تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۰/ شماره ۷۰/بهار و تابستان ۱۴۰۰/ص ۱۲۲-۱۰۹
سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

ارزیابی اثر گاز ازن بر ویژگی‌های کیفی و عمر انباری دانه جو

جلال محمدزاده[۱]، جواد زنگانه[۲*] و علیرضا قدس ولی[۳]

۱ و۳- به ترتیب: استادیار؛ و دانشیار علوم و صنایع غذایی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۲- جواد زنگانه: مدیر اجرایی مرکز تحقیقات فراورده های غذایی دارویی و طبیعی دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۵

چکیده

تولید جو مقام چهارم را در جهان دارد. مصرف جو با توجه به‌خواص مفید و مغذی آن، در اکثر کشورهای دنیا رو به افزایش است. در راستای جایگزینی روش‌های نوین و کم‌خطر برای افزایش عمرانباری غلات (به‌جای استفاده از سموم شیمیایی)، در این تحقیق تأثیر گاز ازن با دو متغیر غلظت ازن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) در مدت زمان ازن‌دهی (۱،۳، ۵ و ۷ روز) در دانه جو (رقم ریحانه) در مقایسه با نمونه شاهد با تعیین ویژگی‌های انبارمانی جو به لحاظ کنترل رشد و گسترش قارچ‌ها، حشرات، قدرت جوانه‌زنی دانه و تغییرات خصوصیات کیفی دانه‌ها بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد، افزایش غلظت ازن و زمان ازن‌دهی سبب افزایش کنترل رشد قارچ‌ها، گسترش سم قارچی آفلاتوکسین و آفات انباری می‌شود. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد، این افزایش در غلظت‌های بیشتر از ۵۰ پی‌پی‌ام و زمان ۳ روز ازن‌دهی معنی‌دار نیست ($P< 0.05$). همچنین، استفاده از غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ روز سبب افزایش شاخص اسیدیته چربی و افزایش شاخص کربوکسیل نشاسته دانه جو، نسبت به نمونه شاهد، شده است. شرایط مختلف ازن‌دهی تا غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام در زمان‌های مختلف ازن دهی تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه جو ندارد. ($P< 0.05$) نتایج ارزیابی قدرت جوانه‌زنی دانه‌ها نشان داد کاهش قوه نامیه در غلظت ۵۰ تا روز پنجم ازن‌دهی، نسبت به نمونه شاهد، کاهش محسوسی نداشت و ازن‌دهی در شرایط ۷۵ پی‌پی‌ام و در زمان ۷ روز سبب کاهش قوه نامیه تا ۳۱/۵ درصد در دانه جو گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام در طی ۳ روز ازن‌دهی جهت نگهداری دانه جو را می‌توان پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی

ازن‌دهی، انبارمانی، خصوصیات کیفی، دانه جو

مقدمه

در کشور ما هر ساله مقدار زیادی غله انبار می‌شود و معمولاً حشرات و قارچ‌ها، مشکلات کیفی جدی و خسارت‌های زیادی را در دانه‌های انبار شده ایجاد می‌کنند. ضایعات مربوط به فعالیت قارچ‌ها یا آفات انباری از جمله عواملی هستند که افت کمی و کیفی را در دانه‌های ذخیره‌شده ایجاد می‌کنند. علاوه بر آن، بسیاری از قارچ‌ها انواع سم‌های قارچی

* نگارنده مسئول: Email: jmohamadzadeh@yahoo.com
http://doi: 10.22092/fooder.2020.126377.1221

© 2021,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(مایکوتوکسین‌ها[1]) را به همراه دارند که می‌تواند خطرهای جدی برای انسان و یا دام داشته باشد (Shamshirsaz & Farahmand, 2015). آلودگی‌های میکروبی و آفات انباری علاوه بر خسارت کمی، زیان‌های کیفی به محصولات انبار شده وارد می‌آورند. آلوده شدن غلات انبار شده به مدفوع و جلدهای لاروی حشرات و کنه‌ها، از بین رفتن عناصر اصلی و ویتامین‌ها، از عوامل مهم کاهش کیفیت جو ذخیره شده هستند (Pereira *et al*., 2008).

یکی از روش‌های نوین و کم‌خطر برای مبارزه با آفات انباری (به‌جای استفاده از سموم شیمیایی مانند متیل بروماید و فستوکسین به‌عنوان مواد خطرناک برای لایه ازن و همچنین مقاومت حشرات به فسفین‌ها)، استفاده از گاز ازن در سیلوهای ذخیره‌سازی غلات است. ازن یا اکسیژن فعال، به دلیل توانایی بالا در از بین بردن میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و داشتن قابلیت بالا در حذف آفات، یکی از بهترین مواد ضدعفونی‌کننده محصولات غذایی در جهان شناخته شده است. از مزایای گاز ازن می‌توان به سرعت و قدرت اکسیدکنندگی بالا، نسبت به سایر مواد ضدعفونی‌کننده، نیاز نداشتن به حمل و انبار مواد شیمیایی، تولید نکردن مواد سمی و محصولات ثانویه زیان‌آور، تأثیر بر دامنه گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها، توانایی تجزیه کردن ترکیبات سمی و شیمیایی، تغییر ندادن طعم و مزه و رنگ و بو و کاربری آسان آن اشاره کرد. بنابراین، استفاده از گاز ازن می‌تواند در سلامت نگهداری دانه جو (به‌خصوص در انبارهای تهیه خوراک دام یا در صنعت مالت‌سازی) به‌منظور کنترل آفات و حشرات انباری و جلوگیری از رشد و گسترش قارچ‌ها حائز اهمیت باشد (Vikash Chandra, 2018).

تیواری و همکاران (Tiwari *et al*., 2010) می‌گویند گاز ازن به‌رغم تأثیر بر غیر فعال‌سازی قارچ‌ها در بعضی موارد به خصوص در غلظت‌های نامناسب می‌تواند سبب پیشرفت و سرعت اکسیداسیون یا تجزیه شیمیایی ترکیبات موجود در دانه غلات شود. اکسیداسیون نشاسته و چربی، تغییر در میزان پروتئین، بی‌رنگی و افت قدرت جوانه‌زنی (قوۀنامیه) در استفاده بیش از حد ازن می‌تواند در دانه صورت گیرد.

دوود و همکاران (Dodd *et al*., 2011) با بررسی اثر ازن‌دهی بر سلامت و کیفیت مالت‌سازی جو، نشان دادند استفاده از ازن در غلظت ۴۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب مانع از رشد کپک *فوزاریوم* و تولید دی اکسی نیوالنول[2] در تولید مالت شده است. این محققان اضافه می‌کنند استفاده از گاز ازن تغییر معنی‌داری بر خصوصیات و کیفیت مالت به دست آمده نداشته و سبب بهبود قدرت دیاستیک و فعالیت بتاگلوکان نیز شده است.

ونگ و همکاران (Wang *et al*., 2016) اثر مقدار رطوبت اولیه دانه، غلظت گاز ازن و زمان ازن‌دهی را بر سم‌زدایی دی‌اکسی‌نیوالنول در دانه گندم بررسی کردند و نتایج نشان دادند با افزایش غلظت و زمان ازن‌دهی کاهش معنی‌داری در میزان دی‌اکسی‌نیوالنول حاصل شده است. ویدال و همکاران (Vidal *et al*., 2018) در ارتباط با پایش سم دی اکسی نیوالنول در دانه گندم در طی فرایند تولید نان به این نتیجه رسیدند که فراوری گندم در مرحله آرد سازی، تخمیر و پخت نان تأثیر چشم‌گیری در خنثی‌سازی این سم ندارد و استفاده از گاز ازن را برای مدت ۲ ساعت به‌عنوان روشی جایگزین و کارا در غیر فعال‌سازی اسپورهای *فوزاریوم* در گندم قبل از ورود به فراوری را پیشنهاد

1- Mycotoxin
2- Deoxynivalenol

کردند. در این تحقیق تأثیر گاز ازن با رویکرد تعیین غلظت مناسب این گاز و مدت زمان ازن‌دهی به‌منظور کنترل رشد قارچ‌ها و گسترش سم‌های قارچی، حشرات انباری و حفظ قوۀنامیه دانه جو با توجه به ویژگی‌های کیفی آن بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده: دانه جو (رقم ریحانه) تهیه شده از ایستگاه تحقیقاتی گنبد (در سال ۱۳۹۷)، اسیدبوریک، سود تیترازول، اسید استیک، کلروفرم، یدید پتاسیم، تیوسولفات سدیم، اسید سولفوریک، چسب‌نشاسته و محیط‌کشت PDA[1] (شرکت‌های مرک[2] و دیفکو[3])، دستگاه تولیدکننده ازن (شرک ناب زیست، ساخت ایران)، شیر کنترل، ظروف نگهداری پلی‌اتیلنی مجهز به درپوش کامل لاستیکی، فشارسنج و لوله‌های ورودی و خروجی گاز.

روش‌ها

ازن به‌طور الکتروستاتیکی با یک ازن ژنراتور تولید شد. ازن‌دهی جو در ظرف‌های استوانه‌ای شکل پلی‌اتیلنی به ظرفیت ۱۰ کیلوگرم و مجهز به درپوش کامل لاستیکی و لوله‌های ورودی و خروجی گاز صورت گرفت. هنگامی که غلظت گاز محفظه به میزان مورد نظر رسید و نیازی به دمش بیشتر گاز نبود با مهر و موم کردن محفظه، دمش قطع شد. تزریق گاز تا وقتی ادامه یافت که غلظت ازن خروجی تقریباً ثابت ماند. ازن‌دهی با دو متغیر اصلی غلظت ازن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام) در مدت زمان (۱، ۳، ۵ و ۷ روز) با تعیین میزان کنترل رشد قارچ‌ها و سم‌های قارچی، اثر کشندگی بر حشرات انباری و تغییرات خصوصیات کیفی دانه پس از دوره‌ای شش ماهه ارزیابی شد. آزمایش‌های کنترل در شرایط آزمایشی مشابه اما بدون تزریق گاز ازن، نیز به‌عنوان شاهد اجرا شد.

آزمون‌ها

تعیین میزان آلودگی قارچی: ابتدا ۵۰ گرم نمونه با ۴۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات استریل برای مدت ۲ دقیقه در شیکر مخلوط و با انتقال ۱ میلی‌لیتر از نمونه به ۹ میلی‌لیتر محلول استریل بافر فسفات رقت‌های ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ تهیه شد. پس از آن ۰/۱ میلی‌لیتر از هر رقت با استفاده از کشت سطحی[4] به محیط کشت PDA منتقل شد. برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها از تتراسایکلین استفاده شد. نمونه‌ها در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس برای مدت ۵ روز نگهداری شدند و در پایان این مدت درصد آلودگی دانه‌ها به صورت کلنی واحد در گرم (cfu/g) تعیین شد (Savi & Scussel, 2014).

تعیین میزان سم قارچی: برای تشخیص و تعیین میزان آفلاتوکسین نمونه‌ها، از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و خالص‌سازی با ستون ایمونوافینتی[5] استفاده و مقدار آن بر حسب میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شد (ICMSF, 1996).

تعیین میزان آلودگی به حشرات انباری: پس از ازن‌دهی و مدت زمان نگهداری در ازن تعداد حشرات زنده و مرده به‌طور جداگانه ثبت شد. برای تعیین آلودگی به حشرات انباری از الک، با سوراخ‌های ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر استفاده شد. حشرات موجود در تیمار شاهد نیز به طور هم‌زمان و در ظرف‌های مشابه بدون تزریق گاز ارزیابی شد (Kells *et al.*, 2011).

قدرت جوانه زنی: با استفاده از اتاقک‌های کشت در دمای معمولی اتاق (۲۲- ۲۵ درجه سلسیوس)

1- Potato dextrose Agar
2- Merck
3- Difko
4- Spread-plate
5- Immunoaffinity

قدرت جوانه‌زنی اندازه‌گیری شد. چهار عدد پتری‌دیش انتخاب و کف آنها تا ۲ سانتی‌متر ماسه شسته ریخته‌شد و بیست و پنج دانه جو روی کاغذ صافی ریخته و روی آنها با کاغذ صافی دیگر پوشیده شد. پس از گذشت یک هفته تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش شد (Kottapalli *et al.*, 2005).

تعیین تغییرات کیفی

شاخص اسیدی: چربی ۱۰ گرم نمونه آرد شده دانه جو با دستگاه سوکسله و حلال هگزان استخراج شد. پس از تبخیر کامل حلال، به چربی استخراج شده ۱۰ میلی‌لیتر الکل و ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم افزوده و در حضور فنل‌فتالئین تا حصول رنگ صورتی با محلول پتاس ۰/۱ نرمال تیتر شد و عدد اسیدی با توجه به میزان پتاس مصرفی بر حسب درصد بیان گردید (AOAC, 2005).

مقدار پروتئین: مقدار نیتروژن دانه با استفاده از دستگاه میکروکلدال تمام اتوماتیک اندازه‌گیری شد. با استفاده از میزان نیتروژن محاسبه شده و ضریب تبدیل میزان پروتئین نمونه‌ها محاسبه شد (AOAC, 2005).

مقدار کربوکسیل نشاسته: نشاسته بر اساس روش واینر و همکاران (Vanier, 2012) جداسازی شد. به این ترتیب که آرد حاصل با آب مقطر حاوی ۰/۱۶ درصد سولفیت هیدروژن سدیم مخلوط و پس از ۲۴ ساعت آبکشی و صاف شد. نشاسته به دست آمده از سانتریفیوژ در شرایط g ×۱۲۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه در آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خشک و برای اندازه‌گیری میزان کربوکسیل استفاده شد. مقدار کربوکسیل نشاسته جدا شده بر اساس روش چاتوپادهیای و همکاران (Chattopadhyay *et al.*, 1997) و تیتراسیون در مقابل سود ۰/۱ نرمال در مقابل شاهد اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار غلظت و زمان ازن‌دهی در سه تکرار بررسی شدند. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار SAS استفاده‌شد. میانگین اثرهای اصلی و متقابل از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد بررسی شد.

نتایج وبحث

اثر ازن بر کنترل رشد قارچ‌ها

جدول ۱، اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی را بر میزان آلودگی قارچی دانه جو نشان می‌دهد. تجزیه آماری نتایج نشان می‌دهد اثر عامل‌های زمان، غلظت ازن‌دهی و اثر متقابل آنها معنی‌دار است ($P< 0.05$). میزان رشد قارچ‌ها به طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد تا ۹۷/۴ درصد کاهش یافته‌است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش غلظت ازن از صفر تا ۷۵ پی‌پی‌ام اثر ازن بر کاهش رشد و گسترش قارچ‌ها افزایش یافته‌است. افزایش غلظت از ۲۵ تا ۷۵ پی‌پی‌ام نیز سبب کاهش معنی‌دار ($P< 0.05$) گسترش قارچ‌ها شده است.

جدول ۱- اثر فرایند ازن‌دهی بر تغییرات لگاریتمی جمعیت قارچ‌ها در دوره نگهداری (Log10واحد کلنی برگرم)

غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	زمان ازن دهی (روز)			
	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۳/۴۹±۲/۱^{f}			
۲۵	۳/۳۵±۲/۱^{e}	۳/۱۴±۲/۲^{d}	۲/۹±۱/۶^{c}	۲/۶۹±۱/۹^{c}
۵۰	۲/۲۵±۱/۶^{b}	۲/۰۷±۱/۴^{a}	۲/۰۴±۱/۳^{a}	۲±۱/۲^{a}
۷۵	۲/۰۵±۱/۱^{a}	۱/۹±۰/۹۴^{a}	۱/۹±۱/^{a}	۱/۹۰±۱/۱^{a}

*حروف غیرمشابه در جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین زمان‌های ازن‌دهی از ۱ تا ۷ روز نیز اختلاف معنی‌دار است اما بین زمان‌های ۵ و ۷ روز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج حاصل ازتحلیل آماری اثر متقابل غلظت و زمان ازن‌دهی نشان داد در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در تمامی زمان‌های ازن‌دهی اثر مهارکنندگی ازن بر رشد قارچ‌ها افزایش یافته است. در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام نیز با افزایش زمان ازن‌دهی گسترش قارچ‌ها کاهش یافته اما آزمون مقایسه میانگن‌ها نشان داد این کاهش از ۳ روز به بعد معنی‌دار نیست. در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام زمان تأثیر معنی‌داری نداشته است. همچنین نتایج حاکی از آن است در روز یکم ازن‌دهی افزایش غلظت ازن به طور معنی‌داری اثر کاهشی بر رشد قارچ‌ها داشته‌است، اما در روزهای سوم، پنجم و هفتم با افزایش غلظت ازن از ۲۵ به ۵۰ پی‌پی‌ام معنی‌دار است در حالی‌که در تمامی زمان‌های مذکور افزایش غلظت به ۷۵ پی‌پی‌ام معنی‌دار نیست.

به عبارت، دیگر تأثیر عامل غلظت ازن نسبت به زمان ازن دهی اهمیت بیشتری دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت استفاده از غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۳ روز شرایط مناسب به لحاظ رشد قارچ‌ها در دانه جو بوده‌است.

آلودگی قارچی در دانه‌های غلات یکی از مهمترین خسارت‌های کمی و کیفی در دوره نگهداری است. میکروارگانیسم‌ها در دانه‌های غلات از یک‌طرف سبب کاهش ارزش غذایی محصول و از طرف دیگر سبب تولید سم‌های قارچی می‌شوند که برای انسان و دام خطرناک است. مطالعات آزمایشگاهی دهه‌های اخیر نشان داده که گاز ازن به‌طور مؤثری به‌منظور کنترل رشد قارچ‌ها در مواد غذایی مانند گندم، برنج، انجیر و آجیل‌ها قابل استفاده‌است (Kottapalli, 2005; Savi & Scussel, 2014).

ازن در شکل گاز یا محلول به‌مقدار قابل توجهی میزان آلودگی‌های قارچی و باکتریایی شامل اسپورهای باسیلوس، کلی‌فرم‌ها، میکروکوکوس، فلاوباکتریوم، آلکالیژنس، سراتیا، آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم را در غلات و محصولات غله‌ای کاهش می‌دهد. میکروگراف‌های میکروسکوپ انتقال‌الکترونی اسپورهای باسیلوس تیمارشده با گاز ازن نشان داده‌است ازن به‌واسطه تخریب لایه بیرونی اسپور سبب نابودی آنها می‌شود (لایه‌های پوششی اسپور تقریباً ۵۰ درصد حجم اسپور را تشکیل می‌دهند بنابراین با تخریب لایه بیرونی اسپور، پوسته و هسته بدون حفاظ در معرض گاز ازن قرار می‌گیرند) (Naito &Takahara, 2006).

اثر ازن بر میزان سم‌قارچی آفلاتوکسین

نتایج اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی بر میزان آفلاتوکسین‌های دانه جو در جدول ۲ آمده‌است. تجزیه آماری نتایج به دست آمده نشان می‌دهد اثر عامل‌های زمان، غلظت ازن‌دهی و اثر متقابل آنها بر میزان آفلاتوکسین‌ها معنی‌دار ($P<0.05$) است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش غلظت ازن از صفر تا ۷۵ پی‌پی‌ام اثر کنترلی ازن بر کاهش و تولید آفلاتوکسین‌ها افزایش یافته‌است. افزایش غلظت از ۲۵ تا ۷۵ پی‌پی‌ام نیز سبب کاهش معنی‌دار آفلاتوکسین‌ها شده است اما از غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به بالا این کاهش معنی‌دار نیست. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد بین زمان‌های ازن‌دهی از ۱ تا ۷ روز نیز اختلاف معنی‌دار است، اما بین زمان‌های ۵ و ۷ روز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ($P<0.05$).

جدول ۲- اثر فرایند ازن‌دهی بر میزان آفلاتوکسین‌ها در دوره نگهداری (میکروگرم در کیلوگرم)

	زمان ازن دهی (روز)			
غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۱۸/۲۰±۰/۵۶^{e}			
۲۵	۸/۸۵±۰/۴۶^{d}	۴/۴۲±۰/۲۴^{c}	۳/۱±۰/۵۶^{b}	۲/۷۵±۰/۶۰^{b}
۵۰	۲/۰۴±۰/۳۶^{a}	ND	ND	ND
۷۵	ND	ND	ND	ND

*حروف غیرمشابه جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. ND: Non-detectable

نتایج حاصل ازتحلیل آماری اثر متقابل غلظت و زمان ازن‌دهی نشان می‌دهد در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ازن‌دهی اثر مهارکنندگی ازن بر تولید آفلاتوکسین‌ها افزایش یافته‌است. در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام نیز با افزایش زمان ازن‌دهی میزان آفلاتوکسین‌ها کاهش یافته‌است. آزمون مقایسه میانگن‌ها نشان می‌دهد اثر زمان‌های مختلف ازن‌دهی در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام معنی‌دار نیست. همچنین در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام زمان تأثیر معنی‌داری نداشته‌است به عبارت دیگر، میزان آفلاتوکسین‌ها در یک روز ازن‌دهی تا ۷ روز ازن‌دهی غیر قابل تعیین و از نظر آماری معنی‌دار نیست ($P<0.05$). همچنین، نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که بین غلظت ۵۰ و ۷۵ پی‌پی‌ام در تمامی زمان‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر، تأثیر عامل غلظت ازن نسبت به زمان ازن دهی اهمیت بیشتری دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت استفاده از غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۳ روز شرایط مناسب به لحاظ کنترل آفلاتوکسین‌ها در دانه جو بوده است. در این شرایط، میزان آفلاتوکسین‌ها قابل اندازه‌گیری نبوده‌است.

در حال‌حاضر بیش از ۳۰۰ نوع سم‌قارچی شناسایی شده که آفلاتوکسین‌ها بیشتری دارند. سم‌های قارچی، به‌ویژه آفلاتوکسین‌ها، به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه از قارچ‌ها ترشح می‌شوند. سموم قارچی سبب انواع سرطان‌ها، کاهش سیستم ایمنی بدن و اختلالات فیزیولوژیک در انسان و دام می‌شوند و سالانه خسارت زیادی به‌بار می‌آورند (Wu *et al.*, 2009).

کولن و همکاران (Cullen *et al.*, 2009) می‌گویند گاز ازن می‌تواند باعث تخریب کامل یا تغییرات شیمیایی در سم‌های قارچی شود و

فعالیت‌های بیولوژیکی آنها را از نظر تولید سم کاهش دهد. ازن اکسیدکننده‌ای قوی است که به صورت عرضی با باندهای دوگانه ۸-۹ حلقه فوران آفلاتوکسین‌ها اتصال برقرار می‌کند و به صورت الکتروفیلیک جذب فوران می‌شود و قادر است در مدت چند دقیقه آفلاتوکسین‌ها را به‌طور کامل تجزیه کند. مطالعات قبلی نشان داده‌است که ازن می‌تواند به‌طور مؤثر در سم‌زدایی قارچی، آفلاتوکسین‌ها و آکراتوکسین‌ها در غلاتی مانند ذرت و گندم به‌کار رود (Luo *et al.*, 2014; *Raila et al.*, 2006).

اثر ازن بر میزان حشرات انباری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نمونه شاهد (بدون تزریق گاز) در ابتدا و بعد از شش ماه نگهداری عاری از آلودگی به آفات انباری بود. در مورد تیمارهای آزمایش نیز نتایج به دست آمده حاکی از رشد نیافتن و نبود آفات انباری در ابتدا و انتهای مدت نگهداری شش ماهه بود. با اینکه مکانیسم عمل ازن در حشرات به طور کامل شناخته شده نیست، اما سیستم تنفسی حشرات یک هدف احتمالی است. ازن بسیار واکنش پذیر و عامل اکسید کننده قوی است. سیستم تنفسی مسیر اصلی ورود گازهای سمی به درون بدن حشره است و معمولاً دارای لوله‌های انشعابی زیادی است که در سراسر بدن حشره گسترش می‌یابند. حشرات به‌طور انحصاری برای به حداقل رساندن آسیب اکسیداتیو اکسیژن نفس می‌کشند. ازن سبب آسیب بافتی حتی در غلظت‌های پایین می‌شود (Lu *et al*, 2009).

اثر ازن بر میزان جوانه‌زنی دانه جو

نتایج بررسی اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی بر میزان جوانه‌زنی (قوه نامیه) دانه جو در جدول ۳ آمده‌است. تجزیه آماری نتایج نشان می‌دهد اثر عامل‌های زمان، غلظت ازن‌دهی و اثر متقابل آنها بر میزان قدرت جوانه‌زنی معنی‌دار است. قدرت جوانه‌زنی در دانۀجو به طور معنی‌داری از ۹۲/۴۲ درصد در نمونه شاهد تا ۶۳/۲۵ درصد کاهش داشته است ($P< 0.05$). با افزایش غلظت ازن از صفر تا ۷۵ پی‌پی‌ام، اثر قدرت جوانه‌زنی کاهش یافته‌است، اما آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد در استفاده از غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام قدرت جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری را نسبت به سایر غلظت‌ها داشته است. به‌عبارت دیگر، تا ۵ روز بیشینه غلظت ازن قابل استفاده در نگهداری بذری دانه ۵۰ پی‌پی‌ام است. نتایج حاصل از اثر متقابل غلظت و زمان ازن‌دهی نشان می‌دهد در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ازن‌دهی قدرت جوانه‌زنی دانه نسبت به شاهد تغییری نداشته‌است.

جدول ۳- اثر فرایند ازن‌دهی بر میزان جوانه زنی دانه جو (درصد)

غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	زمان ازن دهی (روز)			
	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۹۲/۴۲±۲/۲۰^{a}			
۲۵	۹۲/۴۵±۳/۱۶^{a}	۹۲/۳۴±۲/۴^{a}	۹۱/۷۹±۴/۲۱^{a}	۹۱/۳۴±۲/۷^{a}
۵۰	۹۲±۳/۵^{a}	۹۱/۷۵±۲/۵۶^{a}	۹۰/۶۲±۲/۳^{a}	۸۲±۳/۱۵^{b}
۷۵	۸۱/۱۰±۲/۰۵^{b}	۷۴±۳/۶۲^{c}	۶۸±۴/۰۵^{d}	۶۳/۲۴±۲/۶۵^{e}

*حروف غیرمشابه جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

آزمون مقایسه میانگن‌ها نشان می‌دهد اثر زمان‌های مختلف ازن‌دهی در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام نیز تا ۵ روز ازن‌دهی بر تغییرات قدرت جوانه‌زنی نسبت به شاهد معنی‌دار نیست. در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام، در تمامی زمان‌ها قدرت جوانه زنی دانه دارای تغییرات چشم‌گیری ($P< 0.05$)، نسبت به شاهد است. بیشترین کاهش قدرت جوانه زنی دانۀجو در شرایط غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام ۷ روز ازن‌دهی نسبت به شاهد حدود ۳۴ درصد کاهش قدرت جوانه‌زنی را سبب شده است. به‌عبارت دیگر، غلظت‌ها و زمان‌های بالا در ازن‌دهی می‌تواند سبب کاهش جوانه‌زنی گردد. از این‌رو می‌توان بیشینه غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام را به مدت ۳ روز یا استفاده از غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام را تا ۷ روز شرایط مناسب به‌لحاظ حفظ قدرت جوانه‌زنی پیشنهاد کرد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد غلظت‌های پایین در همه زمان‌ها تأثیر معنی‌داری بر قابلیت جوانه‌زنی در دانه جو ندارد. اما ازن‌دهی در غلظت‌های بالا تأثیر معنی‌داری بر قدرت جوانه‌زنی دارد.

قوۀنامیه نشان‌دهنده درجه زنده بودن بذر، فعالیت متابولیکی و دارا بودن آنزیم‌هایی است که توانایی لازم برای جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را فراهم می‌کنند (Mylona *et al.*, 2014). بنابراین، در ذخیره‌سازی دانه با هدف استفاده بذری حفظ قوۀنامیه اهمیت زیادی دارد. از این‌رو، فهم تأثیر ازن بر قابلیت جوانه‌زنی جو نیز مهم است تا گستره کاربرد ازن در هدف‌های بذری نیز مشخص شود. این نتایج را سانتوس و همکاران (Santos *et al.*, 2016) نیز در ارزیابی تأثیر ازن بر جوانه‌زنی دانه برنج گزارش کردند. یک نقطه بحرانی در قابلیت جوانه‌زنی دانه برنج دیده می‌شود که در غلظت‌های فراتر از آن کاهش در قابلیت جوانه زنی را نمی‌توان نادیده گرفت، که در واقع تاییدی بر نتایج این تحقیق نیز هست. علاوه بر این، آلن و همکاران (Allen, *et al.*, 2003) نشان دادند که تأثیر ازن بر قابلیت جوانه‌زنی دانه جو وابسته به غلظت و زمان تیمار ازن‌دهی است و می‌افزایند ظرفیت جوانه زنی فقط درغلظت‌ها و زمان‌های بالای ازن می‌تواند تا ۴۱ درصدکاهش یابد، که با نتایج این تحقیق هم‌سو است.

تأثیر ازن بر میزان تندی چربی دانه جو

جدول ۴ اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی را بر میزان اسیدیته چربی دانه جو نشان می‌دهد. تجزیه آماری نتایج نشان می‌دهد اثر عامل‌های زمان، غلظت ازن‌دهی و اثر متقابل آنها معنی‌دار است. میزان اسیدیته به‌طور معنی‌داری ($P< 0.05$)، از ۰/۰۹ تا ۰/۲۹ درصد افزایش یافته‌است.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد تزریق گاز ازن در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام به‌طور معنی‌داری سبب افزایش اسیدیته، نسبت به نمونه شاهد، شده است.

جدول ٤- اثر فرایند ازن‌دهی بر میزان اسیدیته دانه جو در دوره نگهداری (درصد)

غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	زمان ازن دهی (روز)			
	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۰/۰۹±۰/۰۳^{a}			
۲۵	۰/۰۹±۰/۰۲^{a}	۰/۰۹±۰/۰۳^{a}	۰/۰۹±۰/۰۳^{a}	۰/۱±۰/۰۴^{a}
۵۰	۰/۰۹±۰/۰۳^{a}	۰/۱۱±۰/۰۴^{a}	۰/۱۲±۰/۰۳^{a}	۰/۱۸±۰/۰۶^{b}
۷۵	۰/۱۸±۰/۰۵^{b}	۰/۲۰±۰/۰۴^{bc}	۰/۲۵±۰/۰۶^{c}	۰/۲۹±۰/۰۳^{d}

*حروف غیرمشابه جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

تحلیل آماری نتایج حاصل از اثر غلظت و زمان ازن‌دهی نشان می‌دهد در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ازن‌دهی اثر ازن بر افزایش اسیدیته معنی‌دار نیست. در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام نیز با افزایش زمان ازن‌دهی میزان اسیدیته تا ۵ روز تغییر چشم‌گیری نداشته و فقط در روز هفتم ازن‌دهی این تغییر به لحاظ آماری معنی‌دار شده است. در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام، در تمامی زمان‌های ازن‌دهی اثر ازن بر افزایش اسیدیته معنی‌دار ($P< 0.05$) است. به‌عبارت دیگر، تأثیر عامل غلظت ازن نسبت به زمان ازدهی اهمیت بیشتری دارد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت استفاده از غلظت ازن تا ۵۰ پی‌پی‌ام و زمان ازن‌دهی تا ۳ روز به لحاظ کنترل تند شدن چربی در دانه جو قابل اعمال است.

با توجه به وجود چربی در دانهٔجو، ارزیابی عملکرد گاز ازن بر میزان تندی اکسیداتیو روی این دانه‌ها دارای اهمیت است. اکسیداسیون چربی ممکن است در اثر اکسیدشدن چربی‌های غیر اشباع دانه بر اثر گاز ازن رخ دهد. گاز ازن می‌تواند با ترکیبات شیمیایی موجود در لایه بیرونی دانه واکنش نشان دهد و بسته به غلظت و مدت زمان قرار گرفتن در معرض ازن، سبب تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی در دانه گردد. علاوه بر این، متغیرهای دیگر مانند دما، رطوبت، خصوصیات دانه و همچنین وجود سایر مواد آلی و میکروارگانیسم‌های موجود در سطح دانه ممکن است بر خصوصیات کیفی دانه، از جمله تغییرات تندی چربی دانه نیز تأثیر بگذارد (وجود رطوبت همچنین نقش مهمی در واکنش ازن با دانه دارد زیرا ازن محلول در آب است و این باعث افزایش تماس بین گاز و دانه می‌شود) (Savi & Scussel, 2014).

مندز و همکاران (Mendez *et al.*, 2003) هیچ تغییر معنی‌داری در پروفایل اسیدهای چرب آزاد گندم و سویای متأثر از ازن مشاهده نکردندکه این موضوع می‌تواند ناشی از نفوذ نیافتن گاز ازن به داخل مغز دانه در غلظت‌های مناسب ازن باشد. پاوار و همکاران (Pawar *et al.*, 2015) نیز تغییر معنی‌داری در پروفایل اسیدهای چرب و پایداری اکسیداتیو آن‌ها گزارش نکردند. در ارزیابی تأثیر گاز ازن بر یک نوع آجیل برزیلی با میزان چربی بالا (۷۰-۶۰ درصد) گزارش دادند پس از کاربرد ۱۰ میلی‌مول در مول گاز ازن برای ۹۰ دقیقه، هیچ تغییری در اسیدیته و پایداری چربی‌ها مشاهده نشده‌است، که تاییدی بر مطالب گفته‌شده در بالا است.

تأثیر ازن بر میزان پروتئین دانه جو

نتایج اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی بر میزان پروتئین دانه جو در جدول ۵ آمده‌است. تجزیه آماری نتایج نشان می‌دهد فقط اثر عامل‌غلظت ازن‌دهی بر پروتئین معنی‌دار است و اثر عامل زمان ازن‌دهی و اثر متقابل زمان و غلظت بر پروتئین دانه جو معنی‌دار ($P< 0.05$) نیست.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد با افزایش غلظت ازن از صفر تا ۷۵ پی‌پی‌ام، گاز ازن تأثیر معنی‌داری بر تغییرات میزان پروتئین نداشته است. آزمون مقایسه میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد تغییرات میزان پروتئین تا غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام نسبت به نمونه شاهد معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از تحلیل آماری اثر متقابل غلظت و زمان ازن‌دهی حاکی از آن است که در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ازن‌دهی میزان پروتئین نسبت به میزان پروتئین شاهد تغییر معنی‌داری نداشته‌است. آزمون مقایسه

میانگین‌ها نشان می‌دهد اثر زمان‌های مختلف ازن‌دهی در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام نیز تا ۳ روز ازن‌دهی بر تغییرات میزان پروتئین نسبت به شاهد معنی‌دار نیست و فقط در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام در روزهای پنجم و هفتم ازن‌دهی میزان پروتئین نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار ($P< 0.05$) داشته‌است. نتایج گفته‌شده حاکی از آن است که شرایط مختلف ازن‌دهی تاثیری بر میزان کمی پروتئین نداشته است. تغییرات پروتئین ناشی از آن است که ازن در زمان‌ها و غلظت‌های بالا با اکسیداسیون گروه سولفیدریل (-SH) اسیدهای آمینه باعث تغییر در ساختار پروتئین‌ها و سبب کاهش ارزش غذایی و متابولیکی دانه‌های غلات می‌شود (Savi *et al*, 2014).

جدول ۵- اثر فرایند ازن‌دهی بر میزان پروتئین دانه جو در دوره نگهداری (درصد)

	زمان ازن دهی (روز)			
غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۱۲/۸۴±۰/۳۵^{a}			
۲۵	۱۲/۸۳±۰/۵۱^{a}	۱۲/۸۴±۰/۴^{a}	۱۲/۸۱±۰/۳۵^{a}	۱۲/۸۰±۰/۲۹^{a}
۵۰	۱۲/۸۲±۰/۳۶^{a}	۱۲/۸۰±۰/۵۶^{a}	12/۸۱±۰/۵۰^{a}	12/۷۷±۰/۴۵^{a}
۷۵	12/۷۹±۰/۳۵^{a}	۱۲/۵۰±۰/۶۲^{a}	۱۱/۸±۰/۲۱^{b}	۱۱/۶۸±۰/۲۲^{b}

*حروف غیرمشابه جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

لی و همکاران (Li *et al*., 2012) در بررسی کیفیت و ارزش بیولوژیکی پروتئین‌های گندم می‌گویند گاز ازن با میزان تزریق ۵ گرم در ساعت می‌تواند در پتانسیل تجمع پروتئین‌های با وزن مولکولی کم تغییراتی ایجاد کند. این پژوهشگران می‌افزایند این تغییرات کیفی پروتئین ناشی از عوامل اکسیدکننده ممکن است کیفیت آرد و محصولات فرآوری شده را کاهش دهد.

تأثیر ازن بر تغییرات نشاسته دانه جو

جدول ۶، اثر متقابل شرایط مختلف ازن‌دهی را بر میزان کربوکسیل دانه جو به‌عنوان شاخصی در جهت تغییرات اکسیداتیو نشاسته دانه جو را نشان می‌دهد. تجزیه آماری نتایج آزمایش‌هانشان می‌دهد اثر عامل‌غلظت ازن معنی‌دار است، اما اثر عامل زمان ازن‌دهی و اثرهای متقابل غلظت و زمان بر میزان کربوکسیل نشاسته جو معنی‌دار ($P < 0.05$) نیست.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد گاز ازن در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام، نسبت به نمونه شاهد، به‌طور معنی‌داری سبب تشکیل کربوکسیل شده است. به‌عبارت دیگر، تا غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام کربوکسیلی به‌عنوان محصول اکسیداسیون نشاسته در دانه جو حاصل نشد. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد اگرچه از روز نخست ازن‌دهی کربوکسیل تشکیل گردیده اما افزایش و تغییرات آن در زمان‌های مختلف نسبت به شاهد معنی‌دار نیست. نتایج آزمایش‌ها به‌خوبی نشان می‌دهد غلظت‌های بالا می‌تواند سبب تغییرات اکسیداتیو نشاسته در دانه جو شود.

تحلیل آماری نتایج حاصل از اثر متقابل غلظت و زمان ازن‌دهی نشان می‌دهد در غلظت ۲۵ پی‌پی‌ام گاز ازن در زمان‌های ازن‌دهی اثری بر میزان کربوکسیل نداشته و مقدار آن صفر است. در غلظت

۵۰ پی‌پی‌ام نیز با افزایش زمان ازن‌دهی و در تمامی زمان‌های ازن‌دهی کربوکسیلی تشکیل نشده و مقدار آن صفر است. در غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام تا ۳ روز تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نگردید و فقط در روزهای پنجم و هفتم افزایش میزان کربوکسیل معنی‌دار است. به عبارت دیگر تأثیر عامل غلظت‌های بالای ازن و زمان‌های ازن‌دهی بالا سبب تغییر اکسیداتیو نشاسته شده است.

جدول ٦- اثر فرایند ازن‌دهی بر میزان کربوکسیل دانهٔجو در دوره نگهداری (درصد)

غلظت ازن (پی‌پی‌ام)	زمان ازن دهی (روز)			
	۱	۳	۵	۷
۰ (شاهد)	۰			
۲۵	۰	۰	۰	۰
۵۰	۰	۰	۰	۰
۷۵	۰/۰۳۶±۰/۰۱۵[a]	۰/۰۳۹±۰/۰۱۴[a]	۰/۰۵۴±۰/۰۲۰[ab]	۰/۰۶۱±۰/۰۱۲[b]

*حروف غیرمشابه جدول نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

می‌توان نتیجه گرفت از ازن در غلظت ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام در تمامی زمان‌ها و حتی غلظت ۷۵ تا ۳ روز به لحاظ کنترل اکسیداسیون نشاسته و عدم تشکیل گروه‌های کربوکسیل در نشاسته دانه جو استفاده کرد. ازن می‌تواند با ترکیبات شیمیایی موجود در دانه (پوشش دانه) واکنش نشان دهد و بسته به غلظت و مدت زمان قرار گرفتن در معرض گاز ازن، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی درترکیبات و خصوصیات کیفی دانه شود. پس از قرار گرفتن در معرض ازن در طولانی مدت، گاز ممکن است به نشاسته دانه نفوذ کند و باعث اکسیداسیون آن شود. از آنجا که دانه جو دارای مقدار نسبتاً بالایی نشاسته است، اکسیداسیون این قسمت از دانه یک عارضه جانبی احتمالی استفاده از گاز ازن است که سبب کاهش کیفیت دانه می‌شود (Savi *et al*, 2014). طبق یافته‌های سانچز- ریورا و همکاران (Sánchez-Rivera *et al*., 2005) عوامل اکسیداسیون می‌توانند باعث تغییر نسبی در تبلور نشاسته به‌واسطه آسیب آمیلاز و زنجیره آمیلوپکتین در فرآیند اکسیداسیون شود. اما نتایج تحقیقات وانیر و همکاران (Vanier *et al*., 2012)، تغییر معنی‌داری را در تبلور نشاسته در شرایط مختلف ازن‌دهی نشان نداد. این محققان می‌گویند تغییرات کربوکسیل و کربونیل نیز چشم‌گیر نیست.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نشان داده شد که استفاده از گاز ازن می‌تواند یک تکنیک مناسب و کاربردی برای نگهداری جو باشد. گاز ازن ممکن است در غلظت‌های بالا سبب اکسیداسیون یا تجزیه ترکیبات شیمیایی موجود در دانه‌ها از قبیل اکسیداسیون نشاسته و لیپیدها، تغییر میزان پروتئین دانه، تغییر رنگ یا از بین رفتن قدرت جوانه زنی بذر شود. اما بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که گاز ازن در شرایط بهینه با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۳ روز می‌تواند با هدف نگهداری دانه جو به‌طور موثری در مهار و گسترش قارچ‌ها و سم‌های قارچی به‌کار رود. در این غلظت هیچ تغییر معنی‌داری در خصوصیات فیزیکو شیمیایی و کیفی دانه جو نیز حاصل نمی‌شود.

قدردانی

این پژوهش با همکاری و مساعدت‌های مالی دانشگاه علوم پزشکی استان گلستان واحد مرکز تحقیقات سلامت غلات و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان اجرا شده که نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خود را اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Allen, B., Wu, J. N., and Doan, H. 2003. Inactivation of fungi associated with barley grain by gaseous ozone. Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. 38 (5): 617–630.

Anon. 2005. AOAC. Official methods of analysis. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA. USA.

Anon. 1996. ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). Microorganisms in Foods. London: Blackie Academic and Professional, pp: 347-381.

Chattopadhyay, S., Singhal, R. S. and Kulkarni, P. R. 1997. Optimization of conditions of synthesis of oxidized starch from corn and amaranth for use in film-forming applications. Carbohydrate. Polymers. 34(4): 203-212.

Cullen, P. J., Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P. and Muthukumarappan, K. 2009. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. Trends Food Science and Technology. 20 (3): 125-136.

Dodd, J. G., Vegi, A., Vashisht, A., Tobias, D., Schwarz, P. and Wolf-Hall, C. E. 2011. Effect of ozone treatment on the safety and quality of malting barley. Journal Food Protection. 74 (12): 2134-41.

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.

Kottapalli, B., Wolf-Hall, C. E. and Schwarz, P. 2005. Evaluation of gaseous ozone and hydrogen peroxide treatments for reducing Fusarium survival in malting barley. Journal of Food Protection. 68 (6): 1236–1240.

Li, M., Zhu, K. X., Wang, B.-W., Guo, X. N., Peng, W. and Zhou, H. M. 2012. Evaluation the quality characteristics of wheat flour and shelf-life of fresh noodles as affected by ozone treatment. Food Chemistry. 135(4): 2163-2169.

Lu, B., Ren, Y., Du, Y.-z., Fu, Y. and Gu, J., 2009. Effect of ozone on respiration of adult *Sitophilus oryzae* (L.), *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica*. Journal of Insect Physiology. 55 (10): 885–889.

Luo X, Wang R, Wang L, Li Y, Bian Y. and Chen Z. 2014. Effect of ozone treatment on aflatoxin B1 and safety evaluation of ozonized corn. Food Control. 37: 171-176.

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.

Mylona, K., Kogkaki, E., Sulyok, M. and Magan, N. 2014. Efficacy of gaseous ozone treatment on spore ermination, growth and fumonisin production by Fusarium verticillioides in vitro and in situ in maize. Journal of Stored Products Research. 59, 178-184.

Naito, S. and Takahara, H., 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. Ozone- Science & Engineering, 28 (6): 425–429.

Pawar S. G., Pardeshi I. L., Bajad V. V., Surpam T. B. and Rokde H. N. 2015.Ozone: A New Controlled Strategy for Stored Grain Structures. Journal of Grain Processing and Storage. 2(1): 1-10.

Pereira, A. D. M., Faroni, L. R. D. A., De Sousa, A. H., Urruchi, W.I. and Paes, J. L. 2008. Influence of the grain temperature on the ozone toxicity to Tribolium castaneum. Revista Brasileira de Engenharia Agrı´cola e Ambiental. 12 (5): 493–497.

Raila A, Lugauskas A, Steponavicˇ ius D, Railiene M, Steponavicˇ iene A, and Sánchez-Rivera, M. M., García-Suárez, F. J. L., Velázquez del Valle, M., Gutierrez- Meraz, F. and Bello-Pérez, L. A. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. Carbohydrate. Polymers 62 (1): 50- 56.

Sánchez-Rivera, M. M., García-Suárez, F. J. L., Velázquez del Valle, M., Gutierrez- Meraz, F. and Bello-Pérez, L. A. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. Carbohydrate. Polymers. 62(1): 50- 56.

Santos, R. R., Faroni, L. R. D., ferreira, A. P. S. and Pereira, O. L. 2016. Ozone as fungicide in rice grains. Revista Brasileira Agricola Ambiental 20 (3): 230-235.

Savi, G.D., and Scussel, V. M. 2014. Effects of ozone gas exposure on toxigenic fungi species from Fusarium, Aspergillus and Penicillium genera. Ozone Science & Engineering, 3 (2), pp. 312-319.

Savi, G. D., Piacentini, K. C., Bittencourt, K. O. and Scussel, V. S. 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(1): 245-253.

Shamshirsaz, M. and Farahmand, R. 2014. Effect of ozone gas on wheat storage. Review article at the Second National Conference on Optimization-Production of Production, Distribution and Consumption Chains in the Food Industry. Tehran, Iran, pp. 7-12. (In Persian).

Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J. and O'Donnell, C. P. 2010. Application of ozone in grain processing. Journal Cereal Science. 51(3): 248-255.

Vanier, N. L., Zavareze, E. R., Pinto, V. Z., Klein, B., Botelho, F. T., Dias, A. R. G. and Elias, M. C. 2012. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. Food Chemistry. 131(4): 1255-1262.

Vidal, Ae Sanchis, V., Ramos, R. J. and Marı´n, S. 2016. The fate of deoxynivalenol through wheat processing to food products. Food Science. 11(2): 34–39.

Vikash Chandra, V. 2018. Applications and Investigations of Ozone in Cereal Grain Storage and Processing: Benefits and Potential Drawbacks. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Special Issue.7, 5034-5041.

Wang. L., Luo, Y., Wang, R. and Li, Y. 2016. Effect of deoxynivalenol detoxification by ozone treatment in wheat grains. Food Control. 66, 137-144.

Wu, Q., Jezkova, A., Yuan, Z., Pavlikova, L., Dohnal, V. and Kuca, K. 2009. Biological degradation of aflatoxins. Drug Metabolism Reviews. 41 (1): 1–7.

Food Engineering Research/Vol.20/No.70/Spring & Summer 2020/P: 109-122

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Evaluation of the Effect of Ozone Gas on Quality Characteristics and Storage Life of Barley Grain

J. Mohammadzadeh*, J. Zanganeh and A. R. Ghodsevali

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: jmohamadzadeh@yahoo.com
Received: 10 June, 2020, Accepted: 25 December, 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2020.343263.1272

Abstract

Barley were ranked fourth among the cereals, and due to their beneficial and nutritious properties their consumption is increasing in most countries of the world. In order to replace the new and risk-free methods to extend the shelf life of cereals (instead of chemical pesticides), the use of ozone gas. in this study the effect of ozone gas with two variables of ozone concentration (25, 50 and 75 ppm) on ozonation time (1, 3, 5 and 7 days) in barley (Reyhaneh cultivar) compared to the control sample by determining storage characteristics of barley in terms of control of fungal, insects growth, germination power and changes in grains quality characteristics. The results showed that increased ozone concentration and ozonation time increased control of fungal growth, spread of fungal toxins (aflatoxins) and increased effect of ozone on storage pests grains. The mean comparison test showed that this increase was not significant at concentrations greater than 50 ppm and 3 days ozonation time in both grains ($P<0.05$). Also, the use of 75 ppm ozone at 1, 3, 5 and 7 days caused significant oxidative changes compared to the control in fat (acidity and peroxide) and starch (carboxyl index) barley. The different ozonation conditions up to 50 ppm concentration and all time had no significant effect on protein content in barley compared to control ($P<0.05$). The results of seed germination evaluation showed no significant decrease in seed germination at 50 ppm concentration up to 5 days of ozonation compared to control and ozonation at 75 ppm and at 7 days compared to the control sample reduced germination to 31.5%. Therefore, based on the results, it was suggested to use ozone concentration of 50 ppm for 3 days of ozonation for storage of barley grains.

Key words: Barley, Ozonation, Quality properties, Shelf life