7th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran
11-13 September. 2023, Tabriz Islamic Art University
In cooperation with Shiraz,Yasouj & Kerman Graduate Uni.
جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۶۸۶۸۶۹

تاثیر ضدقارچی نانوذره مس‌اکسید بر مهار بیمارگرهای گیاهی

وجیهه گنجعلی[۱]، منیره چنیانی[۲]، مریم مظاهری تیرانی*[۳]

۱- کارشناسی‌ارشد، فیزیولوژی‌گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی‌مشهد. *E-mail: vajiheh.ganjeali@gmail.com*
۲- استادیار، فیزیولوژی‌گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی‌مشهد. *E-mail:Cheniany@um.ac.ir*
۳- استادیار، علوم پایه، فیزیولوژی‌گیاهی، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه جیرفت. *E-mail:mazaheri@ujiroft.ac.ir*

چکیده

افزایش تولیدات کشاورزی به‌روش اقتصادی و بدون آلودگی محیط‌زیست یک چالش جهانی است. امروزه به‌دلیل افزایش روزافزون جمعیت، بسیاری از کشورهای در حال توسعه همچنان با تهدید ناامنی غذایی مواجه هستند. آفات و بیمارگرهای گیاهی از مهم‌ترین تهدیدات محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند. استفاده از نانوذرات یکی از راهبردهای جدید برای مبارزه با بیمارگرهای گیاهی است، زیرا خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منحصربه‌فرد و غیرعادی آن‌ها توجه اعضای جامعه علمی را به دلیل پتانسیل آن‌ها برای اهداف مختلف، از جمله کنترل و مدیریت بیماری‌های گیاهی، جلب کرده است. نانوذرات مس‌اکسید ارزانتر از سایر نانوذرات، به راحتی با پلیمرها ترکیب شده و دارای خواص شیمیایی و فیزیکی هستند که عموماً پایداراند، سطح زیاد و شکل‌های کریستالی که به افزایش قدرت ضدقارچی انان می‌افزاید. علاوه بر این، مس یک ریز مغذی ضروری گیاه است که به رشد گیاه و مقاومت در برابر بیمارگرهای گیاهی کمک می‌کند. علاوه بر این، مس برای ایجاد پروتئین‌های کلیدی دفاعی گیاه، مانند (پلاستوسیانین، پراکسیداز و اکسیدازهای متعدد) موردنیاز است. مزایای احتمالی ضدقارچی نانوذرات عبارتند از: بهبود ماندگاری، افزایش حلالیت و کاهش سمیت نسبت به قارچ‌کش‌های صنعتی است. گزارشات متعددی فعالیت ضدقارچی نانوذرات مس‌اکسید را در برابر طیف وسیعی از باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا تایید می‌کند. اما کاربرد عملی آن‌ها هنوز در مراحل اولیه بوده و نیاز به تحقیقات گسترده‌تری جهت بهره برداری صحیح و منطقی دارد. همه دلایل، ضرورت بررسی و مطالعات بیشتر اثرات ذرات نانو در علوم گیاهی را می‌طلبد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات فلزی، نانوقارچ‌کش‌ها، مدیریت بیماری‌های گیاهی، نانوذره مس‌اکسید.

۱- مقدمه

در حوزه پژوهش، فناوری نانو رویکرد نسبتاً جدیدی است که با تغییر در مقیاس، توزیع و شکل ذرات امکانات فوق‌العاده‌ای را برای استفاده آن در زمینه‌های مختلف فراهم می‌کند. کاربردهای نانوذرات اکسیدفلزی عبارت از علوم زیستی، پزشکی، فناوری موادغذایی، علوم کشاورزی، الکترونیک، صنایع‌شیمیایی، ضدمیکروبی (ضدباکتریایی و ضدقارچی) و انتقال دارو است [1]. مهم‌ترین و رایج‌ترین نانوذرات فلزی کاربردی می توان به نانو ذرات نقره (Ag)، طلا (Au)، مس (Cu)، پالادیوم (Pd)، دی‌اکسیدتیتانیوم (TiO_2)، اکسید روی (ZnO) و اکسید مس (CuO) اشاره نمود [2].

پاسخ گیاهان به نانوذرات برحسب نوع گونه گیاهی، مرحله رویشی (سنی) گیاه و ماهیت نانوذرات متفاوت است. به رغم تلاش‌های انجام شده در بخش کشاورزی، هنوز بهره وری و بازدهی گیاهان زراعی کمتر از توان حداکثری آن‌ها است. به این دلیل‌که همچنان بازدهی کم آب و عناصر غذایی مورد استفاده‌ی گیاهان و وجود رقابت شدید با آفات، بیمارگرها و علف‌های هرز وجود دارد. فناوری نانو، توانایی از بین‌بردن اغلب این موانع و مشکلات را داشته و قطعا در سال‌های آینده باعث افزایش

عملکرد و کارایی گیاهان زراعی و ایجاد امنیت غذایی بشر خواهد شد [3]. در هرحال استفاده از نانوذرات در زمینه‌های کشاورزی و زیست‌شناسی گیاهی بسیار جدید است و عملکرد نانوذرات، در سطح مولکولی و در سیستم‌های زیستی ناشناخته مانده است. همچنین درک کاملی از نقش نانوذرات مهندسی‌شده در فیزیولوژی گیاهی و در سطح مولکولی وجود ندارد [4].

۲- فناوری نانو

نانوتکنولوژی از قرن گذشته به‌عنوان یک حوزه تحقیقاتی کاملا شناخته مطرح است. نانوتکنولوژی توسط فاینمن، برنده جایزه نوبل، در طی سخنرانی معروفی در سال ۱۹۵۹ با جمله "در پایین اتاق زیاد است" ارائه شد. نانوذرات دسته وسیعی از مواد هستند که ذرات آن‌ها دارای قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر، حداقل در یکی از ابعاد باشد [5]. بسته به شکل کلی این مواد می‌توانند در سه بعد باشند [6]. اهمیت این مواد زمانی مشخص‌شد که محققان دریافتند که اندازه‌ذرات می‌تواند بر خواص فیزیکی و شیمیایی یک ماده تأثیر بگذارد. نانوذرات به‌خودی‌خود مولکول‌های ساده‌ای نیستند و از سه لایه تشکیل شده‌اند، که شامل (الف) لایه سطحی که ممکن است با انواع مولکول‌های کوچک، یون‌های فلزی، سورفکتانت‌ها و پلیمرها ترکیب شود، (ب) لایه پوسته که از نظر شیمیایی با بخش هسته متفاوت است و (ج) هسته که اساساً بخش مرکزی نانوذرات است و معمولاً به ماهیت نانوذره اشاره می‌کند [7]. نانوذرات بسته به مورفولوژی، اندازه و خواص شیمیایی به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، برخی از گروه‌های شناخته‌شده نانوذرات شامل نانوذره‌های برپایه کربن، نانوذره‌های فلزی، نانوذره‌های سرامیک، نانوذره‌های نیمه هادی، نانوذره‌های پلیمری و ناوذره‌های برپایه لیپید می‌باشد [8].

۳- اهمیت نانوذرات برگیاهان

امروزه فناوری نانو دارای پتانسیل بسیار بالایی در جهت ارتقاء محصولات زراعی می‌اشد. در همین راستا، روش‌های نوین فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری بین رشته‌ای و پیشتاز در جهت رفع مشکلات و کمبودها در بسیاری از عرصه‌های کشاورزی و علوم گیاهی، به‌اثبات‌رسانده‌است. نانوذرات تغییراتی را در حالت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می‌کنند. این فعل و انفعالات ممکن است مثبت و یا منفی (بسته به ماهیت نانوذرات و گونه گیاهی) باشد. محققان از روش‌های مختلف کاربرد نانوذرات مانند کاربرد کودهای شیمیایی در خاک، محلول‌پاشی یا تیمار بذر و یا اثرات ضدقارچی برای بررسی تأثیر نانوذرات بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه (رشد، توسعه و تحمل به انواع تنش‌ها و دفاع در برابر بیمارگرهای گیاهی) استفاده می‌کنند. شواهد موجود نشان‌داده‌است که نانوذرات مختلف در غلظت‌های بهینه می‌توانند اثرات مثبتی بر عملکرد و سیستم دفاعی گیاه داشته باشند [9 , 10].

۴- جذب نانوذرات در گیاهان

جذب نانوذرات از خاک و توسط ریشه گیاه را می‌توان به‌عنوان اولین مرحله در تجمع زیستی نانوذرات در گیاه توصیف کرد. در آزمایشات متعددی حرکت، جذب و انتقال نانوذرات متعدد را تجزیه و تحلیل کردند و پیشنهاد نمودند که انباشتگی نانوذرات در گیاه با جذب از طریق ریشه، همراه با انتشار در بافت‌های گیاهی و با تغییرات خاصی مانند انحلال در فاز آبی سلولی، تبدیل زیستی و تجمع زیستی اتفاق می‌افتد. نانوذراتی که به صورت محلول به پای گیاه اضافه می‌شوند پس از برهمکنش با ریشه‌های گیاه به بخش‌های هوایی منتقل شده و در اندامک‌های مختلف درون سلولی تجمع می‌یابند. اندازه نانوذرات به طور مستقیم با میزان جذب آن‌ها مرتبط است و یک عامل مهم محسوب می‌گردد زیرا ورود آن‌ها را از طریق منافذ دیواره سلولی یا روزنه‌های گیاهی امکان‌پذیر می‌کند [11 , 12]. نکته مهم‌این‌است که با توجه به بار منفی دیواره سلولی، اتصال نانوذرات به سطح سلول گیاهی مستقیماً به بار نانوذرات وابسته است. به دنبال بار و اندازه ذرات، آبگریزی موجود در سطح گیاه نقش مهمی در فرآیند جذب و جابجایی خواهد داشت. بنابراین، برای تعیین حرکت و مکان‌یابی نانوذرات در ساختارها و اندامک‌های سلولی مختلف در گیاه، جایگیری و ردیابی نانوذرات مهم است [13].

۵- انتقال نانوذرات در گیاهان

در مطالعات متعدد تلاش‌شده‌است تا مکانیسم های دخیل در ساختارهای گیاهی و یا اندامک‌های سلولی، در جهت جابجایی و تجمع نانوذرات مختلف بررسی گردد [14]. انتقال و تجمع نانوذرات در گیاه به فیزیولوژی و ساختار سلول های گیاهی، برهمکنش نانومواد با خاک و ماهیت و پایداری نانوذرات بستگی دارد. دیواره سلولی گیاهان به‌عنوان اولین و خاص‌ترین مانع عمل می‌کند که ورود نانوذرات را به داخل سلول تنظیم می‌کند و توانایی حل شدن و عبور نانوذرات را با توجه به ماهیت آن‌ها تعیین می‌کند. اکثر مطالعات گزارش‌می‌دهند که اندازه منافذ دیواره سلولی، محدودیت کلیدی در ورود نانوذرات به سلول گیاهی است. ماهیت نانوذرات عامل محدودکننده دومی است که بر نفوذ آن‌ها از طریق دیواره سلولی و غشای سلولی تأثیر می گذارد [15]. مشخص‌گردیده‌است که جذب نانوذرات با روش اسپری برگی می‌توانند از طریق روزنه و یا کوتیکول برگ‌ها صورت گیرد. کوتیکول به‌عنوان یک سد اولیه برگ عمل می‌کند. همچنین ورود نانوذرات از طریق روزنه‌ها و انتقال سلولی آن-ها از طریق مسیرهای آپوپلاستی و سیمپلاستی به سیستم درونی گیاه انجام می‌شود [16].

۶- خصوصیات نانوذرات مس‌اکسید

در میان فلزات سنگین، مس یک فلز واسطه قهوه‌ای مایل به قرمز با عدد اتمی ۲۹، جرم اتمی ۶۳/۵ گرم مول-۱ و چگالی ۸/۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. مس یکی از ۸ عنصر کم‌مصرف برای رشد گیاهان عالی است که در سطوح بهینه ضروری و در سطوح بالا سمی است. در شرایط فیزیولوژیکی، مس به دو شکل حالت احیاء شده و حالت اکسید شده یافت می‌شود [17].

این فلز بسته به حالت مس (اکسید یا احیاء) می‌تواند نقش‌های متفاوتی را ایفا کند. در شکل اکسیدشده، معمولاً به گروه های نیتروژن اکسیژن یا ایمیدازول متصل می‌شود. در حالی‌که شکل کاهش‌یافته معمولاً برای اتصال مولکول‌های زیستی حاوی گوگرد که دارای یک گروه عاملی تیول یا تیو اتر هستند، استفاده می‌شود. مس جزء ساختاری پروتئین‌های تنظیم‌کننده متعدد است و با مشارکت در تنفس میتوکندری، متابولیسم دیواره سلولی، انتقال الکترون فتوسنتزی، پاسخ به تنش اکسیداتیو، سنتز پروتئین و سیگنال‌دهی هورمونی نقش‌های کلیدی ایفا می‌کند [18].

مس‌اکسید ترکیبی از دو عنصر مس و اکسیژن است که یون مس توسط چهار یون اکسیژن احاطه می‌شود. امروزه نانوذرات مس‌اکسید توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، زیرا مس یکی از مهم‌ترین مواد در فناوری‌های مدرن است و به‌آسانی در دسترس است [19]. این نانوذرات پتانسیل گسترده‌ای در زمینه کاتالیزور، ابررساناها و سرامیک‌ها به عنوان نوعی مواد معدنی دارند و می توان از آن ها به عنوان کاتالیزور و به عنوان مواد فعال الکترودها مانند تجزیه کننده اکسید نیتروژن با آمونیاک و اکسیداسیون مونوکسید کربن استفاده کرد [20].

نانوذرات مس‌اکسید فعالیت کاتالیزوری و گزینش پذیری بالاتری نسبت به پودر معمولی مس‌اکسید نشان می‌دهد. بعلاوه در مقایسه با مس‌اکسید معمولی، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی خاص و برتری مانند: اثر سطحی، برتری اثر اندازه کوانتومی، اثر حجمی و اثر تونل‌زنی کوانتومی ماکروسکوپی در مغناطیسی، جذب نوری بالا، فعالیت شیمیایی و مقاومت حرارتی، کاتالیزور و نقطه ذوب بالاتر هستند لذا نانوذرات مس‌اکسید توجه بیشتری را به خود جلب کرده و به یکی از پرمصرف‌ترین مواد معدنی تبدیل شده است [21 , 22].

تکنیک‌های مهم تعیین خصوصیات ویژگی‌های نانوذرات مس‌اکسید عبارت از طیف سنجی (UV-Vis)، اسپکتروفتومتر FTIR، اندازه و تجزیه و تحلیل مورفولوژیکی، میکروسکوپ روبشی (STM) ، میکروسکوپ اتمی (AFM) ، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ، پراکندگی دینامیک نور (DLS) و پراش اشعه ایکس (XRD) می باشند [23].

۷- کاربردهای نانوذرات مس‌اکسید

۷-۱- خاصیت ضدباکتریایی

در چند دهه گذشته، نانوذرات اکسیدهای فلزی برای درمان بیماری‌های مختلف باکتریایی و ویروسی و قارچی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آنتی‌بیوتیک‌های مبتنی بر نانوذرات از آنجایی که تاثیردرمانی بالاتر، عدم الودگی محیط زیست و فعالیت بالقوه در درمان بیماری‌ها را نشان می‌دهند، جذابیت خاصی به دست آوردند. در مرحله اولیه، نانوذرات باید به سطح سلول بیمارگر نزدیک شوند. خواص سطحی نانوذرات در این مرحله نقش کلیدی در فرآیندهای انتشار و اتصال آن‌ها به سطح سلول بیمارگر دارد. بار سطحی مخالف غشای سلولی، نانوذرات را جذب کرده و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا با غشاء سلول بیمارگر تعامل کنند. نانوذرات می‌توانند به طور غیرمستقیم با القای گونه-های کنشگر اکسیژن یا مستقیماً با نفوذ به داخل سلول باعث آسیب سلولی شوند. با این وجود، اندازه کوچک نانوذرات و شکل مناسب آن‌ها یکی از عوامل اصلی است. چندین گزارش نشان داد که نانوذرات مس اکسید فعالیت ضد میکروبی فوق العاده ای در برابر باکتری‌های گرم مثبت و منفی دارند. برپایه تحقیقات نانوذرات مس اکسید سنتز شده فعالیت ضدباکتریایی بالقوه-ای را علیه *Pseudomonas aeruginosa* ، *Clostridium difficile* ، *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* نشان دادند [27-24] . همچنین در مطالعه‌ای سنتز نانوذرات مس‌اکسید با استفاده از عصاره برگ سوسن آتشی (*Gloriosa superba* L.) مهار باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و باکتری گرم منفی *Klebsiella aerogenes* را نشان داد [28]. گزارشات متعددی نشان داد که نانوذرات مس اکسید سبب مهار رشد باکتری‌های *Pseudomonas aeruginosa* در ذرت (*Zea mays* L.) ، *Klebsiella pneumoniae* در بالنگ (*Citrus medica* L.)، *Micrococcus luteus* و *Salmonella enteric* در انار (*Punica granatum*) شد [29] . [28 , 30]

۲-۷- خاصیت ضدقارچی

در کشاورزی، مس جزء کلیدی برخی از قارچ‌کش‌های معدنی است که برای کنترل چندین بیمارگر گیاهی استفاده شده است. نانوذرات مس‌اکسید به دلیل طیف وسیعی از خواص زیستی و فیزیکوشیمیایی منحصربه‌فرد و همچنین هزینه کم در تهیه آن، موردتوجه دانشمندان قرارگرفته‌است [31]. مکانیسم‌های عمل نانوذرات بر روی میکروارگانیسم‌ها به‌طور کامل بررسی نشده است و گزارشات محدودی در این زمینه در دسترس است. گستره وسیع مکانیسم‌هایی که نانوذرات به‌واسطه آن با ویروس‌ها، سلول‌های میکروبی و میکروارگانیسم‌ها تعامل می‌کنند، باعث‌شده‌است که توانایی میکروارگانیسم‌ها برای ایجاد مقاومت در برابر آن‌ها محدود گردد. نانوذرات می‌توانند با مهار پمپ‌های پروتون دیواره سلولی و یا با افزایش نفوذپذیری غشاء و تضعیف ساختار غشایی، در رشد سلولی بیمارگر اختلال ایجاد کنند. با توجه به پیچیدگی مکانیسم زیست‌کشی نانوذرات، باید فرض کرد که خواص فیزیکوشیمیایی نانوذرات، مانند شکل و اندازه، بر فعالیت ضدمیکروبی آن‌ها تأثیر می‌گذارد. با وجود این که اثرات ضدمیکروبی نانوذره مس‌اکسید بر روی باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها به خوبی شناخته‌شده‌است، اما مکانیسم و روش اثر نانوذره مس اکسید بر روی انواع میکروب‌ها هنوز ناشناخته است [33 , 34] .

به این ترتیب، نانوذرات مس هم به‌عنوان ضدقارچ و هم به‌عنوان محرک رشد گیاه عمل کنند. قارچ‌کش‌های تجاری برپایه نمک‌های مس می‌توانند برای گیاهان سمی باشند زیرا یون‌های مس به‌راحتی توسط ریشه جذب می‌شوند. چندین مطالعه نشان داد که نانوذرات مس‌اکسید می‌توانند به عنوان یک عامل ضدقارچ استفاده شوند زیرا می-توانند چندین قارچ بیماری زا را در گیاهان مهار کنند. با این حال، مطالعات بیشتری برای اطمینان از مکانیسم‌های ضدقارچی دقیق نانوذرات مس‌اکسید و استفاده آن‌ها به عنوان یک عامل ضدقارچی مورد نیاز است[35 , 36] .

در مطالعات متعددی خاصیت ضدقارچی نانوذرات مس اکسید سنتز شده برروی چندین گونه قارچی بیماری زا مانند *Fusarium oxysporum* Schltdl.، *Alternaria solani* (Ellis & G. Martin) L.R ، *Aspergillus niger* Tiegh و *Penicillium citrinum* Thom تایید شده است[39-37] . در گزارشی کاربرد نانوذرات مس‌اکسید سنتز شده موجب مهار قارچ *Botrytis cinerea* در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شد[40]. همچنین فعالیت ضدقارچی نانوذرات مس

اکسید سنتزشده به‌وسیله باکتری *Streptomyces griseus* در برابر قارچ *Poria. Hypolateritia* (عامل پوسیدگی قرمز ریشه) در مزرعه گیاهان چای (*Camellia sinensis* (L) O.kuntze) ارزیابی شد[41].

۳-۷- عوامل رشد گیاه

گیاهان برای رشد و نمو خود نیازمند جذب مواد معدنی و عناصر غذایی مختلف دارند. مواد مغذی گیاهان به دو دسته درشت مغذی ها و ریز مغذی ها تقسیم می شوند. درشت مغذی ها به طور کلی در غلظت‌های بالا و ریز مغذی ها نسبتاً در غلظت های پایین مورد نیاز هستند. هر دو این درشت مغذی ها و ریز مغذی ها برای حفظ یکپارچگی ساختاری و رشد طبیعی گیاهان ضروری بوده و کمبود آن باعث بیماری و مرگ قسمت‌های مختلف گیاه می‌شود. نانوذرات در غلظت‌های زیاد و من- جمله مس به عنوان یک فلز سنگین، می‌توانند با روش‌های متعددی موجب اختلالات متابولیسمی شود که سرانجام به بازدارندگی رشد و کاهش بیومس گیاه و در نهایت مرگ گیاه منتج گردد. درحالی‌که نتایج در غلظت‌های کمتر چنین نیست و اثر بهبودی دارد [42]. در یک مطالعه، مشخص شد که نانوذرات مس‌اکسید می‌توانند رشد ریشه و شاخساره را در گندم (*T. aestivum*) تحریک کنند. پاسخ رشد معمولاً با غلظت‌های مختلف نانوذرات متفاوت است. هنگامی که گیاهچه‌ها با غلظت های ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ پی‌پی‌ام نانوذرات مس‌اکسید تیمار شدند، رشد و عملکرد بهتری را نشان دادند. غلظت بالای ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام باعث کاهش رشد گندم و به دنبال آن کاهش عملکرد شد [43]. هنگامی که نانوذرات مس اکسید بر روی پیاز (*Allium cepa* L.) با غلظت ۲۰ میکروگرم در میلی لیتر اعمال شد، رشد و شاخص میتوزی را افزایش داد. شاخص میتوزی با افزایش غلظت نانوذرات مس اکسید کاهش یافت [44]. نتایج پژوهشی نشان داد که کاربردنانوذرات مس اکسید باعث افزایش رشد اندام هوایی و ریشه در ذرت (*Z. mays*) شد[45] . در پژوهشی مشخص شد که وزن‌تر و خشک گیاهان گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)، هنگامی که در خاک اصلاح شده با۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات مس‌اکسید رشد کردند، افزایش یافت [46]. در گزارشی نانوذرات مس‌اکسید با غلظت‌های مختلف از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر تأثیر منفی بر رشد ترب (*Raphanus sativus* L.) ، گندم (*T. aestivum*) و چچم (*Lolium perenne* L.) داشتند[47, 48]. همچنین استفاده از نانوذرات مس اکسید در غلظت بالاتر در گیاهچه های آرابیدوبسیس (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh) باعث مهار رشد ریشه و اندام هوایی و همچنین کاهش محتوای کلروفیل شد [49] .

۸- اثر نانوذرات مس اکسید در بهبود عملکرد قارچ کش های صنعتی

سالانه بیمارگر های قارچی باعث کاهش ۷۰ تا ۸۰ درصد عملکرد محصولات زراعی می شوند. راهبردهای فعلی برای کنترل بیماری های قارچی قارچ کش ها هستند که اثرات منفی بر محیط زیست و انسان دارند[50] .

نانوتکنولوژی می‌تواند با کاهش تأثیر منفی قارچ‌کش‌ها، اعم از افزایش حلالیت قارچ‌کش‌های کم محلول در آب، افزایش ماندگاری و کاهش سمیت، به شیوه‌ای پایدار و سازگار با محیط‌زیست موجب ایجاد اثرات مثبت در سرکوب بیمارگرهای گیاهی شود. علیرغم مزایای فراوان استفاده از نانوذرات، تاکنون تعداد بسیار کمی از محصولات مبتنی بر نانوذرات در مقادیر تجاری برای اهداف ضدقارچی تولید شده‌اند. کمبود استفاده تجاری نانوقارچ کش ها ممکن است با عوامل از جمله، عدم استفاده از اکوسیستم میزبان- آفات و تعداد ناکافی آزمایش های مزرعه ای مرتبط باشند [51].

نانوذراتی که به صورت بالقوه از گیاهان حفاظت می کنند و نانوذراتی که به عنوان حامل های قارچ کش ها هستند می توانند برای حفاظت از گیاهان در برابر بیمارگرها مطرح شوند. فواید نانوذرات حامل در جهت کنترل بیماری ها عبارتند از افزایش پایداری نانو افت کش ها تحت فشارهای محیطی از جمله باد باران و اشعه فرابنفش و کاهش دفعات مصرف است که منجر به کاهش الودگی محیط زیست و انسان می‌شود[52] .

در پژوهشی نانوذرات کوپلیمر کیتوزان- لاکتید در غلظتهای مختلف برروی پیراکلوستروبین (نوعی قارچ کش با حلالیت کمتر در آب) بارگذاری شد. پس از گذشت پنج روز این نانوقارچ کش در مقایسه با پیراکلوستروبین تجاری، به میزان مشابه یا

کمتر در مهار قارچ *Corythucha gossypii* عمل کرد [53]در یک آزمایش دیگر، قارچ کش کامپفرول که بر روی لسیتین/کیتوزان بارگذاری شده بود، پس از گذشت دوماه ذخیره سازی ٪۶۷ بازدارندگی روی یک ظرف پتری آلوده به *Fusarium oxysporum* تایید شد [54].

۹- نتیجه گیری

بیمارگرهای گیاهی در اکوسیستم کشاورزی، کیفیت غذا، عملکرد محصول و امنیت غذایی جهانی را مختل می‌کنند. اثرات سوء حاصل از برخی روش‌های مورد استفاده در مدیریت بیماری، از جمله آلودگی محیط‌زیست در اثر مصرف سموم شیمیایی، افزایش تجمع آمونیاک در محیط ریشه در اثر مصرف بیش از اندازه کودهای دامی و سایر موارد محققان را برآن داشت تا به دنبال جایگزین نمودن یا تلفیق روش‌های مناسب دیگر با معایب کمتر باشند. نانوتکنولوژی می‌تواند پتانسیل‌های کاربرد در حوزه کشاورزی را افزایش دهد و تکنیک کنونی مورد استفاده در کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی را تغییر دهد. اخیراً مطالعات مختلفی در جهت استفاده از فناوری نانو در کنترل بیماری‌های گیاهی صورت گرفته است. استفاده هوشمندانه از موادشیمیایی در مقیاس نانو می‌تواند راه‌حل مناسبی برای غلبه بربسیاری از مشکلات سنتی مقابله و مدیریت بیماری‌های گیاهی باشد[55].

References

[1] Ganjeali V, Cheniany M, Taheri P, Mazaheri-Tirani M. 2023 Evaluation of antifungal activity of nano and bulk forms of copper oxide in wheat (Roshan cultivar). Nova Biologica Reperta ; 10 (1) :33-46.

[2] Scherm, B., Balmas, V., Spanu, F., Pani, G., Delogu, G., Pasquali, M. and Miqheli, Q. 2013. Fusarium culmorum: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. Molecular Plant Pathology, 14, 323-41.

[3] Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., and Zhou, J. 2019. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. Molecules, 24(14), 2558.

[4] Grigore, M. E., Biscu, E. R., Holban, A. M., Gestal, M. C., and Grumezescu, A. M. 2016. Methods of synthesis, properties and biomedical applications of CuO nanoparticles Pharmaceuticals, 9(4), 75.

[5] Laurent, S., Bridot, J. L., Elst, L. V., and Muller, R. N. 2010. Magnetic iron oxide nanoparticles for biomedical applications. Future Medicinal Chemistry, 2(3), 427-449.

[6] Tiwari, S.K., Sahoo, S., Wang, N. and Huczko, A. 2020. Graphene research and their outputs: Status and prospect. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 5, 10-29.

[7] Toqeer, I., Raza, A., Naz, M. Y., Ghaffar, A., Hussain, Z., and Ghuffar, A. 2020. Synthesis and application of controlled size copper oxide nanoparticles for improving biochemical and growth parameters of maize seedling. Journal of Plant Nutrition, 43(17), 2622-2632.

[8] Hashim, N., Paramasivam, M., Tan, J. S., Kernain, D., Hussin, M. H., Brosse, N., and Raja, P. B. 2020. Green mode synthesis of silver nanoparticles using Vitis vinifera's tannin and screening its antimicrobial activity/apoptotic potential versus cancer cells. Materials Today Communications, 25, 101511.

[9] Kaur, S., Samota, M. K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A. K., Sharma, A., and Thakur, J. 2022. How do plants defend themselves against pathogens-Biochemical mechanisms and genetic interventions. Physiology and Molecular Biology of Plants, 28, 485-504.

[10] Mustafa, G., and Komatsu, S. 2016. Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics, 1864(8), 932-944.

[11]Rajput, V., Minkina, T., Sushkova, S., Behal, A., Maksimov, A., Blicharska, E., Ghazaryan, K., Movsesyan, H. and Barsova, N. 2020. ZnO and CuO nanoparticles: a threat to soil organisms, plants, and human health. Environmental Geochemistry and Health, 42, 147-158.

[12] Chakraborty, N., Banerjee, J., Chakraborty, P., Banerjee, A., Chanda, S., Ray, and Sarkar, J. 2022. Green synthesis of copper/copper oxide nanoparticles and their applications: a review. Green Chemistry Letters and Reviews, 15(1), 187-215.

[13] Viet, P.V., Nguyen, H.T., Cao, T.M. and Hieu, L.V. 2016. Fusarium antifungal activities of copper nanoparticles synthesized by a chemical reduction method. Journal of Nanomaterials,12(2), 85-89

[14] Perez-de-Luque, D., Popović, M., and Miladinović, J. 2017. Phenolic content and antioxidant properties of soybean (Glycine max (L.) Merr.) seeds. Molecules, 12(3), 576-581.

[15] Ali, S., Mehmood, A., and Khan, N. 2021. Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. Journal of Nanomaterials, 2021(2), 1-17.

[16] Hong, J., Wang, C., Wagner, D. C., Gardea-Torresdey, J. L., He, F., and Rico, C. M. 2021. Foliar application of nanoparticles: mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts. Environmental Science: Nano, 8(5), 1196-1210.

[17] Randall, D. W., Gamelin, D. R., LaCroix, L. B., and Solomon, E. I. 2000. Electronic structure contributions to electron transfer in blue Cu and Cu (A). Journal of biological inorganic chemistry: JBIC: a publication of the Society of Biological Inorganic Chemistry, 5(1), 16-29.

[18] Smith, R. C., Reed, V. D., and Hill, W. E. 1994. Oxidation of thiols by copper (II). Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements, 90(14), 147-154.

[19] Remya N, Saino HV, Baiju GN, and Kumar DS 2010. Nanoparticulate ma terial delivery to plants. Pl Sci; 179:154–63.

[20] Ahmad, H., Venugopal, K., Bhat, A. H., Kavitha, K., Ramanan, A., Rajagopal, K., and Manikandan, E. 2020. Enhanced biosynthesis synthesis of copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) for their antifungal activity toxicity against major phyto-pathogens of apple orchards. Pharmaceutical Research, 37, 1-12.

[21] Ighalo, J. O., Sagboye, P. A., Umenweke, G., Ajala, O. J., Omoarukhe, F. O., Adeyanju, C. A., and Adeniyi, A. G. 2021. CuO nanoparticles (CuO NPs) for water treatment: A review of recent advances. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15, 100443.

[22] Naz, S., Gul, A., Zia, M., and Javed, R. 2023. Synthesis, biomedical applications, and toxicity of CuO nanoparticles. Applied Microbiology and Biotechnology, 107(4), 1039-1061.

[23] Cuong, H. N., Pansambal, S., Ghotekar, S., Oza, R., Hai, N. T. T., Viet, N. M., and Nguyen, V. H. 2022. New frontiers in the plant extract mediated biosynthesis of copper oxide (CuO) nanoparticles and their potential applications: A review. Environmental Research, 203, 111858.

[24] Husted, S., Møs, P., Le Tougaard, S., Pinna, A., and Minutello, F. 2022. Comment on "Foliar application of nanoparticles: mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts" by J. Hong, C. Wang, DC Wagner, JL Gardea-Torresdey, F. He and CM Rico, Environ. Sci.: Nano, 2021, 8, 1196–1210. Environmental Science: Nano, 9(3), 1180-1184.

[25] Raghunath, A., and Perumal, E. 2017. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future. International journal of antimicrobial agents, 49(2), 137-152.

[26] Tong, S., Zhu, H., and Bao, G. 2019. Magnetic iron oxide nanoparticles for disease detection and therapy. Materials Today, 31, 86-99.

[27] Puzyn, T., Rasulev, B., Gajewicz, A., Hu, X., Dasari, T. P., Michalkova, A., and Leszczynski, J. 2011. Using nano-QSAR to predict the cytotoxicity of metal oxide nanoparticles. Nature nanotechnology, 6(3), 175-178.

[28] Fouad, E. A., Elnaga, A. S. A., and Kandil, M. M. 2019. Antibacterial efficacy of Moringa oleifera leaf extract against pyogenic bacteria isolated from a dromedary camel (Camelus dromedarius) abscess. Veterinary World, 12(6), 802.

[29] Ayub, M. A., Naeem, A., ur Rehman, M. Z., Farooqi, Z. U. R., Umar, W., Fatima, H., and Shabaan, M. 2022. Role of nanotechnology in enhancing crop production and produce quality. Sustainable Nanotechnology for Environmental Remediation, 703-764.

[30] Silva, P. M., Napoleão, T. H., Silva, L. C., Fortes, D. T., Lima, T. A., Zingali, R. B., ... and Paiva, P. M. 2016. The juicy sarcotesta of Punica granatum contains a lectin that affects growth, survival as well as adherence and invasive capacities of human pathogenic bacteria. Journal of functional foods, 27, 695-702.

[31] Silva, P. M., Napoleão, T. H., Silva, L. C., Fortes, D. T., Lima, T. A., Zingali, R. B., ... and Paiva, P. M. 2016. The juicy sarcotesta of Punica granatum contains a lectin that affects growth, survival as well as adherence and invasive capacities of human pathogenic bacteria. Journal of functional foods, 27, 695-702.

[32] Ingle, A. P., Duran, N., and Rai, M. 2014. Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: a review. Applied microbiology and biotechnology, 98, 1001-1009.

[33] Nisar, P., Ali, N., Rahman, L., Ali, M., and Shinwari, Z. K. 2019. Antimicrobial activities of biologically synthesized metal nanoparticles: an insight into the mechanism of action. JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry, 24, 929-941.

[34] Rai, M., Deshmukh, S. D., Ingle, A. P., Gupta, I. R., Galdiero, M., and Galdiero, S. 2016. Metal nanoparticles: The protective nanoshield against virus infection. Critical reviews in microbiology, 42(1), 46-56.

[35] Bhattacharjee, R., Kumar, L., Mukerjee, N., Anand, U., Dhasmana, A., Preetam, S., and Proćków, J. 2022. The emergence of metal oxide nanoparticles (NPs) as a phytomedicine: A two-facet role in plant growth, nano-toxicity and anti-phyto-microbial activity. Biomedicine & Pharmacotherapy, 155, 113658.

[36] Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C., and Babalola, O. O. 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. Applied Sciences, 9(3), 499.

[37] Hashemi, S., and Ahmadzadeh, M. 2023. The Effect of Zinc Oxide, Copper, and Silver Nanoparticles Synthesized by the Green Method for Controlling Strawberry Gray Mold Fungus, B. Cinerea Pers.

[38] Sankar, R., Maheswari, R., Karthik, S., Shivashangari, K. S., and Ravikumar, V. 2014. Anticancer activity of Ficus religiosa engineered copper oxide nanoparticles. Materials Science and Engineering: C, 44, 234-239.

[39] Cuevas, R., Durán, N., Diez, M. C., Tortella, G. R., and Rubilar, O. 2015. Extracellular biosynthesis of copper and copper oxide nanoparticles by Stereum hirsutum, a native white-rot fungus from chilean forests. Journal of Nanomaterials, 16(1), 57-57.

[40] Kazemian, S., Zarrinnia, V., Khosroshahli, M. and Hasanzadeh, N. 2019. Investigation on the control effects of green copper oxide (CuO) nanoparticles on the tomato gray mold disease caused by Botrytis cinerea. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 35(1) 54-67.

[41] Natesan, K., Ponmurugan, P., Gnanamangai, B. M., Manigandan, V., Joy, S. P. J., Jayakumar, C., and Amsaveni, G. 2021. Biosynthesis of silica and copper nanoparticles from Trichoderma, Streptomyces and Pseudomonas spp. evaluated against collar canker and red root-rot disease of tea plants. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 54(1-2), 56-85.

[42] Hossain, Z., Yasmeen, F., and Komatsu, S. 2020. Nanoparticles: synthesis, morphophysiological effects, and proteomic responses of crop plants. International Journal of Molecular Sciences, 21, 3056.

[43] Badawy, A. A., Abdelfattah, N. A., Salem, S. S., Awad, M. F., and Fouda, A. 2021. Efficacy assessment of biosynthesized copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) on stored grain insects and their impacts on morphological and physiological traits of wheat (Triticum aestivum L.) plant. Biology, 10(3), 233.

[44] Nagaonkar, D., Shende, S., and Rai, M. 2015. Biosynthesis of copper nanoparticles and its effect on actively dividing cells of mitosis in Allium cepa. Biotechnology progress, 31(2), 557-565.

[45] Haider, H. I., Zafar, I., Ain, Q. U., Noreen, A., Nazir, A., Javed, R., and Sharma, R. 2023. Synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles: its influence on corn (Z. mays) and wheat (Triticum aestivum) plants by inoculation of Bacillus subtilis. Environmental Science and Pollution Research, 30(13), 37370-37385.

[46] Zuverza-Mena, N., Medina-Velo, I.A., Barrios, A.C., Tan, W., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L. 2015. Copper nanoparticles/compounds impact agronomic and physiological parameters in cilantro (Coriandrum sativum). Environmental Science: Processes and Impacts, 17, 1783-1793.

[47] Anjum, S., Vyas, A., and Sofi, T. 2023. Fungi- mediated synthesis of nanoparticles: characterization process and agricultural applications. Journal of the Science of Food and Agriculture.

[48] Feigl, G. 2023. The impact of copper oxide nanoparticles on plant growth: a comprehensive review. Journal of Plant Interactions, 18(1), 2243098.

[49] Bombin, S., LeFebvre, M., Sherwood, J., Xu, Y., Bao, Y., and Ramonell, K. M. 2015. Developmental and reproductive effects of iron oxide nanoparticles in Arabidopsis thaliana. International journal of molecular sciences, 16(10), 24174-24193.

[50] Kutawa, A. B., Ahmad, K., Ali, A., Hussein, M. Z., Abdul Wahab, M. A., Adamu, A., and Hossain, M. I. 2021. Trends in nanotechnology and its potentialities to control plant pathogenic fungi: A review. Biology, 10(9), 881.

[51] Singh, J., Kaur, G., & Rawat, M. 2016. A brief review on synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles and its applications. J. Bioelectron. Nanotechnol, 1(9).

[52] Worrall, E. A., Hamid, A., Mody, K. T., Mitter, N., and Pappu, H. R. 2018. Nanotechnology for plant disease management. Agronomy, 8(12), 285.

[53] Xu, L., Cao, L.-D., Li, F.-M., Wang, X.-J. and Huang, Q.-L. 2014. Utilization of chitosan-lactide copolymer nanoparticles as controlled release pesticide carrier for pyraclostrobin against Colletotrichum gossypii Southw. Journal of Dispersion Sciences and Technology 35: 544–550.

[54] Ilk, S., Saglam, N. and Özgen, M. 2017. Kaempferol loaded lecithin/chitosan nanoparticles: Preparation, characterization, and their potential applications as a sustainable antifungal agent. Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology 45: 907–916

[55] Tiwari, S.K., Sahoo, S., Wang, N. and Huczko, A. 2020. Graphene research and their outputs: Status and prospect. Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 5, 10-29.