

## Application of Nanomaterials in Management of Fungal Plant Diseases

ABOLGHASEM HOSEINZADEH<sup>1</sup>, MAHDI DAVARI<sup>2</sup>✉ and AZIZ HABIBI-YANGJEH<sup>1</sup>  
1 and 2-Departments of Chemistry and Plant Protection, University of Mohaghegh Ardabili,  
Ardabil, Iran (✉Corresponding author: mdavari@uma.ac.ir)

Received: 13.05.2016

Accepted: 22.04.2017

Hoseinzadeh A., Davari M. and Habibi-Yangjeh A. 2017. Applications of nanomaterials in the fungal plant diseases management. *Plant Pathology Science* 6(2):68-77.

**Abstract:** The use of nanotechnology in plant disease management has been seriously considered by researchers in recent years. Some of these researches have shown the antifungal effects of nano zinc oxide on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*; nano copper oxide on *Aspergillus flavus*; silver nanocomposite compounds ( $\text{SiO}_2/\text{Ag}_2\text{S}$ ) on *Aspergillus niger*;  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{AgBr}$  on *Fusarium graminearum*, *F. oxysporum* and *Botrytis cinerea*, and carbon nanomaterials on *F. graminearum*. Their antifungal mechanisms are including: degradation of lipid and protein, damage to cell membranes, water channels blocking by nanomaterials and loss of spore water and plasmolysis and the inhibition of growth or destruction of fungal hyphae and prevent the sporulation.

**Key words:** Zinc oxide, Nano, *Fusarium*, *Penicillium*

### کاربرد نانو مواد در مدیریت بیماری‌های قارچی گیاهان

ابوالقاسم حسین‌زاده<sup>۱</sup>، مهدی داوری<sup>۲</sup>✉ و عزیز حبیبی ینگجه<sup>۱</sup>

۱ و ۲- گروه‌های شیمی و گیاه‌پزشکی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۲

دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۴

حسین‌زاده ا.، داوری م. و حبیبی ینگجه ع. ۱۳۹۶. کاربرد نانو مواد در مدیریت بیماری‌های قارچی گیاهان. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۶(۲): ۶۸-۷۷.

**چکیده:** استفاده از فن‌آوری نانو در مدیریت بیماری‌های گیاهی در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این پژوهش‌ها نشان داده که نانواکسیدروی بر *Botrytis cinerea* و *Penicillium expansum*، نانواکسید مس بر *Aspergillus flavus*، نانوکامپوزیت‌هایی از نقره ( $\text{SiO}_2/\text{Ag}_2\text{S}$ ) بر *Aspergillus niger* و  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{AgBr}$  بر *Fusarium graminearum*، *F. oxysporum* و *Botrytis cinerea* و شش نوع نانو ماده کربنی بر *F. graminearum*، اثر بازدارندگی دارند. سازوکارهای تأثیر آن‌ها شامل تخریب لیپیدها و پروتئین‌ها، آسیب به غشای سلولی، انسداد کانال‌های آبی به‌وسیله نانو مواد و کاهش آب‌هاگ‌ها و پلاسمولیز آن‌ها و در نهایت بازدارندگی از رشد یا از بین بردن ریشه‌های قارچی و ممانعت از هاگ‌زایی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** اکسیدروی، نانو، *Penicillium*، *Fusarium*

## مقدمه

با روند فعلی رشد جمعیت، در سال ۲۰۲۵ جمعیت جهان به ۸/۵ میلیارد نفر خواهد رسید. تأمین امنیت غذایی برای این جمعیت عظیم، نیاز به توسعه‌ی همه‌جانبه در بخش کشاورزی دارد. در این راستا، استفاده از ارقام زراعی پرمحصول می‌تواند تا حدی راهگشا باشد، اما عوامل محدودکننده و خسارت‌زا را نباید از نظر دور داشت (جعفری و توحیدفر ۱۳۸۵). یکی از مهم‌ترین این عوامل، بیماری‌های گیاهی هستند. هرساله بخش قابل‌توجهی از تولیدات گیاهی در اثر بیماری‌های گیاهی از بین می‌روند و این در حالی است که بیش از ۸۰۰ میلیون نفر در جهان از فقر غذایی رنج می‌برند (Strange and Scott 2006). قارچ‌های بیماری‌زا به‌تنهایی موجب کاهش ۲۰ درصدی محصولات غذایی عمده در دنیا می‌شوند. تاکنون، روش‌های متعددی برای کنترل بیماری‌های گیاهی به کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به مبارزه با ناقلین بیماری، ریشه‌کشی درختان و گیاهان آلوده یا هرس اندام‌ها و شاخ و برگ آلوده‌ی درختان، استفاده از ارقام مقاوم، روش‌های بیولوژیکی و استفاده از سموم شیمیایی اشاره کرد (Agrios 2005). می‌توان گفت که کنترل شیمیایی رایج‌ترین شیوه‌ی کنترل آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز است و علی‌رغم زیان‌ها و خطرات استفاده از سموم شیمیایی، این شیوه همچنان به‌عنوان قاطع‌ترین روش در سراسر جهان حتی در پیشرفته‌ترین کشورها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Rezaei-Moghaddam *et al.* 2006). در طول سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ قارچ‌کش‌های بنزیمیدازولی، کاربامات‌ها و بازدارنده‌های دی‌متیلاسیون ارگوسترول به‌تنهایی و یا ترکیبی می‌توانستند بیماری گیاهان را به‌خوبی مهار کنند تا اینکه اولین گزارش مقاومت معنی‌دار جدایه‌های بیمارگر در مقابل یک قارچ‌کش بنزیمیدازولی در جمعیت‌های مزرعه‌ای در انگلستان گزارش گردید (Kendall *et al.* 1994). پس از آن نیز گزارش‌هایی از عدم کارایی قارچ‌کش‌های دیگری همچون کاربندازیم، فلوزیلزول و اپوکسی‌کونازول علیه عوامل بیماری‌زا ارائه شد (Oxley *et al.* 2003). بنابراین استفاده‌ی مکرر و بی‌رویه از ترکیبات شیمیایی، علاوه بر آلودگی محیط‌زیست، موجب بروز پدیده‌ی مقاومت عوامل بیماری‌زا در برابر آفت‌کش‌ها شده و در نتیجه، پتانسیل خسارت‌آفرینی این عوامل را به‌شدت افزایش می‌دهد (Narayanasamy 2002). ترکیبات شیمیایی که به‌صورت مصنوعی تولید می‌شوند، علاوه بر آلودگی‌های زیست‌محیطی، سلامت بشر را نیز تهدید می‌کنند (Afzal *et al.* 1997). بنابراین نیاز به پژوهش در راستای

کشف مواد ضد قارچی نوین که سازگار با محیط‌زیست و به‌آسانی قابل تهیه باشد، ضروری است (Agrios 2005). یکی از روش‌های مؤثر، استفاده از فن‌آوری نانو است که می‌تواند با تبدیل مواد به نانو ذرات، موجب افزایش خاصیت ضد میکروبی آن‌ها شود (صدری و خردمند مطلق ۱۳۹۲). افزایش فعالیت ضد قارچی نانو ذرات در مقایسه با نمک‌های آن‌ها، به خواص منحصر به فرد نانو ذرات از جمله مساحت سطح مؤثر بیشتر مربوط می‌شود (Kanhed et al. 2014). مطالعات اخیر، فعالیت‌های ضد میکروبی برای نانو ذرات مختلف از جمله نقره، مس و اکسید روی را ثابت کرده است. (He et al. 2011) در این مقاله به بررسی عملکرد ضدقارچی چند نانو ماده که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته و نکات اثر آن‌ها پرداخته می‌شود.

### ۱- فعالیت ضد قارچی نانو ذرات اکسید روی

در مقایسه با مواد آلی، مواد معدنی مانند اکسید روی، دارای پایداری بالا، انتخاب‌پذیری و مقاومت بالا در برابر حرارت هستند. به‌علاوه، روی یک ماده‌ی معدنی سازگار با سلامت بشر است و نانو ذرات اکسید روی سازگاری مناسبی با سلول‌های انسانی دارند (Padmavathy and Vijayaraghavan 2008). تاکنون خاصیت ضد قارچی و ضد میکروبی پودر اکسید روی به‌صورت توده (Bulk)، اثبات و نشان داده شده است که اکسید روی در ابعاد کوچک، خاصیت ضد قارچی قابل توجهی دارد (Sawai and Yoshikawa 2004). به همین دلیل، ترکیبات روی در کشاورزی اغلب به‌عنوان قارچ‌کش مورد استفاده قرار می‌گیرند (Waxman 1998).

بررسی اثر ضد قارچی نانو ذرات اکسید روی با اندازه‌ی  $70 \pm 15$  نانومتر و غلظت‌های ۰، ۳، ۶ و ۱۲ میلی‌مول بر لیتر بر دو قارچ *Botrytis cinerea* Pers. عامل کپک خاکستری و *Penicillium expansum* Link. عامل کپک سبز با میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy, SEM) و طیف‌بینی رامان (Raman spectra)، نشان داد که نانو ذرات اکسید روی، فعالیت ضد قارچی متفاوتی بر این دو قارچ دارند. بدین ترتیب که در قارچ *Botrytis cinerea* از طریق تغییر شکل ریشه‌ها و تأثیر بر عملکرد سلولی و در قارچ *Penicillium expansum* با تخریب لیپیدها و پروتئین‌ها از رشد قارچ جلوگیری می‌کنند و در نهایت منجر به از بین رفتن ریشه‌های قارچ می‌شود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی، میزان بازدارندگی از رشد قارچ افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که برای غلظت‌های بیشتر از سه میلی‌مول بر لیتر میزان بازدارندگی از رشد قارچ بسیار چشمگیر است (He et al. 2011).

## ۲- فعالیت ضد قارچی نانوکامپوزیتی اکسید مس

نانو ذرات اکسید مس (CuO) دارای خاصیت بازدارندگی از رشد ریزجانداران هستند (Borkow and Gabbay 2004, Gabbay *et al.* 2006)، به همین دلیل از نانو ذرات اکسید مس برای تهیه‌ی ماسک صورت، باند پانسمان و جوراب‌های ضد میکروبی استفاده می‌شود (Borkow *et al.* 2010). اکسید مس به‌عنوان یک عامل ضد قارچی، به دلیل ارزان بودن و روش آماده‌سازی ساده مورد توجه قرار گرفته است، هر چند که برای برخی قارچ‌ها نمی‌تواند بازدارنده باشد. به همین دلیل کامپوزیت آن با سایر ترکیبات، یک روش مؤثر خواهد بود که در بین آن‌ها، اکسید روی به دلیل خواص جالب توجه از جمله انرژی پیوندی برانگیختگی بالا و پایداری حرارتی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. جفت شدن اکسید مس و اکسید روی موجب بهبود خاصیت ضد قارچی و نیز خواص فیزیکی شیمیایی می‌شود. هر دو ماده ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست می‌باشند (Phiwdang *et al.* 2013). محققین اثر ضد قارچی نانو کامپوزیت CuO/ZnO در قارچ *Aspergillus flavus* Link. با استفاده از روش اختلاط با محیط کشت مورد بررسی قرار دادند و با اندازه‌گیری میزان رشد پرگنه‌ی قارچ، میزان بازدارندگی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که اکسید مس به‌صورت خالص نیز از رشد قارچ جلوگیری می‌کند. آن‌ها نشان دادند که اکسید مس می‌تواند به غشای سلولی قارچ‌ها آسیب وارد کرده و از رشد آن‌ها جلوگیری نماید. البته طبق نتایج پژوهش مذکور، زمانی که اکسیدروی با اکسیدمس جفت می‌شود، میزان بازدارندگی به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد. حضور اکسیدروی باعث انتقال بار بیشتر و بهتر می‌شود که این امر می‌تواند به خاصیت ضد قارچی اکسیدمس کمک کند و انتقال بار در اکسیدمس اتفاق بیفتد (Phiwdang *et al.* 2013).

## ۳- فعالیت ضد قارچی نانو کامپوزیتی نقره

مواد بر پایه‌ی نقره در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی به‌عنوان عوامل ضد میکروبی استفاده می‌شوند (Grunlan *et al.* 2005). اخیراً مطالعه در خصوص استفاده از نانو مواد در زمینه‌های مختلف توسعه زیادی پیدا کرده است که این پژوهش‌ها شامل برهم‌کنش نانو ذرات نقره با سیستم‌های زیستی هم می‌شود (Dias *et al.* 2006). هرچند که ترکیبات حاوی یون نقره نسبت به خود ذرات نقره ممکن است برای این کاربردها بهتر باشند، اما کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عبارتی، ترکیبات دارای یون نقره در فاز نانو در

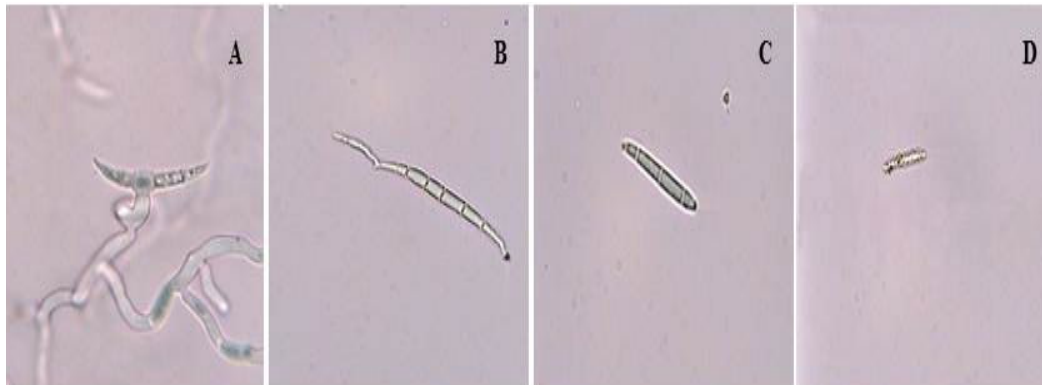
مقایسه با نانو ذرات فلزی می‌توانند مؤثرتر باشند. گزارش‌های مربوط به تأثیر ضد میکروبی نانو مواد نقره‌ی فلزی، حاکی از آزاد شدن یون‌های  $Ag^+$  در اثر اکسایش در آب است (Kumar *et al.* 2005). این اجزای یونی با مولکول‌های زیستی موجود در عوامل بیماری‌زا، از طریق گروه‌های الکترون دهنده‌ی موجود در آن‌ها از جمله گوگرد، نیتروژن و اکسیژن برهم‌کنش شدیدی دارند (Fox 1968). محققین به‌منظور ارزیابی خاصیت ضد قارچی نانو ذرات نقره، تأثیر نانو کامپوزیت  $SiO_2/Ag_2S$  روی قارچ *Aspergillus niger* Tiegh. را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نانو کامپوزیت  $SiO_2/Ag_2S$  مانع از رشد و هاگ‌زایی *A. niger* می‌شود. همچنین در استفاده از  $SiO_2$  خالص نیز مشاهده شد که  $SiO_2$  به‌تنهایی تأثیری بر میزان رشد قارچ ندارد و معلوم شد که خاصیت ضد قارچی نانو کامپوزیت  $SiO_2/Ag_2S$  به حضور  $Ag_2S$  مربوط می‌شود. نتایج استفاده از  $Ag_2S$  بدون حضور  $SiO_2$  نیز نشان داد که میزان بازدارندگی نانو کامپوزیت  $SiO_2/Ag_2S$  بیشتر از  $Ag_2S$  به‌تنهایی است، بنابراین نتیجه گرفتند که  $Ag_2S$  به‌عنوان ماده اصلی ضدقارچی و  $SiO_2$  به‌عنوان افزایش‌دهنده‌ی سطح تماس نانو کامپوزیت با قارچ عمل می‌کند. همچنین درصدهای وزنی متفاوتی از  $Ag_2S$  در نانو کامپوزیت  $SiO_2/Ag_2S$  استفاده شد و نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی  $Ag_2S$  میزان بازدارندگی از رشد قارچ توسط نانو کامپوزیت افزایش می‌یابد (Fateixa *et al.* 2009).

فعالیت ضد قارچی نانو کامپوزیت  $Fe_3O_4/ZnO/AgBr$  در مقابل قارچ‌های *Fusarium graminearum*، *Botrytis cinerea* و *F. oxysporum* نیز مورد بررسی قرار گرفته است. خواص نانو کامپوزیت تهیه‌شده توسط SEM، TEM، تکنیک‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDX)، طیف‌سنجی مادون قرمز (FT-IR) و تکنیک مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش (VSM) مورد مطالعه قرار گرفتند و فعالیت ضد قارچی نانو کامپوزیت با بررسی سینتیک تخریب قارچ‌های ذکرشده مورد بررسی قرار گرفت. نانو کامپوزیت مورد آزمایش در نسبت وزنی ۸:۱ از  $Fe_3O_4$  به  $ZnO/AgBr$  بیشترین فعالیت ضد قارچی را نشان داد. ممانعت از جوانه‌زنی و در نهایت تخریب ماکروکنیدی‌های *F. graminearum* در شکل ۱ نشان داده شده است (Hoseinzadeh *et al.* 2016).

#### ۴- فعالیت ضد قارچی نانو مواد کربنی

در تحقیقی با بررسی اثر ضدقارچی نانو مواد کربنی در کنترل برخی قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی اعلام

شد که این نانو مواد دارای خاصیت ضدقارچی روی قارچ‌های *Fusarium graminearum* Schwabe و *F. poae* (Peck) Wollenw. می‌باشد (Wang *et al.* 2014). در این پژوهش، مقادیر متفاوتی از شش نوع نانو مواد کربنی (CNMs, carbon nanomaterials) شامل نانو مواد کربنی تک‌لایه، نانولوله‌های کربنی چندلایه (MWCNTs, multi-walled carbon nanotubes)، گرافن اکسید (GO, graphene oxide)، گرافن اکسید کاهش‌یافته (rGO, reduced graphene oxide)، فلورن (C60, fullerene) و کربن فعال (AC, activated carbon) به محیط کشت سیب‌زمینی-دکستروز-آگار (PDA, Potato Dextrose Agar) اضافه شد و سپس قارچ‌ها در محیط کشت حاوی نانو مواد کربنی مایه‌زنی شدند. بعد از قرارگیری در انکوباتور، میزان بازدارندگی با اندازه‌گیری میزان رشد شعاعی قارچ‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که تماس مستقیم نانو مواد کربنی با هاگ‌ها، نقش مهمی در فعالیت ضدقارچی آن‌ها دارد، بنابراین پوشش هاگ‌ها توسط نانو مواد کربنی یکی از عوامل مؤثر در فعالیت ضد قارچی آن‌ها در برابر هاگ‌ها محسوب می‌شود. با توجه به اینکه انواع مختلف نانو مواد کربنی، فعالیت ضد قارچی متفاوتی از خود نشان دادند، بنابراین باید عوامل دیگری نیز در فعالیت ضد قارچی آن‌ها سهمیم باشند که در این بین، نیروهای واندروالس می‌تواند یکی از عامل‌های مؤثر باشد. چون احتمالاً یک نیروی قوی باعث متراکم شدن و تشکیل هاگ-نانولوله می‌شود، بنابراین تماس نانو مواد



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی ماکروکنیدی‌های *F. graminearum* در معرض نانو کامپوزیت  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{AgBr}$ : شاهد (A)، بعد از ۲۰ دقیقه (B)، بعد از ۶۰ دقیقه (C)، بعد از ۱۲۰ دقیقه (D).

**Figure 1.** Optical microscopic images for treatment of *Fusarium graminearum* by the  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{AgBr}$  (1:8) nanocomposite: (a) control, (b) after 20 min treatment, (c) after 60 min treatment, (d) after 120 min treatment .

با قارچ، عامل کلیدی برای فعالیت ضدقارچی نانو مواد کربنی است. هاگ‌های تیمار شده با نانو مواد کربنی، بعد از سه ساعت قرارگیری در مجاورت نانو مواد کربنی، شکل و پیکربندی معمول خود را از دست می‌دهند و سیئوپلاسم آن‌ها جمع می‌شود. این نتایج می‌تواند نشانگر پلاسمولیز باشد که در نتیجه‌ی از دست دادن آب هاگ‌ها در مجاورت نانو مواد کربنی رخ می‌دهد. با توجه به اینکه آب یک عامل اساسی برای تندش هاگ و ازسرگیری متابولیسم سلولی و رشد است، بنابراین هر عاملی که آبیگری هاگ‌ها را مختل کند، مانع از جوانه‌زنی و رشد هاگ‌ها می‌شود. مکانیسم جلوگیری از آبیگری هاگ‌ها در حضور نانو مواد کربنی فعلاً روشن نیست، اما ممکن است نانو مواد کربنی به‌وسیله‌ی جذب سطحی درغلظت‌های بالا با انسداد کانال‌های آبی موجود در هاگ‌ها، مانع از رشد و گسترش هاگ‌ها شوند. بنابراین انسداد کانال‌های آبی به‌وسیله‌ی نانو مواد کربنی، موجب کاهش آب هاگ‌ها و در نهایت، پلاسمولیز می‌شود. برای اثبات این فرضیه، میزان آب هاگ‌های شاهد و هاگ‌های تیمار شده با نانو مواد کربنی، به‌وسیله‌ی آنالیز حرارتی (TGA, Thermal gravimetric analysis) اندازه‌گیری شد که نتایج نشان داد، میزان رطوبت در هاگ شاهد ۶۱/۲٪ و برای هاگ‌های در معرض نانو مواد کربنی تک لایه ۶/۶٪ است که این نتایج، کاهش آب هاگ‌ها بعد از قرارگیری در معرض نانو مواد کربنی را تأیید می‌کند (Wang et al. 2014).

### نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به مضرات سموم شیمیایی برای مقابله با عوامل بیماری‌زا، لزوم ارائه‌ی راهکاری نوین برای رسیدن به کشاورزی ارگانیک و پایدار بسیار ضروری به نظر می‌رسد که در این راستا با توسعه‌ی روزافزون نانو فناوری، ورود آن در کشاورزی و به‌ویژه مقابله با عوامل بیماری‌زای گیاهی، بسیار مؤثر بوده و استفاده از نانو مواد دارای خاصیت ضد قارچی می‌تواند گام خوبی در مدیریت بیماری‌های گیاهی در گلخانه، مزرعه، باغ و به‌ویژه بیماری‌های پس از برداشت محسوب شود. معرفی برخی از نانو مواد مهم، شناخت سازوکارهای اثر ضدقارچی این نانو مواد و بررسی روش‌های فرموله نمودن به‌منظور انتخاب دقیق آن‌ها برای هرکدام از بیمارگرها و بهینه‌سازی کاربرد آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از چالش‌های پیش رو در به‌کارگیری این مواد در کنترل بیماری‌های گیاهی می‌توان به‌احتمال تأثیرات منفی آن‌ها روی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید، احتمال ماندگاری برخی از مواد سمی در طبیعت و احتمال تجزیه آن‌ها در مقابل نور یا بارندگی و غیره اشاره کرد.

بنابراین اجرای پژوهش‌های تکمیلی برای انتخاب بهترین ترکیبات و لحاظ جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و جوانب دیگر این فناوری با همکاری بیماری‌شناسان گیاهی و متخصصین فن‌آوری نانو پیشنهاد می‌شود.

## References

## منابع

۱. صدروی، م. و خردمند مطلق، ق. ۱۳۹۲. کاربرد فن‌آوری‌های نانو در بیماری‌شناسی گیاهی. دانش بیماری‌شناسی گیاهی ۲: ۳۸-۴۴.
۲. جعفری، م. و توحیدفر، م. ۱۳۸۵. گیاهان تراریخت: ایمنی، مزیت‌ها و اثرات بالقوه در کنترل حشرات آفت. اولین همایش بیوتکنولوژی کشاورزی. کرمانشاه، ایران، ۴۵-۳۳.
3. Afzal A. M., Rahber-Bhatti M. H. and Aslam M. 1997. Antibacterial activity of plant diffusate against *Xanthomonas campestris* pv. *citri*. *International Journal of Pest Management* 43:49-53.
4. Agrios G. N. 2005. *Plant Pathology*, 5<sup>th</sup> ed. Academic Press, San Francisco, California. 922p.
5. Borkow G. and Gabbay J. 2004. Putting copper into action: copper impregnated products with potent biocidal activities. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 18:1728-1730 ,
6. Borkow G., Zhou S. S., Page T. and Gabbay, J. 2010. A novel antiinfluenza copper oxide containing respiratory face mask. *PLoS One* 5:e11295.
7. Dias H. V. R., Batdorf K. H., Fianchini M., Diyabalanage H. V. K., Carnahan S., Mulcahy R., Rabiee A., Nelson K., van Waasbergen L. G. and Inorg J. 2006. Antimicrobial properties of highly fluorinated silver (I) tris (pyrazolyl) borates. *Biochemistry* 100:158-160.
8. Fateixa S., Marcia C. N., Adelaide A., Joao O. and Tito T. 2009. Anti-fungal activity of SiO<sub>2</sub>/Ag<sub>2</sub>S nanocomposites against *Aspergillus niger*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 74:304-308.
9. Fox C. L. 1968. Silver sulfadiazine-a new topical therapy for *Pseudomonas* in burns. *Archives of Surgery* 96:184-188.
10. Gabbay J., Mishal J., Magen E., Zatzoff R. C., Shemer-Avni Y. and Borkow G. 2006. Copper oxide impregnated textiles with potent biocidal activities. *Journal of Industrial Textiles* 35:323-335
11. Grunlan J. C., Choi J. K. and Lin A. 2005. Antimicrobial behavior of polyelectrolyte multilayer films containing certimide and silver. *Biomacromolecule* 6:1149-1153.



12. He L., Liu Y., Mustapha A. and Lin M. 2011. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological Research* 166:207-215.
13. Hoseinzadeh A., Habibi-Yangjeh A. and Davari M. 2016. Antifungal activity of magnetically separable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO/AgBr nanocomposites prepared by microwave-assisted method. *Progress in Natural Science: Materials International* 26:334-340
14. Kanhed P., Birla S., Gaikwad S., Gade A., Seabra A. B., Rubilar O., Duran N. and Rai M. 2014. In vitro antifungal efficacy of copper nanoparticles against selected crop pathogenic fungi. *Materials Letters* 115:13-17.
15. Kendall S., Hollomon D. W., Ishi H. and Heaney, S. P. 1994. Characterization of benzimidazole resistant strains of *Rhynchosporium secalis*. *Pesticide Science* 40:175-181.
16. Kumar R., Howdle S., Munstedt H. and Biomed J. 2005. Polyamide/silver antimicrobials: effect of filler types on the silver ion release. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 75:311-319.
17. Narayanasamy A. 2002. The ACCESS model: a transcultural nursing practice framework. *British Journal of Nursing* 11:643-650.
18. Oxley S. J. P., Cooke L. R., Black L., Hunter A. and Mercer P. C. 2003. Management of *Rhynchosporium* in different barley varieties and cropping systems. Home-Grown Cereals Authority, Project Report 315, London.
19. Padmavathy N. and Vijayaraghavan R. 2008. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles-an antimicrobial study. *Science and Technology of Advanced Materials* 9:1-7.
20. Phiwdang K., Phensaijai M. and Pecharapa W. 2013. Study of antifungal activities of CuO/ZnO nanocomposites synthesized by co-precipitation method. *Advanced Materials Research* 802:89-93
21. Rezaei M. K., Karami E. and Gibson J. 2006. Conceptualizing sustainable agriculture: Iran as an illustrative case. *Journal of Sustainable Agriculture* 27:25-56.
22. Sadravi M. and Kheradmand Motlagh G. 2013. Applications of nanotechnology in plant pathology. *Plant Pathology Science* 2:38-44.
23. Sawai J. and Yoshikawa T. 2004. Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide -powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay. *Journal of Applied Microbiology* 96:803-809.
24. Strange R. N. and Scott P. R. 2005. Plant disease: A threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology* 43:83-116.

25. Wang X., Liu X., Chen J., Han H. and Yuan Z. 2014. Evaluation and mechanism of antifungal effects of carbon nanomaterials in controlling plant fungal pathogen. *Carbon* 68:798-806.
26. Waxman M. F. 1998. The Agrochemical and Pesticides Safety Handbook. CRC Press. Florida. .616p.