نامه انجمن حشره‌شناسی ایران
۱۳۹۳ – ۳۴(۴): ۲۹-۳۶

تأثیر گـاز ازن روی شپشــه بـرنج، *Sitophilus oryzae* (Col.: Curculionidae)، و شپشــه دندانــه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis* (Col.: Silvanidae)، در انبارهای خرما، گندم و برنج

رضا صادقی

گروه حشره‌شناسی و بیمای‌های گیاهی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

پست الکترونیکی: rsadeghi@ut.ac.ir

Effects of ozone on *Sitophilus oryzae* (Col.: Curculionidae) and *Oryzaephilus surinamensis* (Col.: Silvanidae) in date, wheat and rice storehouses

R. Sadeghi

Department of Entomology and Plant Pathology, College of Aboureihan, University of Tehran, Iran.

E-mail: rsadeghi@ut.ac.ir

چکیده

به دلیل اهمیت اقتصادی آفات انباری و مقاوم‌شدن آفات نسبت به فسفین و متیل‌بروماید، جایگزین‌کردن ترکیبات مناسب دیگر در امر کنترل ضروری می‌باشد. بدین منظور اثر کشندگی گاز ازن در کنترل دو گونه آفات مهم انباری، شپشه برنج، *Sitophilus oryzae* L.، و شپشه دندانه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis* (L.)، مورد بررسی قرار گرفت. حشرات کامل به‌طـور جداگانـه در انبارهـای حاوی سه نوع مواد غذایی (خرما، گندم و برنج) و در اعماق ۳۰، ٤٠، ٤٥ و ۱۰۰ سانتی‌متری تحت تأثیر گاز ازن قرار گرفتند و تلفات بعد از ٢٤ ساعت شمارش شد. نتایج نشان داد گاز ازن در توده خرما تلفات کمتری را روی حشرات مورد آزمایش نسبت به گنـدم و برنج ایجاد کرد. تلفات به‌وجودآمده توسط گاز ازن در عمق‌های مختلف، مرگ‌ومیر متفاوتی ایجاد کرد اما میزان مرگ‌ومیر ایجادشـده برای هر دو آفت در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری محصولات غذایی معنی‌دار بود. مقدار مجذور امگا (ω^2) مربوط به عمق محصـول (۰/۰۵) بیشتر از مقدار ω^2 نوع محصول (۰/۰۰٤) بود، بنابراین در ایجاد تلفات توسط ازن در حشرات مورد آزمایش نقش عمق محصول بیشتر از نقش نوع محصول بوده است. آزمون‌های کشندگی نسبی نیز مؤید این مطلب بود که در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری مقدار LC_{50} ازن برای *S. oryzae* و *O. surinamensis* در خرما بیشتر از گندم و برنج است.

واژگان کلیدی: آفات انباری، ازن، سمیت

Abstract

The economical loss from stored product pests and their resistance to phosphine and methyl bromide, necessitate replacing these chemicals with other compounds. The toxicity of ozone was evaluated on two important stored product insects, *Sitophilus oryzae* L. and *Oryzaephilus surinamensis* (L.). The insects were exposed to ozone in separate date, wheat and rice storehouses at the depths of 30, 40, 45 and 100 cm. The mortality was determined after 24 h of exposure. The results demonstrated a lower mortality caused by ozone in date compared to wheat and rice on *S. oryzae* and *O. surinamensis*. Treatments with ozone under different depths led to different levels of mortalities, but at 100 cm, mortality for both species were significant. Calculated omega square (ω^2) values showed that this criterion (ω^2) for the depth of the foodstuff (0.05) is more than the corresponding value (0.004). Therefore, depth of the foodstuff was more effective than the type of foodstuff on the pests' mortalities. The relative median potency tests revealed higher LC_{50} values of ozone for *S. oryzae* and *O. surinamensis* in date comparing to the LC_{50}values for wheat and rice at a depth of 100 cm.

Keywords: stored-product pests, ozone, toxicity

مقدمه

شپشــه بــرنج، *Sitophilus oryzae* L.، و شپشــه دندانــه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis* (L.)، از جملـه آفات جهانی مـی‌باشـند کـه در انبارهـای مـواد غـذایی خسارات کمـی و کیفـی زیـادی را بـه بـار مـی‌آورنـد (Harein & Meronuch, 1995) و کنترل آن‌ها در انبـار یـا روی محصولات غذایی اجتناب‌ناپذیر است. اسـتفاده از ترکیبـات تـدخینی یکـی از سـریع‌تـرین و مفیـدترین روش‌هـای کنتـرل آفـات انبـاری مـی‌باشـد. یـک تدخین‌شونده خوب بایـد ضـمن سـازگاری بـا محـیط زیست و دارا بودن حداقل اثرات سوء جانبی، متضـمن کنترل مطلوب آفات نیز باشد. درخصوص کـاربرد ایـن مواد علیه آفات انباری، هیچ تدخین‌شـونده بـی‌ضـرر و کم‌خطری برای انسـان و محـیط زیسـت وجـود نـدارد

دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۴.

(Navarro, 2006) و هریک از ترکیبات تدخینی دارای کاستی‌هایی هستند که سبب محدود شدن مصرف آن‌ها می‌شود. بنابراین، امروزه تنها تعداد معدودی از این ترکیبات باقی مانده‌اند و جایگزین‌های جدید باید بر پایه تکنولوژی‌هایی قرار گیرند که شامل استفاده از روش‌های ساده و مؤثر باشند (Navarro, 2006). در بین تدخین‌شونده‌های رایج و مؤثر علیه آفات انباری، متیل‌بروماید و فسفید آلومینیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند ولی هریک از این ترکیبات نیز دارای معایبی هستند. به‌عنوان مثال، متیل‌بروماید سبب ازبین رفتن لایه ازن می‌شود و برای انسان و سایر جانوران خونگرم بسیار سمی و کشنده است (Cassanova, 2002) و فسفید آلومینیم نیز به سبب بروز مقاومت گسترده طیف وسیعی از حشرات در عرصه جهانی، طولانی بودن طول دوره فومیگاسیون و نیز به علت تأثیر مخرب روی عوامل اجرایی فومیگاسیون و ایجاد ناهنجاری‌های ژنتیکی (Rajendran & Muralidharan, 2005) در آن‌ها از نظر کاربرد انتقاداتی را به دنبال دارد و متخصصین به‌طور جدی در پی یافتن جانشین‌های مناسب‌تری برای این دو ترکیب تدخینی می‌باشند. ازاین‌رو، رویکرد جدید در کنترل آفات انباری در سطح جهانی، عدم استفاده از آفت‌کش‌های متداول و استفاده از روش‌هایی است که ضمن نداشتن اثرات سوء جانبی، با محیط زیست نیز سازگار باشند (Mason & Strait, 1998). در این راستا، در سال‌های اخیر تحقیق و تلاش جهان‌شمول برای یافتن و معرفی جانشین‌های مطلوب‌تر به‌شدت تداوم یافته است. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که تا تحقق اهداف نهایی، راه طولانی در پیش روی محققان قرار دارد؛ لذا استفاده از گاز ازن برای مبارزه با آفات انباری، از نظر اجرایی و در تعامل با عوامل متعدد زیست‌محیطی و اقتصادی مورد توجه قرار گرفت (Cassanova, 2002; Mendez *et al*., 2003; Rajendran & Muralidharan, 2005)، زیرا به نظر رسید که می‌توان با به‌کارگیری این گاز به اهداف مبارزه مطلوب در شرایط عملی دست یافت و با امکانات موجود و بدون نیاز به تکنولوژی‌های پرهزینه، با حشرات آفات انباری مبارزه اقتصادی نمود. ازن در دمای معمولی انبار، به رنگ آبی است اما در سایر حالات فیزیکی رنگ قابل تشخیصی ندارد. این گاز توسط بارهای الکتریکی در هوا تولید می‌شود و گازی ناپایدار با نیمه‌عمر ۲۰ دقیقه است. گاز ازن در پزشکی به‌عنوان ماده‌ای برای ضدعفونی علیه میکروارگانیسم‌ها و ویروس‌ها استفاده می‌شود. از موارد دیگر کاربرد این گاز، از بین بردن رنگ، بو و مزه آلاینده‌های موجود در صنعت است (Kim *et al*., 1999). استفاده از ازن در انبارهای فرآورده‌های کشاورزی و مواد غذایی از رشد اسپورهای قارچی که عامل تولید مایکوتوکسین می‌باشند، ممانعت می‌کند. این مایکوتوکسین‌ها پس از ورود به دستگاه گوارش انسان ایجاد مسمومیت می‌نماید. ازن علاوه‌بر کنترل قارچ‌های موجود روی محصولات انباری، باعث کنترل آفات انباری نیز می‌شود، بدون آنکه باقی‌مانده‌ای روی مواد انباری داشته باشد و یا کیفیت مواد انباری را تغییر دهد (Mendez *et al*., 2003). از نظر مقدار استفاده از گاز ازن و نیز زمان تأثیر آن روی گونه‌های مختلف حشرات تفاوت‌هایی وجود دارد (Isikber & Oztekin, 2009). به‌عنوان مثال، لاروهای شب‌پره هندی که در عمق ٦٠ سانتی‌متری محصول در انبارهای ذرت قرار داده شده بودند، مدت سه روز در معرض غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام از ازن قرار گرفتند که تلفات ۱۰۰ درصد تیمارها را به‌همراه داشت (Kells *et al*., 2001; Maier *et al*., 2006). همچنین، این گاز در مدت پنج ساعت، تمام مراحل چرخه زندگی *Cadra cautella* (Walker) را به‌طور ۱۰۰ درصد از بین برد (Isikber & Oztekin, 2009). برای استفاده بهینه از ازن در انبارها، سرعت جریان هوا در

داخل انبار باید حداقل ۰/۰۳ متر در ثانیه باشد تا ازن بتواند به عمق محصولات انباری نفوذ نماید (Mendez *et al*., 2003).

مبارزه با آفات انباری، با حفظ کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، از دغدغه‌های اصلی تولیدکنندگان، صادرکنندگان و مصرف‌کنندگان این محصولات در سراسر جهان می‌باشد. لذا تحقیق حاضر در راستای ارتقاء سطح کیفی و کمی فومیگاسیون و ارایه راهکاری مناسب برای کنترل شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار، با در نظر گرفتن امکانات موجود، انجام شد.

مواد و روش‌ها

در انجام آزمایش‌ها از دستگاه ازن‌ساز BEW، مدل E-72 استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها در شرایط نزدیک به شرایط انبار و کسب نتایج مطلوب‌تر، انباری در ابعاد ۲/۹۰ × ۲/۷۹ × ٤/۷۰ متر (با حجم ۳۸ مترمکعب) که دیوارهای داخلی آن با کاشی‌های ۲۰ × ۲۰ و کف آن با موزائیک ٤۰ × ٤۰ پوشش داده شده و تمام منافذ ورود و خروج هوا مسدود شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. اطراف درِ انبار با درزگیرهای اسفنجی فشرده مسدود شد. روی درِ فلزی انبار نیز شیر قابل کنترل جهت تزریق گاز ازن و در کنار آن فشارسنجی جهت کنترل فشار هوای داخل انبار نصب شد تا از میزان فشار هوا در انبار اطلاع حاصل شود. پنکه‌ای نیز داخل انبار تعبیه شد تا هوای داخل انبار همیشه در حال گردش و جریان باشد. برای اطلاع از دما و رطوبت نسبی داخل انبار به‌ترتیب از دماسنج با قابلیت اندازه‌گیری دمای حداکثر و حداقل، و از رطوبت‌سنج مدل TASH ساخت کارخانه TFA آلمان استفاده شد. برای اندازه‌گیری درصد تلفات حاصل از کاربرد گاز ازن در اعماق متفاوت محصولات مختلف، لوله‌های پی. وی. سی (PVC) به قطر دهانه ۷/٦۲ سانتی‌متر و طول‌های ۳۰، ٤۰، ٤٥ و ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. چون هدف، نفوذ گاز در اعماق مختلف محصول بود، لذا اطراف محل تماس لوله‌های مزبور با سطح زمین توسط اسفنج‌های مناسبی مسدود شد تا گاز فقط از دهانه بالایی لوله‌ها نفوذ کند.

در انجام آزمایش‌ها، از حشرات کامل *S. oryzae* و *O. surinamensis*، همراه با سه نوع ماده غذایی، گندم (رقم زرین با رطوبت نسبی ۱۱ درصد)، برنج (رقم ندا با رطوبت نسبی ۱۲ درصد) و رطب (رقم مضافتی با رطوبت نسبی ۲۸ درصد) که به‌ترتیب از مراکز تحقیقاتی آذربایجان غربی، مازندران و جیرفت تهیه شده بودند، استفاده شد.حشرات مورد آزمایش نیز از انبار برنج در گرگان جمع‌آوری شدند. انجام آزمایش‌ها احتیاج به پرورش حشرات به تعداد زیاد داشت، لذا قبل از شروع آزمایش‌های اصلی پرورش انبوه حشرات انجام شد. برای پرورش شپشه برنج از دانه‌های سالم گندم (Padin *et al*., 2002) و برای پرورش شپشه دندانه‌دار از آرد گندم به‌علاوه ۵ درصد مخمر آبجو (Tunçbilek, 1997) استفاده شد.

برای انجام آزمایش، تعداد ۲۰ عدد حشره کامل یک‌روزه (بدون جدا کردن جنس‌ها) از هر گونه به‌طور جداگانه در داخل تشتک‌های پتری (با قطر داخلی ۸/۸ سانتی‌متر) که حاوی سه گرم برنج برای هر حشره بود، قرار گرفتند. سپس درِ توری تشتک‌های پتری بسته شد. این تشتک‌های پتری در ته لوله‌های پی. وی. سی که در اندازه‌های مورد نظر تهیه شده و هرکدام از آن‌ها به‌طور جداگانه با خرما، گندم و برنج پر شده بودند، گذاشته شدند. سپس درِ انبار بسته و دور آن با استفاده از نوار چسب پوشیده شد. گاز ازن به میزان ۵۰ درصد حجم انبار توسط دستگاه ازن‌ساز به داخل انبار تزریق و درپوش ورودی کاملاً بسته و سفت شد. ۲٤ ساعت بعد، با باز کردن درِ انبار و خارج شدن گاز، حشرات از

داخل لوله‌ها خارج شدند و برای ۲٤ ساعت در داخل انکوباتور با دما و رطوبت مشابه انبار (دمای ۲۷ ± ۲ ºC و رطوبت نسبی ۵۵ ± ۵ درصد) نگه‌داری شدند تا اگر حشره‌ای بیهوش بود به حالت اولیه خود برگردد. سپس، شمارش حشرات مرده صورت گرفت. حشرات شاهد نیز به‌طور هم‌زمان در انباری مشابه با انباری که آزمایش‌ها در آن انجام گرفت، نگه‌داری شدند، با این تفاوت که گاز ازن به انبار حاوی حشرات شاهد تزریق نشد. این آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت.

محاسبه مقدار گاز ازن برای حجم ۵۰ درصدی انبار

حجم انبار مورد استفاده در این آزمایش‌ها ۳۸ متر مکعب بود. چگالی ازن برابر با ۲/۱٤٤ گرم بر لیتر است که برای پر کردن حجم انبار با نسبت ۵۰ درصد گاز ازن، رابطه حجم / جرم = چگالی مورد استفاده قرار گرفت و برابر با ٤۱ کیلوگرم محاسبه شد. با توجه به اینکه جرم مولکولی آب برابر با ۱۸ و جرم مولکولی ازن برابر با ٤۸ است، لذا ٤۱ کیلوگرم ازن برابر با ۸۵٤/۱٦ مول ازن می‌باشد. با در نظر گرفتن رابطه $O_2 + H_2O \quad O_3 + H_2$ (رابطه استوکیومتری یک به یک)، چون نسبت تمام واکنش‌دهنده‌ها و محصولات یک به یک است، مدل هر کدام برابر مدل دیگری خواهد بود. ازآنجایی‌که مدل O_3 با مدل H_2O برابر بود، از این طریق میزان آب مورد نیاز برای تولید گاز ازن محاسبه شد؛ یعنی برای تولید ٤۱۰۰۰ گرم گاز ازن، مقدار ۱۵/۳۷۵ لیتر آب توسط دستگاه ازن‌ساز مصرف شد که برابر با مقدار ازن مورد نیاز برای پر کردن پنجاه درصد حجم انبار بود.

محاسبه مجذور امگا

برای تشخیص اهمیت عمق محصول و نوع محصول در ایجاد تلفات در حشرات مورد آزمایش، مجذور امگا که از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد، مورد استفاده قرار گرفت:

اشتباه MS + SS کل / (اشتباه MS × df عمق محصول) − SS عمق محصول = ω^2 عمق محصول

اشتباه MS + SS کل / (اشتباه MS × df نوع محصول) − SS نوع محصول = ω^2 نوع محصول

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در تحقیق حاضر از طرح پایه کرت‌های کاملاً تصادفی و در آزمایشات فاکتوریل نیز از همین طرح و توان دوم امگا (ω^2) استفاده شد. قبل از تجزیه آماری، در صورت لزوم، تغییر شکل داده‌ها جهت یکنواختی واریانس‌ها با رابطه $\text{Arcsin}\ \sqrt{x}$ صورت گرفت (Snedecor & Cochran, 1989). برای تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین تیمارها با روش توکی، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

آزمون کشندگی نسبی

براساس آزمایشات مقدماتی، غلظت‌های اصلی برای تعیین LC_{50} گاز ازن روی شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار مشخص شد. برای تعیین تلفات ناشی از مقادیر LC_{50} گاز ازن روی *S. oryzae* و *O. surinamensis* در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خرما، گندم و برنج، و دانستن معنی‌دار بودن و یا نبودن آن، از آزمون کشندگی نسبی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر LC_{50} گاز ازن برای شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری

بیشترین مقادیر LC_{50} حاصل از آزمایش اثر ازن روی حشرات کامل *S. oryzae* و *O. surinamensis* در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در خرما و به‌ترتیب برابر با

۱/۲۳۵ و ۱/۲۲۹ میلی‌لیتر گاز ازن در یک لیتر هوا بود (جدول ۱). بنابراین، تلفات دو گونه آفات انباری مورد آزمایش در خرما نسبت به گندم و برنج کمتر است؛ به بیان دیگر، برای دست‌یابی به تلفات ۵۰ درصد در خرما باید گاز ازن بیشتری مصرف شود.

اثر عمق بر تأثیر گاز ازن روی حشرات کامل شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار

با استفاده از غلظت ۱۸۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر هوا از گاز ازن در مورد عمق محصول برای مرگ‌ومیر شپشه برنج معلوم شد که هر چهار عمق با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند (F = ۱۷۰/٦٥٥؛ df = ۳, ۲٤؛ P = ۰/۰۰۱). نتیجه مشابهی نیز برای شپشه دندانه‌دار به‌دست آمد (F = ۳۱۳/٦۲٦؛ df = ۳, ۲٤؛ P = ۰/۰۰۱)، یعنی بیشترین تلفات (٦۳/۷۷ درصد) در عمق کمتر (۳۰ سانتی‌متر) مشاهده شد و با افزایش عمق محصول، نفوذ گاز کمتر می‌شد.

اثر نوع محصول بر تأثیر گاز ازن روی حشرات کامل شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار

می‌توان گفت که بین گندم، برنج و خرما در میزان عبور گاز ازن تفاوت وجود دارد، چراکه در تلفات ایجادشده توسط این گاز نیز در حشرات کامل شپشه برنج تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده شد (F = ۳۲/۲۵۷؛ df = ۲, ۲٤؛ P = ۰/۰۰۱). میزان تلفات در شپشه دندانه‌دار در مواد غذایی مختلف، به‌واسطه اثر آن‌ها در عبور گاز ازن (غلظت ۱۸۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر هوا)، دارای اختلاف معنی‌دار بود (F = ٤۱/۹٥٥؛ df = ۲, ۲٤؛ P = ۰/۰۰۱). بین عمق محصول و نوع محصول برای هر دو گونه اثر معنی‌داری (با اطمینان ۹٥ درصد) مشاهده شد (شپشه برنج: F = ۳/۱۱۱؛ df = ٦, ۲٤؛ P = ۰/۰۲۳ و شپشه دندانه‌دار: F = ۲/۸۰۹؛ df = ٦, ۲٤؛ P = ۰/۰۳٤).

اهمیت نقش عمق (۳۰، ٤۰، ٤٥ و ۱۰۰ سانتی‌متر) و نوع محصول (خرما، گندم و برنج) در ایجاد تلفات، با محاسبه مجذور امگا (ω^2) مشخص شد. مقادیر ω^2 عمق محصول و نوع محصول برای شپشه برنج به‌ترتیب برابر با ۰/۳۷٦ و ۰/۰۰٤، و برای شپشه دندانه‌دار برابر با ۰/۰٥ و ۰/۰۰٤ بود. نتایج فوق نشان می‌دهد که مقدار ω^2 مربوط به عمق محصول برای هر دو آفت مورد مطالعه بیشتر از مقادیر ω^2 نوع محصول است؛ بنابراین نقش عمق محصول در ایجاد تلفات توسط ازن در شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار بیشتر از نقش نوع محصول می‌باشد.

تلفات شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار در اعماق مختلف مواد غذایی

گاز ازن (غلظت ۱۸۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر هوا) توانست در اعماق مختلف محصول غذایی نفوذ کند و میزان تلفات ایجادشده برای هر دو گونه در اعماق بالا نیز قابل توجه بود. در مورد عمق محصول معلوم شد که هر چهار عمق با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند؛ یعنی بیشترین تلفات در عمق کمتر مشاهده می‌شود و هر اندازه که عمق محصول بیشتر باشد، تلفات کمتر خواهد بود (جدول ۲).

اثر کشندگی نسبی گاز ازن

آزمون کشندگی نسبی نشان داد که مقادیر LC_{50} ازن برای شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در خرما بیشتر از گندم و برنج بوده است (جدول‌های ۳ و ٤).

گاز ازن با نفوذ خود در محصولات مورد آزمایش سبب کشندگی می‌شود، لذا می‌توان از این گاز برای کنترل آفات انباری استفاده کرد. تحقیقات زیادی در مورد کاربرد گاز ازن برای کنترل آفت انباری انجام شده

جدول ۱- مقادیر LC_{50} گاز ازن در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری.

Table 1. LC_{50} values of ozone at a depth of 100 cm.

Insects	*Sitophilus oryzae*			*Oryzaephilus surinamensis*		
Foodstuffs	**LC_{50} (ml/l)**	**Lower bound**	**Upper bound**	**LC_{50} (ml/l)**	**Lower bound**	**Upper bound**
Date	1.235	0.777	2.162	1.229	0.820	1.993
Wheat	0.809	0.463	1.287	0.813	0.502	1.221
Rice	0.860	0.509	1.361	0.932	0.597	1.415

جدول ۲- درصد مرگ‌ومیر شپشه برنج، *Sitophilus oryzae*، و شپشه دندانه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis*، در اعماق مختلف در غلظت ۱۸۰۰ میلی‌لیتر بر لیتر هوا گاز ازن در میانگین کل سه محصول.

Table 2. The percent mortality of *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis* in the different depths at 1800 ml/l air of ozone in overall mean of three products.

Insects	Depth (cm)	% mortality ± SE
S. oryzae	100	36.23 ± 4.52d
	45	54.47 ± 5.90c
	40	58.67 ± 5.82b
	30	64.73 ± 6.11a
O. surinamensis	100	33.65 ± 5.53d
	45	39.92 ± 5.11c
	40	50.93 ± 5.23b
	30	63.77 ± 6.12a

Means followed by the same letters in column for each insect are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).

جدول ۳- آزمون‌های کشندگی نسبی گاز ازن در محصولات غذایی مختلف برای شپشه برنج، *Sitophilus oryzae*، در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری.

Table 3. Relative median potency tests of ozone for *Sitophilus oryzae* in different nutritious products at the depth of 100 cm.

			95% Confidence interval	
Foodstuff	**Foodstuff**	**LC_{50} (ml/l)**	**Lower bound**	**Upper bound**
Date	Wheat	1.53	0.810	2.110
	Rice	1.43	0.914	2.652
Wheat	Rice	0.94	0.650	1.531

جدول ٤- آزمون‌های کشندگی نسبی گاز ازن در محصولات غذایی مختلف برای شپشه دندانه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis*، در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری.

Table 4. Relative median potency tests of ozone for *Oryzaephilus surinamensis* in different nutritious products at the depth of 100 cm.

			95% Confidence interval	
Foodstuff	**Foodstuff**	**LC_{50} (ml/l)**	**Lower bound**	**Upper bound**
Date	Wheat	1.51	1.131	2.722
	Rice	1.31	0.882	2.189
Wheat	Rice	0.87	0.547	1.316

است. به‌عنوان مثال، Leesch (2003) سمیت ۳۰۰ پی‌پی‌ام گاز ازن را روی مراحل مختلف زیستی شب‌پره هندی، *Plodia interpunctella* (Hubner)، و حشرات کامل شپشه آرد، *Tribolium confusum* du Val، بررسی نمود و مشخص کرد که این دو حشره نسبت به گاز ازن حساس هستند و این گاز توانسته است اثر کنترلی خوبی روی این دو آفت داشته باشد. نتایج مشابهی در تحقیقات Kells *et al.* (2001) نسبت به کنترل شپشه ذرت (*Sitophilus zeamais* Motschulsky)، شپشه آرد و شب‌پره هندی با استفاده از گاز ازن به‌دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که شپشه برنج و شپشه دندانه‌دار نسبت به گاز ازن حساس می‌باشند.

در تحقیقات Sekhon *et al.* (2010) از گاز دی‌اکسید کربن به‌عنوان نفوذدهنده گاز ازن در اعماق توده محصول استفاده شد و نتایج نشان داد که ترکیب این دو گاز، اثر کنترلی خوبی روی حشرات مورد آزمایش دارد. در تحقیق حاضر چون گاز ازن به‌تنهایی مورد استفاده قرار گرفت، برای نفوذ بیشتر این گاز به اعماق محصولات از پنکه برای به جریان انداختن هوا در داخل انبار استفاده شد. طبق نظر Mendez *et al.* (2003) نیز، برای استفاده بهینه از ازن در انبارها، سرعت جریان هوا در داخل انبار باید حداقل ۰/۰۳ متر در ثانیه باشد تا ازن بتواند به عمق محصولات انباری نفوذ نماید.

در تحقیق حاضر، علی‌رغم این که اندازه دانه‌های خرما خیلی درشت‌تر از گندم و برنج بود و قاعدتاً نیز باید نفوذ گاز به داخل آن خیلی بیشتر می‌بود، بااین‌حال تلفات کمتری از دو گونه مورد آزمایش روی خرما مشاهده شد. مهم‌ترین دلیل که این امر را می‌تواند توجیه نماید، رطوبت محصول خرما است. در این تحقیق از خرمای رقم مضافتی با رطوبت نسبی ۲۸ درصد استفاده شد که رطوبت خیلی بیشتری نسبت به گندم و برنج داشت. این ویژگی سبب جذب بیشتر گاز ازن و در نتیجه نفوذ کمتر آن در توده محصول خرما می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت که استفاده از گاز ازن ضمن کنترل مطلوب و قابل توجیه آفات انباری مورد آزمایش، می‌تواند از منظر بهداشتی و زیست‌محیطی مطلوب تلقی گردد و کاهش نگرانی‌های جوامع بشری را به‌همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای مجتبی قانع جهرمی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌شود.

منابع

Cassanova, J. L. (2002) An overview of the scientific aspect of ozone depletion and their impact on environment. pp. 23-27 in Batchhelor, T. & Bolivar, J. (Eds) *Proceeding of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. 432 pp. Office for Official Publications of the European Communities.

Harein, P. k. & Meronuch, R. (1995) Stored grain losses to insects and molds and importance of proper grain management. pp. 29-31 in Krischik, V., Cuperus, G. & Galliart, D. (Eds) *Stored product management*. E-912, 242 pp. Division of Agricultural Science and Natural Resources, Oklahoma State University.

Isikber, A. A. & Oztekin, S. (2009) Comparison of susceptibility of two stored-product insects, *Ephestia kuehniella* Zeller and *Tribolium confusum* du Val to gaseous ozone. *Journal of Stored Products Research* 45, 159-164.

Kells, S., Mason, L. J., Maier, D. E. & Woloshuk, C. P. (2001) Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. *Journal of Stored Products Research* 37, 371-382.

Kim, J. G., Yousef, A. E. & Dave, S. (1999) Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of Food Protection* 62, 1071-1087.

Leesch, J. G. (2003) The mortality of stored-product insects following exposure to gaseous ozone at high concentrations. pp. 827-831 in Credland, P., Armitage, D. M., Bell, C. H., Cogan, P. M. & Highley, E. (Eds) *Advances in Stored Product Protection*: *Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored-Product Protection*. 1071 pp. CAB International, Oxon, UK.

Maier, D. E., Hulasare, R., Campabadal, C. A., Woloshuk, C. P. & Mason, L. (2006) Ozonation as a non-chemical stored product protection technology. *Alternative Methods to Chemical Control*: *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored-Product Protection*, pp. 773-777.

Mason, L. J. & Strait, C. A. (1998) Stored product integrated pest management with extreme temperatures. Available from: *http://cipm.ncsu.Edu/ipmtext/chap6.pdf* (accessed 02 April 2011).

Mendez, F., Maier, D. E., Mason, L. J. & 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, 33-44.

Navarro, S. (2006) Modified atmospheres for the control of stored-product insects and mites. pp. 105-145 in Heaps, J. W. (Ed.) *Insect management for food storage and processing*. 2nd ed. 231 pp. American Association of Cereal Chemists, ACC International, St. Paul, Minnesota, U.S.A.

Padin, S., Dal Bello, G. & Fabrizio, M. (2002) Grain loss closed by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. *Journal of Stored Products Research* 38, 69-74.

Rajendran, S. & Muralidharan, N. (2005) Effectiveness of allyl acetate as a fumigant against five stored grain beetle pests. *Pest Management Science* 61, 97-101.

Sekhon, R. K., Schilling, M. W., Phillips, T. W., Aikins, R. M. J., Hasan, M. M., Nannapaneni, R. & Mikel, W. B. (2010) Effects of carbon dioxide and ozone treatments on the volatile composition and sensory quality of dry-cured ham. *Journal of Food Science* 75, 452-458.

Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. (1989) *Statistical methods*. 8th ed. 503 pp. IOWA State University Press.

Tunçbilek, S. A. (1997) Susceptibility of the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.), to gamma radiation. *Journal of Stored Products Research* 33, 331-334.