقم حساس همانند رقم مقاوم عمل نکرد، اما آنچه مسلم است، نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی موفق بوده است. شاخص بیماری در تیمار قارچ‌کش سلست به شکلی بود که در رقم مقاوم با شاخص ۳/۲۹، نهایتاً پنج درصد از سطح ریشه دارای زخم بود، اما در رقم حساس تأثیر چندانی در کنترل بیماری نداشت و واکنش حساسیت مشاهده شد. شاخص برداشت رقم مقاوم در این تیمار برابر با ۷۶/۴۷ درصد و رقم حساس برابر با ۱۱/۷۶ درصد بود. دو تیمار قارچ‌کش ماکسیم و عدم استفاده آن، تأثیر مشابهی را بر هر یک از ارقام مقاوم و حساس از نظر دو شاخص بیماری و برداشت داشتند. اگرچه شدت بیماری در این دو تیمار در رقم مقاوم نسبت به رقم حساس کمتر بود، اما در مجموع هر دو رقم در محدوده حساسیت قرار داشتند و شاخص برداشت پایینی را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: چغندرقند، حساسیت، شاخص بیماری، شدت بیماری و مقاومت

مقدمه

بر اساس بررسی‌های سازمان ملل متحد (Nations, 2019). پیش‌بینی می‌شود، جمعیت جهان از ۷/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۹ به ۸/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰، ۹/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ و ۱۰/۹ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ میلادی افزایش یابد. به موازات آن با رشد جمعیت تقاضای غذا نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت (Saremirad & Mostafavi, 2020) . لذا باید تصمیماتی اتخاذ گردد تا نیاز غذایی جامعه بشری در سال‌های آتی برطرف شود.

قند یک ماده رایج است که همیشه از نظر تغذیه‌ای دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است (Eggleston, 2019). این مولکول به‌عنوان یک ماده مقوی عمل می‌کند و سبب تولید بخش اعظمی از انرژی در جیره غذایی جامعه بشری می‌شود. در راستای تأمین قند، چغندرقند یکی از مهم‌ترین گیاهان قندی است که حدود ۳۰ درصد (نزدیک به ۴۲ میلیون تن) از نیاز جهانی را برآورده می‌سازد (FAO, 2018) و پس از نیشکر به‌عنوان دومین گیاه تأمین‌کننده قند جهان شناخته می‌شود (Monteiro *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*,

(2016 . اگرچه قند فرآورده اصلی چغندرقند محسوب می‌شود، اما علاوه بر آن، محصولات فرعی متعدد دیگری نظیر ملاس، تفاله و الکل اتیلیک نیز در طول فرآیند تولید قند از این گیاه استحصال می‌شود (Tomaszewska *et al.*, 2018). علاوه بر این‌ها، برگ این گیاه دارای ترکیب‌های پروتئینی (Lammens *et al.*, 2012; Tenorio *et al.*, 2017) و اسیدهای آمینه متعادل (Akyüz & Ersus, 2021; Kiskini *et al.*, 2016) است که کیفیت تغذیه از برگ را آشکار می‌کند.

با توجه به اهمیت چغندرقند در تغذیه جوامع بشری، لازم است تولید کمی و کیفی این محصول مورد توجه قرار گیرد. صرف نظر از موضوع افزایش تولید در واحد سطح، عوامل محیطی تنش‌زایی وجود دارند که هر ساله بخش قابل ملاحظه‌ای از محصولات کشاورزی را از بین می‌برند (Saremirad *et al.*, 2020). بیماری‌های گیاهی یکی از این عوامل محسوب می‌شوند که دائماً در حال پیشرفت و خلق نژادهای آسیب‌زا هستند و سبب شکستن مقاومت ارقام و در نتیجه کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌شوند (Rajabi *et al.*, 2022; Saremirad *et al.*, 2021)؛ در این میان چغندرقند نیز از این قاعده مستثنی نبوده و تحت تأثیر عوامل بیماری‌زای مختلفی قرار می‌گیرد. بیماری ریزوکتونیا (*Rhizoctonia solani*) یک بیماری خاکزاد با دامنه وسیعی از میزبان‌های گیاهی از جمله چغندرقند می‌باشد (Nagaraj *et al.*, 2017; Rafiei *et al.*, 2023; Sneh, Burpee & Ogoshi, 1991). در واقع این بیماری مجموعه‌ای از گونه‌های قارچی بیماری‌زا و غیر بیماری‌زا است که اندام‌های مختلف گیاهی (ریشه، طوقه و ساقه) را مورد هدف قرار داده و باعث بروز علائم بیماری در بسیاری از گیاهان زراعی مهم اقتصادی می‌شود (Anderson, 1982; Gonzalez *et al.*, 2011; Ogoshi, 1987). شدت بیماری تحت شرایط مرطوب و درجه حرارت‌های بالا افزایش می‌یابد و به موازات آن میزان خسارت‌زایی مضاعف می‌شود (Haque, 2020). از طرفی قارچ عامل این بیماری می‌تواند در خاک یا بقایای گیاهی به‌صورت میسلیوم یا اسکلروتیوم برای مدت طولانی زنده بماند و مدیریت این بیماری را با چالش مواجه سازد (Windels, Jacobsen & Harveson, 2009). لذا درصورتی‌که از روش‌های مؤثری جهت کنترل آن استفاده نشود، به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش عملکرد، درصد قند و کیفیت ریشه می‌شود.

به‌طور کلی روش‌های کنترل بیماری شامل کنترل ژنتیکی، شیمیایی، زراعی و بیولوژیکی برای مبارزه با بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ارائه شده است. در بین روش‌های ذکرشده، کنترل زراعی و بیولوژیکی به علت توانایی پایین در مبارزه و کنترل عامل بیماری خاکزاد از اهمیت چندانی برخوردار نبوده و در مقایسه با دو روش کنترل ژنتیکی و شیمیایی به‌مراتب کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. قارچ‌کش‌هایی مانند آزوکسی استروبین (Azoxystrobin) و پیراکلوستروبین (Pyraclostrobin) در زمان کاشت و محل‌پاشی (هدف قرار دادن خاک) و سداکسان Sedaxane، پنتیوپیراد (Penthiopyrad) و فلوکساپیروکساد (Fluxapyroxad) به‌عنوان تیمارهای قارچ‌کش بذر به‌طور گسترده برای کنترل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی استفاده می‌شود (Khan *et al.*, 2020; Liu & Khan, 2016). اما در مجموع کنترل شیمیایی تنها در برخی از کشورها انجام می‌گیرد، زیرا تعداد مواد شیمیایی تجاری در دسترس محدود است (Bartholomäus *et al.*, 2017; Bolton *et al.*, 2010). در بعضی از کشورها نیز قوانین عدم استفاده از مواد شیمیایی در بخش کشاورزی، اجازه استفاده از سموم را نمی‌دهد. از طرفی کنترل شیمیایی عامل بیماری توسط سموم شیمیایی به دلیل هزینه بالا، خطر ایجاد مقاومت عامل بیماری‌زا در برابر آن و احتمال آلودگی محیط‌زیست همیشه عملی نمی‌باشد. خاکزاد بودن عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی عدم کارایی روش‌های متداول مبارزه با بیماری را تشدید می‌کند. در چنین شرایطی حفاظت از گیاه زراعی می‌تواند به‌وسیله سموم شیمیایی با تکیه بر استفاده از ارقام دارای مقاومت ژنتیکی استوار باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر قارچ‌کش‌های مختلف برای جلوگیری از توسعه بیماری و پیامدهای آن بر عملکرد اقتصادی چغندرقند انجام شد. فرض بر این بود که (الف) قارچ‌کش‌ها تأثیرات مختلفی بر کنترل بیماری دارند، به‌طوری که (ب)

تأثیرگذاری آن‌ها تحت تأثیر مقاومت و حساسیت ژنوتیپ‌های چغندرقند قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده

مواد گیاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل دو رقم تجاری شکوفا و نوودورو (Novodoro) بودند که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند تهیه شدند. رقم شکوفا علاوه بر اینکه دارای مقاومت در برابر بیماری‌های ریزومانیا و نماتد سیستی است، از عملکرد ریشه و شکر سفید بالایی نیز برخوردار است، اما دارای ژن‌های مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه نمی‌باشد و نسبت به آن حساسیت نشان می‌دهد (Mahmoudi *et al.*, 2019)؛ لذا به‌عنوان رقم حساس به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه انتخاب شد. رقم نوودورو متعلق به شرکت سینجنتا است. این رقم مقاومت ژنتیکی در برابر دو بیماری ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه را دارا می‌باشد؛ بنابراین تحت عنوان رقم مقاوم به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه مورد استفاده قرار گرفت.

جدایه مورد استفاده و تهیه مایه تلقیح

جدایه *Rh133* متعلق به گروه آناستوموزی *AG2–2* قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه مورد استفاده، بیش‌ترین قدرت بیماری‌زایی را دارا بود. طی چند سال اخیر، این جدایه به‌عنوان جدایه شایع بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در کشور بوده است (Hassani *et al.*, 2019). به‌منظور آماده‌سازی مایه تلقیح، ابتدا قارچ عامل بیماری به محیط کشت PDA؛ (Potato Dextrose Agar) انتقال یافت و برای رشد و تکثیر بهتر در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس با دوره نوری ۱۶ ساعت تاریکی و ۸ ساعت روشنایی قرار گرفت. هم گام با آن، عمل سترون‌سازی دانه‌های ذرت نیز انجام شد. به این منظور دانه‌های ذرت به مدت ۱۲ ساعت در آب خیس شدند، سپس در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو قرار گرفتند. پس از عمل سترون‌سازی دانه‌های ذرت و سپری شدن ۵ روز از مایه‌زنی محیط کشت PDA با قارچ عامل بیماری، محیط کشت PDA برش و قطعاتی از آن بر دانه‌های ذرت قرار گرفت، سپس دانه‌های ذرت آلوده شده به‌مدت ۲۱ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در دستگاه ژرمیناتور نگهداری شدند.

ارزیابی بیماری در پلات‌های کوچک ایزوله

ارزیابی میزان اثربخشی قارچ‌کش‌های مختلف بر قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه طی سال زراعی ۱۴۰۱ در میکروپلات‌هایی با دیواره بتنی به ابعاد ۲×۱×۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان (ایستگاه اکباتان) انجام شد. برای این منظور، بذر هر یک از ارقام در اردیبهشت‌ماه در یک خط دو متری کشت و بلافاصله آبیاری شدند. پس از گذشت حدود یک ماه از تاریخ کشت، بوته‌ها با فاصله ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر تنک شدند، به‌نحوی که در نهایت ۱۵ تا ۲۰ بوته در هر خط کشت باقی ماند. برای مبارزه با آفاتی همچون کک از سم دیازینون، کرم برگ‌خوار (کارادرینا) از آوانت و برای آفات شته‌سیاه و زنجرک از سم کنفیدور طبق دستورالعمل توصیه‌شده توسط شرکت‌های تولیدکننده آن‌ها استفاده شد. علف‌های هرز نیز به‌صورت مکانیکی کنترل شدند. آبیاری میکروپلات‌ها هر هفته یک‌بار و به‌صورت قطره‌ای انجام شد. پس از سپری‌شدن ۷۵ روز از کشت، در دهه سوم تیرماه، آلوده‌سازی مصنوعی بوته‌های چغندرقند صورت پذیرفت. برای این منظور، ۵ عدد بذر ذرت آلوده به جدایه *Rh133* قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در عمق ۵ سانتی‌متری خاک در زیر طوقه و بالای شیار ریشه قرار گرفت (Windels, Jacobsen & Harveson, 2009). بلافاصله پس از آن خاک‌دهی و آبیاری انجام شد. به‌منظور گسترش قارچ عامل بیماری، آبیاری میکروپلات‌ها تا دو هفته هر سه روز یک‌بار و سپس هفته‌ای یک‌بار انجام گرفت. لازم به ذکر است که کرت‌های آزمایشی سابقه آلودگی به قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه را نیز دارا بودند، لذا باعث شد تا آلودگی طبیعی (عدم

استفاده از مایه تلقیح) نیز به‌عنوان یکی از سطوح آزمایشی در نظر گرفته شود.

سه قارچ‌کش سلست (CELEST®)،یونیفر (UNIFORM®) و ماکسیم (MAXIM®) که در این مطالعه تحت بررسی قرار گرفتند، متعلق به شرکت سینجنتا هستند. در میان این سه، دو قارچکش سلست و ماکسیم با هدف اصلی تیمار بذر تولید شده‌اند؛ اما طی چند سال اخیر در بین برخی از کشاورزان چغندرکار، استفاده از این دو سم به‌صورت محلول در آب آبیاری برای مبارزه با بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه رایج شده است، بنابراین برای بررسی تأثیر این سه قارچ‌کش بر گسترش قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه، سموم به‌صورت محلول در آب آبیاری بر اساس غلظت توصیه‌شده توسط شرکت متبوع، طی دو مرحله در دهه اول و دوم مردادماه به فاصله ۱۰ روز استفاده شد. به‌منظور اطمینان از صحت اثربخشی قارچ‌کش‌ها، تیمار عدم استفاده از قارچکش به‌عنوان شاهد نیز در نظر گرفته شد. پـس از اعمال تیمار قارچکش‌های مورد بررسی، در ۳ تاریخ مختلف شامل دهه سوم مردادماه، دهه اول شهریورماه و دهه سوم شهریورماه یادداشت‌برداری از شدت بیماری در مرحله رسیدگی ریشه‌ها به‌اندازه قابل برداشت و حتی‌الامکان پس از رسیدن شدت بیماری میزبان حساس به حد نهایی بر اساس روش Büttner *et al.* (2004) در مقیاس ۹–۱ به‌طور متوسط برای ۱۰ بوته از میان ۱۵ تا ۲۰ بوته‌ای که در هر کرت آزمایشی وجود داشت، انجام شد. واکنش گیاهان به آلودگی بر اساس این روش با ثبت نمره ۱ برای گیاهان با ریشه‌های سالم، نمره ۲ برای گیاهان با حدود یک درصد سطح ریشه دارای زخم، نمره ۳ برای گیاهان با یک تا پنج درصد سطح ریشه دارای زخم، نمره ۴ برای گیاهان با پنج تا ۱۰ درصد سطح ریشه دارای زخم و یا شانکر خشک، نمره ۵ برای گیاهان با ۱۰ تا ۲۵ درصد سطح ریشه دارای زخم و یا شانکر خشک، نمره ۶ برای گیاهان با ۲۵ تا ۵۰ درصد سطح ریشه دارای زخم و یا شانکر خشک، نمره ۷ برای گیاهان با ۵۰ تا ۷۵ درصد سطح ریشه دارای زخم و یا شانکر خشک، نمره ۸ برای گیاهان با بیش از ۷۵ درصد سطح ریشه دارای زخم و یا شانکر خشک و نمره ۹ برای گیاهان با ریشه کاملاً پوسیده بررسی شدند.

تجزیه آماری

پس از اتمام یادداشت‌برداری‌های مربوط به شدت بیماری بر اساس مقیاس ۱ تا ۹، شاخص بیماری و شاخص برداشت مربوط به هر تیمار آزمایشی با استفاده از روابط ۱ و ۲ در محیط Excel برآورد شد (Büttner *et al.*, 2004) و در نهایت نمودارهای حرارتی مربوط به آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار R ترسیم شد.

رابطه ۱:
$$DI = \sum \frac{NR_i \times S_i}{TN}$$

رابطه ۲:
$$HI = \left(\frac{\sum_1^3 NR_i}{TN}\right) \times 100$$

در این روبط، DI شاخص بیماری، NR تعداد ریشه در مقیاس iام، S_i مقیاس iام، TN مجموع تعداد ریشه و HI شاخص برداشت می‌باشد. با استفاده از شاخص بیماری به‌دست‌آمده برای هر تیمار، شاخص سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری Area Under Disease Progress Curve (AUDPC) بر اساس رابطه ۳ در نرم‌افزار R محاسبه و نمودارهای مربوط به پیشرفت بیماری نیز با استفاده از همین نرم‌افزار رسم شد.

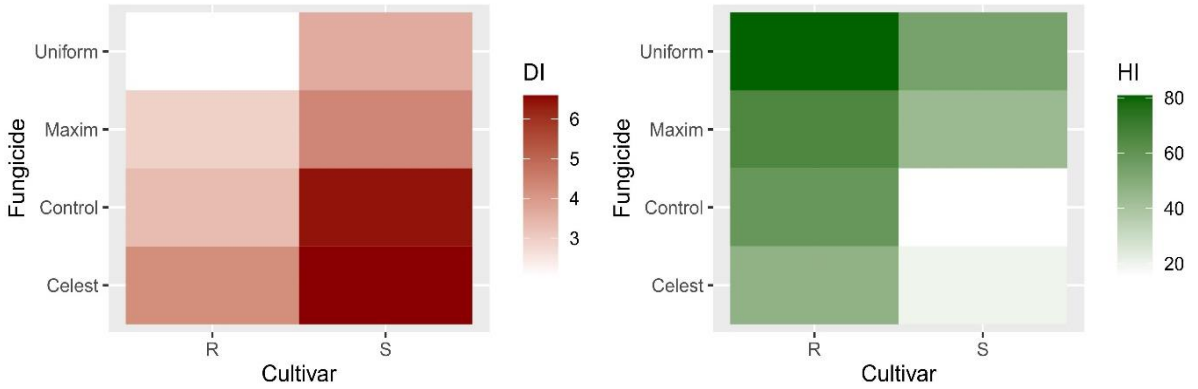
رابطه ۳:
$$AUDPC = \sum_{i=1}^{k} \frac{(x_{i+1} + x_i)}{2} \times (t_{i+1} - t_i)$$

در این رابطه، $AUDPC$ شاخص سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، x_i شاخص بیماری در تاریخ یادداشت‌برداری iام و t_i تاریخ یادداشت‌برداری iام می‌باشد.

نتایج

نتایج بررسی واکنش تیمارهای آزمایشی در برابر بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه بر اساس روش باتنر و همکاران (Büttner *et al.*, 2004) نشان داد که تیمارها با طیفی از واکنش مقاومت تا حساسیت، در برابر بیماری متفاوت عمل می‌کنند. بر اساس نتایج مرحله اول یادداشت‌برداری که ۳۳ روز پس از آلوده‌سازی مصنوعی انجام شد، مشخص شد که کاربرد و عدم کاربرد

قارچ‌کش‌ها ترتیب یکسانی بر ارقام مقاوم و حساس داشتند، اما میزان ظهور علائم بیماری بر رقم حساس بیش از رقم مقاوم بود. این موضوع را می‌توان به مقاومت حاصل از ژن‌های مؤثر در ایجاد مقاومت ژنتیکی در رقم مقاوم نسبت داد. استفاده از قارچ‌کش یونیفرم سبب شد تا مبارزه با عامل بیماری در هر دو رقم مقاوم و حساس به نحو مناسبی انجام شود، به‌طوری که در رقم مقاوم هیچ‌گونه علائم بیماری بر ریشه‌ها ظاهر نشد. از همین رو بالاترین شاخص برداشت در رقم مقاوم به میزان ۸۰/۸۰ درصد نیز به این تیمار اختصاص یافت (شکل B۱). در رقم حساس نتایج تا حدودی متفاوت به دست آمد، به‌گونه‌ای که شاخص بیماری برابر با ۳/۶۱ بود (شکل A۱). همچنین در این رقم، قارچ‌کش یونیفرم بالاترین میزان شاخص برداشت را با ۵۳/۶۹ درصد از آن خود کرد (شکل B۱). کاربرد قارچ‌کش ماکسیم باعث شد تا در رقم مقاوم شاخص بیماری برابر با ۲/۹۱ باشد؛ حال آنکه در رقم حساس این شاخص برابر با ۴/۳۵ بود (شکل A۱). این قارچ‌کش با اثرگذاری که بر کنترل بیماری هر دو رقم مقاوم و حساس داشت، منجر شد تا به ترتیب با شاخص برداشت ۶۵/۲۰ و ۴۳/۳۳ درصد، رتبه دوم را در بین تیمارها به خود اختصاص دهد (شکل B۱). تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش در هر دو رقم از نظر شاخص بیماری در رتبه سوم و پیش از قارچ‌کش سلست قرار گرفت، اما در مجموع هر دو آن‌ها (عدم استفاده از قارچ‌کش و قارچ‌کش سلست) تأثیر یکسانی داشتند، به‌طوری که در رقم مقاوم واکنشی در محدوده نیمه مقاوم و در رقم حساس واکنشی در محدوده حساس به همراه داشتند (شکل A۱). از نظر شاخص برداشت در رقم مقاوم نیز چنین نتیجه‌ای به دست آمد، اما در رقم حساس قارچ‌کش سلست با شاخص برداشت ۴۶/۶۷ درصد در رتبه سوم و پیش از تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش با شاخص ۱۵/۳۸ درصد قرار گرفت (شکل B۱).

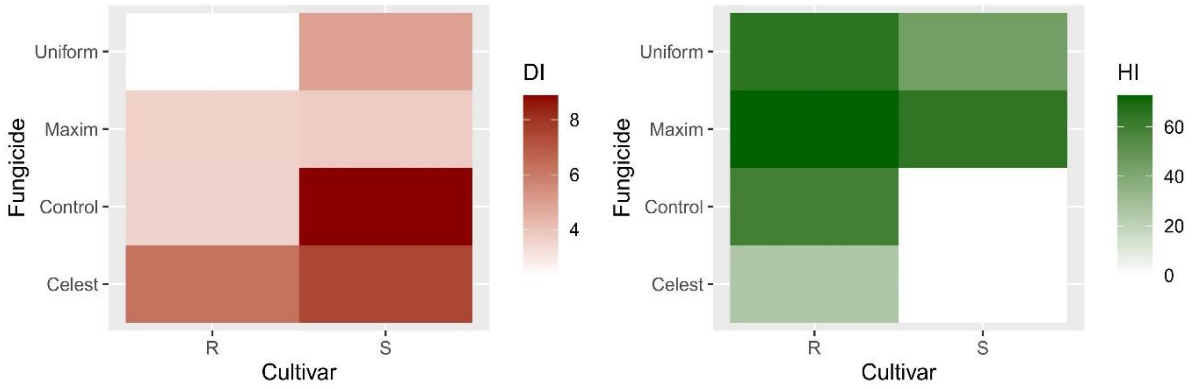


شکل ۱– نمودار حرارتی شاخص بیماری (A) و شاخص برداشت (B) تیمارهای آزمایشی (رقم و قارچ‌کش) ۳۳ روز پس از آلوده‌سازی

Fig. 1. Heat map of disease index (A) and harvest index (B) of experimental treatments (cultivar and fungicide) 33 days after inoculation

مرحله دوم یادداشت‌برداری از شاخص بیماری ۴۹ روز پس از آلوده‌سازی مصنوعی انجام شد. نتایج حاصله حاکی از آن بود که قارچ‌کش یونیفرم توانسته است با کنترل قارچ عامل بیماری در رقم مقاوم، اجازه ندهد تا زخم حاصل از بیماری به بیش از یک درصد سطح ریشه گسترش یابد. همین امر سبب شد تا واکنشی در محدوده مقاومت (شکل A۲) و شاخص برداشتی برابر با ۶۴/۷۱ درصد (شکل B۲) برای آن لحاظ گردد. علی‌رغم اینکه انتظار می‌رفت این قارچ‌کش در رقم حساس نیز از توسعه قارچ عامل بیماری جلوگیری کند و خسارت حاصل از آن را به حداقل برساند، اما چنین عمل نکرد، به‌طوری که در رقم حساس شاخص بیماری برابر ۴/۸۹ (شکل A۲) و شاخص برداشت برابر با ۴۴/۴۴ درصد (شکل B۲) بود. در تیمارهای قارچ‌کش ماکسیم و عدم استفاده از قارچ‌کش ۱ تا ۵ درصد سطح

ریشه رقم مقاوم دارای زخم سطحی بود، لذا به ترتیب شاخص بیماری ۳/۵۵ و ۳/۵۰ ثبت شد (شکل A۲). قارچ‌کش ماکسیم در رقم حساس نیز چنین تأثیری به همراه داشت و باعث شد تا زخم حاصل از بیماری به بیش از ۵ درصد سطح ریشه تجاوز نکند و شاخص بیماری ۳/۷۱ برای آن لحاظ گردد (شکل A۲). این تیمار قارچ‌کش به ترتیب در ارقام مقاوم و حساس با اختصاص شاخص برداشت ۷۲/۷۳ و ۶۴/۲۹ درصد (شکل B۲) به خود، رتبه نخست را در میان سایر تیمارها به دست آورد. ریشه‌های رقم حساس در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش کاملاً از بین رفتند، اما در رقم مقاوم با توجه به مقاومت ژنتیکی آن شاخص بیماری ۳/۵۰ ثبت شد (شکل A۲) که در محدوده نیمه مقاوم قرار دارد. همین موضوع در شاخص برداشت نیز انعکاس یافت و باعث شد تا شاخص برداشت رقم حساس برابر با صفر درصد و رقم مقاوم برابر با ۵۸/۸۲ درصد باشد (شکل B۲). در این مرحله از یادداشت‌برداری، قارچ‌کش سلست بر هر دو رقم تا حدودی تأثیر یکسانی داشت و واکنشی که از نظر شاخص بیماری برای هر دو آن‌ها ثبت شد، نشان‌دهنده توسعه بیماری تا مرحله حساسیت بود (شکل A۲). از این‌رو پایین‌ترین شاخص برداشت (در رقم مقاوم ۲۵/۰۰ درصد و در رقم حساس صفر درصد) را نیز داشتند (شکل B۲).

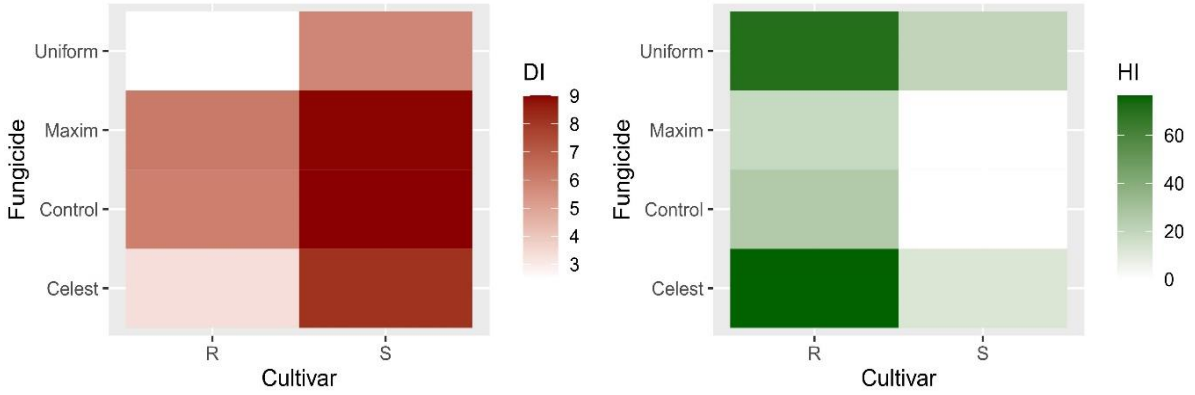


شکل ۲– نمودار حرارتی شاخص بیماری (A) و شاخص برداشت (B) تیمارهای آزمایشی (رقم و قارچ‌کش) ۴۹ روز پس از آلوده‌سازی

Fig. 2. Heat map of disease index (A) and harvest index (B) of experimental treatments (cultivar and fungicide) 49 days after inoculation

مرحله سوم یادداشت‌برداری شاخص بیماری که آخرین مرحله بود و ۶۱ روز پس از آلوده‌سازی مصنوعی انجام شد، نشان داد که قارچ‌کش یونیفرم همانند دو مرحله قبل، توانسته است از توسعه بیماری بر رقم مقاوم جلوگیری کند و مانع از بین رفتن محصول گردد (شکل A۳) و از شاخص برداشت ۷۰/۵۹ درصدی نیز برخوردار باشد (شکل B۳). اگرچه این قارچ‌کش بر کنترل بیماری رقم حساس همانند رقم مقاوم عمل نکرد، اما آنچه مسلم است، در کنترل بیماری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی موفق بوده است و همین امر سبب شده است تا بیشترین شاخص برداشت (۲۰/۰۰ درصد) را نیز به دنبال داشته باشد (شکل B۳). طی این مرحله از یادداشت‌برداری، قارچ‌کش سلست برخلاف رویه‌ای که از نظر شاخص بیماری و شاخص برداشت در یادداشت‌برداری‌های اول و دوم در پیش گرفته بود، رتبه دوم را پس از قارچ‌کش یونیفرم از نظر شاخص بیماری (شکل A۳) و رتبه اول را از نظر شاخص برداشت (شکل B۳) از آن خود کرد. این تغییر رویه از نظر شاخص بیماری به شکلی بود که در رقم مقاوم با شاخص ۳/۲۹، نهایتاً ۵ درصد از سطح ریشه دارای زخم بود، اما در رقم حساس تأثیر چندانی در کنترل بیماری نداشت و واکنش حساسیت مشاهده شد. شاخص برداشت رقم مقاوم در تیمار قارچ‌کش سلست برابر با ۷۶/۴۷ درصد و رقم حساس برابر با ۱۱/۷۶

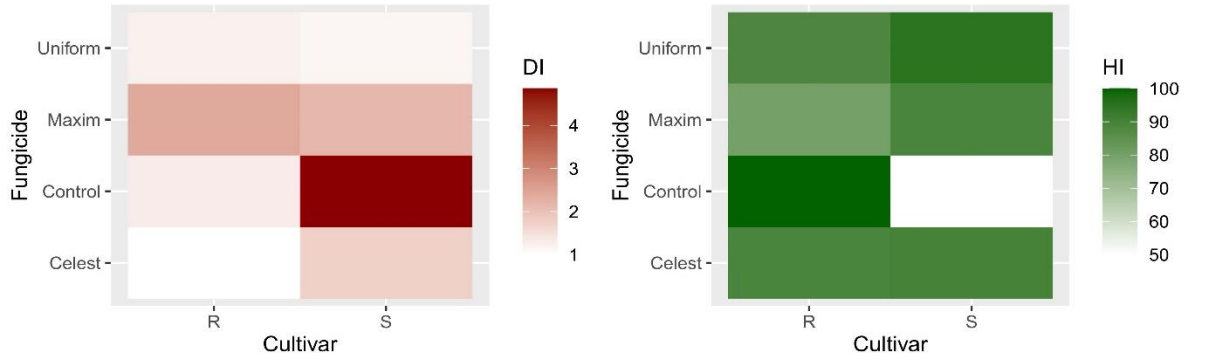
درصد بود که منطبق با نتیجه به‌دست‌آمده برای شاخص بیماری می‌باشد (شکل B۳). دو تیمار قارچ‌کش ماکسیم و عدم استفاده از قارچ‌کش تأثیر مشابهی را بر هر یک از ارقام مقاوم و حساس از نظر دو شاخص بیماری (شکل A۳) و برداشت (شکل B۳) داشتند. اگرچه شدت بیماری در این دو تیمار در رقم مقاوم نسبت به رقم حساس کمتر بود، اما در مجموع هر دو رقم در محدوده حساسیت قرار داشتند و همچنین شاخص برداشت پایینی را نشان دادند.



شکل ۳– نمودار حرارتی شاخص بیماری (A) و شاخص برداشت (B) تیمارهای آزمایشی (رقم و قارچ‌کش) ۶۱ روز پس از آلوده‌سازی

Fig. 3. Heat map of disease index (A) and harvest index (B) of experimental treatments (cultivar and fungicide) 61 days after inoculation

یادداشت‌برداری در شرایط آلودگی طبیعی (عدم استفاده از مایه تلقیح) در یک مرحله هم زمان با آخرین مرحله یادداشت‌برداری برای شرایط آلودگی مصنوعی انجام شد. نتایج آزمایش در این مرحله نشان‌دهنده شدت آلودگی رقم حساس با پاسخ حساسیت و شدت آلودگی رقم مقاوم با پاسخ مقاومت به شرایط عدم استفاده از قارچ‌کش بود (شکل A۴). از طرفی در این تیمار، شاخص برداشت رقم حساس برابر با صفر درصد و شاخص برداشت رقم مقاوم برابر با ۱۰۰ درصد بود (شکل B۴). این موضوع مبین استقرار قارچ عامل بیماری و ایجاد آلودگی مورد انتظار در گیاهان است. بر اساس یادداشت‌برداری‌های انجام‌شده از نظر شاخص بیماری برای رقم مقاوم، سه قارچ‌کش مورد استفاده از پیشرفت بیماری جلوگیری کردند. از این‌رو در این رقم واکنشی در محدوده مقاومت مشاهده شد. همین امر سبب شد تا شاخص برداشت بالایی در محدوده ۸۰ تا ۸۹ درصد برای آن‌ها برآورد شود. در این میان، قارچ‌کش سلست با شاخص ۱/۰۰ کمترین و قارچ‌کش ماکسیم با شاخص ۲/۴۰ بالاترین شاخص بیماری را داشت (شکل A۴). در حالی که از نظر شاخص برداشت نتایج کاملاً برعکس بود و قارچ‌کش سلست با ۸۸/۸۹ درصد بیشترین و قارچ‌کش ماکسیم با ۸۰/۰۰ درصد کمترین شاخص برداشت را نشان داد (شکل B۴). در ارزیابی مربوط به رقم حساس تا حدودی نتایج مشابهی به دست آمد و هر سه تیمار قارچ‌کش باعث مشاهده شاخص بیماری در محدوده مقاومت شدند (شکل A۴)؛ اما رتبه اثرگذاری آن‌ها با رقم مقاوم متفاوت بود، به‌طوری که در رقم حساس رتبه نخست به قارچ‌کش یونیفرم و رتبه‌های دوم و سوم به ترتیب به قارچ‌کش‌های سلست و ماکسیم اختصاص یافت. این ترتیب تیمار قارچ‌کش‌ها در شاخص برداشت نیز تظاهر یافت، به‌نحوی که سه تیمار قارچ‌کش یونیفرم، سلست و ماکسیم به ترتیب با ۹۴/۷۴، ۹۰/۰ و ۸۸/۸۹ درصد با بالاترین شاخص برداشت همراه بودند (شکل B۴).



شکل ۴– نمودار حرارتی شاخص بیماری (A) و شاخص برداشت (B) تیمارهای آزمایشی (رقم و قارچ‌کش) در شرایط عدم استفاده از مایه تلقیح

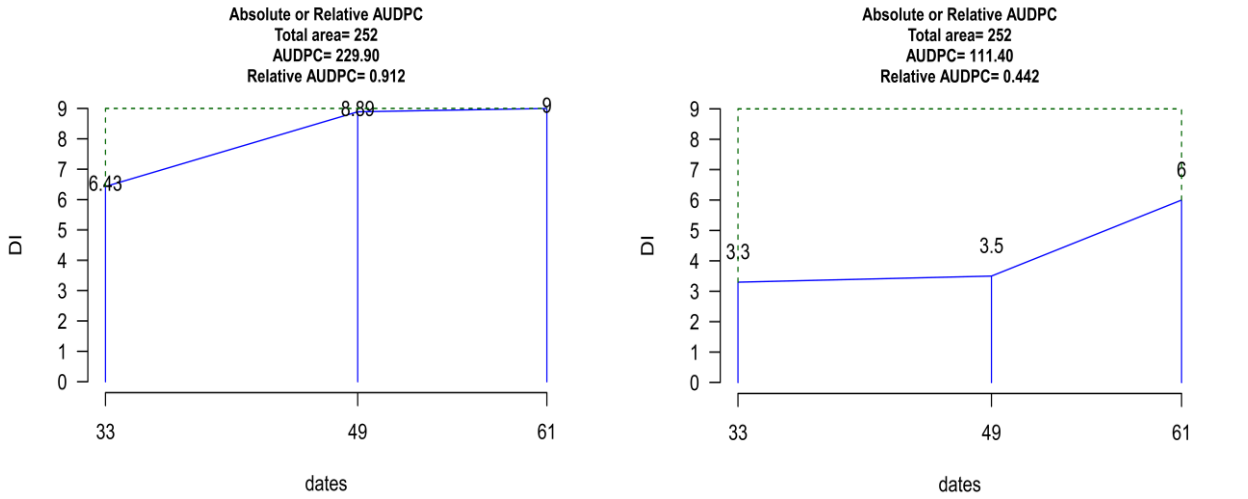
Fig. 4. Heat map of disease index (A) and harvest index (B) of experimental treatments (cultivar and fungicide) in the non–inoculation condition

شاخص سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC)

شاخص AUDPC به‌عنوان معیاری از شدت و همچنین توسعه بیماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این شاخص، هر اندازه میزان AUDPC یک تیمار بالاتر باشد، حساسیت آن تیمار به بیماری بیشتر است؛ به بیان بهتر شدت و توسعه بیماری افزایش یافته است. در مقابل هر اندازه مقدار AUDPC پایین‌تر باشد، از شدت و توسعه بیماری جلوگیری شده است، لذا حساسیت کمتر و مقاومت آن بیشتر است. منحنی پیشرفت بیماری برای هر یک از تیمارهای آزمایشی ترسیم و سطح زیر آن نیز محاسبه گردید. منحنی پیشرفت بیماری برای رقم حساس در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش (شکل A۵) نشان می‌دهد که سرعت پیشرفت بیماری در این رقم با شاخص AUDPC برابر با ۲۲۹/۹۰ بسیار بالا بود که در نهایت زوال کامل محصول را در پی داشت. این در حالی است که در رقم مقاوم با شاخص AUDPC برابر با ۱۱۱/۴۰، پیشرفت بیماری در زمان مشابه کمتر از رقم حساس بود (شکل B۵) که حاکی از مقاومت ژنتیکی در این رقم است؛ اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ابتدا سرعت پیشرفت بیماری بسیار آهسته بوده است، به‌نحوی که شاخص بیماری واکنشی در محدوده مقاومت نشان داد، ولی پس از یادداشت‌برداری دوم یعنی ۴۹ روز پس از آلودگی مصنوعی، سرعت پیشرفت بیماری افزایش یافته و باعث مشاهده واکنش حساسیت در رقم مقاوم شد. این موضوع نشان می‌دهد که رقم مقاوم تا حدودی توانسته است مقاومت خود را در برابر قارچ عامل بیماری حفظ کند، اما مقاومت ژنتیکی آن پایدار نبوده و شکسته شده است؛ بنابراین در شرایط آلودگی شدید به بیماری نمی‌توان تنها به مقاومت ژنتیکی رقم اکتفا کرد و لازم است تا شیوه‌های مدیریتی دیگری نظیر مبارزه شیمیایی نیز به کار گرفته شود. تیمار قارچ‌کش سلست برای کنترل بیماری در رقم حساس با شاخص AUDPC برابر با ۲۰۵/۹۴ (شکل A۶) بسیار نزدیک به شاخص مذکور در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش برای این رقم بود؛ بنابراین استفاده از قارچ‌کش سلست تأثیر چندانی در کاهش شدت و توسعه بیماری رقم حساس به همراه نداشت. این قارچ‌کش در رقم مقاوم نیز از عملکرد مطلوبی در مقایسه با تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش برخوردار نبود (شکل B۶). طبق منحنی پیشرفت بیماری تا مرحله دوم یادداشت‌برداری سرعت پیشرفت افزایشی بود، اما از مرحله دوم به بعد با تأثیری که این قارچ‌کش بر جای گذاشت، به یک‌باره روند سرعت پیشرفت بیماری تغییر کرد و به‌شدت کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که قارچ‌کش سلست برای مبارزه با بیماری به زمان بیشتری نیاز دارد. لذا می‌توان اذعان نمود که این قارچ‌کش برای کنترل بیماری در رقم حساس به‌هیچ عنوان مناسب نیست، اما برای کنترل بیماری در رقم مقاوم

به‌شرط آن که استفاده از آن در زمان مناسب انجام شود، می‌تواند اثرگذار باشد. قارچ‌کش یونیفرم نتایج بسیار مطلوبی را بر ارقام مورد بررسی ایجاد کرد. این قارچ‌کش شاخص AUDPC رقم حساس را از ۲۲۹/۹۰ در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش به ۱۳۲/۰۸ کاهش داد (شکل A۷). کاهش حدوداً ۹۸ واحدی شاخص AUDPC و همچنین سرعت پایین پیشرفت بیماری مؤید تأثیر بالای این قارچ‌کش در کنترل بیماری است. افزایش تعداد دفعات استفاده از قارچ‌کش در آب آبیاری با فواصل منظم می‌تواند کارایی مبارزه با قارچ عامل بیماری را افزایش دهد و زوال محصول را به حداقل برساند. در رقم مقاوم نیز این قارچ‌کش شاخص AUDPC را ۴۸ واحد کاهش داد و از ۱۱۱/۴۰ در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش به ۶۳/۷۶ رساند و در مجموع با آهسته‌ترین سرعت پیشرفت بیماری، واکنش مقاومت در هر سه مرحله یادداشت‌برداری مشاهده شد (شکل B۷).

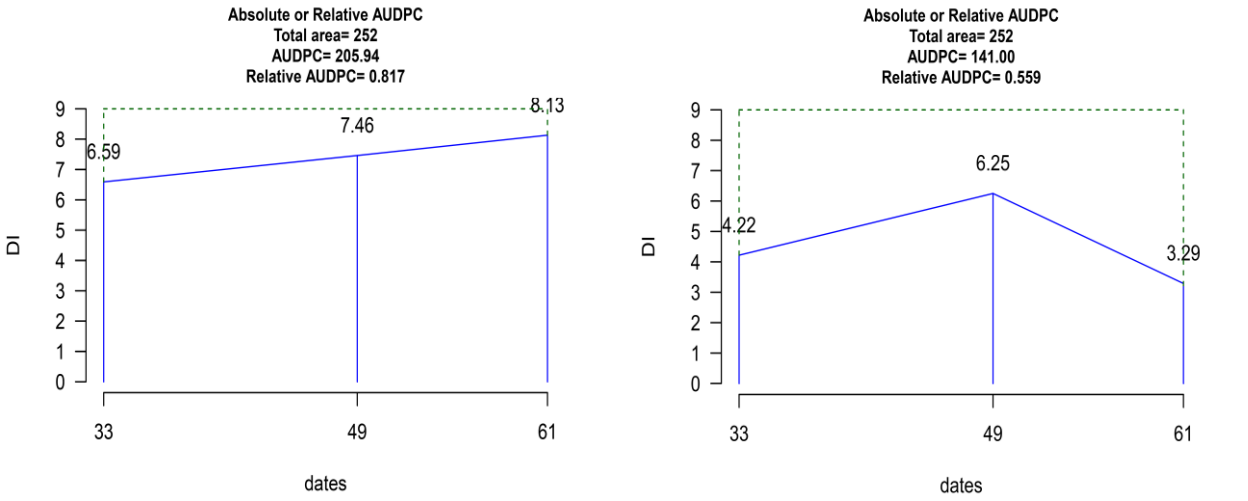
قارچ‌کش ماکسیم سرعت پیشرفت بیماری رقم حساس را تا مرحله دوم یادداشت‌برداری کاهش داد، اما پس از آن سرعت پیشرفت بیماری به‌شدت افزایش یافت؛ به‌طوری که شاخص آلودگی از ۳/۷۱ در مرحله دوم به ۸/۹۵ در مرحله سوم رسید (شکل A۸). جهش شدید این مرحله، افزایش شاخص AUDPC را باعث شد. در رقم مقاوم نیز قارچ‌کش ماکسیم سرعت پیشرفت بیماری را تا مرحله دوم یادداشت‌برداری بسیار آهسته کرد و پس از این مرحله به‌شدت به‌سرعت پیشرفت بیماری افزوده شد (شکل B۸)؛ بنابراین، در صورتی که از قارچ‌کش ماکسیم برای کنترل این بیماری استفاده شود، لازم است تا با کاهش طول دوره استفاده از قارچ‌کش تعداد دفعات آن افزایش یابد، زیرا همان‌طور که مشاهده می‌شود دو مرتبه استفاده از این قارچ‌کش در آب آبیاری در ابتدای مراحل آلودگی نمی‌تواند پیشرفت بیماری را تا زمان برداشت کنترل کند.



A **B**

شکل ۵– سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در رقم حساس شکوفا (A) و رقم مقاوم نوودورو (B) در تیمار عدم استفاده از قارچ‌کش

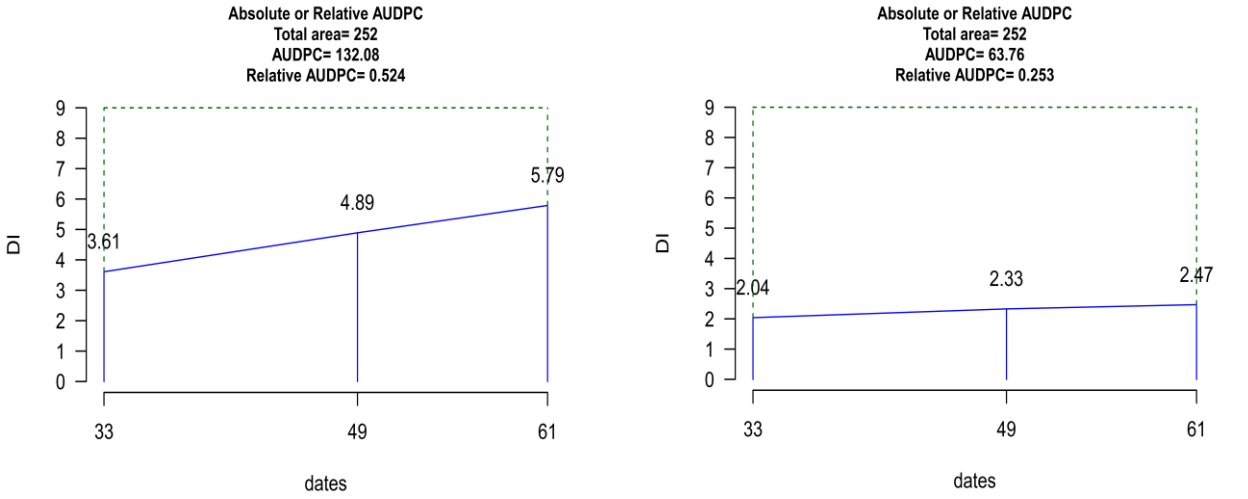
Fig. 5. The area under disease progress curve in the Shokoufa sensitive cultivar (A) and the Novodoro resistant cultivar (B) in the treatment of not using fungicides



A **B**

شکل ۶– سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در رقم حساس شکوفا (A) و رقم مقاوم نوودورو (B) در تیمار قارچ‌کش سلست

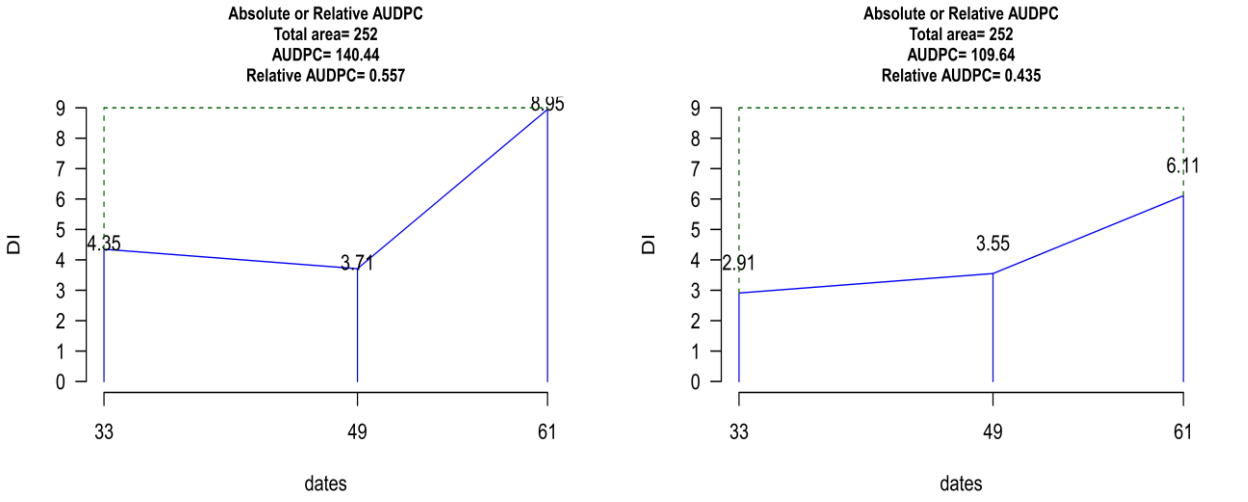
Fig. 6. The area under disease progress curve in the shokoufa sensitive cultivar (A) and the novodoro resistant cultivar (B) in the treatment of Celest fungicide



A **B**

شکل ۷– سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در رقم حساس شکوفا (A) و رقم مقاوم نوودورو (B) در تیمار قارچ‌کش یونیفرم

Fig.7. The area under disease progress curve in the Shokoufa sensitive cultivar (A) and the Novodoro resistant cultivar (B) in the treatment of Uniform fungicide



A **B**

شکل ۸– سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در رقم حساس شکوفا (A) و رقم مقاوم نوودورو (B) در تیمار قارچ‌کش ماکسیم

Fig.8. The area under disease progress curve in the Shokoufa sensitive cultivar (A) and the Novodoro resistant cultivar (B) in the treatment of Maxim fungicide

بحث

رویکردهای مدیریت یکپارچه بیماری یک برنامه راهبردی جامع برای کنترل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی و به حداقل رساندن تأثیر آن ارائه می‌کند. مطالعات مختلف بر اهمیت شیوه‌های مدیریت تلفیقی بیماری از جمله استفاده از ارقام مقاوم، تیمار بذر و استفاده به‌موقع از قارچ‌کش تأکید می‌کنند. این شیوه‌ها باید با سایر روش‌های مدیریت زراعی مانند تناوب زراعی، زهکشی و مدیریت آبیاری ترکیب شوند. در این رابطه عدم مبارزه با قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی و استفاده از ارقام حساس چغندرقند می‌تواند بر شدت بیماری تأثیر گذارد (Bartholomäus *et al.*, 2017; Majumdar *et al.*, 2022)؛ زیرا عدم توجه به شیوه‌های مدیریتی و کشت یک رقم حساس به‌طور قابل توجهی غلظت قارچ عامل بیماری ریزوکتونیا را در خاک افزایش می‌دهد. در نتیجه بیماری با شدت بیشتری توسعه می‌یابد. اگرچه استفاده از ارقام مقاوم به‌عنوان یک استراتژی مهم در مدیریت بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی چغندرقند مطرح است، اما بر اساس نتایج، رقم مقاوم تا حدودی می‌تواند مقاومت خود را در برابر قارچ عامل بیماری حفظ کند، اما در صورت مساعد شدن شرایط برای بیماری و شدت بالای بیماری، ممکن است مقاومت ژنتیکی رقم شکسته شود و خسارت زیادی به عملکرد وارد شود. لذا در چنین شرایطی باید به شیوه‌های مدیریتی دیگری مانند مبارزه شیمیایی روی آورد و فقط به مقاومت ژنتیکی رقم اتکا نکرد. در مطالعه‌ای، اثربخشی مخلوط قارچ‌کش آزوکسی استروبین و دیفنوکونازول با قارچ‌کشی که فقط حاوی آزوکسی استروبین بود، مورد توجه قرار گرفت (Bartholomäus *et al.*, 2017). نتایج نشان داد که اگرچه هر دو تیمار قارچ‌کش کارایی مشابهی در کاهش پیشرفت بیماری و جلوگیری از کاهش عملکرد داشتند، اما در مجموع استفاده از قارچ‌کش به‌طور قابل توجهی غلظت مایه تلقیح موجود در خاک را تا ۹۷ درصد کاهش داد. این موضوع نشان می‌دهد که قارچ‌کش‌ها می‌توانند به‌طور مؤثر قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی را در چغندرقند کنترل کرده و شدت بیماری را کاهش دهند؛ اما نمی‌توان تنها به استفاده از سموم قارچ‌کش نیز بسنده نمود، بلکه باید ترکیبی از یک رقم مقاوم و یک قارچ‌کش مناسب به کار گرفته شود تا از تجمع مایه تلقیح قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی در شرایط مساعد در مزارع آلوده جلوگیری گردد. نتایج پژوهش حاضر نیز تأیید می‌کند که استفاده از قارچ‌کش و یا رقم مقاوم هر یک به‌تنهایی برای مدیریت بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندرقند

به‌خصوص در شرایط آلودگی شدید کافی نمی‌باشد؛ بنابراین به‌کارگیری سموم قارچ‌کش و کشت رقم مقاوم باید در استراتژی‌های مدیریت بیماری ادغام شود.

انتخاب یک قارچکش مناسب برای دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی در شرایط آلوده به بیماری حائز اهمیت ویژه‌ای است. در میان قارچ‌کش‌های مورد بررسی، یونیفرم بهترین واکنش را نسبت به دو قارچ‌کش سلست و ماکسیم نشان داد. این قارچ‌کش حاوی دو ماده مؤثر مفنوکسام و آزوکسی استروبین است که به‌طور مؤثر برای محافظت از گیاهان در برابر بیماری‌های قارچی خاکزاد مانند فایتوفترا، پیتیوم، ریزوکتونیا و اسکلروتینیااستفاده می‌شود (Syngenta, 2023b). نحوه عملکرد قارچ‌کش یونیفرم به‌طور خاص ذکر نشده است. با این حال، بر اساس اطلاعات ارائه‌شده در مورد این قارچ‌کش که حاوی مفنوکسام و آزوکسی استروبین به‌عنوان مواد مؤثره است، می‌توان برخی فرضیات کلی در مورد نحوه عملکرد آن ارائه کرد. از آنجایی که ماده مؤثره مفنوکسام یک قارچ‌کش سیستمیک است و به گروه فنیل آمید تعلق دارد، مشخص می‌شود که این ماده از سنتز استرول‌ها در غشای سلولی قارچ جلوگیری و یکپارچگی و عملکرد غشاء را مختل می‌کند. لذا این امر منجر به مهار رشد قارچ و جلوگیری از توسعه بیماری می‌شود. آزوکسی استروبین یک قارچ‌کش استروبیلورین است که تنفس میتوکندری را در سلول‌های قارچ مهار و زنجیره انتقال الکترون را مختل می‌کند و باعث کاهش تولید آدنوزین تری فسفات (ATP) و متابولیسم تولید انرژی می‌شود که در نهایت منجر به مرگ قارچ می‌شود (Fungicide Resistance Action Committee). لذا به‌طور کلی مفنوکسام غشای سلولی و آزوکسی استروبین تنفس میتوکندریایی را هدف قرار می‌دهد. در نتیجه این دو ماده فعال در قارچ‌کش یونیفرم با تعامل دوگانه‌ای که دارند، کنترل طیف وسیعی از عوامل خاکزاد بیماری‌های قارچی از جمله قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه را فراهم می‌کنند.

قارچ‌کش سلست برای تیمار بذر گیاهان با هدف کنترل بیماری‌های بذرزاد و خاکزاد استفاده می‌شود. یکی از مزایای استفاده از قارچ‌کش سلست فعالیت گسترده آن است، به این معنی که می‌تواند طیف وسیعی از بیماری‌های قارچی را کنترل کند. این قارچ‌کش حاوی ماده فعال فلودیوکسونیل است که یک قارچ‌کش تماسی است. فلودیوکسونیل به سطح بذر نفوذ می‌کند و در اطراف بذر متمرکز می‌شود و محافظت طولانی‌مدت برای گیاهچه‌ها ایجاد می‌کند (Syngenta, 2017). قارچ‌کش سلست با مکانیسم انتقال در سلول‌های قارچ تداخل ایجاد می‌کند و بر مراحل مختلف چرخه زندگی قارچ مانند جوانه‌زنی کنیدی‌ها، لوله جوانه و رشد میسلیوم تأثیر می‌گذارد. بسته به عامل بیماری‌زا، اثر آن می‌تواند به‌صورت قارچ‌کش یا شبه قارچ‌کش متفاوت باشد و با تولید ترکیباتی، بدون از بین بردن قارچ عامل بیماری سبب توقف رشد و یا مانع بیماری‌زایی شود. این قارچ‌کش به‌ویژه در برابر گونه‌هایی از بیماری‌های قارچی که به سایر گروه‌های شیمیایی مقاوم هستند، مؤثر است (Syngenta, 2023a). قارچ‌کش ماکسیم نیز از جمله سمومی است که برای تیمار بذر گیاهان استفاده می‌شود و مانند قارچ‌کش سلست حاوی ماده مؤثره فلودیوکسونیل است (Syngenta, 2017). این قارچ‌کش نیز با هدف محافظت از گیاهان تیمارشده در برابر انواع بیماری‌های قارچی بذرزاد و خاکزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم مزایایی که دو قارچ‌کش سلست و ماکسیم دارند، اما این دو در درجه اول برای تیمار بذر طراحی شده‌اند و همان‌گونه که در نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر مشاهده شد، در صورتی که به‌صورت محلول در آب آبیاری استفاده شوند، کنترل کافی بر قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه نخواهند داشت؛ اما اگر امکان دسترسی به قارچ‌کش‌های مناسبی نظیر یونیفرم وجود نداشته باشد، به اجبار می‌توان از قارچ‌کش سلست و ماکسیم برای مبارزه با بیماری استفاده کرد. البته قارچ‌کش سلست برای کنترل بیماری در رقم حساس به‌هیچ‌عنوان توصیه نمی‌شود، اما در رقم مقاوم اگر فرصت کافی به این قارچ‌کش داده شود، می‌تواند اثرگذار باشد، زیرا به زمان بیشتری برای اثرگذاری نیاز دارد. در صورت استفاده از قارچ‌کش ماکسیم برای مبارزه با بیماری لازم است تا تعداد

دفعات بیشتری از این قارچ‌کش استفاده شود تا عملکرد مناسبی حاصل شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، قارچ‌کش‌ها با توجه به محتوای ماده مؤثره و نحوه فعالیت آن‌ها، شیوه‌های گوناگونی برای کنترل بیماری دارند. میزان کنترل بیماری توسط قارچکش‌ها تحت تأثیر مقاومت و حساسیت ژنوتیپ‌ها نیز قرار می‌گیرد. انتخاب ارقام مقاوم و استفاده به‌موقع از قارچ‌کش‌هایی نظیر یونیفرم از راهکارهای مهم برای به حداقل رساندن تأثیر سوء عامل بیماری‌زای پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندرقند می‌باشند. در مجموع استفاده از قارچ‌کش‌ها در کنار سایر اقدامات مدیریتی می‌تواند به کنترل قارچ عامل بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در چغندرقند کمک کند. با این حال، در نظر گرفتن رویکردهای مدیریت یکپارچه بیماری و پیروی از شیوه‌های توصیه‌شده توسط تولیدکنندگان قارچ‌کش برای استفاده ایمن و مؤثر از قارچ‌کش‌ها بسیار مهم است.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان که در اجرای پروژه پژوهشی همکاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

Akyüz, A. & Ersus, S. 2021. Optimization of enzyme assisted extraction of protein from the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves for alternative plant protein concentrate production. Food Chemistry, 335: 127673.

Anderson, N.A. 1982. The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani*. Annual review of phytopathology, 20: 329–347.

Bartholomäus, A., Mittler, S., Märländer, B. & Varrelmann, M. 2017. Control of *Rhizoctonia solani* in sugar beet and effect of fungicide application and plant cultivar on inoculum potential in the soil. Plant disease, 101: 941–947.

Bolton, M.D., Panella, L., Campbell, L. & Khan, M.F. 2010. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* root and crown rot of sugar beet. Phytopathology, 100: 689–697.

Büttner, G., Pfähler, B. & Märländer, B. 2004. Greenhouse and field techniques for testing sugar beet for resistance to Rhizoctonia root and crown rot. Plant breeding, 123: 158–166.

Eggleston, G. 2019. "History of Sugar and Sweeteners," American Chemical Society.

FAO. 2018. Food and agriculture organization. World Food and Agriculture– Statistical Pocketbook, FAO, Rome, Italy.

Fungicide Resistance Action Committee.

Gonzalez, M., Pujol, M., Metraux, J.P., Gonzalez-Garcia, V., Bolton, M.D. & Borras-Hidalgo, O. 2011. Tobacco leaf spot and root rot caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. Molecular plant pathology, 12: 209–216.

Haque, M.E. 2020. Developing a New Inoculation Method, and Evaluating the Potential Biological Control of Rhizoctonia Solani by Penicillium Pinophilum on Sugar Beet, North Dakota State University.

Hassani, M., Heidari, B., Mahmoudi, S.B., Taleghani, D.F. & Stevanato, P. 2019. Identification of owen–type male sterility maintainers carrying resistance against rhizoctonia crown and root rot (Rcrr) disease in sugar beet germplasm. Sugar Tech, 21: 959–965.

Khan, M., Haque, M., Bloomquist, M., Bhuiyan, M., Brueggeman, R., Zhong, S., Poudel, R.S., Gross, T., Hakk, P. & Leng, Y. 2020. First report of Alternaria leaf spot caused by Alternaria tenuissima on sugar beet (*Beta vulgaris*) in Minnesota, USA. Plant disease, 104: 580–580.

Kiskini, A., Vissers, A., Vincken, J.–P., Gruppen, H. & Wierenga, P.A. 2016. Effect of plant age on the quantity and quality of proteins extracted from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves. Journal of agricultural and food chemistry, 64: 8305–8314.

Lammens, T., Franssen, M., Scott, E. & Sanders, J. 2012. Availability of protein–derived amino acids as feedstock for the production of bio–based chemicals. Biomass and Bioenergy, 44: 168–181.

Liu, Y. & Khan, M.F. 2016. Penthiopyrad applied in close proximity to Rhizoctonia solani provided effective disease control in sugar beet. Crop Protection, 85: 33–37.

Mahmoudi, S.B., Aghaeezadeh, M., Mehdikhani, P., Ahmadi, M., Soltani, J., Ghaemi, A., Bazrafshan, M., Fotohi, K., Darabi, S., Matloubi, F., Vahedi, S., Mohammadian, R., Abdollahian Noghabi, M., Norouzi, P., Sadeghzadeh Hemayati, S., Orazizadeh, M., Khorshid, A. & Rajabi, A. 2019. Shokofa, sugar beet

monogerm variety resistant to rhizomania and cyst nematode. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 8: 145–156.

Majumdar, R., Strausbaugh, C.A., Galewski, P.J., Minocha, R. & Rogers, C.W. 2022. Cell–wall–degrading enzymes–related genes originating from rhizoctonia solani increase sugar beet root damage in the presence of leuconostoc mesenteroides. International Journal of Molecular Sciences, 23: 1366.

Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J. & Romeiras, M.M. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. Frontiers in plant science, 9: 74–85.

Nagaraj, B., Sunkad, G., Pramesh, D., Naik, M. & Patil, M. 2017. Host range studies of rice sheath blight fungus *Rhizoctonia solani* (Kuhn). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6: 3856–3864.

Nations, U. 2019. "World population prospects 2019: Highlights. (Department of Economic and Social Affairs, Population Division)".

Ogoshi, A. 1987. Ecology and pathogenicity of anastomosis and intraspecific groups of *Rhizoctonia solani* Kuhn. Annual review of phytopathology, 25: 125–143.

Rafiei, V., Vélëz, H., Dixelius, C. & Tzelepis, G. 2023. Advances in molecular interactions on the *Rhizoctonia solani*–sugar beet pathosystem. Fungal Biology Reviews, 44: 100297.

Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M. & Saremirad, A. 2022. Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania–infected conditions. Food Science & Nutrition, 11: 1403–1414.

Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes–Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S. & Ricardo, C.P. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. Frontiers in plant science, 7: 1293.

Saremirad, A., Bihamta, M.R., Malihipour, A., Mostafavi, K. & Alipour, H. 2020. Evaluation of Resistance of Some Iranian Spring Bread Wheat Cultivars to Stem Rust Disease at Seedling Stage. Seed and Plant Journal, 36: 383–401.

Saremirad, A., Bihamta, M.R., Malihipour, A., Mostafavi, K. & Alipour, H. 2021. Genome–wide association study in diverse Iranian wheat germplasms detected several putative genomic regions associated with stem rust resistance. Food Science & Nutrition, 9: 1357–1374.

Saremirad, A. & Mostafavi, K. 2020. Genetic diversity study of sunflower (*Helianthus annus* L.) genotypes for agro–morphological traits under normal and drought stress conditions. Plant Productions, 43: 227–240.

Sneh, B., Burpee, L. & Ogoshi, A. 1991. "Identification of *Rhizoctonia* species," APS press.

Syngenta. 2017. Priduction guide. (S. S. Institute, ed.). Syngenta.

Syngenta. 2023a. Celest– broad–spectrum seed treatment fungicide. Syngenta.

Syngenta. 2023b. Uniform. (Syngenta, ed.). Syngenta.

Tenorio, A.T., Schreuders, F., Zisopoulos, F., Boom, R. & Van der Goot, A. 2017. Processing concepts for the use of green leaves as raw materials for the food industry. Journal of cleaner production, 164: 736–748.

Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berlowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J., Stanishevsky, A. & Witońska, I. 2018. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. RSC advances, 8: 3161–3177.

Windels, C., Jacobsen, B. & Harveson, R. 2009. Rhizoctonia root and crown rot. Compendium of beet diseases and pests: 33–36.

Integrating genetical and chemical control: An approach to rhizoctonia root rot disease management

Mahdi Hassani[1], Hamed Mansouri [2], Hamze Hamze[3], Ali Saremirad[4]

1, 4. Assistant Professor, Ph.D., Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2, 3. Assistant Professor, Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

Corresponding author: Mahdi Hassani, email: m.hasani@areeo.ac.ir
Received: Jul., 20, 2023 10(2) 31–45 Accepted: Sep., 10, 2023

Abstract
Rhizoctonia root rot is a widespread and destructive disease that affects sugar beet yield in Iran and worldwide. In this study, we investigated integrated disease management methods, including the use of resistant cultivars and fungicides, to prevent the development of the disease. The present study focused on the Shokoufa susceptible cultivar and the Novodoro resistant cultivar, and tested three fungicides of Celeste, Uniform, and Maxim. The experiment was conducted under natural and artificial contamination conditions during 2022. The results showed that the Uniform fungicide effectively prevented the development of the disease on the resistant cultivar, resulting in a harvest index of 70.59%. Although this fungicide did not work as effectively on the susceptible cultivar, it still showed better performance compared to other experimental treatments. The Celeste fungicide had a disease index of 3.29 on the resistant cultivar, with 5% of the root surface having ulcers. However, it did not have a significant effect on disease control in the susceptible cultivar, which showed a sensitivity reaction. The harvest index of the resistant cultivar in this treatment was 76.47%, while the susceptible cultivar had a harvest index of 11.76%. The Maxim fungicide and control treatments had similar effects on both the resistant and susceptible cultivars in terms of disease and harvest indexes. Although the severity of the disease was lower in the resistant cultivar compared to the susceptible cultivar, both cultivars showed a low harvest index and were in the sensitive range.

Keywords: Disease index, Disease severity, Resistance, Sensitivity, Sugar beet.