پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۱): ۷۱-۵۹ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (1): 59-71 (2024)-*Research Article*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2023.17121

کارایی چند قارچ‌کش جدید در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی

کسری شریفی[1]✉، آزاده گودرزی[2]، بنفشه صفائی‌فراهانی[3]

[1]بخش تحقیقات بیماری‌های گیاهی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. [2]بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. [3]بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. ka.sharifi@areeo.ac.ir✉

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲۰ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷

چکیده

بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی که عوامل اصلی آن *Alternaria alternata*، *A. tenuissima* و *A. solani* می‌باشند، در شرایط آب و هوایی مختلف ایجاد می‌شود. در این پژوهش کارایی قارچ‌کش‌های فلوکساپیروکساد+دیفنوکونازول (داگونیس® SC12.5%)، تتراکونازول+آزوکسی‌استروبین (آفیانس® SC17%) و ماندی‌پروپامید+دیفنوکونازول (کریال‌استار® SC50%) در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی در مقایسه با قارچ‌کش بوسکالید+پیراکلواستروبین (سیگنوم® WG33.4%) مورد ارزیابی قرار گرفت. قارچ‌کش‌های داگونیس® با مقادیر ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌لیتر، آفیانس® ۴۵۰، ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی‌لیتر، کریال‌استار® ۴۰۰، ۵۵۰ و ۷۰۰ میلی‌لیتر و سیگنوم® با مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار و تیمار شاهد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در استان‌های فارس و هرمزگان در شرایط مزرعه و در استان البرز در گلخانه انجام شد. ارزیابی تیمارها با توجه به شاخص شدت بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری محاسبه شد. نتایج نشان داد که قارچ‌کش‌های آفیانس® با مقادیر ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی لیتر در هکتار با کارایی ۴۸ تا ۸۲ درصد، داگونیس® با دوز ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار با کارایی ۵۰ تا ۷۰ درصد و سیگنوم® به مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار با کارایی ۴۸ تا ۷۵ درصد، عملکرد مناسبی در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی داشتند. اگر چه قارچ‌کش کریال‌استار® با مقدار ۷۰۰ میلی لیتر در هکتار کارایی کمتری (حدود ۴۵-۵۵ درصد) در مقایسه با قارچ‌کش‌های مذکور داشت ولی عملکرد آن قابل توجیه است. به این ترتیب قارچ‌کش‌های آفیانس®، داگونیس® و سیگنوم® به ترتیب با مقادیر ۶۰۰، ۱۲۰۰میلی‌لیتر و ۵۰۰ گرم در هکتار و قارچ‌کش کاریال‌استار در مراحل اولیه بیماری به مقدار ۷۰۰ میلی‌لیتر در هکتار قابل توصیه برای کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی هستند.

کلمات کلیدی: کنترل شیمیایی، آلترناریا، گلخانه، آفیانس®، کاریال‌استار®، داگونیس®، سیگنوم®

Efficacy of several new fungicides in control of tomato early blight disease

Kasra Sharifi✉[1], Azadeh Goudarzi[2], Banafsheh Safaiefarahani[3]

[1]Plant Diseases Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, AREEO, Tehran, Iran.[2]Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran.[3]Plant Protection Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran. ka.sharifi@areeo.ac.ir✉

Received: 10 June 2023 Revised: 06 September 2023 Accepted: 08 September 2023

Abstract

Tomato early blight caused by *Alternaria alternata*, *A. tenuissima* and *A. solani*, occurs in a wide range of environmental conditions. Effectiveness of fluxapyroxad+difenoconazole (Dagonis® SC12.5%), tetraconazole+azoxystrobin (Affiance® SC17%) and mandipropamid+difenoconazole (Carial Star® SC 50%) fungicides were evaluated in the control of tomato early blight disease in comparison with boscalid+pyraclostrobin (Signum® WG33.4%) fungicide. Dagonis® at the rates of 800, 1000 and 1200 ml/ha, Affiance® 450, 600 and 750 ml/ha, Carial Star® 400, 550 and 700 ml/ha and Signum® 500 gr/ha and the control group (no fungicide application). The experiments were carried out under the field condition in Fars and Hormozgan provinces, and under greenhouse condition in Alborz province. The disease severity index and area under the disease progress curve were calculated. The results showed that Affiance® at the rates of 600 and 750 ml/ha with 48-82% efficacy, Dagonis® at the rate of 1200 ml/ha with 50-70% efficacy and Signum® at the rate of 500 gr/ha with the efficacy of 48-75% were effective in controlling tomato early blight disease. Although Carial Star® fungicide with the amount of 700 ml/ha was less effective (45-55%) as compared to aforementioned fungicides, but its average efficiency can be justified. Therefore, Affiance®, Dagonis® and Signum® fungicides, at the rates of 600, 1200 ml/ha and 500 gr/ha, respectively, and Carial Star® fungicide (in the early stages of the disease) at the rate of 700 ml/ha are recommended to control tomato early blight disease.

Keywords: Chemical control, greenhouse, *Alternaria* spp., Affiance®, Carial Star®, Dagonis®, Signum®

How to cite:
Sharifi K, Goudarzi A, Safaie farahani B, 2024. Efficacy of several new fungicides in control of Tomato early blight disease. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (1): 59-71.

مقدمه

گوجه‌فرنگی از گیاهان مهمی است که میوه آن به‌صورت تازه‌خوری و در صنایع غذایی استفاده می‌شود. بنابه گزارش مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه به ترتیب حدود ۸۰ هزار و ۷۰۰ هکتار و تولید آن به ترتیب حدود ۳/۴ میلیون و ۴۰۰ هزار تن در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایران برآورد شده است (Anonymous 2022).

بیماری لکه‌موجی (Early blight) از بیماری‌های مهم گوجه‌فرنگی است. بیماری در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی ایجاد می‌شود و اگر اقدامات لازم در جهت کنترل بیماری به‌عمل نیاید با از بین بردن اندام‌های سبز خسارت زیادی را متوجه محصول می‌کند. این بیماری در تمام قاره‌ها در مناطق گرم و مرطوب و نیمه مرطوب با شبنم‌های صبحگاهی، آلودگی ایجاد می‌کند. میانگین خسارت در دنیا ۳۰ درصد است که اهمیت این بیماری را نشان می‌دهد (Glasscock and Ware 1944). تحقیقات Saha and Das (2012) نشان داد، با افزایش یک درصدی شدت بیماری، حدود ۷۵۰ کیلو گرم از عملکرد مزارع آلوده به بیماری لکه‌موجی گوجه فرنگی کاهش می‌یابد. خسارت بیماری در ارقام گوجه‌فرنگی زودرس در حوالی بندر عباس، میناب و جیرفت فوق العاده زیاد و مهم است (Hosseinmardi *et al.* 2020).

عامل بیماری، ساقه، برگ و میوه گوجه‌فرنگی را آلوده می‌کند. اسپورهای عامل بیماری به راحتی با جریان باد، آب باران و نیز آب آبیاری منتقل می‌شود. علایم بیماری در سطح برگ‌ها بصورت نقش و نگارهای قهوه‌ای مدور و اغلب احاطه شده با هاله زرد ظاهر و به سرعت توسعه یافته و به‌هم می‌رسند و تمامی اندام‌های هوایی گیاه را فرا می‌گیرند. لکه‌ها و نقش و نگارهای روی میوه شبیه به علایم روی برگ و به رنگ قهوه‌ای با حلقه‌های متحدالمرکز تیره می‌باشند (Jones *et al.* 2014).

گونه‌های مختلفی به عنوان عوامل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی از جمله: *Alternaria tenuissima* Kunze ex Pers.، *A. consortialis* Thüm.، *A. solani* (Ellis & Martin) *Sorauer*، *A. longipes* (Ell. & Ev.) Mason و *A. alternata* Keissler معرفی شده‌اند (Saleem & El-Shahir 2022; Stammler *et al.* 2014). طبق بررسی‌های به عمل آمده در مناطق مختلف کشت گوجه‌فرنگی در ایران گونه‌های *A. solani*، *A. tenuissima* و *A. alternata* در بروز این بیماری بیشترین اهمیت را دارد (Ramezani *et al.* 2019). آلودگی قارچی معمولاً با تولید زهرابه‌های غیراختصاصی میزبانی از قبیل zinniol، altersolanol، alternaric acid و macrosporin همراه است که با تأثیر بر روی پروتوپلاسم سلولی و اختلال در فرآیندهای زیستی موجب ایجاد بیماری در گیاه می‌گردد (Wetscutt 2001).

مدیریت بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی متکی بر روش‌های پیش‌گیری از جمله تناوب زراعی ۴-۳ ساله، از بین بردن بقایای گیاهی آلوده، استفاده از ارقام متحمل و بذر و نشای گواهی شده و عاری از بیماری، تغذیه با کودهای ریزمغذی و برنامه‌ریزی زمان‌های آبیاری می‌باشد. هر چند استفاده از روش‌های مذکور در کاهش بیماری مؤثر است ولی بدون استفاده به‌هنگام و زمان‌بندی شده از قارچ‌کش‌های مؤثر و کم خطر، امکان کنترل بهینه بیماری وجود ندارد.

استفاده از قارچ‌کش‌هایی چون آزوکسی استروبین (azoxystrobin)، پیراکلو استروبین (pyraclostrobin)، ترکیبات مسی، بیکربنات پتاسیم هر ۱۰-۷ روز برای کنترل بیماری لکه‌موجی توصیه شده است (Dillard *et al.* 1995). تحقیقات Hamidi *et al.* (2015) نشان داد که نمک‌های سدیم بی‌کربنات (NaHCO3) و کلسیم کلراید (CaCl2) بیماری لکه‌موجی سیب‌زمینی را به خوبی کنترل می‌کند بطوری که این نمک‌ها در یک گروه آماری با قارچ‌کش رورال تی‌اس (Iprodione+carbendazim) قرار گرفتند.

Olson *et al.* (2012) قارچ‌کش کانسنتو® (Consento®) با مواد موثر فنامیدون (fenamidone) و پروپاموکارب هیدروکلراید (propamocarb-hydrochloride) را در کنترل بیماری لکه موجی گوجه‌فرنگی مؤثر دانسته و آن را توصیه نمودند. کلروتالونیل (chlorothalonil) از گروه شیمیایی فتالمیدها (phthalimide) قارچ‌کشی با طیف اثر وسیع است و از طریق سم‌پاشی اندام‌های هوایی و به‌عنوان قارچ‌کش محافظت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ایران نیز جزو قارچ‌کش‌های ثبت شده است. بیشترین استفاده از این قارچ‌کش مربوط به سال ۱۹۹۷ می‌باشد که پس از ترکیبات گوگردی و مسی رتبه سوم استفاده را در ایالات متحده آمریکا داشته است. مصرف کلرتالونیل در اغلب کشورهای اتحادیه اروپا ممنوع شده و ثبت آن در ایالات متحده آمریکا به حال تعلیق در آمده است (Arena *et al.* 2018). قارچ‌کش‌های جایگزین مناسب با خطر کمتر اثرات سوء زیست محیطی و بهداشتی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به ثبت رسیده است و به تبع آن

در ایران نیز کارایی قارچ‌کش‌های بررسی شده و در حال جایگزینی هستند.

قارچ‌کش آفیانس® (Affiance® SC18%) متشکل از مواد مؤثر تتراکونازول (tetraconazole) ۸۰ گرم در لیتر و آزوکسی استروبین ۱۰۰ گرم در لیتر است. تتراکونازول متعلق به گروه بازدارنده‌های دمتیلاسیون (deMethylation inhibitors, DMI) بوده و از فرآیند زیستی استرول‌های غشاء سلولی جلوگیری می‌کند و محل اثر آن C14- دمتیلاز در فرآیند استرول (*erg11/cyp51*) می‌باشد. با کشف و معرفی قارچ‌کش‌های جذبی با طیف وسیع تریازول‌ها (triazoles) که از مهم‌ترین ترکیبات شیمیایی گروه DMI هستند، کنترل شیمیایی انواع بیماری‌ها آسان‌تر شده است. این ترکیبات به‌طور اختصاصی روی انواع قارچ‌های متعلق به آسکومیست مؤثر بوده و مقدار مصرف آن‌ها نیز کم است و در گروه سه قارچکش‌ها در FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) قرار می‌گیرند (Rosenzweig *et al.* 2019). آزوکسی استروبین از گروه قارچ‌کش‌های مهارکننده های خارجی کوئینون (quinone outside inhibitors, QoI) است و از طریق اثر در زنجیره تنفس میتوکندریایی نقش بازدارندگی در جوانه‌زنی اسپور و رشد میسلیوم دارد. این قارچ‌کش از نظر بروز مقاومت در جمعیت‌های بیمارگر در گروه ۱۱ FRAC قارچکش‌ها قرار دارد و یکی از مولکول‌های جدید با طیف اثر وسیع است (Anonymous 2023). علی‌رغم مزایای مهم قارچ‌کش‌های گروه QoI، از جمله اثرات قاطع و اختصاصی، برخی محدودیت‌ها از جمله اثر سوء در برخی از زیست مهارگرهای بیمارگرهای گیاهی احتمال بروز مقاومت در قارچ‌های بیمارگر هدف عنوان شده است (Fishel & Dewdney 2012; Macar *et al.* 2022).

قارچ‌کش داگونیس® (Dagonis® SC 12.5%) از دو جزء فلوکساپیروکساد (fluxapyroxad) ۷۵ گرم در لیتر و دیفنوکونازول (difenoconazole) ۵۰ گرم در لیتر تشکیل شده است. دیفنوکونازول از قارچ‌کش‌های گروه DMI و بازدارنده‌های دمتیلاسیون بوده و خطر مقاومت نسبت به آن در قارچ‌های بیمارگر متوسط است. این قارچ‌کش نیز در گروه شیمیایی تریازول‌ها قرار گرفته و در گروه سه فهرست FRAC جای دارد (Anonymous 2023). قارچ‌کش مذکور بصورت سیستمیک و محافظتی عمل نموده و دارای دامنه وسیع با خاصیت پیشگیری و معالجه کنندگی می‌باشد. دیفنوکونازول به صورت محلول‌پاشی روی اندام‌های هوایی و یا بصورت بذرمال برای کنترل بیماری‌های بذرزاد و حفاظت از بذر در مقابل تهاجم قارچ‌ها استفاده می‌شود (Fishel & Dewdney 2012). دیگر ماده موثره داگونیس فلوکساپیروکساد، یک مهار کننده سوکسینات دهیدروژناز (succinate dehydrogenase inhibitors, SDHI) است که از انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون جلوگیری کرده و در نهایت موجب اختلال در تنفس سلولی می‌شود. این ماده در تعدادی از عملکردهای مهم زندگی قارچ از جمله جوانه زنی اسپور، رشد لوله جوانه‌زنی، تشکیل چنگک (appressorium) و رشد میسلیوم دخالت کرده و مانع از رشد قارچ با مهار آنزیم سوکسینات دهیدروژناز می شود. فلوکساپیروکساد از ساختار مولکولی انعطاف پذیر برخوردار است، بطوری که قادر به عبور از دیواره سلولی، بافت آوندی و همچنین لایه مومی و غشاهای سلولی است (Strathmann *et al.* 2011).

کریال‌استار® (Carial Star® SC 500) متشکل از ۲۵۰ گرم در لیتر از هریک از قارچ‌کش‌های ماندی‌پروپامید (mandipropamid) و دیفنوکونازول است. ماندی‌پروپامید از گروه شیمیایی ماندلیک اسید آمیدها (mandelic acid amides) است و از طریق اختلال در فرآیند تشکیل دیواره سلولی (cellulose synthase) عمل می‌کند. مقاومت به این قارچ‌کش در شبه قارچ‌های پیتیاسه (*Pythiaceae*) متوسط بوده و در گروه ۴۰ FRAC قرار دارد (Anonymous 2023). ماندی‌پروپامید یک قارچ‌کش آمید کربوکسیلیک اسید است که به طور گسترده در کشاورزی مدرن استفاده می‌شود. این قارچ‌کش در درجه اول جوانه زنی هاگ و بعد رشد میسلیوم را با تداخل در رسوب دیواره سلولی مهار می‌کند. ماندی پروپامید دارای مزایای طیف وسیع، راندمان بالا و دوره های اثربخشی طولانی مدت است (Patil *et al.* 2023).

با توجه به اهمیت اقتصادی بالای خسارت ناشی از بیماری لکه‌موجی در تولید گوجه‌فرنگی و نقش مهم قاچ‌کش‌ها در جلوگیری از همه‌گیری و برای کنترل بیماری و استفاده از قاچ‌کش‌های جدید با دوره کارنس کمتر، در این تحقیق تاثیر قاچ‌کش‌های فلوکساپیروکساد + دیفنوکونازول (داگونیس® SC 12.5%)، تتراکونازول + آزوکسی‌استروبین (آفیانس® SC 17%) و ماندی‌پروپامید + دیفنوکونازول (کریال‌استار® SC 50%) در مقایسه با قارچ‌کش بوسکالید + پیراکلواستروبین (سیگنوم® WG 33.4%) در شرایط گلخانه و مزرعه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر قارچ‌کش‌های آفیانس®، داگونیس® و کریال استار® در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی آزمایشات با ۱۱ تیمار و چهار تکرار در استان البرز در شرایط گلخانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی و استان‌های فارس و هرمزگان در شرایط مزرعه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به اجرا درآمد. در این تحقیق قارچ‌کش سیگنوم® به عنوان قارچ‌کش مرجع و آب پاشی در نظر گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات قارچ‌کش‌های مورد آزمایش روی لکه موجی گوجه‌فرنگی در استان‌های البرز، هرمزگان و فارس.

Table 1. Characteristics of tested fungicides on the tomato early blight in Alborz, Hormozgan and Fars provinces.

Treat number	Common name	Trade name	Formulation	Application rate
1	tetraconazole+azoxystrobin	Affiance®	SC 17%	450 ml/ha
2	tetraconazole+azoxystrobin	Affiance®	SC 17%	600 ml/ha
3	tetraconazole+azoxystrobin	Affiance®	SC 17%	750 ml/ha
4	fluxapyroxad+difenoconazole	Dagonis®	SC 12.5%	800 ml/ha
5	fluxapyroxad+difenoconazole	Dagonis®	SC 12.5%	1000 ml/ha
6	fluxapyroxad+difenoconazole	Dagonis®	SC 12.5%	1200 ml/ha
7	mandipropamid+difenoconazole	Carial Star®	SC 50%	400 ml/ha
8	mandipropamid+difenoconazole	Carial Star®	SC 50%	550 ml/ha
9	mandipropamid+difenoconazole	Carial Star®	SC 50%	700 ml/ha
10	Pyraclostrobin+boscalid	Signum®	WG 33.4%	500 g/ha
11	Control	-	-	500-700 L/ha

ارقام گوجه‌فرنگی SV 8320 و SV 4129 بدلیل کشت متداول آن‌ها به ترتیب در شرایط مزرعه و گلخانه، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. عملیات کاشت و داشت در مزرعه براساس عرف منطقه و در گلخانه به روش آبکشت (Hydroponics) انجام شد. هر کرت آزمایشی مزرعه دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۱۲ متر بود و نشاها روی ردیف با فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. آزمایش تحت شرایط آلودگی طبیعی در مزرعه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام و در هر کرت آزمایشی تعداد پنج بوته به تصادف انتخاب و شماره‌گذاری شد. با مشاهده اولین علائم بیماری در سطح نمره یک براساس مقیاس نمره دهی بر شدت بیماری لکه‌موجی (جدول ۲)، سم‌پاشی کرت‌ها با تیمارها انجام گرفت. سم‌پاشی‌ها با فاصله زمانی ۱۰-۸ روز و در سه نوبت در مزارع آزمایشی انجام شد.

آزمایشات در گلخانه با دمای ۲۷-۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۷۰ درصد و براساس طرح آزمایشی کاملاً تصادفی، با چهار تکرار و هر تکرار دو بوته در نظر گرفته شد. برای ارزیابی تیمارها، در مجموع پنج برگ مرکب (compound leaf) از هر بوته انتخاب و نشانه‌گذاری شد. بیماری‌زایی به روش محلول‌پاشی با $۱۰^{۵}$ × ۱ اسپور زنده در هر میلی لیتر از زادمایه قارچ *A. solani* (اهدائی آقای دکتر یوبرت قوستا استاد دانشگاه ارومیه)، با استفاده از آب‌پاش دستی در دو مرحله و با فاصله ۱۵ روز در مرحله میوه‌دهی گیاه صورت گرفت. برای تکثیر قارچ از قطعات کوچکی از پرگنه ۱۰ روزه در تشتک‌های حاوی محیط کشت سیب‌زمینی-هویج-آگار (PCA) کشت داده و به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۱ درجه سلسیوس نگهداری شد. برای تهیه زادمایه، حدود ۱۰ میلی لیتر آب مقطر سترون حاوی توئین ۲۰ (Tween 20, Sigma-Aldrich) با غلظت نهایی ۰/۰۱ درصد به تشتک حاوی پرگنه قارچ اضافه و سطح پرگنه با استفاده از اسکالپل به آرامی خراش داده شد. سپس با استفاده از لام هماسیتومتر (hemocytometer) محلول حاوی $۱۰^{۵}$ × ۱ اسپور در میلی لیتر به مقدار کافی تهیه شد. بوته‌های گوجه‌فرنگی سالم و دارای۱۰-۸ برگ مرکب با ارتفاع تقریباً یکسان انتخاب و با ۱۰ میلی لیتر از محلول حاوی $۱۰^{۵}$ × ۱ اسپور از جدایه انتخابی در دو مرحله با فاصله ۲۴ ساعت محلول‌پاشی شد. تیمار شاهد با آب مقطر سترون محلول پاشی شد. برای استقرار عامل بیماری، بوته‌های تیمار شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۳-۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۸۰ درصد در شرایط گلخانه نگهداری شدند (Foolad *et al.* 2000). همزمان با استقرار عامل بیماری، سم‌پاشی‌ها در سه نوبت با فاصله زمانی هفت روز در گلخانه البرز انجام شد. ارزیابی و آماربرداری از علایم بیماری لکه‌موجی روی برگ یک روز قبل از هر سم پاشی و در مجموع چهار بار انجام شد. ارزیابی بیماری با استفاده از مقیاس به شرح جدول ۲ و براساس سطح پوشش برگ‌ها با علایم بیماری و به صورت بصری صورت گرفت (Chaerani *et al.* 2007).

شاخص شدت بیماری (disease severity index, DSI) برای هر نوبت ارزیابی و مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری

(area under the disease progress curve, AUDPC) با استفاده از میانگین شدت بیماری با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

جدول ۲. مقیاس نمره دهی بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی (Chaerani *et al.* 2007).

Table 2. Rating system for early blight disease (Chaerani *et al.* 2007).

Rating	Percentage of plant cover by disease
0	0
1	≤10
2	11-25
3	26-50
4	51-75
5	≥76

داده‌های محاسبه شده پس از آزمون نرمال، با استفاده از رابطه ۳ تبدیل داده و در نرم‌افزار (Statistical Analysis System, SAS version 9.4) تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون توکی (Tukey's Honestly Significant Difference) انجام شد. در نهایت کارایی تیمارها در مقایسه با شاهد و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه ۱. شاخص شدت بیماری (Wheeler 1969).

$$DSI\ (\%) = \frac{\sum(Class\ frequency \times score\ of\ rating\ class)}{(total\ number\ of\ observations) \times (maximal\ disease\ index)} \times 100$$

رابطه ۲. مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری (Campbell & Madden 1990):

$$\mathrm{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{yi + yi + 1}{2}\right)(ti + 1 - ti)$$

در این رابطه n تعداد دفعات ارزیابی، i نوبت ارزیابی، yi و ti به ترتیب میانگین شدت بیماری و زمان در ارزیابی قبلی، yi+1 و ti+1 به ترتیب میانگین شدت بیماری و زمان در ارزیابی حاضر هستند.

رابطه ۳. تبدیل داده‌ها:

$$X = \sqrt{x + 0.5}$$

در این رابطه x میانگین تیمار (داده اصلی) و X داده تبدیل شده است.

رابطه ۴. اثربخشی (efficacy) تیمارها:

$$ef = 100 - \left(\frac{\bar{x}t}{\bar{x}c} \times 100\right)$$

در این رابطه ef اثربخشی تیمار، $\bar{x}t$ میانگین تیمار و $\overline{xc}$ میانگین شاهد است.

نتایج

کارایی قارچ کش‌ها در کنترل بیماری لکه‌موجی

با توجه به متفاوت بودن زمان، روش کشت و مولفه‌های مراحل داشت، تجزیه واریانس داده‌ها برای هر منطقه بطور مجزا انجام شد و نتایج به تفکیک مناطق اجرا به شرح زیر است:

استان البرز در شرایط گلخانه

تجزیه داده‌های مربوط به شاخص شدت بیماری در چهار مرحله ارزیابی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نشان داد که تیمارهای آزمایشی در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به شاخص شدت بیماری (DSI) لکه‌موجی گوجه‌فرنگی در مرحله ارزیابی اول نشان داد، همه قارچ‌کش‌ها با شدت بیماری کمتر از تیمار شاهد بودند و همگی در گروه آماری a قرار گرفتند (جدول ۴). در مرحله دوم ارزیابی نیز تیمار شاهد بیشترین شدت بیماری را داشت و کمترین شدت بیماری مربوط به تیمارهای آفیانس ۷۵۰، آفیانس ۶۰۰، داگونیس ۱۲۰۰ میلی لیتر و سیگنوم ۵۰۰ گرم در هکتار بود و تیمار مربوط به قارچ کریال استار با غلظت‌های ۷۰۰ و ۵۵۰ میلی لیتر در هکتار به ترتیب با شدت‌های ۲۵ و ۲۶ در گروه آماری bc جای گرفتند. مشابه این نتایج در سومین مرحله ارزیابی حاصل شد. به‌طوری که سه تیمار مذکور با کمترین شدت بیماری در گروه آماری a و کریال استار با مقدار ۷۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در گروه bc قرار گرفت (جدول ۴). با توجه به نتایج چهارمین ارزیابی، کمترین شاخص شدت بیماری مربوط به قارچ‌کش آفیانس ۷۵۰ (گروه a) و سپس سیگنوم و آفیانس ۶۰۰ (گروه ab) و پس از آن داگونیس ۱۲۰۰ و آفیانس ۴۵۰ میلی‌لیتر در هکتار بود. قارچ‌کش‌های کریال استار ۷۰۰ و داگونیس ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در هکتار به اتفاق در گروه آماری cd جای گرفتند (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس شاخص شدت بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در آزمایشات البرز (در شرایط گلخانه)، فارس و هرمزگان.

Table 3. Analysis of variance of DSI and AUDPC in Alborz, Fars and Hormozgan provinces experiments.

Place	Source	df	DSI 1		DSI 2		DSI 3		DSI 4		AUDPC	
			MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
Alborz	treat	10	1.55	8.39**	568.29	32.65**	947.85	31.97**	1486.40	50.67**	6.70	46.62**
	error	30	0.24		17.41		29.64		29.33		0.14	
	C.V.%		13.26		19.44		18.26		14.25		6.96	
Fars	block	3	0.04	0.61 ns	10.18	0.85 ns	18.78	1.37 ns	10.06	1.66 ns	0.02	0.49 ns
	treat	10	0.03	0.47 ns	472.65	39.23**	732.07	53.35**	787.05	129.86**	2.95	68.17**
	error	30	0.06		12.5		13.72		6.06		0.04	
	C.V.%		5.95		7.85		6.65		4.02		2.50	
Hormozgan	block	3	0.53	2.6 ns	37.21	3.82*	12.61	0.75 ns	16.84	1.28 ns	0.12	1.66 ns
	treat	10	0.09	0.47 ns	465.89	47.81**	948.07	56.19**	1864.65	142.18**	5.05	67.67**
	error	30	0.20		9.74		16.87		13.11		0.07	
	C.V.%		11.10		13.26		12.55		8.79		5.43	

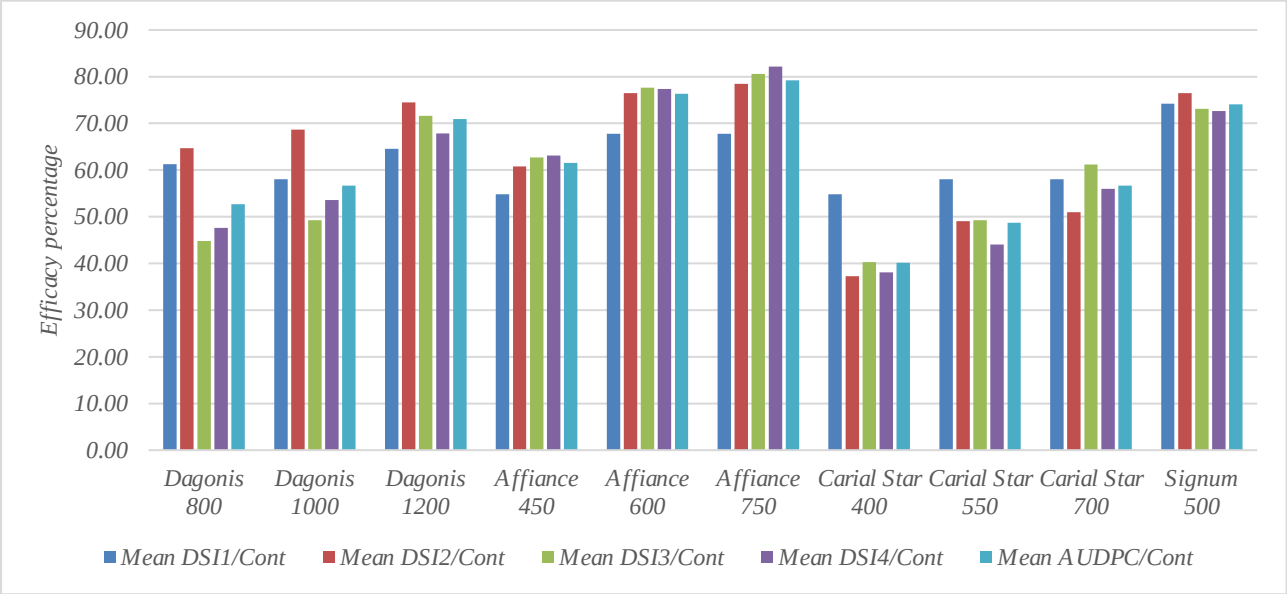
DSI: Disease severity index, AUDPC: Area under disease progress curve, MS: Mean of square, df: Degree of freedom, **: Significant differences at the 99% confidence level, ns: Not significant

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های شاخص شدت بیماری (۴-۱) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در استان البرز (شرایط گلخانه).

Table 4. Mean comparison of disease severity index (DSI 1-4) and area under the disease curve (AUDPC) in Alborz province (greenhouse condition).

Treatments	DSI 1	DSI 2	DSI 3	DSI 4	AUDPC
Control (water)	31.0±3.8 ^{b}	51.0±6.0 ^{d}	67.0±10.0 ^{d}	84.0±7.3 ^{f}	70.0±6.0 ^{e}
Affiance 450 ml/h	14.0±4.0 ^{a}	20.0±0.0 ^{ab}	25.0±6.0 ^{ab}	31.0±6.0 ^{bc}	27.0±3.3 ^{bc}
Affiance 600 ml/h	10.0±2.3 ^{a}	12.0±3.2 ^{a}	15.0±6.8 ^{a}	19.0±3.8 ^{ab}	16.6±4.3 ^{a}
Affiance 750 ml/h	10.0±4.0 ^{a}	11.0±3.8 ^{a}	13.0±3.8 ^{a}	15.0±2.0 ^{a}	14.6±3.8 ^{a}
Dagonis 800 ml/h	12.0±4.6 ^{a}	18.0±2.3 ^{ab}	37.0±2.0 ^{bc}	44.0±6.5 ^{de}	33.2±3.3 ^{cd}
Dagonis 1000 ml/h	13.0±2.0 ^{a}	16.0±3.2 ^{ab}	34.0±2.3 ^{bc}	39.0±3.8 ^{cd}	30.4±2.5 ^{bc}
Dagonis 1200 ml/h	11.0±3.8 ^{a}	13.0±3.8 ^{a}	19.0±2.0 ^{a}	27.0±2.0 ^{bc}	20.4±3.2 ^{ab}
Carial Star 400 ml/h	14.0±2.3 ^{a}	32.0±3.3 ^{c}	40.0±4.6 ^{c}	52.0±3.3 ^{e}	42.0±3.0 ^{d}
Carial Star 550 ml/h	13.0±3.8 ^{a}	26.0±6.9 ^{bc}	34.0±5.1 ^{bc}	47.0±7.5 ^{de}	36.0±5.8 ^{cd}
Carial Star 700 ml/h	13.0±2.0 ^{a}	25.0±5.0 ^{bc}	26.0±6.9 ^{ab}	37.0±8.9 ^{cd}	30.4±5.9 ^{bc}
*Signum 500 g/h	8.0±3.3 ^{a}	12.0±3.3 ^{a}	18.0±2.3 ^{a}	23.0±3.8 ^{ab}	18.2±1.6 a

The means with at least one same letter are not significant (Tukey test at 5%), the values after the means are the standard deviation, *reference fungicide.



شکل ۱. درصد کارایی قارچ‌کش‌ها در چهار مرحله ارزیابی و سطح زیر منحنی بیماری در البرز. کارایی ها در مقایسه با شاهد انجام شده است.

Figure 1. Fungicide efficacy percentages in DSI1 to DSI4 and AUDPC in the Alborz province, Efficacy has been compared to the control.

مقایسه میانگین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نشان داد که کمترین سطح زیر منحنی مربوط به قارچ‌کش‌های آفیانس ۷۵۰ و ۶۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و سیگنوم ۵۰۰ گرم در هکتار است. تیمارهای داگونیس ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در گروه آماری ab و قارچ‌کش‌های کریال استار، آفیانس و داگونیس به ترتیب با مقادیر ۷۰۰، ۴۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در گروه آماری bc قرار گرفتند (جدول ۴).

بر اساس مقایسه میانگین‌های شاخص‌های شدت بیماری مراحل مختلف و میانگین‌های سطح زیر منحنی بیماری با تیمار شاهد، درصد کارائی قارچ‌کش‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که قارچ‌کش آفیانس با غلظت‌های ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی لیتر در هکتار قادر به کاهش شدت بیماری در محدوده ۶۸ تا ۸۲ درصد در چهار دوره ارزیابی بودند و سطح زیر منحنی بیماری را به ترتیب ۷۶ و ۷۹ درصد نسبت به شاهد کاهش دهند (شکل ۱). قارچ‌کش داگونیس با غلظت ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در مراحل ارزیابی یک تا چهار موجب کاهش به ترتیب ۶۴/۵، ۷۴/۵، ۷۱/۶ و ۶۷/۹ درصد بیماری شد. همچنین این تیمار سطح زیر منحنی بیماری را ۷۰/۹ درصد کاهش داد. ولی در غلظت‌های پائین‌تر بازدارندگی کمتری را داشت (شکل ۱). بالاترین دوز مصرف قارچ‌کش کریال استار (۷۰۰ میلی لیتر در هکتار) در مراحل ارزیابی یک تا چهار شدت بیماری را به

ترتیب ۵۸، ۵۱، ۶۱/۲ و ۵۵/۹ درصد و سطح زیر منحنی بیماری را ۵۶/۷ درصد کاهش داد (شکل ۱).

استان فارس در شرایط مزرعه

تجزیه داده‌های مربوط به شاخص شدت بیماری در چهار مرحله ارزیابی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نشان داد که تیمارهای آزمایشی در مرحله اول ارزیابی اختلاف آماری ندارند ولی داده‌های ارزیابی‌های دوم، سوم و چهارم و سطح زیر منحنی، در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۳).

براساس مقایسه میانگین‌های شاخص شدت بیماری (DSI) در مرحله دوم، تیمار شاهد با شدت بیماری ۷۰ با بیشترین درصد بیماری، در گروه آماری e و قارچ‌کش‌های آفیانس ۶۰۰ و ۷۵۰ و داگونیس۱۲۰۰ میلی لیتر در هکتار با کمترین شدت بیماری در در گروه آماری a جای گرفتند. قارچ‌کش‌های کریال استار ۷۰۰، داگونیس ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و سیگنوم با مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار در گروه آماری ab و پس از تیمارهای مذکور گروه‌بندی شدند (جدول ۵). مرحله سوم ارزیابی نشان داد که تیمار شاهد با بیشترین شدت بیماری در گروه آماری d و تیمارهای آفیانس ۷۵۰ و داگونیس ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار، کمترین شدت بیماری را داشتند. قارچ‌کش آفیانس و کریال‌استار به ترتیب با مقادیر ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی لیتر در هکتار و سیگنوم ۵۰۰ گرم در هکتار در گروه آماری بعد قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی آفیانس ۷۵۰، سیگنوم ۵۰۰ با کمترین شدت بیماری در گروه آماری a و پس از آن قارچ‌کش‌های آفیانس ۶۰۰، کریال استار ۷۰۰ و داگونیس ۱۲۰۰ با هم در گروه آماری ab جای گرفتند (جدول ۵).

مقایسه میانگین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نشان داد که کمترین سطح زیر منحنی مربوط به قارچ‌کش آفیانس ۷۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و پس از آن قارچ‌کش‌های آفیانس ۶۰۰، سیگنوم ۵۰۰، داگونیس ۱۲۰۰ و کریال استار ۷۰۰ میلی لیتر در هکتار در گروه آماری ab قرار گرفتند. بیشترین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری مربوط به تیمار شاهد بود و در گروه آماری f جای گرفت (جدول ۵).

محاسبه کارائی قارچ‌کش‌ها در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد که قارچ‌کش آفیانس با غلظت‌های ۷۵۰ و ۶۰۰ میلی‌لیتر در هکتار قادر به کاهش شدت بیماری در محدوده ۶۹ تا ۷۷ درصد در سه دوره ارزیابی بود. این قارچ‌کش‌ها سطح زیر منحنی بیماری را به ترتیب ۷۴/۵ تا ۷۵/۹ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۲). قارچ‌کش داگونیس با مقدار ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار، بیشترین کارایی را در بین دوزهای مورد آزمایش این قارچ‌کش داشت بطوری‌که در مراحل ارزیابی دو تا چهار موجب کاهش حداقل ۵۷/۷ و حداکثر ۶۴/۶ درصدی بیماری شد. این دوز از قارچ‌کش سطح زیر منحنی بیماری را ۶۰/۳ در صد کاهش داد (شکل ۲). قارچ‌کش کریال‌استار ۷۰۰ میلی لیتر در هکتار در مراحل ارزیابی دو تا چهار توانست شدت بیماری را به ترتیب ۳۹/۶، ۵۹/۲ و ۵۳/۳ درصد و سطح زیر منحنی بیماری را ۵۳/۹ درصد کاهش دهد (شکل ۲).

استان هرمزگان در شرایط مزرعه

مقایسه داده‌های شدت بیماری (DSI) لکه‌موجی گوجه‌فرنگی در اولین مرحله ارزیابی معنی‌دار نبوده و همه تیمارها در یک گروه قرار گرفتند ولی در مراحل بعدی، تیمارها از نظر آماری در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۳). در ارزیابی دوم تیمارهای آزمایشی در چهار گروه آماری جای گرفتند. کمترین شدت بیماری مربوط به قارچ‌کش‌های آفیانس با دوزهای ۶۰۰ و ۷۵۰، داگونیس با دوزهای ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی لیتر در هکتار و سیگنوم بود. تیمارهای کریال‌استار با دوزهای ۵۵۰ و ۷۰۰ باهم در گروه آماری b و پس از تیمارهای برتر گروه‌بندی شدند (جدول ۶). در سومین مرحله ارزیابی، تیمار شاهد با بیشترین شدت بیماری (۷۱ درصد) به تنهایی در گروه آماری e و کمترین شدت بیماری ۱۷ و ۱۸ و ۲۰ درصد به ترتیب مربوط به تیمارهای آفیانس ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی لیتر و سیگنوم ۵۰۰ گرم درهکتار بود (گروه آماری a). تیمار قارچ‌کش کریال‌استار با دوز ۷۰۰ میلی لیتر در هکتار با شدت ۲۹ درصد در گروه آماری bc جای گرفت. مقایسه میانگین‌های چهارمین مرحله ارزیابی نشان داد که همه دوزهای آفیانس و سیگنوم با کمترین شدت بیماری به گروه آماری a متعلق بوده و پس از آن‌ها داگونیس با دوزهای ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در گروه آماری b جای گرفتند. قارچ‌کش کریال‌استار با مقدار ۷۰۰ میلی لیتر در گروه آماری bc قرار گرفت (جدول ۶).

مقایسه میانگین‌های سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نشان داد که کمترین سطح زیر منحنی مربوط به قارچ‌کش‌های آفیانس ۶۰۰ و آفیانس ۷۵۰ میلی لیتر و سیگنوم ۵۰۰ گرم در هکتار بود و پس از آن‌ها داگونیس ۱۲۰۰ میلی لیتر در هکتاردر گروه آماری مجزا قرارگرفت. قارچ‌کش‌های کریال‌استار ۷۰۰، آفیانس ۴۵۰ و داگونیس ۱۰۰۰ میلی لیتر در هکتار به اتفاق در گروه آماری cd جای گرفتند. بیشترین سطح زیر

منحنی پیشرفت بیماری مربوط به تیمار شاهد بود و در گروه آماری f قرار گرفت (جدول ۶).

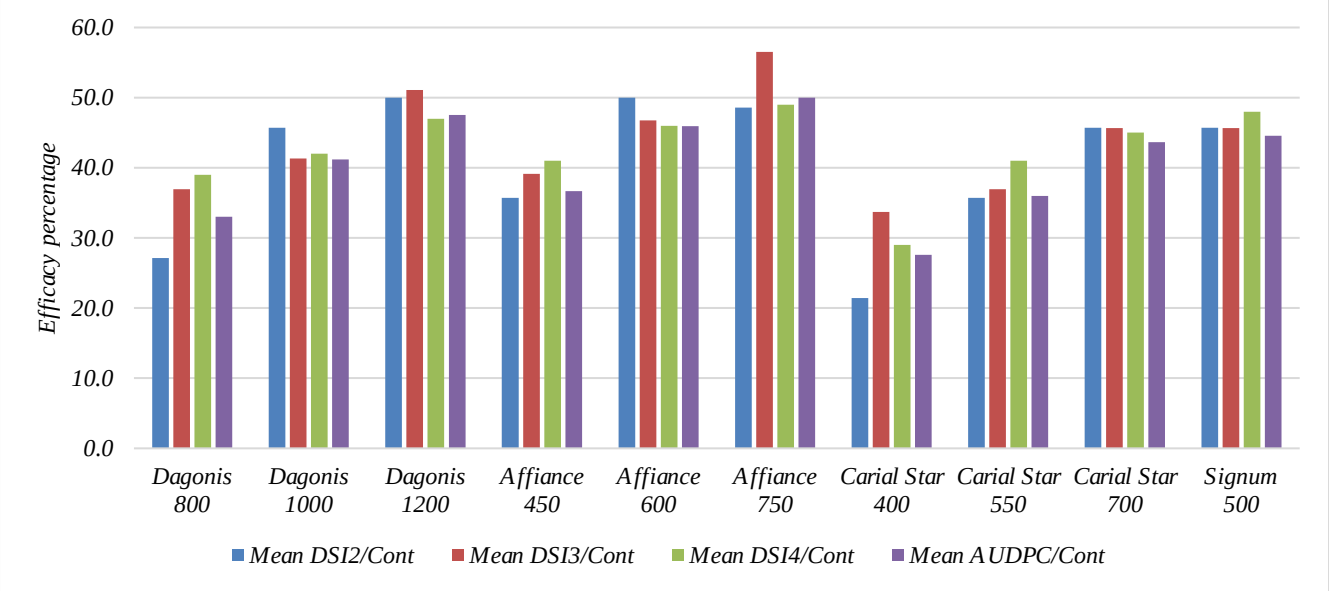
بر اساس محاسبات کارائی قارچ‌کش‌ها مشخص شد که قارچ‌کش آفیانس با مقادیر ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی لیتر در هکتار، بیماری را در محدوده ۶۷/۸ تا ۷۹/۳ درصد در سه دوره ارزیابی و همچنین سطح زیر منحنی بیماری را به ترتیب ۷۴/۵ و ۷۵/۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳). در ادامه، قارچ‌کش داگونیس با غلظت ۱۲۰۰ میلی لیتر در هکتار بیشترین کارایی را در بین دوزهای مورد آزمایش این قارچ‌کش داشت بطوری‌که در مراحل ارزیابی دوم تا چهارم موجب کاهش به ترتیب ۶۴/۵، ۵۷/۷ و ۶۲ درصدی شدت بیماری و ۶۰/۳ درصدی سطح زیر منحنی بیماری نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳). بالاترین غلظت قارچ‌کش کریال استار (۷۰۰ میلی لیتر در هکتار) در مراحل ارزیابی دوم تا چهارم، شدت بیماری را به ترتیب ۳۹/۶، ۵۹/۲ و ۵۳/۳ درصد و سطح زیر منحنی بیماری را ۵۳/۹ درصد کاهش داد (شکل ۳).

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های شاخص شدت بیماری (۴-۲) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در استان فارس (شرایط مزرعه).

Table 4. Mean comparison of disease severity index (DSI 2-4) and area under the disease curve (AUDPC) in Fars province (field condition).

Treatments	DSI 2	DSI 3	DSI 4	AUDPC
Control (water)	70.0±2.3 ^{e}	92.0±3.2 ^{d}	100.0±0.0 ^{e}	111.0±1.3 ^{f}
Affiance 450 ml/h	45.0±5.0 ^{bc}	56.0±4.6 ^{bc}	59.0±2.0 ^{bc}	70.0±2.8 ^{cd}
Affiance 600 ml/h	35.0±2.0 ^{a}	49.0±3.8 ^{ab}	54.0±2.3 ^{ab}	59.7±2.3 ^{ab}
Affiance 750 ml/h	36.0±3.2 ^{a}	40.0±3.2 ^{a}	51.0±2.0 ^{a}	55.2±3.3 ^{a}
Dagonis 800 ml/h	51.0±2.0 ^{cd}	58.0±2.3 ^{bc}	61.0±2.0 ^{c}	74.0±2.4 ^{de}
Dagonis 1000 ml/h	38.0±4.0 ^{ab}	54.0±5.1 ^{bc}	58.0±4.0 ^{bc}	65.0±5.4 ^{bc}
Dagonis 1200 ml/h	35.0±5.0 ^{a}	45.0±5.0 ^{a}	53.0±2.0 ^{ab}	58.0±4.9 ^{ab}
Carial Star 400 ml/h	55.0±2.0 ^{d}	61.0±2.0 ^{c}	71.0±2.0 ^{d}	80.0±2.1 ^{e}
Carial Star 550 ml/h	45.0±3.8 ^{bc}	58.0±2.3 ^{bc}	59.0±2.0 ^{bc}	70.7±2.7 ^{cd}
Carial Star 700 ml/h	38.0±4.0 ^{ab}	50.0±5.1 ^{b}	55.0±3.8 ^{bc}	62.2±3.8 ^{ab}
*Signum 500 g/h	38.0±2.3 ^{ab}	50.0±2.3 ^{ab}	52.0±3.2 ^{a}	61.2±1.3 ^{ab}

The means with at least one same letter are not significant (Tukey test at 5%), the values after the means are the standard deviation, *reference fungicide.



شکل ۲. درصد کارایی قارچ‌کش‌ها در سه مرحله ارزیابی و سطح زیر منحنی بیماری در فارس، کارایی‌ها در مقایسه با شاهد انجام شده است.

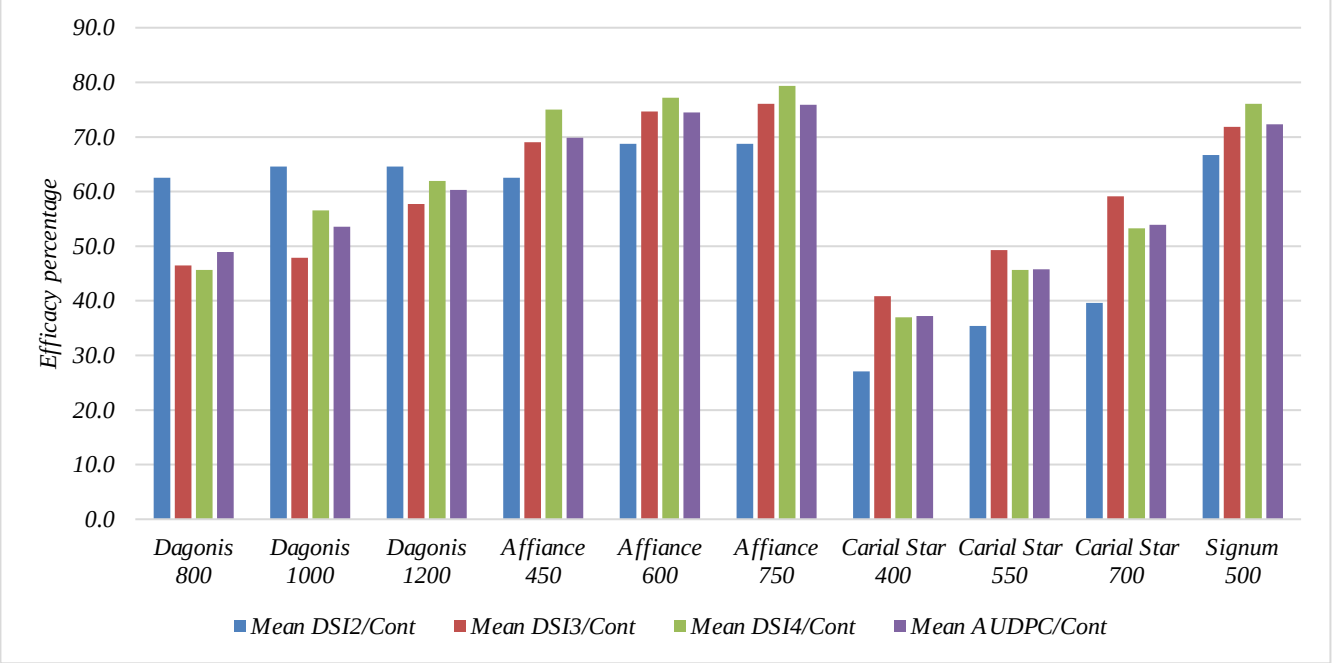
Figure 2. Fungicide efficacy percentages of DSI2 to DSI4 and AUDPC in the Fars province, Efficacy has been compared to the control

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های شاخص شدت بیماری (۴-۲) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در استان هرمزگان (شرایط مزرعه).

Table 4. Mean comparison of disease severity index (DSI 2-4) and area under the disease curve (AUDPC) in Hormozgan province (field condition).

Treatments	DSI 2	DSI 3	DSI 4	AUDPC
Control (water)	48.0±4.6 ^{d}	71.0±3.8 ^{e}	92.0±3.2 ^{e}	56.4±2.5 ^{f}
Affiance 450 ml/h	18.0±2.3 ^{a}	22.0±4.0 ^{ab}	23.0±6.0 ^{a}	17.0±2.5 ^{ab}
Affiance 600 ml/h	15.0±5.1 ^{a}	18.0±6.9 ^{a}	21.0±2.0 ^{a}	14.4±3.7 ^{a}
Affiance 750 ml/h	15.0±2.0 ^{a}	17.0±3.8 ^{a}	19.0±2.0 ^{a}	13.6±2.2 ^{a}
Dagonis 800 ml/h	18.0±2.3 ^{a}	38.0±2.3 ^{cd}	50.0±2.3 ^{cd}	28.8±1.8 ^{d}
Dagonis 1000 ml/h	17.0±2.0 ^{a}	37.0±2.2 ^{cd}	40.0±5.6 ^{b}	26.2±2.3 ^{cd}
Dagonis 1200 ml/h	17.0±3.8 ^{a}	30.0±5.1 ^{bc}	35.0±2.0 ^{b}	22.4±3.1 ^{bc}
Carial Star 400 ml/h	35.0±2.0 ^{c}	42.0±5.1 ^{d}	58.0±5.1 ^{d}	35.4±2.8 ^{e}
Carial Star 550 ml/h	31.0±5.0 ^{b}	36.0±3.2 ^{cd}	50.0±2.3 ^{cd}	30.6±2.1 ^{de}
Carial Star 700 ml/h	29.0±3.8 ^{b}	29.0±3.8 ^{bc}	43.0±3.7 ^{bc}	26.0±2.9 ^{cd}
*Signum 500 g/h	16.0±3.2 ^{a}	20.0±0.0 ^{a}	22.0±2.3 ^{a}	15.6±0.8 ^{a}

The means with at least one same letter are not significant (Tukey test at 5%), the values after the means are the standard deviation, *reference fungicide.



شکل ۳. درصد کارایی قارچ‌کش‌ها در سه مرحله ارزیابی و سطح زیر منحنی بیماری در هرمزگان، کارایی‌ها در مقایسه با شاهد انجام شده است.

Figure 3. Fungicide efficacy percentages of DSI2 to DSI4 and AUDPC in the Hormozgan province, Efficacy has been compared to the control.

بحث

بیماری لکه‌موجی از مهمترین بیماری‌های هوابرد (airborne) گوجه‌فرنگی است. کنترل شیمیایی یکی از کاربردی‌ترین روش‌های معمول در مدیریت این بیماری بوده و مستلزم کاربردهای متعدد و هدف مند قارچ‌کش‌ها است. در میان قارچ‌کش‌های ثبت‌شده، مهارکننده‌های تنفسی مانند مهارکننده‌های بیرونی کوئینون (QoIs) و مهارکننده‌های سوکسینات دهیدروژناز (SDHIs) نقش کلیدی در مدیریت این بیماری دارند. همچنین، مهارکننده‌های دمتیلاسیون (DMIs) در سال‌های اخیر برای کنترل بیماری ثبت شده‌اند (Derpmann & Mehl 2019).

در این پژوهش، کارایی و تعیین موثرترین دوز قارچ‌کش‌های فلوکساپیروکساد + دیفنوکونازول (داگونیس® SC 12.5%)، تتراکونازول + آزوکسی‌استروبین (آفیانس® SC 17%) و ماندی‌پروپامید + دیفنوکونازول (کریال‌استار® SC 50%) برای کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. بطور کلی نتایج نشان داد که قارچ‌کش داگونیس با مواد موثر فلوکساپیروکساد و دیفنوکونازول شدت بیماری لکه‌موجی

گوجه‌فرنگی را در شرایط گلخانه و مزرعه با مقدار مصرف ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کنترل می‌کند. در تحقیق مشابه، نتایج ارزیابی اثر چند قارچ‌کش در کنترل بیماری لکه موجی گوجه فرنگی نشان که قارچ‌کش آماده مصرف فلوکساپیروکساد+پیراکلواستروبین کنترل متوسطی (حدود ۴۲٪) در مقایسه با سایر قارچ‌کش‌ها داشت (Dhaval *et al.* 2023). Delpero *et al.* (2018) اثر بخشی قارچ‌کش داگونیس را در کنترل بیماری سفیدک پودری خربزه و سفیدک پودری و لکه موجی گوجه‌فرنگی در ایتالیا بررسی کردند. نتایج نشان داد که مخلوط فرموله شده فلوکساپیروکساد و دیفنوکونازول به میزان ۰/۶ لیتر در هکتار برای کنترل سفیدک پودری خربزه و یک لیتر در هکتار در کنترل بیماری‌های سفیدک پودری و لکه موجی گوجه فرنگی، اثربخشی بالایی داشت و ترکیب این دو جزء احتمال بروز مقاومت در قارچ عامل بیماری را به حداقل می‌رساند.

براساس نتایج تحقیق حاضر قارچ‌کش آفیانس با دوز مصرف ۶۰۰ و ۷۵۰ میلی‌لیتر در هکتار، ۶۶ تا ۸۲ درصد کارائی داشت که در مقایسه با دیگر قارچ‌کش‌ها اثربخشی بیشتری نشان داد. نتایج حاضر با نتایج Palaiah *et al.* (2020) مطابقت دارد، بطوری که قارچ‌کش‌های آزوکسی استروبین به تنهائی و در ترکیب با تبوکونازول بیشترین تاثیر را در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی داشت. علاوه بر این، اثربخشی قارچ‌کش‌های آزوکسی‌استروبین و کلروتالونیل در کنترل لکه‌موجی گوجه فرنگی نشان داده و برتری آزوکسی‌استروبین نسبت به کلروتالونیل شده است. این قارچ‌کش متشکل از دو جزء، تتراکونازول و آزوکسی‌استروبین است که به ترتیب در گروه‌های سه و ۱۱ FRAC قرار دارند و به دلیل خطر زیاد وقوع مقاومت به آزوکسی‌استروبین در گونه‌های متعلق به جنس آلترناریا، سم‌پاشی با این ترکیب بیش از دو بار در یک فصل زراعی پیشنهاد نمی‌شود (Nieto-Lopez *et al.* 2003).

نتایج این تحقیق نشان دهنده تاثیر نسبتاً کم کریال‌استار در کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی در مقایسه با دیگر قارچ‌کش‌های مورد آزمایش است. بطوری که کارایی این قارچ‌کش در مناطق مختلف حدود ۵۱ تا ۶۱ درصد برآورد شد. علت این امر را به اجزاء و مقدار مواد موثر آن می‌توان نسبت داد. کریال‌استار® SC 500 متشکل از ۲۵۰ گرم در لیتر از هریک از قارچ‌کش‌های ماندی‌پروپامید و دیفنوکونازول است. قارچ‌کش ماندی‌پروپامید از گروه شیمیایی ماندلیک اسید آمیدها است و نقش عمده آن، ممانعت از تشکیل دیواره سلولی در شبه قارچ‌های متعلق به خانواده Pythiaceae است (Anonymous 2023). دیفنوکونازول، جزء دوم این قارچ‌کش، از گروه شیمیایی تریازول‌ها با دامنه وسیع در کنترل قارچ‌ها می‌باشد که قادر به کنترل آلترناریا است. مطالعات نشان داده است که کاهش سرعت رشد و جوانه‌زنی اسپور آلترناریا ناشی از اثر دیفنوکونازول است، زیرا نحوه عملکرد بیوشیمیایی ماندی‌پروپامید، مهار فرآیند سلولز است (Blum *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2021). شبه قارچ‌های اُامیست از جمله *Phytophthora infestans* دارای دیواره سلولی متشکل از سلولز هستند، در حالی که گونه‌های مربوط به آلترناریا دارای دیواره های سلولی مبتنی بر کیتین هستند. خواص دوگانه کاریال‌استار (تاثیر همزمان بر دو گروه قارچ و شبه‌قارچ) از مزایای این قارچ‌کش در کنترل همزمان بیماری‌های لکه‌موجی و سفیدک کرکی (late blight) گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی به شمار می‌آید (Landschoot *et al.* 2017). مشابه این تحقیق توسط Azimi (2014) برای کنترل بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی با استفاده از قارچ‌کش اکوویشن‌پرو (Equation Pro WG %52.5) با مواد موثر فاموکسادون (famoxadone) و سیموکسانیل (cymoxanil) انجام شد و این قارچ‌کش کارایی کمتری در مقایسه با دیگر قارچ‌کش‌ها داشت. فاموکسادون از گروه قارچ‌کش‌های QoI بوده و بر سیتوکروم C موثر است. این در حالی است که سیموکسانیل از گروه قارچ‌کش‌های سیانوآستامید (cyanoacetamide-oxime) است و نقطه اثر آن مشخص نیست و موثر در فرآیند تشکیل دیواره سلولزی در شبه‌قارچ‌های اُامیست می‌باشد (Anonymous 2023). از این رو تاثیر قارچ‌کش اکوویشن‌پرو بر کنترل بیماری لکه موجی قاطع نبوده است ولی در کنترل همزمان بیماری‌های لکه‌موجی و سفیدک کرکی کاربرد موفقیت‌آمیزی دارد.

آنچه مسلم است مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌های گیاهی در کشاورزی پایدار نقش اساسی در پیشگیری و کنترل این عوامل دارد. با توجه به تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر و تاثیر مستقیم یا غیر مستقیم آن بر میزان حساسیت ارقام گوجه‌فرنگی، میزان آلودگی به بیماری، شدت بیماری‌زایی بیمارگر و میزان کارآیی قارچ‌کش‌های رایج، بررسی کارائی قارچ‌کش‌های جدید و با نحوه اثر متفاوت را ضروری می‌نماید. به‌طور کلی ارایه برنامه مدون و کاربردی برای مدیریت بیماری‌های گوجه‌فرنگی از جمله لکه‌موجی افزایش عملکرد، کاهش هزینه‌های تولید و سلامت بهداشتی مصرف کننده را تضمین خواهد کرد. از آن‌جایی که بدون استفاده به‌هنگام از

برنامه‌های زمان‌بندی شده سم‌پاشی با قارچ‌کش‌های مؤثر امکان کنترل این بیماری وجود ندارد، به‌کارگیری قارچ‌کش‌های کم‌خطر و موثرتر برای پیش‌گیری از آلودگی و توسعه آن از اهیت فراوانی برخورداراست.

با توجه به نتایج به‌دست آمده قارچ‌کش‌های آفیانس® با مقدار ۶۰۰ میلی لیتر با در نظر گرفتن کارایی و کاهش مصرف آفتکش، داگونیس® با دوز ۱۲۰۰ میلی لیتر و سیگنوم® به مقدار ۵۰۰ گرم در هکتار از کارایی مناسبی در کنترل بیماری بیماری لکه‌موجی گوجه‌فرنگی برخوردار بوده و قابل توصیه در مدیریت این بیماری هستند. همچنین قارچ‌کش کریال‌استار® با مقدار ۷۰۰ میلی‌لیتر در هکتار علی‌رغم کنترل متوسط لکه‌موجی، با توجه به منابع معتبر قادر به کنترل همزمان این بیماری و بیماری سفیدک داخلی گوجه‌فرنگی است. لذا در راستای کاهش مصرف سموم، در مناطق با رطوبت بالا از جمله خوزستان، حاشیه خلیج فارس و کناره‌های دریای خزر و در مناطق دیگر، در مراحل اولیه بیماری قابل توصیه است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از پروژه تحقیقاتی شماره ۹۹۱۳۱۴ است که هزینه‌های آن توسط موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، شرکت‌های بازارگان‌کالا ایران، BASF آلمان و Syngenta سوئیس تامین شده است. بدین وسیله نگارندگان کمال قدردانی و تشکر را از آن‌ها دارند.

References

Anonymous, 2022. Agricultural statistics 2021. Information and Communication Technology Center, Agricultural Jihad Organization. Third volume 328 pp.

Anonymous, 2023. FRAC Code List© 2022. http://www.frac.info/publications/.

Arena M, Auteri D, Barmaz S, Bellisai G, Brancato A, *et al.*, 2018. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorothalonil. *European Food Safety Authority (EFSA) Journal* 16(1): e05126.

Chaerani R, Groenwold R, Stam P, Voorrips RE, 2007. Assessment of early blight (*Alternaria solani*) resistance in tomato using a droplet inoculation method. *Journal of General Plant Pathology* 73: 96–103.

Derpmann J, Mehl A, 2019. SDHI cross-resistance pattern of *Alternaria solani* field mutants and consequences for early blight control. *In WUR Special Report of the 17th Euro Blight Workshop*, Yok UK. 87–96.

Delpero M, Tauro G, Ronga G, 2018. Control trials with fluxapyroxad+difenoconazole on powdery mildew and early blight of tomato and melon. *Atti, Giornate Fitopatologiche, Chianciano Terme (SI), Italia*. 6-9 marzo 2: 139–145.

Dhaval P, Shete PP, Kasal YG, Dholu D, 2023. The efficacy of various fungicides against the tomato early blight (*Alternaria solani*). *Ecology, Environment & Conservation Journal* 29: 158–163.

Dillard H, Cole D, Hedges T, Turner A, Utete D, *et al.*, 1995. Early Blight of Tomatoes. *Zimbabwe. Horticultural Crops Pest Management. NYSAES, Geneva NY.* 2 pp.

Fishel FM, Dewdney MM, 2012. Fungicide Resistance Action Committee's (FRAC) Classification Scheme of Fungicides According to Mode of Action. Pesticide Information Office, Florida Cooperative Extension Service, *Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.* 7 pp., http://edis.ifas.ufl.edu.

Foolad MR, Ntahimpera N, Christ BJ, Lin GY, 2000. Comparison of field, greenhouse, and detached-leaflet evaluations of tomato germ plasm for early blight resistance. *Plant Disease* 84(9): 967–972.

Jones JB, Zitter TA, Momol TM Miller SA, 2014. Compendium of tomato diseases and pests. APS press 168 pp.

Hamidi S, Moradzadeh Eskandari M, Afzali H, Pirnia M, 2015. Effect of Various Compounds on the Control of *Alternaria solani* and *Alternaria alternata* the Causal Agents of Early Blight Disease on Potato. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 4(1): 57–66.

Hosseinmardi M, Naeimi S, Rezaee S, 2020. Biological control of early blight of tomato with epiphytic strains of Trichoderma. *Bio Control in Plant Protection* 7(2): 1–5.

Landschoot S, Vandecasteele M, Carrette J, De Baets, B, Höfte M, *et al.*, 2017. Assessing the Belgian potato *Alternaria* population for sensitivity to

fungicides with diverse modes of action. *European Journal of Plant Pathology* 148: 657–672.

Macar O, Kalefetoğlu Macar T, Yalçın E, Çavuşoğlu K, 2022. Acute multiple toxic effects of trifloxystrobin fungicide on *Allium cepa* L. *Scientific Reports* 12(1): 1–9.

Nieto-Lopez EH, Cerritos-Garcia DG, Koch Bach RA, Petkar A, Smart CD, *et al.*, 2023. Species identification and fungicide sensitivity of fungi causing Alternaria leaf blight and head rot in Cole crops in the eastern United States. *Plant Disease* 107(5): 1310–1315.

Palaiah P, Vinay JU, Vinay Kumar HD, Shiva Kumar KV, 2020. Management of early blight of tomato (*Alternaria solani*) through new generation fungicides under field condition. *International Journal of Chemical Studies* 8(1): 1193–1195.

Patil B, Sridhara S, Narayanaswamy H, Hegde V, Mishra AK, 2023. Jun Efficacy of new generation oomycete specific fungicides on life stages of *Phytophthora meadii* and field evaluation through bunch spraying system. *Crop Protection* 168, p. 106232.

Ramezani Y, Taheri P, Mamarabadi M, 2019. Identification of *Alternaria* spp. associated with tomato early blight in Iran and investigating some of their virulence factors. *Journal of Plant Pathology* 101: 647–59.

Saha P, Das S, 2012. Assessment of yield loss due to early blight (*Alternaria solani*) in tomato. *Indian Journal of Plant Protection* 40(3): 195–198.

Saleem A, El-Shahir AA, 2022. Morphological and molecular characterization of some *Alternaria* species isolated from tomato fruits concerning mycotoxin production and polyketide synthase genes. *Plants* 11(9): p, 1168.

Stammler G, Bohme F, Philippi J, Miessner S, Tegge V, 2014. Pathogenicity of *Alternaria* species on potatoes and tomatoes. *In Fourteenth Euro Blight Workshop PPO Special Report* 16: 85–96.

Wheeler RBEJ, 1969. An Introduction to Plant Diseases. *John Wiley and Sons Limited, London* 301 pp.

Wetscutt C, 2001. Plant disease. *Hand book ed. By Kluwer Academic Press Boston* 803 pp.

Zhang J, Wu Q, Zhong Y, Wang Z, He Z, *et al.*, 2021. Enantioselective bioactivity, toxicity, and degradation in vegetables and soil of chiral fungicide mandipropamid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69(45): 13416–13424.

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