دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

تکنولوژی‌های نوین و خلاقانه در کنترل پاتوژن‌های قارچی پس از برداشت و حفاظت و نگهداری میوه‌ها

میترا حسنی(نویسنده مسئول)[1]، مجتبی محمدزاده وظیفه[1]، شقایق نصر[1و2]

[1] گروه بیوتکنولوژی میکروبی، دانشکده علوم پایه و فناوری‌های نوین زیستی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران Mitra7530@gmail.com، mohammadzadeh.vazifeh@usc.ac.ir

[2] بانک میکروارگانیسم ها، مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران (IBRC)، ACECR، تهران shaghayegh2963@yahoo.com

چکیده

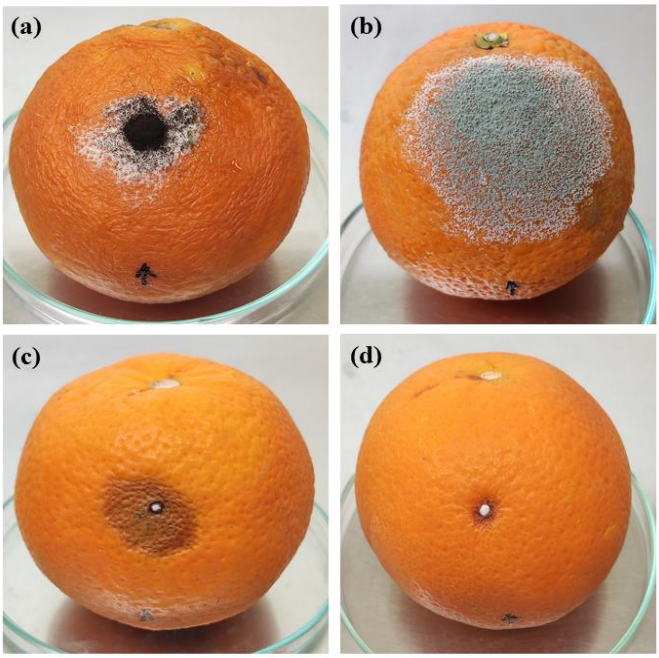
کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد یک کشور ایفا می‌کند. تولیدات کشاورزی همواره با خطر بروز آسیب توسط میکروارگانیسم‌ها همراه هستند، که در این میان قارچ ها بزرگترین عامل تهدید کننده پس از برداشت برای تولیدات کشاورزی محسوب می‌شوند. به طور سنتی استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی توانسته آن‌ها را کنترل کند، اما بکارگیری این روش با محدودیت‌های عمده‌ای چون خطر ایجاد بیوتیپ‌های جدید پاتوژن مقاوم به مواد شیمیایی، کارایی و بازده نامناسب، برجای ماندن باقیمانده سموم بر سطح میوه‌ها و ورود آن به زنجیره غذایی و آثار مخرب محیط زیستی همراه است. در پژوهش پیش رو روش‌های جایگزین نوین و ایمن‌تر کنترل‌های پس از برداشت مانند بکارگیری میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست، عصاره‌های گیاهی طبیعی، افزودنی های مواد غذایی، روش‌های کنترل فیزیکی و نانوتکنولوژی مورد بررسی قرار گرفته اند. با توجه به چالش‌های استفاده از این تکنولوژی‌ها و نداشتن اطلاعات کامل از مکانیسم‌های این روش‌ها نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه وجود دارد تا بتوانیم به صورت کارا و ایمن از این روش‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها در کشاورزی استفاده کرده و میزان مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی را به حداقل برسانیم.

واژه‌های کلیدی

کشاورزی، پاتوژن‌های قارچی، کنترل زیستی، فناوری‌های نوین

1. مقدمه

کشاورزی ستون اصلی اقتصاد یک کشور است؛ در سال‌های اخیر، تولیدات کشاورزی و بازده آن همراه با استفاده از آفت‌کش‌ها و حشره-کش ها افزایش یافته است(1). بیماری‌های پس از برداشت می‌تواند منجر به تلفات و ضایعات قابل‌توجه مواد غذایی شود که یک سوم کل تولید محصولات غذایی را در برمی‌گیرد. در میان این محصولات، میوه‌ها به بیماری‌های پس از برداشت بسیار حساس هستند، به‌ویژه زمانی که آسیب مکانیکی داشته باشند یا به طور نامناسب نگهداری شوند. میوه‌ها و سبزیجات تازه پس از برداشت در معرض حمله انواعی از قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا قرار می گیرند زیرا سرشار از قند، آب و مواد مغذی هستند. بروز بیماری‌های قارچی پس از برداشت، موجب کاهش کیفیت و ایمنی و در نتیجه کاهش ماندگاری میوه‌ها می‌شوند(2,3). طبق مطالعات انجام شده، پاتوژن‌های گیاهی باعث کاهش 25 درصدی محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه می‌شوند. در این میان قارچ‌ها شایع‌ترین نوع آفت با 42 درصد محسوب می شوند و پس از آن باکتری‌ها با سهم 27 درصد، ویروس ها 18 درصد و نماتدها 13 درصد عوامل اصلی آسیب رسان به محصولات کشاورزی هستند(4). عفونت‌های قارچی به عنوان عامل اصلی پوسیدگی میوه‌ها و سبزیجات تازه پس از برداشت در حین ذخیره‌سازی، حمل و نقل رخ می‌دهد و زیان‌های اقتصادی قابل توجهی در مرحله تجاری‌سازی ایجاد می‌کنند. در کشورهای در حال توسعه، این تلفات اغلب به دلیل امکانات ناکافی سردخانه و حمل و نقل، شدیدتر است. علاوه بر این، حتی در کشورهای توسعه‌یافته، آسیب های ناشی از پوسیدگی میوه‌ها و سبزیجات در حین جابجایی و نگهداری ممکن است 20 تا 25 درصد باشد(5). مهم‌ترین چالش جهانی در سیاره‌ما مسئله ایجاد امنیت غذایی برای جمعیتی است که به سرعت در حال افزایش در جهان است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تقاضای غذا احتمالاً از 59 به 98 درصد افزایش می‌یابد و جمعیت جهان تا سال 2050 به 9 میلیارد نفر می‌رسد(6). به وضوح نیاز فوری به توسعه روش‌های جدید و مؤثر برای کنترل بیماری‌های پس از برداشت وجود دارد که هیچ آسیبی به سلامت انسان و محیط‌زیست وارد نکنند و ایمن تلقی شوند(2). جنس‌های قارچی مهمی که باعث بیماری‌های پس از برداشت شده و سالانه زیان‌های زیادی به بار می‌آورند، شامل جنس‌های *Aspergillus*، *Penicillium*، *Fusarium*، *Alternaria* می‌باشند (شکل1) که علاوه بر فسادی که ایجاد می‌کنند، قابلیت تولید متابولیت‌های ثانویه مضری به نام انواع مایکوتوکسین‌ها را نیز دارند، مثال‌هایی از آنها شامل: آلفاتوکسین، آلترناریا توکسین، اوکراتوکسین، پاتولین و سیترینین می‌باشند که در میوه ها باعث آسیب می شوند(3,7). مایکوتوکسین‌ها ترکیباتی با وزن مولکولی کم هستند که توسط جنس‌ها و گونه‌های قارچی خاص تولید می‌شوند و قرار گرفتن در معرض مقادیر بسیار کم آنها، واکنش سمی را در انسان و سایر مهره‌داران ایجاد می‌کند(8). به طور سنتی، فساد پس از برداشت محصول ناشی از قارچ عمدتا از طریق استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی کنترل می شود، که یا در مزرعه یا پس از برداشت استفاده می‌شود. غالبا، کنترل شیمیایی با عملکردهای کارآمد و مدیریت سیستم پس از برداشت و زنجیره سرد همراه است. با این حال، استفاده از بسیاری از قارچ‌کش‌های شیمیایی در کنترل بیماری پس از برداشت در دهه گذشته به دلایل پیش رو محدود شده است: 1. تولید بیوتیپ‌های جدید پاتوژن 2. عدم استفاده از قارچ‌کش‌های جایگزین موثر 3. افزایش سطح بقایای قارچ‌کش در محصولات کشاورزی 4. مشکلات سم شناسی مربوط به سلامت انسان 5. تأثیرات منفی زیست محیطی، بنابراین، روند جهانی در حال تغییر به سمت جستجوی رویکردهای جایگزین ایمن‌تر و سازگار با محیط زیست برای کنترل بیماری‌های پس از برداشت و پوسیدگی است(9).



شکل 1. نمونه‌هایی از آلودگی‌های پس از برداشت (a) *Aspergillus* (b) *Penicillium* (c) *Alternaria* (d) *Fusarium*

2. راه‌های مقابله با پاتوژن‌ها

1.2. میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست

این میکروارگانیسم‌ها یک انتخاب موثر سازگار با محیط‌زیست برای قارچ‌کش‌های شیمیایی محسوب می‌شوند. آنتاگونیست‌های میکروبی عملکرد محافظتی و درمانی مشابه با قارچ‌کش‌های مصنوعی را نشان می‌دهند. میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست مانند مخمر، باکتری‌ها و برخی قارچ‌ها به طور گسترده‌ای در کنترل بیولوژیکی کپک‌های سبز و آبی در مرکبات استفاده شده‌اند. یک میکروارگانیسم ایده‌آل باید از نظر ژنتیکی پایدار، در غلظت‌های پایین مؤثر، قادر به زنده ماندن در شرایط نامساعد محیطی، ارزان‌قیمت برای فرمول‌بندی و تولید، پایدار، مقاوم در برابر آفت‌کش‌های رایج، سازگار با روش‌های پردازش تجاری، و غیر بیماری‌زا برای سلامت انسان و میزبان باشد. مخمرها ویژگی‌های امیدوارکننده‌ای برای کنترل زیستی دارند، زیرا به ندرت مواد آنتی‌بیوتیک یا مایکوتوکسین‌هایی تولید می‌کنند که می‌توانند بقایایی روی میوه‌ها باقی بگذارند(10,11).

این قارچ‌کش‌ها به اشکال مختلف مانند پودر مرطوب‌کننده، کنسانتره امولسیونی، کنسانتره سوسپانسیون و قرص، معمولاً برای خیس کردن خاک و استفاده روی برگ، دانه و ریشه تولید می‌شوند. قارچ‌کش‌های زیستی دارای مزایایی مانند سمیت کم، غلظت کم مواد فعال، افزایش مقاومت گیاه، رقابت با مواد مغذی و مقرون به صرفه بودن هستند. در سال 2020، ارزش بازار جهانی قارچ‌کش‌های زیستی 1.6 میلیارد دلار بود و تخمین زده شد که با نرخ رشد ترکیبی سالانه 16.1 درصد به 3.4 میلیارد دلار تا سال 2025 رشد کند. قارچ‌کش‌های تجاری بر اساس مخمرهای آنتاگونیست موجود در بازار برای کنترل *P. digitatum* و *P. italicum* عبارتند از *Shemer (Metschnikowia fructicola)*، *Aspire (Candida oleophila)* و *Pantovital (Pantoea agglomerans)*. قارچ‌کش زیستی "*Shemer*" به اندازه قارچ‌کش شیمیایی ایمازالیل در برابر کپک‌های پرتقال موثر گزارش شده است و قارچ کش "*Aspire*" به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته است، اما بعداً گزارش شد که اثربخشی پایین دارد. در حالی که محصولات کنترل زیستی به تنهایی کنترل کاملی بر کپک های سبز و آبی ایجاد نمی‌کنند، با ادغام با دوزهای پایین قارچ‌کش‌ها و تنظیم فضای ذخیره‌سازی می‌توان قدرت محافظتی آن‌ها را افزایش داد(10,12).

2.2. عصاره‌های گیاهی طبیعی

در سال‌های اخیر، عصاره‌های گیاهی، اسانس‌ها و ترکیبات طبیعی به عنوان یک ابزار زیستی جایگزین برای کنترل پوسیدگی مرکبات پس از برداشت مورد ارزیابی قرار گرفته اند. بیش از 1340 گونه گیاهی به عنوان منابع مستند تولید ترکیبات ضد میکروبی و قارچ‌کش‌های گیاهی جدید مطرح هستند. عصاره‌های گیاهی زیست تخریب‌پذیر، غیرسمی، به طور کلی برای سلامت انسان و محیط‌زیست بی‌خطر و ارزان هستند و به اندازه قارچ‌کش‌های شیمیایی موثر هستند. برخی از مواد شیمیایی گیاهی با منشاء گیاهی با موفقیت به عنوان آفت-کش‌های گیاهی در برنامه‌های مدیریت یکپارچه آفات فرموله شده‌اند. گیاهان حاوی ترکیبات ثانویه مانند استالدئید، اتانول، اتیل فرمات، اتیل بنزوات، بنزآلدئید، متیل‌سالیسیلات، اوژنول، جاسمونات‌ها، گلوکوزینولات‌ها، هگزانال، تیمول، آلیسین، ایزوتیوسیانات‌ها، سیترال، لیمونن، فلاوانون‌ها و کومارین‌ها هستند که این ترکیبات دارای خاصیت ضد قارچی هستند. این ترکیبات از گیاهانی مانند نعناع، دارچین، آویشن، میخک، سیر، پونه کوهی، انار، اقاقیا، آلئورا و مرکبات به دست آمده اند(10,13–15).

3.2. افزودنی‌های مواد غذایی

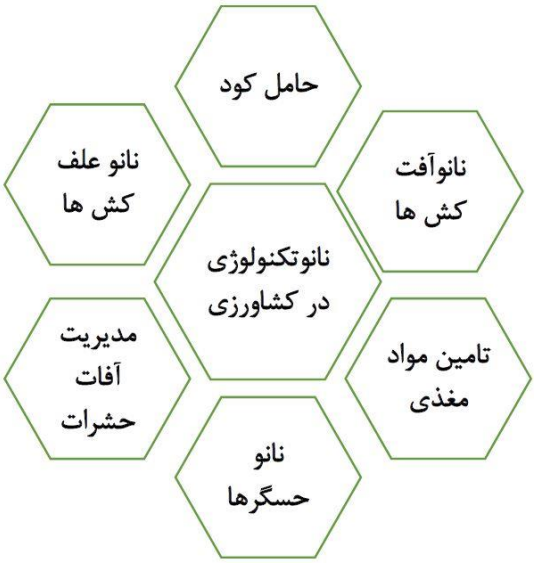
افزودنی‌های غذایی، به ویژه موادنگهدارنده به عنوان ترکیباتی ایمن و بدون خطر توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده تلقی می‌شوند و جایگزینی برای قارچ‌کش‌های معمولی برای کنترل بیماری پس از برداشت در مرکبات هستند. صنایع غذایی معمولاً نمک‌های آلی و معدنی را به منظور کنترل pH، طعم و اصلاح بافت به غذا اضافه می‌کنند. نمک‌های معدنی که به طور گسترده برای کنترل بیماری پس از برداشت در مرکبات استفاده می‌شود، کربنات‌سدیم، بی‌کربنات‌سدیم و سوربات‌پتاسیم هستند که همگی به عنوان ترکیبات ایمن و بی ضرر طبقه بندی می‌شوند. چندین ماده نگهدارنده دیگر که در برابر بیماری‌های کپک سبز و آبی مرکبات موثر بوده اند شامل نمک‌های پارابن‌سدیم، بنزوات‌سدیم و سیلیکات‌پتاسیم می‌باشند. مزایای عمده استفاده از این نمک‌ها برای درمان پس از برداشت شامل خواص ضد-میکروبی، سمیت کم، هزینه نسبتا کم، در دسترس بودن، ایمنی برای انسان و محیط زیست و امکان استفاده نامحدود از آن است. اگرچه این نمک‌ها کنترل خوبی بر کپک‌های مرکبات ایجاد می‌کنند، اما انتخاب زمان کاربرد آنها بسیار مهم است زیرا نمک‌های استفاده شده قبل از دوره برداشت زمان بیشتری برای تعامل با عوامل بیماری‌زای کپک نسبت به بعد از برداشت دارند و در نتیجه اثربخشی بیشتری دارند(10,16,17).

4.2. روش‌های کنترل فیزیکی

درمان‌های فیزیکی در کنترل بیماری‌های پس از برداشت مرکبات محبوبیت دارند، زیرا هیچ باقی‌مانده‌ای بر جای نمی‌گذارند و کمترین تأثیر زیست‌محیطی را نسبت به سایر گزینه‌ها دارند. این روش‌ها شامل گرما، نور ماوراء بنفش (UV-C و UV-B)، نور آبی، اشعه ایکس و تابش گاما و روش‌های تکمیلی شامل اتمسفرهای کنترل شده و اصلاح شده و ذخیره‌سازی سرد می‌باشد(10,18).

5.2. نانوتکنولوژی

توسعه آفت‌کش‌های مقرون به صرفه و با عملکرد بالا که آسیب کمتری برای محیط زیست دارند بسیار مهم است. مفاهیم جدیدی مانند فناوری نانو می‌تواند مزایایی مانند کاهش سمیت، بهبود ماندگاری و افزایش حلالیت را به آفت‌کش‌ها ارائه دهد که همگی می‌توانند اثرات زیست‌محیطی مثبتی داشته باشند(19). نانوتکنولوژی به یک فناوری در مقیاس نانو اطلاق می‌شود که کاربردهای امیدوارکننده‌ای در زندگی روزمره دارد و به ویژه کاربردهای وسیعی در میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی دارد. کلمه نانو برای نشان دادن میزان خیلی کوچک اندازه است و به صورت 10^{-9} استفاده می شود. واژه نانوتکنولوژی (NT) توسط پروفسور نوریو تانیگوچی از دانشگاه علوم توکیو در سال 1974 برای نشان دادن ساخت دقیق مواد در سطح نانومتر ابداع شد(21). نانوذرات (NPs) بسیار کوچک اما قدرتمند هستند و می‌توانند در بسیاری از زمینه‌های کشاورزی کاربرد داشته باشند(4). استفاده آینده‌نگر از مواد شیمیایی کشاورزی در مقیاس نانو مانند نانوکودها، نانو آفت‌کش‌ها، نانوحسگرها و فرمولاسیون‌های نانو در کشاورزی، شیوه های سنتی کشاورزی را متحول کرده و آن‌ها را پایدارتر و کارآمدتر کرده است (شکل2)(19). این رویکرد استفاده از نانوذرات به تنهایی یا همراه با دو یا چند روش، جایگزین امیدوارکننده‌ای برای آفت‌کش‌های شیمیایی موجود هستند و راه‌حلی متعادل برای کنترل کپک‌ها و تولید پایدار ارائه می‌دهند(10). اگرچه آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده به طور رسمی پیشنهاد کرد که نانومواد اثرات بالقوه ای بر سلامت انسان و محیط زیست دارند، با این وجود هنوز اطلاعات کافی در مورد ارزیابی ایمنی این نانوذرات یا نانومواد وجود ندارد(22).



شکل2. نمایش شماتیک کاربردهای نانوتکنولوژی در کشاورزی(19)

3. کاربرد نانو در کنترل‌های پس از برداشت

1.3. بسته بندی‌های بر پایه نانو

مواد بسته بندی سنتی بیشتر از پلیمرهایی مانند پلی‌آمید (PA)، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) ساخته می‌شوند که معمولاً زمانی که به تنهایی برای بسته‌بندی میوه و سبزیجات تازه استفاده می‌شوند محدودیت‌هایی دارند(23). سالانه بیش از 350 میلیون تن پلاستیک در سطح جهان تولید می‌شود و بسته‌بندی مواد غذایی به‌ویژه یکی از بزرگترین مصرف کننده‌های پلاستیک است که بار قابل‌توجهی بر محیط زیست وارد می‌کند(22). فن‌آوری جدید مواد بسته بندی نانو با رطوبت نسبی کمتر، سرعت انتقال اکسیژن و استحکام بالا با ترکیب پلی‌اتیلن با نانو پودر (نانو نقره، کائولن، TiO_2آناتاز، TiO_2 معدنی) سنتز شده و کیفیت حفاظتی را افزایش داده است(24). تا به امروز، محصولات بسته‌بندی مبتنی بر نانومواد عمدتاً شامل کیسه‌های بسته‌بندی نانو، کلوئیدهای نانوحافظ‌کننده و فیلم‌های نانوکامپوزیت می‌شوند که با این وجود الزامات ذخیره‌سازی پس از برداشت و حمل و نقل سبزیجات و میوه های مختلف را در بازار جهانی برآورده نمی‌کنند(22). فرمولاسیون‌های مبتنی بر فناوری نانو کیفیت محصول و ماندگاری محصولات باغبانی را افزایش داده و راه‌های متعددی را برای جلوگیری از رشد و توسعه میکروارگانیسم ها ارائه می‌دهند(25).

2.3. پوشش‌های بر پایه نانو

استفاده از پوشش‌های خوراکی فواید زیادی دارد که در نهایت می تواند از دست دادن آب، سرعت رسیدن، سرمازدگی و آسیب مکانیکی، پوسیدگی را کاهش دهد و درخشندگی را به محصولات پوشش داده شده اضافه کند. پوشش‌های خوراکی را می‌توان به عنوان کامپوزیت-های ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها یا ترکیبات ضد رسیدن استفاده کرد. پوشش‌ها را می‌توان از پروتئین‌ها، لیپیدها، پلی‌ساکاریدها و یا از بیوماکرومولکول‌ها ساخت(25). فناوری حفظ پوشش، یک ریز اتمسفر را تشکیل می‌دهد، به عنوان مثال، لایه‌ای از غشای نیمه تراوا را با غوطه‌وری و پاشش برای جلوگیری از پوسیدگی و به تاخیر انداختن پیری سبزیجات و میوه‌های تازه ایجاد کرده است. در حال حاضر، فن‌آوری‌های پوشش خوراکی به‌دلیل ویژگی‌های سازگار با محیط‌زیست، به‌طور گسترده برای حفظ میوه و سبزیجات تازه پس از برداشت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نانو پوشش‌ها می‌توانند ترکیبات زیست فعال را در قالب نانوذرات، با واکنش‌پذیری شیمیایی بیشتر و فعالیت زیستی بیشتری نسبت به ذرات معمولی به دلیل خواص مکانیکی بهبود یافته‌شان ترکیب کنند. با این حال، کارایی سیستم‌های نانولایه با ویژگی‌های مختلف (مانند توانایی آنتی اکسیدانی، فعالیت ضد میکروبی و تبادل گاز) نامشخص است(26). متداول‌ترین نانومواد مورد استفاده نانوذرات ZnO، SiO_x، TiO_2، Ag و غیره هستند. این نانومواد خواص بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند، به عنوان مثال، بی-

مزه، غیر سمی، دارای فعالیت ضد باکتریایی، بو زدایی، نفوذپذیری کم اکسیژن، سد CO_2 و نفوذپذیری کم رطوبت هستند. ترکیب این نانومواد با کیتوزان یا دیگر لایه‌های غشایی می‌تواند فعالیت ضدباکتریایی را علاوه بر پایداری مکانیکی و حرارتی افزایش دهد و در نتیجه عملکرد نگهداری را بهبود بخشد(22).

3.3. نانوحسگرها

نانوحسگرها قادر می‌باشند به تغییرات محیط در طول ذخیره سازی همچون: دما، قرار گرفتن در معرض اکسیژن و رطوبت نسبی و همچنین آلودگی توسط میکروب ها واکنش نشان دهند، از آن‌ها برای حضور قارچ یا حشرات در دانه ذخیره شده استفاده می‌شود(27). استفاده از حسگرهای زیستی همراه با فناوری‌های بهبود یافته در زمینه زیست‌شناسی مولکولی به همراه نانومواد کاربردهای بسیار زیادی برای بهره‌وری محصولات خواهند داشت(19). استفاده از نانوحسگرهای زیستی برای نظارت بر عفونت قارچی ناشی از پنی‌سیلیوم در مرکبات گزارش شده است(28). نانوحسگرها برای شناسایی پاتوژن‌ها و وجود مایکوتوکسین‌ها و میکروارگانیسم‌ها در کارخانه‌های فرآوری موادغذایی به وسیله هشدار دادن به مشتریان و ارائه‌دهندگان در مورد وضعیت ایمنی غذا مورد تایید قرار گرفته‌است(29,30).

4. چالش‌ها

تولید و ایمنی غذا یک نگرانی اولیه برای همه محققان است تا اطمینان حاصل کنند که آنچه ما مصرف می‌کنیم یک غذای سالم و عاری از آلودگی و اطمینان از حفظ ویژگی‌های کیفی مشخص غذا است. مشکل اولیه غذا آلودگی توسط میکروب‌هایی است که در سطوح مختلف گیاه‌چه، ریشه‌زایی، گلدهی و میوه، مرحله پس از برداشت، گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. استفاده فشرده روتین از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و مواد شیمیایی کشاورزی و سمپاش های شیمیایی در طول دوره پس از برداشت، با توجه به سمیت و تجمع مواد سمی در محصولات غذایی باعث ایجاد مشکلات عمده بهداشتی در انسان و همچنین محیط‌زیست می‌شود(31). علیرغم استفاده از فناوری نانو در کشاورزی، چالش‌های خاصی وجود دارد که باید اصلاح یا حذف شوند(1). برخی از محدودیت‌ها و تهدیدهای کلیدی مربوط به کاربرد نانوتکنولوژی کشاورزی به شرح زیر است: 1. دانش موجود در مورد فناوری نانو هنوز در مرحله آغازین است. در نتیجه نمی‌توان تأثیر نانوذرات را بر سلامت انسان و محیط زیست پیش بینی کرد 2. برهمکنش نانوذرات با مکان‌های غیرهدف اغلب به مسائل زیست محیطی و بهداشتی خاصی منجر می‌شود 3. هزینه های تولید بالاتر می‌باشد. 4. توسعه در بخش کشاورزی به دلیل سرمایه گذاری کم در زمینه‌های تحقیقاتی و ارائه آموزش‌های با کیفیت پایین و غیره به میزان قابل توجهی محدود شده است، این به این دلیل است که مردم معمولاً از شیوه های سنتی پیروی می‌کنند و فناوری‌های جدید را نمی‌پذیرند. 6. محصولات مختلف نانوتکنولوژی و استفاده تجاری از آن‌ها در زمینه‌های مختلف هنوز نیاز به کنترل دارند تا مطمئن شویم استفاده از آنها در این زمینه‌ها ایمن است(25,32,33). تهدید مرتبط با نانوتکنولوژی عمدتاً به دلیل اندازه کوچک نانوذرات با سطح بزرگتر است که به راحتی قابل پراکندگی هستند و به سلول‌ها نفوذ می‌کنند تا به مناطق کاملاً دور از بدن برای ایجاد سمیت بالقوه برسند(34). به دلیل شباهت در اندازه با DNA، نانومواد این شانس را دارند که با نمونه‌های بیولوژیکی واکنش دهند(19).

1.4. چالش‌های بسته بندی بر پایه نانو

استحکام برخی از بسته بندی‌های مواد غذایی، مانند پلی‌اتیلن با چگالی کم، پس از قرار گرفتن در معرض شرایط محیطی، اشعه ماوراء بنفش یا ازن در حالت مرطوب تغییر می‌کند. نمونه‌های پلی اتیلن با چگالی کم تحت نور UV یا ازن دچار اکسیداسیون می‌شوند که تغییرات قابل‌توجهی در خواص ساختاری، فیزیکی و حرارتی ایجاد کرده است. نانوذرات می‌توانند از طریق بلع، استنشاق یا تماس پوستی وارد بدن شوند. استفاده زیاد از نانومواد در بسته بندی مواد غذایی می تواند یک موضوع نگران کننده باشد زیرا رها شدن آنها از مواد غذایی آلوده به محیط زیست باعث چالش‌های زیست محیطی می‌شود. با این حال، اطلاعات محدودی در مورد مهاجرت نانوذرات از مواد بسته‌بندی به غذا، همراه با اثرات سم‌شناسی نهایی آن‌ها در دسترس است(35).

2.4. چالش‌های پوشش‌های بر پایه نانو

محدودیت‌های متعددی در کاربرد فن‌آوری حفظ پوشش در میوه و سبزیجات پس از برداشت هنوز وجود دارد: 1. بروز طعم‌های غیرطبیعی در ارتباط با مواد پوشش و زوال آن‌ها (به عنوان مثال، نفوذپذیری گاز و ترشی لیپید). 2. تأثیر منفی رنگ مواد پوشش بر

جذابیت مصرف کننده. 3. وجود احتمالی قوام چسبنده نامطلوب. 4. عدم همگنی کافی و خشک شدن سریع برای سطح اکثر میوه و سبزیجات. 5. امکان ادغام سختی مواد پوشش دهنده با عوامل شیمیایی. برای غلبه بر این مشکلات ناشی از پوشش‌های نانو، توسعه فناوری نوظهور پس از برداشت برای میوه و سبزیجات تازه ضروری به نظر می‌رسد(22).

سازمان غذا و داروی امریکا (FDA) که در تنظیم مواد غذایی نانو و بسته بندی مواد غذایی در ایالات متحده و اتحادیه اروپا دخالت دارد، مواد غذایی مبتنی بر فناوری نانو را در اروپا کنترل می‌کند. با این حال، اکثر کشورهای تولید کننده مواد نانو، مقررات ویژه نانوتکنولوژی مناسبی ندارند. بنابراین، دستورالعمل‌ها و قوانین کامل دولتی و همچنین روش‌های دقیق غربالگری سم‌شناسی برای کاربردهای قانونی نانوتکنولوژی ضروری است(36).

5. نتیجه گیری

عفونت‌های قارچی توانسته خسارات زیادی را به خصوص در فرایند پس از برداشت به صنعت کشاورزی تحمیل کند. رویکردهای سنتی همچون استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی است که به دلیل تاثیرات منفی آن بر انسان و محیط زیست و همچنین مقاومت پاتوژن‌ها به آنها در طول دوره استفاده طولانی تهدید بزرگی محسوب شده است. جایگزین‌های موثرتر برای قارچ‌کش‌های شیمیایی شامل میکروارگانیسم های آنتاگونیست، عصاره‌های گیاهی طبیعی، افزودنی های مواد غذایی، روش‌های کنترل فیزیکی و نانوتکنولوژی می‌باشد. استفاده از این روش‌ها در کنار روش‌های سنتی و یا استفاده از چند روش جدید در کنار هم می‌تواند به طور قابل توجهی میزان خسارات را کاهش دهد. با ارائه اطلاعات بیشتر به تولیدکنندگان و مصرف کنندگان در خصوص روش‌های نوین کنترل‌های پس از برداشت می‌توان انتظار داشت که مقبولیت و پذیرش بیشتری برای این روش‌ها ایجاد شود. اما درک جزئیات و مکانیسم عملکرد هر یک از این روش‌های نوین نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

منابع

[1] Alghuthaymi, MA., Rajkuberan, C., Rajiv, P., Kalia, A., Bhardwaj, K., Bhardwaj, P., Abd-Elsalam, KA., Valis, M., Kuca, K., 2021. Nanohybrid Antifungals for Control of Plant Diseases: Current Status and Future Perspectives, Journal of Fungi, 7-48.

[2] Droby, S., Chalutz, E., Wilson, CL., Wisniewski, ME., 1992. Biological control of postharvest diseases: a promising alternative to the use of synthetic fungicides, Phytoparasitica20, 149–153.

[3] Oztekin, S., Dikmetas, DN., Devecioglu, D., Acar, EG., Karbancioglu-Guler, F., 2023. Recent Insights into the Use of Antagonistic Yeasts for Sustainable Biomanagement of Postharvest Pathogenic and Mycotoxigenic Fungi in Fruits with Their Prevention Strategies against Mycotoxins, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 9923–9950.

[4] Hoang, N.H., Le Thanh, T., Sangpueak, R., Treekoon, J., Saengchan, C., Thepbandit, W., Papathoti, N.K., Kamkaew, A., Buensanteai, N., 2022. Chitosan Nanoparticles-Based Ionic Gelation Method: A Promising Candidate for Plant Disease Management, Polymers, 662.

[5] Dukare, AS., Paul, S., Nambi, VE., Gupta, RK., Singh, R., Sharma, K., Kumar Vishwakarma, R., 2019. Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1498-1513.

[6] Duro, JA., Lauk, C., Kastner, T., Erb, KH., Haberl, H., 2020. Global inequalities in food consumption, cropland demand and land-use efficiency: A decomposition analysis. Global Environmental Change, 102124.

[7] Mincuzzi, A., Ippolito, A., Montemurro, C., Sanzani, SM., 2019. Characterization of Penicillium s.s. and Aspergillus sect. nigri causing postharvest rots of pomegranate fruit in Southern Italy, International Journal of Food Microbiology, 108389.

[8] Gallo, A., Giuberti, G., Frisvad, JC., Bertuzzi, T., Nielsen, KF., 2015. Review on Mycotoxin Issues in Ruminants: Occurrence in Forages, Effects of Mycotoxin Ingestion on Health Status and Animal Performance and Practical Strategies to Counteract Their Negative Effects, Toxins, 3058-3111.

[9] Vitoratos, A. Bilalis, D., Karkanis, A., Efthimiadou, A., 2013. Antifungal Activity of Plant Essential Oils Against Botrytis cinerea, Penicillium italicum and Penicillium digitatum, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 86-92.
[10] Bhatta, UK., 2022. Alternative Management Approaches of Citrus Diseases Caused by Penicillium digitatum (Green Mold) and Penicillium italicum (Blue Mold), Frontiers in Plant Science, 833328.
[11] Zhang, HY., Zheng, XD., Xi, YF., 2005. Biological control of postharvest blue mold of oranges by Cryptococcus laurentii (Kufferath) Skinner, BioControl, 331-342.
[12] Piombo, E., Sela, N., Wisniewski, M., Hoffmann, M., Gullino, ML., Allard, MW., Levin, E., Spadaro, D., Droby, S., 2018. Genome Sequence, Assembly and Characterization of Two Metschnikowia fructicola Strains Used as Biocontrol Agents of Postharvest Diseases, Frontiers in Microbiology, 593.
[13] Tripathi, P., Dubey, NK., Banerji, R., Chansouria, JPN., 2004. Evaluation of some essential oils as botanical fungitoxicants in management of post-harvest rotting of citrus fruits. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 317–321.
[14] Utama, IMS., Wills, RBH., Ben-yehoshua, S., Kuek, C., 2002. In Vitro Efficacy of Plant Volatiles for Inhibiting the Growth of Fruit and Vegetable Decay Microorganisms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 6371-6377.
[15] Palou, L., Smilanick, JL., Droby, S., 2008. Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue moulds, Stewart Postharvest Review, 1-16.
[16] Smilanick, JL., Margosan, DA., Mlikota, F., Usall, J., Michael, IF., 1999. Control of Citrus Green Mold by Carbonate and Bicarbonate Salts and the Influence of Commercial Postharvest Practices on Their Efficacy, Plant Disease, 139-145.
[17] Palou, L., 2016. Non-Polluting Chemical Approaches to Control Citrus Postharvest Diseases, Journal of Bacteriology & Mycology, 40-41.
[18] Jeong, RD., Chu, EH., Lee, GW., Cho, C., Park, HJ., 2016. Inhibitory effect of gamma irradiation and its application for control of postharvest green mold decay of Satsuma mandarins, International Journal of Food Microbiology, 1-8.
[19] Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., Tola, YB., 2021. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges, Heliyon, 08539.
[20] Mansoor, S., Zahoor, I., Baba, TR., Padder, SA., Bhat, ZA., Koul, AM., Jiang, L., 2021. Fabrication of Silver Nanoparticles Against Fungal Pathogens, Frontiers in Nanotechnology, 679358.
[21] Alghuthaymi, MA., Almoammar, H., Rai, M., Said-Galiev, E., Abd-Elsalam, KA., 2015. Myconanoparticles: synthesis and their role in phytopathogens management, Biotechnology & Biotechnological Equipment, 221–236.
[22] Shan, Y., Li, T., Qu, H., Duan, X., Farag, MA., Xiao, J., Gao, H., Jiang, Y., 2023. Nano-preservation: An emerging postharvest technology for quality maintenance and shelf life extension of fresh fruit and vegetable, Food Frontiers, 100–130.
[23] Silvestre, C., Duraccio, D., Cimmino, S., 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials, Progress in Polymer Science 1766–1782.
[24] Sujithra, S., Manikkandan, TR., 2019. Application of Nanotechnology in Packaging of Foods: A Review, International Journal of ChemTech Research, 07–14.
[25] Upadhyay, TK., Varun Kumar, VS., Sharangi, AB., Upadhye, VJ., Khan, F., Pandey, P., Amjad Kamal, M., Yasin Baba, A., Rehman Hakeem, KH., 2022. Nanotechnology-Based Advancements in Postharvest Management of Horticultural Crops. Phyton, 471–487.

[26] Flores-Lo´pez, ML., Cerqueira, MA., de Rodrı´guez, DJ., Vicente, AA., 2015. Perspectives on Utilization of Edible Coatings and Nano-laminate Coatings for Extension of Postharvest Storage of Fruits and Vegetables, Food Engineering Reviews, 292–305.
[27] Axelos, MAV., Voorde, MVD., 2017. Nanotechnology in Agriculture and Food Science, John Wiley & Sons, 422.
[28] Chalupowicz, D., Veltman, B., Droby, S., Eltzov, E., 2020. Evaluating the use of biosensors for monitoring of Penicillium digitatum infection in citrus fruit, Sensors and Actuators B: Chemical, 127896.
[29] Cheng, MMC., Cuda, G., Bunimovich, YL., Gaspari, M., Heath, JR., Hill, HD., Mirkin, CA., Nijdam, HJ., Terracciano, R., Thundat, T., Ferrari, M., 2006. Nanotechnologies for biomolecular detection and medical diagnostics, Current Opinion in Chemical Biology, 11-19.
[30] Bratovcic. A., Odobasic, A., Catic, S., Šestan, I., 2015. Application of polymer nanocomposite materials in food packaging, Croatian Journal of Food Science and Technology, 86–94.
[31] Kalia, A., Gosal, SK., 2011. Effect of pesticide application on soil microorganisms, Archives of Agronomy and Soil Science, 569–596.
[32] Mukhopadhyay, SS., 2014. Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints, Nanotechnology, Science and Applications, 63-71.
[33] Parisi, C., Vigani, M., Rodríguez-Cerezo, E., 2023. Proceedings of a workshop on "Nanotechnology for the agricultural sector: from research to the field", JRC scientific and policy reports.
[34] Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R., Kumar, A., 2015. Nanotechnology in agro-food: From field to plate, Food Research International, 381–400.
[35] Han, C., Zhao, A., Varughese, E., Sahle-Demessie, E., 2018. Evaluating weathering of food packaging polyethylene-nano-clay composites: Release of nanoparticles and their impacts, Nanoimpact, 61–71.
[36] Nile, SH., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., Kai, G., 2020. Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives, Nano-Micro Letters, 45.