مروری بر استفاده از گاز ازن برای کنترل حشرات در غلات ذخیره شده

ناصر رضوی زاده[۱]، داریوش زارع[۱*]

۱. بخش مهندسی بیوسیستم ،دانشگاه شیراز، شیراز، ایران dzare@shirazu.ac.ir

چکیده

ازن کاربردگسترده‌ای به عنوان یک ماده ضدعفونی‌کننده ی قدرتمند در تصفیه آب، فرآوری و نگهداری مواد غذایی و سایر کاربردهای زیست محیطی را دارا است. این گاز به عنوان یک اکسیدان شامل مزایای بیشتری نسبت به روش‌های سنتی نگهداری مواد غذایی است، از این رو در صنایع غذایی کاربردهای بی شماری دارد. ازن به صورت گازی یا مایع در فرآوری میوه و سبزیجات اغلب برای غیرفعال سازی میکرواورگانیسم‌های بیماری‌زا استفاده می‌شود. هم‌چنین از توانایی‌های ازن می توان به از بین بردن آفات ذخیره سازی و تخریب مایکوتوکسین‌ها اشاره کرد. یکی از مزیت‌های مهم ازن، تجزیه سریع ازن باقی‌مانده به اکسیژن است، پس بنابراین بروی محصولات باقی نمی‌ماند. چنین مزایایی ازن را برای صنایع غذایی جذاب می‌کند و در نتیجه به عنوان یک ماده ضدعفونی ایمن در فرآوری مواد غذایی شناخته شده است.

کلمات کلیدی: ازن، دفع آفات، نگهداری مواد غذایی، میکرواورگانیسم‌ها

*نویسنده مسئول

مروری بر استفاده از گاز ازن برای کنترل حشرات در غلات ذخیره شده

مقدمه

جمعیت جهان در حال حاضر بیش از ۷ میلیارد نفر است و انتظار می‌رود در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر برسد [۱]. منابع محدود توجه محققان را به سمت کشاورزی پایدار و دقیق جلب کرده است که هدف از آن تولید بیشتر با استفاده از حداقل منابع برای غلبه بر تهدید جهانی امنیت غذایی در آینده است [۳و۲]. تولید، پخش و مصرف مواد غذایی در کنار هم یک سامانه پس از برداشت محصول را تشکیل می‌هد. در این مجموعه، یک ویژگی ناخوشایندی وجود دارد که مقدار زیادی از دانه‌های مواد غذایی در مزرعه و در طی فرآیند ذخیره‌سازی از بین می‌روند [٤]. میزان خسارت پس از برداشت در حدود ۷ تا ۱۵ درصد تخمین زده می‌شود که سالانه تقریباً ٦٪ از آن به دلیل شیوه‌های ناردست ذخیره‌سازی و مدیریت از بین می‌رود [٥]. عمده عوامل بیولوژیکی که باعث تلفات دانه‌های غذایی می‌شوند عبارتند از: حشرات، میکروب‌ها، جوندگان و پرندگان که در بین آنها حشرات بیشترین صدمه را به دانه‌ها وارد می‌سازند چون نه تنها آنها رو مصرف می‌کنند بلکه با فضولات و اجساد مرده خود آلودگی ایجاد می‌کنند [٦ و ۳]. علاوه بر این، فعالیت‌های متابولیکی باعث افزایش رطوبت و گرما در سیستم ذخیره‌سازی دانه می‌شود که منجر به رشد قارچ‌ها و در نهایت زوال کیفیت دانه‌های ذخیره شده می‌شود [۷].

کشاورزان برای کنترل آفات محصول ذخیره شده بیشتر به کنترل شیمیایی اعتماد دارند. اگرچه از آفت‌کش‌ها، مانند فسفین[1] (PH_3)، معمولاً برای محافظت از غلات در برابر این تلفات استفاده می‌شود، اما استفاده بیش از حد مواد شیمیایی تأثیرات منفی قابل توجهی، به ویژه بر روی سلامت انسان و محیط زیست دارد [۸].

ازن (O_3) یک اکسیدان قوی است و به دلیل مزیت‌های آن نسبت به تکنیک‌های سنتی نگهداری مواد غذایی، کاربردهای بی‌شماری در صنایع غذایی دارد [۱۰ و ۹]. گازدهی[2] با ازن هیچ ماده مضری بر روی محصولات باقی نمی‌گذارد چون به طور خودکار به اکسیژن تجزیه می‌شود [۱۲و ۱۱]. ازن توانایی از بین بردن میکروارگانسیم‌هایی از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها را دارد. علاوه بر این بررسی دانه‌های تیمار شده با ازن نشان داد، ازن بر کیفیت ذاتی دانه تاثیر نمی‌گذارد [۱۳]. بنابراین استفاده از ازن به عنوان ماده ضدعفونی‌کننده دانه‌های غذایی یک گزینه مناسب از دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی است. به عنوان مثال، مطالعات انجام شده توسط تعدادی از محققان [۱۷ و ۱٦ و ۱۵و ۱٤] استفاده از گاز ازن برای گازدهی ذرت ذخیره شده بر اساس تجزیه و تحلیل اقتصادی، ذرت ذخیره شده تا ٦ ماه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. این مقاله به بررسی اثر ازن در ذخیره سازی و نگهداری غلات می پردازد.

کاربرد گاز ازن برای کنترل حشرات در غلات ذخیره شده

گاز ازن یک ماده ضدعفونی کننده قوی برای مدیریت آفات حشرات محصولات ذخیره شده است که کمترین تاثیر را بر کیفیت دانه دارد [۲۰ و ۱۹ و ۱۸]. به‌طور کلی تیمار ازن برای دانه در یک مخزن ذخیره‌سازی هرمتیک[3] در محتوای رطوبتی کم و با حداقل ضخامت بستر انجام می‌شود [۲۳ و ۲۲ و ۲۱]. مطابق تحقیق مندز[4] و همکاران [۲٤]، فرآیند انتقال جرم گاز ازن از میان توده دانه‌ها به ترکیبات شیمیایی لایه خارجی دانه بستگی دارد. در حین گازدهی ابتدا ازن با لایه بذر واکنش می‌دهد و سپس در داخل دانه نفوذ می‌کند [۱۰]. نفوذ گاز ازن به داخل دانه به عوامل

1- phosphine
2- Fumigation
3- hermetic storage
4- Mendez

مختلفی از جمله ضخامت بستر، دمای دانه، محتوای رطوبت دانه، شکل مخزن، دبی گاز ازن، خصوصیات سطح دانه، آلودگی میکروبی، غلظت گاز ازن و وجود حشرات بستگی دارد [۲۵ و ۲۳ و ۲۲ و ۲۱].

مطالعات نشان داد مقاوم‌ترین مرحله چرخه زندگی حشرات، مرحله تخم است و گاز ازن تاثیری بر آن ندارد [۲۸ و ۲۷ و ۲۶]. در مطالعات مختلف مرحله حساس از میان لاروها[۵]، شفیره‌ها[۶] و بالغ[۷] متفادت بود. بونجور و همکاران [۲۶] و هانسن و همکاران [۲۷] دریافتند شفیره یا بالغ (بزرگسال) حساس‌ترین مرحله برای در بین گونه‌های آزمایش شده بودند. کلز[۸] و همکاران [۱۱] اثربخشی گازدهی با ازن را در برابر حشراتی مانند سوسک قرمز آرد (*Tribolium castaneum*)، شپشک ذرت (*Sitophilus zeamais*) و لارو شب‌پره هندی در دانه‌های ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. مرگ و میر قابل توجهی، حتی تا ۱۰۰٪ در مقایسه با حداکثر ۱۰٪ در شاهد مشاهده شد. هم‌چنین شپش ذرت(*Sitophilus zeamais*) حساسیت بیشتری نسبت به تیمار گاز ازن نشان داد. آموها و محروف[۹] [۲۹] برای کنترل حشره (*Sitophilus oryzae*) از گاز ازن در سیلوهای گندم و برنج استفاده کردند. آنها نشان دادند تخم‌ها در برابر گاز ازن نسبت به اشکال نابالغ و بالغ *Sitophilus oryzae* مقاومت بیشتری دارند. با این حال قرار گرفتن به مدت ۲٤ ساعت در معرض ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گاز ازن در عمق ۵ سانتی‌متری، هر دو نوع حشرات نابالغ و بالغ غیرفعال شدند.

مقایسه اثربخشی گاز ازن در برابر حشرات محصول ذخیره شده تحت شرایط آزمایشگاهی در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج مرگ و میر حشرات مختلف محصول ذخیره شده ارائه شده در جدول ۱ بدیهی است غلظت ازن و مدت زمان در معرض قرار گرفتن نقش مهمی در اثربخشی گاز ازن در برابر حشرات محصول ذخیره شده دارند. با این حال غلظت زیاد گاز ازن و مدت زمان طولانی در معرض قرار گرفتن، اثرات بدی روی خصوصیات کیفی مواد غذایی دارد و استفاده از گاز ازن نباید از یک آستانه خاص فراتر رود [۳۱ و ۳۰]. الدسوکی[۱۰] و همکاران [۳۲] نشان دادند مدت زمان طولانی در معرض قرار گرفتن نسبت به غلظت زیاد گاز ازن موثرتر است. مقدار (دز) کشنده و مدت زمان در معرض قرار گرفتن بین ۵ تا ppm ۵۰۰ با چند ساعت تا ۵ روز تیمارگزارش شده است [۳۳]. آتاناسیو[۱۱] و همکاران [۳٤] گزارش کردند در غلظت ppm ۱۱۵ مرگ و میر *R. dominica* و *S. oryzae* بالغ (بزرگسال) بعد از ۲ ساعت در معرض گاز ازن قرار گرفتن، ٦۰٪ بود. در حالی‌که ۲ ساعت بعد تمامی بالغ‌ها (بزرگسالان) مرده بودند. در همان مطالعه مرگ و میر *T. confusum* بالغ (بزرگسال) بعد از ساعت خیلی کم بود اما در فاصله ٦ ساعت به ۱۰۰٪ رسید. روزادو[۱۲] و همکاران [۳۵] گزارش کردند برای دستیابی به کنترل ۹۵٪ *S. zeamais* و *T. castaneum* بالغ با تزریق $mg.kg^{-1}$ ۵۰ گاز ازن در سیلو ذرت به مدت زمان در معرض قرار گرفتن ۲۳/۷٦ و ٦٤/۱۹ ساعت مورد نیاز است. مک‌دونا[۱۳] و همکاران [۳٦] مدلی برای محاسبه مرگ و میر حشرات بر اساس غلظت و مدت زمان در معرض قرار گرفتن بدست آوردند. در آن مطالعه محققان مقادیر غلظت و مدت زمان تیمارهای ازن برای دستیابی به مرگ و میر ۱۰۰ درصدی محاسبه کردند و دریافتند *T. castaneum* نسبت به *P. interpunctella* نیاز به غلظت و مدت زمان بیشتری دارد که به ترتیب ۲۵٦۵۰۰ ppm-min و ۱۸۳۰۰۰ ppm-min است.

5- larvae
6- pupae
7- adult
8- Kells
9- Amoah and Mahroof
10- El-Desouky
11- Athanassiou
12- Rozado
13- McDonough

جدول ۱- خلاصه ای از تاثیر گاز ازن بر حشرات محصولات ذخیره شده در مطالعات آزمایشگاهی

دانه	حشرات	شرایط	میزان مرگ و میر	منبع
گندم	*Ephestia kuehniella* and *Tribolium confusum*	غلظت ازن mg/L ۱۳/۹	*T. confusum*, 72.6% (Larvae) 1.3- 22.7% (Adult) 90-100% (larve, adult)	۳۷
ذرت	RFB (*T. castaneum*) MW (*Sitophilus zeamais*) IMM (P. *interpunctella*)	۲۵ ppm به مدت ۵ روز	77.0% IMM 99.9% MW 91.4% RFB	۱۱
ذرت	*T. castaneum*	۵۰ ppm	50% mortality (71.4 h) at 20 ºC 95% mortality (151.8 h) at 20 ºC	۱۵
ذرت	*Plodia interpunctellae* *Tribolium castaneum*	۱۸۰۰ ppm به مدت ۱ساعت	Larva 66.9% 92.1% Pupa 92.9% 79.2% Egg 66.9% 88.3% Adult 100% 84.3%	۳۶
گندم	*T. castaneum*	۵۰ ppm به مدت ٤ روز	92%	۲۶

کاربرد گاز ازن برای کنترل قارچ‌ها، باکتری‌ها و مایکوتوکسین‌ها در غلات ذخیره شده

ازن به شکل آبی و گازی باعث کاهش میزان آلودگی میکروبی و هم‌چنین آلودگی باکتریایی، قارچی و کپک در غلات و فرآورده‌های غلات می‌شود. این آلودگی‌های مانند: هاگ (اسپور) باسیلوس[14]، باکتری‌های کلی‌فرم[15]، میکروکوکوس[16]، فلاوباکتریوم[17]، آلکالیژنس[18]، سراریا[19]، آپیرژیلوس[20] و پنی‌سلیوم[21] است [۳۸]. مکانیسم غیرفعال سازی میکروبی توسط ازن پیچیده است. مطالعات انجام شده بر روی بررسی

اثر گاز ازن در برابر گروه‌های مختلف میکرواورگانیسم‌ها نشان داد ازن با اکسیداسیون تدریجی اجزای سلول حیاتی میکرواورگانیسم‌ها را از بین می‌برد [۳۹]. تخریب غشای (پوسته) قارچ به‌عنوان مکانیسم خاصیت ضدقارچی گاز ازن شناخته شد [٤٠]. بسته به ساختار غشا، برخی از گونه‌های قارچ در مقابل تیمارهای گاز ازن مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. گاز ازن در کاهش مایکوتوکسین‌ها موثر است در حالی‌که ازن به شکل آبی توانایی کنترل رشد قارچ را دارد [٤٢ و ٤١].

مطالعات آزمایشی زیادی در مخزن‌های ذخیره‌سازی دانه نشان داد استفاده از گاز ازن باعث کاهش قابل توجه میکروارگانیسم‌ها شد. اگرچه مدت زمان در معرض قرار گرفتن و مقدار (دز) گاز ازن افزایش یابد تعداد میکروارگانیسم‌ها کم می‌شود. حداکثر میزان کاهش کمتر از ۸۰٪ بود و فقط میکروارگانیسم‌های سطح دانه کاهش یافتند. برای رسیدن به این حداکثر میزان کاهش، ppm گاز از ن۱۷۵۲ با مدت زمان ۳ ساعت مورد نیاز بود [٤٣ و ۱۱]. برای ذرت ذخیره شده کلز و همکاران [11] دریافتند ۵۰ ppm گاز ازن به مدت سه روز می‌تواند به طور قابل

14- spores of Bacillus
15- Coliform bacteria
16- Micrococcus
17- Flavobacterium
18- Alcaligenes
19- Serratia
20- Aspergillus
21- Penicillium

توجهی باعث کاهش آلودگی قارچ *Aspergillus parasiticus* در دانه‌ها شود. به‌طور کلی غلظت پایین ازن می‌تواند مایکوتوکسین‌ها و گونه‌های عمده قارچ را مانند *Aspergillus* و *Fusarium* در قسمت بیرونی هسته کاهش دهد و یا از بین ببرد [٤٥ و ٤٤].

وو[22] و همکاران [٤٦] نرخ بالای غیرفعال شدن قارچ در رطوبت (MC= 21.9%) و دمای بالا (٤٠ ^{o}C) در نمونه‌های گندم مشاهده کردند چون درجه حرارت بالا باعث افزایش سرعت تجزیه ازن به رادیکال‌های آزاد می‌گردد و هم‌چنین ازن با سرعت بیشتری در آب و محصولات دارای رطوبت زیاد تجزیه می‌شود. نتایج مشابهی در مورد دانه‌های جو توسط آلن[23] و همکاران [٤٧] گزارش شد. دما و رطوبت بالا برای ذخیره دانه‌ها مشکل‌ساز است. وو و همکاران [٤٥] اثر گازدهی با ازن (٠/٣٣ mg/g o_3) در دمای ٢٠ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ٢١٪ بر روی دانه‌های گندم مطالعه کردند. بعد از ١٠ دقیقه هاگ‌های (اسپورهای) قارچ بدون تاثیر بر جوانه‌زنی غیرفعال شدند. به غیر از دما و رطوبت، pH و ترکیبات مصرف‌کننده ازن (مانند: مواد آلی خاص مثل بقایای سلول) بر تجزیه آن تاثیر می‌گذارند. همانطور که در مورد قارچ ها وجود دارد، ازن نیز به ویژه در برابر باکتری‌هایی که با غذا در ارتباط هستند موثر است.

مطالعات زیادی وجود دارد که به وضوح نشان می‌دهد گازدهی با ازن مایکوتوکسین ها را کاهش می‌دهد [٤٨]. به‌طور کلی، مک دونا و همکاران [٣٦] تاکید داشتند غلظت‌های مورد نیاز برای کاهش میزان آفلاتوکسین دانه‌ها باید بیشتر از غلظت مورد نیاز برای جلوگیری از رشد قارچ باشد. آکباس و اوزدمیر[24] [٤٩] تنوانستند آفلاتوکسین موجود در پسته را بعد از ٤٢٠ ساعت قرار گرفتن در معرض ٣٢٠٠ ppm گاز ازن ١٢/٥٪ کاهش دهند. ازن به خوبی برای سم‌زدایی و تخریب مایکوتوکسین‌ها مانند آفلاتوکسین، اوکراتوسین A، پاتولین و غیره کار می‌کند [١٠].

مابقی کاربرد گاز ازن برای کنترل قارچ‌ها، باکتری‌ها و مایکوتوکسین‌ها در غلات ذخیره شده در جدول ٢ آورده شده است.

جدول ٢- کاربرد گاز ازن برای کنترل قارچ‌ها، باکتری‌ها و مایکوتوکسین‌ها

دانه	قارچ	شرایط	اثر ازن	منبع
ذرت	*Aspergillus parasiticus*	غلظت ازن ٠/١ g/m^3	کاهش ٦٣درصدی تعداد قارچ بعد از ٣ روز	١١
گندم	Fungi from wheat seed	0.33 mg of O3/g wheat/min of gaseous O3, for 5 minutes	Reduction of fungal counts (96.9%) and of fungal sporulation	٤٥
جو	*Fungal spores and mycelia*	0.16 mg of ozone (g wheat)$^{-1}$ min^{-1}	غیرفعال شدن ٩٦درصدی اسپور قارچ	٤٦
ذرت	*Aflatoxins*	Ozonation (10–12 wt%) reduced	کاهش ٩٢درصدی آفلاتوکسین	٤٧

تاثیر گاز ازن بر کیفیت دانه‌های ذخیره شده

تیواری[25] و همکاران [١٠] اثر گاز ازن را بر کیفیت دانه بررسی کردند و نتیجه گرفتند استفاده از گاز ازن در مقدارهایی (دوزهایی) که برای ضدعفونی کردن دانه‌ها کافی بود، ممکن است بر کیفیت دانه تأثیر بگذارند. در مقالات چاپ شده (جدول ٣) اختلافاتی درباره تاثیر گاز ازن بر کیفیت دانه و محصولات تولید شده وجود دارد، این اختلاف ممکن است ناشی از اختلاف مقدار، مدت زمان در معرض قرار گرفتن و مواد و روش مورد استفاده باشد.

تغییر رنگ در برنجی که با ازن گازدهی شده بود (٥٠ ppm به مدت ٣٠ روز) مشاهده شد و در مقایسه با شاهد بوی سرکه می‌داد. با این حال بوی اسیدی و تغییر رنگ قهوه ای در طی فرآیند آسیاب برداشته شد [٢٤].پرودنته و

22- Wu
23- Allen
24- Akbas and Ozdemir
25- Tiwari

کینگ[26] [۵۰] تغییرات قابل توجهی را در پروفایل اسید چرب ذرت‌هایی که تحت تیمار ازن قرار گرفته بودند، مشاهده کردند. غلظت کم ازن (۵- ppm ۰/۰۵) باعث اکسیداسیون چربی در دانه‌های غذایی نمی‌شود. وانگ[27] و همکاران [۵۱] کاهش در محتوای پروتئین در نمونه‌های ذرت گازدهی شده با ازن نسبت به شاهد را گزارش کردند. به این ترتیب غلظت زیاد ازن (بیشتر از ppm ۵۰) باعث آسیب اکسیداسیون عمده‌ای در آرد غلات می‌شود [۵۲]. مندز و همکاران [۲٤] اثر مدت زیاد طولانی تیمار ازن (٦ برابر زمانی که برای از بین رفتن آفات نیاز است) را بر روی طیف وسیعی از دانه‌های غذایی بررسی کردند (جدول ۳) و هیچ تاثیری بر کیفیت تغذیه‌ای و خصوصیات فرآوری غلات مشاهده نکردند.

مطالعه ای بر روی پوست‌گیری دانه‌های گندم مرطوب گازدهی شده با ازن انجام شد و گزارش کردند که گازدهی باعث سهولت در پوست‌گیری گندم می‌شود [۵۳]. هم‌چنین انرژی مورد نیاز برای آسیاب کردن به طور قابل توجهی (۲۰- ۱۰ ٪) بدون اینکه تغییراتی در خصوصیات بیوشیمیایی رخ دهد، کاهش یافت. این نشان از پتانسیل کاربرد ازن برای دانه های غذایی است.

جدول ۳- تاثیر گاز ازن بر کیفیت دانه‌های ذخیره شده

دانه	شرایط	تغییرات در کیفیت	منبع
ذرت	ppm ۵۰ به مدت ۳۰ روز	اسید چرب و اسید آمینه بی تغییر	۲٤
برنج	ppm ۵۰ به مدت ۳۰ روز	چسبندگی و کیفیت پخت بی تغییر	۲٤
جو	0.16 and 0.10 mg of ozone (g Barley)$^{-1}$ min^{-1}	کاهش میزان جوانه‌زنی	٤٦
جو	Ozonation (10–12 wt%)	اسید چرب بی تغییر	٤٧

نتیجه گیری

در صنعت فرآوری غلات، هدف ذخیره‌سازی ایمن دانه‌های غذایی است در صورتی که تلفات کمی و کیفی به حداقل برسد. قوانین صنعت غذا به سمت حذف تدریجی سموم دفع آفات شیمیایی، افزایش مقاومت در برابر آفات و افزایش تقاضای مصرف‌کننده برای استفاده از محصولات اورگانیک است. ازن یک روش جایگزین برای ضدعفونی کردن دانه هست و هیچ‌گونه پسماند سمی روی محصول باقی نمی‌گذارد. در این بررسی نشان داده شد که ازن یک گزینه جدید و موثر برای طیف وسیعی از آفات، میکرواورگانیسم‌ها و مایکوتوکسین‌ها است. با این حال اثربخشی ازن به عوامل مختلفی از جمله مقدار ازن استفاده شده، مدت زمان در معرض قرار گرفتن، درجه حرارت توده دانه‌ها، رطوبت و غیره بستگی دارد. مزیت منحصر به فرد ازن برای فرآوری دانه‌های غذایی تاثیر کم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی است.

منابع

26- Prudente and King
27- Wang

1- UN. (2019). Concise Report on the World Population Situation. https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html
2- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., and Searchinger, T. 2013. Reducing food loss and waste. World Resources Institute Working Paper, 1, 1-40.
3- Mohapatra, D., Kar, A., and Giri, S. K. 2015. Insect pest management in stored pulses: an overview. Food and Bioprocess Technology, 8(2), 239-265.
4- Kiaya, V. 2014. Post-harvest losses and strategies to reduce them. Technical paper on post-harvest losses. Action Contre la Faim (ACF), member of ACF International, 2-25.
5- Sharon, M., Abirami, C. V., and Alagusundaram, K. 2014. Grain storage management in India. Journal of Postharvest Technology, 2(1), 12-24.
6- Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D., Giri, S. K., and Babu, V. B. 2019. Bioacoustic detection of Callosobruchus chinensis and Callosobruchus maculatus in bulk stored chickpea (Cicer arietinum) and green gram (Vigna radiata). Food Control, 104, 278-287.
7- Naresh, M., David, A., and Sanchis, V. 2004. The Role of spoilage fungi in seed deterioration. In Arora, D. K. (Eds.), Fungal Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Application, (pp. 311-322). New York City: Marcel Dekker.
8- Aulický, R., and Stejskal, V. 2015. Efficacy and limitations of phosphine "spot-fumigation" against five coleoptera species of stored product pests in wheat in a grain store-short note. Plant Protection Science, 51(1), 33-38.
9- Savi, G. D., Piacentini, K. C., Bittencourt, K. O., and Scussel, V. M. 2014. Ozone treatment efficiency on fusarium graminearum and deoxynivalenol degradation and its effects on whole wheat grains (Triticum aestivum L.) quality and germination. Journal of Stored Products Research, 59, 245-253.
10- Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., & O'Donnell, C. P. 2010. Application of ozone in grain processing. Journal of Cereal Science, 51(3), 248-255.
11- Kells, S. A., Mason, L. J., Maier, D. E., and Woloshuk, C. P. 2001. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. Journal of Stored Products Research, 37(4), 371-382.
12- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., and Cullen, P. J. 2008. Modelling colour degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 88(4), 553-560.
13- Zhu, F. 2018. Effect of ozone treatment on the quality of grain products. Food Chemistry, 264, 358-366.
14- Islam, M. S., Hasan, M. M., Xiong, W., Zhang, S. C., and Lei, C. L. 2009. Fumigant and repellent activities of essential oil from Coriandrum sativum (L.) (Apiaceae) against red flour beetle Tribolium castaneum (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Pest Science, 82(2), 171-177.
15- Pereira, A. D. M., Faroni, L. R. D., da Silva Júnior, A. G., de Sousa, A. H., and Paes, J. L. 2008a. Economical viability of ozone uses as fumigant of stored corn grains. Engenharia na Agricultura (Brazil).
16- Pereira, A. D. M., Faroni, L. R. A., Sousa, A. H. D., Urruchi, W. I., and Paes, J. L. 2008b. Influence of the grain temperature on the ozone toxicity to Tribolium castaneum. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 12(5), 493-497.
17- Pimentel, M. A. G., LRD'A, F., Guedes, R. N. C., Sousa, A. H., and Tótola, M. R. 2009. Phosphine resistance in Brazilian populations of Sitophilus zeamais motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Stored Products Research, 45(1), 71-74.

18- Pandiselvam, R., Sunoj, S., Manikantan, M. R., Kothakota, A., and Hebbar, K. B. 2017. Application and kinetics of ozone in food preservation. Ozone: Science & Engineering, 39(2), 115-126.
19- Pandiselvam, R. 2016. Development of multivariate regression model for quantification of proximate content in vigna radiata using fourier transform–nir spectroscopy.
20- Pandiselvam, R., V. Thirupathi, and P. Vennila. 2016. "Fourier Transform–Near Infrared Spectroscopy for Rapid and Nondestructive Measurement of Amylose Content of Paddy." Poljoprivredna Tehnika 41:93–100
21- Pandiselvam, R., and Thirupathi, V. 2015. Reaction kinetics of Ozone gas in green gram (Vigna radiate). Ozone: Science & Engineering, 37(4), 309-315.
22- Pandiselvam, R., V. Thirupathi, and S. Anandakumar. 2015. Reaction Kinetics of Ozone Gas in Paddy Grains. Journal of Food Process Engineering 38: 594–600
23- Ravi, P., Venkatachalam, T., and Rajamani, M. 2015. Decay rate kinetics of ozone gas in rice grains. Ozone: Science & Engineering, 37(5), 450-455.
24- Mendez, F., Maier, D. E., Mason, L. J., and Woloshuk, C. P. 2003. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. Journal of Stored Products Research, 39(1), 33-44.
25- Pandiselvam, R., Kothakota, A., Thirupathi, V., Anandakumar, S., and Krishnakumar, P. 2017. Numerical simulation and validation of ozone concentration profile in green gram (Vigna radiate) bulks. Ozone: Science & Engineering, 39(1), 54-60.
26- Bonjour, E. L., Opit, G. P., Hardin, J., Jones, C. L., Payton, M. E., and Beeby, R. L. 2011. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. Journal of Economic Entomology, 104(1), 308-316.
27- Hansen, L. S., Hansen, P., and Jensen, K. M. V. 2012. Lethal doses of ozone for control of all stages of internal and external feeders in stored products. Pest management science, 68(9), 1311-1316.
28- Leesch, J. G. 2003. The mortality of stored product insects following exposure to gaseous ozone at high concentrations. In Advances in stored product protection. Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection, York, UK, 22-26 July 2002 (pp. 827-831). CABI Publishing.
29- Amoah, B. A., and Mahroof, R. M. 2019. Ozone as a potential fumigant alternative for the management of Sitophilus oryzae (Coleoptera: Curculionidae) in wheat. Journal of economic entomology, 112(4), 1953-1963.
30- Diao, E., Hou, H., Chen, B., Shan, C., and Dong, H. 2013. Ozonolysis efficiency and safety evaluation of aflatoxin B1 in peanuts. Food and Chemical Toxicology, 55, 519-525.
31- Isikber, A. A., and Athanassiou, C. G. 2015. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products. Journal of Stored Products Research, 64, 139-145.
32- El-Desouky, T. A., Sharoba, A. M. A., El-Desouky, A. I., El-Mansy, H. A., and Naguib, K. 2012. Effect of ozone gas on degradation of aflatoxin B1 and Aspergillus flavus fungal. J. Environ. Anal. Toxicol, 2(1), 128.
33- Jian, F., Jayas, D. S., and White, N. D. 2013. Can ozone be a new control strategy for pests of stored grain. Agricultural Research, 2(1), 1-8.
34- Athanassiou, C. G., Milonas, D. N., and Saitanis, C. J. 2008. Insecticidal effect of ozone against Rhyzopertha dominica (F.)(Coleoptera: Bostrychidae), Sitophilus oryzae (L.)(Coleoptera: Curculionidae) and Tribolium confusum Jacquelin Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae): influence of commodity. Daolinc, et al, 61-71.
35- Rozado, A. F., Faroni, L. R., Urruchi, W. M., Guedes, R. N., and Paes, J. L. 2008. Ozone application against Sitophilus zeamais and Tribolium castaneum on stored maize. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 12(3), 282-285.

36- McDonough, M. X., Campabadal, C. A., Mason, L. J., Maier, D. E., Denvir, A., and Woloshuk, C. 2011. Ozone application in a modified screw conveyor to treat grain for insect pests, fungal contaminants, and mycotoxins. Journal of Stored Products Research, 47(3), 249-254.
37- Naito, S., and Takahara, H. 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. Ozone: science and Engineering, 28(6), 425-429.
38- Karaca, H., and Velioglu, Y. S. 2007. Ozone applications in fruit and vegetable processing. Food Reviews International, 23(1), 91-106.
39- Brodowska, A. J., Nowak, A., and Śmigielski, K. 2018. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. Critical reviews in food science and nutrition, 58(13), 2176-2201.
40- Öztekin, S., Zorlugenç, B., and Zorlugenç, F. K. 2006. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. Journal of food engineering, 75(3), 396-399.
41- Palou, L., Smilanick, J. L., Crisosto, C. H., and Mansour, M. 2001. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. Plant Disease, 85(6), 632-638.
42- McClurkin, J. D., and Maier, D. E. 2010. Ozone treatment effects on microbial count on maize. Julius-Kühn-Archiv, (425), 548.
43- McKenzie, K. S., Kubena, L. F., Denvir, A. J., Rogers, T. D., Hitchens, G. D., Bailey, R. H., ... and Phillips, T. D. 1998. Aflatoxicosis in turkey poults is prevented by treatment of naturally contaminated corn with ozone generated by electrolysis. Poultry science, 77(8), 1094-1102.
44- Kim, J. G., Yousef, A. E., and Dave, S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. Journal of food protection, 62(9), 1071-1087.
45- Wu, J., Doan, H., and Cuenca, M. A. 2006. Investigation of gaseous ozone as an anti-fungal fumigant for stored wheat. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 81(7), 1288-1293.
46- Allen, B., Wu, J., and Doan, H. 2003. Inactivation of fungi associated with barley grain by gaseous ozone. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 38(5), 617-630.
47- Prudent,J.A., and King, J. M. 2002. Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. Journal of food science, 67(8), 2866-2872.
48- Akbas, M. Y., and Ozdemir, M. 2006. Effect of different ozone treatments on aflatoxin degradation and physicochemical properties of pistachios. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(13), 2099-2104.
49- Isikber, A. A., and Athanassiou, C. G. 2015. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products. Journal of Stored Products Research, 64, 139-145.
50- Wang, Y., King, J. M., Xu, Z., Losso, J., and Prudente, A. 2008. Lutein from ozone-treated corn retains antimutagenic properties. Journal of agricultural and food chemistry, 56(17), 7942-7949.
51- Naito, S., and Shiga, I. 1989. Studies on utilization of ozone in feed preservation, 9: Effect of ozone treatment on elongation of hypocotyl and microbial counts of bean sprouts. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Japan).
52- Coste, C., Dubois, M., and Pernot, A. G. 2009. U.S. Patent Application No. 12/282,032.
53- Desvignes, C., Chaurand, M., Dubois, M., Sadoudi, A., Abecassis, J., & Lullien-Pellerin, V. (2008). Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment. Journal of Cereal Science, 47(2), 245-251.

Review- Application of ozone gas to control insects in stored grains

Naser Razavi Zadeh[1], Dariush Zare[1*]

1. Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract

Ozone finds wide application as a powerful disinfectant in water treatment, food processing, and preservation, and various other environmental applications. Ozone as an oxidant has numerous potential applications in the food industry because of its advantages over traditional food preservation techniques. Application of ozone either in gaseous or liquid form in fruit and vegetable processing is often employed for the inactivation of pathogen and spoilage micro-organisms. Ozone also has the potential to kill storage pests and degrade mycotoxins. One of the advantages of ozone is that excess ozone auto decomposes rapidly to produce oxygen and thus leaves no residues in food. Such advantages make ozone attractive to the food industry and are therefore known as a safe disinfectant in food processing.

Key words: Food preservation, Micro-organisms, Ozone, Pest control

*Corresponding author
dzare@yahoo.com