نامه‌ی انجمن حشره‌شناسی ایران
۱۳۸۶ – ۲۷(۱): ۶۱–۷۲

بررسی تلفات اولیه و تأخیری فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل *Rhyzopertha dominica* (Col.: Bostrichidae) و *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae)

معصومه ضیائی[۱و*]، محمد حسن صفرعلیزاده[۱]، نورالدین شایسته[۱] و سعید ارومچی[۲]

۱- دانشگاه ارومیه، دانشکده‌ی کشاورزی، گروه حشره شناسی، ۲- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، بخش تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی، ارومیه.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: masumeh_ziaee@yahoo.com

Initial and delayed mortality of *Rhyzopertha dominica* (Col.: Bostrichidae) and *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae) adults exposed to Silico-Sec® formulation of diatomaceous earth

M. Ziaee[1&*], M. H. Safaralizadeh[1], N. Shayesteh[1] and S. Uromchi[2]

1. Department of Entomology, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, 2. Plant Pest and Disease Research Department, Agricultural and Natural Resource Research Center of West Azarbaijan, Urmia, Iran.

*Corresponding author, E-mail: masumeh_ziaee@yahoo.com

چکیده

تأثیر دما و فاصله‌ی زمانی در سمیت فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل ۷ تا ١٤ روزه‌ی سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* (F.)، و شپشه‌ی آرد، *Tribolium castaneum* Herbst، در شرایط آزمایشگاهی بررسی گردید. آزمایشات در دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٥ ± ٦٥ درصد انجام شد. حشرات در فاصله‌های زمانی ۸ تا ۷۲ ساعت به طور مجزا در معرض ۱۰ گرم بر مترمربع از خاک دیاتومه روی کاغذ صافی درون پتری دیش قرار گرفتند. سپس شمارش تلفات اولیه صورت گرفت و افراد زنده‌ی باقی مانده در پتری دیش‌های تمیز و عاری از غذا در شرایط مشابه آزمایش قبلی به مدت یک هفته برای تعیین تلفات تأخیری نگه‌داری شدند. مقادیر LT_{50} تلفات اولیه‌ی *R. dominica* در دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به ترتیب ۲۱، ۱۲ و ۹ ساعت و در مورد *T. castaneum* در همین دماها به ترتیب ۵۲، ۲۷ و ۱۸ ساعت برآورد گردید. مقادیر LT_{50} بیانگر حساسیت بالای حشرات کامل *R. dominica* در مقابل Silico-Sec® نسبت به *T. castaneum* در شرایط مشابه است. تلفات اولیه‌ی هر دو گونه در دمای ۲۲ در مقایسه با دماهای ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به طور معنی‌داری کمتر بود و یک رابطه‌ی مستقیم بین دما و فاصله‌ی زمانی مشاهده شد. درصد تلفات هر دو آفت انباری بعد از یک هفته بیشتر از تلفات اولیه بود؛ لذا Silico-Sec® به منظور تیمار سطح انبارها قابل توصیه است.

واژگان کلیدی: تلفات اولیه، تلفات تأخیری، خاک دیاتومه، *Tribolium castaneum*، *Rhyzopertha dominica*

Abstract

Efficacy of temperature and exposure interval on the toxicity of Silico-Sec®, a diatomaceous earth formulation, was determined on 7-14 days old adults of *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium castaneum* Herbst under laboratory conditions at 22, 27, 32 ºC and 65 ± 5% R.H. Insects were exposed for 8-72 hours to diatomaceous earth at the rate of 10 g/m^2 on a filter paper inside plastic Petri dishes

دریافت: ۱۳۸۵/۳/۱۶، پذیرش: ۱۳۸۵/۱۱/۱۷.

Archive of SID

www.SID.ir

separately. Then the initial mortality was counted and, to determine delayed mortality, live individuals were held for a week in clean Petri dishes without food at the same conditions of previous experiment. LT_{50} values of initial mortality for *R. dominica* were 21, 12 and 9 hours at 22, 27, 32 ºC, respectively, and in the case of *T. castaneum*, they were 52, 27 and 18 hours at the same temperatures. The LT_{50} values indicated that *R. dominica* was more sensitive to Silico-Sec® than *T. castaneum* under identical conditions. Results indicated that the initial mortality of both species was significantly lower at 22 ºC in comparison with 27 and 32 ºC, and a direct relationship between temperature and exposure period was observed. Mortality percentage of both storage pests was higher after a week than initial mortality. Therefore, Silico-Sec® can be recommended as a structural treatment of stored grain facilities.
Key words: initial mortality, delayed mortality, diatomaceous earth, *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica*

مقدمه

حشرات آفت بذور انبار شده موجب کاهش وزن، کیفیت و ارزش تجارتی بذور می‌گردند. ۲۵٪ حشرات متعلق به راسته‌ی سخت‌بال‌پوشان می‌باشند (Borror *et al.*, 1989)، که از بین سخت‌بال‌پوشان انباری، بیشترین خسارت توسط گونه‌های مختلف جنس‌های *Tribolium* و *Sitophilus* وارد می‌شود. *Rhyzopertha dominica* (F.) نیز از آفات درجه‌ی اول است که روی دانه‌های مختلف غلات خسارت زیادی وارد می‌کند (Dal Bello *et al*., 2002)، لذا حفاظت از غلات به ویژه در انبارها تا زمان مصرف یا کاشت حائز اهمیت فراوان است.

استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی یکی از روش‌های متداول کنترل آفات انباری است که به دلیل اثرات نامطلوب روی موجودات غیر هدف، سمیت به پستانداران و پرندگان، و خطر آلودگی محیط زیست، باید از مصرف آنها تا حد امکان خودداری و روش‌های دیگری جایگزین آنها نمود (Fields, 1998). امروزه استفاده از روش‌های فیزیکی نظیر بکارگیری دماهای بالا و پایین، تشعشعات هسته‌ای (پرتوتابی) و استفاده از عوامل فیزیکی (صوت، نور و ...) به منظور کنترل آفات انباری مورد توجه قرار گرفته است (Banks & Fields, 1995). خاک‌های دیاتومه نیز از جمله موادی هستند که به طور فیزیکی سبب کنترل آفات انباری می‌گردند و فرمولاسیون‌های تجارتی آنها بیش از ۴۰ سال است در آمریکا به منظور حفاظت بذور در انبارها بکار گرفته می‌شود (Korunic, 1998). خاک دیاتومه به دلیل استفاده‌ی آسان، سمیت کم روی پستانداران، نداشتن بقایا روی مواد غذایی، عمر انبارداری نامحدود و پایداری، برای کنترل آفات انباری مناسب بوده و توسط آژانس حفاظت محیط زیست[۱] ایالت متحده آمریکا

۱– Environmental Protection Agency (EPA)

Archive of SID

www.SID.ir

به عنوان یک ماده‌ی بی‌خطر معرفی شده است. علاوه بر این، خاک دیاتومه حاوی سیلیکای بی‌شکل می‌باشد که بر اساس گزارش آژانس بین المللی تحقیقات سرطان[1]، سیلیکای بی‌شکل متعلق به نسل سوم حشره‌کش‌ها بوده و فاقد خاصیت سرطان‌زایی است (Fields *et al*., 2002). این خاک همچنین هیچگونه تأثیر سوئی بر قدرت جوانه‌زنی، کیفیت، طعم و سایر خصوصیات دانه ندارد (Aldryhim, 1990; Korunic *et al*., 1996). خاک‌های دیاتومه را می‌توان در مخلوط با غلات و یا به صورت تیمار کف و دیوار انبارها برای کنترل تمام آفات انباری بکار برد (Golob, 1997). خاک دیاتومه دارای خاصیت دورکنندگی روی برخی آفات انباری نیز می‌باشد و حشرات انباری حساسیت متفاوتی به این خاک از خود نشان می‌دهند (Korunic, 1998).

White & Loschiavo (1989) برای اولین بار تأثیر دز ۰/۷۲ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع سیلیکا آئروژل[2] که یک گرد بی‌اثر است را روی حشرات کامل *Oryzaephilus mercator* Fauv. و *Tribolium confusum* Du Val. بررسی کردند. شمارش تلفات اولیه که ۱۵ ثانیه، ۱، ۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه پس از تیمار کردن صورت گرفت، نشان داد که درصد تلفات حشرات کامل با افزایش مدت زمان قرارگیری در مجاورت گرد بی‌اثر افزایش می‌یابد.

با توجه به اهمیت اقتصادی آفات انباری و مقاوم شدن آفات نسبت به حشره‌کش‌های متداول شیمیایی، جایگزین کردن حشره‌کش‌های مناسب دیگر ضروری می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق قدرت حشره‌کشی فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه و تأثیر دما و فاصله‌ی زمانی در کنترل حشرات کامل سوسک کشیش و شپشه‌ی آرد مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

حشرات کامل سوسک کشیش، *R. dominica*، و شپشه‌ی آرد، *Tribolium castaneum* Herbst، به ترتیب از دانه‌های آلوده‌ی ذرت و جو موجود در اتاق پرورش بخش حشره‌شناسی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه ارومیه جداسازی شد. پرورش حشرات کامل شپشه‌ی آرد روی محیط غذایی شامل ۹۵٪ آرد گندم و ۵٪ مخمر آبجو، و پرورش حشرات کامل سوسک کشیش

۱- International Agency for the Research of Cancer (IARC)

۲- Silica aerogel

Archive of SID

www.SID.ir

روی گندم رقم زرین صورت گرفت. این حشرات در دمای ۰/۵ ± ۲۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵ ± ٦٥ درصد پرورش یافتند و بعد از ٦ نسل خالص‌سازی، آزمایش‌های زیست‌سنجی روی آنها انجام شد.

فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه از شرکت Biofa آلمان تهیه شد. ترکیبات تشکیل دهنده‌ی این فرمولاسیون شامل ۹۲٪ SiO_2، ۳٪ Al_2O_3، ۱٪ Fe_2O_3 و ۱٪ Na_2O می‌باشد و میانگین اندازه‌ی ذرات آن ۸ تا ۱۲ میکرومتر است (EG MSDS, 2001). بررسی اثر دما و فاصله‌ی زمانی در توانایی حشره‌کشی فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه، روی حشرات کامل ۷ تا ١٤ روزه‌ی شپشه‌ی آرد و سوسک کشیش، بدون در نظر گرفتن جنس حشره، بر اساس روش Arthur (2000) با مختصری تغییر صورت گرفت. دز توصیه شده برای این فرمولاسیون در تیمار سطح انبارها، ۱۰ گرم بر مترمربع است (EG MSDS, 2001) که برای انجام این تحقیق در نظر گرفته شد. پتری دیش‌های پلاستیکی به قطر داخلی ۸/۸ سانتی‌متر و مساحت داخلی ٦۰/۷ سانتی‌متر مربع مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به دز توصیه شده و مساحت داخلی پتری دیش‌ها، ٦۰ میلی‌گرم از خاک دیاتومه برای تیمار سطح هر پتری لازم بود. آزمایش‌ها در دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵ ± ٦٥ درصد در تاریکی انجام گرفت. برای هر دما، ٢٤ پتری دیش که مربوط به ۵ زمان ۸، ١٦، ٢٤، ٤٨ و ۷۲ ساعت در ٤ تکرار به همراه تیمار شاهد بود، تهیه و کاغذ صافی با قطر ۸/۸ سانتی‌متر درون هر یک از آنها گذاشته شد. بعد از اضافه کردن ٦۰ میلی‌گرم خاک دیاتومه روی کاغذ صافی موجود در پتری دیش‌ها (در تیمار شاهد خاک دیاتومه اضافه نشد) و گذاشتن در آنها، پتری‌ها به مدت یک دقیقه تکان داده شدند. این کار سبب چسبیدن ذرات خاک دیاتومه به قسمت‌های داخلی پتری دیش و سطح کاغذ صافی در اثر نیروی استاتیک گردید. بعد از گذشت ۵ دقیقه (مدت زمانی که برای نشست ذرات لازم است)، ۱۵ عدد حشره‌ی کامل سوسک کشیش و شپشه‌ی آرد در پتری‌ها رهاسازی شد و روی در آنها زمان، دما و شماره‌ی تکرار آزمایش درج گردید. سپس، پتری‌ها در انکوباتورهای تنظیم شده در دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵ ± ٦٥ درصد قرار گرفتند. تلفات بعد از ۸، ١٦، ٢٤، ٤٨ و ۷۲ ساعت به طور مجزا

Archive of SID

www.SID.ir

شمارش شد و حشراتی که زنده بودند، به پتری دیش‌های تمیز و فاقد غذا در شرایط مشابه قبلی منتقل و به مدت یک هفته برای تعیین تلفات تأخیری نگهداری شدند.

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با آزمایش فاکتوریل (فاکتور اول زمان و فاکتور دوم دما) در چهار تکرار انجام گرفت. به دلیل این که تلفات شاهد صفر بود، تصحیح درصد مرگ و میر با استفاده از فرمول آبوت انجام نشد. قبل از تجزیه‌ی آماری، جهت تغییر شکل داده‌ها از رابطه‌ی $\text{Arc sin}\sqrt{x}$ استفاده شد. آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری ۵٪ با استفاده از نرم‌افزار MSTATC برای مقایسه‌ی آماری داده‌های فاکتورهایی که معنی‌دار بودند، به‌کار رفت. محاسبه‌ی مقادیر LT_{50} با نرم‌افزار SPSS 10 و روش پروبیت انجام شد (SPSS, 1999).

نتایج و بحث

بررسی اثر حشره‌کشی اولیه‌ی فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل ۱۴–۷ روزه‌ی سوسک کشیش و شپشه‌ی آرد نشان داد که با گذشت زمان، میانگین درصد تلفات افزایش می‌یابد؛ به طوری که در مورد سوسک کشیش، بیشترین تلفات در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت در دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و زمان ۷۲ ساعت در هر سه دما مشاهده شد، و هیچ تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. بنابراین، حداکثر تلفات سوسک کشیش را می‌توان در زمان ۲۴ ساعت و دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد مشاهده کرد (جدول ۱).

نتایج به دست آمده در بررسی تلفات اولیه‌ی شپشه‌ی آرد بیانگر این مطلب است که بین دماهای ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت، و همچنین دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در زمان ۲۴ ساعت، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین، حداکثر تلفات اولیه‌ی شپشه‌ی آرد در زمان ۴۸ ساعت و دمای ۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد، و یا زمان ۲۴ ساعت و دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد قابل مشاهده است (جدول ۲). در این آزمایش همچنین مشخص شد که سوسک کشیش در ساعات اولیه‌ی پس از تیمار تلفات بیشتری نسبت به شپشه‌ی آرد از خود نشان می‌دهد؛ به طوری که ۸ ساعت پس از شروع آزمایش، میانگین درصد تلفات اولیه‌ی سوسک کشیش در دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به ترتیب ۲۹/۸۷، ۲۶/۹۸ و

Archive of SID

www.SID.ir

٤١/١٢ و شپشه‌ی آرد به ترتیب ٤/٢٧، ٩/٤٤ و ١٣/٠٢ محاسبه شد، ولی با گذشت زمان درصد تلفات شپشه‌ی آرد نیز افزایش یافت.

جدول ١. مقایسه‌ی میانگین درصد تلفات اولیه و تأخیری ± خطای معیار دز ١٠ گرم بر مترمربع Silico-Sec® روی حشرات کامل *R. dominica* در زمان‌های مختلف.

Table 1. Mean initial and delayed mortality (%) ± SEM of *R. dominica* adults exposed to 10 g/m^2 Silico-Sec® at different exposure intervals.

		Exposure interval (hour)				
Temp.	**Mortality**	**8**	**16**	**24**	**48**	**72**
22 ºC	Initial	29.87 ± 1.66de	29.71 ± 0.79de	41.07 ± 1.5d	71.2 ± 1bc	85.73 ± 0.12a
	Delayed	86.66 ± 1c	93.33 ± 0.33b	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a
27 ºC	Initial	26.98 ± 1.45e	60.39 ± 1.12c	66.86 ± 3bc	78.57 ± 0.37ab	89.3 ± 0a
	Delayed	93.33 ± 0.33b	96.66 ± 0.16ab	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a
32 ºC	Initial	41.12 ± 0.83d	64.32 ± 1.66c	85.73 ± 0.12a	89.3 ± 0a	89.3 ± 0a
	Delayed	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a

Means followed by the same letter for initial (1st, 3rd and 5th lines) and delayed (2nd, 4th and 6th lines) mortalities separately at three temperatures are not significantly different. Duncan's multiple range test at $p = 0.05$. Temp. = temperature.

جدول ٢. مقایسه‌ی میانگین درصد تلفات اولیه و تأخیری ± خطای معیار دز ١٠ گرم بر مترمربع Silico-Sec® روی حشرات کامل *T. castaneum* در زمان‌های مختلف.

Table 2. Mean initial and delayed mortality (%) ± SEM of *T. castaneum* adults exposed to 10 g/m^2 Silico-Sec® at different exposure intervals.

		Exposure interval (hour)				
Temp.	**Mortality**	**8**	**16**	**24**	**48**	**72**
22 ºC	Initial	4.27 ± 0.12e	16.60 ± 0.12d	11.43 ± 0.12de	36.14 ± 3.37c	64.89 ± 0.33b
	Delayed	39.14 ± 1f	56.93 ± 0.5d	89.3 ± 0b	89.3 ± 0b	89.3 ± 0b
27 ºC	Initial	9.44 ± 0.45de	13.02 ± 0.33de	29.97 ± 0.12c	82.15 ± 0.16a	89.3 ± 0a
	Delayed	46.92 ± 1e	76.98 ± 0.33c	89.3 ± 0b	89.3 ± 0b	89.3 ± 0b
32 ºC	Initial	13.02 ± 0.33de	19.49 ± 0.45d	84.13 ± 0.5a	89.3 ± 0a	89.3 ± 0a
	Delayed	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a

Means followed by the same letter for initial (1st, 3rd and 5th lines) and delayed (2nd, 4th and 6th lines) mortalities separately at three temperatures are not significantly different. Duncan's multiple range test at $p = 0.05$. Temp. = temperature.

در بررسی میانگین درصد تلفات ایجاد شده بعد از زمان یک هفته، علی‌رغم این که حشرات در پتری دیش‌های عاری از خاک دیاتومه نگه‌داری شده بودند، میانگین درصد تلفات با افزایش زمان افزایش یافت. البته در دمای ٣٢ درجه‌ی سانتی‌گراد، در هر دو گونه میانگین

Archive of SID

www.SID.ir

درصد تلفات ۱۰۰٪ شد (جدول‌های ۱ و ۲). این موضوع نشان دهنده‌ی دوام حشره‌کشی خاک دیاتومه است و محققین مختلفی نیز در آزمایش‌های زیست سنجی با فرمولاسیون‌های متفاوت خاک دیاتومه این مطلب را تأیید نموده‌اند (Korunic, 1998; Fields *et al*., 2002).

آفات انباری دارای سیستم کریپتونفریدیال پیشرفته‌ای هستند که قادر به باز جذب آب و تأمین آب مورد نیاز خود از مواد غذایی اطرافشان، به ویژه غلات می‌باشند (Chapman, 1971). پس وجود ماده‌ی غذایی موجب کاهش کارآیی خاک دیاتومه در جهت خشک شدن بدن حشره می‌گردد. لذا افزایش تلفات حشرات کامل هر دو گونه بعد از گذشت یک هفته می‌تواند به علت عدم دسترسی آنها به ماده غذایی باشد. نتایج تحقیقات White & Loschiavo (1989) نیز این مطلب را تأیید می‌کند. این محققین، حشرات کامل *O. mercator* و *T. confusum* را در زمان‌های متوالی در مجاورت سیلیکا آئروژل قرار داده و تلفات اولیه را شمارش نمودند. سپس به منظور تعیین تلفات تأخیری، حشراتی را که زنده مانده بودند برای یک هفته در پتری دیش‌های حاوی و یا عاری از آرد به عنوان ماده‌ی غذایی نگه‌داری کردند. درصد تلفات حشرات کامل هر دو گونه در پتری دیش‌های حاوی ماده‌ی غذایی نسبت به حالتی که غذا در اختیار حشرات نبود به طور معنی‌داری کاهش یافت (White & Loschiavo, 1989).

نتایج به دست آمده دلالت بر این دارد که اثر حشره‌کشی فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه در بررسی تلفات اولیه و تأخیری در هر دو گونه با افزایش مدت زمانی که حشرات کامل در معرض خاک دیاتومه قرار می‌گیرند، افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین تلفات در زمان ۷۲ ساعت مشاهده شد و بین فاکتور زمان‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول‌های ۳ و ٤). Cook *et al.* (2002) نیز در بررسی اثر حشره‌کشی دز ۱۰ گرم بر مترمربع از فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه با تیمار سطح انبار روی حشرات کامل شپشه‌ی دندانه‌دار، *Oryzaephilus surinamensis* L.، نشان دادند که درصد تلفات حشرات کامل از ۵۲٪ پس از ۷ روز، به ۹۹٪ پس از ١٤ روز رسید که بیانگر افزایش توانایی حشره‌کشی Silico-Sec® با گذشت زمان است.

تجزیه‌ی واریانس اثر حشره‌کشی اولیه و تأخیری فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل سوسک کشیش و شپشه‌ی آرد مشخص کرد که بین دماهای ۲۲، ۲۷ و ۳۲

Archive of SID

www.SID.ir

درجه‌ی سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و با افزایش دما، توانایی حشره‌کشی خاک دیاتومه افزایش می‌یابد. همچنین، اثرات متقابل دما و زمان معنی‌دار است (جدول‌های ۳ و ٤). نتایج نشان داد که دما و مدت زمان قرارگیری حشرات در مجاورت خاک دیاتومه اثر تشدید کنندگی دارند. مقادیر ضریب تغییر (CV) محاسبه شده برای تلفات اولیه و تأخیری (بعد از یک هفته)، نشان دهنده‌ی دقت زیاد و قابل قبول بودن نتایج تحقیق است (جدول‌های ۳ و ٤).

جدول ۳. تجزیه‌ی واریانس دز ۱۰ گرم بر مترمربع Silico-Sec® روی حشرات کامل سوسک کشیش، *R. dominica*، در دماها و فاصله‌های زمانی مختلف.

Table 3. ANOVA of *R. dominica* adults exposed to 10 g/m^2 Silico-Sec® at different temperatures and exposure intervals.

Source of variation	Degrees of freedom	*F* values		*P*	
		Initial	Delayed	Initial	Delayed
Interval	4	98.097**	9.818**	0.000	0.000
Temperature	2	42.209**	7.363**	0.000	0.0017
Interval × Temperature	8	6.165**	3.272**	0.000	0.005
Error	45				
Total	59		CV =	12.25%	3.36%

** Significant difference at 1% level. Data were transformed based on Arc sin $\sqrt{x}$.

جدول ٤. تجزیه‌ی واریانس دز ۱۰ گرم بر مترمربع Silico-Sec® روی حشرات کامل شپشه‌ی آرد، *T. castaneum*، در دماها و فاصله‌های زمانی مختلف.

Table 4. ANOVA of *T. castaneum* adults exposed to 10 g/m^2 Silico-Sec® at different temperatures and exposure intervals.

Source of variation	Degrees of freedom	*F* values		*P*	
		Initial	Delayed	Initial	Delayed
Interval	4	280.782**	216.41**	0.000	0.000
Temperature	2	125.889**	124.76**	0.000	0.000
Interval × Temperature	8	27.52**	61.449**	0.000	0.000
Error	45				
Total	59		CV =	15.02%	4.04%

** Significant difference at 1% level. Data were transformed based on Arc sin $\sqrt{x}$.

نتایج تحقیقات Arthur (2000) نشان داد که با کاربرد فرمولاسیون Protect-It خاک دیاتومه با دز ۵ گرم بر مترمربع علیه حشرات کامل دو گونه‌ی *T. castaneum* و *T. confusum* در سه دما

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۲، ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد) و سه رطوبت نسبی (۴۰، ۵۷ و ۷۰ درصد)، تلفات حشرات کامل *T. castaneum* در دمای ۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰٪، و همچنین دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت‌های نسبی ۴۰ و ۵۷ درصد، پس از گذشت یک هفته به ۱۰۰٪ رسید؛ در حالی که گونه‌ی *T. confusum* نسبت به این فرمولاسیون مقاومت بیشتری از خود نشان داد. او نتیجه‌گیری کرد که با افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی، اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر و نیز گزارش‌های متعددی که از تأثیر دما بر سمیت خاک‌های دیاتومه در حشرات انباری وجود دارد (Fields & Korunic, 2000)، افزایش دما باعث افزایش توانایی حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه می‌گردد و بین دما و فاصله‌ی زمانی رابطه‌ی مستقیم وجود دارد. با توجه به طرز عملکرد خاک دیاتومه که باید به سطح بدن حشره بچسبد تا با جذب لایه‌ی مومی کوتیکول و ایجاد خراش سبب از دست رفتن آب بدن و مرگ حشره گردد، و با توجه به این که ذرات خاک دیاتومه حاوی حفره‌های ریزی هستند که توانایی جذب مولکول‌های لایه‌ی مومی اپی‌کوتیکول حشره را دارند (Korunic, 1998)، لذا هر قدر مدت زمان قرارگیری حشرات در مجاورت خاک دیاتومه بیشتر باشد، ذرات بیشتری روی سطح بدن آنها خواهد چسبید که دلیل افزایش تلفات با گذشت زمان می‌باشد. از طرف دیگر، افزایش دما سبب افزایش تحرک و جابجایی حشرات می‌شود و در نتیجه کوتیکول آنها با خاک دیاتومه تماس بیشتری یافته و صدمه‌ی بیشتری می‌بیند. همچنین، افزایش دما سبب تنفس بالا و از دست رفتن آب بدن از روزنه‌های تنفسی حشرات می‌شود (Fields & Korunic, 2000). بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دما و زمان اثر هم را شدت می‌بخشند.

مقادیر LT_{50} و حدود اطمینان محاسبه شده، نشان دهنده‌ی مقاومت بیشتر حشرات کامل شپشه‌ی آرد در برابر فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه در مقایسه با سوسک کشیش می‌باشد (جدول ۵). بر اساس تحقیقات Korunic (1998)، گونه‌های جنس *Tribolium* نسبت به گونه‌های *Cryptolestes* spp.، *Oryzaephilus* spp.، *Sitophilus* spp. و *R. dominica* مقاومت بیشتری در برابر فرمولاسیون‌های متفاوت خاک دیاتومه دارند. بررسی سطح بدن حشرات کامل

Archive of SID

www.SID.ir

شپشه‌ی آرد با میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ذرات دی‌اکسید سیلیکان[۱] کمتری از خاک دیاتومه به ازای واحد سطح به بدن آنها می‌چسبد، و به این دلیل، این حشره تحمل بیشتری نسبت به سایر گونه‌های انباری به خاک دیاتومه دارد (Fields & Korunic, 2000).

جدول ۵. مقادیر LT_{50} و حدود اطمینان دز ۱۰ گرم بر مترمربع فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل *R. dominica* و *T. castaneum* در دماهای مختلف.

Table 5. LT_{50} values and confidence limits of *R. dominica* and *T. castaneum* adults exposed to 10 g/m^2 Silico-Sec® at different temperatures.

Species	n	Temp.	LT_{50} (hour)	C.L. (95%)	Probit/log regression line y = bx + a	b var.	*P*	Chi-square (df = 3)
R. dominica	300	22 ºC	21	8-47	y = 2.7x + 1.4	0.56	0.09	6.21
	300	27 ºC	12	10-14	y = 3.2x + 1.4	0.74	0.12	5.74
	300	32 ºC	9	nc	y = 4.1x + 1.1	1.18	0.55	2.01
T. castaneum	300	22 ºC	52	31-276	y = 3.4x – 0.8	0.76	0.1	6.01
	300	27 ºC	27	nc	y = 5.2x – 2.5	0.96	0.00	16.52
	300	32 ºC	18	nc	y = 6.9x – 3.6	1.64	0.00	17.71

b var. = b variance; C.L. = confidence limit; n = number; nc = not calculated; Temp. = temperature.

مقدار Chi-square با درجه‌ی آزادی ۳ برای سطح احتمال آماری ۰/۰۵ = α برابر ۷/۸۲ می‌باشد (Zali & Jafari Shabestari, 1997) که فقط در مورد حشرات کامل شپشه‌ی آرد در دماهای ۲۷ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد، مقادیر Chi-square بیش از مقدار مذکور بود (جدول ۵). بنابراین، در بقیه‌ی موارد با اطمینان ۹۵٪ می‌توان گفت که مقادیر مشاهده شده، مقادیر مورد انتظار را تأیید می‌کند.

نتایج حاصله بیانگر قدرت بالای حشره‌کشی فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه روی حشرات کامل شپشه‌ی آرد و سوسک کشیش می‌باشد. با توجه به قیمت هر کیلوگرم خاک دیاتومه (حدود ۵۰۰۰۰ ریال) و استاندارد مصرف (مقدار ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام یا یک کیلوگرم در هر تن غله در تیمار لایه‌ی ۳۰ سانتی‌متری رویی غله) (Bridgeman, 1998)، در صورتی که ظرفیت سیلو ۵۰۰۰ تن باشد، ۷۹ کیلوگرم Silico-Sec® برای تیمار لایه‌ی ۳۰ سانتی‌متری رویی غله

۱– Silicon dioxide

Archive of SID

www.SID.ir

مورد نیاز است که قیمت برآورد شده در هر تن ۷۹۰ ریال خواهد بود. بنابراین، کاربرد Silico-Sec® اقتصادی می‌باشد و بر خلاف سموم تدخینی نظیر قرص فستوکسین، پایداری زیادی داشته و یک بار مصرف آن برای حفاظت غله در انبارها به مدت بیش از یک سال کافی است. همچنین، از آنجایی که بر خلاف فستوکسین باقیمانده‌ای روی محصولات انباری ندارد، می‌تواند در برنامه‌های مدیریت کنترل جمعیت آفات انباری نقش مهمی ایفا کند.

سپاسگزاری

نگارندگان از زحمات آقای حسین منتخب، مدیر عامل شرکت گیاهیار، برای تهیه فرمولاسیون Silico-Sec® خاک دیاتومه از شرکت Biofa آلمان تقدیر و تشکر کرده و همچنین از همکاری‌های آقایان آتش بهاری و دکتر آق در مرکز تحقیقات آرتمیا و سرکار خانم غلامی کمال امتنان را دارند.

منابع

Aldryhim, Y. N. (1990) Efficacy of the amorphous silica dust, Dryacide, against *Tribolium confusum* Du Val and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae and Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 26, 207-210.

Arthur, F. H. (2000) Toxicity of diatomaceous earth to red flour beetles and confused flour beetles (Coleoptera: Tenebrionidae): effects of temperature and relative humidity. *Journal of Economic Entomology* 93, 526-532.

Banks, H. J., & Fields, P. G. (1995) Physical methods for insect control in stored grain ecosystems. pp. 353-410 in Jayas, D. S., White, N. D. G. & Muir, W. E. (Eds) *Stored Grain Ecosystems*. 784 pp. Marcel Delker Inc.

Borror, D. J., Triplehorn, C. A. & Johnson, N. F. (1989) *An introduction to the study insects.* 6th ed. 875 pp. Saunders College Publishing.

Bridgeman, B. (1998) Application technology and usage patterns of diatomaceous earth in stored product protection. *Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-Product Protection, Beijing China, Vol. 1*, 785-789.

Chapman, R. F. (1971) *The insects*: *structure and function.* 2nd ed. 749 pp. Cambridge University Press.

Archive of SID

www.SID.ir

Cook, D. A., Collins, L. E. & Armitage, D. M. (2002) Diatomaceous earth structural treatment against *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) under fluctuating UK conditions. *Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored-Product Protection, York, UK*, 675-679.

Dal Bello, G., Padin, S., Lopez Castra, C. & Fabrizio, M. (2002) Laboratory evaluation of chemical-biological control of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored grain. *Journal of Stored Products Research* 37, 77-84.

EG MSDS (2001) Silico-Sec®, Inert Silica dust for insect pest control, effective, long-acting and environmentally safe, 4 pp.

Fields, P. G. (1998) Diatomaceous earth: advantages and limitations. *Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-Product Protection, Beijing China, Vol. 1*, 781-784.

Fields, P. G., & Korunic, Z. (2000) The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* 36, 1-13.

Fields, P. G., Allen, S., Korunic, Z., McLaughlin, A. & Stathers, T. (2002) Standardized testing for diatomaceous earth. *Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored-Product Protection, York, UK*, 779-784.

Golob, P. (1997) Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *Journal of Economic Entomology* 90, 69-79.

Korunic, Z. (1998). Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research* 34, 87-97.

Korunic, Z., Fields, P. G., Kovacs, M. I. P., Noll, J. S., Lukow, O. M., Demianyk, C. J. & Shibley, K. J. (1996) The effect of diatomaceous earth on grain quality. *Postharvest Biology and Technology* 9, 373-387.

SPSS, (1999) *SPSS for Windows, user's guide, release 10.* SPSS Inc.

White, N. D. G. & Loschiavo, S. R. (1989) Factors affecting survival of the merchant grain beetle (Coleoptera: Cucujidae) and the confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to silica aerogel. *Journal of Economic Entomology* 82, 960-969.

Zali, A. A. & Jafari Shabestari, J. (1997) Introduction to probability and statistics. 5th ed. 474 pp. Tehran University Press. [In Persian].

Archive of SID

www.SID.ir