DOI: 10.22092/spj.2025.367587.1385

"نهال و بذر"
جلد ۴۰، شماره ۱، سال ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

مقاومت پایه‌های امیدبخش سیب به شته مومی [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در شرایط تغذیه اجباری

Resistance of Promising Apple Rootstocks to the Woolly Aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under Forced Feeding Conditions

مسعود لطیفیان[۱*] و داریوش آتشکار[۲]

۱- استاد، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج ایران.
۲- استادیار، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

چکیده

لطیفیان، م. و آتشکار، د. ۱۴۰۳. مقاومت پایه‌های امیدبخش سیب به شته مومی [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در شرایط تغذیه اجباری. **نهال و بذر ۴۰:** ۷۲-۴۷

شته مومی [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] یکی از آفات خسارت‌زای باغات سیب است که می‌تواند تا ۳۰ درصد محصول را کاهش دهد و به طور مستقیم به کیفیت میوه نیز آسیب برساند. این پژوهش باهدف ارزیابی مقاومت ده پایه امید بخش سیب شامل پایه‌های تجاری و بومی، نسبت به شته مومی سیب در شرایط تغذیه اجباری در شرایط گلخانه با دمای ۵ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۱۰ ± ۶۰ درصد و چرخه نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. در این پژوهش، شاخص‌های سرعت تغییرات جمعیت، سطح تعادل جمعیت و احتمال استقرار شته بر روی پایه‌های امید بخش سیب در طول فصل رشد به‌دقت بررسی شدند. نتایج نشان دادند که پایه M9op$^{(387)}$، به دلیل داشتن سازکارهای آنتی‌زنوز (جلوگیری از استقرار شته) و آنتی‌بیوز (کاهش بقا و باروری شته)، توانستند جمعیت شته را تا ۶۰ درصد کاهش دهند. همچنین، احتمال استقرار شته در پایه‌های مقاوم حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از پایه‌های حساس‌تر مانند B9op$^{(87)}$ بود. ویژگی‌های فیزیکی نظیر تراکم کرک و ضخامت پوست شاخه نیز به‌عنوان عوامل مؤثر در مقاومت پایه‌ها شناسایی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پایه‌های مقاوم می‌تواند به طور مؤثری در مدیریت تلفیقی این آفت سیب مورد استفاده قرار گیرد و راهکاری پایدار برای کنترل شته مومی فراهم کند. یافته‌های این پژوهش می تواند در برنامه‌های به نژادی و گزینش پایه‌های مقاوم سیب مناسب و سازگار با شرایط متنوع اقلیمی در ایران استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: پایه سیب، حساسیت، شاخص‌های جمعیتی، خصوصیات شکل‌شناسی، پایداری زیستی، کنترل.

* نگارنده مسئول: masoud_latifian@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۵۴۱

2024© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* Hausmman)] که با نام شته پشمالو (Woolly aphid) نیز شناخته می‌شود، یکی از آفات مهم و خسارت زای درختان سیب است که می‌تواند خسارات اقتصادی چشم‌گیری به بار آورد. این آفت با تغذیه از شیره گیاه و ترشح ماده‌ای مومی‌شکل مانع از رشد مناسب درختان سیب شده و در نتیجه کاهش محصول و کاهش کیفیت میوه را به دنبال دارد (Adhikari, 2022). آمار دقیقی برای خسارات اقتصادی شته مومی سیب در سطح جهانی ارائه نشده است، اما مطالعات نشان می‌دهد که این آفت می‌تواند تولید سیب را به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش دهد (Kamusiime *et al.*, 2023).

در ایران نیز شته مومی سیب یکی از مهم‌ترین آفات درختان سیب به شمار می آید. استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، همدان، خراسان و اصفهان که از تولیدکنندگان اصلی سیب در کشور هستند، بیشتر از سایر نقاط با این مشکل مواجه‌اند. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که این آفت می‌تواند باعث حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش محصول سیب در ایران شود که این امر به زیان اقتصادی بزرگی در صنعت باغبانی کشور منجر می‌شود (Latifian *et al.*, 2023a).

کنترل شته مومی سیب به دلیل مقاومت این آفت در برابر بسیاری از روش‌های متداول، چالشی جدی در باغداری سیب است. برخی از سموم شیمیایی که برای کنترل شیمیایی شته مومی سیب مورداستفاده قرار گرفته‌اند شامل ایمیداکلوپرید، اسپیروتترام و پیروکسیفن می باشند. استفاده مکرر از سموم شیمیایی باعث بروز مقاومت در جمعیت این آفت و ایجاد آثار منفی زیست‌محیطی و آسیب به حشرات مفید شده است. همچنین به دلیل نیاز به تکرار و افزایش هزینه‌ها در بلندمدت، این روش کارایی اقتصادی پایینی دارد. برخی از حشرات شکارگر نظیر کفشدوزک‌ها و زنبورهای پارازیتویید به‌عنوان کنترل‌گران زیستی این آفت هستند. با این حال، کارایی کنترل زیستی در کوتاه‌مدت محدود بوده و برای دستیابی به نتایج مطلوب به زمان طولانی‌تری نیاز دارد (Nicholas *et al.*, 2005).

انتخاب پایه‌های مقاوم به شته مومی سیب یکی از راهکارهای مؤثر و پایدار برای کنترل این آفت است. پایه‌های مقاوم می‌توانند از رشد و تکثیر شته‌ها جلوگیری کرده و به کاهش هزینه‌های کنترل شیمیایی و بیولوژیک کمک کنند (Adhikari, 2022). پایه‌های مقاوم به شته مومی سیب می‌توانند از ۵۰ تا ۷۰ درصد از آلودگی درختان به این آفت را کاهش دهند. استفاده از پایه‌های مقاوم می‌تواند هزینه‌های کنترل شیمیایی را تا ۶۰ درصد کاهش دهد. عمر درختانی که از پایه‌های مقاوم استفاده می‌کنند، طولانی تر است (Sandanayaka *et al.*, 2005). این باعث کاهش هزینه‌های

جایگزینی و کاشت مجدد درختان می‌شود. پایه‌های مقاوم به دلیل کاهش حمله آفت و سلامت بهتر ریشه و شاخه‌ها، می‌توانند باعث افزایش تولید میوه سیب تا ۲۰ درصد و بهبود کیفیت میوه‌ها شوند که این امر به معنای سودآوری بیشتر است. علاوه بر این استفاده از پایه‌های مقاوم به‌عنوان یک روش پیشگیرانه، کارایی بالایی دارد و می‌تواند آثارمثبتی بر مدیریت آفات و بهبود تولید باغ‌های سیب داشته باشد (Sandanayaka *et al*., 2005).

تلاش برای تولید پایه‌های مقاوم سیب در برابر شته مومی از دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز شد. هدف از این تحقیقات، تولید پایه‌هایی است که بتوانند مقاومت پایدار در برابر این آفت ایجاد کنند و نیاز به کنترل شیمیایی را کاهش دهند. در دهه ۱۹۸۰، پژوهشگران توانستند پایه‌های اولیه‌ای را که درجاتی از مقاومت در برابر شته مومی داشتند، شناسایی کنند، اما مقاومت این پایه‌ها نسبی بود (Cummins and Aldwinckle, 1983). در ادامه، در دهه ۱۹۹۰، استفاده از روش‌های ژنتیکی و شناسایی ژن‌های مقاوم در ارقامی از *Malus* × *domestica* پیشرفت‌های قابل توجهی را به همراه داشت .این پژوهش‌ها به شناسایی ژن‌هایی منجر شد که در مقاومت به شته مومی مؤثر بودند و به کمک این ژن‌ها، ارقام جدیدتری با مقاومت نسبی ایجاد شد (Fischer, 1996).

در دهه ۲۰۰۰ و به ویژه از سال ۲۰۰۶ میلادی به بعد، پیشرفت‌های مهمی در تعیین مکان‌های ژنی مرتبط با مقاومت به شته مومی سیب انجام شد. به عنوان مثال، در تحقیقات انجام شده پایه‌های Geneva به نحوی اصلاح شدند که مقاومت بهتری در برابر این آفت نشان دادند. در تحقیقات دیگری نیز پایه‌های Geneva و سایر پایه‌های پیشرفته به طور گسترده آزمایش و مقاوم‌ترین آن‌ها مشخص شدند (Bus *et al*., 2008).

از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میلادی ، فناوری‌های پیشرفته‌تر مانند استفاده از نشانگرهای مرتبط با ژن‌های مقاوم کمک شایانی به شناسایی دقیق پایه‌های مقاوم کرد و در نتیجه، پایه‌های Geneva-41 و Geneva-935 که مقاومت بالایی به شته مومی نشان دادند، به طور گسترده‌تری توصیه شدند. در دهه اخیر، مطالعات ادامه داشته و با استفاده از این روش‌ها، پایه‌هایی که مقاومت بالاتر و پایدارتر داشته باشند، شناسایی و معرفی شده‌اند (Fazio *et al*., 2015). پژوهش های جدیدتر نیز در برخی مؤسسات ایرانی به بررسی پایه‌ها و ژرم‌پلاسم‌های بومی پرداخته‌اند و نتایج امیدوارکننده‌ای در استفاده از این پایه‌ها برای مقاومت به شته مومی گزارش شده است (Latifian *et al*., 2023).

بررسی مقاومت پایه‌های سیب نسبت به شته مومی در شرایط تغذیه اجباری اهمیت بسیاری دارد. در شرایط تغذیه اجباری، پایه‌ها تحت‌فشار آفت قرار می‌گیرند که این امر می‌تواند

نشان‌دهنده توانایی واکنش واقعی آن‌ها نسبت به آفت باشد. این اطلاعات به برنامه‌های به نژادی برای انتخاب پایه‌های مقاوم کمک می‌کند (Dahms, 1972).

این پژوهش به‌منظور تعیین مقاومت پایه‌های امید بخش سیب به شته مومی در شرایط تغذیه اجباری انجام شد. هدف اصلی شناسایی پایه‌هایی بود که با استفاده از سازکارهای آنتی‌بیوز و آنتی‌زنوز از افزایش جمعیت شته‌ها جلوگیری کرده و برای کشت در مناطق با فشار بالای آفت مناسب باشند. در این پژوهش ارتباط بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی پایه‌ها و میزان مقاومت آن‌ها به شته مومی نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ده پایه امیدبخش سیب شامل $Azop^{(385)}$، $Azop^{(386)}$، $AZ \times M9^{(285)}$، $AZ \times M27^{(85)}$، $Azop^{(285)}$، $Azop^{(286)}$، $M9op^{(387)}$، $B9op^{(87)}$، $AZ \times M9^{(185)}$ و $Azop^{(486)}$ از میان نتاج امیدبخش حاصل از دورگ گیری و گرده‌افشانی آزاد ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی سیب (آزایش اصفهان و مربائی مشهد) به‌عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب (M9, M27, B9) به‌عنوان والد پدری در برنامهٔ به نژادی پایه‌های رویشی سیب، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

مواد گیاهی مورداستفاده، نهال‌های یک‌ساله‌ای بودند که از طریق خوابانیدن نواری تکثیر شدند. این نهال‌ها به گلدان‌های سطلی (به قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر، حجم گلدان ۷ لیتر) حاوی مخلوط خاک استریل با ترکیب ماسه (شن): خاک‌برگ: خاک رس به نسبت ۱:۱:۲، منتقل و در فضای آزاد نگهداری شدند. در سال دوم پس از کاشت و رسیدن به رشد کافی، آماده ارزیابی آزمون‌های ترجیح میزبانی شدند (Fazio *et al.*, 2013). برای این منظور در دی ۱۴۰۱، قلمه‌هایی به طول ۲۵ سانتی‌متر از این پایه‌ها تهیه و پس از تیمار با هورمون IBA با غلظت ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱ درجه سانتی‌گراد ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده ۴۵ روز بعد به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت ماس به نسبت ۱:۱:۱:۱) انتقال یافتند.

برای هر پایه امیدبخش سیب چهار تکرار در نظر گرفته شد (Russo *et al.*, 2007). در بهار سال بعد، هر یک از نهال‌های سیب به ارتفاع یک متر در گلدانی به قطر ۵۰ سانتی‌متر منتقل و به گلخانه منتقل شدند. شته‌های مومی سیب در اردیبهشت ۱۴۰۲ از یک باغ سیب در کمال شهر جمع‌آوری شد و برای آلوده کردن درختان سیب گلدانی که در گلخانه نگهداری می‌شدند مورداستفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- خصوصیات پایه‌های امیدبخش سیب مورد بررسی ابرای مقاومت به شته مومی [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] تحت شرایط تغذیه اجباری

Table 1. Characteristics of studied promising apple rootstocks for resistance to woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under forced feeding conditions

پایه Rootstock	سال تولید Year of production	والدین Parents	روش به نژادی Breeding method	مقاومت به آتشک Fire blight resistance	تحمل به خشکی Drought tolerance	مقاومت به فیتوفتورا Phytophtora resistance
Azop(385)	2006	آزایش اصفهان Azayesh Isfahan	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	نیمه متحمل Moderately tolerant	مقاوم Resistance
AZ × M9(285)	2006	آزایش اصفهان × M9 Azayesh Isfahan × M9	دورگ گیری Hybridization	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	حساس Susceptible	نیمه مقاوم Moderately resistant
AZ × M27(85)	2006	آزایش اصفهان × M27 Azayesh Isfahan × M27	دورگ گیری Hybridization	نیمه‌حساس Moderately susceptible	حساس Susceptible	مقاوم Resistant
Azop(285)	2006	آزایش اصفهان Azayesh Isfahan	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	در دست بررسی Under study	مقاوم Resistant
AZ × M9(185)	2006	آزایش اصفهان × M9 Azayesh Isfahan × M9	دورگ گیری Hybridization	نیمه‌حساس Moderately susceptible	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	حساس Susceptible
Azop(286)	2007	آزایش اصفهان Azayesh Isfahan	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	در دست بررسی Under study	مقاوم Resistant
Azop(386)	2007	آزایش اصفهان Azayesh Isfahan	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	در دست بررسی Under study	حساس Susceptible
M9op(387)	2008	پایه رویشی M9 M9 vegetative rootstock	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌حساس Moderately susceptible	در دست بررسی Under study	حساس Susceptible
B9op(387)	2008	پایه رویشی B9 B9 vegetative rootstock	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌حساس Moderately susceptible	در دست بررسی Under study	حساس Susceptible
Azop(486)	2007	آزایش اصفهان Azayesh Isfahan	گرده‌افشانی آزاد Open pollination	نیمه‌مقاوم Moderately resistant	حساس Susceptible	حساس Susceptible

آلوده کردن پایه‌های امیدبخش سیب به‌وسیله شته مومی و اندازه‌گیری شاخص‌ها

آلوده کردن به شته مومی روی پایه‌های امیدبخش سیب در دمای ۵± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۱۰± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۴: ۱۰ ساعت (L: D) در گلخانه بر روی ۴۰ گلدان (چهار تکرار از هر پایه‌های امیدبخش سیب) انجام شد. برای آلوده کردن سه زخم هر کدام به عرض دو میلی‌متر و طول ۲۰ میلی‌متر بر روی ساقه هر نهال پایه سیب به‌عنوان محل استقرار شته‌ها بریده شد. سپس با انتقال ۱۵ عدد شته بالغ به هر زخم آلوده کردن انجام شد. تعداد کلنی‌های شته‌ها مستقر شده پس از ۴۸ ساعت برآورد شد. سپس به فاصله هر هفته یک‌بار تمام کلنی‌های روی هر تکرار و میانگین تراکم کلنی شته در هر کلنی شمارش شدند. اندازه هر کلنی به‌وسیله کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. علاوه بر این تعداد گال‌های ایجاد شده توسط شته ها در قسمت‌های مختلف هر نهال شمارش گردید.

محاسبه سرعت تغییرات جمعیت کلنی شته

سرعت تغییرات جمعیت کلنی شته (Ua) در فاصله میان دو نمونه‌برداری متوالی با استفاده از رابطه ۱ و متوسط نرخ تغییرات فصلی جمعیت کلنی شته با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Entwistle and Dixon, 1987).

رابطه ۱: $U_a = \frac{(N_{t2})-(N_{t1})}{14}$

رابطه ۲: $\lambda_A = (\sum_{i=1}^{n} Ua)/n$

در این روابط Ua سرعت تغییرات جمعیت کلنی شته، Nt1 و Nt2 به ترتیب کلنی شته- روز مؤثر در دو نمونه برداری متوالی و λ_A، n به ترتیب میانگین سرعت تغییرات فصلی جمعیت میزبان و تعداد نمونه برداری در طول فصل می‌باشند

محاسبه سطح تعادل جمعیت میزبان کلنی شته روی پایه‌های امیدبخش سیب

بر اساس مدل نیکلسون نقطه تعادل جمعیت کلنی شته (N*) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. سایر پارامترهای معادلات مشابه قبل تعریف شدند (Obrycki *et al.*, 2001)

رابطه ۳: $N^* = \frac{\lambda_A \log_e \lambda_A}{Ua}$

در این رابطه Ua سرعت تغییرات جمعیت کلنی شته و λ_A میانگین سرعت تغییرات فصلی جمعیت میزبان در طول فصل می‌باشند

محاسبه احتمال استقرار کلنی شته روی پایه‌های امیدبخش سیب

احتمال استقرار کلنی شته به ترتیب عبارت است از میانگین احتمال قرارگرفتن جمعیت کلنی شته در بالاتر و پایین‌تر از خط حد تعادل در دوره نمونه‌برداری که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Mason *et al.*, 2003).

رابطه ۴: $P(X)_{aphid} = \sum_{i=1}^{n}(N - N*)$

دراین‌رابطه $P(x)_{aphid}$ احتمال فصلی قرارگرفتن کلنی شته مومی سیب در زیر خط تعادل و Nt1 و Nt2 به ترتیب کلنی شته- روز

مؤثر در دو نمونه برداری متوالی می باشند.

اندازه‌گیری صفات رشد رویشی پایه‌های امیدبخش سیب

صفات رویشی مانند قدرت رشد، تعداد انشعاب، رشد شاخه، کرک، براقی پوست و ضخامت آن، طول میان‌گره، تعداد عدسک‌ها، اندازه عدسک، شکل عدسک، رنگ غالب، اندازه جوانه، شکل نوک جوانه، موقعیت جوانه، اندازه تکیه‌گاه و رنگ نوک جوانه پایه‌های امیدبخش سیب مطالعه شد. ارزیابی‌ها بر اساس روش استاندارد میراندا و همکاران (Miranda *et al.*, 2015) انجام شد.

تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست‌آمده ازاندازه گیری و محاسبه شاخص‌های مقاومت پس از اطمینان از نرمال بودن به کمک آزمون کولموگروف–اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای تفکیک پایه‌های امیدبخش سیب بر اساس میزان مقاومت به شته مومی سیب از روش تحلیل خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی (Hierarchical clustering) به صورت بین فاصله اقلیدسی (Between- groupe linkage) و مجذور پیوند گروهی (Squared euclidean distance) استفاده و نمونه‌هایی که از نظر میزان مقاومت مشابه بودند بر اساس یک فاصله اقلیدسی مشخص به گروه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شدند (Frades and Matthiesen, 2010).

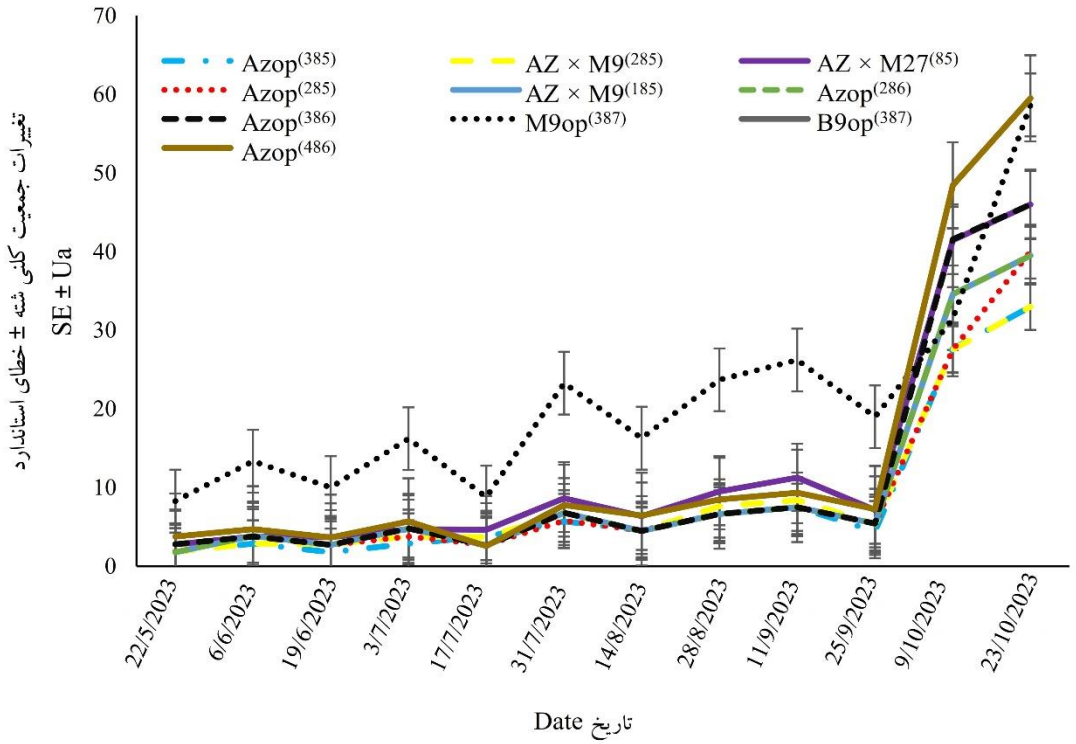
به منظور ارزیابی صحت خوشه‌بندی پایه های مورد مطالعه از تجزیه و تحلیل تابع تشخیص خطی (Linear Discriminant analysis – LDA) استفاده شد (Fraley and Raftery, 2002). درجه تأثیر صفات مختلف بر میزان رتبه مقاومت از طریق تجزیه و تحلیل رابطه همبستگی کندال (Kendall) مورد بررسی قرار گرفت (Gogtay and Thatte, 2017). تجزیه داده‌ها به کمک نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 انجام شد.

نتایج و بحث

سرعت تغییرات فصلی جمعیت شته مومی روی پایه‌های امیدبخش سیب

سرعت تغییرات فصلی جمعیت مؤثر شته مومی سیب در پایه‌های سیب موردمطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین سرعت تغییرات جمعیت شته مومی سیب به ترتیب در پایه های $M9op^{(387)}$ و $Azop^{(386)}$ مشاهده شد. سرعت تغییرات از ابتدای فصل تا اواخر شهریور با اندک تغییراتی ثابت بود. اما از اواخر شهریور تا انتهای فصل با شیب تندی در کلیه پایه‌های سیب روند افزایشی نشان داد (شکل ۱).

نمودارها در شکل ۱ سرعت رشد کلنی شته‌ها در طول فصل رشد را نشان می دهند و اطلاعات مهمی درباره رفتار جمعیتی آفت و تأثیر پایه‌های سیب ارائه می کنند. داده‌ها نشان



شکل ۱- سرعت تغییرات فصلی جمعیت مؤثر شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در پایه‌های امیدبخش سیب، بر اساس تغییرات سرعت رشد جمعیت کلنی (Ua) در شرایط تغذیه اجباری

Fig. 1. The rate of seasonal effective population changes of of the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] on promising apple rootstocks, based on colony population growth rate (Ua) under forced feeding conditions

می‌دهند که پایه امید بخش سیب M9op(387) توانست رشد جمعیت شته‌ها را به طور قابل‌توجهی محدود کند. در این پایه، سرعت تغییرات جمعیت کلنی شته‌ها در طول فصل رشد پایین بود و حتی در دوره‌های اوج (میانه فصل) نیز افزایش قابل‌توجهی مشاهده نشد. در مقابل، پایه Azop(385) در ابتدای فصل رشد سرعت افزایش جمعیت پایین‌تری نسبت به پایه‌های حساس نشان داد، اما در میانه فصل، سرعت رشد جمعیت کلنی شته مومی سیب در این پایه افزایش قابل‌توجهی پیدا کرد. این افزایش ممکن است به دلیل کاهش تدریجی مقاومت یا سازگاری شته‌ها با محیط گیاه بود (Dampc *et al*., 2021).

پایه امید بخش سیب Azop(386) بیشترین سرعت رشد جمعیت کلنی شته مومی سیب را در طول فصل رشد نشان داد (شکل ۱). این پایه با فراهم کردن شرایط مساعد برای استقرار شته، سرعت رشد بیشتری در ابتدای فصل داشت و این روند تا میانه فصل به اوج خود رسید. در

انتهای فصل نیز سرعت رشد جمعیت کلنی شته در این پایه نسبت به سایر پایه‌ها کاهش کمتری نشان داد و جمعیت شته در سطح بالایی باقی ماند. این رفتار بیانگر عدم وجود سازکار دفاعی مؤثر در این پایه است که به شته‌ها اجازه داد بدون محدودیت رشد کنند (Nalam *et al.*, 2019).

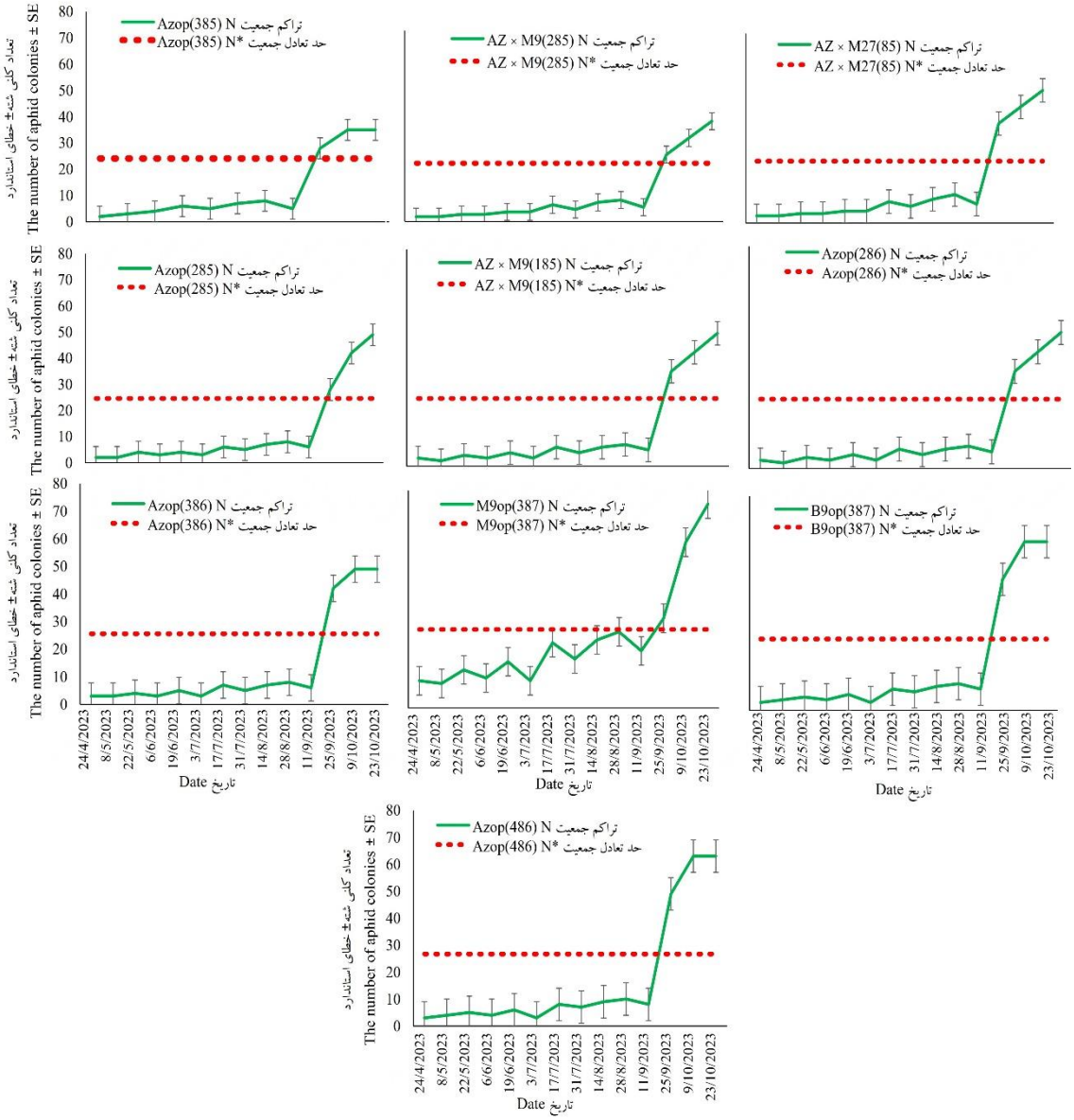
سطح تعادل جمعیت شته مومی روی پایه‌های امیدبخش سیب

نتایج مربوط به تغییرات فصلی جمعیت مؤثر شته مومی نسبت به سطح تعادل جمعیت در هر پایه در شکل ۲ ارائه شده است. بیشترین و کمترین سطح تعادل شته مومی به ترتیب روی پایه‌های M9op[386] و Azop[385] ثبت شد. سطح تعادل جمعیت شته مومی در کلیه پایه‌های امید بخش سیب تا اواسط شهریور کمتر از حد تعادل بود و از انتهای شهریور تا انتهای فصل بیشتر از حد تعادل بود.

نتایج حاکی از آن است که جمعیت شته‌ها در اوایل فصل رشد (بهار) به‌تدریج افزایش یافت و این روند در پایه‌های مختلف با شدت‌های متفاوتی مشاهده شد (شکل ۲). پایه‌های مقاوم مانند M9op[387] نشان دادند که افزایش اولیه جمعیت شته‌ها روی آن ها کندتر است و سطح تعادل نهایی جمعیت در این پایه‌ها به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از سایر پایه‌هاست. در میانه فصل، جمعیت شته‌ها در این پایه‌ها کاهش محسوسی پیدا کرد که ناشی از تأثیر سازکارهای آنتی‌زنوز و آنتی‌بیوز است (Latifian *et al.*, 2023).

در مقابل، روی پایه‌های نیمه‌مقاوم مانند Azop[385] در ابتدای فصل افزایش قابل‌توجهی در جمعیت شته‌ها ثبت شد، اما این افزایش در طول فصل رشد به‌تدریج کاهش یافت و به میانگین سطح تعادل رسید (شکل ۲). این رفتار نشان می‌دهد که این پایه‌ها توانایی محدودی در بازدارندگی اولیه شته‌ها داشتند، اما در مراحل بعدی با سازکارهای دفاعی متوسطی توانستند جمعیت شته را کنترل کنند. این پایه‌های نیمه مقاوم ممکن است برای استفاده در شرایط با فشار آفت متوسط مناسب باشند. در پایه‌های حساس مانند Azop[386]، جمعیت شته‌ها در طول فصل رشد روند افزایشی داشت و به اوج قابل‌توجهی در انتهای فصل رسید (شکل ۲). سطح تعادل جمعیت در این پایه‌ها بسیار بالاتر از سایر پایه‌ها بود که نشان‌دهنده عدم وجود سازکار مقاومتی مؤثر در این پایه‌ها بود.

مقادیر زیر خط حد تعادل در نمودار های شکل ۲ به معنای کاهش استقرار شته نسبت به شرایط مورد انتظار را نشان می دهد. این تفاوت‌ها در سطح تعادل جمعیت بین پایه‌های امید بخش سیب مورد مطالعه بیانگر تأثیر مقاومت ژنتیکی و فیزیولوژیکی در کنترل رشد جمعیت شته‌هاست. پایه‌های مقاوم توانستند سطح تعادل جمعیت را در حد پایینی نگه دارند و از استقرار و رشد جمعیت شته‌ها جلوگیری کنند. در حالی که پایه‌های حساس به دلیل



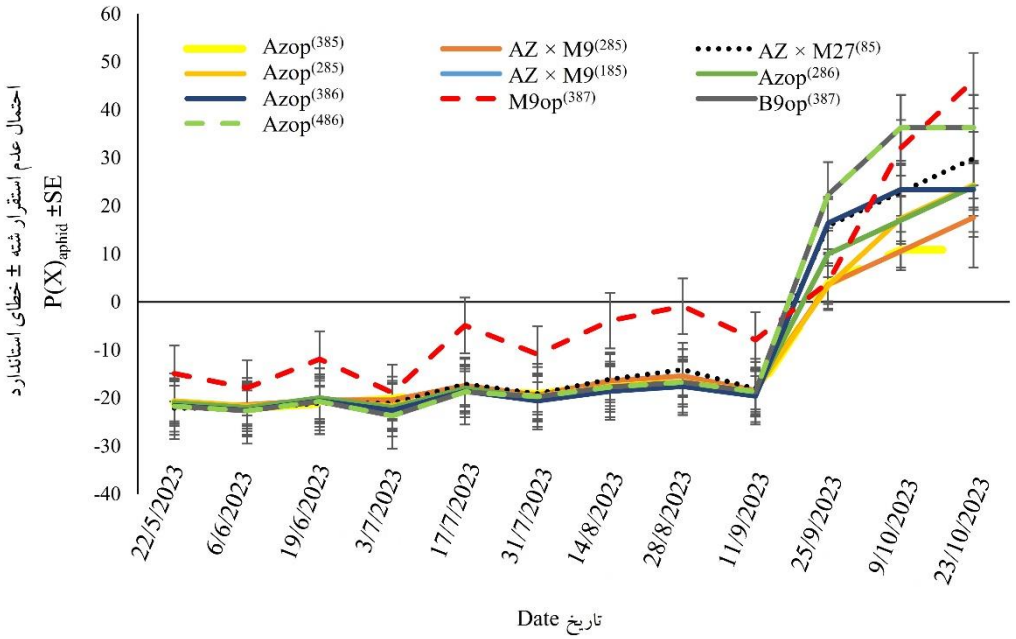
شکل ۲- تغییرات فصلی و سطح تعادل جمعیت شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در پایه‌های امیدبخش سیب در شرایط تغذیه اجباری، شامل تغییرات و پایداری جمعیت در طول فصل رشد

Fig. 2. Seasonal changes and the equilibrium level of the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] population on promising apple rootstocks under forced feeding conditions, including population chnages and stability throughout the growing season

فقدان این ویژگی‌ها، بستر مناسبی برای افزایش جمعیت شته‌ها فراهم کردند (Dardeau *et al.*, 2015). از نظر فصلی، بیشترین تغییرات جمعیت در اواخر بهار و اوایل تابستان مشاهده شد، که ممکن است به دلیل شرایط مساعد محیطی برای شته‌ها در این بازه زمانی بود.

بررسی احتمال استقرار شته مومی روی پایه‌های امیدبخش سیب

احتمال عدم استقرار و انحراف از تعادل جمعیت شته مومی در طول دوره نمونه‌برداری بر روی ده پایه امیدبخش سیب مطالعه در شکل ۳ درج شده است. احتمال استقرار در پنج ماه اول در کلیه پایه‌های سیب مورد مطالعه منفی بود. در نیمه دوم شهریور احتمال استقرار مثبت شد. با افزایش فاصله زمان تلقیح شته مومی احتمال استقرار شته مومی روی پایه سیب افزایش یافت. بالاترین و پایین‌ترین احتمال استقرار به ترتیب در پایه‌های امیدبخش $M9op^{(387)}$ و $Azop^{(385)}$ ثبت شد.



شکل ۳- تغییرات فصلی احتمال عدم استقرار شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] روی پایه‌های امیدبخش سیب، بر اساس احتمال قرار گرفتن کلنی شته مومی زیر سطح تعادل ($P(X)_{aphid}$) در طول فصل رشد

Fig. 3. Seasonal changes in the probability of the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] failure to establish promising apple rootstocks, based on the probability of colonies falling below the equilibrium level ($P(X)_{aphid}$) throughout the season

در شکل ۳ احتمال قرار گرفتن تراکم کلنی‌های شته زیر خط تعادل قرار گرفته‌اند ($P(X)_{aphid}$ < تعادل) یا به عبارت دیگر احتمال عدم استقرار آنها ارائه داده شده است و نشان‌دهنده توانایی پایه‌های امید بخش سیب در بازدارندگی اولیه در مقابل حمله شته مومی سیب

بود. نتایج حاکی از آن است که پایه‌های مقاوم مانند M9op(387) و Azop(385) دارای بالاترین احتمال عدم استقرار کلنی‌ها در تمام طول فصل رشد بودند (شکل ۳). در این پایه‌ها در اوایل فصل، احتمال عدم استقراردر این پایه‌ها بیش از ۸۰ درصد بود که نشان‌دهنده مقاومت بالای آن ها در برابر حمله اولیه شته‌ها بود.

در مقابل، پایه‌های نیمه‌مقاوم مانند Azop(285) دارای احتمال متوسطی برای عدم استقرار کلنی‌ها شته بودند. این پایه‌ها توانستند در طول فصل مقاومت نسبی نشان دهند، اما در دوره‌های اوج رشد شته (میانه تابستان)، احتمال استقرار کلنی‌های شته در آن‌ها افزایش یافت (شکل ۳). این رفتار نشان می‌دهد که پایه‌های نیمه‌مقاوم در مقابله با فشارهای جمعیتی بالا به سازکارهای دفاعی تکمیلی نیاز دارند. از سوی دیگر، پایه‌های حساس مانند Azop(386) نشان دادند که از پایین‌ترین احتمال عدم استقرار شته‌ها بر خوردار بودند، به‌طوری‌که کلنی‌های شته توانستند به سرعت در این پایه‌ها مستقر شوند. در این پایه‌ها، احتمال قرار گرفتن زیر خط تعادل به ندرت از ۳۰ درصد فراتر رفت، و حتی در اواخر فصل به نزدیک صفر رسید(شکل ۳). این رفتار نشان‌دهنده عدم وجود توانایی بازدارندگی در مقابل حمله شته در این پایه‌ها بود، که شرایط مساعدی برای تغذیه و تولیدمثل شته‌ها فراهم کرد.

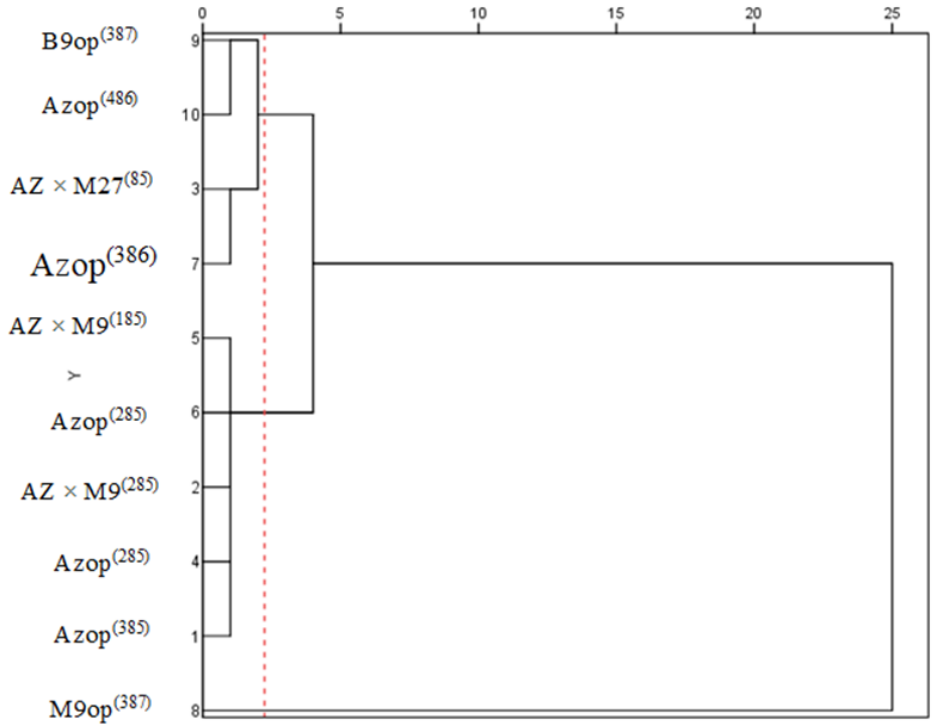
گروه‌بندی پایه‌های امیدبخش سیب بر اساس میزان مقاومت به شته مومی

نمودار دندروگرام خوشه‌بندی پایه‌های امیدبخش سیب موردمطالعه بر اساس شاخص‌های مؤثر بر نوع سازکار مقاومت محاسبه شده در شکل ۴ نشان‌داده‌شده است.

در گروه‌بندی پایه های امید بخش سیب، سه گروه متمایز بدست آمد (شکل ۴). میزان ضریب همبستگی کوفنیتیک بین ماتریس فاصله اقلیدسی و ماتریس خروجی حاصل از دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای برابر با ۰/۹۹ بود که نشان دهنده گروه‌بندی قابل قبول پایه های امید بخش سیب از نظر شاخص‌های مقاومت به شته مومی سیب بود. ارقام مربوط به هر کلاستر در جدول ۲ آورده شده است.

درگروه یک، تعداد چهار پایه امیدبخش سیب B9op(87)، AZ × M27(85)، Azop(486) و Azop(386) قرار داشتند. این پایه‌ها از نظر میزان مقاومت در شرایط تغذیه اجباری شته مومی سیب پایین‌ترین رتبه را داشتند و بنابراین حساس‌ترین پایه‌ها نسبت به شته مومی بودند (جدول ۲). میانگین شاخص‌های سرعت تغییرات فصلی جمعیت، سرعت تغییرات جمعیت ، سطح تعادل جمعیت و احتمال استقرار شته به ترتیب به ترتیب ۱۵۵/۱۴، ۱۲/۹۳، ۲۶/۲۷ و ۸/۱۶- بود (جدول ۲). مقاوم‌ترین پایه به شته مومی M9op(387) در گروه دوم قرار گرفت. شاخص‌های نرخ تغییرات فصلی جمعیت، سرعت تغییرات جمعیت، سطح تعادل جمعیت و احتمال استقرار شته به ۲۲۵/۲۹، ۲۱/۲۷، ۲۸/۸۸ و ۰/۸۰- بود (جدول ۲).

مقایسه دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از تجزیه تابع تشخیص خطی فیشر حاکی از آن بود که معیار وارد (Ward) توانست پایه‌های امیدبخش سیب را با احتمال صحت ۹۸/۳ درصد گروه‌بندی کند و تفاوت بین پایه‌ها را نشان دهد. نتایج تجزیه عاملی و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که صفات مورد بررسی از لحاظ محاسباتی به یکدیگر وابستگی بالایی داشتند. این وابستگی منجر به ایجاد ساختاری مناسب و معنی دار در روش خوشه‌بندی استفاده شده و به‌طور مؤثری پایه‌های امیدبخش سیب مورد بررسی را بر اساس میزان مقاومت به شته مومی سیب گروه بندی کرد (شکل ۴). ضریب کوفینیتیک محاسبه‌شده برای تجزیه خوشه‌ای نزدیک به ۱۰۰ بود که نشان‌دهنده دقت بسیار بالا در تطابق داده‌های خوشه‌ای با ساختار واقعی آن‌ها بود. این مقدار بالا بیانگر آن بود که داده‌های مورد استفاده و انتخاب صفات به‌خوبی



شکل ۴- گروه‌بندی پایه‌های امیدبخش سیب بر اساس میزان مقاومت به شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در شرایط تغذیه اجباری، با استفاده از شاخص‌های مربوط به مقاومت و پایداری جمعیت آفت

Fig. 4. Dendrogram of promising apple rootstocks based on resistance levels to the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under forced feeding conditions, using indices related to resistance levels and pest population stability

جدول ۲- گروه‌بندی پایه‌های امیدبخش سیب بر اساس میزان مقاومت نسبت به شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در شرایط تغذیه اجباری

Table 2. Grouping of promising apple rootstocks based on resistance response to the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under forced feeding conditions

رتبه Rank	پایه Rootstock	شاخص Index	میانگین Mean	انحراف معیار Sandard deviation	تعداد معتبر در فهرست Valid number (listwise) غیر وزنی Unweighted	وزنی Weighted
1.	$Azop^{(486)}$	λ_A	155.14	15.73	4.00	4.00
	$AZ \times M27^{(85)}$	U_a	12.93	1.31	4.00	4.00
	$B9op^{(87)}$	N*	26.27	0.54	4.00	4.00
	$Azop^{(386)}$	$P(x)_{aphid}$	-8.16	1.34	4.00	4.00
2.	$AZ \times M9^{(185)}$	λ_A	112.94	7.90	5.00	5.00
	$Azop^{(285)}$	U_a	9.41	0.66	5.00	5.00
	$Azop^{(286)}$	N*	24.62	0.37	5.00	5.00
	$AZ \times M9^{(285)}$ $Azop^{(385)}$	$P(x)_{aphid}$	-11.16	0.82	5.00	5.00
3.	$M9op^{(387)}$		255.29	.a	1.00	1.00	255.29
			21.27	.a	1.00	1.00	21.27
			28.88	.a	1.00	1.00	28.88
			-0.80	.a	1.00	1.00	-0.80

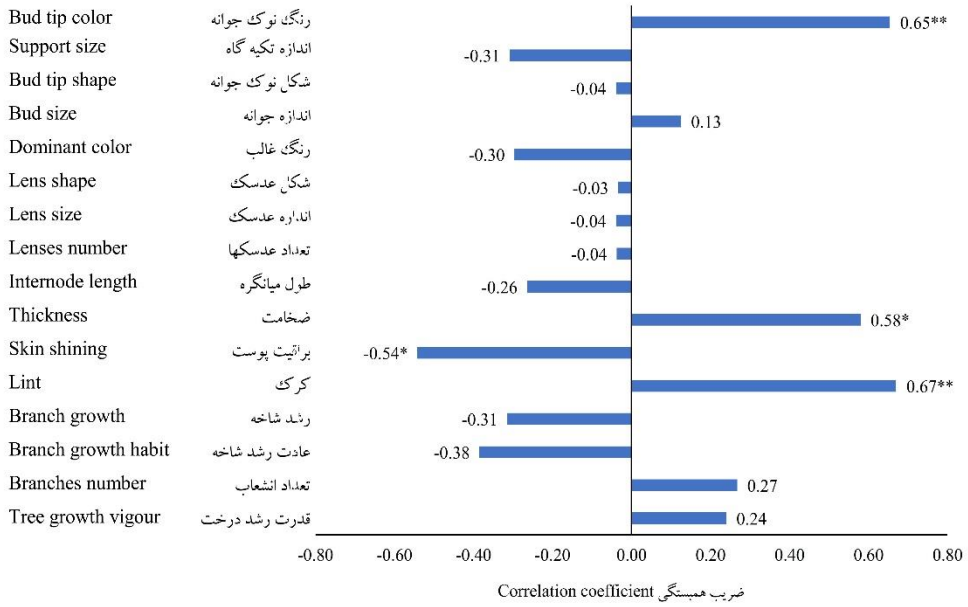
a.: Insufficient data. a.: ناکافی بودن داده ها.

λ_A، U_a ، *M، *N و $P(x)_{aphid}$ به ترتیب نشان دهنده شاخص‌های میانگین سرعت تغییرات فصلی جمعیت، سرعت تغییرات جمعیت ، سطح تعادل جمعیت و احتمال عدم استقرار شته می‌باشند.

توانسته‌اند تفاوت‌های موجود در پایه‌ها را بر اساس مقاومت و ویژگی‌های مورفولوژیکی بازتاب دهند. این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از تجزیه خوشه‌ای روشی کارآمد و علمی برای گروه بندی پایه‌های امید بخش سیب مقاوم و حساس به شته مومی سیب بود.

اثر صفات مختلف پایه‌های امیدبخش سیب در بروز مقاومت به شته مومی

ارتباط بین صفات رشدی و شکل شناسی پایه‌های امیدبخش سیب موردمطالعه با بروز مقاومت به شته مومی در شرایط تغذیه اجباری نیز مطالعه شد. تأثیر صفات مختلف بر میزان مقاومت از طریق تجزیه‌وتحلیل رابطه همبستگی و محاسبه ضریب همبستگی کندال (Kendal) بود که نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده است. در میان صفات مورد بررسی رنگ نوک جوانه، ضخامت و کرک دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار و براقی پوست دارای همبستگی منفی معنی‌دار با مقاومت نسبت به شته مومی بودند (شکل ۵). بنابراین این صفات در بروز مقاومت در پایه‌های امیدبخش سیب بیشتر مؤثر بودند.



شکل ۵- ضرایب همبستگی بین صفات شکل‌شناسی پایه‌های امیدبخش سیب و شاخص‌های مقاومت به شته مومی سیب [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] در شرایط تغذیه اجباری. *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

Fig. 6. Correlation coefficients between morphological traits of promising apple rootstocks with resistance indices to the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under forced feeding conditions. * and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

نتایج بیانگر این بود که بین برخی صفات شکل شناسی و شاخص‌های مقاومت رابطه معنی دار وجود داشت (شکل ۵). به‌عنوان مثال، ضریب همبستگی بین تراکم پرزهای برگ و میزان مقاومت به شته مومی سیب مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، که نشان می‌دهد این صفت می‌تواند مانعی فیزیکی برای تغذیه و تخم‌گذاری شته ایجاد کند. ضخامت کوتیکول نیز با میزان مقاومت همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشت و نقش آن در کاهش نفوذ آفت به بافت‌های گیاه است. در مقابل، صفاتی مانند براقی بودن سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان مقاومت داشتند، به‌طوری‌که این ویژگی‌ها می‌توانند شرایط مساعدتری برای استقرار و افزایش جمعیت شته فراهم کنند. این نتایج نشان می‌دهد که صفات شکل شناسی مختلف اثر مثبت یا منفی بر میزان مقاومت پایه‌های سیب داشتند و شناسایی دقیق آنها می‌تواند در انتخاب و اصلاح پایه‌های مقاوم برای مدیریت شته مومی

سیب مؤثر باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پایه‌های امیدبخش سیب از نظر میزان مقاومت به شته مومی تفاوت‌های قابل‌توجهی داشتند. مثلا: پایه‌های M9op(385) و Azop(385) مقاومت بیشتری نسبت به شته مومی نشان دادند. این امر با اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند نرخ رشد فصلی جمعیت شته، احتمال استقرار و سطح تعادل جمعیت تأیید شد. در این زمینه، تحقیقاتی که در مورد سایر پایه‌ها مانند Geneva-41 و Geneva-935 انجام شده، نشان داده است که این پایه‌ها نیز دارای مقاومت در برابر شته مومی بودند که ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی و ساختاری این پایه‌ها است (Fazio *et al.*, 2015). صفات شکل شناسی پایه های امید بخش سیب بر میزان مقاومت آنها به شته مومی سیب تاثیر داشتند.

رنگ جوانه‌ها، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های ظاهری، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار جستجوی شته‌ها داشتند، زیرا آفات معمولاً به سمت رنگ‌های خاصی جذب می‌شوند. تراکم پرزها نیز از عوامل مهم در سازکار آنتی‌زنوز بود و پایه‌هایی با تراکم پرز بیشتر، مانع از استقرار اولیه و تغذیه شته‌ها شدند (van Emden and Harrington, 2017). علاوه بر این، ضخامت برگ‌ها و ترکیبات سطحی آن‌ها، مانند موم یا مواد شیمیایی خاص، به‌طور مستقیم سازکار آنتی‌بیوز را تقویت کرد و رشد و تولیدمثل شته‌ها را کاهش داد (Pedigo and Rice, 2006).

پایه‌های مقاوم مورد بررسی در این مطالعه، نظیر پایه M9op(385)، دارای این ویژگی‌ها هستند، که جمعیت شته روی آنها در مقایسه با پایه‌های حساس با کاهش ۵۰-۶۰ درصدی همراه بود. در برنامه‌های به نژادی، شناسایی و ارزیابی دقیق این صفات شکل شناسی می‌تواند به انتخاب پایه‌هایی منجر شود که علاوه بر مقاومت بالا به شته مومی سیب، از پایداری عملکرد و سازگاری مطلوبی در شرایط مختلف اقلیمی داشته باشند (Reynolds and Jones, 2001).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پایه‌های مقاوم مانند M9op(385) و Azop(385) دارای کمترین سرعت رشد جمعیت شته بودند. سرعت رشد جمعیت شته برای پایه امیدبخش M9op(385) حدود ۱۶۱/۸۱ بود، در حالی که برای پایه‌های حساس‌تر مانند B9op(87) به ۲۵۵/۲۹ رسید. این تفاوت قابل توجه، نشان‌دهنده نقش مهم سازکارهای آنتی‌بیوز (کاهش زنده‌مانی و باروری شته‌ها) در پایه‌های مقاوم بود. همچنین سطح تعادل جمعیت شته‌ها در پایه‌های مقاوم به طور قابل توجهی دارای سطح تعادل پایین‌تری نسبت به پایه‌های حساس‌تر بودند. به عنوان مثال، سطح تعادل جمعیت شته در پایه M9op(385) به ۲۶/۵۰ و در پایه Azop(385) به ۲۷/۸۸ رسید، در حالی برای پایه B9op(87) حدود ۲۸/۸۸ بود.

سایر پژوهشگران نمیز گزارش کرده اندکه پایه‌های مقاوم می‌توانند نرخ رشد جمعیت شته‌ها را به میزان ۵۰ تا ۶۰ درصد کاهش دهند. این امر

نشان‌دهنده کارایی پایدارسازکارهای مقاومت ژنتیکی در کاهش جمعیت آفت بود (Sandanayaka *et al*., 2005). یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج این پژوهشگران همخوانی داشت که در آن نرخ رشد جمعیت شته‌ها در پایه‌های مقاوم مانند M9op[(387)] حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کمتر از پایه‌های حساس‌تر مانند B9op[(87)] بود. همچنین در مطالعه مشابه دیگری مشخص شد که استفاده از پایه‌های مقاوم مانند Northern Spy کاهش جمعیت شته مومی تا ۵۰ درصد شد (Nicholas *et al*., 2005). در این پژوهش حاضزر نیز مشخص شد که پایه‌های مقاوم M9op3 و Azop3-85 توانستند سرعت رشد و جمعیت شته‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند.

پایین‌تر بودن سطح تعادل جمعیت در پایه‌های مقاوم نشان می‌دهد که شته‌ها در این پایه‌ها به دلیل شرایط نامناسب بقا، نمی‌توانند جمعیت خود را به حد بحرانی برسانند. پایه‌های مقاوم با پایین‌تر نگه‌داشتن سطح تعادل جمعیت شته‌ها، شرایط مناسبی برای رشد و استقرار شته فراهم نمی‌کنند. این سطح تعادل در پایه‌های مقاوم به طور میانگین ۱۰ درصد پایین‌تر از پایه‌های حساس‌تر بود که تأثیر قابل‌توجهی در کنترل آفت داشت. در طول دوره رشد، احتمال استقرار شته‌ها در پایه‌های مقاوم مانند M9op[(387)] و Azop[(385)] به طور قابل‌توجهی کمتر از پایه‌های حساس‌تر بود. احتمال عدم استقرار شته در پایه‌های مقاوم حدود ۷/۵۸- و در پایه‌های حساس‌تر مانند B9op[(87)] حدود ۰/۰۸- بود (شکل ۲).

در تحلیل‌های آماری، مقادیر احتمال عدم استقرار معمولاً نسبت به یک مبنا (Baseline) سنجیده شد. مقادیر زیر خط حد تعادل به معنای کاهش استقرار نسبت به شرایط استاندارد یا مورد انتظار بود. در مدل‌های احتمالاتی، مقادیر زیر حد تعادل ممکن است نشان‌دهنده‌ی پراکندگی‌های پایین یا کاهش میانگین احتمال باشند. این می‌تواند ناشی از تغییرات (Variance) طبیعی داده‌ها یا وجود آثار بازدارنده باشد. این مقادیر به‌صورت نسبی یا مقایسه‌ای بررسی شدند و تفسیر آنها نشان داد که پایه های مقاوم توانسته شرایط را برای شته نامساعد کنند (Travis *et al*., 1999). این تفاوت نشان‌دهنده این بود که پایه‌های مقاوم توانایی بیشتری در جلوگیری از استقرار اولیه شته‌ها دارند که به سازکارهای آنتی‌زنوز (عدم جاذبه برای شته) مربوط می شود (Latifian *et al*., 2023b).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، پایه‌های سیب مقاوم دارای ویژگی‌های ساختاری و فیزیولوژیکی بودند که شته‌ها را از تغذیه و استقرار بر روی این پایه‌ها بازمی‌دارد. سازکار آنتی‌زنوز باعث کاهش جاذبه پایه برای شته می‌شود و سازکار آنتی‌بیوز که با کاهش زنده‌مانی و تولیدمثل شته‌ها همراه است، نقش مهمی در مقاومت پایه‌های مقاوم ایفا می‌کند (Latifian *et al*., 2023a; Latifian *et*

(Latifian *et al.*, 2023b). به‌عنوان‌مثال، پایه‌های مقاوم M9op[387] و Azop[385] به دلیل دارابودن این سازکار ها قادر به کاهش جمعیت شته‌ها به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد در مقایسه با پایه‌های حساس‌تر بودند.

در بررسی‌های انجام شده، مشاهده شد که پایه‌های مقاوم دارای ساختار پوست مقاوم‌تر و ضخیم‌تر هستند که از نفوذ و استقرار شته جلوگیری می‌کرد. همچنین، حضور موم و تراکم بالای کرک‌ها در برخی پایه‌ها مانند M9op[387]، باعث کاهش امکان دسترسی شته‌ها به شیره گیاه می‌شد که این امر به طور مستقیم در کاهش نرخ رشد و استقرار شته تأثیرگذار بود. پایه‌هایی مانند M9op[387] و Azop[385] نیز کمترین سرعت تغییرات جمعیت شته را نشان دادند که به دلیل سازکارهای مقاومتی قوی آنها در برابر شته مومی سیب بود. به طور مثال، تغییرات جمعیت شته در طول فصل برای پایه M9op[387] حدود ۱۳/۴۸و برای B9op[87] حدود ۲۱/۲۷ بود. این نشان داد که پایه‌های مقاوم در کنترل جمعیت شته موفق تر عمل کردند (جدول ۳).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پایه‌های مقاوم مانند M9op[387] و Azop[385] دارای مقاومت ترکیبی هستند که از دو سازکار اصلی آنتی‌زنوز و آنتی‌بیوز پیروی می‌کند (Latifian *et al.*, 2023b). به لحاظ سازکار مقاومت آنتی‌زنوز در این پایه‌ها، ویژگی‌هایی مانند تراکم بالای پرزهای برگ و سطح مومی برگ‌ها باعث کاهش جاذبه گیاه برای شته‌ها شد، به‌طوری‌که استقرار اولیه شته‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (van Emden and Harrington, 2017; Latifian *et al.*, 2023a). به لحاظ سازکار مقاومت آنتی‌بیوز، نتایج سرعت رشد جمعیت شته‌ها و کاهش زنده‌مانی آن‌ها بر روی این پایه‌ها نشان‌دهنده تأثیر ترکیبات شیمیایی در کاهش بقا و تولیدمثل شته‌ها بود. در مقابل، پایه‌های حساس‌تر مانند Azop[486]، به دلیل فقدان این ویژگی‌های دفاعی، نرخ بالاتری از رشد جمعیت شته‌ها و استقرار اولیه نشان دادند. این نتایج نشان داد که مقاومت در پایه‌های سیب مقاوم در این پژوهش عمدتاً از نوع ترکیبی آنتی‌زنوز و آنتی‌بیوز است، که می‌تواند در شرایط مختلف اقلیمی و زیستی مؤثر عمل کند.

توصیف الگوهای رفتاری شته مومی در شرایط تغذیه اجباری که آتوگرام نامیده می‌شود (Kloth *et al.*, 2012)، توصیفی گذرا و ساده از رفتار آفت بوده و ممکن است اطلاعات کافی برای الگوهای مختلف رفتاری آفت دررابطه با پایه‌های سیب مورد مطالعه ارائه نکند. در عوض، آتوگرام، روشی برای کمی‌سازی رفتاری آفت و فهرستی از تمام رفتارهای شناخته شده یک آفت (که کاتالوگ رفتاری نامیده می‌شود) را در اختیار قرار می‌دهد. در قسمت مطالعات جمعیت‌شناسی آفت این رفتارهای جمعیتی موردبحث قرار گرفت. پیچیدگی رفتار جمعیت شته مومی در ارتباط با پایه‌های امیدبخش سیب مورد مطالعه طبقه‌بندی مقاومت را بر اساس

شاخص‌های جمعیت‌شناختی شامل متوسط شاخص‌های نرخ تغییرات فصلی جمعیت، سرعت تغییرات جمعیت، سطح تعادل جمعیت و احتمال استقرار شته ضروری می‌کند، تا بتوان درکی از فعالیت‌های گیاهخواری آن به دست آورده و بتوان بر اساس تلفیق برخی از رفتارهای جمعیت شته مرتبط با سازکارهای مقاومت پایه‌های سیب مقاوم را انتخاب کرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از پایه‌های امید بخش سیب مقاوم به شته مومی سیب مانند $M9op^{(387)}$ و $Azop^{(385)}$ می‌تواند نقش موثری در کاهش خسارت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی این آفت داشته باشد. پایه‌های اید بخش سیب مقاوم به شته مومی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند. همچنین این پایه‌ها به دلیل مقاومت بالا به آفت می‌توانند به‌عنوان راهکاری پایدار در مدیریت تلفیقی آفت شته مومی مورد استفاده قرار گیرند. باتوجه‌به یافته‌های پژوهش حاضر، پیشنهاد می شودکه پژوهش‌های بیشتری روی سازکارهای ژنتیکی و مولکولی مقاومت به شته مومی در پایه‌های سیب مقاوم انجام شود. بررسی‌هایی در زمینه آثار محیطی و اقلیمی بر مقاومت پایه‌های امید بخش سیب انجام شود تا مناسب‌ترین پایه‌ها برای شرایط مختلف اقلیمی شناسایی شوند. همچنین روش‌های کنترل تلفیقی با استفاده از پایه‌های امیدبخش سیب مقاوم مورد ارزیابی قرار گیرد تا کارایی و پایداری بلندمدت این راهکارها سنجیده شود.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین‌وسیله از پشتیبانی و مساعدت مدیریت محترم پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری و کارکنان ایستگاه تحقیقات باغبانی کمال شهر برای مساعدت در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. همچنین ازکارکنان، کارشناسان آزمایشگاه و اعضای هیأت علمی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری که در اجرای این پژوهش و تدوین این نوشتار مساعدت و همفکری کردند، تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌کنند با دیگران تعارض منافعی ندارند.

References

Adhikari, U. 2022. Distribution, biology, nature of damage and management of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Aphididae) in apple orchard: a review. *Reviews in Food and Agriculture*, *3*(2), pp.92-99. DOI: 10.26480/rfna.02.2022.92.99

Bus, V. G. M., Chagné, D., Bassett, H. C. M., Bowatte, D., Calenge, F., Celton, J. M., Durel, C. E., Malone, M. T., Patocchi, A., Ranatunga, A. C. and Rikkerink, E. H. A. 2008. Genome mapping of three major resistance genes to woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Tree Genetics & Genomes, 4*, pp.223-236. DOI: 10.1007/s11295-007-0103-3

Cummins, J. N. and Aldwinckle, H. S. 1983. Breeding apple rootstocks. *Plant Breeding Reviews, 1*, pp.294-394. DOI: 10.1002/9781118060988

Dahms, R. G. 1972. Techniques in the evaluation and development of host-plant resistance. *Journal of Environmental Quality*, *1*(3), pp.254-259. DOI: 10.2134/jeq1972.00472425000100030010x

Dampc, J., Mołoń, M., Durak, T. and Durak, R. 2021. Changes in aphid—plant interactions under increased temperature. *Biology*, *10*(6), 480. DOI: 10.3390/biology10060480

Dardeau, F., Berthier, A., Feinard-Duranceau, M., Brignolas, F., Laurans, F., Lieutier, F. and Sallé, A. 2015. Tree genotype modulates the effects of water deficit on a plant-manipulating aphid. *Forest Ecology and Management*, *353*, pp.118-125. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.05.037

Entwistle, J. C. and Dixon, A. F. G. 1987. Short-term forecasting of wheat yield loss caused by the grain aphid (*Sitobion avenae*) in summer. *Annals of Applied Biology*, *111*(3), pp.489-508. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1987.tb02007.x

Fazio, G., Aldwinckle, H. and Robinson, T. 2013. Unique characteristics of Geneva® apple rootstocks. *New York State Fruit Quarterly 1*(2), pp.25-28.

Fazio, G., Robinson, T. L. and Aldwinckle, H. S. 2015. The Geneva apple rootstock breeding program. *Plant Breeding Reviews*, *39*, pp.379-424. DOI: 10.1002/9781119107743.ch8

Fischer, M. 1996. The Pillnitz apple rootstock breeding methods and selection results. In VI International Symposium on Integrated Canopy, Rootstock, *Environmental Physiology in Orchard Systems, 451*, pp. 89-98. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.451.6

Frades, I. and Matthiesen, R. 2010. Overview on techniques in cluster analysis. *Bioinformatics Methods in Clinical Research*, 593, pp.81-107. DOI: 10.1007/978-1-60327-194-3_5

Fraley, C. and Raftery, A. E. 2002. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. *Journal of the American Statistical Association, 97*(458), pp.611-

631. DOI: 10.1198/016214502760047131

Gogtay, N. J. and Thatte, U. M. 2017. Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India, 65*(3), pp.78-81. DOI: 412353eaa6232e4fb9241ed0275945ccdd6da9a9

Kamusiime, E., Nantongo, J. S. and Wacal, C. 2023. Insect pests in apple (*Malus domestic* Borkh) gardens. *GSC Advanced Research and Reviews, 15*(1), pp.030-053. DOI: 10.30574/gscarr.2023.15.1.0109

Khan, A. and Korban, S. S. 2022. Breeding and genetics of disease resistance in temperate fruit trees: challenges and new opportunities. *Theoretical and Applied Genetics, 135*(11), pp.3961-3985. DOI: 10.1007/s00122-022-04093-0.

Latifian, M., Atashkar, D. and Ghaemi, R. 2023a. Relative establishment rate and host preference of wooly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann, 1802) (Hemiptera: Aphididae) on promising apple hybrid rootstocks. *Journal of Entomological Society of Iran, 43*(3), pp.233-245. DOI: 10.61186/JESI.43.3.4

Latifian, M., Atashkar, D., and Ghaemi, R. 2023b. Antibiosis resistance of promising apple rootstocks to woolly aphid [(*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] under environmental conditions of Karaj in Iran. *Seed and Plant Journal*, *39*(1), pp.120-93. DOI: 10.22092/spj.2023.363992.1331

Mason, R. L., Gunst, R. F. and Hess, J. L. 2003. Statistical design and analysis of experiments: with applications to engineering and science. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. 760 pp. DOI: 10.1002/0471458503.ch11

Miranda, C., Dapena, E., Urbina, V., Pereira-Lorenzo, S., Errea, P., Moreno, M. A., Urrestarazu, J., Fernandez, M., Ramos-Cabrer, A. M., Diaz-Hernandez, M. B. and Pina, A. 2015. Development of a standardized methodology for phenotypical characterizations in apples. In: *XIV EUCARPIA Symposium on Fruit Breeding and Genetics, 1172*, pp.367-370. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1172.69

Nalam, V., Louis, J. and Shah, J. 2019. Plant defense against aphids, the pest extraordinaire. *Plant Science, 279*, pp.96-107. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.04.027

Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N. and Vickers, R. A. 2005. Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl, 50*, pp.271-291. DOI: 10.1007/s10526-004-0334-2

Obrycki, J. J., Krafsur, E. S., Bogran, C. E., Gomez, L. E. and Cave, R. E. 2001. Comparative studies of three populations of the lady beetle predator *Hippodamia*

convergens (Coleoptera: Coccinellidae). *Florida Entomologist*, *84*(1), pp.55-62. DOI: 10.2307/3496663

Pedigo, L. P. and Rice, M. E. 2006. Entomology and pest management. 6th edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education. Technology & Engineering. 784 pp.

Russo, N. L., Robinson, T. L., Fazio, G. and Aldwinckle, H. S. 2007. Field evaluation of 64 apple rootstocks for orchard performance and fire blight resistance. *HortScience*, *42*(7), pp.1517-1525. DOI: 10.21273/HORTSCI.42.7.1517

Sandanayaka, W. R. M., Bus, V. G. M. and Connolly, P. 2005. Mechanisms of woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] resistance in apple. *Journal of Applied Entomology*, *129*(9-10), pp.534-541. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.01004.x

Travis, J. M., Murrell, D. J. and Dytham, C. 1999. The evolution of density–dependent dispersal. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *266*(1431), pp.1837-1842. DOI: 10.1098/rspb.1999.0854

van Emden, H. F. and Harrington, R. 2017. Aphids as crop pests. 2nd edition. Wallingford: CABI. 686 pp. DOI: 10.1079/9781780647098.0000

RESEARCH ARTICLE

Resistance of Promising Apple Rootstocks to the Woolly Aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under Forced Feeding Conditions

M. Latifian[1*] and D. Atashkar[2]

1. Professor, Temperate Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Temperate Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Latifian, M. and Atashkar, D. 2024. Resistance of promising apple rootstocks to the woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] under forced feeding conditions**.** *Seed and Plant, 40,* pp.47-72 (in Persian).

This study aimed to evaluate the resistance of 10 apple rootstocks to the woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)] during 2022 and 2023 growing seasons. This research examined the population growth rate, population equilibrium level, and the likelihood of aphid establishment on 10 apple rootstocks during the growing season. The results showed that M9op$^{(387)}$ rootstock, due to its antixenosis (prevention of aphid establishment) and antibiosis (reduced survival and fertility of aphids) mechanisms, was able to reduce the aphid population by up to 60%. Additionally, the probability of aphid establishment on resistant rootstocks was about 20 to 30% lower than on more susceptible rootstocks like B9op$^{(87)}$. Morphological characteristics, such as lint density and bark thickness, were identified as factors influencing the rootstock's resistance. The findings of this research have great potential for being used in breeding programs for development and selection of resistant apple rootstocks to the wooly apple aphid adapted to different climatic conditions.

Keywords: Apple rootstock, susceptible, population indices, morphological characteristics, biological stability, control.

Introduction

The woolly apple aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmman)], a globally important pest, imposese significant challenges to apple fruit production. Published researches has indicated that infestations can reduce apple yields by 10 to 30 percent, depending on environmental and varietal susceptibility (Adhikari, 2022; Kamusiime *et al*., 2023).

Chemical controls are widely applied but are costly, cause pesticide resistance, and impose environmental concerns and challenges. Biological control, although effective, are rather slow and have limitations in it immediate effectiveness. Choosing rootstocks resistant to the woolly apple aphid is one of the effective and sustainable approach to control this pest. Resistant rootstocks can prevent the growth and reproduction of aphids and help to reduce the attendant costs of chemical and biological controls.

Rootstocks resistant to the wooly apple aphid can reduce up to 50 to 70 percent of infestation by this pest. Using resistant rootstocks can reduce chemical control costs by 60% (Nicholas *et al*., 2005). An alternative, choosing sustainable approaches for managing the woolly apple aphids is using resistant rootstocks, as a component of integrated pest mangemnet (IPM) to control the pest. Certain rootstocks exhibit inherent resistance, minimizing aphid establishment and reproduction rates.

This study evaluated the resistance of promising apple rootstocks to the woolly apple aphids under controlled forced-feeding conditions to identify traits associated with resistance mechanisms, and providing insights for improvement of pest management and control through apple breeding programs.

Materials and Methods

This experiment was carried out in 2022 and 2023 growing seasons. Ten apple rootstocks including; Azop$^{(385)}$, Azop$^{(386)}$, AZ × M9$^{(285)}$, AZ × M27$^{(85)}$, Azop$^{(285)}$, Azop$^{(286)}$, M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$, AZ × M9$^{(185)}$ and Azop$^{(486)}$ were studied . Each one-year-old hybrid rootstock was transplanted into containers filled with a sterilized soil mixture and grown under greenhouse conditions. The glasshouse environmental conditions were maintained at 25°C ± 5°C, 60% ± 10% relative humidity and 14:10 light-dark cycle. The rootstocks were infested, through three wounds created on the stem of each, with 15 adult woolly apple aphids collected from a local orchard.

Wooly apple aphid population metrics including; colony number, colony size, and gall formation were recorded weekly during growing season. Additionally, aphid colony

growth rate, population equilibrium and establishment probability levels were calculated. Vegetative traits of apple rootstock were studied using the national guidelines for apple D.U.S tests.

Data analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27.0, with resistance comparisons based on rates of aphid establishment, population stability and seasonal changes. For grouping of the rootstocks, based on the levle of resistance to the wooly apple aphid, cluster analysis method and the rootstocks that were similar in level of resistance were grouped in the same group.

Results and Discussion

The results indicated significant variability in resistance levels to the wooly apple aphid among the apple rootstocks. Rootstocks M9op$^{(387)}$ demonstrated the highest resistance level, by reducing population growth rates and lower aphid establishment probability in comparison with susceptible rootstocks such as B9op$^{(87)}$ and Azop$^{(486)}$. Specifically, the seasonal population growth rate for M9op$^{(387)}$ averaged 161.81 aphids, whereas B9op$^{(87)}$ had the rate of 255.29 aphids.

The population equilibrium of the woolly aphid colonies was lower in M9op$^{(387)}$ (26.5 colonies) in comparion with more susceptible Azop$^{(486)}$ (28.88 colonies). Morphological charateristics including; lint density and increased bark thickness in M9op$^{(387)}$ and Azop$^{(385)}$ contributed to their antixenotic resistance by deterring aphid colonization. Antibiosis mechanism, such as reduced aphid survival and reproduction, were also observed in the resistant rootstocks. These findings are in accordance with studies by Sandanayaka *et al*. (2020) and Nicholas *et al*. (2005) who reported reduced aphid colonization in resistant apple varieties with high lint density.

Antixenosis mechanism reduces the attraction of the rootstocks for aphids, and the mechanism of antibiosis, which is associated with the reduction of survival and reproduction rates of aphids, plays an important role in the resistance of resistant rootstocks. For example, the rootstocks M9op$^{(387)}$ and Azop$^{(385)}$ reduceed the population of aphids by 60 to 70 percent in comparison with more susceptible rootstocks. The findings of the present study support using resistant rootstocks in apple breeding programs, and encouraging the adoption and application of environmentally sustainable pest control strategies for different climatic conditions.

References

Adhikari, U. 2022. Distribution, biology, nature of damage and management of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Aphididae) in apple orchard: a review. *Reviews In Food and Agriculture*, *3*(2), pp.92-99. DOI: 10.26480/rfna.02.2022.92.99

Kamusiime, E., Nantongo, J. S. and Wacal, C. 2023. Insect pests in apple (*Malus domestic* Borkh) gardens. *GSC Advanced Research and Reviews*, *15*(1), pp.030-053. DOI: 10.30574/gscarr.2023.15.1.0109

Nicholas, A. H., Spooner-Hart, R. N. and Vickers, R. A. 2005. Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl*, *50*, pp.271-291. DOI: 10.1007/s10526-004-0334-2

Sandanayaka, W. R. M., Bus, V. G. M. and Connolly, P. 2005. Mechanisms of woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] resistance in apple. *Journal of Applied Entomology*, *129*(9-10), pp.534-541. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.01004.x

*Corresponding author: masoud_latifian@yahoo.com Tel.: +982636702541

Received: 05 March 2024
Accepted: 07 May 2024

2024© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.