

بازدارندگی تخم‌ریزی، کاهش نتاج و وزن توسط *Callosobruchus maculatus* (F.) در حبوبات تیمار شده با دو فرمولاسیون نانوسیلیکا

رقیه یوسف نژاد ایرانی^{۱*}، یونس کریم پور^۲ و معصومه ضیائی^۳

۱- *نویسنده مسوول: دانشجوی دکترای حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (yousefnezhad_r@yahoo.com)

۲- دانشیار حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۱۸

چکیده

در این پژوهش تأثیر فرمولاسیون‌های Aerosil® و Nanosav نانوذرات سیلیکا بر بازدارندگی تخم‌ریزی سوسک چهار نقطه‌ای *Callosobruchus maculatus* (F.) در لوبیا چشم بلبلی، ماش سیاه، ماش سبز، نخود و عدس با غلظت‌های: ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بررسی شد. بذور پس از تیمار، در معرض حشرات کامل (نر و ماده) یک‌روزه قرار گرفتند و ۵ روز بعد تعداد تخم‌ها شمارش گردید. بیشترین بازدارندگی در ماش سیاه با میانگین ۹۶ درصد در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Aerosil® مشاهده شد. در آزمایش دوم تأثیر این فرمولاسیون‌ها بر تفریح تخم و ظهور حشرات کامل بررسی گردید. بذورهای حبوبات حاوی یک عدد تخم یک‌روزه با غلظت‌های ذکر شده در بالا تیمار گردید. کمترین میزان تفریح تخم و ظهور حشرات کامل در عدس به ترتیب با میانگین ۱۳ و ۱ درصد، در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Aerosil® مشاهده شد. در آزمایش سوم کارآیی ترکیبات ذکر شده بر کاهش وزن و تعداد نتاج پس از ۳ ماه بررسی شد. حبوبات مورد نظر با غلظت‌های بیان شده در آزمایش اول تیمار و در معرض حشرات کامل (نر و ماده) یک‌روزه قرار گرفتند. کمترین کاهش وزن در عدس با میانگین ۱۰ درصد بوسیله غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم Nanosav ایجاد شد. کمترین تعداد نتاج ظاهر شده نیز در عدس با میانگین ۴۰ عدد در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Nanosav دیده شد. هر دو فرمولاسیون می‌توانند به طور مؤثر در مدیریت تلفیقی *C. maculatus* استفاده گردند.

کلید واژه‌ها: سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات، نانو سیلیکا، حبوبات، آلودگی، مدیریت تلفیقی

مقدمه

لوبیا چشم بلبلی *Vigna unguiculata* (L.) Walp. یکی از حبوبات مورد تغذیه انسان و جانوران است. حجم بالای پروتئین و کربوهیدرات به همراه مقادیر نسبتاً کمتر چربی و آمینواسیدهای مکمل این بذر را به عنوان یکی از منابع تغذیه‌ای مهم در رژیم غذایی انسان مطرح کرده است (Jayathilake et al., 2018). عدس *Lens culinaris* L. یکی از گیاهان لگومینوز با میزان

فیبر بالا و چربی کم است (Jarpa-Parra, 2018) که همانند سایر بقولات منبع غنی از پروتئین است (Urbano et al., 2007). ماش سبز *Vigna radiata* (L.) Wilczek یکی از انواع حبوبات است که منبع غنی از پروتئین (۱۴/۶ گرم/۱۰۰ گرم بذر) و آهن (۵/۹-۷/۶ میلی‌گرم/۱۰۰ گرم بذر) می‌باشد (Dahiya et al., 2015). نخود *Cicer arietinum* L. یکی از مهم‌ترین حبوبات مقاوم به خشکی است. این محصول منبع خوبی

یکی از روش‌های قدیمی در کنترل آفات حبوبات انباری، پوشش بذرها با گردهای بی‌اثر و خاک دیاتومه به عنوان محافظ دانه می‌باشد (Ebeling, 1971; Golob, 1997). خاک دیاتومه سمیت خیلی کمی برای پستان‌داران دارد، غیر فعال بوده و هیچ باقیمانده‌ای روی غلات باقی نمی‌گذارد، خاک‌های دیاتومه دوام و پایداری خوبی دارند و قادر به کنترل آفات مقاوم به حشره‌کش‌ها هستند. مقادیر کم ذرات خاک دیاتومه هیچ خطری برای سلامتی و امنیت مصرف‌کننده ندارد (Fields, 1998).

خصوصیات حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه به چندین فاکتور از قبیل چگالی ظاهری^۱، خاصیت جذب روغن، محتوای سیلیس (SiO₂)، اندازه ذرات، مدت زمان پس از تیمار، دما و رطوبت، سطح فعال و ... بستگی دارد (Golob, 1997; Korunic, 1998).

یکی از فاکتورهایی که باعث افزایش عملکرد خاک دیاتومه می‌شود مقدار سیلیس فرمولاسیون است، به طوری که با افزایش محتوای سیلیس، کارایی حشره‌کشی خاک دیاتومه علیه حشرات افزایش می‌یابد (Korunic, 1997). همچنین تغییر اندازه ذرات سیلیس به مقیاس نانو، تعدادی از خصوصیات فیزیکی آن‌ها را تغییر می‌دهد. ذرات خاک دیاتومه در مقیاس میکرون هستند، در صورتی که نانو شدن ذرات آن‌ها به صورت نانوذرات سیلیکا باعث بهبود خصوصیات حشره‌کشی آن‌ها می‌شود. این بدان معنی است که ترکیب شیمیایی اصلی نانوذرات سیلیکا و خاک دیاتومه، سیلیس است که ممکن است دلیل مشابهت خصوصیات عمومی آن‌ها باشد (Debnath et al., 2011).

Sabbour and Abd El-Aziz (2015) گزارش کردند نانوذرات خاک دیاتومه در مقایسه با خاک دیاتومه طبیعی تلفات بیشتری در لاروهای *Tribolium castaneum* و *Tribolium confusum* Herbst ایجاد کردند و تخم‌گذاری حشرات بالغ این دو گونه را به طور معنی‌داری کاهش دادند.

از پروتئین، کربوهیدرات، مواد معدنی و ویتامین‌ها، بتاکاروتن و اسیدهای چرب مناسب برای سلامتی است (Jukanti et al., 2012). ماش سیاه (*Vigna mungo* (L.) Hepper یکی از حبوبات مهم کشت شده در بسیاری از مناطق گرمسیری جهان است. بذره‌های ماش سیاه منبع غنی از پروتئین (۲۶-۲۴ درصد ماده خشک^۱)، نشاسته (۳۵ درصد ماده خشک)، فیبر خام (ضخیم) (۶-۵ درصد ماده خشک) و مواد معدنی است (Rajaguru and Ravindran, 1985).

با توجه به اینکه حبوبات منبع غنی از پروتئین با کیفیت عالی هستند، مورد حمله بسیاری از سخت‌بالپوشان قرار می‌گیرند (Mesbah et al., 2017). در میان سخت‌بالپوشان، سوسک چهار نقطه‌ای لویا چشم بلبلی (*Callosobruchus maculatus* (F.)) (درجه اول) چندین محصول لگومینوز مهم از نظر اقتصادی از قبیل لویا چشم بلبلی، عدس، ماش سبز و ماش سیاه است (Sharma and Thakur, 2014a, b) که موجب ۶۰ درصد کاهش وزن و ۱۰۰ درصد خسارت به این محصولات می‌گردد (Kéita et al., 2000). سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات، *C. maculatus* یک آفت همه‌جایی است که شروع خسارت از مزرعه بوده و سپس به انبار منتقل می‌شود. این آفت به عنوان آفت اصلی و پس از برداشت چندین محصول حبوبات است (Sahaf and Moharrampour, 2008a).

در طول سالیان متمادی حشره‌کش‌های سنتتیک متعددی برای کنترل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما هزینه‌های فراوان، باقیمانده بر روی محصول، خطر سلامتی برای کشاورزان و گسترش مقاومت در آفت مسائل نگران‌کننده در رابطه با استفاده از این ترکیبات است، که همه موجب جستجو برای یافتن ترکیبات جایگزین بدون اثرات جانبی ذکر شده است (Abulude et al., 2007).

حشرات کامل ۲۴ ساعته، ماده غذایی پرورشی در زمان اوج ظهور حشرات کامل (۳-۲ روز پس از ظهور اولین حشره کامل) الک شد و تمامی حشرات کامل جدا و دور ریخته شد. حدود ۲ ساعت پس از آن مجدداً بذور الک شده و حشرات کامل تازه ظاهر شده به ظرف جدید حاوی ماده غذایی منتقل شدند و پس از ۱ روز در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی آزمایشات در شرایط و محیط پرورش صورت گرفت.

ماده غذایی

لویا چشم بلبلی وارسته مشهد از مرکز تحقیقات دزفول و نخود وارسته عادل از سازمان کشاورزی کرمانشاه تهیه شد. عدس، ماش سبز و ماش سیاه از فروشگاه‌های محلی در ارومیه خریداری شد. بذرهایی تمیز و بدون آلودگی حبوبات به مدت ۲ روز در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند تا مراحل زیستی احتمالی موجود از حشرات انباری از بین برود (Field and Korunic, 2000). به منظور تعدیل شرایط آزمایش در دانه‌های حبوبات، دانه‌ها به مدت یک هفته در دما، رطوبت و دوره نوری محیط آزمایش در ژرمیناتور نگهداری شدند.

نانوسیلیکا

در تحقیق حاضر از دو فرمولاسیون مختلف نانوسیلیکا استفاده شد. فرمولاسیون خارجی Aerosil® 200 از شرکت Evonik Industries AG آلمان خریداری شد. میانگین اندازه ذرات این فرمولاسیون ۱۲ نانومتر بود. ترکیبات تشکیل دهنده این فرمولاسیون طبق نتایج آنالیز با اشعه X (XRD) شامل $SiO_2 > 99\%$ ، $Fe < 20\text{ ppm}$ ، $Na < 50\text{ ppm}$ ، $Ca < 70\text{ ppm}$ ، $Ti < 120\text{ ppm}$ بود. فرمولاسیون ایرانی نانوسیلیکا Nanosav (کد ۲۰۲۱) با میانگین اندازه ذرات ۳۰-۲۰ نانومتر از شرکت نانوساو خریداری شد. مواد تشکیل دهنده ذرات نانوساو عبارت بودند از: $SiO_2 > 98\%$ ، $loss\ on\ drying < 5\%$ ، $Na\ content\ as\ Na_2O, 0.393\%$ ، $Ca\ content\ as\ CaO, 0.294\%$ ، $Fe\ content\ as\ Fe_2O_3, 0.185\%$ ، $sulfate\ content\ as\ SO_3$

Rouhani et al. (2013) سمیت نانوذرات سیلیکا را روی لارو و حشرات کامل *C. maculatus* در توده لویا چشم بلبلی بررسی کردند. در پژوهش دیگری Debnath et al. (2011) اثر نانوذرات سیلیکای بی‌شکل را در کنترل سرخرطومی برنج *Sitophilus oryzae* L. مورد مطالعه قرار دادند. پژوهش‌های Rouhani et al. (2013) و Mesbah et al. (2017) نشان داد که می‌توان از نانوذرات سیلیکا به منظور تسهیل مدیریت تلفیقی سوسک چهار نقطه ای حبوبات *C. maculatus* در محصولات انباری استفاده کرد.

با توجه به اهمیت حفاظت از حبوبات انبار شده در برابر خسارت سوسک چهار نقطه ای حبوبات، هدف از پژوهش حاضر بررسی کارآیی دو فرمولاسیون داخلی و خارجی نانوسیلیکا در بازدارندگی تخم‌ریزی، میزان تفریخ تخم و ظهور حشرات کامل و همچنین کاهش وزن و تعداد نتاج سوسک چهار نقطه ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) روی پنج نوع حبوبات مختلف (لویا چشم بلبلی، ماش سیاه، ماش سبز، نخود و عدس) است.

مواد و روش‌ها

حشرات

سوسک چهار نقطه ای حبوبات از منبع پرورشی موجود در انستیتاروم حشره‌شناسی بخش گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه جمع‌آوری شد. با توجه به (Sharma et al. 2016)، ترجیح غذایی سوسک چهار نقطه ای حبوبات لویا چشم بلبلی است؛ لذا جمعیت اولیه حشرات روی لویا چشم بلبلی (وارسته مشهد) و در دمای 28 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 55 درصد و دوره روشنایی ۱۲ ساعت در انستیتاروم پرورش یافت. در تمامی آزمایشات از حشرات کامل یک‌روزه نر و ماده (با نسبت جنسی یکسان) استفاده شد. تشخیص حشرات نر و ماده طبق کلید شناسایی ارایه شده توسط Raina (1970); Bandra and Saxena (1995) صورت گرفت. به منظور تهیه

اضافه شد. حدود ۴ ساعت بعد حشرات کامل جدا شدند و بذور حاوی یک عدد تخم با استفاده از استریومیکروسکوپ جدا شدند. در صورت وجود بیشتر از یک تخم، تعداد تخم‌ها با استفاده از سوزن به یک عدد کاهش داده شد. بذور حاوی یک تخم به مدت یک روز در شرایط آزمایش نگهداری شدند، پس از آن تخم‌های یک‌روزه برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. هر تکرار شامل ظرف ۲۳۵ میلی‌لیتری حاوی ده عدد بذر از هر نوع حبوبات به طور جداگانه بود. تخم‌ها با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ذرات نانوسیلیکا به همراه شاهد (بدون نانوسیلیکا) در ۹ تکرار تیمار شدند. پس از افزودن ذرات نانوسیلیکا ظروف با درپوش فلزی بسته شده و به منظور توزیع یکنواخت مواد روی بذور، مدت ۵ دقیقه به آرامی با دست تکان داده شدند. سپس ظروف ۳۰ دقیقه با درپوش بسته ساکن ماندند تا نانوذرات ته‌نشین شوند، پس از آن درپوش ظروف باز شد و به منظور تهیه مناسب با پارچه توری و کش محکم بسته شد. ظروف در شرایط آزمایش نگهداری شدند. تعداد تخم‌های تفریخ شده ۷ روز پس از تیمار شمارش گردید و تخم‌های تفریخ نشده کنار گذاشته شد. به این ترتیب درصد تخم‌های تفریخ‌شده محاسبه گردید. به منظور بررسی ظهور حشرات کامل، تخم‌های تفریخ شده از ۱۵ روز پس از تیمار تا روز ۳۰ پس از تیمار به صورت روزانه بازدید می‌شد. حشرات کامل ظاهر شده شمارش گردیده و کنار گذاشته می‌شد تا از تخم‌گذاری مجدد جلوگیری شود. درصد ظهور حشرات کامل با فرمول Sharma and Thakur (2014a) محاسبه شد:

$$AE\% = \frac{Na}{Nt} \times 100$$

AE%: درصد ظهور حشرات کامل

Na: تعداد حشرات کامل ظاهر شده

Nt: تعداد کل تخم‌های گذاشته‌شده (تخم‌های موجود

در هر تکرار)

بازدارندگی تخم‌ریزی دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی حبوبات مختلف

در این آزمایش تأثیر بازدارندگی Aerosil® و Nanosav بر تخم‌ریزی سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات، روی پنج نوع حبوبات مختلف شامل: لوبیا چشم بلبلی، نخود، ماش سبز، ماش سیاه و عدس بررسی شد. روش کار مشابه با (Sahaf and Moharamipour (2008b); Lale and Abdulrahman (1999) با اندکی تغییر انجام شد. مقدار ده گرم از حبوبات مختلف داخل ظروف شیشه‌ای به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و با غلظت‌های مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نانوسیلیکا به همراه شاهد (بدون نانوسیلیکا) در ۹ تکرار تیمار شدند. پس از افزودن نانوسیلیکا روی بذور، ظروف با درپوش فلزی بسته شدند و مدت ۵ دقیقه با دست تکان داده شدند تا ذرات به طور کامل و یکنواخت با بذور مخلوط شوند. سپس ظروف به مدت ۳۰ دقیقه با درپوش بسته ساکن ماندند تا نانوذرات ته‌نشین شوند. پس از آن به هر ظرف ۳ جفت حشره کامل یک‌روزه نر و ماده اضافه شد و درپوش ظروف به منظور تهیه مناسب با توری و کش محکم بسته شد و در شرایط آزمایش قرار گرفت. پس از ۵ روز حشرات کامل جدا شدند و تعداد تخم‌های گذاشته شده روی تمامی بذور با استفاده از استریومیکروسکوپ شمارش گردید. درصد بازدارندگی تخم‌ریزی بر اساس تعداد تخم‌های شمارش شده و با استفاده از فرمول (Shakarami et al. (2004) محاسبه گردید:

$$OD\% = \left(1 - \frac{NEt}{NEc}\right) \times 100$$

OD%: درصد بازدارندگی تخم‌ریزی

NEt: تعداد تخم‌های گذاشته‌شده روی بذور تیمار شده

NEc: تعداد تخم‌های شمارش شده روی بذور شاهد

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی تفریخ تخم و ظهور حشرات کامل

ابتدا ۵۰ جفت حشره کامل یک‌روزه نر و ماده به ۲۰۰ گرم از حبوبات مورد آزمایش تمیز و بدون آلودگی

گزارش در جدول‌ها استفاده شد. تمامی مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی-کرامر (HSD) Tukey در سطح احتمال آماری ۵ درصد توسط نسخه ۲۲ نرم افزار SPSS انجام شد (SPSS, 2013).

نتایج

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی بازدارندگی تخم‌ریزی در حبوبات مختلف

در تمامی بذور (به جز عدس) و تمامی غلظت‌ها، میزان بازدارندگی تخم‌ریزی Aerosil® به طور معنی‌داری بیشتر از Nanosav بود اما در عدس این روند برعکس بود. در هر دو فرمولاسیون با افزایش غلظت، میزان بازدارندگی به طور معنی‌داری افزایش یافت. روند بازدارندگی تخم‌ریزی در تمامی غلظت‌های Nanosav به صورت عدس < ماش سیاه < نخود < ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی بود. همچنین، در فرمولاسیون Aerosil® نیز روند بازدارندگی تخم‌ریزی به ترتیب ماش سیاه < نخود < ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی < عدس بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان بازدارندگی در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Aerosil® در ماش سیاه، با میانگین ۹۶ درصد و کمترین میزان بازدارندگی با میانگین ۱۶ درصد در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Nanosav در لوبیا چشم بلبلی مشاهده شد. با توجه به نتایج، غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از هر دو ماده تأثیر کافی در بازدارندگی تخم‌ریزی سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات نداشت (جدول ۱).

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی تفریح تخم و ظهور حشرات کامل

میانگین درصد تفریح تخم شاهد در تمامی بذور به طور معنی‌داری بیشتر از بقیه غلظت‌ها بود و در بذره‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. در هر دو فرمولاسیون و تمامی بذور حبوبات با افزایش غلظت میزان تفریح تخم به طور معنی‌داری کاهش یافت.

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی درصد کاهش وزن حبوبات و نتاج ظاهر شده

روش کار بر اساس مقاله Sharma and Thakur (2014a) با اندکی تغییر انجام شد. تکرارها شامل بذور با وزن مشخص (۸۰ گرم) بودند که با غلظت‌های مورد نظر از هر دو فرمولاسیون شامل ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به همراه شاهد (بدون نانوسیلیکا) تیمار شدند. هر غلظت شامل ۹ تکرار بود که در ظروف ۳۰۰ میلی‌لیتری تهیه شدند. پس از افزودن نانوذرات، ظروف با درپوش فلزی بسته شدند و به منظور اختلاط یکسان ماده با بذور، مدت ۵ دقیقه با دست تکان داده شده و سپس ۳۰ دقیقه ساکن ماندند تا ته‌نشین شوند. پس از نیم ساعت، درپوش ظروف باز شد و به هر تکرار ۱۰ جفت حشره کامل (نر و ماده) یک‌روزه اضافه شد، سپس، درپوش ظروف به منظور تهویه مناسب با کش و توری محکم بسته شد. پس از ۱۴ روز حشرات کامل جداسازی شدند و ۳ ماه بعد، درصد کاهش وزن و تعداد نتاج ظاهر شده بررسی شد. بدین صورت که محتویات شیشه‌ها روی سینی استیل ریخته شد و سپس تمامی حشرات (زنده و مرده) جدا و شمارش شد. پس از آن بذور به طور کامل الک شد و فضولات، پودر باقی‌مانده و تمامی مواد خارج شد و باقیمانده توزین شده و به عنوان وزن ثانویه یادداشت گردید. پس از محاسبه وزن ثانویه، کاهش وزن بر اساس فرمول Sharma and Thakur (2014b) محاسبه شد:

$$WL\% = \frac{(IW - FW)}{IW} \times 100$$

WL%: درصد کاهش وزن

IW: وزن اولیه

FW: وزن ثانویه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمام آنالیزها با آزمون تجزیه واریانس یکطرفه انجام

شد. داده‌ها قبل از تجزیه آماری توسط $\text{Arcsin} \sqrt{\frac{x}{100}}$ نرمال شدند؛ ولی از داده‌های تغییر شکل نیافته برای

حشرات کامل با میانگین ۸۵ درصد در غلظت ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم از Nanosav مشاهده شد (جدول ۳).

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی کاهش وزن بذور

در تمامی بذور، کاهش وزن در شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از بقیه غلظت‌ها بود و همچنین با افزایش غلظت، میزان کاهش وزن به طور معنی‌داری کاهش یافت. با توجه به اینکه ماده مؤثرتر به میزان بیشتری از کاهش وزن جلوگیری می‌کند، در تمامی بذور به جز عدس، $\text{Nanosav} < \text{Aerosil}^{\text{®}}$ مؤثر بود و کاهش وزن کمتری را موجب شده است. میزان کاهش وزن در تمامی تیمارها و در بذور مختلف به طور معنی‌داری متفاوت بود و بر اساس میانگین بیشترین درصد کاهش وزن در نخود < ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی < ماش سیاه < عدس مشاهده شد. (جدول ۴).

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی تعداد نتاج

تعداد نتاج شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از بقیه غلظت‌ها بود. در تمامی بذور به جز عدس، $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ به طور معنی‌داری نسبت به Nanosav مؤثر بود و تعداد نتاج را به میزان بیشتری کاهش داد. در هر دو ماده با افزایش غلظت تعداد نتاج به طور معنی‌داری کاهش یافت. در شاهد و تمامی غلظت‌ها، میانگین تعداد نتاج در بذورهای مختلف تفاوت معنی‌داری داشت و به ترتیب بیشترین تعداد نتاج در نخود < ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی < ماش سیاه < عدس مشاهده شد (جدول ۵).

بحث

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی بازاریابی تخم‌ریزی در حبوبات مختلف

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار نانوذرات سیلیکا باعث کاهش تخم‌گذاری گردید. کمترین درصد بازاریابی تخم‌ریزی در لوبیا چشم بلبلی گزارش شد که می‌تواند به دلیل خصوصیات فیزیکی بذر از قبیل بافت و اندازه بذر که فاکتورهای مهمی در چسبیدن نانوذرات به پوست بذر و کاهش تخم‌ریزی روی آن‌ها بوده است، باشد.

همچنین در تمامی بذور، فرمولاسیون $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ تفریخ تخم را به میزان بیشتری نسبت به Nanosav کاهش داد. در تمامی غلظت‌های هر دو فرمولاسیون میانگین درصد تفریخ تخم در بذورهای مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشت و به ترتیب ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی < ماش سیاه < نخود < عدس بود. مقایسه تیمارها نشان داد که کمترین میانگین درصد تفریخ تخم (بیشترین تلفات تخم) در عدس با میانگین ۱۳ درصد و به وسیله غلظت ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ و بیشترین درصد تفریخ تخم (کمترین تلفات تخم) در ماش سبز با میانگین ۸۸ درصد در غلظت ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم از Nanosav ایجاد شده است (جدول ۲).

میانگین درصد ظهور حشرات کامل شاهد، در تمامی بذور به طور معنی‌داری بیشتر از بقیه غلظت‌ها بود و بیشترین درصد در چشم بلبلی و ماش سبز و کمترین در عدس بود. در تمامی بذور، نانوذرات $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ درصد ظهور حشرات کامل را به میزان بیشتری نسبت به Nanosav کاهش دادند و با افزایش غلظت در هر دو ماده، میانگین درصد ظهور حشرات کامل به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما در ماش سبز، غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم در $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ تفاوت معنی‌داری در کاهش ظهور حشرات کامل نداشتند. در تمامی غلظت‌های هر دو فرمولاسیون درصد ظهور حشرات کامل در بذورهای مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشت و بر اساس میانگین‌ها به ترتیب ماش سبز < لوبیا چشم بلبلی < ماش سیاه < نخود < عدس بود. اما در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ و غلظت ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از Nanosav تفاوت معنی‌داری بین ماش سبز و لوبیا چشم بلبلی نبود، همچنین در ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم از Nanosav، لوبیا چشم بلبلی تفاوت معنی‌داری با ماش سبز و ماش سیاه نداشت. کمترین درصد ظهور حشرات کامل در عدس با میانگین ۱ درصد در غلظت ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از $\text{Aerosil}^{\text{®}}$ و بیشترین درصد ظهور

جدول ۱. درصد بازدارندگی تخم‌ریزی (میانگین ± خطای معیار) سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات روی حبوبات مختلف تیمار شده با Aerosil® و Nanosav

Table 1. Oviposition deterrence percentage (mean±SE) of *Callosobruchus maculatus* on different pulses treated with Aerosil® and Nanosav

Pulses	Concentration (mg/kg)								<i>F</i> _{7,64}
	Nanosav				Aerosil®				
	50	100	200	300	50	100	200	300	
Cowpea	16.7 ± 0.0 ^{Hd}	30.9 ± 0.3 ^{Fe}	48.0 ± 0.0 ^{De}	67.2 ± 0.1 ^{Be}	24.0 ± 0.0 ^{Gd}	38.0 ± 0.0 ^{Ed}	55.0 ± 0.0 ^{Cd}	76.2 ± 0.2 ^{Ad}	11716.5 ^{**}
Green gram	18.3 ± 0.3 ^{Hd}	39.0 ± 0.0 ^{Fd}	55.0 ± 0.0 ^{Dd}	73.2 ± 0.1 ^{Bd}	27.8 ± 0.4 ^{Gc}	53.3 ± 0.4 ^{Ec}	63.3 ± 0.1 ^{Cc}	80.0 ± 0.2 ^{Ac}	5883.2 ^{**}
Black gram	34.8 ± 0.6 ^{Fb}	48.0 ± 0.0 ^{Eb}	63.0 ± 0.0 ^{Db}	83.8 ± 0.1 ^{Bb}	43.5 ± 0.6 ^{Ea}	59.5 ± 0.1 ^{Da}	73.9 ± 0.6 ^{Ca}	96.6 ± 0.1 ^{Aa}	3954.6 ^{**}
Chickpea	23.6 ± 1.1 ^{Hc}	41.3 ± 0.7 ^{Fc}	58.5 ± 0.1 ^{Dc}	75.0 ± 0.0 ^{Bc}	35.2 ± 0.0 ^{Gb}	54.7 ± 0.2 ^{Eb}	64.6 ± 0.1 ^{Cb}	87.0 ± 0.1 ^{Ab}	1622.1 ^{**}
Lentil	46.0 ± 0.0 ^{Fa}	58.4 ± 0.1 ^{Da}	84.8 ± 0.0 ^{Ba}	91.6 ± 0.1 ^{Aa}	21.7 ± 0.1 ^{He}	31.0 ± 0.2 ^{Ge}	52.3 ± 0.3 ^{Ee}	67.0 ± 0.2 ^{Ce}	18200.2 ^{**}
<i>F</i> _{4,40}	393.5 ^{**}	726.8 ^{**}	34738.2 ^{**}	10079.2 ^{**}	733.7 ^{**}	2112.9 ^{**}	673.4 ^{**}	5117.1 ^{**}	

Means followed by the same uppercase letter within each row and lowercase letter in each column are not significantly different using Tukey's test at $p < 0.05$.

جدول ۲. درصد تفریح تخم (میانگین ± خطای معیار) سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات روی حبوبات مختلف تیمار شده با Aerosil® و Nanosav

Table 2. Egg hatching percentage (mean±SE) of *Callosobruchus maculatus* on different pulses treated with Aerosil® and Nanosav

Pulses	Concentration (mg/kg)									<i>F</i> _{7,64}
	Control	Nanosav				Aerosil®				
		50	100	200	300	50	100	200	300	
Cowpea	100 ± 0.0 ^{Aa}	82.0 ± 0.0 ^{Bb}	74.0 ± 0.1 ^{Db}	66.0 ± 0.1 ^{Fb}	54.0 ± 0.0 ^{Hb}	78.0 ± 0.0 ^{Cb}	70.0 ± 0.0 ^{Eb}	62.2 ± 1.5 ^{Gb}	44.4 ± 1.8 ^{Ib}	863.6 ^{**}
Green gram	100 ± 0.0 ^{Aa}	88.0 ± 0.1 ^{Ba}	80.0 ± 0.2 ^{Da}	72.2 ± 1.5 ^{Fa}	61.1 ± 1.1 ^{Ha}	84.0 ± 0.0 ^{Ca}	76.0 ± 0.0 ^{Ea}	68.2 ± 0.0 ^{Ga}	52.2 ± 1.5 ^{Ia}	656.5 ^{**}
Black gram	100 ± 0.0 ^{Aa}	77.0 ± 0.0 ^{Bc}	69.0 ± 0.0 ^{Dc}	61.2 ± 0.0 ^{Fc}	50.2 ± 0.0 ^{Hc}	73.0 ± 0.0 ^{Cc}	65.0 ± 0.0 ^{Ec}	58.0 ± 1.0 ^{Gc}	33.3 ± 1.7 ^{Ic}	1606.8 ^{**}
Chickpea	97.8 ± 1.5 ^{Aa}	70.0 ± 0.2 ^{Bd}	62.0 ± 0.6 ^{Dd}	54.0 ± 0.0 ^{Fd}	43.0 ± 0.0 ^{Hd}	66.0 ± 0.0 ^{Cd}	58.0 ± 0.0 ^{Ed}	50.0 ± 0.0 ^{Gd}	24.4 ± 1.8 ^{Id}	237.1 ^{**}
Lentil	96.7 ± 1.7 ^{Aa}	64.0 ± 0.0 ^{Be}	56.0 ± 0.0 ^{De}	48.0 ± 0.0 ^{Fe}	37.0 ± 0.0 ^{He}	60.0 ± 0.0 ^{Ce}	52.0 ± 0.0 ^{Ee}	44.0 ± 0.0 ^{Ge}	13.3 ± 1.7 ^{Ie}	223.2 ^{**}
<i>F</i> _{4,40}	2.5 ^{ns}	6364.1 ^{**}	1090.2 ^{**}	151.9 ^{**}	357.1 ^{**}	10287.4 ^{**}	11386.7 ^{**}	144.0 ^{**}	83.2 ^{**}	

Means followed by the same uppercase letter within each row and lowercase letter in each column are not significantly different using Tukey's test at $p < 0.05$.

جدول ۳. درصد ظهور حشرات کامل (میانگین \pm خطای معیار) سوسک چهار نقطه‌ای حیوانات روی حیوانات مختلف تیمار شده با Aerosil[®] و Nanosav

Table 3. Adult emergence percentage (mean \pm SE) of *Callosobruchus maculatus* on different pulses treated with Aerosil[®] and Nanosav

Pulses	Concentration (mg/kg)										$F_{7,64}$
	Nanosav					Aerosil [®]					
	Control	50	100	200	300	50	100	200	300		
Cowpea	98.9 \pm 1.1 ^{Aa}	80.0 \pm 0.0 ^{Bab}	71.1 \pm 1.1 ^{CDb}	62.2 \pm 1.5 ^{Eb}	47.8 \pm 1.5 ^{Ga}	74.4 \pm 1.8 ^{BCa}	66.7 \pm 1.7 ^{DEa}	55.6 \pm 1.8 ^{Fa}	37.8 \pm 1.5 ^{Hb}	178.3 ^{**}	
Green gram	98.9 \pm 1.1 ^{Aa}	85.6 \pm 1.8 ^{Ba}	78.9 \pm 1.1 ^{Ca}	68.9 \pm 1.1 ^{Ea}	55.6 \pm 1.8 ^{Fa}	75.6 \pm 1.8 ^{CDa}	71.1 \pm 1.1 ^{DEa}	60.0 \pm 0.0 ^{Fa}	45.6 \pm 1.8 ^{Ga}	137.4 ^{**}	
Black gram	97.8 \pm 2.2 ^{Aab}	74.4 \pm 1.8 ^{Bb}	64.4 \pm 1.8 ^{Cc}	53.3 \pm 1.7 ^{DEc}	35.6 \pm 1.8 ^{Fb}	60.0 \pm 0.0 ^{CDb}	50.0 \pm 2.4 ^{Eb}	40.0 \pm 1.7 ^{Fb}	24.4 \pm 1.8 ^{Gc}	144.4 ^{**}	
Chickpea	94.4 \pm 1.8 ^{Aab}	65.6 \pm 1.8 ^{Bc}	56.7 \pm 1.7 ^{Cd}	42.2 \pm 1.5 ^{Dd}	25.6 \pm 1.8 ^{Ec}	53.3 \pm 1.7 ^{Cc}	42.2 \pm 1.5 ^{Dc}	27.8 \pm 2.2 ^{Ec}	12.2 \pm 1.5 ^{Fd}	133.7 ^{**}	
Lentil	92.2 \pm 1.5 ^{Ab}	55.6 \pm 2.9 ^{Bd}	44.4 \pm 1.8 ^{Ce}	23.3 \pm 1.7 ^{Ee}	11.1 \pm 3.1 ^{Fd}	45.6 \pm 1.8 ^{Cd}	33.3 \pm 1.7 ^{Dd}	14.4 \pm 1.8 ^{EFd}	1.1 \pm 1.1 ^{Ge}	106.7 ^{**}	
$F_{4,40}$	4.6 ^{**}	39.7 ^{**}	74.9 ^{**}	139.7 ^{**}	38.7 ^{**}	61.5 ^{**}	84.8 ^{**}	118.8 ^{**}	143.7 ^{**}		

Means followed by the same uppercase letter within each row and lowercase letter in each column are not significantly different using Tukey's test at $p < 0.05$.

جدول ۴. درصد کاهش وزن (میانگین \pm خطای معیار) ایجاد شده توسط سوسک چهار نقطه‌ای حیوانات روی حیوانات مختلف تیمار شده با Aerosil[®] و Nanosav

Table 4. Loss weight percentage (mean \pm SE) caused by *Callosobruchus maculatus* on different pulses treated with Aerosil[®] and Nanosav

Pulses	Concentration (mg/kg)										$F_{7,64}$
	Nanosav					Aerosil [®]					
	Control	50	100	200	300	50	100	200	300		
Cowpea	54.0 \pm 0.1 ^{Ad}	47.0 \pm 0.1 ^{Bd}	41.0 \pm 0.1 ^{Cd}	35.0 \pm 0.1 ^{Ed}	29.0 \pm 0.6 ^{Fd}	42.0 \pm 0.1 ^{Cd}	37.0 \pm 0.1 ^{Dd}	30.0 \pm 0.1 ^{Fd}	24.0 \pm 0.1 ^{Gd}	1581.3 ^{**}	
Green gram	60.0 \pm 0.4 ^{Ac}	56.0 \pm 0.6 ^{Bc}	50.0 \pm 0.4 ^{Cc}	45.0 \pm 0.5 ^{Dc}	39.0 \pm 0.4 ^{Ec}	50.0 \pm 1.0 ^{Cc}	45.0 \pm 0.2 ^{Dc}	40.0 \pm 0.1 ^{Ec}	31.7 \pm 0.2 ^{Fc}	333.7 ^{**}	
Black gram	66.8 \pm 0.0 ^{Ab}	60.0 \pm 0.3 ^{Bb}	55.0 \pm 0.3 ^{Db}	52.0 \pm 0.0 ^{Eb}	46.2 \pm 0.1 ^{Gb}	57.0 \pm 0.0 ^{Cb}	50.0 \pm 0.0 ^{Fb}	44.0 \pm 0.0 ^{Hb}	38.1 \pm 0.1 ^{lb}	1946.8 ^{**}	
Chickpea	70.0 \pm 0.0 ^{Aa}	67.2 \pm 0.0 ^{Ba}	62.0 \pm 0.0 ^{Ca}	58.0 \pm 0.0 ^{Da}	50.0 \pm 0.0 ^{Ga}	62.0 \pm 0.0 ^{Ca}	57.0 \pm 0.0 ^{Ea}	52.0 \pm 0.0 ^{Fa}	45.0 \pm 0.0 ^{Ha}	4368.4 ^{**}	
Lentil	41.2 \pm 0.0 ^{Ae}	29.3 \pm 0.4 ^{Ce}	23.0 \pm 0.2 ^{Ee}	16.0 \pm 0.1 ^{He}	10.4 \pm 0.1 ^{Ie}	34.0 \pm 0.0 ^{Be}	27.5 \pm 0.1 ^{De}	21.0 \pm 0.0 ^{Fe}	18.0 \pm 0.0 ^{Ge}	3869.9 ^{**}	
$F_{4,40}$	3868 ^{**}	1535.2 ^{**}	4103.2 ^{**}	5071.2 ^{**}	2729.4 ^{**}	607.4 ^{**}	6077.2 ^{**}	8263.2 ^{**}	5703.8 ^{**}		

Means followed by the same uppercase letter within each row and lowercase letter in each column are not significantly different using Tukey's test at $p < 0.05$.

جدول ۵. تعداد نتاج ظاهر شده (میانگین \pm خطای معیار) سوسک چهار نقطه‌ای حیوانات روی حیوانات مختلف تیمار شده با Aerosil[®] و Nanosav

Table 5. Number of progeny production (mean \pm SE) of *Callosobruchus maculatus* on different pulses treated with Aerosil[®] and Nanosav

Pulses	Concentration (mg/kg)										<i>F</i> _{7,64}
	Nanosav					Aerosil [®]					
	Control	50	100	200	300	50	100	200	300		
Cowpea	1000 \pm 18.6 ^{Ad}	650.0 \pm 2.0 ^{Bd}	400.0 \pm 3.7 ^{Cd}	250 \pm 1.9 ^{Dd}	180 \pm 0.0 ^{Ed}	400.0 \pm 6.2 ^{Cd}	250.00 \pm 2.1 ^{Dd}	200 \pm 3.7 ^{Ed}	108.9 \pm 3.2 ^{Fd}	2156.3 ^{**}	
Green gram	1317 \pm 2.9 ^{Ac}	950.0 \pm 1.9 ^{Bc}	650.0 \pm 3.0 ^{Dc}	350 \pm 1.9 ^{Fc}	220 \pm 2.0 ^{Hc}	700.0 \pm 6.2 ^{Cc}	450.00 \pm 1.3 ^{Ec}	250 \pm 1.3 ^{Gc}	150.0 \pm 1.0 ^{Lc}	14115.9 ^{**}	
Black gram	1600 \pm 6.0 ^{Ab}	1200 \pm 3.7 ^{Bb}	800.0 \pm 3.0 ^{Db}	500 \pm 3.0 ^{Fb}	370 \pm 1.6 ^{Gb}	1000 \pm 8.5 ^{Cb}	600.00 \pm 3.0 ^{Eb}	350 \pm 1.4 ^{Hb}	250.0 \pm 1.3 ^{lb}	14821.6 ^{**}	
Chickpea	2000 \pm 3.7 ^{Aa}	1700 \pm 4.2 ^{Ba}	1300 \pm 3 ^{Da}	950 \pm 1.0 ^{Fa}	600 \pm 1.9 ^{Ha}	1343 \pm 1.3 ^{Ca}	1002.2 \pm 3.7 ^{Ea}	700 \pm 2.5 ^{Ga}	450.0 \pm 0.9 ^{La}	23481.6 ^{**}	
Lentil	308.9 \pm 2.7 ^{Ae}	199.3 \pm 1.5 ^{Ce}	107.2 \pm 1.5 ^{Fe}	65.0 \pm 0.0 ^{He}	40.0 \pm 0.4 ^{le}	250.0 \pm 1.0 ^{Be}	190.00 \pm 0.6 ^{De}	120 \pm 0.5 ^{Ee}	81.30 \pm 0.3 ^{Ge}	8170.3 ^{**}	
<i>F</i> _{4,40}	5468.3 ^{**}	32006.4 ^{**}	14551.1 ^{**}	41460.9 ^{**}	25737.9 ^{**}	6477.2 ^{**}	15003.1 ^{**}	5698.5 ^{**}	2368.7 ^{**}		

Means followed by the same uppercase letter within each row and lowercase letter in each column are not significantly different using Tukey's test at $p < 0.05$.

به ترتیب به ۳ و ۶ درصد رسید (Abd El-Aziz and Sherief, 2010).

بر اساس تحقیق (Sharma and Thakur (2014b) مشخص شد بیشتر ژنوتیپ‌های سویا و لوبیا چشم بلبلی که بافت پوسته بذر نرمی در مقایسه با نخود دارند بیشتر برای تخم‌ریزی *C. maculatus* ترجیح داده می‌شوند.

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی تفریح تخم و ظهور حشرات کامل

بر اساس نتایج (Sharma and Thakur (2014b) درصد ظهور حشرات کامل در لوبیا چشم بلبلی بیشتر از نخود بود که می‌تواند به دلیل فاکتورهای فیزیکی (اندازه بذر، پوشش بذر و...) و شیمیایی (میزان پروتئین، کربوهیدرات و...) موجود در بذر باشد که از رشد حشره جلوگیری می‌کند و نتایج تحقیق آنها با یافته‌های تحقیق ما در شاهد مطابقت دارد. همچنین تیمار نانوذرات سیلیکای آب‌گریز با بذر حبوبات مختلف شامل لوبیا چشم بلبلی، نخود، ماش سبز و ماش سیاه برای جلوگیری از آلودگی به سوسک حبوبات *C. maculatus*، موجب کاهش (تخم‌ریزی)، ظهور حشرات کامل در مقایسه با شاهد شد، همچنین میزان ظهور حشرات کامل با افزایش غلظت کاهش یافت (Arumugam et al., 2016) که یافته‌های آنها با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر نیز درصد تفریح تخم و ظهور حشرات بالغ در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار با دو فرمولاسیون نانوسیلیکا بود.

Lale and Abdulrahman (1999) گزارش کردند روغن بذر چریش (*Azadirachta indica* A. Juss) می‌تواند از طریق سوراخ میکروپیل به داخل کوریون تخم سوسک *C. maculatus* نفوذ کند و از طریق خفگی باعث مرگ جنین در حال رشد شود. نانوذرات سیلیکا به دلیل کوچکی اندازه و توان نفوذ به داخل پوسته تخم قادر هستند، جنین در هر حال رشد و حتی لارو سن اول که در داخل تخم ظاهر می‌شود را از بین ببرند و در نتیجه موجب کاهش درصد ظهور حشرات کامل در تخم‌های تیمار شده گردند. نتایج این مطالعه نشان داد که نانوسیلیکا باعث کاهش تفریح

بافت زبر لوبیا چشم بلبلی در مقایسه با سایر بذور یکی از دلایل چسبندگی کمتر نانوذرات سیلیکا به این بذر است. همچنین اندازه بزرگتر این بذر در مقایسه با سایر بذور مقادیر بیشتر و در حقیقت غلظت‌های بالاتری را برای محافظت مؤثر این نوع از حبوبات می‌طلبد، که این دو می‌تواند دلیل بالا بودن تعداد تخم در بذور تیمار شده این بذر نسبت به سایر بذرها باشد (Arumugam et al., 2016). نانوذرات سیلیکا باعث کاهش تعداد تخم در بذور تیمار شده گردید که از دلایل آن می‌توان به این مورد اشاره کرد: حشره بذور صاف را برای تخم‌گذاری ترجیح می‌دهد اما با چسبیدن ذرات نانو به بذر، سطح آن ناصاف شده و حشره به راحتی توان جابجایی و قرار گرفتن بر روی آن و تخم‌گذاری را ندارد (Radha and Susheela, 2014).

مکانیسم عمل نانوذرات سیلیکا مانند گردهای بی اثر فیزیکی می‌باشد (Ebeling, 1971). چسبیدن نانوذرات سیلیکا به تمام سطح بدن حشرات موجب اتصال ناقص حشرات کامل به همدیگر شده و از جفت‌گیری ممانعت می‌کند. بنابراین، باعث کاهش تخم‌ریزی روی بذور تیمار شده می‌گردد (Voigt et al., 2009).

Arumugam et al. (2016) گزارش کرد در حبوباتی نظیر نخود، ماش سیاه و ماش سبز تیمار شده با نانوذرات سیلیکا به استثنای لوبیا چشم بلبلی، پتانسیل باروری *C. maculatus* به طور معنی‌داری کاهش یافت و کاهش باروری با افزایش غلظت رابطه مستقیم داشت. در حقیقت نانوسیلیکای چسبیده به بذور تیمار شده، با حشره تماس یافته و موجب تأثیر در عملکرد حشره می‌شود، که این موضوع با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. Sabbour and Abd El-Aziz (2015) گزارش کردند در گندم تیمار شده با خاک دیاتومه معمولی و فرمولاسیون نانو آن، باروری حشرات کامل *T. castaneum* و *T. confusum* به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. هر چند پتانسیل نانوذرات خاک دیاتومه مؤثرتر از خاک دیاتومه معمولی بود.

همچنین میزان تخم‌گذاری *C. maculatus*، با کاربرد فرمولاسیون‌های Ca-DE و Al-DE خاک دیاتومه نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت و

در بذور تیمار شده لوبیا پهن (نوعی رقم باقلا) شد. همچنین در هیچ یک از غلظت‌های نانوسیلیکا (۰/۵، ۱ و ۲ گرم بر ۱۰۰ گرم بذر) نتاجی تولید نشد. در صورتی که میانگین تعداد نتاج ظاهر شده در تیمار شاهد ۲۴ عدد و در بذره‌های تیمار شده با سیلیکای معمولی به ترتیب ۱۰، ۵ و ۲ عدد حشره کامل در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ گرم بر ۱۰۰ گرم مشاهده شد. (Stathers et al. (2004 بیان کردند تولید نتاج در *C. maculatus* روی لوبیا چشم بلبلی تیمار شده با خاک دیاتومه Protect-It® با دوز ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی و Dryacide® با دوز ۰/۱ درصد وزنی در رطوبت ۵۰ درصد، بلافاصله پس از تیمار و ۳ ماه پس از تیمار، در مقایسه با شاهد کاهش یافت. Sabbour and Abd El-Aziz (2015) بیان کردند، درصد ظهور حشرات کامل نسل اول در گونه‌های *T. castaneum* و *T. confosum* روی گندم تیمار شده با خاک دیاتومه معمولی و نانو در دوز ۱ گرم بر کیلوگرم در فواصل زمانی ۲۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از تیمار نسبت به شاهد کاهش یافت و در خاک دیاتومه نانو این کاهش شدیدتر بود، به طوری که در فاصله ۱۲۰ روز پس از تیمار در شاهد در هر دو گونه درصد ظهور ۱۰۰ درصد بود اما در تیمار خاک دیاتومه نانو در *T. castaneum* و *T. confosum* به ترتیب ۲۲ و ۱۴ درصد و در تیمار خاک دیاتومه معمولی به ترتیب ۳۹ و ۳۶ درصد بود.

Debnath et al. (2012) سمیت سلولی نانوذرات سیلیکا را در (محیط زنده) بافت سلولی فیروپلاست انسانی و سمیت حاد گوارشی را در موش‌ها مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که نانوذرات برای پستانداران تا حدودی غیر سمی هستند. هر چه اندازه ذرات بزرگتر باشد (مانند سیلیکای معمولی با اندازه ذرات ۱۵۰ نانومتر) در مقایسه با ذرات کوچکتر (نظیر نانو ذرات سیلیکا با اندازه ۳۵ نانومتر) به میزان کمتری به بدن حشره می‌چسبند و تلفات کمتری ایجاد می‌کنند. می‌توان نتیجه گرفت نانوذرات سیلیکا در محافظت محصولات انباری بر علیه آفات انباری مؤثر بوده و با در نظر گرفتن رطوبت محصولات که فعالیت سیلیکا را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌تواند در غلظت‌های پایین نیز مؤثر واقع شوند.

تخم سوسک چهار نقطه ای حبوبات شد. این احتمال وجود دارد که تیمار تخم‌ها با نانوذرات سیلیکا سبب سایش پوسته تخم و از دست رفتن مایع موجود در تخم شده و پس از آن جنین از بین برود؛ همچنین ممکن است به دلیل اندازه بسیار کوچک، ذرات سیلیکا بتوانند به داخل پوسته بذر نفوذ کرده و سبب مرگ جنین شوند.

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی کاهش وزن بذور

Sharma and Thakur (2014b) میزان خسارت سوسک *C. maculatus* در چندین بذر از جمله لوبیا چشم بلبلی، نخود و سویا را روی درصد کاهش وزن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که درصد کاهش وزن در لوبیا چشم بلبلی به طور معنی‌داری بیشتر از نخود بود که نشان دهنده ترجیح غذایی سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات به لوبیا چشم بلبلی است. نتایج ما با یافته‌های این محققین مطابقت داشت و بیشترین کاهش وزن در لوبیا چشم بلبلی مشاهده شد.

با توجه به اینکه هر لارو سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات فقط داخل یک بذر رشد می‌کند و از طریق یک سوراخ خارج می‌شود، (Umeozor (2005 کاهش وزن سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات و تعداد سوراخ‌های ظهور حشرات کامل (معادل تعداد حشرات کامل) را روی لوبیا چشم بلبلی پس از ۲ نسل (۵۰ روز) تعیین کرد و تعداد حشرات ظاهر شده را معیاری از کاهش وزن بیان کرد. در تحقیق Umeozor طی آزمایش‌های آزمایشگاهی و محلی، رابطه معکوس به شدت معنی‌داری بین تعداد سوراخ‌های تغذیه‌ای/ظهور (تعداد حشرات کامل ظاهر شده) و کاهش وزن وجود داشت و با افزایش تعداد حشرات کامل ظاهر شده، کاهش وزن افزایش یافت که یافته او با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

اثر دو فرمولاسیون نانوسیلیکا روی تعداد نتاج

نتایج تحقیق Mesbah et al. (2017) نشان داد نانوذرات سیلیکا به طور معنی‌داری بیشتر از سیلیکای معمولی (coarse silica) باعث کنترل حشرات کامل سوسک چینی حبوبات *Callosobruchus chinensis* L.

از نانو ذرات سیلیکا روی آفات انباری دیگر و مواد غذایی دیگر و شرایط متفاوت بررسی شود.

سپاس‌گزاری

از مرکز تحقیقات کشاورزی دزفول و سازمان کشاورزی کرمانشاه بابت تهیه وارته‌های مورد نظر از لویا چشم بلبلی و نخود سپاسگزاریم. همچنین از گروه گیاهپزشکی-حشره‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه از بابت فراهم نمودن هزینه این پایان‌نامه و امکانات آزمایشگاهی سپاس‌گزاریم.

با توجه به نتایج کسب شده در مطالعه جاری، کارآیی Aerosil® در کاهش جمعیت *C. maculatus* روی حبوبات مختلف به جز عدس بیشتر از Nanosav بود. همچنین غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از Aerosil® بیشترین تأثیر را روی سوسک چهار نقطه ای حبوبات داشت. توصیه می‌شود تخم‌های گذاشته شده در آزمایش بازدارندگی تخم‌ریزی تا مرحله ظهور حشرات کامل بررسی شوند و با تعداد حشرات کامل ظاهر شده از تیمار تخم‌ها مقایسه شوند، تا کارآیی تیمار بذرها قبل از تخم‌گذاری و تیمار تخم‌ها (پس از تخم‌گذاری) در کاهش جمعیت حاصل و محافظت بهتر بذرها از حشرات در انبار مشخص شود. همچنین توصیه می‌شود آزمایش‌های دیگری با استفاده

REFERENCES

- Abd El-Aziz, S. E., and Sherief, M. A. 2010. Insecticidal effects of modified diatomaceous earth with different hydroxides (MOH, M= Na, Ca, Al) against *Callosobruchus maculatus* F. beetles (Coleoptera: Bruchidae) on stored cowpea grains. *Journal of Entomological Research*, 34 (1): 1-9.
- Abulude, F. O., Ogunkoya, M. O., Ogunleye, R. F., Akinola, A. O., and Adeyemi, A. O. 2007. Effect of palm oil in protecting stored grains from *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Entomology*, 4: 393-396.
- Arumugam, G., Veeramani, V., Shanmugavel, S., and Sundaram, J. 2016. Efficacy of nanostructured silica as a stored pulse protector against the infestation of bruchid beetle, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Applied Nanoscience*, 6: 445-450.
- Bandra, K. A. N. P., and Saxena, R. C. 1995. A technique for handling and sexing *Callosobruchus maculatus* F. adults (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 31 (1): 97-100.
- Barik, T., Kamaraju, R., and Gowswami, A. 2012. Silica nanoparticles: a potential new insecticide for mosquito vector control. *Parasitology Research*, 111 (3): 1075-1083.
- Dahiya, P. K., Linnemann, A. R., Van Boekel, M. A. J. S., Khetarpau, N., Grewal, R. B., and Nout, M. J. R. 2015. Mung Bean: Technological and Nutritional Potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55:670-688.
- Debnath, N., Das, S., Seth, D., Chandra, R. Ch., Bhattacharya, S., and Goswami, A. 2011. Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* L. *Journal of Pest Science*, 84 (1): 99-105.
- Debnath, N., Das, S., Patra, P., Mitra, S., and Goswami, A. 2012. Toxicological evaluation of entomotoxic silica nanoparticle. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 94 (5): 944-951.

- Ebeling, W. 1971. Sportive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology*, 16: 123-158.
- Fields, P. G. 1998. Diatomaceous earth: advantages and limitations. In Jin, Z., Liang, Q., Liang, Y., Tan, X. and Guan, L. (Eds.) *Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-Product Protection*, Sichuan Publishing House of Science and Technology, Beijing, China, pp: 781-784.
- Field, P., and 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: 1-133.
- Golob, P. 1997. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research*, 18: 67-74.
- Jarpa-Parra, M. 2018. Lentil protein: a review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science and Technology*, 53: 892-903.
- Jayathilake, C., Visvanathan, R., Deen, A., Bangamuwage, R., Jayawardana, B., Nammi, S., and Liyanage, R. 2018. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (13): 4793-4806.
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L., and Chibbar, R. N. 2012. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108. (S1), S11–S26.
- Kéita, S. M., Vincent, C., Schmit, J-P., Ramaswamy, S., and Bélanger, A. 2000. Effects of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 36: 355-364.
- Korunic, Z. 1997. Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earths without conducting bioassays. *Journal of Stored Products Research*, 33 (3): 219-229.
- Korunic, Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 34: 87-97.
- Lale, N. E. S., and Abdulrahman, H. T. 1999. Evaluation of neem *Azadirachta indica* A. seed oil obtained by different methods and neem powder for the management of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in stored cowpea. *Journal of Stored Products Research*, 35: 135-143.
- Mesbah, A., Tayeb, El-S., Kordy, A., and Ghitheeth, H. 2017. Comparative insecticidal activity of nano and coarse silica on the Chinese beetle *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Bruchidae). *Alexandria Science Exchange Journal*, 38: 654-660.
- Radha, R., and Susheela, P. 2014. Studies on the life history and ovipositional preference of *Callosobruchus maculatus* reared on different pulses. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2 (6): 1-5.

- Raina, A. K. 1970. *Callosobruchus* spp. Infesting stored pulses (grain legumes) in India and a comparative study of their biology. *Indian journal of Entomology*, 32: 303-370.
- Rajaguru, A. S. B., and Ravindran, V. 1985. Metabolisable energy values for growing chicks of some feedstuffs from Sri Lanka. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36 (1): 1057-1064.
- Rouhani, M., Samih, M. A., and Kalantari, S. 2013. Insecticidal effect of silica and silver nanoparticles on the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Entomological Research*, 4 (4): 297-305.
- Sabbour, M. M. 2015. Entomotoxicity assay of nanoparticle 4-(silica gel Cab-O-Sil-750, silica gel Cab-O-Sil-500) against *Sitophilus oryzae* under laboratory and store conditions in Egypt. *Specialty Journal of Biological Sciences*, 1 (2): 7-13.
- Sabbour, M. M., and Abd El-Aziz, S. E. 2015. Efficacy of nano-diatomaceous earth against red flour beetle, *Tribolium castaneum* and confused flour beetle, *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) under laboratory and storage conditions. *Bulletin of Environment, Pharmacology, and Life Sciences*, 4 (7): 54-59.
- Sahaf, B. Z., and Moharramipour, S. 2008a. Fumigant toxicity of *Carum copticum* and *Vitex pseudo-negundo* essential oils against eggs, larvae and adults of *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Pest Science*, 81: 213-220.
- Sahaf, B. Z., and Moharramipour, S. 2008b. Comparative investigation on oviposition deterrence of essential oils from *Carum copticum* C.B. Clarke and *Vitex pseudo-negundo* on *Callosobruchus maculatus* (Haussk) Hand. I. MZT. in laboratory. *Iranian Journal of Medicine and Aromatic Plants*, 23 (4): 523-531. (in Farsi with English summary).
- Shakarami, J., Kamali, K., Moharramipour, S. and Meshkatassadat, M. H. 2004. Effects of three plant essential oils on biological activity of *Callosobruchus maculatus* F.(Coleoptera: Bruchidae). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 35(4): 965-972.
- Sharma, S., and Thakur, D. R. 2014a. Studies on the varietal preference of *Callosobruchus maculatus* on soybean genotypes. *Asian Journal of Biological Sciences*, 7 (5): 233-237.
- Sharma, S., and Thakur, D. R. 2014b. Comparative developmental compatibility of *Callosobruchus maculatus* on cowpea, chickpea and soybean genotypes. *Asian Journal of Biological Sciences*, 7: (6). 270-276.
- Sharma, R., Devi, R., Soni, A., Sharma, U., Yadav, S., Sharma, R., and Kumar, A. 2016. Growth and developmental responses of *Callosobruchus maculatus* (F.) on various pulses. *Legume Research: An International Journal*, 39: 840-843.
- SPSS. 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Stathers, T. E., Denniff, M., and Golob, P. 2004. The efficacy and persistence of diatomaceous earths admixed with commodity against four tropical stored products beetles. *Journal of Stored Products Research*, 40: 113-123.

Umeozor, O. C. 2005. Effect of the infection of *Callosobruchus maculatus* (Fab.) on the weight loss of stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 9 (1): 169-172.

Urbano, G., Porres, J. M., Frias, J., and Vidal-Valverde, C. 2007. Chapter 5. Nutritional value. In Yadav, S. S., McNeil, D., and Stevenson, P. C. (eds). *Lentil: An ancient crop for modern times*. Berlin: Springer, pp. 47-93.

Voigt, D., Peisker, H., and Gorb, S. 2009. Visualization of epicuticular grease on the covering wings in the Colorado potato beetle: a scanning probe approach. In Bhushan B., Fuchs H. (eds.). *Applied scanning probe methods XIII. Nano Science and Technology*, Heidelberg, Springer, pp. 1-16.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Oviposition deterrence, progeny reduction and weight loss by *Callosobruchus maculatus* (F.) in pulses treated with two nanosilica formulations

R. Yousefnezhad Irani^{1*}, Y. Karimpour² and M. Ziaee³

1. ***Corresponding Author:** Ph.D. Candidate, Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran (yousefnezhad_r@yahoo.com)
2. Associate Professor, Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Agricultural Faculty, Urmia University, Urmia, Iran
3. Assistant Professor, Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Agricultural Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(DOI): 10.22055/ppr.2019.14149

Received: 3 November 2018

Accepted: 9 December 2018

Abstract

Background and Objectives

Legumes are an important source of protein for humans in the world. Leguminous food is mostly attacked in storage environments by several pests. *Callosobruchus maculatus* (F.) is considered as the main pest of pulses. Chemical insecticides and fumigants are the main methods to control stored product pests. Considering adverse effects of these compounds, it is needed to develop alternative control strategies that will be effective, biodegradable, cost-effective, and without any adverse effect on non-target organisms. Nano particles are the new generation of these safe products.

Materials and Methods

In this study, the effect of two silicon dioxide nanoparticles, Aerosil[®] and Nanosav was investigated on oviposition deterrence of *C. maculatus* in four concentrations viz. 50, 100, 200, and 300 mg.kg⁻¹ on 5 pulse seeds of cowpea, black gram, green gram, chickpea, and lentil. After treatment, pulse seeds were exposed to one-day old male and female adults. Five days after treatment the laid eggs were counted. The second experiment was carried out to evaluate the effect of two silica nanoparticles on egg hatching and adult emergence of pulse bruchid. For this purpose, the legume seeds, each with a one-day old egg, were treated with the same concentrations; then the seeds were assessed for hatching eggs and emerging adults. In another experiment, the effect of these formulations was checked out on weight loss and progeny production after 3 months. Declared pulses were treated with the same concentrations and then exposed to 1-day old male and female adults. After 3 months, the percentage of weight loss and the number of produced progeny were recorded.

Results

The most oviposition deterrence was on black gram with the mean percentage of 96% in 300 mg.kg⁻¹ of Aerosil[®]. The least percentage of hatched eggs and emerged adults was on lentil with the mean of 13 and 1% with 300 mg.kg⁻¹ of Aerosil[®], respectively. The least weight loss was on lentil with the mean percentage of 10 with 300 mg.kg⁻¹ of Nanosav. The least progeny production was induced with 300 mg.kg⁻¹ of Nanosav on lentil with the mean number of 40 progeny.

Discussion

The results of this study showed that Aerosil[®] was more effective than Nanosav, but both silica nanoparticles had enough efficiency against infestation of *C. maculatus* and can be used effectively in the integrated management of *C. maculatus* in pulses.

Keywords: *C. maculatus*, Nano Silica, Pulses, Infestation, Integrated management