دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی

سالم سازی محصولات کشاورزی از باقیمانده سموم و آفت کش ها

دکتر بهروز تاجدار اورنج

استادیار گروه علوم و صنایع غذایی

دکتری تخصصی بهداشت و ایمنی مواد غذایی

۱۴۰۳

فهرست مطالب

مقدمه..... ۴

روش‌های سالم سازی میوه‌ها و سبزیجات تازه..... ۶

۱) فرایندهای خانگی..... ۷

شستشو..... ۷

پوست‌کنی..... ۸

بلانچینگ..... ۸

یخچال گذاری..... ۹

۲) فرایندهای شیمیایی..... ۱۰

کلرین..... ۱۰

پراکسید هیدروژن(H_2O_2) ۱۱

پراستیک اسید..... ۱۱

بنزآلکونیوم کلراید..... ۱۲

اسیدهای آلی..... ۱۳

کلریت سدیم اسیدی شده(ASC) ۱۴

سدیم کلرید NaCl..... ۱۴

بی کربنات سدیم (NaHCO3) و هیدروکسید سدیم (NaOH) ۱۵

پتاسیم پرمنگنات(KMnO4) ۱۶

ترکیبات دیگر..... ۱۶

۳) تکنیک‌های مدرن..... ۱۶

آب الکترولیز شده (EW) ۱۷

ازن..... ۱۷

فراصوت (اولتراسوند) ۱۹
نورپالسی..... ۲۰
پلاسما..... ۲۱
پرتو دهی..... ۲۱
فشار هیدرواستاتیک بالا(HHP) ۲۳
نتیجه گیری..... ۲۴
رفرنس..... ۲۶

مقدمه

میوه‌ها و سبزیجات نقش حیاتی در رژیم غذایی سالم دارند، زیرا منبعی از فیتونوترینت‌ها مانند کاروتنوئیدها، پلی‌فنول‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه به همراه ریزمغذی‌هایی چون ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند که در انجام فعالیت‌های بیولوژیکی مختلف در زندگی روزمره کمک می‌کنند. سازمان بهداشت جهانی مصرف روزانه ۴۰۰ گرم میوه و سبزیجات را برای پیشگیری از بیماری‌های مزمن نظیر سرطان، دیابت، چاقی و بیماری‌های قلبی-عروقی توصیه می‌کند. مشاوران بهداشتی و متخصصان تغذیه بر مصرف بیشتر این میوه‌ها و سبزیجات به صورت خام تأکید دارند تا پروفایل کامل فیتوشیمیایی و مواد مغذی آن‌ها حفظ شود که در هنگام پخت یا فرآیندهای دیگر از بین می‌رود. مصرف سبزیجات و میوه‌های خام می‌تواند به بهبود سلامت روان نیز کمک کند، زیرا آن‌ها به عملکرد عاطفی بهتر نسبت به سبزیجات پخته‌شده یا فرآوری‌شده کمک می‌کنند. با این حال، افزایش مصرف میوه‌ها و سبزیجات تازه باعث افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از مواد غذایی مرتبط با پاتوژن‌ها و بقایای مواد شیمیایی سمی شده است.

افزایش تقاضا برای تولید مواد غذایی منجر به افزایش استفاده از سموم کشاورزی در مزارع شده است که این امر باعث بروز بقایای شیمیایی خطرناک در خاک، آب، هوا و همچنین بر روی سطح محصولات و سبزیجات شده است. برخی از سموم حاوی مواد شیمیایی بسیار مقاوم هستند که هدف آنها از بین بردن طیف گسترده‌ای از آفات، باکتری‌ها، قارچ‌ها و علف‌های هرز می‌باشد. با این حال، استفاده بیش از حد و طولانی‌مدت از این سموم اغلب منجر به انباشت آنها بر روی سطح میوه‌ها و سبزیجات می‌شود که به نوبه خود می‌تواند وارد بدن انسان شده و سمّیت داشته باشد.

مرز بیشینه باقیمانده (MRL) معیاری است که برای تعیین سطح مجاز بقایای سموم تعیین شده و نشان می‌دهد که محصولی که دارای بقایای کمتر از مقدار MRL باشد، ایمن برای مصرف است. مطالعات گذشته از جمله در ایران و سایر کشور نشان داده اند که در محصولات کشاورزی بیشتر از سطح مجاز، باقیمانده آفت کش ها قابل ردیابی است. نمونه‌های سبزیجات جمع‌آوری شده از جزایر آندامان، هند، نشان داد که ۱۵/۳٪ از

کل نمونه‌ها دارای بقایای سموم بالاتر از MRL بودند. تقریباً یک‌سوم از هر سه نمونه میوه جمع‌آوری شده از متروپولیس آکرا، غنا، دارای حشره‌کش‌هایی بالاتر از سطح مجاز بودند. مطالعه انجام شده در کویت نشان داد که ۳۲ نمونه از ۱۵۰ نمونه مختلف سبزیجات و میوه‌ها آلوده به بقایای سموم بالاتر از MRL بودند. تجاوز از مقادیر MRL نقض شیوه‌های کشاورزی خوب است و مصرف چنین محصولاتی که به شدت آلوده هستند، می‌تواند منجر به خطرات جدی سلامتی شود.

در میان گروه‌های مختلف سموم، ارگانوفسفره‌ها و کربامات‌ها قوی‌ترین و پرمصرف‌ترین سموم هستند. این سموم به طور خاص بر روی سیستم عصبی آفات تأثیر می‌گذارند که منجر به فلج و در نهایت مرگ موجودات می‌شود. علاوه بر توانایی آنها در کشتن حشرات، گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه این سموم قادر به غیرفعال کردن استیل‌کولین‌استراز در انسان‌ها هستند که موجب انباشت استیل‌کولین می‌شود و در نتیجه منجر به تشنج، حملات صرعی و حتی مرگ می‌گردد. سرطان‌زایی و ژنوتوکسیک بودن سموم به طور گسترده توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با وجود خطرات مربوط به مصرف محصولات تازه آلوده، متخصصان بهداشت و تغذیه معتقدند که فواید بهداشتی مرتبط با رژیم غذایی مبتنی بر میوه‌ها و سبزیجات تازه ضروری است بنابراین، نیاز به استراتژی‌های کنترلی بهبود یافته و مداخلات نوآورانه در زمینه ایمنی مواد غذایی وجود دارد تا بتوان به طور موفقیت‌آمیز از شیوع بیماری‌های میکروبی و اختلالات مرتبط با سموم، پیشگیری و آنها را کاهش داد.

باور عمومی بر این است که شستشوی سبزیجات و میوه‌ها می‌تواند اکثریت آلودگی‌ها را از سطح محصولات حذف کند. با این حال، تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که این تکنیک در حذف ارگانیسم‌های بومی و پاتوژنیک و همچنین بیشتر سموم غیرمحلول در آب (هیدروفوبیک) ناکافی است. فرآیندهای خانگی رایج دیگر مانند پوست‌کنی، جوشاندن و بلانچینگ به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند تا ویژگی‌های ضد میکروبی و کاهش سموم آن‌ها ارزیابی شود. با این حال، این روش‌ها به محتوای ذاتی فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، فیتوشیمیایی‌ها و ریزمغذی‌های میوه‌ها و سبزیجات آسیب می‌زنند.

رویکردهای اخیر در بهداشت میوه‌ها و سبزیجات شامل تکنیک‌های غیرحرارتی نظیر ازن‌زنی، اولتراسونیک، فشار هیدرواستاتیک بالا(HHP)، آب الکترولیز شده(EW)، تابش گاما و فناوری پلاسمای غیرحرارتی است که برای جلوگیری از اثرات نامطلوب حرارت بر روی مواد غذایی به کار می‌روند. در مقایسه با شستشوی شیمیایی میوه‌ها و سبزیجات تازه، این روش‌های نوین غیرحرارتی به لحاظ زیست‌محیطی دوستانه‌تر هستند و در دماهای محیطی مؤثرند. بیشتر این روش‌های غیرحرارتی بر اساس فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (تولید رادیکال‌های آزاد مانند رادیکال‌های هیدروکسیل) عمل می‌کنند، که به اکسیداسیون بقایای سموم و همچنین از بین بردن میکروب‌ها کمک می‌کند. علاوه بر این، این تکنیک‌ها اثرات کمتری بر کیفیت حسی و تغذیه‌ای کالاها دارند.

در این گزارش بر روی اطمینان از ایمنی میوه‌ها و سبزیجات تازه با استفاده از تکنیک‌های خانگی معمول برای حذف میکروب‌ها و بقایای سموم و همچنین بررسی پتانسیل فناوری‌های مدرن تحقیق‌شده در سال‌های اخیر تمرکز دارد. مکانیسم‌های پیشنهادی برای کاهش سموم و ضدعفونی میکروبی نیز مورد بحث قرار گرفته است.

روش‌های سالم سازی میوه‌ها و سبزیجات تازه

برای ضدعفونی میکروارگانیسم‌ها و پاکسازی سموم از محصولات تازه، تکنیک‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود. پنل مشورتی علمی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) بیان می‌کند که فرایند کاهشی زمانی قابل توجه تلقی می‌شود که کاهش بار میکروبی ۲ لگ یا بیشتر به دست آید. به طور مشابه، هرگونه فرایندی که سطح بقایای سموم را به زیر حد مجاز قانونی (محدودیت سازمان غذا و داروی ایران عمدتا از ۰/۰۵ تا ۱ ppm) کاهش دهد، به عنوان فرایند قابل توجهی محسوب می‌شود، زیرا این امر محصول را برای مصرف ایمن می‌سازد.

اثربخشی ضدعفونی میکروبی هر فرایند به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله حساسیت آنتی‌میکروبیال گونه‌های خاص، ترکیب میوه‌ها و سبزیجات، و ویژگی‌های توپوگرافی آن‌ه. اپیدرم میوه‌ها و سبزیجات از چندلایه

هیدروفوبیک تشکیل شده است که سطح آن‌ها را به شدت آب‌گریز می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند که بارهای سطحی باکتری‌ها و تعاملات هیدروفوبیک بین اپیدرم مومی و باکتری‌ها، نقش حیاتی در چسبندگی به سطح میوه یا سبزیجات دارند. برخی از مطالعات نیز نشان داده‌اند که سلول‌های باکتریایی از طریق بافت‌های زخمی وارد می‌شوند و استقرار این سلول‌ها در ماتریس‌های پیچیده برخی سبزیجات مانند کاهو، کلم و اسفناج، حذف آن‌ها را دشوار می‌سازد. به طور مشابه، ثبات هر آفت کش بسته به شرایط pH و دما، موقعیت رسوب سم، زمان اسپری سم در طول رشد، ویژگی‌های سم (حلالیت)، طبیعت میوه یا سبزیجات و مدت زمان فرایند متفاوت است. به عنوان مثال، تغییر pH بهینه (افزایش/کاهش) می‌تواند باعث تجزیه سم و کاهش نیمه‌عمر آن شود. علاوه بر ثبات pH سم، آگاهی از ساختار و ویژگی‌های سم برای انتخاب شرایط فرایند مناسب ضروری است.

فرایندهای خانگی

روش‌های اساسی خانگی برای حذف آلودگی‌ها، میکروارگانیسم‌ها و سموم آفت کش از میوه‌ها و سبزیجات قبل از مصرف مدت‌ها است که توسط مصرف‌کنندگان به کار گرفته می‌شود. رایج‌ترین این فرآیندهای خانگی (شستشو، پوست‌کنی، بلانچینگ و یخزدگی) و اثربخشی آن‌ها در حذف سموم از محصولات تازه است.

شستشو

استفاده از آب شیر برای تمیز کردن سبزیجات یا میوه‌ها قبل از مصرف روشی است که قرن‌ها است مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات نشان داده اند که شستشوی با آب بسته به میزان چسبندگی سطحی می‌تواند میکروب‌ها را به میزان ۰/۵ تا ۲ لگاریتم CFU/g کاهش دهد. مطالعات همچنین نشان داده اند که سطح آسیب‌دیده سبزیجات باعث نفوذ عمیق‌تر پاتوژن‌ها شده و در مقایسه با فرایند با گاز دی‌اکسید کلر، ضدعفونی با شستشوی ساده آب دشوارتر است. اثربخشی شستشوی با آب در حذف بقایای سموم آفت کش عمدتاً به حلالیت سم و ویژگی‌های سطحی میوه یا سبزیجات بستگی دارد. فرایند با آب شیر کمترین اثربخشی (۱۱/۱٪

تا ۲۳/۷٪) در حذف بقایای سموم دی‌متوات، پیریمفوس‌متیل و مالاتیون در سیب‌زمینی داشته است؛ با این حال، کاهش بقایای ایمیداکلوپرید، کلرپیریفوس، تیابندازول، دیفنیلامین، ایمازالیل، فلویدوکسینیل و پیریمتانیل بالاتر (۴۰٪ تا ۸۸٪) بعد از شستشو با آب گزارش شده است. اثربخشی بالاتر شستشوی با آب (۸۱٪ تا ۹۹٪) در حذف پروفنوفوس از سطح فلفل تند، فلفل شیرین و بادمجان گزارش شده است. خیساندن سبزیجات در آب شیر به مدت ۳۰ دقیقه تحت هم‌زدن با ۱۵ rpm تنها ۱۵٪ تا ۲۲٪ از بقایای اومِتوآت (omethoate)، دی‌متیل دی‌کلروونیل فسفات (DDVP) و آسفیت (acephate) را کاهش داده است.

مطالعه‌ای نشان داده است که شستشوی ساده با آب موجب حذف ۲۶٪ تا ۶۷٪ از بقایای کلرپیریفوس، سایپرمترین، پروفنوفوس، دیازینون و لامبدا-سای هالوترین از زیتون‌ها شد، در حالی که کنسرو شور کردن زیتون‌ها پس از شستشوی با آب منجر به حذف ۱۰٪ تا ۸۲٪ سموم شد. این مطالعه پیشنهاد کرده است که شستشوی محصولات با آب قبل از هر نوع فرایند می‌تواند اثربخشی فرآیند بعدی برای کاهش سموم را بیشتر کند.

پوست‌کنی

پوست‌کنی یک روش مؤثر و ساده برای حذف سموم از سیب‌زمینی‌ها است و گزارش شده که می‌تواند تا ۷۵٪ از بقایای دی‌متوات، پیریمفوس‌متیل و مالاتیون را کاهش دهد. پوست‌کنی باعث حذف کامل کلرپیریفوس از گل‌کلم و گوجه‌فرنگی می شود در حالی که کاهش ۶۰٪ در سیب‌زمینی و بادمجان گزارش شده است. پوست‌کنی همچنین به کاهش آلودگی میکروبی کمک می‌کند.

بلانچینگ

بلانچینگ فرآیندی است که در آن محصولات تحت حرارت ملایم قرار می‌گیرند و سپس خنک می‌شوند که منجر به غیرفعال شدن آنزیم‌ها و کاهش آلودگی میکروبی می‌شود و در نتیجه عمر مفید آن‌ها را طولانی‌تر می‌شود. بلانچینگ می‌تواند میکروب‌ها را از سطح میوه‌ها و سبزیجات به دلیل اثر حرارتی حذف کند. این

روش همچنین به طور متوسط در حذف بقایای دی‌متوات، پیریمفوس‌متیل و مالاتیون به میزان ۲۲٪ تا ۴۶٪ از سطح سیب‌زمینی مؤثر است. با این حال، برخی مطالعات گزارش داده‌اند که بلانچینگ به مدت ۵ دقیقه می‌تواند بقایای پروفنوفوس و پیریمفوس‌متیل را به طور مؤثر (۹۸٪ تا ۱۰۰٪) از فلفل دلمه‌ای و بادمجان حذف کند.

یخچال گذاری

حفظ شرایط سرد یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای طولانی کردن عمر مفید میوه‌ها و سبزیجات تازه است. با این حال، این فرآیند در کاهش آلودگی سموم کشاورزی مؤثر نیست. فرآیند تجزیه سموم کشاورزی به ساختار، رفتار انتقال سم، و شرایط محیطی بستگی دارد. به طور کلی، تجزیه/کاهش سموم کشاورزی به دلیل واکنش با آب (هیدرولیز)، نور (فتولیز)، اکسیژن (اکسیداسیون)، یا متابولیسم توسط میکروارگانیسم‌ها/گیاهان/حیوانات رخ می‌دهد. پیشنهاد کردند که دمای بهینه برای تجزیه سموم کشاورزی ضروری است و هرگونه انحراف از دمای بهینه منجر به کاهش تعادل تجزیه خواهد شد. بنابراین، دمای پایین در طول یخزدگی ممکن است شانس‌های تجزیه سموم را کاهش دهد. نمونه‌های انگور که با متامیدوفوس (۶۰ گرم حل شده در ۱۰۰ لیتر آب) آغشته شده بودند و در دمای ۰/۵ ± ۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، نشان دادند که نیمه‌عمر تجزیه آن‌ها ۲۶۷ روز است و رسیدن به حد قانونی ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲۲۹۵ روز طول می کشد، در حالی که این ترکیب در معرض نور خورشید به دلیل تجزیه فوتولیتیک مواد شیمیایی نیمه‌عمر ۹۰ روزه داشت. همچنین مطالعات نشان داده اند که نگهداری کلم آغشته به p,p-dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT)، کلرپیریفوس، کلروتالونیل و سایپرمترین تحت شرایط سرد کاهش بسیار کمی در بقایای سموم (بین ۲٪ تا ۴٪) دارد. از سوی دیگر، نگهداری خیارهای آغشته به ترکیبات ارگانوفسفره در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد منجر به حذف ۶۰٪ تا ۸۰٪ از بقایای سموم پس از ۴۸ ساعت شد، در حالی که با افزایش دمای نگهداری به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، کاهش حدود ۹۰٪ سموم حاصل شد، که نشان می‌دهد کاهش سموم در دماهای بالاتر به طور مؤثرتری انجام می‌شود.

فرایندهای شیمیایی

در این بخش، فرایندهای شیمیایی مختلف برای حذف بار میکروبی و رفع آلودگی‌های سموم کشاورزی مورد بحث قرار می‌گیرند.

کلرین

محلول‌های هیپوکلریت سدیم (NaOCl) با غلظت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ ppm به‌عنوان رایج‌ترین ضدعفونی‌کننده‌ها در واحدهای فرآوری مواد غذایی برای شستشوی محصولات تازه استفاده می‌شوند. استفاده از NaOCl در صنایع غذایی به دلیل تعامل آن با اجزای ارگانیک غذا و محصولات غذایی که منجر به تولید تری هالومتان‌های بالقوه سرطان‌زا می‌شود، محدود شده است. کلر یک اکسیدکننده قوی است که می‌تواند ترکیبات شیمیایی را اکسید کرده و محصولات جانبی کلرینه تولید کند. تجزیه سموم کشاورزی که دارای پیوند P = S هستند، آسان است، اما محصول جانبی آن‌ها سمی‌تر از باقی‌مانده سموم اصلی است. به‌عنوان جایگزینی برای محلول کلر، دی‌اکسید کلر (ClO2) وجود دارد که محصولات جانبی سمی تولید نمی‌کند و گزارش شده است که فعالیت بیوسیدی بیشتری نسبت به سایر ترکیبات مبتنی بر کلر دارد. اخیراً گزارش شده است که گاز دی‌اکسید کلر (ClO2) موفق به حذف ۳۵٪ تا ۶۰٪ از باقی‌مانده‌های سموم کشاورزی مانند آزوکسی‌استروبین، تبوکونازول، دی‌متومورف(Z)، و دی‌متومورف (E) از انگور شده است و باقی‌مانده‌های ClO2 پس از ۲۷ روز نگهداری زیر حد مجاز بوده‌اند. وجود پیوندهای استری اسید فسفریک ناپایدار در سموم کشاورزی ارگانوفسفره، آن‌ها را به‌طور خاصی نسبت به اکسیداسیون حساس کرده و تجزیه آنها با استفاده از ClO2 آسان است. کاهش ۴۰٪ تا ۸۰٪ از ایمازالیل و دی‌فنیل‌آمین از سطح پرتقال‌ها، لیموها و سیب‌ها زمانی که از آب کلرینه شده به‌عنوان محلول غوطه‌وری استفاده شد، مشاهده شده است. استفاده از آب کلرینه شده به‌طور مؤثری ۵۲٪ تا ۷۱٪ از باقی‌مانده‌های مانکوزب را از گوجه‌فرنگی‌ها که به مدت ۲۰ دقیقه در محلول‌های کلرین با غلظت ۱۰ تا ۱۰۰ ppm غوطه‌ور شده بودند، حذف کرده است. شستشوی با آب کلرینه شده به مدت ۵ دقیقه باعث حذف بیش از ۴۰٪ از سطح سموم آلفا-سایپرمترین، آزوکسی‌استروبین،

بوسکالید، کلرپیریفوس، فلودیوکسیونیل و ایپرودین از توت‌فرنگی، کلم بروکلی، توت‌سیاه و گوجه‌فرنگی گزارش شده است. در مقابل، شستشو با آب کلرینه شده با ۲ ppm کلر قابل دسترس تنها ۱۶٪ تا ۳۰٪ از باقی‌مانده‌های DDVP (C4H7Cl2O4P) را از گوجه‌فرنگی‌ها حذف کرده است.

کلر یک روش مرسوم، اقتصادی و مؤثر برای ضدعفونی است؛ با این حال، محصولاتی که با این محلول‌ها شسته می‌شوند، معمولاً بویی پیدا می‌کنند که توسط بیشتر مصرف‌کنندگان رد می‌شود و از همه مهم‌تر، ممکن است سرطان‌زا باشد.

پراکسید هیدروژن(H_2O_2)

مکانیزم تولید رادیکال‌های آزاد توسط H_2O_2 به تجزیه آلودگی‌های شیمیایی مختلف کمک می‌کند بدون اینکه محصولات جانبی سمی تولید کند. با اینکه پتانسیل اکسیداسیون H_2O_2 بالاتر از کلر است، تا به امروز به‌طور کامل در فرآیند حذف آفت‌کش‌ها مورد استفاده قرار نگرفته است و مطالعات اندکی وجود دارد. برای مثال حذف ۴۸٪ تا ۶۵٪ از سطوح آلودگی‌ها در زمانی که گوجه‌فرنگی‌های آلوده به منکوزب با محلول ۱۰ تا ۱۰۰ ppm H_2O_2 تیمار شدند، به دست آمده است.

پراستیک اسید

پراستیک اسید (PAA) از واکنش پراکسید هیدروژن با اسید استیک یا انیدرید استیک در حضور کاتالیزوری مانند اسید سولفوریک تولید می‌شود. این ترکیب به‌طور معمول به‌عنوان عامل سفیدکننده در صنایع کاغذ و نساجی و برای کاهش بوی نامطبوع استفاده می‌شود. همچنین، در تصفیه فاضلاب و تمیز کردن تجهیزات در صنایع داروسازی و غذایی کاربرد دارد. عملکرد ضدباکتریایی PAA به دلیل آزاد شدن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است که به DNA و لیپیدها آسیب می‌زند. همچنین باعث دناتوره شدن پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، و افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی با اکسید کردن پیوندهای سولفیدریل و دی‌سولفیدی می‌شود. علاوه بر این،

PAA به اختلال در غشاء سلولی و مسدود کردن سیستم‌های آنزیمی و انتقال در میکروارگانیسم‌ها کمک می‌کند.

پراستیک اسید (PAA) به دلیل خاصیت‌های ضدباکتریایی و اثرات مثبت آن بر کیفیت حسی محصولات، در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه‌ای که بر روی هویج‌های رنده شده با استفاده ۸۰ ppm PAA انجام شد، هیچ تغییری در طعم هویج‌ها حتی پس از پنج روز ذخیره‌سازی مشاهده نشد. همچنین، میزان کاروتنوئیدها کاهش نیافت، که نشان‌دهنده عدم تأثیر منفی PAA بر کیفیت تغذیه‌ای محصول است. پراستیک اسید به دلیل تجزیه به اسید استیک و اکسیژن، که هر دو غیرسمی هستند، دوستدار محیط زیست است. با این حال، PAA نسبت به ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی بر کلر گران‌تر است و در غلظت‌های ۱۵٪ یا بیشتر ناپایدار است. مطالعه‌ای نشان داد که ۹۸٪ از باقیمانده‌های منکوزب (با غلظت ۱۰ppm) از سیب‌ها پس از ۳۰ دقیقه غوطه‌وری در ۵۰۰ PAA ppm حذف شد. همچنین، استفاده از PAA (80 µg/mL) به‌عنوان فرایند غوطه‌وری برای گوجه‌فرنگی‌ها حدود ۶۰٪ از ایمیداکلپرید و ۵۰٪ از بایفنترین و کلروتالونیل را در یک دقیقه حذف کرد. اگرچه مکانیزم تخریب سموم توسط PAA مورد بحث و توجه قرار نگرفته است، اما به نظر می‌رسد که این اثرات ناشی از توانایی PAA در تولید ROS باشد.

بنزآلکونیوم کلراید

بنزآلکونیوم کلراید یک شوینده رایج است که به طور گسترده به عنوان ضدعفونی‌کننده بالینی در مراکز بهداشتی، به عنوان نگهدارنده در داروها، در خانه‌ها و برای ضدعفونی سطوح یا واحدهای فرآوری در صنعت غذا استفاده می‌شود. در مطالعه ای در ایران، محلول تجاری ضدعفونی‌کننده حاوی بنزآلکونیوم کلراید برای شستن گوجه‌فرنگی‌های آلوده به سم DDVP استفاده شده است، این مطالعه نشان داد که ۶۶٪ تا ۷۰٪ از DDVP از گوجه‌فرنگی‌ها پس از ۱۵ دقیقه خیساندن با محلول ضدعفونی‌کننده ۱٪ تا ۳٪ حذف شد، در حالی که کاهش DDVP کمتر از ۵۰٪ پس از ۵ و ۱۰ دقیقه فرایند با محلول ضدعفونی‌کننده ۱٪ تا ۲٪ مشاهده شده است.

اسیدهای آلی

اسید لاکتیک، اسید استیک، اسید سیتریک، اسید فوماریک و غیره ترکیبات طبیعی هستند که به طور کلی به عنوان ایمن (GRAS) توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده (USFDA) شناخته شده‌اند. فعالیت ضدعفونی‌کنندگی اسیدهای آلی مختلف متفاوت است و به شدت به مقادیر pKa آنها نسبت داده می‌شود. اثر باکتری‌کشی اسیدهای آلی ضعیف بیشتر از اسیدهای آلی قوی بوده زیرا آنها لیپوفیلیک‌تر هستند و سریع‌تر به غشای سلولی نفوذ کرده و محیط داخلی سلول‌های باکتریایی را اسیدی می‌کنند. اسیدهای آلی می‌توانند تغییراتی در نفوذپذیری غشاء ایجاد کنند و با تجمع آنیون‌ها یا کاهش pH منجر به مهار واکنش‌های متابولیکی ضروری شوند. آنها همچنین می‌توانند با اختلال در سیستم حمل و نقل مواد مغذی، ایجاد آسیب به غشاهای سیتوپلاسمی که منجر به نشت سلولی می‌شود، و اختلال در سنتز ماکرومولکول‌ها به سلول‌های میکروبی آسیب برسانند.

مطالعه‌ای بر روی کلم چینی که به مدت ۱۵ دقیقه در اسید استیک ۰/۱٪ خیسانده شده بود، نشان داد که ۹۰٪ و ۴۳٪ از سموم کاربریل و متومیل به ترتیب حذف شدند. همچنین، آنها دریافتند که پتانسیل ردوکس بالا (۶۱۷ میلی‌ولت) و اسیدیته محلول اسید استیک (pH 3.74) ممکن است دلیل اصلی تجزیه کاربریل باشد. مطالعات اثر بخشی اسید استیک ۱۰٪ را در از بین بردن سموم ارگانوکلره (۵۹٪ تا ۶۵٪) مانند هگزاکلروبنزن(HCB)، لیندان و DDT از سیب‌زمینی و سموم ارگانوفسفره (تا ۹۸٪) مانند دی متوات، پیریمفیوس-متیل و مالاتیون نشان داده اند. فرایند با اسید استیک به طور مؤثرتر سموم ارگانوفسفره را نسبت به ارگانوکلره‌ها حذف می‌کند که به دلیل پایداری بیشتر ارگانوکلره ها می باشد. کلم‌برگ که به مدت ۲۰ دقیقه با اسید استیک ۱۰٪ شسته شده بود، کاهش ۶۵٪ تا ۷۹٪ از سموم مختلف مانند کلرپیریفوس، کلروتالونیل، p,p-DDT و سایپرمترین را نشان داده است. به طور مشابه، شستشوی با اسید استیک (۲٪) به مدت ۱ دقیقه، ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ از باقیمانده‌های پروفنوفوس را از فلفل تند، فلفل شیرین و بادمجان حذف کرده است. حذف سموم مختلف ارگانوفسفره (کلرپیریفوس، فنیتروتیون، مالاتیون، پاراتیون و فرموتیون) از سبزیجات مختلف (بادمجان، بامیه، گوجه‌فرنگی، لوبیا، کلم‌برگ و فلفل دلمه) در محدوده ۴۰٪ تا ۸۲٪ پس از فرایند با

۰/۱٪ اسید اگزالیک، اسید آسکوربیک یا اسید مالیک گزارش شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که اسیدهای آلی گروهی از ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی آسان، مؤثر و در دسترس برای استفاده هستند که می‌توانند به طور بالقوه جایگزین محصولات ضدعفونی‌کننده بر پایه کلر شوند.

کلریت سدیم اسیدی شده(ASC)

کلریت سدیم اسیدی شده (ASC) با افزودن یک اسید GRAS به محلول کلریت سدیم ($NaClO_2$) تهیه می‌شود و به‌طور معمول به‌صورت کیت‌هایی حاوی کلریت سدیم و اسید سیتریک عرضه می‌شود. مکانیزم عملکرد ASC به‌طور فرضی به دلیل تشکیل اسید کلروس بدون بار در نتیجه اسیدی شدن کلریت است. با تجزیه اسید کلروس، یون‌های کلرات و کلرید به‌همراه گاز دی‌اکسید کلر آزاد می‌شوند که به فعالیت ضد میکروبی و ضدعفونی‌کننده آن کمک می‌کنند. خاصیت باکتری‌کشی ASC به توانایی آن در اختلال در غشاهای باکتریایی و ایجاد نشت پروتون نسبت داده شده است، که به نوبه خود باعث می‌شود سلول‌ها انرژی بیشتری برای حفظ هموستاز مصرف کنند. سازمان غذا و داروی ایالات متحده (USFDA) استفاده از ASC برای درمان‌های غوطه‌وری و اسپری بر روی چندین کالای غذایی، از جمله سبزیجات و میوه‌های تازه را تأیید کرده است.

از طرفی تأثیر منفی بر ویژگی‌های ارگانولپتیک هویج‌های خرد شده حتی در غلظت‌های کمتر از مقادیر توصیه شده ASC مشاهده شده است. اکثر آفت‌کش‌ها معمولاً به pH قلیایی حساس هستند و به سرعت به اشکال غیرفعال خود هیدرولیز می‌شوند. علاوه بر این، آب اسیدی‌شده به حفظ پایداری آفت‌کش در محلول اسپری کمک می کند لذا گزارشی درباره تجزیه آفت‌کش‌ها با استفاده از ASC وجود ندارد.

سدیم کلرید NaCl

غلظت‌های مختلف محلول‌های خنثی NaCl در کاهش آفت‌کش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. محققان گزارش داده اند که ۹۱/۱۸٪ از باقی‌مانده‌های آفت‌کش کاربارل و ۳۹/۳۳٪ از باقی‌مانده‌های آفت‌کش متومیل از کلم چینی شسته شده با استفاده از ۰/۹٪ NaCl به مدت ۱۵ دقیقه حذف شده اند. به طور مشابه، شستشو

با محلول ٪۱NaCl به مدت ۱ دقیقه منجر به حذف ۷۵٪ تا ۹۸٪ باقی‌مانده‌های پروفنوفوس از سطوح فلفل دلمه‌ای، فلفل شیرین و بادمجان شده است. کاهش تقریبی ۵۰٪ تا ۷۵٪ از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره از خیار شسته شده با محلول ۵٪ NaCl به مدت ۲۰ دقیقه حاصل شده است. با این حال، غلظت‌های بالاتر NaCl تنها منجر به افزایش کمی در کارایی (۴۰٪ تا ۹۰٪) در کاهش آفت‌کش‌ها مانند HCB، لیندان، DDT، دیمتوات، پیریمیفوس-متیل و مالاتیون شده است و تا ۷۴٪ از باقی‌مانده‌های کلرپیریفوس، کلروتالونیل، سایپرمترین و p,p-DDT را کاهش داده است. غلظت بالاتر NaCl می‌تواند منجر به پلاسمولیز و در نتیجه مرگ میکروب‌ها شود.

بی کربنات سدیم (NaHCO3) و هیدروکسید سدیم (NaOH)

فرایند با محلول‌های قلیایی می‌تواند آفت‌کش‌هایی که معمولاً در pH اسیدی پایدارند را هیدرولیز کند. مطالعات مختلفی کارایی محلول‌های بی کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم در تجزیه آفت‌کش‌ها را گزارش کرده‌اند. استفاده از بی کربنات سدیم که معمولاً به عنوان جوش‌شیرین شناخته می‌شود، توانایی در حذف باقی‌مانده‌های آفت‌کش را نشان داده است و کاهش ۹۹٪ در باقی‌مانده‌های تیابندازول و فوسمت از سطح سیب‌ها پس از درمان غوطه‌وری به مدت ۱۵ دقیقه گزارش شده است. pH بهینه فوسمت ۵ است و در pH قلیایی ناپایدار شده و هیدرولیز قلیایی می شود. به طور مشابه، شستشو کلم چینی به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از محلول ۰/۱٪ NaHCO3 باعث حذف ۹۱/۲۴٪ و ۴۳/۱۹٪ از آفت‌کش‌های کارباریل و متومیل شده است. غوطه‌وری بادمجان در محلول ۰/۱٪ بی کربنات سدیم به مدت ۱۰ دقیقه حدود ۲۰ تا ۶۰٪ از آفت‌کش‌هایی مانند دیمتوات، کلرپیریفوس، کوینولفوس، پروفنوفوس، سای هالوترین و مالاتیون را حذف کرده است. حذف مؤثر سایپرمترین از بامیه (حدود ۸۹٪) پس از ۳۰ دقیقه شستشو با محلول ۵٪ بی کربنات سدیم حاصل شده است. همچنین، کاهش ۶۵٪ تا ۹۹٪ از آفت‌کش‌های مختلف از جمله دی کلروس، دیمتوات، فنیتروتیون و کلرپیریفوس پس از شستشوی خیار با محلول ۵٪ NaHCO3 به مدت ۲۰ دقیقه به دست آمده است. کاهش ۷۱/۷۹٪ سایپرمترین از بامیه که به مدت ۳۰ دقیقه با محلول ۲٪ NaOH شسته شد را گزارش کرده اند.

پتاسیم پرمنگنات(KMnO4)

پتاسیم پرمنگنات با پتانسیل اکسیدکنندگی ۱/۷، نشان‌دهنده قدرت بالای اکسیدکنندگی آن است. محققان مشاهده کردند که محلول ۰/۰۰۱ ٪KMnO4 به طور مؤثری ۹۳/۵ ٪ از بقایای کاربارل و ۴۷/۵۷ ٪ متومیل را از کلم چینی که به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شده بود، کاهش داد. آنها بر این باور بودند که طبیعت اکسیدکننده بالا و پتانسیل ردوکس حدود ۵۵۳ mV KMnO4 نقش قابل توجهی در حذف آفت‌کش‌ها از کلم چینی ایفا کرده است. شستشوی فلفل تند، فلفل شیرین و بادمجان برای یک دقیقه در محلول ۰/۰۱ ٪ KMnO4 به طور مؤثری بقایای پروفنوفوس را (٪۸۳ تا ٪۹۵) حذف کرده است.محققان گزارش داده اند که ۵۶/۸۸ ٪ از بقایای سایپرمترین از بادمجان که با ٪۲ محلول KMnO4 به مدت ۳۰ دقیقه شسته شده بود، حذف شد. مطالعه‌ای که با استفاده از محلول ۰/۰۱ ٪ KMnO4 به عنوان محلول شستشو انجام شد، نشان داد که حدود ٪۸۸ تا ٪۱۰۰ از بقایای دی متوات و پروفنوفوس از گوجه‌فرنگی و خیار شسته شده برای یک دقیقه حذف شده است.

ترکیبات دیگر

فعالیت ضد میکروبی سرکه می‌تواند بهpH ، میزان اسید استیک و محتوای فنولیک آن مرتبط باشد. خیساندن کلم چینی در ۵ لیتر آب حاوی نیم قاشق چای‌خوری سرکه به مدت ۱۰ دقیقه حدود ٪۵۰ و ٪۳۰ از بقایای سایپرمترین و پروفنوفوس را در مطالعات حذف کرده است.

تکنیک‌های مدرن

تکنیک‌های مدرن مختلفی که در ادبیات علمی برای حذف بار میکروبی و کاهش آلودگی‌های سموم کشاورزی گزارش شده است، به طور خلاصه در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند.

آب الکترولیز شده (EW)

به دو دسته آب اکسیدکننده الکترولیز شده (EOW) و آب کاهنده الکترولیز شده (ERW) تقسیم می‌شود و به عنوان یک ضدعفونی‌کننده مؤثر در صنعت مواد غذایی استفاده می‌شود.EOW به عنوان یک اکسیدکننده قوی با pH بالای ۱۱ و پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP) بالای ۸۰۰ mV شناخته می‌شود، در حالی که ERWبه عنوان یک کاهنده قوی دارای pH کمتر از ۳ و ORP بالای ۱۰۰۰ mV است. آب الکترولیز شده خنثی (NEW) یا آب الکترولیز شده کمی اسیدی (SAEW) با استفاده از دستگاه سلول الکترولیز که شامل الکترودهای کاتد و آند است که توسط غشای دی‌الکتریک از هم جدا نشده‌اند، تولید می‌شود. فعالیت ضدعفونی‌کنندگی EW به حضور گونه‌های کلر، میزان کلر آزاد موجود و پتانسیل اکسایش-کاهش بستگی دارد. استفاده از EW همچنین به عنوان یک فرایند امیدوارکننده برای حذف آفت‌کش‌ها از سبزیجات تازه به دلیل ویژگی اکسیدکنندگی قوی آن مطرح شده است. گزارش شده است که درمان با EOW باعث حذف آفت‌کش‌های مختلفی مانند دیازینون، فوسمت و سایپرودینیل در لوبیای سبز، انگور و اسفناج می‌شود.

مکانیزم تجزیه آفت‌کش‌ها می‌تواند به شکست پیوند دوگانه و جایگزینی بیومولکول‌های نوکلئوفیلیک در شرایط اسیدی و قلیایی نسبت داده شود که باعث تجزیه پیوندهای P = O و C = O در مولکول‌های اومتوات، DDVP و آسفیت می‌شود. بر خلاف سایر ضدعفونی‌کننده‌ها، EW با مواد آلی واکنش نمی‌دهد تا متابولیت ثانویه سمی تولید کند.

ازن

ازن یک اکسیدان قوی است که به تجزیه مواد آلی یا آلاینده‌ها کمک می‌کند. پتانسیل اکسیدکنندگی ازن گزارش شده است که ۱/۵ برابر قوی‌تر از کلر و ۳۰۰۰ برابر قوی‌تر از اسید هیپوکلروس است. ازن در هوا پایدار است اما در آب به شدت ناپایدار بوده و به سرعت به اکسیژن تجزیه می‌شود و رادیکال‌های آزاد در محیط آبی تولید می‌کند. ازن به راحتی به اکسیژن تجزیه می‌شود و هیچ باقیمانده سمی بر روی محصول درمان شده باقی نمی‌گذارد. کارایی ازن بستگی به حلالیت آن در آب، دما، pH و رطوبت دارد. در سال ۲۰۰۱، سازمان

غذا و داروی ایالات متحده ازن را به عنوان GRAS اعلام کرد و استفاده از آن را در صنایع غذایی و فرآوری غذا مجاز دانست. اخیراً، حذف باقیمانده‌های علف‌کش لینورون و قارچ‌کش دیفنوکونازول از هویج پس از درمان با ازن نشان داده شده است. هویج‌های غوطه‌ور شده در آب ازن‌زده (۱۰ ppm)در دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه، به ترتیب ۹۶٪ و ۷۹/۸٪ از باقیمانده‌های دیفنوکونازول و لینورون را حذف کرده است، در حالی که فرایند با ازن گازی (۵ ppm) کاهش بیش از ۹۵٪ هر دو را به همراه داشت. گوجه‌فرنگی‌های اسپری شده با DDVP (۲ میلی‌لیتر/لیتر آب) که به مدت ۱۵ دقیقه در آب ازن‌زده (۲، ۴ و ۶ ppm) شسته شدند، به ترتیب ۷۱/۹٪، ۸۸/۶٪ و ۹۱/۹٪ از باقیمانده‌های DDVP را حذف کردند. شستن انواع محصولات در آب ازن‌زده (۱ ppm) به مدت ۵ دقیقه گزارش شده است که بیش از ۴۰٪ از باقیمانده‌های آلفا-سایپرمترین، آزوکسی‌استروبین، بوسکالید، بپیریمات، کلروپیریفوس، دلتامترین، فلویدوکسینیل، ایپرودیون و پیراکلستروبین را حذف می‌کند، در حالی که کاهش لامبدا-سای هالوترین و سیپرودینیل تنها ۲۶٪ تا ۳۷٪ بود. پس از غوطه‌ور شدن گوجه‌فرنگی‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در آب ازن‌زده با غلظت ۱ و ۳ ppm، به ترتیب ۴۳٪ و ۶۰٪ از باقیمانده‌های مانکوزب حذف شده است.

مطالعه‌ای برای بررسی کارایی ژنراتورهای مختلف میکروحباب ازن (OMB) شامل نوع گردش گاز-آب و نوع کاهش فشار در حذف فنیتروتیون از توت‌فرنگی، کاهو و گوجه‌فرنگی گیلاسی انجام شد که در آن محصولات به مدت یک دقیقه در ۶۰ لیتر فنیتروتیون ۵۰۰ ppm غوطه‌ور شدند. این مطالعه گزارش کرد که ۳۳٪ تا ۹۵٪ از باقیمانده‌های فنیتروتیون از کاهو، گوجه‌فرنگی گیلاسی و توت‌فرنگی‌هایی که به مدت ۵ دقیقه با استفاده از ژنراتور OMB نوع گردش گاز-آب و نوع کاهش فشار تیمار شده بودند، حذف شدند. مطالعه آنها نشان داد که ژنراتور OMB با استفاده از نوع کاهش فشار در حذف آفت‌کش‌ها موثرتر است، زیرا تعداد زیادی از حباب‌های کوچک ازن فروپاشیده و تعداد زیادی یون‌های هیدروکسیل (•OH) تولید می‌شود. تیمار حباب‌های OMB (2 ppm) توانست ۵۶٪ و ۵۰٪ از باقیمانده‌های فنیتروتیون و بنومیل را از برگ‌های خرمالوی سبز و قرمز حذف کند. اثر دما بر کارایی حباب‌های میلی‌ازن، OMB، حباب‌زنی مداوم OMB و آب بدون کلر در حذف فنیتروتیون نشان داد که تیمار در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه

بهترین نتیجه را داشته و ۱۳٪ تا ۶۸٪ از باقی‌مانده‌های فنیتروتیون را از کاهو و ۱۱٪ تا ۴۸٪ از باقی‌مانده‌های فنیتروتیون را از گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی حذف کرده است. علاوه بر این، آنها همچنین نشان دادند که کاهش کمتر باقی‌مانده‌های فنیتروتیون در تیمار حباب‌زنی OMB در گوجه‌فرنگی‌ها ممکن است به دلیل حضور پوسته ضخیم باشد که مانع نفوذ رادیکال‌های آزاد پس از تماس می‌شود. همچنین گزارش شد که در دمای بالاتر، ازن ناپایدار شده و بسیار سریع‌تر تجزیه می‌شود و رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری تولید می‌کند که منجر به حذف بهتر آفت‌کش‌ها می‌شود. تحقیقات EPA تأیید کرده‌اند که در مقایسه با کلر یا سایر مواد شیمیایی، ازن یک ضدعفونی‌کننده ایمن‌تر است. برخی محققان گزارش کرده‌اند که ازن تأثیر مثبتی بر تغییرات در محتوای فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنلی دارد. با وجود اثرات مثبت گاز ازن بر طول عمر مواد غذایی، تأثیر این عامل اکسید کننده قوی بر خواص تغذیه‌ای و ارگانولپتیک محصولات غذایی یکی از نگرانی‌های اصلی است و در حال بررسی‌های گسترده‌ای است.

فراصوت (اولتراسوند)

یک تکنیک فیزیکی برای ضدعفونی است که در آن امواج صوتی با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز یا بیشتر در یک محیط مایع تولید می‌شوند. این امواج فشار قوی با عبور از محیط مایع باعث ایجاد پدیده کاویتاسیون آکوستیک می‌شوند. در طی این فرآیند، نواحی فشردگی و انبساط متناوب در مایع ایجاد می‌شود. در قدرت‌های بالای فراصوت، انبساط‌های شدید باعث شکست نیروهای جاذبه مولکولی در فاز مایع می‌شود و حباب‌های کاویتاسیون شکل می‌گیرند. تعاملات بین میدان‌های موضعی ایجاد شده توسط حباب‌های کاویتاسیون باعث ناپایداری و فروپاشی آن‌ها می‌شود که این فروپاشی منجر به تولید رادیکال‌های آزاد و افزایش شدید دمای موضعی می‌گردد.

شستشوی خیارها با استفاده از فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه توانست حدود ۵۰٪ تا ۸۵٪ از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره dimethoate، trichlorfon و fenitrothion را که به طور مصنوعی به آن‌ها اضافه شده بودند، حذف کند. انفجارهای کوچک ناشی از فروپاشی حباب‌ها در طول فرآیند کاویتاسیون به تمیز کردن

آفت‌کش‌ها از سطح خیار کمک می‌کند و میزان کاهش مشاهده شده با افزایش مدت زمان شستشو بیشتر بود.محققان مشاهده کرده اند که کارایی شستشوی فراصوت در حذف آفت‌کش‌ها به نوع آن‌ها بستگی دارد و حذف بهتر آفت‌کش‌ها از سطح توت‌فرنگی‌ها در فرکانس ۴۰ کیلوهرتز گزارش شده است. در ایران تأثیر دستگاه فراصوت تحت شرایط مختلف قدرت و بازه‌های زمانی برای حذف بقایای DDVP از گوجه‌فرنگی مورد مطالعه قرار گرفته است و کمتر از ۵۰٪ (۵ دقیقه)، ۵۶٪ تا ۷۱٪ (۱۰ دقیقه) و ۶۸٪ تا ۸۹٪ (۱۵ دقیقه) از بقایا در توان ۱۰۰ تا ۳۰۰ وات حذف شد که نشان می‌دهد فرآیند فراصوت به زمان و قدرت وابسته است. با این حال، استفاده از امواج فراصوت برای حذف آفت‌کش‌ها از کل میوه یا سبزیجات کمتر مورد بررسی قرار گرفته و نیازمند تحقیقات بیشتری است.

نورپالسی

فرآیند نور پالسی (PL) شامل استفاده از پالس‌های سریع نوری است که توسط لامپ‌های زنون ساطع می‌شود. این لامپ‌ها نوری با طیف وسیع تولید می‌کنند که بخش عمده‌ای از آن در محدوده UV-C است. مرگ‌ومیر میکروارگانیسم‌ها در اثر PL به تابش UV نسبت داده شده که باعث جهش DNA و اختلال در تکثیر میکروارگانیسم‌ها می شود. همچنین، تولید گرمای بالا در مدت زمان کوتاه توسط تابش‌های ناشی از PL که منجر به دناتوره شدن پروتئین‌ها و سایر اجزای سلولی می‌شود، به‌عنوان عواملی که به اثرات ضدعفونی‌کنندگی PL کمک می‌کنند، فرض شده است.

هیچ مطالعه‌ای بر روی تجزیه‌ی سموم دفع آفات به‌صورت جداگانه بر روی محصولات کشاورزی با استفاده از نور پالسی (PL) انجام نشده است. با این حال، استفاده از نور پالسی ۳۲۵ میکروثانیه، انرژی تابشی ۰/۷ J/cm^2 برای تجزیه‌ی ترکیب سموم دفع آفات (شامل کلرپیریفوس اتیل، فوسمت، آزیفوس-اتیل، پیریمفوس-متیل و آترازین) در آب، منجر به کاهش بیش از ۵۰٪ غلظت آن‌ها در چند میلی‌ثانیه شده است. ضدعفونی محصولات تازه با استفاده از PL یک فناوری نویدبخش است؛ اما نیاز به مطالعه‌ی دقیقی برای بررسی نفوذ نور، اثر شکل و توپوگرافی محصول و پایداری سموم تحت این شرایط وجود دارد.

پلاسما

پلاسما شامل اتم‌ها و مولکول‌های برانگیخته یا غیر برانگیخته به همراه گونه‌های با انرژی بالا مانند فوتون‌ها، الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی و رادیکال‌های آزاد است که در حالتی از آنتروپی مداوم قرار دارند. استفاده از فناوری پلاسما در ضدعفونی میکروبی به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است با این حال، اثربخشی پلاسما غیر حرارتی (NTP) در حذف آفت‌کش‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

اثربخشی پلاسما غیر حرارتی (NTP) یا پلاسما سرد (CP) تولید شده با استفاده از تخلیه دی‌الکتریک در گزارش‌ها به‌طور مؤثر برای تجزیه باقی‌مانده‌های آفت‌کش‌ها در ولتاژها و زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. توت‌فرنگی‌های درمان شده با ولتاژ ۸۰ کیلو ولت به مدت ۵ دقیقه کاهش‌هایی بین ۴۵٪ تا ۷۱٪ در باقی‌مانده‌های آفت‌کش‌هایی مانند آزوکسی استروبین، فلودی‌اکسونیل و سیپرودینیل نشان داده اند. حذف کلرپیریفوس و سایپرمتریین که روی انبه‌ها اسپری شده بود، با استفاده از تخلیه قوس لغزشی پلاسما سرد مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه مطالعه مشخص کرد که درمان با پلاسمای سرد با نرخ جریان ۵ لیتر در دقیقه آرگون به مدت ۵ دقیقه قادر به حذف ۷۴٪ و ۶۲/۹٪ از باقی‌مانده‌های کلرپیریفوس و سایپرمتریین به ترتیب بود.

پرتو دهی

پرتوهای گاما، پرتوهای ایکس و پرتوهای الکترونی انرژی بالایی تولید می‌کنند که خاصیت ضدعفونی کنندگی دارند. تابش‌های یونیزه‌شده‌ای که توسط این پرتوها تولید می‌شود با مولکول‌های آب واکنش داده و منجر به تولید رادیکال‌های آزاد و ROS می‌شود که به شدت اکسیدکننده و ضد میکروبی هستند. علاوه بر این، ترکیب رادیکال‌های آزاد و مولکول‌های اکسیژن باعث تولید پراکسید هیدروژن می‌شود که خواص ضد میکروبی نیز دارد.

پرتو افشانی گاما به‌عنوان یک روش مجاز توسط سازمان‌های نظارتی در بسیاری از کشورها از جمله USFDA برای استفاده بر روی میوه‌ها و سبزیجات با حداکثر سطح یک کیلوگری و تا چهار کیلوگری برای کنترل پاتوژن‌های غذایی در کاهو یخچالی و اسفناج تصویب شده است.

از طرفی خطر تشکیل محصولات ثانویه با وزن مولکولی پایین به دلیل کراس‌لینکینگ و تخریب پلیمرها از فیلم‌های بسته‌بندی که در معرض پرتو افشانی قرار گرفته‌اند و مهاجرت آنها به محصولات غذایی همیشه وجود دارد که شک و تردیدهایی درباره ویژگی‌های ارگانولپتیک و ایمنی آن‌ها ایجاد می‌کند و نیاز به تحقیق دقیق دارد.

فن‌آوری‌های پرتو افشانی برای سال‌های زیادی در ضدعفونی میکروب‌ها از سطوح غذایی به‌طور فعال استفاده شده است؛ اما مطالعات بسیار کمی وجود دارد که تجزیه رادیولیتیکی آفت‌کش‌ها از سبزیجات تازه را نشان داده است.تاکنون فرض کرده‌اند که حذف آفت‌کش‌ها مستقیماً با دز پرتو گاما متناسب است. پرتو گامای ۰/۵ کیلوگری تنها قادر به کاهش ۴۰٪ تا ۴۸٪ از دیازینون، ۳۵٪ تا ۴۳٪ از کلرپیریفوس و ۳۰٪ تا ۴۵٪ از فسفامیدون بود، در حالی که دز ۱ کیلوگری، ۸۵٪ تا ۹۰٪ از دیازینون، ۸۰٪ تا ۹۱٪ از کلرپیریفوس و ۹۰٪ تا ۹۵٪ از فسفامیدون را از فلفل دلمه‌ای، خیار و گوجه‌فرنگی کاهش داد. تجزیه رادیولیتیکی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (مالاتیون و پیریمیفوس-متیل) و پیریتروئید سنتزی (سایپرمترین) در دامنه پرتوهای گاما از ۰/۱۵ تا ۷ کیلوگری بررسی شده است و گزارش شده است که حذف غیرمعنادار باقی‌مانده‌های مالاتیون از سیب‌زمینی و پیاز با استفاده از دز کمتر از ۱ کیلوگری انجام شده است.

به‌طور مشابه، در نمونه‌های پیاز و انگور که با پیریمیفوس-متیل و سایپرمتریین آغشته شده بودند، هیچ کاهشی مشاهده نشد حتی با دز ۱ کیلوگرم پرتو افشانی، و حتی با تابش ۷ کیلوگرم دز نیز نتوانستند بیش از ۱۹٪ کاهش در باقی‌مانده‌های مالاتیون، پیریمیفوس-متیل و سایپرمتریین حاصل کنند. با این حال، تابش در محیط آبی با دز ۷ کیلوگرم به کاهش حدود ۸۵٪ از باقی‌مانده‌های مالاتیون، پیریمیفوس-متیل و سایپرمتریین منجر شده است که نشان‌دهنده کارایی بهتر حذف آفت‌کش‌ها در محلول‌های آبی نسبت به فرایندهای خشک است.

فشار هیدرواستاتیک بالا(HHP)

فشار هیدرواستاتیک بالا (HHP) یک تکنیک غیرحرارتی است که بر مبنای اصل ایزواستاتیک عمل می‌کند، به‌طوری که فشار به‌طور یکنواخت در تمام جهات نمونه توزیع می‌شود. کارایی ضد میکروبی فشار هیدرواستاتیک به میزان فشار تولید شده، زمان فرایند و همچنین به فعالیت آبی محصول وابسته است و در فعالیت‌های آبی بالاتر، کارایی بیشتری حاصل می‌شود.

گزارش شده است که استفاده از HHP باعث حذف ۸۹٪ از کلرپیریفوس در گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی شده است. استفاده از اتانول به‌جای آب به‌عنوان محیط اطراف در درمان با HHP منجر به حذف ۱۰۰٪ آفت‌کش و جلوگیری از تجزیه آن به محصولات سمی گردید. اتانول همچنین به حذف مؤثر آفت‌کش‌های هیدروفوبیک کمک می‌کند زیرا از اتصال مجدد کلرپیریفوس جلوگیری شده و حلالیت بالاتری از آفت‌کش‌ها با استفاده از ۷۰٪ اتانول به‌عنوان محیط اطراف حاصل می‌شود. تضعیف تعاملات هیدروفوبیک برای حذف آفت‌کش‌های نامحلول در آب می‌تواند با استفاده از دمای پایین و فشار بالا بهبود یابد.

نتیجه‌گیری

افزایش تقاضا برای سبزیجات و میوه‌های تازه، نیاز فوری به روش‌های بهبود یافته و قابل‌اعتماد ضدعفونی را به وجود آورده است که ایمنی غذایی و سلامت بهتر مصرف‌کنندگان را تضمین کند. محققان در سرتاسر جهان در حال تحقیق بر روی تکنولوژی‌های مختلف، از مواد شیمیایی خانگی تا فرآیندهای غیرحرارتی مدرن، برای بررسی کارایی آنها در حذف باقی‌مانده‌های آفت‌کش یا پاتوژن‌های غذایی هستند. مطالعات در مورد تکنیک‌های ضدعفونی میکروبی و آفت‌کش‌ها برای محصولات تازه نشان می‌دهد که در مورد فرایند های فیزیکی، استفاده از پرتوهای گاما ۳ تا ۱۱ لوگ سلول میکروبی را حذف می کند، اما کارایی حذف آفت‌کش‌ها از کم (۴٪) تا زیاد (۹۵٪) متغیر می باشد. فرایند شیمیایی با H2O2 حذف آفت‌کش‌ها به میزان ۴۸٪ تا ۶۵٪ را به همراه دارد و در فرایند فیزیکی با HHP ۷۶٪ تا ۸۹٪ حذف آفت‌کش‌ها گزارش شده است.

پیشرفت‌های اخیر در مهندسی صنایع غذایی منجر به مقیاس‌پذیری تکنولوژی‌های مدرن شده است؛ با این حال، این فرآیندها اغلب بسیار پرهزینه هستند و تجاری‌سازی آن‌ها دشوار است. در مورد ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی، استفاده از حجم‌های بزرگ محصولات تازه و استفاده مجدد از محلول‌های شستشو خطر آلودگی متقاطع در دسته‌های بعدی را به همراه دارد، که ممکن است نیاز به استفاده از حجم‌های بیشتر ضدعفونی‌کننده‌ها و در نتیجه افزایش هزینه و آلودگی را ایجاد کند.

فعال‌سازی فتولیتیک با استفاده ازUV ، نور پالس، CP، NTP و غیره برای میکروارگانیسم‌ها به‌طور گسترده‌ای در ادبیات گزارش شده است. تجزیه فتولیتیک ترکیبات شامل واکنش‌های شیمیایی مختلف است که نشان می‌دهد می‌تواند برای طیف گسترده‌ای از آفت‌کش‌ها با ساختارهای متفاوت به‌کار رود. با این حال، تجزیه فتولیتیک آفت‌کش‌های اسپری‌شده بر روی سطوح محصولات نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. تکنیک‌های فتولیتیک به‌راحتی به سطح صنعتی مقیاس‌پذیر هستند و به آلودگی محیطی کمک نمی‌کنند، که نشان می‌دهد می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مؤثر برای راه‌حل‌های شیمیایی عمل کنند.

نیاز به انجام تحقیقات گسترده برای شناسایی تکنولوژی‌های مکمل وجود دارد که می‌توانند به‌صورت ترکیبی برای کاهش همزمان آلودگی‌های میکروبی و آفت‌کش‌ها استفاده شوند. استفاده از تکنولوژی‌های ترکیبی ممکن است چالش‌های کاهش کارایی فرایندهای تکی را برطرف کند؛ با این حال، اثربخشی فرآیندهای ترکیبی ممکن در دفع گروه‌های مختلف آفت‌کش‌ها و غیرفعال کردن طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها هنوز ناشناخته است. ترکیب غلظت‌های پایین محلول‌های شیمیاییASC ، H2O2، PAA با تکنولوژی‌های مدرن ضدعفونی (فتولیز) ممکن است مدت زمان فرایند، پساب‌های شیمیایی و هزینه‌های عملیاتی را برای فرایند در سطح صنعتی کاهش دهد و منجر به تأمین ایمنی میوه‌ها و سبزیجات تازه برای مصرف‌کنندگان شود.

رفرنس:

Al-Taher, F., Chen, Y., Wylie, P., & Cappozzo, J. (2013). Reduction of pesticide residues in tomatoes and other produce. *Journal of Food Protection*, *76*(3), 510–510.

Baranda, A. B., Fundazuri, O., & de Maranon, I. M. (2014). Photodegradation of several triazidic and organophosphorus pesticides in water by pulsed light technology. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *286*, 29–39.

Basfar, A. A., Mohamed, K. A., & Al-Saqer, O. A. (2012). De-contamination of pesticide residues in food by ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, *81*(4), 473–478.

Bonnech`ere, A., Hanot, V., Jolie, R., Hendrickx, M., Bragard, C., Bedoret, T., & Van Loco, J. (2012). Effect of household and industrial processing on levels of five pesticide residues and two degradation products in spinach. *Food Control*, *25*(1), 397–406.

Cengiz, M. F., Bas¸lar, M., Basanc¸elebi, O., & Kılıc¸lı, M. (2018). Reduction of pesticide residues from tomatoes by low intensity electrical current and ultrasound applications. *Food Chemistry*, *267*, 60–66.

Chowdhury, M. A. Z., Jahan, I., Karim, N., Alam, M. K., Rahman, M. A., Moniruzzaman, M., & Fakhruddin, A. N. M. (2014). Determination of carbamate and organophosphorus pesticides in vegetable samples and the efficiency of gamma-radiation in their removal. *BioMedical Research International*.

Chung, S. W. (2018). How effective are common household preparations on removing pesticide residues from fruit and vegetables? A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(8), 2857–2870.

Codex Alimentarius. (2012). *Pesticide residues in food and feed*. Codex Pesticides Residues in Food on line Database. Retrieved from http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/index.html

de Souza, L. P., Faroni, L. R. D. A., Heleno, F. F., Pinto, F. G., de Queiroz, M. E. L. R., & Prates, L. H. F. (2018). Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. *Food Chemistry*, *243*, 435–441.

Deer, H. M., & Beard, R. (2001). Effect of water pH on the chemical stability of pesticides. *AG/Pesticides*, *14*, 1.

Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L. P., & Elsner, M. (2013). Evaluating pesticide degradation in the environment: Blind spots and emerging opportunities. *Science*, *341*(6147), 752–758.

Guardia-Rubio, M., Ayora-Canada, M. J., & Ruiz-Medina, A. (2007). Effect of washing on pesticide residues in olives. *Journal of Food Science*, *72*(2), 139–143.

Hao, J., Liu, H., Chen, T., Zhou, Y., Su, Y. C., & Li, L. (2011). Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with electrolyzed water treatment. *Journal of Food Science*, *76*(4), C520–C524.

Iizuka, T., Maeda, S., & Shimizu, A. (2013). Removal of pesticide residue in cherry tomato by hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, *116*(4), 796–800.

Iizuka, T., & Shimizu, A. (2014). Removal of pesticide residue from Brussels sprouts by hydrostatic pressure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *22*, 70–75.

Iizuka, T., Yahata, M., & Shimizu, A. (2013). Potential mechanism involved in removal of hydrophobic pesticides from vegetables by hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, *119*(1), 1–6.

Ikeura, H., Hamasaki, S., & Tamaki, M. (2013). Effects of ozone microbubble treatment on removal of residual pesticides and quality of persimmon leaves. *Food Chemistry*, *138*(1), 366–371.

Ikeura, H., Kobayashi, F., & Tamaki, M. (2011). Removal of residual pesticide, fenitrothion, in vegetables by using ozone microbubbles generated by different methods. *Journal of Food Engineering*, *103*(3), 345–349.

Ikeura, H., Kobayashi, F., & Tamaki, M. (2013). Ozone microbubble treatment at various water temperatures for the removal of residual pesticides with negligible effects on the physical properties of lettuce and cherry tomatoes. *Journal of Food Science*, *78*(2), 350–355.

Jallow, M. F., Awadh, D. G., Albaho, M. S., Devi, V. Y., & Ahmad, N. (2017). Monitoring of pesticide residues in commonly used fruits andvegetables in Kuwait. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(8), 833.

Katsuyama, C., Nakaoka, S., Takeuchi, Y., Tago, K., Hayatsu, M., & Kato, K. (2009). Complementary cooperation between two syntrophic bacteria in pesticide degradation. *Journal of Theoretical Biology*, *256*(4), 644–654.

Klinhom, P., Halee, A., & Methawiwat, S. (2008). The effectiveness of household chemicals in residue removal of methomyl and carbaryl pesticides on Chinese kale. *Kasesart Journal*, *42*, 136–143.

Liang, Y., Wang, W., Shen, Y., Liu, Y., & Liu, X. J. (2012). Effects of home preparation on organophosphorus pesticide residues in raw cucumber. *Food Chemistry*, *133*(3), 636–640.

Lozowicka, B., & Jankowska, M. (2016). Comparison of the effects of water and thermal processing on pesticide removal in selected fruit and vegetables. *Journal of Elementology*, *21*(1), 99–111.

Lozowicka, B., Jankowska, M., Hrynko, I., & Kaczynski, P. (2016). Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning and boiling. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188*(1), 51.

Magara, Y., Aizawa, T., Matumoto, N., & Souna, F. (1994). Degradation of pesticides by chlorination during water purification. *Water Science and Technology*, *30*(7), 119.

Miguel, N., Ormad, M. P., Mosteo, R., & Ovelleiro, J. L. (2012). Photocatalytic degradation of pesticides in natural water: Effect of hydrogen peroxide. *International Journal of Photoenergy*.

Misra, N. (2015). The contribution of non-thermal and advanced oxidation technologies towards dissipation of pesticide residues. *Trends in Food Science & Technology*, *45*(2), 229–244.

Misra, N. N., Pankaj, S. K., Walsh, T., O'Regan, F., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2014a). In-package nonthermal plasma degradation of pesticides on fresh produce. *Journal of Hazardous Materials*, *271*, 33–40.

Ong, K. C., Cash, J. N., Zabik, M. J., Siddiq, M., & Jones, A. L. (1996). Chlorine and ozone washes for pesticide removal from apples and processed apple sauce. *Food Chemistry*, *55*(2), 153–160.

Phan, K. T. K., Phan, H. T., Boonyawan, D., Intipunya, P., Brennan, C. S., Regenstein, J. M., & Phimolsiripol, Y. (2018). Non-thermal plasma for elimination of pesticide residues in mango. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *48*, 164–171.

Phan, K. T. K., Phan, H. T., Brennan, C. S., & Phimolsiripol, Y. (2017). Nonthermal plasma for pesticide and microbial elimination on fruits and vegetables: An overview. *International Journal of Food Science & Technology*, *52*(10), 2127–2137

Pino, N., & Penuela, G. (2011). Simultaneous degradation of the pesticides methyl parathion and chlorpyrifos by an isolated bacterial consortium from a contaminated site. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *65*(6), 827–831.

Qi, H., Huang, Q., & Hung, Y. C. (2018). Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality. *Food Chemistry*, *239*, 561–568.

Rao, C. S., Bhushan, V. S., Reddy, H., Darsi, R., Aruna, M., & Ramesh, B. (2014). Risk mitigation methods for removal of pesticide residues in brinjal for food safety. *Universal Journal of Agricultural Research*, *2*(8), 279–283.

Ryad, L. M., & Mahmoud, A. A. (2016). Study the effect of household processing on some pesticide residues in olive fruits. *Science*, *6*, 588–593.
Satpathy, G., Tyagi, Y. K., & Gupta, R. K. (2012). Removal of organophosphorus (OP) pesticide residues from vegetables using washing solutions and boiling. *Journal of Agricultural Science*, *4*(2), 69–78.
Soliman, K. M. (2001). Changes in concentration of pesticide residues in potatoes during washing and home preparation. *Food and Chemical Toxicology*, *39*(8), 887–891.
Wang, Y., & Harnoode, C. (2014). Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with chemical germicidal water treatment. *Applied Mechanics and Materials*, *651-653*, 289–292.
Wei, J., Chen, Y., Tiemur, A., Wang, J., & Wu, B. (2018). Degradation of pesticide residues by gaseous chlorine dioxide on table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, *137*, 142–148.
Yang, T., Doherty, J., Zhao, B., Kinchla, A. J., Clark, J. M., & He, L. (2017). Effectiveness of commercial and homemade washing agents in removing pesticide residues on and in apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*(44), 9744–9752.
Yu-shan, Z., Xiao-peng, L., Hong-mei, L., Yao-kun, Z., Fan-fei, Z., Qin-jie, Y., & Jian-wen, C. (2013). Study on universal cleaning solution in removing blended pesticide residues in Chinese cabbage. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *5*(8), 202–207.
Zhang, Z. Y., Liu, X. J., & Hong, X. Y. (2007). Effects of home preparation on pesticide residues in cabbage. *Food Control*, *18*(12), 1484–1487.