مقاله کوتاه

اثر اسید جاسمونیک و قارچکش‌های مانکوزب، استروبی و بردوفیکس بر قارچ *Polystigma amygdalinum* عامل بیماری لکه آجری بادام در شرایط آزمایشگاه

محمدرضا ارژنگ[۱]، جلال غلام‌نژاد[۲]

۱، ۲–کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

مسئول مکاتبات: جلال غلام‌نژاد، ایمیل: jgholamnezhad@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲ ۱۲(۲) ۱۶۱–۱۶۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹

چکیده

بیماری لکه آجری بادام ناشی از قارچ *Polystigma amygdalinum* یکی از مهم‌ترین عوامل خسارت‌زای باغات بادام در ایران محسوب می‌شود. این مطالعه به منظور مقایسه اثربخشی تیمارهای شیمیایی و طبیعی در کنترل رشد این قارچ انجام شد. نمونه‌های آلوده از باغات شهرستان سامان جمع‌آوری و در محیط کشت PDA کشت داده شدند. چهار تیمار شامل اسید جاسمونیک (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ µM)، مانکوزب (۰/۵، ۱ و ۲ ppm)، استروبی (۰/۱، ۰/۵و ۱ ppm) و بردوفیکس (۰/۱٪) در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مانکوزب ppm ۲ با ۶۱/۷٪ مهار رشد در روز هفتم مؤثرترین تیمار بود، در حالی که استروبی ppm ۱ و بردوفیکس به ترتیب با ۵۸/۹٪ و ۵۵/۷٪ مهار رشد در رده‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج در روز ۲۱ نشان داد، که اسید جاسمونیک µM ۲۰۰ عملکرد افزایشی بر خلاف قارچکش‌ها از خود نشان داد. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۰/۰۵ نشان داد. مشاهدات میکروسکوپی تغییرات مورفولوژیکی واضحی در هیف‌های تحت تیمار را آشکار ساخت. نتایج این مطالعه نشان داد، که اگرچه قارچکش‌های شیمیایی (به ویژه مانکوزب) در کوتاه‌مدت کارایی بالاتری در مهار قارچ دارند، اما اسید جاسمونیک با ایجاد پاسخ‌های دفاعی پایدار در گیاه می‌تواند به عنوان گزینه‌ای امیدبخش در برنامه‌های مدیریت تلفیقی بیماری لکه آجری بادام مورد استفاده قرار گیرد. استفاده همزمان از این دو روش می‌تواند راهکاری مؤثر برای کنترل پایدار این بیماری باشد.

واژه‌های کلیدی: *Alternaria alternata*، بیماری لکه آجری بادام، اسید جاسمونیک، مانکوزب، مهار رشد قارچ

مقدمه

بیماری لکه آجری بادام به وسیلهٔ یک قارچ بیمارگر گیاهی از ردهٔ آسکومیست‌ها با نام علمی *Polystigma amygdalinum* به وجود می‌آید (Habibi *et al*., 2015). قارچ عامل بیماری لکه آجری بادام، که در برگ درختان آلو نیز علایم لکه آجری و یا لکه‌های قرمز رنگ ایجاد می‌کند به دو صورت جنسی و غیر جنسی تکثیر می‌شود (Ghaderi & Habibi., 2025)، در فرم جنسی قارچ عامل بیماری تولید آسکوکارپ‌هایی به نام پریتسیوم کرده، که داخل آسکوکارپ‌ها تولید آسک و آسکوسپور می‌کند (Zuniga Rodriguez, 2019). در فرم غیر جنسی قارچ عامل بیماری لکه آجری بادام تولید پیکنید و پیکنیدیوسپور می‌کند، که پیکنیدیوسپورها نخی‌شکل و نازک هستند، قارچ عامل این بیماری در نبود میزبان فرم زندگی ساپروفیتی نداشته و نمی‌توانند دوام بیاورد (Palacio–Bielsa *et al*., 2017). بیماری لکه آجری بادام تنها برای سپری کردن شرایط سخت زمستان تولید مثل جنسی می‌کنند و بنابراین این قارچ به صورت پریتس در برگ‌های آلوده ریخته کف باغ زمستان‌گذرانی می‌کنند (Zúñiga Rodríguez, 2019). پس از سپری‌کردن زمستان و در بهار با مساعد شدن شرایط آب و هوایی و به‌خصوص در شرایط باد و باران آسکوکارپ‌ها باز شده و آسکوسپورها در هوا آزاد می‌شوند (Palacio–Bielsa *et al*., 2017). آسکوسپورها با کمک باد و باران روی برگ درختان قرار گرفته و اولین آلودگی را ایجاد می‌کنند (Zúñiga *et al*., 2020). نکته‌ی مهم در مورد این بیماری این است، که بسته به شرایط آب و هوایی هر منطقه دورهٔ کمون خواهد داشت، پس از سپری‌شدن دورهٔ کمون قارچ عامل بیماری با تولید پیکنید و پیکنیدیوسپور آلودگی خود را در باغ توسعه خواهد داد (Pons-Solé *et al*., 2023).

برای کنترل این بیماری از قارچکش‌های مانند استروبی، مانکوزب، بردوفیکس و اکسی کلرو مس استفاده می‌شود (Amanifar, 2017)، در مورد معایب این ترکیبات می‌توان به مشکلات گیاه‌سوزی اشاره نمود. همچنین این ترکیبات، پایدار بوده و در چرخه‌های اکولوژیک خاک وارد می‌شوند. مصرف این ترکیبات باعث تجمع مس در خاک و منابع آبی می‌شود. از آن‌جایی که مس و ترکیبات مسی خاصیت باکتری‌کشی دارند، لذا اثرات بسیار مخربی بر میکروارگانیسم‌های خاک گذاشته و بدین ترتیب از فرآیند تجزیه مواد آلی در خاک جلوگیری می‌کند (Lamichhane *et al*., 2018). استفاده طولانی مدت نتوانسته نتیجه مطلوبی را در پی داشته باشد و در عین حال به نگرانی‌های بشر از خطرات ناشی از تماس کوتاه مدت و دراز مدت، شامل سرطان‌زایی، بیماری‌های سیستم عصبی، تنفسی و زادآوری توجه عموم و دولت‌مردان را به خود جلب نموده است. امروزه آلودگی محیط زیست به صورت یک مسئله جهانی در آمده است. سموم کشاورزی یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های آن به حساب می‌آید. وجود سموم شیمیایی در آب‌های زیرزمینی برای انسان بسیار خطرناک است (Eteeti & Eteeti., 2020). یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌ها، استفاده از ترکیبات القاگر به عنوان جایگزین سموم قارچکش است. استفاده از ترکیبات القاگر جایگزین مانند اسید جاسمونیک (Jasmonic acid) یک هورمون گیاهی است، که نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و رشدی در گیاهان دارد (Ghorbel *et al*., 2021). این هورمون به ویژه در پاسخ به تنش‌های محیطی و حملات آفات و بیماری‌ها نقش دارد (Wang *et al*., 2021). اسید جاسمونیک در فعال‌سازی ژن‌های دفاعی گیاه نقش دارد، که منجر به تولید پروتئین‌ها و متابولیت‌های ثانویه می‌شود، که گیاه را در برابر آفات و بیماری‌ها مقاوم می‌کنند (Raza *et al*., 2021). اسید جاسمونیک مسیرهای سیگنالینگ را فعال می‌کند، که منجر به تولید و تجمع ترکیبات ثانویه گیاهی می‌شود، این ترکیبات دارای خواص ضد میکروبی هستند و می‌توانند رشد عوامل بیماری‌زا را مهار کنند (Ruan *et al*., 2019). نمونه‌هایی از این ترکیبات می‌توان به فیتوالکسین‌ها که توسط گیاه در پاسخ به عفونت تولید می‌شوند (Siciliano *et al*., 2015)، پروتئین‌های مهارکننده پروتئاز و کیتیناز که می‌توانند به دیواره سلولی قارچ‌ها حمله کنند (Jain *et al*., 2017) و ترکیبات فنولی که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی هستند اشاره نمود

(Thiruvengadam *et al.*, 2016). اسید جاسمونیک می‌تواند منجر به افزایش ضخامت و استحکام دیواره سلولی گیاه شود و عبور عوامل بیماری‌زا را دشوارتر کند (Ruan *et al.*, 2019)؛ همچنین اسید جاسمونیک در فعال‌سازی SAR نقش دارد، که این امر موجب یک پاسخ دفاعی سیستمیک که در سراسر گیاه گسترش می‌یابد و مقاومت آن را در برابر عفونت‌های بعدی افزایش می‌دهد (Kamle *et al.*, 2020). در این پژوهش به بررسی اثر اسید جاسمونیک در مقایسه با ترکیبات قارچکش در کاهش بیماری لکه آجری بادام با عامل بیمارگر *P. amygdalinum* پرداخته شد، تا در نهایت تأثیر دو قارچکش مرسوم با یک ترکیب القاگر که به طور طبیعی در گیاه هم ساخته می‌شود، مورد مقایسه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مشخصات طرح و تیمارهای مورد آزمایش

این تحقیق در سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۳ در آزمایشگاه گیاه‌شناسی اردکان انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش بردوفیکس، مانکوزب و استروبی بود، که تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش از داروخانه گیاه‌پزشکی و کشاورزی در شهرستان سامان تهیه شد. اسید جاسمونیک مورد استفاده در این پژوهش محصول شرکت Sigma–Aldrich بود.

جمع‌آوری و شناسایی عامل بیماری لکه آجری بادام

در این مطالعه، نمونه‌های برگ آلوده به بیماری لکه آجری بادام از واقع در مناطق شهرستان سامان در فصل شیوع بیماری (بهار ۱۴۰۳) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در شرایط استریل به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشو با آب مقطر استریل، در محیط کشت PDA (حاوی ۲۰۰ گرم سیب‌زمینی، ۲۰ گرم دکستروز و ۱۵ گرم آگار در لیتر) کشت داده شدند. کلنی‌های خالص شده قارچ بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی (شکل و رنگ کلنی، ساختارهای تولیدمثلی) مورد بررسی قرار گرفتند. برای تأیید نهایی شناسایی، استخراج DNA با استفاده از کیت تجاری انجام و ناحیه ITS با پرایمرهای اختصاصی (ITS1′5–TCCGTAGGTGAACCTGCGG–′3) و (ITS4′5–TCCTCCGCTTATTGATATGC–′3) تکثیر شد. محصولات PCR پس از توالی‌یابی، با استفاده از ابزار BLAST در پایگاه داده NCBI مقایسه شدند.

آماده‌سازی تیمارهای آزمایشی

در این پژوهش چهار نوع تیمار مورد بررسی قرار گرفت، که شامل موارد زیر بودند:

۱-اسید جاسمونیک: از محصول شرکت Sigma–Aldrich با خلوص ≤۹۵٪ استفاده شد. محلول مادر با غلظت یک میلی‌مولار در متانول ۱۰٪ تهیه و سپس به غلظت‌های نهایی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرو مولار در محیط کشت رقیق شد.

۲-قارچکش مانکوزب: فرمولاسیون پودر وتابل ۸۰٪ از شرکت سینجنتا با غلظت‌های ۰.۵، ۱ و ۲ ppm

۳-قارچکش استروبی: حاوی ماده مؤثر کرسوکسیم–متیل ۵۰٪ WG با غلظت‌های ۰.۱، ۰.۵ و ۱ ppm

۴-بردوفیکس: مخلوطی از سولفات مس ($CuSO_4.5H_2O$)، هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) و آب به نسبت ۱٪

روش اجرای آزمایش

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار برای هر تیمار انجام شد. برای هر تکرار، پلیت‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر محیط کشت PDA آماده شدند. تیمارهای مختلف (شامل اسید جاسمونیک و قارکش های مختلف) به محیط کشت اضافه و همگن شدند؛ سپس پنج میکرولیتر از سوسپانسیون اسپور قارچ (تهیه شده از کشت ۱۴ روزه در PDA و تنظیم شده با هموسیتومتر به غلظت 10^5 اسپور بر میلی‌لیتر) در مرکز هر پلیت کشت داده شد. پلیت‌ها در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰٪ قرار داده شدند.

ارزیابی و اندازه‌گیری پارامترها

اندازه‌گیری قطر کلنی‌های قارچی در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ پس از کشت با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰.۱ میلی‌متر انجام شد. درصد مهار رشد (GI٪) با استفاده از

فرمول زیر محاسبه گردید؛ همچنین ویژگی‌های مورفولوژیکی کلنی‌ها (رنگ، تراکم، شکل لبه) روزانه ثبت شد.

GI = [(قطر کلنی در شاهد – قطر کلنی در تیمار)/ قطر کلنی در شاهد] × ۱۰۰ ٪

آنالیزهای آماری

داده‌های حاصل پس از بررسی نرمال بودن با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) در نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

اثر تیمارهای مختلف بر مهار رشد قارچ *P. amygdalinum* در محیط کشت بعد از ۷ روز

نتایج تجزیه واریانس و آزمون چنددامنه‌ای دانکن بعد از هفت روز نشان داد که بین سطوح مختلف تیمارها (یازده تیمار) از نظر درصد مهار رشد قارچ *P. amygdalinum* (در سطح یک درصد) اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F= ۸۹/۴۷). بر اساس داده‌های جدول ۱، بیشترین درصد مهار رشد بعد از روز هفتم مربوط به تیمار مانکوزب ppm ۲ با ۶۱/۷٪ و کمترین مربوط به استروبی ppm ۰/۱ با ۱۹/۸٪ بود.

جدول ۱– میانگین قطر کلنی قارچ (میلی‌متر) و درصد مهار رشد در روز هفتم، چهاردهم و بیست و یکم پس از کشت قارچ بیمارگر

Table 1. Average fungal colony diameter (mm) and percentage of growth inhibition on the seventh, fourteenth, and twenty–first day after cultivation of pathogenic fungi

		seventh day		fourteenth day		twenty–first day	
treatment	Concentration	Diameter of the colony (mm)	GI%	Diameter of the colony	GI%	Diameter of the colony	GI%
witness	–	25.3 ± 2.1 a	0	48.7 ± 2.1 a	0	75.6 ± 3.4 a	0
Jasmonic acid	50 µM	18.5 ± 0.9 b	26.9	35.2 ± 1.8 b	27.7	58.4 ± 2.7 b	22.8
Jasmonic acid	100 µM	15.2 ± 0.7 c	39.9	28.6 ± 1.5 c	41.3	45.3 ± 2.2 c	40.1
Jasmonic acid	200 µM	12.1 ± 0.6 d	52.2	21.4 ± 1.2 d	56.1	32.7 ± 1.9 d	56.7
Mankozeb	0.5 ppm	16.8 ± 0.8 b	33.6	32.4 ± 1.6 b	33.5	52.1 ± 2.5 b	31.1
Mankozeb	1 ppm	13.5 ± 0.7 c	46.6	26.3 ± 1.4 c	46.0	41.8 ± 2.1 c	44.7
Mankozeb	2 ppm	9.7 ± 0.5 d	61.7	18.9 ± 1.1 d	61.2	29.8 ± 1.7 d	61.0
Strobe	0.1 ppm	20.3 ± 1.0 b	19.8	38.1 ± 2.0 b	21.8	62.3 ± 3.0 b	17.6
Strobe	0.5 ppm	14.6 ± 0.7 c	42.3	27.9 ± 1.5 c	42.7	44.5 ± 2.2 c	41.1
Strobe	1 ppm	10.4 ± 0.6 d	58.9	19.8 ± 1.2 d	59.3	31.2 ± 1.8 d	58.7
Bradofix	1%	11.2 ± 0.6 d	55.7	20.5 ± 1.3 d	57.9	33.8 ± 2.0 d	55.3

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۱٪ است.

Different letters in each column indicate significant differences between treatments at the 1% level.

اثر تیمارهای مختلف بر مهار رشد قارچ *P. amygdalinum* در محیط کشت بعد از ١٤ روز

نتایج تجزیه واریانس و آزمون چنددامنه‌ای دانکن بعد از ۱۴ روز نشان داد که بین سطوح مختلف تیمارها (یازده تیمار) از نظر درصد مهار رشد قارچ *P. amygdalinum* در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (F= ۱۲۴/۱۰). بر اساس داده‌های جدول ۱، بیشترین درصد مهار رشد بعد از

روز هفتم مربوط به تیمار مانکوزب ppm ۲ با ۶۱/۲٪ و کمترین مربوط به استروبی ppm ۰/۱ با ۲۱/۸٪ بود.

اثر تیمارهای مختلف بر مهار رشد قارچ *P. amygdalinum* در محیط کشت بعد از ۲۱ روز

بر اساس داده‌های جدول ۱، تمام یازده تیمار در مقایسه با شاهد، کاهش معنی‌داری، در سطح یک درصد، در قطر کلنی قارچ نشان دادند (F= ۱۰۹/۳۰). بیشترین اثر بازدارندگی مربوط به تیمار مانکوزب ppm ۲ با ۶۱٪ مهار رشد بود، در حالی که اسید جاسمونیک µM ۲۰۰ و استروبی ppm ۱ به ترتیب با ۵۶/۷٪ و ۵۸/۷٪ مهار رشد در رده‌های بعدی قرار گرفتند. تیمار استروبی ppm ۰/۱ کمترین تأثیر را ۱۷/۶٪ مهار رشد داشت (جدول ۱).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تمام تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد، اثر بازدارندگی معنی‌داری بر رشد قارچ *P. amygdalinum* عامل بیماری لکه آجری بادام داشتند. در روز هفتم پس از کشت، تمام تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری در رشد قارچ نشان دادند (۰/۰۵ >*P*). تیمار مانکوزب ppm ۲ با میانگین قطر کلنی ۹/۷ میلی‌متر بیشترین اثر بازدارندگی را داشت. در روز چهاردهم، الگوی مشابهی مشاهده شد، با این تفاوت که اختلاف بین تیمارها آشکارتر گردید؛ در این مرحله، تیمار اسید جاسمونیک µM ۲۰۰، بردوفیکس ۱٪، استروبی ppm ۱ و مانکوزب ppm ۲ به ترتیب با میانگین قطر کلنی ۲۱/۴، ۲۰/۵، ۱۹/۸ و ۱۸/۹ میلی‌متر مؤثرترین تیمارها بودند. در روز بیست و یکم، بیشترین اثر بازدارندگی مربوط به مانکوزب ppm ۲ (۲۹/۵) بود و پس از آن تیمار استروبی ppm ۱ (۳۱/۲) و اسید جاسمونیک µM ۲۰۰ (۳۲/۷) قرار گرفتند. اسید جاسمونیک عملکردی نزدیک به قارچکش‌های شیمیایی از خود نشان داد و حتی در برخی موارد روند افزایشی در اثربخشی داشت. این مشاهده می‌تواند به دلیل نقش اسید جاسمونیک در فعال‌سازی مسیرهای دفاعی گیاهی باشد، که به طور غیرمستقیم بر رشد قارچ تأثیر می‌گذارد (Ghorbel *et al*., 2021). اسید جاسمونیک، به‌عنوان یک هورمون گیاهی، تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فیتوالکسین‌ها، پروتئین‌های مهارکننده پروتئاز، کیتینازها و ترکیبات فنولی را القا می‌کند، که این ترکیبات خواص ضدقارچی دارند و می‌توانند دیواره سلولی قارچ را تخریب کنند (Jain *et al*., 2017). برخلاف قارچکش‌های شیمیایی که اثر مستقیم و کوتاه‌مدت دارند، اسید جاسمونیک می‌تواند پاسخ‌های پایدارتر ایجاد کند (Moine *et al*., 2023)، مطالعات زیادی بر روی بیماری‌های قارچی در گیاهان انجام شده، و اثر پایدار اسیدجاسمونیک را نشان داده است. برای مثال، در پژوهشی بر روی القاء پاسخ‌های دفاعی در گیاهان بادام علیه باکتری *Xylella fastidiosa*، پپتیدهای مشابه اسید جاسمونیک نشان دادند، که می‌توانند تولید پروتئین‌های مرتبط با مقاومت را افزایش دهند (Moll *et al*., 2022)، که این مکانیسم می‌تواند به کنترل *P. amygdalinum* نیز تعمیم یابد؛ علاوه بر این، اسید جاسمونیک می‌تواند ضخامت دیواره سلولی گیاه را افزایش دهد و عبور پاتوژن را دشوارتر کند (Li *et al*., 2019)؛ همچنین در فعال‌سازی مقاومت سیستمیک اکتسابی (SAR) نقش دارد، که این امر یک پاسخ دفاعی گسترده در سراسر گیاه ایجاد می‌کند (Wani *et al*., 2018). این ویژگی‌ها اسید جاسمونیک را به گزینه‌ای مناسب برای مدیریت بلندمدت تبدیل می‌کند، به ویژه در مناطقی مانند ایران که بیماری لکه آجری بادام خسارات اقتصادی قابل توجهی وارد می‌کند. جدول تجزیه و تحلیل واریانس و آزمون دانکن، اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح ۰/۰۱ >*P* تأیید کرد، که این نتایج با مشاهدات میکروسکوپی همخوانی دارد؛ جایی که هیف‌های تحت تیمار تغییرات مورفولوژیکی مانند کاهش تراکم، تغییر رنگ، اختلال در ساختار و حتی تشکیل وزیکول‌های استرسی نشان دادند. این تغییرات می‌تواند ناشی از تنش اکسیداتیو القاشده توسط تیمارها باشد، که در مطالعات بر روی هورمون‌های گیاهی بر قارچ‌های پاتوژن توصیف شده‌اند (Yassin *et al*., 2021)؛ علاوه بر این، مقایسه غلظت‌های مختلف نشان داد، که افزایش غلظت در هر تیمار، مهار رشد را بهبود می‌بخشد، اما در مورد اسید

جاسمونیک، غلظت‌های بالاتر (۲۰۰ µM) ممکن است اثرات جانبی مانند تحریک رشد گیاه را نیز داشته باشند، که نیاز به بررسی در شرایط میدانی دارد. با وجود اثربخشی بالای قارچکش‌های شیمیایی، نگرانی‌های زیست‌محیطی مانند تجمع مس در خاک و آب، خطر گیاه‌سوزی و توسعه مقاومت قارچی، استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند (Eteeti & Eteeti., 2020). برای مثال، در مطالعاتی بر روی استراتژی‌های مدیریت RLB در بادام، تأکید شده که کاربرد مداوم قارچکش‌های شیمیایی می‌تواند به آلودگی منابع آب منجر شود، در حالی که ترکیبات طبیعی مانند اسید جاسمونیک یا فسفوروس اسید می‌توانند جایگزین‌های پایدارتری باشند (Torguet *et al*., 2022). در مقابل، اسید جاسمونیک به عنوان یک ترکیب طبیعی و زیست‌سازگار، می‌تواند بخشی از استراتژی مدیریت تلفیقی (IPM) باشد، که در آن ترکیب با قارچکش‌های شیمیایی، اثرات سینرژیستی ایجاد کند (Riseh & Vazvani., 2024). مطالعات نشان داده که کاربرد همزمان اسید جاسمونیک با قارچکش‌ها می‌تواند مقاومت گیاه را افزایش دهد و نیاز به دوزهای بالای شیمیایی را کاهش دهد (Yassin *et al*., 2021)، که این رویکرد می‌تواند در باغات بادام ایران، جایی که بیماری در مناطقی مانند شهرستان سامان شیوع بالایی دارد، مفید باشد؛ علاوه بر این، استفاده از اسید جاسمونیک می‌تواند به کاهش هزینه‌های اقتصادی کمک کند، زیرا این هورمون به طور طبیعی در گیاه تولید می‌شود و می‌تواند از طریق اسپری‌های خارجی تقویت شود، بدون اینکه اثرات منفی بلندمدت بر اکوسیستم داشته باشد (Aslam *et al*., 2022).

یافته‌های این پژوهش با مطالعات متعددی در زمینه کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی همخوانی داشت. در پژوهشی که بر روی مدل‌سازی اسپورهای هوایی *P. amygdalinum* انجام شد، مانکوزب به عنوان یکی از مؤثرترین قارچکش‌ها در کنترل بیماری لکه قرمز برگ گزارش شده است، جایی که کاربرد آن در مراحل اولیه عفونت، انتشار اسپورها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Ishieze *et al*., 2023). مکانیسم عمل مانکوزب عمدتاً بر پایه اختلال در فرآیندهای متابولیکی قارچ مانند تنفس سلولی، سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم‌های کلیدی است، که منجر به توقف رشد هیف‌ها و جلوگیری از تشکیل ساختارهای تولیدمثلی مانند پیکنیدها می‌شود (Zhao *et al*., 2021)؛ همچنین استروبی، از طریق اختلال در زنجیره انتقال الکترون در میتوکندری قارچ عمل می‌کند، که این مکانیسم با نتایج گزارش‌شده در کنترل بیماری‌های قارچی برگ‌ها سازگار است (Jackson *et al*., 2025). استروبی، به عنوان یک قارچکش استروبیلورین، نه تنها رشد قارچ را مهار می‌کند، بلکه می‌تواند مقاومت گیاه را نیز به طور غیرمستقیم افزایش دهد (Shcherbakova, 2019)، هرچند در این مطالعه، اثرات آن در کوتاه‌مدت برجسته‌تر بود. بردوفیکس، به عنوان یک ترکیب مسی، با ایجاد اختلال در غشای سلولی قارچ و مهار آنزیم‌های کلیدی مانند سیتوکروم اکسیداز، موجب مهار رشد قارچ می‌شود، که این میزان مشابه گزارش‌ها در کنترل قارچ بیمارگر *P. amygdalinum* در باغات بادام است. ترکیبات مسی مانند بردوفیکس، اغلب در برنامه‌های مدیریت تلفیقی استفاده می‌شوند، زیرا علاوه بر اثر مستقیم بر پاتوژن، می‌توانند به عنوان محرک دفاعی گیاه عمل کنند، هرچند خطر تجمع مس در خاک را به همراه دارند.

نتایج این پژوهش نشان داد، که اثر بازدارندگی تیمارها در روزهای مختلف متفاوت است. برای مثال، درصد مهار رشد مانکوزب از ٪۶۱.۷ در روز هفتم به ٪۶۱.۲ در روز چهاردهم کاهش یافت. این الگو ممکن است ناشی از تجزیه تدریجی ترکیبات مؤثر یا سازگاری نسبی قارچ باشد، که این موضوع در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد، که نشان این پژوهش نشان داد پایداری قارچکش‌ها در محیط کشت ممکن است تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی قرار گیرد (Wang *et al*, 2019).

تحلیل نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استراتژی‌های کنترل بیماری‌ها باید ماهیتی چندوجهی داشته باشند. در فازهای اولیه و برای مدیریت واکنش‌های فوری، به کارگیری قارچ‌کش‌های شیمیایی متداول نظیر مانکوزب و استروبی اولویت عملیاتی دارد. با این حال، برای دستیابی به پایداری اکولوژیکی و بهینه‌سازی بلندمدت در مدیریت

بیماری، توصیه می‌شود که مسیرهای دفاعی القا شده توسط اسید جاسمونیک به عنوان یک عامل زیستی فعال در برنامه مدیریتی ادغام شوند. این استراتژی بر پایه فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی ذاتی گیاه (SAR) استوار است که منجر به کاهش قابل ملاحظه وابستگی به نهاده‌های شیمیایی سنتتیک و انطباق با چارچوب‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک می‌شود. علاوه بر این، با در نظر گرفتن بیواکلیماتولوژی و تغییرات پیش‌بینی‌شده در محیط، که می‌تواند سینتیک توسعه بیماری و دوره کمون را تحت تأثیر قرار دهد، ادغام عملکرد بیوشیمیایی اسید جاسمونیک با مدل‌های پیش‌بینی اسپروژنی مبتنی بر پارامترهای محیطی (مانند رطوبت نسبی و دمای پایه) ضروری است. این رویکرد ترکیبی، قابلیت پیش‌بینی و اثربخشی مداخلات مدیریتی را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد، که تیمارهای شیمیایی (مانکوزب و استروبی) بیشترین تأثیر را در مهار رشد قارچ داشتند؛ اسید جاسمونیک به‌عنوان یک محرک طبیعی، اثر قابل‌توجهی در کنترل بیماری نشان داد و بردوفیکس با وجود اثر متوسط، به‌دلیل سازگاری با محیط زیست می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی بیماری استفاده شود. یافته‌های این پژوهش با مطالعات متعددی در زمینه کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی همخوانی داشت. با استفاده از یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، اگرچه مانکوزب و استروبی در کوتاه‌مدت مؤثرتر هستند، اسید جاسمونیک با پتانسیل القایی دفاعی، گزینه‌ای نویدبخش برای کنترل پایدار بیماری لکه آجری بادام است. استفاده تلفیقی این روش‌ها می‌تواند به کاهش خسارات اقتصادی در باغات بادام ایران کمک کند، پایداری محیط زیستی را افزایش دهد و به سمت کشاورزی پایدار و اقتصادی حرکت کند. این رویکرد نه تنها خسارات ناشی از بیماری را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت محصول و کاهش آلاینده‌ها در زنجیره غذایی کمک کند.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود و کشت و صنعت جوین به دلیل حمایت‌های مالی قدردانی می‌گردد.

References

Amanifar, N. 2017. Evaluation of the efficacy of two fungicides in controlling brick spot disease on two almond cultivars on the banks of the Zayandeh Rood River. Iranian Plant Protection Research, 31(1): 166–171. (In Persian with English summary).

Aslam, H., Mushtaq, S., Maalik, S., Bano, N., Eed, E.M., Bibi, A. & Khalifa, A.S. 2022. Exploring the effect of jasmonic acid for aphidscontrol for improving the yield of Triticum aestivum varieties, 10(3): 1–10.

Eteeti, F. & Eteeti, A. 2020. Antibacterial activity of hydroalcoholic extracts of thyme and lemon balm on *Pseudomonas syringae* bacteria in vitro. Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology), 33(2): 136–143. (In Persian with English summary).

Ghaderi, F. & Habibi, A. 2025. *Parastagonospora poae* and *P. minima*, new species for the funga of Iran. Rostaniha, 5(2): 1–10. (In Persian with English summary).

Ghorbel, M., Brini, F., Sharma, A. & Landi, M. 2021. Role of jasmonic acid in plants: the molecular point of view. Plant Cell Reports, 40(8): 1471–1494.

Habibi, A., Banihashemi, Z. & Mostowfizadeh–Ghalamfarsa, R. 2015. Phylogenetic analysis of *Polystigma* and its relationship to Phyllachorales. Phytopathologia Mediterranea, 4(1): 45–54. (In Persian with English summary).

Ishieze, P.U., Amuji, C.F., Ugwuoke, K.I., Baiyeri, P.K., & Eze, M.O. 2023. Comparative efficacy of systemic and combination fungicides for the control of Alternaria leaf spot of cabbage. Applied Microbiology, 3(3): 906–914.

Jackson, V., Sherer, C., Jordan, L. & Clohessy, T. 2025. Unveiling the potential: exploring the efficacy of complex III inhibitors in fungal disease control. Pest Management Science, 81(5): 2450–2456.

Jain, S., Vaishnav, A., Kumari, S., Varma, A., Tuteja, N. & Choudhary, D.K. 2017. Chitinolytic Bacillus–mediated induction of jasmonic acid and defense–related proteins in soybean (*Glycine max* L. Merrill) plant against Rhizoctonia solani and Fusarium oxysporum. Journal of Plant Growth Regulation, 36(1): 200–214.

Kamle, M., Borah, R., Bora, H., Jaiswal, A.K., Singh, R.K., & Kumar, P. 2020. Systemic acquired resistance (SAR) and induced systemic resistance (ISR): role and mechanism of action against phytopathogens. In Fungal biotechnology and bioengineering, 4(3): 457–470.

Lamichhane, J.R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J.B. & Aubertot, J.N. 2018. Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture: A review. Agronomy for Sustainable Development, 38(2): 1–24.

Li, N., Han, X., Feng, D., Yuan, D. & Huang, L.J. 2019. Signaling crosstalk between salicylic acid and ethylene/jasmonate in plant defense: do we understand what they are whispering. International journal of molecular sciences, 20(3): 671–688.

Moine, A., Pugliese, M., Monchiero, M., Gribaudo, I., Gullino, M.L., Pagliarani, C. & Gambino, G. 2023. Effects of fungicide application on physiological and molecular responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.): a comparison between copper and sulfur fungicides applied alone and in combination with novel fungicides. Pest Management Science, 79(11): 4569–4588.

Moll, L., Baró, A., Montesinos, L., Badosa, E., Bonaterra, A. & Montesinos, E. 2022. Induction of defense responses and protection of almond plants against *Xylella fastidiosa* by endotherapy with a bifunctional peptide. Phytopathology, 112(9): 1907–1916.

Palacio–Bielsa, A., Cambra, M., Martinez, C., Olmos, A., Pallás, V., López, M.M. & Esmenjaud, D. 2017. Almond diseases. In Almonds: botany, production and uses, 3(1): 321–374).

Pons-Solé, G., Miarnau, X., Torguet, L., Lázaro, E., Vicent, A. & Luque, J. 2023. Airborne inoculum dynamics of *Polystigma amygdalinum* and progression of almond red leaf blotch disease in Catalonia, NE Spain. Annals of Applied Biology, 183(1): 33–42.

Raza, A., Charagh, S., Zahid, Z., Mubarik, M.S., Javed, R., Siddiqui, M.H. & Hasanuzzaman, M. 2021. Jasmonic acid: a key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. Plant Cell Reports, 40(8): 1513–1541.

Riseh, R.S. & Vazvani, M.G. 2024. Unveiling methods to stimulate plant resistance against pathogens. Frontiers in Bioscience–Landmark, 29(5): 188–198.

Ruan, J., Zhou, Y., Zhou, M., Yan, J., Khurshid, M., Weng, W. & Zhang, K. 2019. Jasmonic acid signaling pathway in plants. International journal of molecular sciences, 20(10): 2479.

Shcherbakova, L.A. 2019. Fungicide resistance of plant pathogenic fungi and their chemosensitization as a tool to increase anti–disease effects of triazoles and strobilurines. Sel'skokhozyaistvennaya Biol, 54(1): 875–891.

Siciliano, I., Amaral Carneiro, G., Spadaro, D., Garibaldi, A. & Gullino, M.L. 2015. Jasmonic acid, abscisic acid, and salicylic acid are involved in the phytoalexin responses of rice to *Fusarium fujikuroi*, a high gibberellin producer pathogen. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(3): 8134–8142.

Thiruvengadam, M., Baskar, V., Kim, S.H. & Chung, I.M. 2016. Effects of abscisic acid, jasmonic acid and salicylic acid on the content of phytochemicals and their gene expression profiles and biological activity in turnip (Brassica rapa ssp. rapa). Plant Growth Regulation, 80(3): 377–390.

Torguet, L., Zazurca, L., Martínez, G., Pons–Solé, G., Luque, J. & Miarnau, X. 2022. Evaluation of fungicides and application strategies for the management of the red leaf blotch disease of almond. Horticulturae, 8(6): 501–521.

Wang, Y., Liu, X., Ren, C., Wang, G. & Li, R. 2019. Identification of the role of jasmonic acid in pathogen resistance using Arabidopsis mutants. Plant Physiology and Biochemistry, 144(1): 123–131.

Wang, Y., Mostafa, S., Zeng, W. & Jin, B. 2021. Function and mechanism of jasmonic acid in plant responses to abiotic and biotic stresses. International Journal of Molecular Sciences, 22(16): 8568–8577.

Wani, M.Y., Mehraj, S., Rather, R.A., Rani, S., Hajam, O. A., Ganie, N.A. & Kamili, A.S. 2018. Systemic acquired resistance (SAR): A novel strategy for plant protection with reference to mulberry. Int. J. Chem. Stud, 2(1): 1184–1192.

Yassin, M., Ton, J., Rolfe, S.A., Valentine, T.A., Cromey, M., Holden, N. & Newton, A. C. 2021. The rise, fall and resurrection of chemical-induced resistance agents. Pest Management Science, 77(9): 3900–3909.

Zhang, W., Jiang, F. & Ou, J. 2020. Global pesticide consumption and pollution: With China as a focus. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(12): 3726–3734.

Zhao, L., Wang, F., Zhang, Y. & Zhang, J. 2021. Biocontrol of Alternaria rot in pear by *Bacillus subtilis.* Biological Control, 12(1): 104–111.

Zúñiga Rodríguez, E. 2019. The red leaf blotch of almond, caused by *Polystigma amygdalinum*, in Catalonia: biology and epidemiology, 1(2): 10–18.

Zúñiga, E., Romero, J., Ollero–Lara, A., Lovera, M., Arquero, O., Miarnau, X. & Luque, J. 2020. Inoculum and infection dynamics of *Polystigma amygdalinum* in almond orchards in Spain. Plant Disease, 104(4): 1239–1246.

The Effect of Jasmonic Acid and Fungicides Mancozeb, Strobilurin, and Bordofix on the Fungus *Polystigma amygdalinum*, the Causal Agent of Almond Red Leaf Spot Disease, under Laboratory Conditions

Mohammadreza Arzhang[1], Jalal Gholamnezhad[2]

1, 2. M.Sc. in Horticultural Science and Engineering, Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan, Ardakan, Iran.
Corresponding author: Jalal Gholamnezhad, email: jgholamnezhad@ardakan.ac.ir

Received: Sep., 3, 2025 12(2) 161– 169 Accepted: Dec., 20, 2025

Abstract

Reddish–Brown Spot Disease of Almond, caused by the fungus *Polystigma amygdalinum*, is considered one of the most important damaging agents in almond orchards in Iran. This study was conducted to compare the effectiveness of chemical and natural treatments in controlling the growth of this fungus. Infected samples were collected from orchards in Saman county and cultured on PDA medium. Four treatments, including Jasmonic acid (50, 100, and 200 µM), Mancozeb (0.5, 1, and 2 ppm), Strobi (0.1, 0.5, and 1 ppm), and Bordofix (1%), were investigated in a completely randomized design with four replications. The results showed that Mancozeb at 2 ppm with 61.7% growth inhibition on the seventh day was the most effective treatment, while Strobi at 1 ppm and Bordofix with 58.9% and 55.7% growth inhibition, respectively, ranked next. Results on day 21 showed that Jasmonic acid at 200 µM exhibited an increasing effect, contrary to the fungicides. Analysis of variance (ANOVA) results indicated a significant difference between the treatments at the 0.05 level. Microscopic observations revealed clear morphological changes in the treated hyphae. The results of this study showed that although chemical fungicides (especially Mancozeb) have higher short–term efficacy in inhibiting the fungus, Jasmonic acid, by inducing sustained defense responses in the plant, can be used as a promising option in integrated disease management programs for almond Reddish–Brown Spot. The simultaneous use of these two methods could be an effective strategy for the sustainable control of this disease.

Keywords: *Alternaria alternata*, almond red leaf spot disease, jasmonic acid, mancozeb, fungal growth inhibition