دانش بیماری‌شناسی گیاهی
سال ۱۳، جلد ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
Plant Pathology Science
Vol. 13(1), 2024
(oISSN:2588-6290, pISSN:2251-9270)
Website: http://yujs.yu.ac.ir/pps/

Applied Article

The application of biopolymers in the management of plants viral diseases

Parastoo Pouraziz✉, Davoud Koolivand
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture,
University of Zanjan, Zanjan, Iran

Pouraziz, P., & Koolivand, D. (2024). The application of biopolymers in the management of plants viral diseases. *Plant Pathology Science, 13(1),*125-134.

Abstract

Polymers with natural origin are known as biopolymers. Due to their biocompatibility and biodegradable properties, biopolymers have a wide range of applications in various fields such as agriculture, medicine, and industry. Biopolymers limit the activities of plant pathogens by increasing the immune system of plants by influencing resistance genes and also activating resistance mechanisms. Therefore, the use of these substances to combat plant pathogens has found a wide application in agriculture. The use of biopolymers to deal with plant pathogens such as fungi and bacteria is a suitable solution to reduce their damage. Also, treatment of the virus-infected plant with biopolymers reduces the symptoms and damage of the disease. The molecular antiviral mechanisms of some biopolymers such as chitosan, chitin, oligochitosan, β-glucans, lentine, alginate, hydrogel and their compounds in the management of plants viral diseases are described in this article.

Keywords: Alfalfa mosaic virus, β-glucans, Chitin, Chitosan, Cucumber mosaic virus

✉ Corresponding author: pourazizparastoo@yahoo.com
Received: 2024.05.16; Revised: 2024.08.14; Accepted: 2024.09.28

مقاله کاربردی

کاربرد پلیمرهای زیستی در مدیریت بیماری‌های ویروسی گیاهان

پرستو پورعزیز✉، داود کولیوند

گروه گیاه‌پزشکی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پورعزیز، پ.، کولیوند، د. (۱۴۰۲). کاربرد پلیمرهای زیستی در مدیریت بیماری‌های ویروسی گیاهان. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی، ۱۳(۱)*، ۱۳۴-۱۲۵.

چکیده

پلیمرهای با منشا طبیعی، پلیمر زیستی شناخته می‌شوند. پلیمرهای زیستی به دلیل ویژگی‌های سازگاری زیستی و زیست تخریبی کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های متفاوت از جمله کشاورزی، پزشکی و صنعت دارند. پلیمرهای زیستی با افزایش سیستم ایمنی گیاهان از طریق تأثیر بر ژن‌های مقاومت و همچنین فعال کردن مکانیسم‌های مربوط به مقاومت باعث محدود کردن فعالیت‌های بیمارگرهای گیاهی می‌شوند. بنابراین استفاده از این مواد جهت مقابله با بیمارگرهای گیاهی کاربرد وسیعی در کشاورزی پیدا کرده است. استفاده از پلیمرهای زیستی جهت مقابله با بیمارگرهای گیاهی مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها راه حل مناسبی برای کاهش خسارت آنها است. همچنین تیمار گیاه آلوده به ویروس با پلیمرهای زیستی باعث کاهش علایم و خسارت بیماری می‌شود. مکانیسم‌های مولکولی ضد ویروسی برخی پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان، کیتین، الیگوکیتوزان، بتاگلوکان‌ها، لنتینان، آلژینات و هیدروژل و ترکیبهای آن در مدیریت بیماریهای ویروسی گیاهان در این مقاله شرح داده شده‌اند.

واژگان کلیدی: بتا-گلوکان، کیتین، کیتوزان، ویروس موزاییک یونجه، ویروس موزاییک خیار

مقدمه

ویروس‌های گیاهی خسارت زیادی به بسیاری از محصولات زراعی، سبزیجات و گیاهان زینتی می‌زنند و به طور جدی بر کیفیت و کمیت محصول آنها تأثیر می‌گذارند. از طرفی مدیریت این بیمارگرها سخت است و راه درمان قطعی نیز برای آن‌ها وجود ندارد. با وجود این، استفاده از ترکیبهای متفاوت زیستی باعث کاهش بیماری‌های ویروسی در گیاهان می‌شود. پلیمرها به دلیل خصوصیاتی منحصر به فرد مانند وزن مولکولی بالا و ساختار و ترکیب شیمیایی به عنوان عوامل ضد ویروسی شناخته می‌شوند. پلیمرها از واحدهای تکرار شونده (مونومر) که معمولاً به شکل یک زنجیره است تشکیل شده‌اند و به طور کلی به پلیمرهای مصنوعی، نیمه مصنوعی یا طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند (Akbari et al. 2022). پلیمرهای نیمه مصنوعی مانند نشاسته و سیلیکون از پلیمرهای طبیعی و با بکارگیری فرآیندی شیمیایی جهت تغییر خواص فیزیکی پلیمرهای طبیعی به دست می‌آیند. پلیمرهای

✉دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

مصنوعی در آزمایشگاه با پلیمریزاسیون مولکول‌های شیمیایی ساده ساخته می‌شوند (Rajeswari et al. 2017). پلیمرهای طبیعی (پلیمرهای زیستی) از گیاهان، حیوانات و ریزجانداران مشتق شده‌اند. مزایای پلیمرهای طبیعی شامل سازگاری زیستی، غیرسمی بودن، زیست تخریبی و خواص ضد ویروسی آنها است (Akbari et al. 2022). پلیمرهای زیستی در زمینه‌های متفاوتی مانند امولسیون‌ها، مواد بسته‌بندی در صنایع غذایی، ایمپلنت‌های پزشکی، ترمیم زخم و مواد پانسمان در صنایع دارویی و همچنین در زمینه‌ی کشاورزی استفاده می‌شوند (Alghonaim et al., 2024).

الگوهای مولکولی مرتبط با بیماری‌زایی PAMP[1] مولکول‌هایی با ویژگی‌های حفاظت‌شده در بین بیمارگرها هستند که پس از شناسایی توسط گیاه میزبان پاسخ‌های گسترده‌ای را القا می‌کنند. اجزای دیواره سلولی، از جمله کیتین، بتاگلوکان و یا پپتیدوگلیکان و فلاژلین انواعی از PAMP ها به شمار می‌روند که برای فیزیولوژی و چرخه زندگی ریزجانداران ضروری می‌باشند. تشخیص PAMP مستقیماً به گیرنده‌های گیاهی PRR[2] بستگی دارد، که دارای گیرنده کینازی تکرارهای غنی از لوسین خارج سلولی یا دامنه موتیف لیزین و کیناز سیتوپلاسمی است. PAMP ها با تحریک پروتئین‌های کینازی باعث افزایش بیان ژن‌های دخیل در مقاومت می‌شوند. مقاومت‌های ایجاد شده پس از شناسایی PAMP، شامل ایمنی ناشی از افکتورها (ETI[3]) وایمنی ناشی از PAMP (PTI[4]) هستند. همچنین انها باعث القای مقاومت موضعی یا سیستمیک در گیاهان می‌شوند (Ochoa-Meza et al. 2021).

مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR[5]) نوعی پاسخ دفاعی گیاه است که حفاظت طولانی مدت در برابر بیمارگرهای مختلف گیاهی را فراهم می‌کند. سیگنال‌های سیستمیک درگیر در SAR شامل اسید سالیسیلیک، مولکول‌های سیگنال مبتنی بر لیپید و اکسیژن‌های فعال (ROS[6]) هستند. این مولکول‌ها باعث انتقال سیگنال‌های ایجاد شده توسط برهمکنش گیاه-بیمارگرمی‌شوند (Romera et al. 2019). SAR در پاسخ به عوامل بیماریزا باعث ایجاد نکروز یا واکنش‌های حساسیت در گیاه می‌شود. مقاومت سیستمیک القایی (ISR[7]) یک پاسخ غیر اختصاصی است که عموماً توسط اسید جاسمونیک فعال می‌شود. ژن‌های مرتبط با بیماریزایی، تنظیم کننده های مشترک مسیرهای SAR و ISR هستند که به عنوان فعال کننده رونویسی ژن‌های مرتبط با بیماریزایی عمل می‌کنند (Pieterse et al. 2014).

به طور کلی القای گونه‌های فعال اکسیژن، فعال سازی اجزای آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی، متابولیت‌های ثانویه، بیان پروتئین‌های مرتبط با بیماریزایی (مانند کیتینازها و گلوکانازها)، تولید فیتوآلکسین‌ها، اصلاح ترکیبهای دیواره سلولی، تولید ملاتونین و تغییرات یون کلسیم از تغییرات عمده در طول آلودگی گیاه هستند که با فعالیت مقاومت القایی رخ می‌دهند (Romera et al. 2019).

[1] Pathogen-associated molecular patterns
[2] Plant pattern-recognition receptors
[3] Effector-triggered immunity
[4] PAMP-triggered Immunity
[5] Systemic Acquired Resistance
[6] Reactive oxygen species
[7] Induced Systemic Resistance

سیگنال دهی کلسیم نقش کلیدی در راه اندازی واکنش‌های ایمنی ذاتی گیاه دارد. با توجه به تحقیقات، کانال‌های کلسیمی برای ایمنی در برابر بیمارگرهای بیوتروفیک و نکروتروفیک مورد نیاز هستند. این کانال‌ها افزایش سریع غلظت کلسیم آزاد در سیتوپلاسم را با آزادسازی کلسیم از ذخایر داخل و خارج سلولی تسهیل می‌کنند. این مکانیسم باعث فعالیت پروتئین‌های هدف شده و درنتیجه منجر به ایجاد پاسخ‌های ایمنی می‌شود. همچنین سیگنال‌دهی گیرنده‌های گیاهی باعث تنظیم رونویسی کانال‌های کلسیم شبه گیرنده گلوتامات می‌شود. نشان داده شده است که تغییرات یونی، گسترش بیمارگرها از جمله ویروس‌ها را محدود می‌کنند (Zvereva et al. 2023). هدف از این مقاله شرح برخی از پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان، الیگوکیتوزان، بتاگلوکان‌ها و آلژینات و نقش آن‌ها در مدیریت بیماریهای ویروسی گیاهان است.

تاثیر کتین و کیتوزان در افزایش مقاومت گیاهان به بیماریهای ویروسی

کیتین وکیتوزان که پلی‌ساکاریدهای طبیعی و از پلیمرهای زیستی تجدیدپذیر هستند، به عنوان پلی‌ساکاریدهایی با فعالیت ضد ویروسی گسترده معرفی شده اند(Akbari et al. 2022). کیتوزان یک هتروپلی‌ساکارید خطی و پلی‌کاتیونی است و یک ترکیب طبیعی محسوب می شود و از اسکلت بیرونی بندپایان، دیواره سلولی قارچ و استیل‌زدایی کیتین بدست می‌آید. همچنین کیتوزان یک ترکیب غیر سمی است که مقاومت اکتسابی سیستمیک را در گیاهان آلوده به ویروس القا می‌کند (El Hadrami et al. 2010) . استفاده از کیتوزان برای مدیریت بیماری‌های ویروسی مانند ویروس X سیب‌زمینی، ویروس موزاییک توتون، ویروس موزاییک یونجه، مورد ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۱).

جدول ۱- اثر ضد ویروسی کیتوزان بر ویروس‌های گیاهی.

Table 1 - Antiviral effect of chitosan on plant viruses.

Plant	Virus	Refrence
گوجه فرنگیTomato	Tomato yellow leaf curl virus, Tobacco mosaic virus, Potato spindle tuber viroid,	Chirkov 2002, Mishra et al. 2014, Pospieszny et al. 1991
سیب زمینیPotato	Potato virus X, Potato virus Y	Chirkov et al. 2001
لوبیاBean	Bean golden mosaic virus , Bean yellow mosaic virus, Alfalfa mosaic virus, Tobacco necrosis virus,	Chirkov 2002, Chirkov et al. 2001
خیارCucumber	Squash mosaic virus	Firmansyah & Hidayat 2017
توتونTobacco	Tobacco mosaic virus, Tobacco necrosis virus	Abd El-Gawad & Bondok 2015, Nagorskaya et al. 2014

گزارش شده که استفاده از کیتوزان باعث ایجاد مقاومت اکتسابی و همچنین کاهش علایم ویروسی شد (Román-Doval et al. 2023). پاسخ‌های گیاهی، شامل تولید گونه‌های اکسیژن فعال و پروتئین‌های مرتبط با بیماری‌زایی و همچنین تقویت دیواره سلولی است. در این راستا، مقاومت اکتسابی فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع مانند پراکسیداز، PAL[1] ، پلی فنل اکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش می‌دهد. پراکسیدازها آنزیم‌هایی هستند که تجزیه پراکسید هیدروژن را کاتالیز می‌کنند و بسیاری از سوبستراهای فنلی و غیر فنلی را اکسید می‌کنند. نقش پراکسیدازهای گیاهی در فرآیندهایی مانند لیگنین، متابولیسم دیواره سلولی، دفاع در برابر بیمارگرها و متابولیسم ROS به خوبی شناخته شده است (Xing et al. 2015). آزمایش‌های انجام شده بر گوجه فرنگی آلوده به CMV حاکی از افزایش تنظیم بیان ژن های CEVI-1، NPR1 و PAL5 در گیاهان تیمار شده با کیتوزان بوده است. در تیمار گیاه گوجه فرنگی آلوده به CMV افزایش شدید بیان ژن CEVI-1 در مقایسه با گیاهان تیمار نشده رخ داد. افزایش تنظیم بیان ژن CEVI-1با تقویت دیواره سلولی و محتوای ROS مرتبط بود. NPR1 مسیرهای متقابل وابسته به اسید سالیسیلیک و جاسمونات را تنظیم می‌کند. با این حال، بیان NPR1 نشان دهنده اثر بخشی کیتوزان در برابر CMV با تحریک پاسخ‌های دفاعی مربوط به SAR در گیاهان گوجه فرنگی گزارش شده است (Rendina et al. 2019) .

کیتین پلیمر دیگری است که جهت افزایش مقاومت گیاه در برابر بیمارگرها استفاده می‌شود. کیتین به دلیل محتوای نیتروژن بالا به طور مستقیم به عنوان کود برای افزایش رشد محصول استفاده می‌شود (Malerba & Cerana 2019). کاربرد کیتین در کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی نیز به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. گزارش شده که کیتین قادر به القای پاسخ‌های دفاعی در برابر بیمارگرهای قارچی، باکتریایی و ویروسی است (Malerba & Cerana 2019).

الیگوساکارین‌ها و الیگوکیتوزان

اکثر الیگوساکارین‌های شناخته شده به طور مصنوعی به وسیله‌ی تجزیه پلی‌ساکاریدها توسط اسید یا آنزیم تولید می‌شوند (Albersheim et al. 1983). الیگوساکارین‌ها دارای خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی و حشره‌کشی می‌باشند. آمینوالیگوساکارین‌ها نیز جز عوامل ضد ویروسی در بین الیگوساکارینها به حساب می‌آیند (Feng et al. 2006). گزارش شده آمینوالیگوساکارین‌ها با بیان مکانیسم‌های دفاعی گیاه و همچنین با تنظیم مثبت بیان ژن‌های مرتبط با مقاومت باعث مقاومت گیاه می‌شوند (Feng et al. 2006). منابع تولید الیگوساکارین‌ها زیاد است. به عنوان مثال الیگوکیتوزان از هیدرولیز کیتوزان به بدست می‌آید. الیگوکیتوزان همراه با سایر الیگوساکاریدها به عنوان الیگوساکارین نیز شناخته می‌شود که در غلظت‌های پایین اثرات سیگنال‌دهی بر سلول‌های گیاهی دارد (Feng et al. 2006). الیگوکیتوزان در سرکوب آلودگی TMV در گیاهان توتون بسیار موثرتر از کیتوزان است. در واقع

[1] Phenylalanine ammonia lyase

فعالیت ضد ویروسی کیتوزان با کاهش وزن مولکولی آن، که در نتیجه به الیگو کیتوزان تبدیل می‌شود، افزایش می‌یابد که احتمالاً به دلیل نفوذپذیری بهتر آن است. رسوب کالوز که اثری جزئی بر مهار انتشار ویروس دارد و همچنین فعال‌سازی کالوز سنتاز وابسته به کلسیم و در نهایت انفجار اکسیداتیو از جمله موارد مؤثر پاسخ‌های سلولی در درمان با کیتوزان است (Román-Doval et al. 2023). تیمار با الیگوکیتوزان باعث افزایش فعالیت پلی فنل اکسیداز (PPO) در ارقام مقاوم به بیماری می‌شود. اکسیداسیون ترکیبها فنولی شامل PPO گونه‌های اکسیژن فعال را ایجاد می‌کند. همچنین کیتوزان و الیگوکیتوزان با برقراری ارتباط با هیستون‌های DNA به کمپلکس‌های DNA پلیمراز متوقف شده اجازه می‌دهد تا از طریق چارچوب‌های خواندن باز ژن‌های مرتبط با بیماری‌زایی PR [1] را رونویسی کنند (Katiyar et al. 2015).

نقش بتاگلوکان در مدیریت بیماریهای ویروسی گیاهان

بتاگلوکان در دیواره سلولی موجودات مختلف از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و گیاهان وجود دارد (Fesel & Zuccaro 2016). بتاگلوکان یک پلی‌ساکارید غیر نشاسته‌ای با زنجیره‌های مونومری بلند دی- گلوکز است که توسط پیوندهای بتا- گلیکوزیدی به هم متصل می‌شوند و یک پلی‌ساکارید محلول در نشاسته است. منابع اولیه‌ی این پلیمر غلات (مانند جو، برنج و گندم)، قارچ ها، جلبک‌های دریایی و مخمرها هستند (Fesel & Zuccaro 2016) . جلبک‌های دریایی و مولکول‌های آن‌ها مانند بتاگلوکان مکانیسم‌های دفاعی گیاهان را فعال می‌کنند و این مکانیسم‌ها منجر به القای ISR یا SAR و تولید محرک‌ها، انفجارهای اکسیداتیو و سنتز ترکیبهای ضد میکروبی می‌شوند. بتاگلوکان با پیوندهای 3 → β-1 و 6 → β-1 ساختار پیچیده‌ای دارد که ایمنی ذاتی گیاه و همچنین واکنش‌های دفاعی را تحریک می‌ک(De Marco Castro et al. 2021). ستون اصلی این پلیمر اغلب با مولکولهای گلوکز مرتبط با پیوند 6 → β-1 ایجاد شده تا پلی‌ساکاریدهای شاخه‌دار ایجاد شود. فراوان‌ترین پلیمر، گلوکان با ستون خطی و دارای پیوند 3 → β-1 است(Marco Castro et al., 2021). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر گیاه توتون آلوده به TMV فعالیت 3 → β-1 گلوکان در توتون بر قلیایی شدن محیط خارج سلولی، آزادسازی H_2O_2، تحریک فنیل آلانین آمونیاک لیاز، فعالیت لیپوکسیژناز و تجمع سالیسیلیک اسید تأثیر دارد (Riseh et al., 2023). همچنین استفاده از گلوکان 3 → β-1 سولفاته باعث القای مسیر سیگنال‌دهی اسید سالیسیلیک می‌شود گزارش شده است که تجمع اسید سالیسیلیک و بیان فلاونوئیدها، مسیر فنیل پروپانوئید و بیوسنتز لیگنین در گیاهان تحت تیمار با گلوکان 3 → β-1 سولفاته باعث کاهش شدت بیماری ویروس موزاییک توتون می‌شود (Riseh et al. 2023).

کاربرد آلژینات و لنتینان در مدیریت بیماریهای ویروسی گیاهان

پلی‌ساکاریدهای جلبک‌های دریایی، به ویژه پلی‌ساکاریدهای حاصل از جلبک‌های قهوه‌ای و

[1] Pathogenesis-related protein

پلی‌ساکاریدهای سولفاته آنها، دارای خواص ضد ویروسی هستند. آلژینات سدیم (ALG) دارای فعالیت بازدارندگی بالایی در برابر آلودگی TMV است (Goh et al. 2012). این ترکیب پلیمری با تحریک سیگنال‌های دفاعی گیاه و فعال کردن ژن‌های دفاعی در سرکوب بیمارگرها نقش دارد. درمان گیاهان با آلژینات سدیم منجر به فعال شدن مسیرهای جاسمونیک اسید و سالیسیلیک اسید می‌شود. ازطرفی پاسخ‌های دفاعی گیاه، مانند سنتز ترکیبهای فنلی، لیگنین، PPO، PAL و پروتئین‌های PR، در گیاهان تیمار شده با آلژینات سدیم به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و این پاسخ‌ها باعث ایجاد مقاومت در برابر بیماری می‌شوند (Saberi Riseh et al. 2022). الیگوساکاریدهای آلژینات سدیم یا الیگوآلژینات (AOS) نیز به عنوان انواع جدیدی از مواد کاربردی شناخته می‌شوند و برای افزایش جوانه زنی بذر، افزایش طول ساقه، رشد ریشه و مقاومت در برابر بیمارگرهای گیاهی استفاده می‌شوند. همچنین گزارش شده است که استفاده از الیگوآلژینات باعث تولید ROS و فعال کردن پروتئین‌های مرتبط با بیماری زایی (PR) و آنزیم‌های دفاعی مانند پراکسیداز کاتالاز و پلی فنل اکسیداز می‌شود (Saberi Riseh et al. 2022).

لنتینان (LNT) یک پلی‌ساکارید خنثی است که از عصاره قارچ شیتاکه (*Lentinus edodes* (Berk.) Pegler) استخراج می‌شود. علاوه بر فعالیت ضد میکروبی و ضد باکتریایی، لنتینان عفونت‌های ویروسی را نیز مهار می‌کند و این فعالیت عمدتاً در مرحله اولیه عفونت ویروسی اعمال می‌شود (Wang et al. 2013). میزان بیان ژن‌های STS، CHIT4c و GLU1 در گیاه توتون آلوده به TMV تیمار شده با لنتینان افزایش می‌یابد وپلی‌ساکاریدهای با بار مثبت روی سطح سلول‌های گیرنده و یا با مولکول‌های ویروس ترکیب شده و جذب ویروس را مسدود می‌کنند، یا ترانس کریپتاز معکوس ویروس را مهار می‌کنند. لنتینان در واقع، با تغییر بار ویریون و جلوگیری از تعامل بین ویروس و سلول میزبان، آلودگی TMV را مهار می‌کند. همچنین نشان داده شد رونویسی ژن پوشش پروتئینی TMV در برگ‌های تیمار شده با لنتینان به وضوح کاهش می‌یابد (Wang et al. 2013).

تاثیر پپتیدپلی‌ساکاریدها و هیدروژل‌ها بر ویروس‌های گیاهی

بعضی پپتیدپلی‌ساکاریدها (Peptide polysaccharides= PSPs) به عنوان داروهای ضد سرطان در یک دهه اخیر معرفی شده‌اند. یک PSP از قارچ چینی (یون چی) جدا شده که یک پلی ساکارید متصل به پروتئین است. همچنین در مطالعه‌ای از یک PSP برای مدیریت TMV در گلخانه استفاده کرده‌اند و نشان داده شده که ذرات PSP باعث کاهش علایم TMV می‌شوند. همچنین استدلال شد که PSP با تاثیر بر مکانیسم مقاومت اکتسابی سیستمیک SAR و پروتئین‌های مرتبط با بیماری زایی (PR) باعث کاهش بیماری ویروسی می‌شود. در واقع PSP منجر به واکنش اکسیداتیو در برگ‌های توتون می‌شود و افزایش سطح بیان PR-1a و PR 5 می گردد (Zhao et al. 2015).

هیدروژل شبکه‌ای از زنجیره‌های پلیمری آبدوست است. هیدروژل‌ها در زمینه‌های بهبود کیفیت خاک، حفظ آب، مقاومت در برابر تنش خشکی و همچنین تنش‌های زنده و غیر زنده، کاهش دفعات آبیاری و کاهش مصرف آب استفاده می‌شوند (Elshafie & Camele 2021). گزارش شده است که

هیدروژل حاوی لنتینان با پوشش کیتوزان باعث مقاومت گیاه در برابر چندین ویروس گیاهی شده است. طبق این گزارش استفاده از هیدروژل حاوی لنتینان با پوشش کیتوزان روی ریشه گیاهان باعث ایجاد مقاومت در برابر ویروس‌های گیاهی PVX ، TMV،Tobacco rattle virus (TRV) و Turnip mosaic virus (TuMV) شده است و هیدروژل حاوی لنتینان با پوشش کیتوزان باعث انتشار پایدار یون کلسیم و تقویت رشد و نمو و مقاومت گیاه در برابر طیف گسترده‌ای از ویروس‌های گیاهی می‌شود (Xiang et al. 2023).

نتیجه‌گیری

استفاده از پلیمرهای زیستی کمک شایانی به مدیریت بیماری‌های گیاهی ازجمله بیماری‌های ویروسی کند. پلیمرهای زیستی موثر شناخته شدهدر مدیریت بیماریهای ویروسی گیاهان کتین، کیتوزان، الیگوساکارین‌ها و الیگوکیتوزان، بتاگلوکان، آلژینات، لنتینان، بعضی پپتیدپلی‌ساکاریدها و هیدروژل‌ها هستند. این پلیمرهای طبیعی باعث برانگیختن سیستم ایمنی گیاهان شامل تجمع ROS و القای بیان ژن‌های کدکننده پروتئین‌های مرتبط با بیماریزایی، PAL، پراکسیداز و پروتئین‌ها می‌شوند و گیرنده‌های موجود در گیاه امکان شناسایی پلیمرها را به عنوان مولکول‌های PAMP فراهم می‌کند و سپس سیگنال‌ها باعث افزایش مقاومت گیاه و همچنین کاهش شدت بیماری در گیاه می‌شوند، بنابراین سیستم دفاعی را به شیوه‌ای سازگار با محیط زیست برای حفاظت پایدار گیاهان فعال می‌کنند.

منابع References

1. Abd El-Gawad, H., & Bondok, A. (2015). Response of tomato plants to salicylic acid and chitosan under infection with tomato mosaic virus. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental*, *15*(8), 1520-1529.
2. Akbari, A., Bigham, A., Rahimkhoei, V., Sharifi, S., & Jabbari, E. (2022). Antiviral polymers: a review. *Polymers*, *14*(9), 1634.
3. Albersheim, P., Darvill, A. G., McNeil, M., Valent, B. S., Sharp, J. K., Nothnagel, E. A., Davis, K. R., Yamazaki, N., Gollin, D. J., & York, W. S. (1983). Oligosaccharins: naturally occurring carbohydrates with biological regulatory functions. *Structure and Function of Plant Genomes*, 293-312.
4. Alghonaim, M. I., Alsalamah, S. A., Bazaid, A. S., & Abdelghany, T. M. (2024). Biosynthesis of CuO@ Au NPs and its formulated into biopolymers carboxymethyl cellulose and chitosan: Characterizations, antimicrobial, anticancer and antioxidant properties. *Waste and Biomass Valorization*,15, 1-14.
5. Chirkov, S. (2002). The antiviral activity of chitosan. *Applied Biochemistry and Microbiology*, *38*, 1-8.
6. Chirkov, S., Il'ina, A., Surgucheva, N., Letunova, E., Varitsev, Y. A., Tatarinova, N. Y., & Varlamov, V. (2001). Effect of chitosan on systemic viral infection and some defense responses in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, *48*, 774-779.

7. De Marco Castro, E., Calder, P. C., & Roche, H. M. (2021). β-1, 3/1, 6-glucans and Immunity: State of the Art and Future Directions. *Molecular Nutrition & ood research*, *65*(1), 1901071.

8. Ding, L.-N., Li, Y.-T., Wu, Y.-Z., Li, T., Geng, R., Cao, J., Zhang, W., & Tan, X.-L. (2022). Plant disease resistance-related signaling pathways: recent progress and future prospects. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(24), 16200.

9. El Hadrami, A., Adam, L. R., El Hadrami, I., & Daayf, F. (2010). Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*, *8*(4), 968-987.

10. Elshafie, H. S., & Camele, I. (2021). Applications of absorbent polymers for sustainable plant protection and crop yield. *Sustainability*, *13*(6), 3253.

11. Feng, B., Chen, Y., Zhao, C., Zhao, X., Bai, X., & Du, Y. (2006). Isolation of a novel Ser/Thr protein kinase gene from oligochitosan-induced tobacco and its role in resistance against tobacco mosaic virus. *Plant Physiology and Biochemistry*, *44*(10), 596-603.

12. Fesel, P. H., & Zuccaro, A. (2016). β-glucan: Crucial component of the fungal cell wall and elusive MAMP in plants. *Fungal Genetics and Biology*, *90*, 53-60.

13. Firmansyah, D., & Hidayat, S. H. (2017). Use of chitosan and plant growth promoting rhizobacteria to control squash mosaic virus on cucumber plants. *11*, 148–155

14. Goh, C. H., Heng, P. W. S., & Chan, L. W. (2012). Alginates as a useful natural polymer for microencapsulation and therapeutic applications. *Carbohydrate Polymers*, *88*(1), 1-12.

15. Han, B., Baruah, K., Cox, E., Vanrompay, D., & Bossier, P. (2020). Structure-functional activity relationship of β-glucans from the perspective of immunomodulation: a mini-review. *Frontiers in Immunology*, *11*, 658.

16. Huang, M., Wu, Z., Li, J., Ding, Y., Chen, S., & Li, X. (2023). Plant protection against viruses: An integrated review of plant immunity agents. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(5), 4453.

17. Katiyar, D., Hemantaranjan, A., & Singh, B. (2015). Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, *20*, 1-9.

18. Malerba, M., & Cerana, R. (2019). Recent applications of chitin-and chitosan-based polymers in plants. *Polymers*, *11*(5), 839.

19. Mishra, S., Jagadeesh, K. S., Krishnaraj, P. U., & Prem, S. (2014). Biocontrol of tomato leaf curl virus (ToLCV) in tomato with chitosan supplemented formulations of *Pseudomonas* sp. under field conditions. *Australian Journal of Crop Science*, *8*(3), 347-355.

20. Nagorskaya, V., Reunov, A., Lapshina, L., Davydova, V., & Yermak, I. (2014). Effect of chitosan on tobacco mosaic virus (TMV) accumulation, hydrolase activity, and morphological abnormalities of the viral particles in leaves of *N. tabacum* L. cv. Samsun. *Virologica Sinica*, *29*, 250-256.

21. Ochoa-Meza, L. C., Quintana-Obregón, E. A., Vargas-Arispuro, I., Falcón-Rodríguez, A. B., Aispuro-Hernández, E., Virgen-Ortiz, J. J., & Martínez-Téllez, M. Á. (2021). Oligosaccharins as elicitors of defense responses in wheat. *Polymers*, *13*(18), 3105.

22. Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual review of phytopathology*, *52*, 347-375.

23. Pospieszny, H., Chirkov, S., & Atabekov, J. (1991). Induction of antiviral resistance in plants by chitosan. *Plant Science*, *79*(1), 63-68.

24. Rajeswari, S., Prasanthi, T., Sudha, N., Swain, R. P., Panda, S., & Goka, V. (2017). Natural polymers: A recent review. *World J. Pharm. Pharm. Sci*, *6*, 472-494.

25. Rendina, N., Nuzzaci, M., Scopa, A., Cuypers, A., & Sofo, A. (2019). Chitosan-elicited defense responses in cucumber mosaic virus (CMV)-infected tomato plants. *Journal of plant physiology*, *234*, 9-17.

26. Riseh, R. S., Vazvani, M. G., & Kennedy, J. F. (2023). β–glucan-induced disease resistance in plants: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127043.

27. Román-Doval, R., Torres-Arellanes, S. P., Tenorio-Barajas, A. Y., Gómez-Sánchez, A., & Valencia-Lazcano, A. A. (2023). Chitosan: properties and its application in agriculture in context of molecular weight. *Polymers*, *15*(13), 2867.

28. Romera, F. J., García, M. J., Lucena, C., Martínez-Medina, A., Aparicio, M. A., Ramos, J., Alcántara, E., Angulo, M., & Pérez-Vicente, R. (2019). Induced systemic resistance (ISR) and Fe deficiency responses in dicot plants. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 287.

29. Saberi Riseh, R., Gholizadeh Vazvani, M., Ebrahimi-Zarandi, M., & Skorik, Y. A. (2022). Alginate-induced disease resistance in plants. *Polymers*, *14*(4), 661.

30. Wang, J., Wang, H.Y., Xia, X.M., Li, P.P., & Wang, K.Y. (2013). Inhibitory effect of sulfated lentinan and lentinan against tobacco mosaic virus (TMV) in tobacco seedlings. *International Journal of Biological Macromolecules*, *61*, 264-269.

31. Xiang, S., Wang, J., Wang, X., Ma, X., Peng, H., Zhu, X., Huang, J., Ran, M., Ma, L., & Sun, X. (2023). A chitosan-coated lentinan-loaded calcium alginate hydrogel induces broad-spectrum resistance to plant viruses by activating *Nicotiana benthamiana* calmodulin-like (CML) protein 3. *Plant, Cell & Environment*, *46*(11), 3592-3610.

32. Xing, K., Zhu, X., Peng, X., & Qin, S. (2015). Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 569-588.

33. Zhao, L., Hao, X., & Wu, Y. (2015). Inhibitory effect of polysaccharide peptide (PSP) against tobacco mosaic virus (TMV). *International Journal of BiologicalMmacromolecules*, *75*, 474-478.

34. Zvereva, A. S., Klingenbrunner, M., & Teige, M. (2023). Calcium signaling: an emerging player in plant antiviral defense. *Journal of Experimental Botany*, erad442.