مقاله علمی مروری
مجله دوفصل نامه
مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی
ISSN 2588-5073 چاپی
ISSN 2588-5081 الکترونیکی online
دوره ۱۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳
صفحه ۸۵-۷۴

Research Article
Genetic Engineering and Biosafety Journal 2024
Volume 13, Number 1, Pages: 1-9

http://gebsj.ir/

https://ecc.isc.ac/showJournal/23064

10.61186/gebsj.13.1.4

باکتریوفاژها درمانگرهای جدید بیماری‌های گیاهی

Bacteriophages are the new plant disease treatment agents

سمیه سبزعلی*[۱]، ستاره پژوه‌نیا[۲]، حمزه امیری[۳]

Somaieh Sabzali[1*], Setareh Pazhouhnia[2], Hamzeh Amiri[3]

۱- استادیار گروه زیست‌شناسی، ۳- استاد گروه زیست‌شناسی،
دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه لرستان، ایران.
۲- دکتری میکروبیولوژی، گروه سلولی‌مولکولی و میکروبیولوژی،
دانشکده علوم و فناوری‌های زیستی، دانشگاه اصفهان، ایران

1. Assistant Professor, 3. Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. PhD in Microbiology, Department of Cell and Molecular Biology & Microbiology, Faculty of Biological Science and Technology, University of Isfahan. Isfahan, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: *Corresponding Author, Email
Sabzali.s@lu.ac.ir, Sabzali.somaieh@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۲۳- تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۶/۲۹)
Received: 2024/05/02 | Accepted: 2024/09/13 | Published: 2024/09/19

چکیده

در حال حاضر، کاهش استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها و افزایش استفاده از روش‌های بیولوژیکی به منظور کنترل آفات و افزایش سلامت غذا مورد توجه همه بخش‌های جامعه، به‌ویژه آن‌هایی که در زمینه تولید مواد غذایی فعال هستند، است. مقاومت آنتی‌بیوتیکی و اثرات نامطلوب، استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی توسط مصرف‌کنندگان باعث ایجاد محدودیت‌های زیادی در استفاده از این ترکیبات شده است. به همین دلیل، توجه به استفاده از روش‌های بیولوژیکی برای کنترل آفات افزایش یافته است. باکتریوفاژها گروهی از ویروس‌ها هستند که رشد پروکاریوت‌های میزبان (باکتری‌ها) را بدون تأثیر بر یوکاریوت‌های میزبان (گیاهان و حیوانات) مهار می‌کنند. مهم‌ترین ویژگی این موجودات این است که پس از آخرین میزبان خود از چرخه خارج می‌شوند و نگرانی برای مصرف‌کننده ایجاد نمی‌کنند. این مطالعه مروری به بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه، و همچنین مزایا و معایب این روش درمانی می‌پردازد.

Abstract

Since a long time ago, preparing healthy and fresh food has been one of the most important issues facing mankind. With the advancement of technology and the increase in population, this issue has received more attention. Currently, reducing the use of antibiotics and increasing the use of biological methods in order to control pests and increase the health of food is the concern of all sections of society, especially those active in the field of food production. Antibiotic resistance and adverse effects, the use of chemical pesticides by consumers have caused many restrictions on the use of these compounds. For this reason, attention to the use of biological methods for pest control has increased. Bacteriophages are a group of viruses that inhibit the growth of prokaryotic hosts (bacteria) without affecting eukaryotic hosts (plants and animals). The most important feature of these organisms is that they are out of the cycle after their last host diesand do not cause concern for the consumer. This review study examines the studies conducted in this field, as well as the advantages and disadvantages of this treatment method.

Keywords: Antibiotic, Pathogenic bacteria, Bacteriophage, Sustainable agriculture, Biological control

رفرانس دهی این مقاله Citation

Sabzali S, Pazhouhnia S, Amiri H. (2024). Bacteriophages are the new plant disease treatment agents. Genetic Engineering and Biosafety Journal ,13 (1) :74-85.
Doi:10.61186/gebsj.13.1.4
URL: http://gebsj.ir/article-1-491-fa.html

سبزعلی س، پژوه نیا س، امیری ح. (۱۴۰۳). باکتریوفاژها درمانگرهای جدید بیماری های گیاهی. مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی. ۱۳ (۱) :۸۵-۷۴.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 13, Number 1, 2024

خلاصه

از دیرباز تهیه مواد غذایی سالم و تازه یکی از مهمترین مسائل پیش‌روی بشر بوده و با افزایش جمعیت در دهه‌های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا کاهش استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها و افزایش استفاده از روش‌های زیستی جهت کنترل آفات و افزایش سلامت موادغذایی مورد توجه تمام اقشار جامعه به‌ویژه افراد فعال در زمینه تولید غذا می‌باشد. مقاومت آنتی‌بیوتیکی و آثار سوء، استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در مصرف‌کنندگان باعث ایجاد محدودیت‌های فراوانی در استفاده از این ترکیبات شده است. از این‌رو توجهات به استفاده از روش‌های زیستی برای کنترل آفات افزایش یافته است. باکتریوفاژها دسته‌ای از ویروس‌ها هستند که باعث مهار رشد میزبان‌های پروکاریوتی (باکتری‌ها) شده بدون آنکه تأثیری بر میزبان یوکاریوتی (گیاهان و جانوران) داشته باشند. مهمترین ویژگی این موجودات این است که با ازبین‌رفتن آخرین میزبان خود نیز از چرخه خارج شده و نگرانی برای مصرف‌کنندگان ایجاد نمی‌کنند. در این مطالعه با مروری جامع به بررسی ویژگی درمانی باکتریوفاژها مزایا و شناخت بیشتر معایب فاژدرمانی در کنترل بیماری‌های گیاهی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: آنتی‌بیوتیک، باکتری بیماری‌زا، باکتریوفاژ، کشاورزی پایدار، کنترل زیستی

مقدمه
Introduction

اهمیت گیاهان و بیماری‌های گیاهی

جمعیت کره زمین به سرعت در حال افزایش است و طبق آمارها تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت کره زمین به ۹/٦ میلیارد نفر برسد، که این موضوع تهدیدی جدی برای امنیت زنجیره تامین موادغذایی است (Nations, 2015). پاسخگویی به این نیاز در طولانی مدت نیازمند ایجاد یک سیستم تولید موادغذایی پایدار با استفاده از کاهش تأثیر بیماری‌ها درکاهش محصولات گیاهی است (Sundin & Wang, 2018). بررسی‌ها نشان دهنده‌ی افزایش ۸۰ تا ۱۱۰ درصدی نیاز غذایی در آینده است (Ray et al., 2013) که با استفاده از راهکارهایی مانند افزایش سطح زیرکشت، (Mackay, 2009) افزایش عملکرد محصول با بهینه سازی دسترسی به آب، استفاده از کودها و یا کنترل عوامل بیماری‌زا این نیاز را تا حدی پاسخ داد. بیماری‌های گیاهی به وسیله‌ی انواع مختلفی از بیمارگرهای گیاهی، از جمله ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، نماتدها و اومیست‌ها ایجاد می‌شوند و می‌تواند امنیت غذای جهانی را با خطر جدی مواجه سازند (Subbarao et al., 2015).

تخمین زده می‌شود در سراسر جهان بیماری‌های گیاهی که توسط باکتری‌ها به وجود می‌آیند؛ حدود ۱۰ الی ۲۵ درصد از محصولات غذایی را از بین می‌برند (Strange & Scott, 2005) ، که علاوه بر کمبود موادغذایی،خسارت اقتصادی زیادی به دولت‌ها و کشاورزان را به همراه داشته که در نهایت منجر به افزایش قیمت محصولات کشاورزی برای مصرف کنندگان می‌شود (Czajkowski, 2016; Oerke et al., 2014). به عنوان مثال، شانکرباکتریایی (*Pseudomonas syringae* pv.) آلو و گیلاس در انگلستان، هرساله منجر به بروز خسارت ۵/٦ میلیون پوندی می‌شود (Toth et al., 2021). همچنین خسارت بیماری گرینینگ یا سبز شدن مرکبات (huanglongbing)، در ایالات متحده بالغ بر ۱ میلیارد دلار در سال تخمین زده می‌شود (Li et al., 2020).

با جهانی شدن و گسترش مراودات تجاری بین کشورهای مختلف گسترش و شیوع بیماری‌های گیاهی با عامل باکتریایی نیز افزایش یافته است. در بسیاری از موارد بیمارگرهای گیاهی می‌توانند از طریق واردات مواد گیاهی آلوده یا جابجایی حشرات ناقل آلوده، وارد کشورهای جدید شوند. آلودگی باکتریایی گیاهان می‌تواند در هر مرحله از رشد از انتخاب بذر تا کشت در مزرعه، برداشت محصول، حمل و نقل یا حتی ذخیره‌سازی اتفاق بیافتد. بیش از ۲۰۰ باکتری بیماریزای گیاهی وجود دارد (Mansfield et al., 2012) مهم‌ترین آن‌ها از جنس‌های *آگروباکتریوم*، *اروینیا*، *رالوستونیا*،

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

سودوموناس و *زانتوموناس* هستند (Buttimer et al., 2017; Sundin & Wang, 2018).

به عنوان مثال می‌توان به ورود بیمارگر *Xylella fastidiosa* (عامل سوختگی برگ) در سال ۲۰۱۲ به اروپا اشاره کرد (Janse, 2010) و یا حضور پیرس مو (عامل سوختگی برگ درختان مو) که در سال ۲۰۱۳ به اروپا رسید و ابتدا در ایتالیا و سپس در سایر نقاط اروپای جنوبی شناسایی شد (Authority et al., 2020). سایر بیماری‌های باکتریایی درختان در فهرست نظارت اتحادیه اروپا شامل: *Candidatus Liberibacter asiaticus* عامل بیماری میوه سبز مرکبات *(Huanglongbing)* و *Candidatus Phytoplasma phoenicium phoenicium* عامل بیماری جارو جادوگر هلو و بادام، *Pseudomonas avellanae* عامل ایجاد شانکر و زوال فندق و *Pseudomonas savastanoi pv. savastanoi*عامل بیماری گال باکتریایی زیتون است (Janse, 2010).

معرفی برخی از باکتری‌های بیماری‌زای مهم گیاهی

Pseudomonas savastanoi

Pseudomonas savastanoi باکتری میله‌ای گرم منفی، تاژکدار و هوازی اجباری ایجاد کننده بیماری در گیاهان چوبی است. سودوموناس باعث ایجاد لکه‌های متعدد روی برگ، سوختگی، پژمردگی عروقی، پوسیدگی نرم، شانکر و گال می‌گردد. گیاه آلوده به این باکتری در محل آلودگی رشد بیش‌ازحدی را نشان می‌دهند که به آنها گال، گره یا تومور گفته می‌شود، این تظاهرات عمدتاً در قسمت‌های هوایی گیاهان دیده می‌شود. آلودگی به باکتری *Pseudomonas savastanoi* باعث کاهش میوه‌ها و بهره‌وری درختان زیتون می‌شود و درحال حاضر درمان موثری برای آن وجود ندارد (Kalpage & De Costa, 2014) .

Erwinia amylovora

Erwinia amylovora باکتری میله‌ای گرم‌منفی بوده که باعث بروز سوختگی در سیب، گلابی و گونه‌های مختلف *Rosaceae* می‌شود. این بیماری میوه‌ها، شکوفه‌ها و شاخه‌های گیاه آلوده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلودگی پیشرفته منجر به بروز نکروز شده، نواحی آلوده را سیاه و درنهایت می‌سوزاند. *E. amylovora* اولین‌بار در دهه ۱۷۸۰ در نیویورک شناسایی شد (Denning, 1794) و با واردات مواد گیاهی به اروپا، مصر، آسیای مرکزی و اقیانوسیه و سراسر جهان گسترش یافت (Bultreys & Kaluzna, 2010). اگر باغی به این باکتری آلوده شود، کل برداشت سال آن باغ از دست می‌رود (Denning, 1794).

Xanthomonas

Xanthomonas یک جنس از باکتری‌های میله‌ای شکل، گرم منفی است، که زانتومونادین (رنگدانه زرد رنگی که به بقای اپی‌فیتیک در شدت نور بالا کمک می‌کند) را تولید می‌کند (Poplawsky et al., 2000)، بیش از ۳۵ گونه در این جنس حضور دارند که قادر به آلوده‌کردن بیش از ٤۰۰ میزبان گیاهی هستند (Timilsina et al., 2020). چندین گونه در این جنس عامل بیماری درختان هستند، که از جمله‌ی آنها می‌توان به *X. arboricola* pvs *juglandis* عامل بلایت باکتریایی گردو، *X. arboricola* pvs *corylina* عامل بلایت باکتریایی فندق، *X. arboricola* pvs *pruni* عامل نکروز پوست درخت صنوبر و *X. axonopodis* pvs *citri* عامل بروز شانکر مرکبات آسیایی اشاره کرد (Ferraz et al., 2018).

Agrobacterium tumefaciens

A. tumefaciens باکتری میله‌ای شکل، گرم منفی که منجر به ایجاد بیماری گال طوقه در گیاهان دولپه‌ای می‌شود. ادغام بخش کوچکی از ژنوم باکتری به نام T-DNA در ژنوم گیاه میزبان منجر به تشکیل تومورهایی به نام گال در ریشه و پایه ساقه می‌شود. این بیماری بیشترین آسیب را به نهالستان‌های درختی وارد می‌کند، زیرا درختان جوان بیشتر مستعد آلودگی هستند و درختان آلوده به طور معمول غیرقابل فروش می‌شوند. درختان و درختچه‌های میوه‌دار مثل درختان انگور و درختان سیب بیشتر در معرض ابتلا به این بیماری هستند (Kado, 2002).

Xylella fastidiosa

Xylella fastidiosa باکتری گرم‌منفی میله‌ای شکل هوازی که باعث ایجاد بیماری در میزبان‌های گیاهی مختلف می‌شود. بیماری پیرس انگور که منجر به سوختگی و ریزش برگ، پژمردگی میوه و کاهش رشد انگور می‌شود (Jackson, 2008) همچنین سندرم زوال سریع زیتون که علائم مشابهی را ایجاد کرده و منجر به خشکی و مرگ درخت می‌شود. بیماری سوختگی هلو، سوختگی برگ درختان

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

بلوط، سنجد، چنار و توت از دیگر بیماری‌های بوجود آمده توسط این باکتری است (Fahrenkamp-Uppenbrink, 2016).

Ralstonia solanacearum

R. solanacearum باکتری گرم منفی میله‌ای شکل دارای تاژک قطبی است که به وسیله‌ی آن در محیط حرکت می‌کند. این باکتری عمدتاً در خاک یافت می‌شود (Pires et al., 2016). گونه‌های متعددی از این باکتری در مناطق آب‌وهوایی مختلف از جمله مناطق گرمسیری، نیمه‌گرمسیری و معتدل وجود دارند. در حال حاضر به سه گونه*R. solanacearum*، *R. pseudosolanacearum* و *R. syzygii*پراکندگی جغرافیایی وسیع نشان می‌دهند و محصولات کلیدی مانند سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و بادمجان و تنباکو را آلوده می‌کنند (Safni et al., 2018). *R. solanacearum* قادر است بسیاری از گونه‌های درختی را آلوده کند (Ji et al., 2008). *R. solanacearum* و *R. pseudosolanacearum* به ترتیب باعث پژمردگی باکتریایی درختان اکالیپتوس در قاره آمریکا و آسیا و آفریقا می‌شوند (Carstensen et al., 2017). ابتلا به آلودگی توسط این باکتری‌ها در درختان ۲ تا ٤ ساله شایع‌تر است و منجر به قرمزی و پژمردگی بافت و ریزش برگ‌ها می‌شود (Coutinho & Wingfield, 2017). *R. solanacearum* عامل ایجاد پژمردگی باکتریایی در درختان در گوام است (Ayin et al., 2019). *R. syzygii*، بیشتر در جنوب شرقی آسیا دیده می‌شود. و زیرگونه‌های آن باعث بروز بیماری‌در گیاه‌های مختلفی از جمله میخک، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و فلفل می‌شوند (Polizzi et al., 2008).

درمان‌های رایج برای کنترل بیماری‌های باکتریایی گیاهی

استفاده از مواد شیمیایی و آنتی‌بیوتیک‌ها یکی از اجزای اصلی مدیریت بیماری‌های گیاهی، به ویژه برای بیماری‌های ناشی از باکتری‌ها است. متأسفانه، بیمارگرهای باکتریایی نسبت به همتایان قارچی خود مقاوم‌تر به درمان هستند. تجربه نشان داده است که عملکردهای درمانی که تنها برپایه موادشیمیایی بوده‌است، موفقیت محدودی در درمان بیماری‌ها ایجاد کرده‌است. از درمان ترکیبی آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات مبتنی بر مس برای کنترل شیمیایی بیماری‌های باکتریایی استفاده می‌شود. مس به‌عنوان یک محافظ شیمیایی برای کنترل بیماری‌های باکتریایی استفاده می‌شود؛ که این موضوع باعث افزایش مقاومت وابسته به پلاسمید و کروموزوم به مس در باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی شده است. پلاسمید مولکول DNA کوچکی‌است که به‌طور مجزا از کروموزوم در سلول وجود دارد زمانیکه باکتری وارد گیاه می‌شود، تعدادی از ژنها از پلاسمید باکتری، به گیاه منتقل شده و وارد ژنوم هسته‌ای گیاه میزبان می‌شود و می‌تواند ژن مقاومت به مس را به گیاه جدید منتقل کند. (Thayer & Stall, 1962). سال‌های زیادی است که استفاده گسترده از آفت‌کش‌های ضد میکروبی برپایه مس منجر به تجمع مس در محیط و محصولات غذایی شده که با ملاحظاتی از قبیل: اثرهای سمی روی گیاهان و تکامل بیمارگرهای گیاهی مقاوم به مس، مسمومیت ناشی از مس در انسان‌ها و حیوان‌ها که با اختلالات تولیدمثلی، کبدی، گوارشی و عصبی همراه شده است. علاوه براین در برخی گزارش‌ها افزایش مرگ‌و میر مگس *Apis mellifera* در اثر استفاده از مس و آفت‌کش‌های مبتنی بر نانوذرات مس بر روی محصولات کشاورزی دیده شده است (Abolaji et al., 2020; Nikolić et al., 2019). استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌های مس و نانوذرات اکسید مس بر روی محصولات کشاورزی مختلف مانند جو، شیرین‌بیان و کلم برگ‌چینی منجر به استرس اکسیداتیو، اختلال در رشد و جوانه‌زنی می‌شود (Richard et al., 2017).

در دهه ۱۹٤۰ و به دنبال کشف پنی‌سیلین توسط فلیمینگ استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها در درمان بیماری‌ها رواج پیدا کرد. اما در حال‌حاضر استفاده گسترده از آنتی‌بیوتیک‌ها منجر به بروز مقاومت آنتی‌بیوتیکی در باکتری‌ها به واسطه روش‌های معمول انتقال مقاومت مانند پلاسمیدها و سازوکارهای دخیل در انتقال افقی ژن‌ها شده است (Graham & Leite Jr, 2004) (Noohpisheh et al., 2020). شیوع عوامل بیماری‌زای مقاوم یکی از جدیدترین تهدیدها برای درمان موفقیت‌آمیز بیماری‌های میکروبی است (Amiri, 2007; Esmaeili et al., 2008; Mohsenzadeh et al., 2011).

بیمارگرهای گیاهی دارای مقاومت در برابر آفت‌کش‌ها، به چالش جدی در سیستم تولید کشاورزی تبدیل شده‌اند (Griffin et al., 2017). گزارش‌هایی مبنی بر مقاومت باکتری‌هایی مانند *سودوموناس*، *زانتوموناس* در برابر مس و آنتی‌بیوتیک‌ها دیده شده است (Richard et al., 2017). به‌عنوان مثال گونه‌های مقاوم به

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

استرپتومایسین باعث بروز بیماری لکه‌زایی در گوجه‌فرنگی و فلفل می‌شود. مقاومت به استرپتومایسین در باکتری‌های ایجاد کننده بیماری‌هایی مثل سوختگی سیب و گلابی نیز دیده شده است. اخیراً، استفاده از ترکیبات محافظتی مبتنی بر مس در چندین کشور ممنوع و یا محدود شده است، و استفاده از روش‌های جدید، از جمله کنترل زیستی مطرح شده است (Holtappels et al., 2021; Vu & Oh, 2020).

کنترل زیستی باکتری‌های بیماری‌زا

با در نظر گرفتن تمام اثرهای مخرب آفت‌کش‌ها بر بهره‌وری محصول، شیوع مقاومت درمیان باکتری‌های بیمارگر و اثرهای مخرب عوامل شیمیایی بر مصرف کننده‌نهایی، پیدا کردن عوامل جایگزین کنترل باکتری‌های بیمارگر گیاهی با ویژگی‌های مطلوب نیاز است. یکی از راه‌هایی که در سال‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است استفاده از ابزارها و ماشین‌آلات جدید مبتنی بر عوامل کنترل زیستی است. کنترل زیستی به معنای استفاده از موجود زنده برای کنترل و از بین‌بردن هرگونه بیمارگر و انگل گیاهان است. کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی سبب کاهش مصرف سموم شیمیایی و توسعه کشاورزی پایدار با کمترین هزینه زیست محیطی می‌شود (Malekzadeh et al., 2023). امروزه استفاده از باکتریوفاژ به عنوان یک عامل کنترل زیستی به یک زمینه پژوهشی جذاب و درحال پیشرفت برای مقابله با بیمارگرهای گیاهی تبدیل شده است.

باکتریوفاژها

باکتریوفاژها ویروس‌هایی هستند که باکتری‌ها (میزبان پروکاریوتی) را آلوده می‌کنند بدون اینکه اثر مضری روی میزبان یوکاریوتی (گیاهان و حیوان‌ها) داشته باشند (Chevallereau et al., 2016; Sabzali & Bouzari, 2021). باکتریوفاژها را می‌توان در هر زیستگاهی از خاک تا اقیانوس‌ها یافت. باکتریوفاژهای با چرخه زندگی کشنده برای انجام مطالعات و بررسی خواص ضدمیکروبی مناسب هستند (Pazhouhnia et al., 2022; Abedon, 2017).

سازوکار عمل باکتریوفاژها

جذب فاژ به سطح باکتری

آلودگی سلول‌های باکتریایی توسط فاژهای کشنده و معتدل با اتصال اندامک جذب کننده فاژ به گیرنده‌های خاص باکتری روی سطح باکتری آغاز می‌گردد. محل اتصال باکتری و ویروس متفاوت است. از اجزای سطح سلولی که می‌توانند به عنوان گیرنده فاژ عمل کنند پروتئین‌ها، لیپوپلی‌ساکاریدها در باکتری‌های گرم منفی و پپتیدوگلیکان و اسید تیکوئیک در باکتری‌های گرم‌مثبت را می‌توان، نام برد. ممکن است که دو یا چند فاژ محل گیرنده یکسانی را در یک باکتری شناسایی کنند. تعداد کمی از فاژها حتی ممکن است قادر به اتصال به دو یا چند گیرنده مختلف باشند (Lenski, 1988). در ابتدا، اندامک جذب کننده فاژ به طور برگشت پذیر به گیرنده-های باکتری متصل می‌شود. فرآیندی که منجر به نفوذ مواد ژنتیکی فاژ به داخل سلول باکتری می‌شود، درنهایت این رابطه را غیرقابل برگشت می‌کند (Goldberg, 1980).

تزریق مواد ژنتیکی فاژ به سلول‌های باکتریایی

پس از اتصال اندامک جذب کننده فاژ به گیرنده باکتری، فاژ شروع به وارد کردن مواد ژنتیکی خود به سیتوپلاسم می‌کند. این به دلیل انقباض غلاف دم رخ می‌دهد که به عنوان یک سوزن زیرپوستی عمل می‌کند تا ژنوم فاژ را به غشای سلولی و دیواره تزریق کند. فقط ماده ژنتیکی فاژ وارد باکتری می‌شود و سایر قسمت‌های فاژ (بخش ساختاری) بیرون از سلول باقی می‌ماند (Xu & Xiang, 2017).

آلودگی

این مرحله در فاژهای کشنده با فاژهای معتدل متفاوت است. در فاژهای کشنده پس از اینکه ماده ژنتیکی فاژ وارد سیتوپلاسم باکتری شد، فاژ اندونوکلئازهای کدگذاری شده با ژنوم ویروس را سنتز می‌کند تا کروموزوم باکتری را تجزیه کند. متعاقباً، ژنوم فاژ ماشین‌های متابولیک باکتری را در اختیار می‌گیرد و آن را به یک "کارخانه" برای تولید اجزای فاژ، از جمله کپسومرها، غلاف، صفحات پایه، الیاف دم و آنزیم‌های فاژ تبدیل می‌کند. هنگامی که سنتز اجزای فاژ کامل شد، آنها جمع می‌شوند تا فاژهای جدیدی به

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

نام فاژهای دختری را تشکیل دهند. سپس پروتئین‌های فاژ مانند هولین یا لیزوزیم دیواره سلولی باکتری را مختل می‌کنند تا فاژهای جدید را آزاد کرده که در نهایت سلول‌های جدید را آلوده می‌کنند (شکل-۱) (Grabowski et al., 2021).

در فاژ معتدل، پس از ورود به سیتوپلاسم باکتری، ماده ژنتیکی فاژ در کروموزوم باکتری ادغام شده و به پروفاژ تبدیل می‌شود از این مرحله به بعد باکتری را لیزوژن می‌نامند. لیزوژنی فرآیندی است که طی آن یک فاژ معتدل یک باکتری را آلوده می‌کند. در طول تولیدمثل، همانطور که باکتری کروموزوم خود را تکثیر می‌کند، DNA فاژ را نیز تکثیر کرده و آن را به سلول‌های دختر جدید منتقل می‌کند (Davies et al., 2016). وجود یک ژنوم فاژ در کروموزوم باکتری می‌تواند فنوتیپ باکتری را با معرفی ژن‌های اضافی مانند ژن‌های سم که می‌تواند ویرولانس باکتری را افزایش دهد، تغییر دهد. این تغییر در فنوتیپ میزبان "تبدیل لیزوژنیک" یا "تبدیل فاژ" نامیده می‌شود.

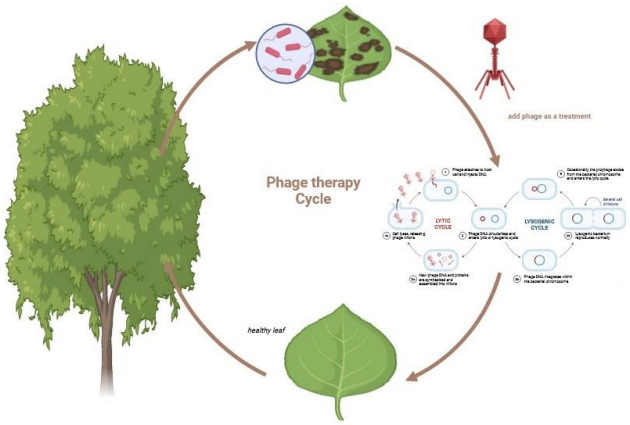
در برخی از باکتری‌ها، مانند *ویبریوکلرا* و *کلستریدیوم بوتولینیوم*، فقدان پروفاژ منجر به کاهش حدت می‌شود. فاژهایی که این باکتری‌ها را آلوده می‌کنند، ژن‌های سمی را در ژنوم خود حمل می‌کنند که در صورت بیان، بیماری‌زایی میزبان را افزایش می‌دهد. سموم کدگذاری شده با فاژ می‌توانند باعث فلج در *کلستریدیوم بوتولینوم* و اسهال شدید در *ویبریوکلرا* شوند (Kuhl et al., 2012).

در طول لیزوژنز، پروفاژ در کروموزوم باکتری باقی می‌ماند و بدون از بین بردن سلول باکتری به صورت یک واحد تکثیر می‌شود. با این حال، تحت شرایط خاصی، فاژهای لیزوژنیک را می‌توان وادار کرد تا یک چرخه لیتیک را دنبال کنند و در یک سلول تازه آلوده تحت لیزوژنی قرار گیرند (Davies et al., 2016).

مزیت‌های استفاده از باکتریوفاژها در درمان بیمارگرهای گیاهی

چندین مزیت بالقوه برای استفاده از باکتریوفاژها در کنترل بیماری وجود دارد:

۱- فاژها اجزای طبیعی بیوسفر بوده و امکان جداسازی ساده‌ی آنها از منابع مختلف از جمله خاک، آب، گیاهان، حیوان‌ها و بدن انسان وجود دارد.



شکل ۱- نمای شماتیک استفاده از باکتریوفاژها در مهار و از بین بردن بیماری-های باکتریایی گیاهان. باکتریوفاژ کشنده بعد از ورود به باکتری میزبان با استفاده از چرخه کشنده منجر به حذف و کشته شدن باکتری میزبان خود شده و از باکتری خارج شده و میزبان بعدی را آلوده می‌کند. این نحوه عملکرد تا ازبین-رفتن آخرین میزبان باکتریایی ادامه دارد.

Figure 1. Schematic view of the use of bacteriophages in the control and elimination of bacterial diseases of plants. After entering the host bacterium, the lethal bacteriophage kills the host bacterium by using the lytic cycle and leaves the bacterium and infects the next host. This mode of action continues until the last bacterial host is killed.

۲-باکتریوفاژها خودتکثیر شونده و خود محدود شونده هستند. آنها تنها تا زمانی که باکتری میزبان در محیط وجود دارد تکثیر می‌شوند، اما در غیاب آن به سرعت از بین می‌روند.

۳- باکتریوفاژها را می‌توان علیه گیرنده‌های باکتریایی که برای بیمارگری ضروری هستند، انتخاب کرد، بنابراین جهش یافته‌های مقاوم به فاژ از نظر فاکتورهای ویرولانس به‌شدت ضعیف می‌شوند.

٤- تنها یاخته‌های پروکاریوتی میزبان باکتریوفاژها هستند؛ بنابراین، می‌توان از باکتریوفاژها در شرایطی که استفاده از مواد شیمیایی به دلیل مقررات قانونی مجاز نیست مانند کنترل آفات هلو قبل ازبرداشت یا برای کنترل بیمارگرهای انسانی در محصولات تازه چیده شده استفاده کرد.

۵- فاژها دارای دامنه‌میزبانی بسیار اختصاصی هستند و فقط باکتری‌های هدف را بدون آسیب رساندن به سایر اعضای فلور مقیم، از بین می‌برند. بنابراین استفاده از باکتریوفاژها می‌تواند با استفاده از باکتری‌های آنتاگونیست برای افزایش فشار روی باکتری بیماری‌زا همراه شود.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

٦- هزینه جداسازی و آماده سازی حجم‌های بالای فاژ به طور نسبی مقرون به‌صرفه است و می‌توان آن را در دمای ٤ °C برای ماه‌ها بدون کاهش قابل توجهی در تیتر نگهداری کرد. با توجه به این نکته که فاژها درمقابل بیشتر مواد شیمیایی کشاورزی مقاوم هستند، می‌توان آنها را با بسیاری از مواد شیمیایی کشاورزی بدون کاهش قابل توجهی در تیتر مخلوط کرد (Obradovic et al., 2004; Obradovic et al., 2005).

محدودیت‌های استفاده از باکتریوفاژها

فاژدرمانی دارای عیب‌هایی نیز است که از جمله‌ی آنها می‌توان به مواردی مانند:

١- احتمال ایجاد سویه‌های باکتریایی مقاوم به فاژ، ماندگاری ضعیف یا کوتاه مدت در ریزوسفر و فیلوسفر.

٢- ناتوانی فاژها در پراکندگی یا تعامل با باکتری هدف خود در صورت کمبود رطوبت در سطح برگ؛ برای اطمینان از زمان طولانی‌تر قرار گرفتن در معرض باکتری‌های هدف، می‌توان با استفاده از فاژها در طول دوره‌هایی که رطوبت آزاد طولانی‌تر روی برگ‌ها وجود دارد، مانند هنگام بارندگی یا زمانی که شبنم روی برگ‌ها در شب و در اوایل صبح وجود دارد، مشکل را حل کرد.

٣- مشکل احتمالی بعدی در استفاده از فاژها، پاشش به طور یکنواخت روی برگ‌های درختان بزرگ است که استفاده از فاژها از طریق سیستم آوندی درختان می‌توانند این مشکل را حل کنند. علاوه بر این، این نوع کاربرد فاژ ممکن است تحویل سیستمیک فاژها را در سراسر سیستم آوندی درخت و جریان آب را تسهیل کند.

٤- غیرفعال شدن فاژها در اثر تابش اشعه ماوراء بنفش خورشید محدودیت دیگر استفاده از باکتریوفاژهاست. اشعه ماوراء بنفش می‌تواند به DNA فاژها آسیب برساند و به طور بالقوه از تکثیر DNA جلوگیری کند. برای کاهش اثرها مخرب اشعه ماوراء بنفش می‌توان فاژها را بعد از غروب آفتاب بر روی گیاه اسپری کرد (Grace et al., 2021; Jones et al., 2012).

کاربردهای گذشته باکتریوفاژها برای کنترل بیمارگرهای گیاهی

از باکتریوفاژها در تولید گیاهان تراریخته که آنزیم‌های لازم برای بقا و محافظت از بیمارگرهای باکتریایی را بیان می‌کنند استفاده شده است (Harshitha et al., 2022). در دهه گذشته، مطالعات متعددی بر روی جداسازی و شناسایی باکتریوفاژ علیه باکتری‌های ایجاد کننده بیماری‌های گیاهی انجام شده است. که می‌توان به مطالعات انجام شده بر روی بیمارگرهای گیاهی *P. syringae* اشاره کرد (Sakata et al., 2021). زائر آناقز و همکاران ٧٥ جدایه فاژی از ٥ خانواده *Myoviridae* ، *Tectividae* و *Microviridae* از ٥٦ نمونه خاک اطراف درختان میوه هسته‌دار مشکوک به شانکر باکتریایی از شمال‌غرب ایران جداسازی کرده است (Zaer Anaqz et al., 2023). Liu و همکاران کوکتل فاژی علیه این باکتری تهیه کردند که این کوکتل شامل شش باکتریوفاژ بود و تاثیر آن را بر روی بیماری سوختگی باکتریایی ترەفرنگی بررسی کردند. نتایج نشان دهنده اثر مثبت و مهاری استفاده از کوکتل فاژی بر آلودگی باکتریایی گیاه مذکور بود (Liu et al., 2021; Liu et al., 2021). از نکات مهم در انتخاب باکتریوفاژها توجه به شرایط رشد باکتری‌میزبان آنها است. به عنوان مثال باکتری *Ralstonic solanaceum* مقاوم به حرارت است و قادراست در دماهای بالا نیز فعالیت کرده و بوته‌های گوجه فرنگی را آلوده کند و منجر به پژمرده شدن گیاه شود. Sasaki و همکاران در سال ٢٠٢١ موفق به جداسازی فاژ RSL1 علیه این باکتری شده و نتایج تیمارهای انجام شده توسط این تیم نشان داد که فاژ مقاوم به دمای جداسازی شده قادر به مهار آلودگی باکتریایی در بوته‌های گوجه‌فرنگی بوده و از پژمردگی بوته‌ها جلوگیری کرده است (Sasaki et al., 2021). در مطالعه‌ی دیگری که توسط Civerolo و Keil انجام شد ده فاژ جدید علیه *Agrobacterium tumefaciens* جداسازی و شناسایی شد که قادربودند در مدت زمان ٢١ ساعت به طور کامل تومور القا شده توسط سویه‌های ویرولانس این باکتری را مهار کنند (Civerolo & Keil, 1969). نتایج مطالعات دیگری نشان داد که باکتریوفاژهای جداسازی شده علیه *Xanthomonas campestris* pv. *Pruni* قادر به کاهش بیش از ٢٩ درصد جمعیت باکتری‌ها در مدت زمان انکوباسیون یک ساعته بودند. بررسی‌های انجام شده توسط Kuo و همکاران نشان داد که فاژ جداسازی شده علیه باکتری *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

که در مقدار بالا به آب شالیزارها وارد شده بود منجر به مهار رشد این باکتری در شالیزارها شد. نتایج نشان داد که تیمار فاژی در ۱، ۳ و ۷ روز قبل از تلقیح *X. oryzae* به ترتیب ۱۰۰، ۹۶ و ۸۶ درصد باعث کاهش بروز بیماری آتشک برنج توسط این باکتری شد (Kuo et al., 1971). ساکاردی و همکاران با استفاده از اسپری دو هفته‌ای سوسپانسیون فاژ بر روی *Xanthomonas campestris* pv. *Pruni*، بروز لکه‌های میوه را در هلو کاهش دادند. برای این منظور آنها هشت فاژ کشنده علیه این بیمارگر، جداسازی و شناسایی کرده و مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که کوکتل فاژی تهیه شده باعث مهار بروز بیماری در گیاه مورد مطالعه شد (Saccardi et al., 1993). مطالعات متعددی بر روی کنترل *Erwinia amylovora*، بیمارگر باکتریایی عامل ایجاد سوختگی سیب، گلابی و تمشک با استفاده از باکتریوفاژها انجام شده است. اشنابل و همکاران از کوکتل فاژی حاوی سه فاژ برای کنترل سوختگی بر روی شکوفه‌های سیب استفاده کردند و به کاهش قابل توجه (۳۷ درصد) بیماری در گیاهان مورد مطالعه دست یافتند (Schnabel et al., 1998). گیل و همکاران (Gill et al., 2003) نیز موفق به جداسازی فاژ کشنده علیه *E. amylovora* شدند. همچنین به بررسی قدرت فاژها در کنترل بیماری در گیاه گلابی پرداختند و فاژهایی با دامنه میزبان وسیع و دوز عفونت‌زایی پایین برای مطالعات بیشتر انتخاب شدند.

پژوهش‌هایی نیز در مورد سرکوب لکه باکتریایی گوجه فرنگی با استفاده از فاژها انجام شده است. فلاهرتی و همکاران به طور موثر بیماری ایجاد شده توسط *X. campestris* را در آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با استفاده از کوکتل فاژی که از چهار فاژ کشنده تهیه شده بود مهار کردند (Flaherty et al., 2000). بالوگ و همکاران اثربخشی و ماندگاری فاژ را با فرمول‌های محافظتی مختلف روی شاخه و برگ گوجه‌فرنگی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که فرمول‌های پایدار کننده به افزایش عملکرد باکتریوفاژها کمک می‌کند (Balogh et al., 2003). در فلوریدا امریکا محلول‌های تجاری فاژی با نام Agriphage در دسترس است و در کنترل بیماری لکه باکتریایی گوجه‌فرنگی از آن استفاده می‌شود (Momol et al., 2002). از دیگر مطالعات انجام شده بر روی کاهش و کنترل بیماری‌های ایجاد شده توسط باکتری Xanthomonas می‌توان به استفاده از اسپری کوکتل فاژی برای کاهش بروز سوختگی باکتریایی گیاه شمعدانی (Flaherty et al., 2001)، ضدعفونی بذر سیب‌زمینی آلوده به گال استرپتومایسس با استفاده از فاژ با دامنه میزبانی وسیع (McKenna et al., 2001)، کنترل سوختگی پیاز (Lang et al., 2004)، همچنین کنترل شانکر باکتریایی مرکبات و لکه‌های باکتریایی مرکبات (Balogh et al., 2006) و کنترل و کاهش معدوم شدن قارچ‌های پرورشی ناشی از بیماری‌های باکتریایی اشاره کرد (Munsch & Olivier, 1995; Munsch et al., 1991) (جدول – ۱).

جدول ۱ - کاربرد باکتریوفاژها برای کنترل بیمارگرهای گیاهی

Table 1- The use of bacteriophages to control plant pathogens

Pathogen نام بیماری گیاهی	Bacterium نام باکتری	Ref. مرجع
سوختگی باکتریایی تره‌فرنگی	*Pseudomonas syringae*	Liu et al., 2021; Liu et al., 2021
پژمردگی بوته‌های گوجه‌فرنگی	*Ralstonic solanaceum*	Sasaki et al., 2021
تومور گیاهی	*Agrobacterium tumefaciens*	Civerolo & Keil, 1969
تومور گیاهی	*Xanthomonas campestris* pv. *Pruni*	Civerolo & Keil, 1969
آتشک برنج	*Xanthomonas oryzae*	Kuo et al., 1971
لکه‌های میوه در هلو	*Xanthomonas campestris* pv. *Pruni*	Saccardi et al., 1993
سوختگی سیب، گلابی و تمشک	*Erwinia amylovora*	Schnabel et al., 1998
بیماری در گیاه گلابی	*Erwinia amylovora*	Gill et al., 2003
لکه باکتریایی گوجه فرنگی	*Xanthomonas campestris*	Flaherty et al., 2000
سوختگی باکتریایی گیاه شمعدانی	*Xanthomonas*	Flaherty et al., 2001

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

نتیجه‌گیری

در انتها با توجه به تمام موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که در آینده بیشتر شاهد استفاده از باکتریوفاژها برای کنترل و از بین‌بردن بیماری‌های باکتریایی ایجاد شده در گیاهان باشیم. به نظر می‌رسد با توسعه مطالعات انجام شده در زمینه افزایش پایداری فاژها و استفاده از کوکتل‌های فاژی زمینه برای استفاده هرچه بیشتر از این ویروس‌ها در درمان بیماری‌های باکتریایی فراهم شود. با توجه به اهمیت توسعه زنجیره غذایی سالم و افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی، کاهش هزینه‌های تولید و همچنین کاهش عوارض جانبی استفاده از ترکیبات شیمیایی توجه به روش‌های کنترل زیستی و توسعه‌ی روش‌های کارآمد در این حوزه ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه مطالعات در این زمینه در ایران بسیار محدود بوده و تاکنون مطالعه مروری با گستردگی مطالعه حاضر انجام نشده امید است این مطالعه مروری نقطه‌ی عطفی در جهت افزایش مطالعات و بهبود راهکارها در زمینه فاژدرمانی در کنترل بیماری‌های گیاهی باشد.

منابع

References

Abedon, S. T. (2017). Information phage therapy research should report. *Pharmaceuticals*, *10* (2), 43. doi.org/10.3390/ph10020043.

Abolaji, A. O., Fasae, K. D., Iwezor, C. E., Aschner, M., Farombi, E. O. (2020). Curcumin attenuates copper-induced oxidative stress and neurotoxicity in *Drosophila melanogaster*. *Toxicology reports*, *7*, 261-268. doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.015.

Amiri, H. (2007). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Allium jesdianum Boiss*. & Buhse from Iran. *Journal of Medicinal Plants*, *6*, 39-44.

Authority, E. F. S. Lazaro, E., Parnell, S., Vicent Civera, A., Schans, J., Schenk, M., Schrader, G., Cortinas Abrahantes, J., Zancanaro, G., Vos, S. (2020). Guidelines for statistically sound and risk-based surveys of *Xylella fastidiosa*. (8325-2397). doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.en-1873.

Ayin, C., Alvarez, A., Awana, C., Schleinzer, F., Marx, B., Schlub, R. (2019). *Ralstonia solanacearum, Ganoderma australe*, and bacterial wetwood as predictors of ironwood tree (*Casuarina equisetifolia*) decline in Guam. *Australas. Plant Pathol*, 48, 625-636. doi.org/10.1007/s13313-019-00666-8.

Balogh ,B., Jones, J., Stall, R., Dilley, J., Yonce, H., Canteros, B., Gochez, A. (2006). Control of Asiatic citrus canker and citrus bacterial spot with bacteriophages in Florida . *Plant Dis*, 92 (7), 1048-1052. doi.10.1094/PDIS-92-7-1048.

Balogh, B., Jones, J. B., Momol, M., Olson, S., Obradovic, A., King, P., Jackson, L. (2003). Improved efficacy of newly formulated bacteriophages for management of bacterial spot on tomato. *Plant disease*, 87 (8), 949-954. doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.8.949.

Bultreys, A., Kaluzna, M. (2010). Bacterial cankers caused by P*seudomonas syringae* on stone fruit species with special emphasis on the pathovars syringae and morsprunorum race 1 and race 2. *Journal of Plant Pathology*, S21-S33. doi.org/10.4454/JPP.V92I1SUP.2503.

Buttimer, C., McAuliffe, O., Ross, R. P., Hill, C., O'Mahony, J., Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. *Frontiers in microbiology*, *8*, 34. doi.org/10.3389/fmicb.2017.00034.

Carstensen, G., Venter, S., Wingfield, M., Coutinho, T. (2017). Two Ralstonia species associated with bacterial wilt of Eucalyptus. *Plant Pathology*, *66* (3), 393-403. doi.org/10.1111/ppa.12577.

Chevallereau, A., Blasdel, B. G., De Smet, J., Monot, M, Zimmermann, M., Kogadeeva, M., Sauer, U., Jorth, P., Whiteley, M., Debarbieux, L. (2016). Next-generation "-omics" approaches reveal a massive alteration of host RNA metabolism during bacteriophage infection of *Pseudomonas aeruginosa*. *PLoS genetics*, (7) 12, e1006134. doi.org/10.1371/journal.pgen.1006134.

Civerolo, E., Keil, H. (1969). Inhibition of bacterial spot of peach foliage by *Xanthomonas pruni* bacteriophage. *Phytopathol. Mediterr*, 31 (3), 133-140.

Coutinho, T. A., Wingfield, M. J. (2017). Ralstonia solanacearum and *R. pseudosolanacearum* on Eucalyptus: Opportunists or Primary Pathogens? *Frontiers in plant science*, *8*, 761. doi.org/10.3389/fpls.2017.00761.

Czajkowski, R. (2016). Bacteriophages of soft rot *Enterobacteriaceae*—a minireview. *FEMS Microbiology Letters*, *363* (2), fnv230. doi.org/10.1093/femsle/fnv230.

Davies, E. V., Winstanley, C., Fothergill, J. L., James, C. E. (2016). The role of temperate bacteriophages in bacterial infection. *FEMS microbiology letters*, *363*(5), fnw015; . doi.org/10.1093/femsle/fnw015

Denning, W. (1794). On the decay of apple trees. *New York Society for the Promotion of Agricultural Arts and Manufacturers Transaction*, *2*, 219-222.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

Esmaeili, A., Rustaiyan, A., Nadimi, M., Larijani, K., Nadjafi, F., Tabrizi, L., Chalabian, F., & Amiri, H. (2008). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from leaves, stems and flowers of Salvia reuterana Boiss. grown in Iran. *Natural Product Research*, *22* (6), 516-520. doi.org/10.1080/14786410701592067.

Fahrenkamp-Uppenbrink, J. (2016). Olive quick decline syndrome. *Science*, *353* (6297), 359-361. doi.org/10.1126/science.353.6297.359-p.

Ferraz, H. G. M., Badel, J. L., da Silva Guimaraes, L. M., Reis, B. P., Totola, M. R., Goncalves, R. C., Alfenas ,A. C. (2018). *Xanthomonas axonopodis pv*. eucalyptorum pv. nov. causing bacterial leaf blight on eucalypt in Brazil. *The plant pathology journal*, *34* (4), 269. doi.org/ 10.5423/PPJ.OA.01.2018.0014.

Flaherty, J., Harbaugh, B., Jones, J., Somodi, G., Jackson, L. (2001). H-mutant bacteriophages as a potential biocontrol of bacterial blight of geranium. *HortScience*, *36* (1), 98-100. doi.org/10.21273/HORTSCI.36.1.98

Flaherty, J., Somodi, G., Jones, J., Harbaugh, B., Jackson, L. (2000). Control of bacterial spot on tomato in the greenhouse and field with H-mutant bacteriophages . *HortScience*, *35* (5), 882-884. doi.org/10.21273/HORTSCI.35.5.882.

Gill, J., Svircev, A., Smith, R., Castle, A. (2003). Bacteriophages of *Erwinia amylovora*. *Applied and environmental microbiology*, *69* (4), 2133-2138. doi.org/10.1128/AEM.69.4.2133-2138.2003.

Goldberg, E. (1980). Bacteriophage nucleic acid penetration. *Receptors and Recognition, series B*, *7*, 115-141 .

Grabowski, L., Lepek, K., Stasilojc, M., Kosznik-Kwasnicka, K., Zdrojewska, K., Maciag-Dorszynska, M., Wegrzyn, G., Wegrzyn, A. (2021). Bacteriophage-encoded enzymes destroying bacterial cell membranes and walls, and their potential use as antimicrobial agents. *Microbiological research*, *248*, 126746. doi.org/10.1016/j.micres.2021.126746.

Grace, E. R., Rabiey, M., Friman, V. P., Jackson, R. W. (2021). Seeing the forest for the trees: Use of phages to treat bacterial tree diseases. *Plant Pathology*, *70* (9), 1987-2004. doi.org/10.1111/ppa.13465

Graham, J., Leite Jr, R. (2004). Lack of control of citrus canker by induced systemic resistance compounds. *Plant Disease*, *88* (7), 745-750. doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.7.745

Griffin, K., Gambley, C., Brown, P., Li, Y. (2017). Copper-tolerance in *Pseudomonas syringae* pv .tomato and *Xanthomonas spp*. and the control of diseases associated with these pathogens in tomato and pepper. A systematic literature review. *Crop Protection*, *96*, 144-150. doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.008

Harshitha, N., Rajasekhar, A., Saurabh, S., Sonalkar, R., Tejashwini, M., Mitra ,S. D. (2022). Bacteriophages: Potential Biocontrol Agents and Treatment Options for Bacterial Pathogens. *Clinical Microbiology Newsletter*, *44* (5), 41-5. doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2022.02.002

Holtappels, D., Fortuna, K., Lavigne, R., Wagemans, J. (2021). The future of phage biocontrol in integrated plant protection for sustainable crop production. *Current Opinion in Biotechnology*, *68*, 60-71. doi.org/10.1016/j.copbio.2020.08.016

Jackson, R. S. (2008). *Wine science: principles and applications*. 3rd edition, Academic press, London, 776.

Janse, J. (2010). Emerging bacterial and phytoplasma diseases of fruit trees that are or may become a threat for the Mediterranean basin: notes on epidemiology, risks, prevention and management on first occurrence. *IHC2010*, 1, 940-981. doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.940.81

Ji, X., Lu, G., Gai, Y., Zheng, C., Mu, Z. (2008). Biological control against bacterial wilt and colonization of mulberry by an endophytic *Bacillus subtilis* strain. *FEMS microbiology ecology*, *65* (3), 565-573. doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00543.x

Jones, J. B., Vallad, G. E., Iriarte, F. B., Obradovic, A., Wernsing, M. H., Jackson, L. E., Balogh, B., Hong, J. C., Momol, M. T. (2012). Considerations for using bacteriophages for plant disease control. *Bacteriophage*, *2* (4), e23857. doi.org/10.4161/bact.23857

Kado, C.L. (2002). Overview of how Agrobacterium tumefaciens infects plants and causes disease . *The Plant Health Instructor*; 11, 01-15. doi.org/10.1094/PHI-I-2002-1118-01.

Kalpage, M., De Costa, D. (2014). Isolation of bacteriophages and determination of their efficiency in controlling Ralstonia solanacearum causing bacterial wilt of tomato. *Trop. Agric. Res. 26* (1), 140-152. doi.org/10.4038/tar.v26i1.8079.

Kuhl, S., Hyman, P., Abedon, S . (2012). Diseases caused by phages: Bacteriophages in health and disease. *CABI*, 1, 21-32. doi.org/10.1079/9781845939847.0021

Kuo, T., Chang, L., Yang, C., Yang, S. (1971). Bacterial leaf blight of Rice plant. IV. Effect of bacteriophage on the infectivity of *Xanthomonas oryzae* . *Bot. Bull. Acad. Sin. 12, 1-9.*

Lang, J., Schwartz, H .Gent, D. (2004). Management of Xanthomonas Leaf Blight of Onion with Bacteriophages and a Plant Activator. *Plant Dis*, *9* (7), 16-22. doi:10.1094/PDIS-91-7-0871.

Lenski, R. E. (1988). Dynamics of Interactions between Bacteria and Virulent Bacteriophage. In: Marshall, K.C. (eds) Advances in Microbial Ecology. Advances in Microbial Ecology, vol 10. Springer, Boston, MA. doi.org/10.1007/978-1-4684-5409-3_1

Li, S., Wu, F., Duan, Y., Singerman, A., Guan, Z. (2020). Citrus greening: Management strategies and their

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

economic impact. *HortScience*, *55* (5), 604-612 . doi.org/10.21273/HORTSCI14696-19

Liu, J., Chia, S. L., & Tan, G. H. (2021). Isolation and characterization of novel phages targeting *Xanthomonas oryzae*: culprit of bacterial leaf blight disease in rice. *Therapy, Applications, and Research*, *2* (3), 142-151. doi.org/10.3389/fmicb.2023.1084025

Liu, Y., Liu, M., Hu, R., Bai, J., He, X., Jin, Y. (2021). Isolation of the novel phage PHB09 and its potential use against the plant pathogen *Pseudomonas syringae pv*. actinidiae. *Viruses*, *13* (11), 2275 . doi.org/10.3390/v13112275

Mackay, G. (2009). New Light on a Hidden Treasure. Rome: FAO (2009), pp. 136. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *45* (3), 376-376 .

Malekzadeh, M., sharifi, M., Rafiei, B. (2023). Survey on the effects of some pesticides on Armoured scale (Chrysomphalus dictyospermi) and the heather ladybird (Chilocorus bipustulatus). *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 11 (2), 191-200. doi.org/20.1001.1.25885073.1401.11.2.7.6

Mansfield, J., Genin ,S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, *13* (6), 614-629. doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x

McKenna, F., El-Tarabily, K ,.Hardy, G. S. J., Dell, B. (2001). Novel in vivo use of a polyvalent *Streptomyces* phage to disinfest Streptomyces scabies-infected seed potatoes. *Plant pathology*, *50* (6), 666-675. doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00648.x

Mohsenzadeh, F., Chehregani, A., Amiri, H. (2011). Chemical composition, antibacterial activity and cytotoxicity of essential oils of *Tanacetum parthenium* in different developmental stages. *Pharmaceutical Biology*, *49* (9), 920-926. doi.org/ 10.3109/13880209.2011.556650.

Momol, T., Jones, J., Olson, S., Obradovic, A., Balogh, B., King, P. (2002). Integrated Management of Bacterial Spot on Tomato in Florida: PP110/PP110. doi.org/10.32473/edis-pp110-2002

Munsch, P., Olivier, J. (1995). Biocontrol of bacterial blotch of the cultivated mushroom with lytic phages: some practical considerations.in: Elliot(ed.),science and gultivation of edible fungi. balkema, rotterdam,pp.595-602.

Munsch P, Oliver JM, Houdeau G. Experimental control of bacterial blotch by bacteriophages. In: Maher MJ, editor. Science and cultivation of edible fungi. Balkema, Rotterdam, Netherlands: 1991. pp. 389–396.

Nations, U. (2015). World population prospects: The 2015 revision. *United Nations Econ Soc Aff*, *33* (2), 1-66 .

Nikolic, T. V., Kojic, D., Orcic, S., Vukasinovic, E. L., Blagojevic, D. P., Purac, J. (2019). Laboratory bioassays on the response of honey bee (Apis mellifera L.) glutathione S-transferase and acetylcholinesterase to the oral exposure to copper, cadmium, and lead. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*, 6890-6897. doi.org/10.1007/s11356-018-3950-6

Noohpisheh, Z., Amiri, H., Farhadi, S., Mohammadi-Gholami, A. (2020). Green synthesis of Ag-ZnO nanocomposites using Trigonella foenum-graecum leaf extract and their antibacterial, antifungal, antioxidant and photocatalytic properties. *Spectrochimica Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc*, *240*, 118595. doi.org/10.1016/j.saa.2020.118595

Obradovic, A., Jones, J. B., Momol, M., Balogh, B., Olson, S. (2004). Management of tomato bacterial spot in the field by foliar applications of bacteriophages and SAR inducers. *Plant Disease*, *88* (7), 736-740. doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.7.736

Obradovic, A., Jones, J. B., Momol, M., Olson, S., Jackson, L., Balogh, B., Guven, K., Iriarte, F. (2005). Integration of biological control agents and systemic acquired resistance inducers against bacterial spot on tomato. *Plant Disease*, *89* (7), 712-716. doi.org/ 10.1094/PD-89-0712

Oerke, E.-C., Mahlein, A.-K., Steiner, U. (2014). Proximal sensing of plant diseases. *Detection and diagnostics of plant pathogens*, 55-68. doi.org/ 10.1007/978-94-017-9020-8_4

Pazhouhnia, S., Bouzari, M., Arbabzadeh-Zavareh, F. (2022). Isolation, characterization and complete genome analysis of a novel bacteriophage vB_EfaS-SRH2 against Enterococcus faecalis isolated from periodontitis patients. *Scientific reports*, *12* (1), 13268. doi.org/10.1038/s41598-022-16939-0

Pires, D. P., Cleto, S., Sillankorva, S., Azeredo, J., Lu, T. K. (2016) .Genetically engineered phages: a review of advances over the last decade. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *80* (3), 523-543. doi.org/10.1128/MMBR.00069-15.

Polizzi, G., Dimartino, M., Bella, P., Catara, V. (2008). First report of leaf spot and blight caused by Ralstonia pickettii on bird of paradise tree in Italy. *Plant Disease*, *92* (5), 835-83. doi.org/ 10.1094/PDIS-92-5-0835A.

Poplawsky, A., Urban, S., Chun, W. (2000). Biological role of *Xanthomonadin pigments* in *Xanthomonas campestris pv.* campestris. *Applied and environmental microbiology*, *66* (12), 5123-5127. doi.org/10.1128/aem.66.12.5123-127.2000

Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PloS one*, *8* (6), e66428. doi.org/10.1371/journal.pone.0066428

Richard, D., Tribot, N., Boyer, C., Terville, M., Boyer, K., Javegny, S., Roux-Cuvelier, M., Pruvost, O., Moreau, A., Chabirand, A. (2017). First report of copper-resistant

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]
[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]

Xanthomonas citri pv. citri pathotype A causing Asiatic citrus canker in Réunion, France. *Plant Disease*, *101* (3), 503. doi.org/10.1094/PDIS-09-16-1387-PDN

Sabzali, S., Bouzari, M. (2021). Isolation, identification and some characteristics of two lytic bacteriophages against Salmonella enterica serovar Paratyphi B and S. enterica serovar *Typhimurium* from various food sources. *FEMS Microbiology Letters*, *368* (7), fnab037. doi.org/10.1093/femsle/fnab037.

Saccardi, A., Gambin, E., Zaccardelli, M., Barone, G., Mazzucchi, U. (1993). *Xanthomonas campestris pv. pruni* control trials with phage treatments on peaches in the orchard. *Phytopathologia Mediterranea*, 206-210.

Safni, I., Subandiyah, S., Fegan, M. (2018). Ecology, epidemiology and disease management of *Ralstonia syzygii* in Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, *9*, 419. doi.org/10.3389/fmicb.2018.00419

Sakata, N., Ishiga, T., Masuo, S., Hashimoto, Y., Ishiga, Y. (2021). Coronatine contributes to *Pseudomonas cannabina pv*. alisalensis virulence by overcoming both stomatal and apoplastic defenses in dicot and monocot plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, *34*(7), 746-757. doi.org/10.1094/MPMI-09-20-0261-R.

Sasaki, R., Miyashita, S., Ando, S., Ito, K., Fukuhara, T., Takahashi, H. (2021). Isolation and characterization of a novel jumbo phage from leaf litter compost and its suppressive effect on rice seedling rot diseases. *Viruses*, *13*(4), 591. doi.org/10.3390/v13040591

Schnabel, E., Fernando, W., Meyer, M., Jones, A., Jackson, L. (1998). Bacteriophage of *Erwinia amylovora* and their potential for biocontrol. VIII International Workshop on Fire Blight 489. doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.489.116

Strange, R. N., Scott, P. R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Annu. Rev. Phytopathol.*, *43*, 83-116. doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839.

Subbarao, K. V., Sundin, G. W., Klosterman, S. J. (2015). Focus issue articles on emerging and re-emerging plant diseases. *Phytopathology*, *105*(7), 852-854. doi.org/10.1094/PHYTO-105-7-0001

Sundin, G. W., Wang, N. (2018). Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. *Annual Review of phytopathology*, *56*, 161-180. doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045946

Thayer, P., Stall, R. (1962). The survey of *Xanthomonas vesicatoria* resistance to streptomycin. *Florida online journal*, 75, 733-736.

Timilsina, S., Potnis, N., Newberry, E. A., Liyanapathiranage, P., Iruegas-Bocardo, F., White, F. F., Goss, E. M., Jones, J. B. (2020). *Xanthomonas diversity*, virulence and plant–pathogen interactions. *Nature Reviews Microbiology*, *18* (8), 415-427. doi.org/ 10.1038/s41579-020-0361-8

Toth, I. K., Barny, M.-a., Brurberg, M. B., Condemine, G., Czajkowski, R., Elphinstone, J. G., Helias, V., Johnson, S. B., Moleleki, L. N., Pirhonen, M. (2021). *Pectobacterium* and *Dickeya*: environment to disease development. *Plant diseases caused by Dickeya and Pectobacterium Species*, 39-84. doi.org/ 10.1007/978-3-030-61459-1_3

Vu, N.T., Oh, C.S. (2020). Bacteriophage usage for bacterial disease management and diagnosis in plants .*The Plant Pathology Journal*, *36* (3), 204. doi.org/10.5423/PPJ.RW.04.2020.0074

Xu, J., Xiang, Y. (2017). Membrane penetration by bacterial viruses. *Journal of virology*, *91*(13), 10.1128/jvi. 00162-00117. doi.org/10.1128/JVI.00162-17

Zaer Anaqz, Z., Khakvar, R., Mohammadi, S.A., Benazadeh Baghi, H. (2023). Isolation and characterization of bacteriophages infecting *Pseudomonas syringae pv. syringae*, and evaluating their biological control efficiency. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 11 (2), 253-265. doi.org/20.1001.1.25885073.1401.11.2.12.1

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-06-01]

[DOI: 10.61882/gebsj.13.1.4]