مقاله علمی پژوهشی
مجله دوفصل نامه
مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی
ISSN 2588-5073 چاپی
ISSN 2588-5081 الکترونیکی online
دوره ۱٤، شماره ۱، بهار و تابستان ۱٤۰٤
صفحه ۸۸-۷۷

Research Article
Genetic Engineering and Biosafety Journal 2025
Volume 14, Number 1, Pages: 77-88

http://gebsj.ir/

https://ecc.isc.ac/showJournal/23064

10.61882/gebsj.14.1.6

تاثیر قارچ‌های بیمارگر حشرات و خاک دیاتومه بر بید سیب‌زمینی *Phthorimaea operculella*

Effects of Entomopathogenic Fungi and Diatomaceous Earth on the Potato Tuber Moth, *Phthorimaea operculella*

شبنم صالحی[۱]، داود محمدی[۲*]، علی مهرور[۳]
Salehi Shabnam[1], Mohammadi Davoud*[2], Mehrvar Ali[3]

۱- کارشناسی ارشد، ۲- دانشیار، ۳- استاد،
گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
1. MSc, 2. Associate professor, 3. Professor,
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: *Corresponding Author, Email
mohamadi@azaruniv.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱- تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۸/۶)
Received: 2025/04/10 | Accepted: 2025/10/23 | Published: 2025/10/28

چکیده

رفرانس دهی این مقاله Citation

Salehi S, Mohammadi D, Mehrvar A. (2025). Comparing toxicity of some entomopathogenic fungi isolates and Diatomaceous earth, on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. Genetic Engineering and Biosafety Journal, 14 (1): 77-88. Doi: 10.61882/gebsj.14.1.6
URL: http://gebsj.ir/article-1-511-en.html

Abstract

The potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*, is a major pest of potato, particularly under storage conditions. Due to the adverse effects of chemical pesticides on human health and the environment, as well as the development of insecticide resistance, there is a growing need for safer control alternatives. This study evaluated the efficacy of several isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*-collected from East Azarbaijan and Tehran provinces-along with a diatomaceous earth formulation (InsectoSec®) against the larvae of *P. operculella*. Bioassay results showed that the CS1 isolate of *B. bassiana* was the most effective, with an LC_{50} of 6519 conidia/mL, while the DE isolate was the least effective, with an LC_{50} of 89026 conidia/mL. The LC_{50} for diatomaceous earth was 164 ppm. The time to symptom onset and mortality also varied among the isolates. The CS1 isolate demonstrated the lowest LT_{50} values, at 1.68 days for the highest concentration and 20.16 days for the lowest concentration tested. The LT_{50} for diatomaceous earth was 4.76 days at 500 ppm. Based on these findings, the SC1 isolate of *M. anisopliae* and the SA2 isolate of *B. bassiana* were identified as highly virulent. The diatomaceous earth formulation also exhibited acceptable control efficacy. In conclusion, both the identified fungal isolates and diatomaceous earth show promise as effective components in an integrated management program for the potato tuber moth.

Key words: *Beauveria bassiana,* Diatomaceous earth, Lethal time, *Metarhizium anisopliae*

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 14, Number 1, 2025

خلاصه

بید سیب‌زمینی *Phthorimaea operculella* از مهم‌ترین آفات انباری سیب‌زمینی است. روش‌های کنترل معمول اغلب بر اساس مواد شیمیایی تدخینی است که با وجود اینکه روش موثری در کاهش خسارت این آفت به‌شمار می‌آید، ولی باقیمانده آنها روی محصولات غذایی منجر به اثرات سوء زیست محیطی، مسمومیت‌های انسانی و مهمتر از همه بروز مقاومت در برابر آفت شده است. بنابراین روش‌های کنترل امن‌تر و استفاده از عوامل کنترل ترکیبی در بحث مدیریت این آفت در اولویت برنامه‌های تحقیقاتی است. در این بررسی تاثیر چند جدایه قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana*، یک جدایه از قارچ *Metarhizium anisopliae* (جمع‌آوری شده از استان‌های آذربایجان شرقی و تهران) و فرمولاسیون®InsectoSec خاک دیاتومه علیه لاروهای بید سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج اثرات کشندگی جدایه‌های مختلف نشان داد که به‌ترتیب جدایه‌های CS1 و DE با مقدار LD_{50} معادل ٦٥١٩ و ٨٩٠٢٦ اسپور بر میلی‌لیتر بیشترین و کمترین تاثیر را بر لاروهای بید سیب‌زمینی داشتند. مقدار LC_{50} خاک دیاتومه ١٦٤ ppm بدست آمد. مدت زمان لازم برای تاثیر قارچ بر لاروهای بید سیب‌زمینی در جدایه‌های بررسی شده یکسان نبود. جدایه CS1 سریعتر از سایر جدایه‌ها موجب مرگ و میر لاروها شده و کمترین مقدار LT_{50} مربوط به غلظت اول و دوم آن (١٠×١٠^{٦} و ٥×١٠^{٦} اسپور در میلی‌لیتر) با مقدار ١/٦٨ و ٢/١٦ روز بدست آمد. مقدار LT_{50} خاک دیاتومه در غلظت ppm٥٠٠ ٤/٧٦ روز بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق جدایه CS1 از قارچ بیمارگر *M. anisopliae* و جدایه SA2 قارچ بیمارگر *B. bassiana* در مقایسه با سایر جدایه‌ها از نظر سرعت و میزان کشندگی در کنترل بید سیب‌زمینی بهتر عمل کردند. خاک دیاتومه نیز تاثیر کنترلی خوبی بر بید سیب‌زمینی داشته و می‌تواند در برنامه مدیریت بید سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: دیاتومه، زمان کشندگی، *Beauveria bassiana*، *Metarhizium anisopliae*

مقدمه
Introduction

بید سیب‌زمین اولین بار در سال ١٨٥٥ توسط برتون به نام کرم سیب‌زمینی نام‌گذاری شد. زلر در سال ١٨٧٤ این آفت را برای توصیف بهتر *Gelechia operculella* نام‌گذاری نمود (Capinera, 2001; Trivedi & Rajagopal, 1992). طبق گزارشات ارائه شده بیش از ٦٠ گونه گیاهی اعم از زراعی و غیر زراعی قابلیت میزبانی بید سیب‌زمینی را دارند که در این بین ٥٢ گونه از تیره سولاناسه و جنس *Solanum* و از جنس‌های نزدیک آن هستند ولی به‌طور کلی می‌توان گفت که سیب‌زمینی میزبان ارجح و اصلی بید سیب‌زمینی است (Capinera, 2001). بیشترین میزان خسارت در مناطق گرم و انبارهای فاقد بهداشت وارد شده و گزارشات مختلف ٢٠ الی ١٠٠ درصد خسارت به محصول سیب‌زمینی را تایید کرده است (Adhikari *et al.* 2022). این آفت قدرت سازگاری بسیار بالایی با شرایط مختلف داشته، قدرت زاد و ولد و از پتانسیل بالایی نیز در بروز مقاومت به آفت‌کش‌ها دارد. همچنین هم در شرایط انباری و هم شرایط مزرعه‌ای قادر به ایجاد خسارت است و به راحتی توسط گونی‌های حمل سیب‌زمینی و غده‌های آلوده جابجا می‌شود (Abdallah, 2017).

کنترل این آفت اغلب با تکیه بر استفاده از آفت‌کش‌های مختلف در شرایط انباری و مزرعه‌ای صورت می‌گیرد. تبعات زیست محیطی استفاده از این ترکیبات و مهمتر از همه افزایش احتمال بروز مقاومت آفت به آفت‌کش‌های مختلف و باقی‌مانده سموم شیمیایی در غده‌های سیب‌زمینی نیاز به استفاده از روش‌های کنترلی امن‌تر را نشان می‌دهد. عوامل بیوکنترل و ترکیبات غیر شیمیایی جایگاه ویژه‌ای در برنامه مدیریت تلفیقی آفات دارد (Gautam *et al.* 2024). قارچ‌های بیمارگر حشرات از عوامل کنترل میکروبی می‌باشند که به‌دلیل اثرات سوء استفاده گسترده از سموم شیمیایی، جایگاه خوب و اثرات کنترلی قابل قبولی در برنامه‌های مدیریت آفات پیدا کرده‌اند. این عوامل سازگاری نسبتا مناسبی با

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

سایر روش‌های کنترلی به‌ویژه کنترل شیمیایی دارند (Faraji *et al*. 2013& 2016). این عوامل برای تولید انبوه نیاز به میزبان زنده ندارند و در محیط‌های کشت معمولی نیز قابل تکثیر هستند. هم‌چنین در فرم اسپور نسبت به شرایط محیطی مقاوم بوده و خاصیت انبارداری خوبی دارند (Butt *et al.* 2001). قارچ‌های بیمارگر حشرات گونه‌های مختلفی داشته و در سطح وسیعی برای کنترل آفات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این عوامل در طیف وسیعی در شرایط محیطی (از قبیل مناطق خشک تا گرمسیری، زیستگاه‌های خاکی تا آبی و آب‌وهوای سرد تا معتدل) پیدا می‌شوند و گروه‌های وسیعی از حشرات را مورد حمله قرار می‌دهند (Meyling *et al*. 2012). در بین بیشتر از ۷۵۰ گونه مختلف قارچ بیمارگر حشرات، بیشتر توجه‌ها به استفاده از گونه‌های متعلق به راسته Hypocreales، به‌دلیل دامنه میزبانی زیاد و پتانسیل تولید انبوه، متمرکز شده است (Butt *et al*. 2001). این گروه از قارچ‌ها به‌طور خاص حشرات را آلوده می‌کنند، و برای گیاهان یا جانوران دیگر بیماریزا نیستند. از جمله جنس‌های مهم قارچ‌های بیمارگر که به‌عنوان بیمارگر حشرات شناخته می‌شوند می‌توان به *Beauveria*، *Metarhizium*، *Isaria*، *Lecanicillium*، *Hirsutella* و *Entomophthorales* اشاره نمود. حدود ۸۰ درصد محصولات تجاری شده از قارچ‌های بیمارگر حشرات جنس‌های *Metarhizium* و *Beauveria* می‌باشند (de Faria & Wraight, 2007).

قارچ *B. bassiana* اولین بار بیشتر از ۱۸۰ سال قبل به‌عنوان عامل بیمارگر کرم ابریشم معرفی شد. در مطالعات بیشتر مشخص شد که این قارچ می‌تواند گونه‌های دیگری از حشرات را نیز بیمار کند. *Beauveria* شایع‌ترین عامل بیمارگر در حشرات بوده و روی بیش از ۷۰۰ گونه از حشرات موثر است و می‌تواند در محیط‌های اکولوژیکی متنوعی از جمله خاک، گیاه و حشره وجود داشته باشد. بعدها استفاده بیش از حد از حشره‌کش‌های شیمیایی و مشکلات پیش آمده در اکوسیستم‌های کشاورزی و جنگل‌ها نیروی محرکه برای توسعه *Beauveria* به‌عنوان عاملی جایگزین برای کنترل حشرات آفت ایجاد کرد. دو گونه از بین گونه‌های مختلف این قارچ *B. bassiana* و *B. brongniartii* به‌عنوان قارچ بیمارگر حشرات در سراسر جهان توسعه یافته و فرموله شده‌اند و برای کنترل حشرات آفت و حافظت از محصولات زراعی استفاده می‌شوند (De Faria & Wraight, 2007; Zimmerman 2007). جنس *Metarhizium* نیز یکی از مهم‌ترین قارچ‌های بیمارگرحشرات است که به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیکی در برابر طیف گسترده‌ای از حشرات آفت تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیماریزایی این قارچ اولین بار توسط مچنیکوف در سال‌های ۱۸۷۹ و ۱۸۸۰ کشف شد. این قارچ به دلایل مختلفی از جمله طیف میزبانی محدود، ایمنی، سازگاری با محیط زیست و سهولت در تولید انبوه مورد مطالعه گسترده قرار گرفته است (Greenfield *et al.* 2015). Bischoff *et al.* (2009) جنس *Metarhizium* را در ۹ گونه دسته‌بندی کرده‌اند که عبارتند از: *M. anisopliae*، *M. acridum*، *M. guizhouense*، *M. pingshaense*، *M. lepidiotae* و *M. majus*، *M. robertsii*، *M brunneum* ، و *M. globosum* که بعضی از این گونه‌ها عمومی و برخی اختصاصی می‌باشند. قارچ *M. anisopliae* عمومی بوده و بیش از هفت راسته از حشرات را بیمار می‌کند، در حالی که *M. acridum* به‌صورت اختصاصی عمل کرده و تنها حشرات خانواده Acrididae را مورد حمله قرارمی‌دهد (Gao *et al*. 2011). علاوه بر گونه قارچ بیمارگر جدایه‌های مختلفی که از آنها از مناطق مختلف جمع‌آوری شده‌اند می‌توانند اثرات کنترلی مختلفی نشان دهند و برای بدست آوردن موثرترین جدایه، نیازمند غربالگری آنها بر روی موجودات هدف هستیم تا بتوان موثرترین جدایه را مشخص و در بحث تولید انبوه و فرمولاسیون علیه آفت هدف مورد استفاده قرار داد. در یک مطالعه که تاثیر قارچ بیمارگر *B. bassiana* را در شرایط مزرعه‌ای بر بید سیب‌زمینی بررسی کرده مشخص گردید این قارچ با LC_{50} معادل ۲۸/۵۶ اسپور در میلی‌لیترکارایی بسیار بالایی در کنترل لاروهای این آفت داشت. همچنین در این بررسی مشخص گردید این بیمارگر پتانسیل کنترل شفیره و حتی تخم‌های بید سیب‌زمینی را هم دارد (Ibrahim *et al*. 2019). همچنین در بررسی مشابهی در شرایط مزرعه‌ای تاثیر چند عامل کنترلی از جمله غلظت ۳×۱۰^{۹} قارچ *B. bassiana* و *M. anisopliae* کاهش تا ۷۰ درصدی جمعیت بید سیب‌زمینی گزارش شد (Eltair *et al*. 2024). در یک بررسی دیگر مقدار LC_{50} دو قارچ بیمارگر *B. bassiana* و *M. anisopliae* علیه لاروهای بید سیب‌زمینی به‌ترتیب $۳/٤\times۱۰$ و $۸/٦۱\times۱۰^{۷}$ اسپور در میلی‌لیتر گزارش گردید که نشان دهنده کارایی بیشتر قارچ بیمارگر *B. bassiana* علیه لاروهای بید سیب‌زمینی می‌باشد (Sabbour, 2002). مطالعات متعدد دیگری کارایی خوب دو قارچ بیمارگر ذکر شده بر بید سیب‌زمینی را تایید کرده است (Dadaşoğlu *et al*. 2023; Zeleke *et al*. 2014; Zhang *et al*. 2022). هر چند با منابع ذکر شده کارایی قارچ‌های بیمارگر

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

حشرات در کنترل جمعیت بید سیب‌زمینی قابل تایید است ولی موضوع بسیار مهم تاثیر متفاوت جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگرحشرات است. فاکتورهای بسیار متعددی از جمله وضعیت کلیمایی منطقه، میزان بارش، شدت تابش نور خورشید، انواع و جمعیت حشرات میزبان، بافت خاک و تفاوت‌های ژنتیکی جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر در کارایی این عوامل موثر است. عوامل نامبرده موجب ایجاد تفاوت‌های ژنتیکی و انتخاب جدایه‌های سازگار با شرایط محیطی موجود می‌شود (Qayyum *et al.* 2021). بررسی جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر در معرفی موثرترین جدایه علیه هر آفتی مقدمه تولید صنعتی و کاربرد آن در شرایط مزرعه‌ای به‌صورت فرموله شده می‌باشد.

خاک دیاتومه یک ماده پودری است که از بقایای فسیلی جلبک‌های تک سلولی معروف به دیاتوم تشکیل شده است. خاک دیاتومه به لایه‌های مومی که در کوتیکول حشرات وجود دارند، آسیب می‌رسانند و باعث می‌شوند آب بدن حشره تبخیر شود و به‌دلیل کمبود آب در بدن حشره، منجر به مرگ آن می‌شود (Subramanyam & Roesli, 2000). خاک دیاتومه برای پستانداران بی‌خطر بوده و روی گونه‌های بسیار زیادی که آفت محسوب می‌شوند، مؤثر است و چون به‌صورت پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد و نحوه اثر آن به‌صورت فیزیکی است به ندرت باعث ایجاد مقاومت در حشرات می‌شود (Athanassiou *et al*. 2008). خاک دیاتومه چون خطراتی که سموم شیمیایی ایجاد می‌کند را ندارد می‌توان از آن به‌عنوان یکی از ایمن‌ترین حشره‌کش‌هایی که می‌توان در زمینه کشاورزی استفاده کرد، محسوب کرد. از این ماده می‌توان در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات(IPM) و در مواد غذایی به‌عنوان یک ماده محافظ و حشره‌کشی با دوام بالا برای کاهش خسارت ناشی از حشرات، بخصوص آفات انباری استفاده کرد (Korunic, 1998).

بررسی‌های متعددی تاثیر خاک دیاتومه را در کنترل آفات مختلف بخصوص آفات انباری گزارش کرده است. در مطالعه تاثیر خاک دیاتومه بر *Sitophilus granarius* مشخص گردید، کاربرد این عامل موجب افزایش مرگ و میر و کاهش زاد و ولد حشرات کامل می‌شود (Abd El-Aziz & Abd El-Ghany, 2018). در بررسی دیگری تاثیر فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه بر چند آفت انباری مطالعه شد. نتایج حاکی از وجود تفاوت در فرمولاسیون‌های مختلف در ایجاد مرگ و میر و زاد و ولد آفات انباری مورد بررسی بود همچنین مشخص گردید با افزایش زمان در معرض قرارگیری مرگ و میر افزایش یافت (Agrafioti *et al.* 2023). در مطالعه دیگری تاثیر دو فرمولاسیون خاک دیاتومه را بر دو آفت انباری شپشه برنج و سوسک آرد بررسی و مقادیر LC_{50} در فرمولاسیون موثر برابر ۲۷۰ و ٤٧٠ ppm گزارش گردید که نشان دهنده تاثیر بسیار خوب این عامل در کنترل آفات انباری می‌باشد (Korunić, 2016). مطالعات متعدد دیگری کارایی خوب خاک دیاتومه را در کنترل آفات مختلف حتی در شرایط مزرعه‌ای و انباری و مخلوط با دانه غلات گزارش کرده است (Rigopoulou *et al*. 2023; Shafighi *et al*. 2014; Hasani *et al*. 2022).

با توجه به اهمیت بید سیب‌زمینی به‌عنوان مهم‌ترین آفت انباری سیب‌زمینی در کشور و اهمیت کنترل بیولوژیک با استفاده از قارچ‌های بیمارگر و خاک دیاتومه که از امنیت بسیار بالایی برخوردار هستند، در این مطالعه به مقایسه اثرات کشندگی جدایه‌های مختلف دو قارچ بیمارگر حشرات و خاک دیاتومه پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها
Materials and Methods

پرورش بید سیب‌زمینی: دسته تخم‌های اولیه برای ایجاد کلنی از انسکتاریوم گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تهیه شد. دسته تخم‌ها روی غده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا در ظروف مستطیلی شکل به ابعاد ۲۰×۳۰ و با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر قرار گرفتند. جهت تهیه بستر خاکی برای تشکیل شفیره‌ها در کف ظروف از خاک الک شده توسط الک ٤٠ مش استریل استفاده شد (شکل ۱). غده‌های سیب‌زمینی حاوی لارو بید سیب‌زمینی در شرایط کنترل شده با دمای ۳± ۲۵ درجه سلسیوس و در دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) با رطوبت نسبی ۵±۵۰ درصد قرار گرفتند. حشرات کامل ظاهر شده، جهت تخم‌گیری به ظروف استوانه‌ای شکل پلاستیکی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

که دهانه آن با توری پارچه‌ای مسدود شده بود منتقل گردید. جهت تغذیه حشرات کامل، بالای ظروف روی توری پنبه آغشته به آب عسل ۱۰ درصد قرار گرفت. کاغذهای حاوی تخم بید سیب‌زمینی روزانه برداشت شده و برای انتقال روی غده‌های سیب‌زمینی برای تکثیر و یا مطالعات طراحی شده مورد استفاده قرارگرفت (Furong & Zhengue, 2003).



شکل ۱- ظروف پرورش بید سیب‌زمینی حاوی خاک استریل
Figure 1. Rearing containers of PTM, floor covered with sterill soil

تهیه جدایه‌های قارچی و خاک دیاتومه: سه جدایه از قارچ *B. bassiana* به نام‌های SA2، DE و OZ2 از آزمایشگاه پاتولوژی حشرات گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و یک جدایه از قارچ *M. anisopliae* با نام CS1 از گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه تهران برای انجام آزمایشات مربوطه تهیه شد. برای کشت قارچ‌ها از محیط کشت PDA استفاده شد. در این پژوهش از خاک دیاتومه با نام تجاری InsectoSec® ساخت شرکت Biofa آلمان استفاده شد.

تهیه سوسپانسیون قارچ‌های بیمارگر حشرات جهت زیست‌سنجی: از کشت‌های قارچی با طول دوره رشدی ۲۰ – ۱۴ روزه برای تهیه سوسپانسیون قارچی و انجام آزمایش‌های مربوطه استفاده شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل همراه با سه صدم درصد محلول Tween-80 درون ظروف پتری حاوی قارچ رشد یافته ریخته شده و به آرامی هم زده شد تا اسپورها از بافت قارچ‌ها جدا شوند. پس از ورتکس کردن سوسپانسیون آماده استفاده بود. برای تعیین غلظت سوسپانسیون از لام گلبول‌شمار Neubauer استفاده شد.

آزمایش‌های زیست‌سنجی

زیست‌سنجی لاروهای بید سیب‌زمینی با جدایه‌های مختلف قارچی: برای ارزیابی زهرآگینی جدایه‌های قارچ‌های مورد نظر، ابتدا آزمایش‌های مقدماتی به‌منظور تعیین محدوده غلظت‌های کشنده ۲۰ و ۸۰ درصد از جمعیت انجام شد. پس از تعیین غلظت‌های مورد نیاز، زیست‌سنجی لاروها به‌روش غوطه‌وری انجام شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون داخل بشرهای ۵۰ میلی‌لیتری استریل ریخته شده و لاروهای هشت روزه بید سیب‌زمینی داخل سوسپانسیون به‌مدت ۱۰ ثانیه غوطه‌ور شدند. در نهایت لارو تیمار شده با استفاده از پنس استریل به آرامی برداشته شده و هر کدام به‌صورت جداگانه درون چاهک‌های ول پلیت ۲۴ خانه استریل مفروش با کاغذصافی مرطوب توسط آب مقطر استریل قرار گرفتند. درون حفره‌های صفحه-چاهک قطعه سیب‌زمینی به‌عنوان غذای لاروها قرارگرفت. از آب مقطر استریل با Tween 80 به‌عنوان شاهد استفاده شد. ظروف آزمایش داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. شمارش لاروهای آلوده از ۲۴ ساعت تا هفت روز پس از شروع آزمایش صورت گرفت.

زیست‌سنجی لارو ۸ روزه بید سیب‌زمینی با خاک دیاتومه: هشت غلظت از خاک دیاتومه برای زیست‌سنجی و برای تعیین غلظت‌های ۲۰ و ۸۰ درصد کشندگی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا برای تهیه غلظت ۱۰۰۰ ppm مقدار ۰/۰۰۱ گرم از خاک دیاتومه توسط ترازوی حساس اندازه‌گیری شد و این مقدار به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل افزوده شد، سپس غلظت‌های مختلف تهیه شده و مورد مطالعه قرار گرفت. لاروهای ۸ روزه از غده‌های سیب‌زمینی که در انسکتاریوم گروه گیاه‌پزشکی نگه‌داری می‌شد، جداسازی شده هر لارو در غلظت‌های مشخص

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

شده خاک دیاتومه به‌روش غوطه‌وری به مدت ۱۰ ثانیه غوطه‌ور شده سپس به ظروف صفحه-چاهک ۲۴ تایی منتقل گردید و به مدت ۷ روز در داخل ژرمیناتور با دمای۲±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۴۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگه‌داری شد و میزان مرگ و میر به‌طور روزانه تا ۷ روز ثبت گردید.

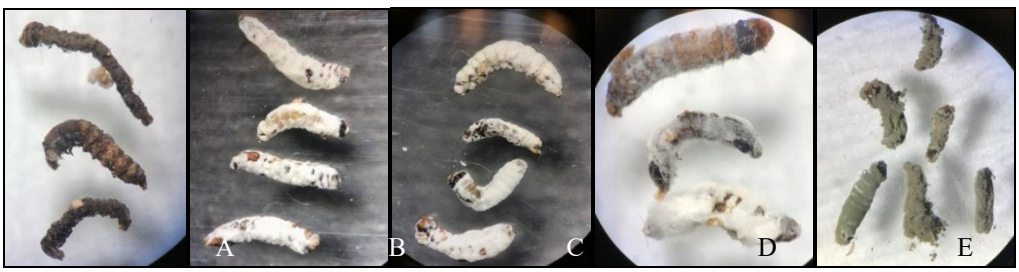
تعیین زمان کشندگی (LT) هر جدایه و خاک دیاتومه: تمامی مراحل زیست‌سنجی اشاره شده در بندهای قبلی جهت تعیین مقادیر LT_{50} هر جدایه و ترکیب تیماری مجدد طراحی شد. از دو غلظت مشابه ۱۰×۱۰^{۶} و ۵×۱۰^{۶} اسپور در میلی‌لیتر برای جدایه‌های قارچی و ۱۰۰۰ و ۵۰۰ ppm برای خاک دیاتومه استفاده شد. مرگ و میر لاروها در فواصل زمانی ۲۴ ساعته ثبت گردید.

تجزیه آماری: تیمارهای مختلف حداقل سه بار تکرار شدند. در صورت نیاز تبدیل داده مناسب برای آنالیز داده‌ها صورت گرفت. آنالیز نتایج زیست‌سنجی با تجزیه پروبیت و LT_{50} داده‌ها با نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ صورت گرفت. قالب طرح Anova1 کاملا تصادفی بود.

نتایج و بحث
Results and Discussion

نتایج اثرات کشندگی جدایه‌های مختلف و خاک دیاتومه بر لاروهای بید سیب‌زمینی

تاثیر جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر حشرات و خاک دیاتومه بر لاروهای بید سیب‌زمینی در شکل۲ و جدول۱ آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، ترتیب تاثیر جدایه‌ها بر اساس مقادیر LC_{50} آنها به‌صورت؛ CS1، SA2، OZ2 و DE می‌باشد. جدایه CS1 با مقدار LD_{50} معادل ۶۵۱۹ اسپور بر میلی‌لیتر بیشترین تاثیر را بر لاروهای بید سیب‌زمینی داشت و جدایه DE با مقدار ۸۹۰۲۶ اسپور بر میلی‌لیتر کمترین تاثیر را داشت. مقدار LC_{50} خاک دیاتومه ۱۶۴ ppm بدست آمد. شیب خط ۰/۷۲ این عامل بیشتر از جدایه‌های قارچ‌های بیمارگر حشرات بود. موضوع قابل توجه در این نتایج فاصله بین غلظت‌های کشنده ۵۰ تا ۷۵ درصد حشرات بود که در قارچ‌های بیمارگر حشرات عموما خیلی زیاد بود و این به آن معنی است که برای کسب مرگ و میر بالاتر در قارچ‌های بیمارگر حشرات به غلظت خیلی بالاتری از اسپورها نیاز داریم و همچنین در حالت کلی شیب خطوط غلظت-کشندگی در جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر حشرات در این مطالعه کم بود و همین موضوع هم موید نیاز به غلظت‌های بالاتر برای کشندگی بیشتر می‌باشد. مقادیر کیدو در تمام جدایه‌ها و همچنین خاک دیاتومه در درجه‌های آزادی مربوطه در سطح احتمال ۵ درصد غیر معنی‌دار بود که نشان دهنده یکنواخت بودن جمعیت حشرات و عدم اختلاف معنی‌دار در نتایج مشاهده شده و برآورد شده در تجزیه پروبیت می‌باشد.



شکل ۲- علائم مرگ و میر لاروهای بید سیب‌زمینی تحت تاثیر جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر و خاک دیاتومه

A: D. Earth, **B**:CS1, **C**: SA2, **D**: DE, **E**: OZ2

Figure 2. Mortality symptomes of potato tuber moth larvae affected by different isolates of EPF and D. Earth

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

جدول۱- اثرات کشندگی جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر و خاک دیاتومه بر لاروهای بید سیب‌زمینی

Table 1. Lethal toxicity of different isolates of entomopathogenic fungi and diatomaceous earth on potato tuber moth larvae

Treatments	Chi square			Slope±SE	LC_{25} (Fiducial limits)	LC_{50} (Fiducial limits)	LC_{75} (Fiducial limits)
	χ^2	DF	*P*				
CS1	6.5	8	0.59	0.48±0.045	275.8 82-597.5	6519.2 3460-11428	16872 87800-363292
DE	4.8	10	0.9	0.33±0.027	299.3 41.7-3411	89026 35321-230132	26473042 6551077-213145877
OZ2	3.46	6	0.75	0.292±0.049	335.1 15.4-1786	68588 22382-190067	14037827 3113933-211586076
SA2	2.85	7	0.9	0.25±0.042	76.04 2.33-493.3	37840 12069-107478	18831701 3447911-424963832
D. Earth	0.83	6	0.99	0.72±0.1	19.29 8.7-32.5	164.5 108.3-271	1403.3 710-4269

*واحد غلظت جدایه‌ها اسپور در میلی‌لیتر است و واحد غلظت خاک دیاتومه قسمت در میلیون (ppm) است.

*The concentration unites are conidia/ml and ppm for RPF and D. Earth respectively

مقادیر LT_{50} جدایه‌های قارچ‌های بیمارگر حشرات و خاک دیاتومه روی لاروها بید سیب‌زمینی

زمان لازم برای کشته شدن ۵۰ درصد لاروهای بید سیب‌زمینی تحت تاثیر دو غلظت $۱۰^{۶}\times۱۰$ و $۱۰^{۶}\times۵$ اسپور بر میلی‌لیتر از جدایه‌های مختلف در جدول ۲ خلاصه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود کمترین LT_{50} مربوط به غلظت اول جدایه CS1 با مقدار ۱/٦۸ روز بدست آمده است. غلظت دوم همین جدایه با مقدار ۲/۱٦ روز در مرتبه دوم قرار دارد. سرعت کشندگی این جدایه در مقایسه با سایر جدایه‌ها بیشتر است. مقدار محاسبه شده LT_{50} جدایه DE در غلظت اول ۳/۸۹ و در غلظت دوم ٤/۹٦ روز بدست آمد و از نظر سرعت تاثیر در مقایسه با سایر جدایه‌ها سرعت تاثیر کمتری داشت. مقادیر محاسبه شده برای LT_{50} جدایه OZ2 در غلظت اول ٤/۱ و در غلظت دوم ٤/۱۹ بدست آمد که در مقایسه با جدایه CS1 سرعت تاثیر آن کمتر بود. در جدایه SA2 مقادیر محاسبه شده برای LT_{50} در غلظت اول ۲/۸۹ و در غلظت دوم ٤/٥٦ روز بدست آمد که در مقایسه با جدایه اول (CS1) مقدار بیشتری بوده و سرعت تاثیر کمتر جدایه را نشان می‌دهد.

در مقایسه کارایی قارچ‌های بیمارگر، سرعت عمل قارچ برای از پا درآوردن حشره قبل از پوست‌اندازی و یا ظهور حشرات کامل و یا برای غلبه بر سیستم ایمنی بدن حشره اهمیت زیادی دارد. هرچقدر جدایه‌ای با سرعت بالا موفق به مرگ و میر در حشره مورد نظر شود در برنامه-های مدیریت آفات از ارزش بالاتری برخوردار می‌باشد. در این بررسی جدایه CS1 کمترین مقدار LT_{50} را داشته و سریع‌ترین قارچ در بین ایزوله‌های مورد بررسی بود.

خاک دیاتومه در غلظت ۱۰۰۰و ۵۰۰ ppm نصف جمعیت مورد بررسی لاروهای بید سیب‌زمینی را در ٤/۷٦ و ۵/۹۸ روز از بین برد. با توجه به ماهیت تاثیر فیزیکی این عامل بر جلد بدن و از دست دادن رطوبت و در نهایت مرگ حشره، رطوبت محیط تاثیر زیادی درکارایی این نوع ترکیبات دارد. در صورتی که رطوبت محیط کم بود (به‌دلیل استاندارد کردن شرایط، در این بررسی رطوبت تقریبا ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است) انتظار کاهش مقدار عددی LT_{50} وجود داشت ولی به هر حال تاثیر فیزیکی خاک دیاتومه زمانبر بود.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

جدول ۲- مقادیر LT_{50} دو غلظت از جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر و خاک دیاتومه علیه لاروهای بید سیب‌زمینی

Table 2. LT_{50} values of two concentrations of different entomopathogenic fungi isolates and diatomaceous earth, against potato tuber moth larvae

Treatments	Concentration	Chi square			Slope±SE	LT_{50} (Day) (Fiducial limits)
		χ^2	DF	*P* Value		
CS1	$10\times10^{6*}$	15.64	4	0.051**	2.92±0.31	1.68 (0.2-76.39)
	5×10^{6}	1.03	4	0.91	3.81±0.37	2.16(1.2-92.41)
DE	10×10^{6}	4.34	4	0.36	1.79±0.32	3.86(3.5-20.02)
	5×10^{6}	1.95	4	0.75	2.83±0.43	4.96(4.6-30.05)
OZ2	10×10^{6}	5.03	4	0.28	3.07±0.38	4.10(3.4-64.69)
	5×10^{6}	1.85	4	0.76	3.63±0.45	4.19(3.4-77.71)
SA2	10×10^{6}	1.55	4	0.82	2.81±0.63	2.89(2.3-16.73)
	5×10^{6}	1.84	4	0.76	3.89±0.42	4.56(4.5-19.03)
D. Earth	1000ppm	7.66	3	0.053	3.81±0.59	4.76(3.10-56.96)
	500ppm	4.53	3	0.21	2.86±0.56	5.98(58-8.09)

*واحد غلظت جدایه‌های مختلف، اسپور در میلی‌لیتر است. ** در تمام موارد کیدو غیر معنی‌دار می‌باشد.

*The concentration units are Conidia/ml.** Chi squairs are non-significant in all cases.

بحث: با توجه به مقایسه کارایی دو گونه متفاوت قارچ بیمارگر درکنترل لاروهای بید سیب‌زمینی، موضوع تفاوت در گونه قارچ مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در مشاهدات می‌باشد. بررسی‌های مختلفی کارایی همین دو گونه قارچ بیمارگر را در کنترل آفات مختلف بررسی و نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند. در مطالعه Eltir *et al*. (2024) که فرم تجاری قارچ‌های بیمارگر حشرات را علیه بید سیب‌زمینی مورد بررسی قرار داده مشخص گردید که گونه قارچ بیمارگر *B. bassiana*، در غلظت ۳×۱۰^۹ اسپور در میلی‌لیتر بهتر از همین غلظت قارچ *M. anisopliae* درکاهش جمعیت بید سیب‌زمینی موثر بوده است. در بررسی مشابهی مقادیر LC_{50} قارچ بیمارگر *B. bassiana* علیه لاروهای سن دوم بید سیب‌زمینی ۱/۹۸×۱۰^۸ اسپور/میلی‌لیتر گزارش شده است که در مقایسه با تحقیق حاضر کارایی کمتری داشته است (Hafez *et al*. 1994). در مطالعه دیگری (Shehzad *et al*. 2021) تاثیر همین دو گونه قارچی بر بید کلم *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) مقایسه شد. نتایج بررسی با روش مشابه بررسی حاضر، نشان داد که مقادیر LC_{50} قارچ بیمارگر *B. bassiana* برای سنین دوم و سوم بید کلم معادل ۱/۱٤×۱۰^۵ و ۳/۰۸×۱۰^۵ اسپور/میلی‌لیتر و قارچ بیمارگر *M. anisopliae* معادل ۱/۱٤×۱۰^٦ و ۲/۱۵×۱۰^٦ اسپور/میلی‌لیتر بدست آمد. در بررسی حاضر با توجه به تفاوت در جدایه‌ها، فرمولاسیون و وضعیت زیست‌سنجی و گونه حشره نتیجه متفاوت بود و قارچ بیمارگر *M. anisopliae* با LC_{50} معادل ٦/٥×۱۰^۳ بهتر از موثرترین جدایه (SA2) قارچ بیمارگر *B. bassiana* با LC_{50} معادل ۳۷×۱۰^۳ اسپور/میلی‌لیتر در مرگ و میر لاروهای بید سیب‌زمینی بود. همچنین شیب خطوط دوز اثر نیز در این تحقیق تقریبا مشابه بود و هر دو کمتر از ۰/۳ برآورد گردید. در مطالعه دیگری کشندگی جدایه‌های مختلف هر دو قارچ بیمارگر تفاوت داشته و در محدوده ۲/٥٤-٥/۰۸×۱۰^۸ متغیر بود (Nawaz & Freed, 2022) که با توجه به نتایج تحقیق حاضر تاثیر کمتری داشت. در مجموع با توجه به نتایج سایر محققین به‌نظر می‌رسد جدایه‌های قارچی مورد بررسی در تحقیق حاضر زهرآگینی بیشتری نسبت به بید سیب‌زمینی داشتند. تفاوت در کشندگی جدایه‌های مختلف قارچ بیمارگر *B. bassiana* علیه حشرات مختلف و مراحل مختلف رشدی آنها در تحقیقات مختلفی گزارش شده است (Idrees *et al*. 2022; Eslamizadeh *et al*. 2015; Safavi *et al*. 2010). تفاوت تاثیر جدایه‌های مختلف یک قارچ بیمارگر به عوامل متعددی بستگی دارد. این عوامل علاوه بر تفاوت در گونه حشره، به عوامل دیگری همچون تفاوت‌های ژنتیکی و سازگاری قارچ‌های بیمارگر، تعامل آنها با گونه مورد نظر و مرحله زیستی و فیزیولوژی حشره آفت بستگی دارد (Qayyum *et al*. 2021; Sharma *et al*. 2022). تفاوت در تاثیر جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر حشرات، بر یک گونه حشره و مراحل مختلف رشدی آن در مطالعات مختلف ثبت شده است (Rodríguez *et al*. 2009; Oreste *et al*.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

2015). مشخص شده است که جدایه‌های مختلف از نظر تحمل شرایط اقلیمی مختلف با توجه به منطقه جمع‌آوری متفاوت عمل کرده‌اند (Hallsworth & Magan, 1999; Fargues & Luz, 2000). همچنین حشرات میزبان، مرحله رشدی و وضعیت فیزیولوژیک آنها در تاثیرپذیری از قارچ‌های بیمارگر نقش مهمی دارد (Safavi *et al.* 2007; Kazemi Yazdi *et al*. 2011). حشراتی که در معرض استرس‌های مختلف قرار دارند درجات مختلفی از فعال شدن سیستم ایمنی در آن‌ها دیده می‌شود و میزان فعال بودن سیستم ایمنی در کارایی بیمارگرها نقش زیادی می‌تواند داشته باشد (Zibaee *et al*. 2010; Zhang *et al*. 2017; Lu & Leger, 2016). علاوه بر نفوذ، رشد و کشندگی جدایه‌های مختلف، میزان اسپورزایی قارچ‌های بیمارگر نیز در شرایط مختلف مربوط به قارچ بیمارگر، میزبان، محیط و تعامل بین آنها می‌تواند متفاوت باشد (Mwamburi *et al*. 2015) این موضوع در امر پایداری و تداوم کنترل حشرات نقش بسزایی دارد. رطوبت و دما نیز دو عامل بسیار مهم در کارایی قارچ‌ها بیمارگر حشرات هستند که نه تنها بیولوژی حشره و قارچ بیمارگر، بلکه تعامل بین این دو وقتی حشره به قارچ آلوده می‌شود را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Kiewnick, 2006). جدایه‌های مختلف، دما و رطوبت بهینه خود را دارند به همین دلیل بررسی و شناسایی جدایه‌های مختلف قارچی که بتوانند در شرایط اقلیمی آفت هدف، بهترین کارکرد را داشته باشند اهمیت بسیار زیادی دارد (Lacey & Croschel, 2009; Fargue *et al*. 1997). همچنین کارایی برخی گونه‌ها و جدایه‌ها بر روی حشرات خاصی بیشتر است بنابراین غربالگری جدایه‌های مختلف برای یافتن موثرترین جدایه لازم و ضروری است. در مطالعه حاضر تفاوت در کارایی جدایه‌های مختلف قارچ‌ها بیمارگر نشان دهنده ارزش بررسی و غربالگری برای معرفی جدایه مناسب می‌باشد.

در بررسی حاضر مقدار عددی LT_{50} برای جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر مختلف در محدوده ۱/٦٨ الی ٤/٩٦ روز بدست آمد. سرعت کشندگی قارچ‌های بیمارگر از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد. با توجه به واکنش بدن حشره به عوامل خارجی و نیز وضعیت فیزیولوژیک حشره از نظر پوست‌اندازی که در مجموع باید فرصت کافی برای رشد اسپور و نفوذ به کوتیکول و در نهایت نشو و نما در همولنف را به قارچ بیمارگر بدهد، هر چقدر سرعت تاثیر قارچ بیشتر باشد موفقیت این عوامل در کنترل آفات نیز بیشتر خواهد بود. در مقایسه جدایه‌های بررسی شده در تحقیق حاضر با جدایه‌های مورد بررسی در تحقیق Ibrahim *et al*. (2019) که در غلظت 10^{7}اسپور/میلی لیتر ۱/۲۱ روز بود، جدایه CS1 تحقیق حاضر غلظت مشابه ۱/٦٨ روز بود که تقریبا مشابهت بهتری در مقایسه با سایر جدایه‌ها داشت. در بررسی Nawaz & Freed (2022) که تاثیر جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر را بررسی کرده است مقدار عددی LT_{50} معادل ٦/٩٥–٤/٨ روز بدست آمد که در مقایسه با تحقیق حاضر بیشتر بود. زمان لازم برای کشندگی به عنوان یک فاکتور تاثیرگذار در غربالگری جدایه‌های مختلف قارچ‌های بیمارگر حشرات است. این زمان با افزایش غلظت جدایه کاهش میابد که در بررسی حاضر نیز این موضوع تایید شد.

خاک دیاتومه به‌عنوان یک عامل کنترل حشرات با اثر فیزیکی چه به‌صورت کاربرد انفرادی و چه به‌صورت تلفیق با سایر عوامل کنترلی اثرات خوبی بخصوص در آفات انباری نشان داده است (Baliota & Athanassiou, 2020; Khanbabayi *et al*. 2019; Zeni *et al*. 2021). در بررسی حاضر مقدار عددی LC_{50} برابر ١٦٤ ppm و در غلظت ppm٥٠٠ خاک دیاتومه LT_{50} معادل ٤/٧٦ روز برآورد گردید. هر چند با بررسی منابع صورت گرفته مطالعه مستقیم تاثیر خاک دیاتومه بر لاروهای بید سیب‌زمینی مشاهده نشد ولی سمیت مشاهده شده در تحقیق حاضر نشان از کارایی مناسب این ترکیب در کنترل بید سیب‌زمینی دارد. تاثیر بسیار خوب خاک دیاتومه در کنترل شفیره‌های بید سیب‌زمینی در بررسی Atay *et al.* (2021) مشاهده شد. با افزایش زمان در معرض قرارگیری مرگ و میر شفیره‌ها افزایش یافته و در تمام غلظت‌های مورد استفاده، هیچ حشره کاملی ظاهر نشد. به نظر می رسد با توجه به امنیت بالای خاک دیاتومه و کنترل موثر آن علیه بید سیب زمینی با مطالعات تکمیلی بتوان از این ترکیب در کنترل این آفت در شرایط انباری استفاده کرد. همچنین با مقایسه صورت گرفته با نتایج سایر محققین، کارایی جدایه‌های قارچ‌های بیمارگر مورد استفاده بخصوص جدایه CS1 در این مطالعه، از نظر کشندگی و سرعت تاثیر بهتر بود است. هر چند نتیجه نهایی در شرایط مزرعه‌ای و انباری بدست خواهد آمد ولی به‌نظر می‌رسد این جدایه قارچی، پتانسیل لازم برای کنترل لاروهای بید سیب‌زمینی در شرایط انباری و یا مزرعه‌ای را داشته باشد.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

تقدیر و تشکر: این مقاله حاصل نتایج بخشی از پایاننامه دوره کارشناسی ارشد حشره‌شناسی کشاورزی است که با تامین مالی و مساعدت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام شده است که بدین وسیله از معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، جهت در اختیار گذاشتن جدایه‌های قارچی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

References

Abd El-Aziz, S.E., & Abd El-Ghany, N.M. (2018). Impact of diatomaceous earth modifications for controlling the granary weevil, *Sitophilus granarius* (Linnaeus) (Coleoptera: curculionidae). Journal of Agricultural Science and Technology, 20, 519-531. Dor: 20.1001.1.16807073.2018.20.3.12.8

Abdallah, Y.E. (2017). Yield losses caused to potato plants by potato tuber worm, *Phthorimaea operculella* (Zeller) and its economic levels at Qalyubyia Governorate. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 10(2), 73–79. Doi: 10.21608/eajbsa.2017.12675

Adhikari, A., Oli, D., Pokhrel, A., Dhungana, B., Paudel, B., Pandit, S., Bigyan, G.C., & Dhakal, A. (2022). A review on the biology and management of potato tuber moth. Agriculture, 68(3), 97–109. Doi.10.2478/agri-2022-0009

Agrafioti, P., Vrontaki, M., Rigopoulou, M., Lampiri, E., Grigoriadou, K., Ioannidis, P.M., Rumbos, C.I., & Athanassiou, C.G. (2023). Insecticidal effect of diatomaceous rarth formulations for the control of a wide range of stored-product beetle species. Insects, 14(7), 656. Doi: 10.3390/insects14070656. PMID: 37504662; PMCID: PMC10380314.

Atay, T., Alkan, M., & Ertürk, S. (2021). Insecticidal efficacy of native diatomaceous earth against potato tuber moth, [*Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae)], pupae. KSU Journal of Agriculture and Nature 24 (1):165-170. Doi. 10.18016/ksutarimdoga.vi.718094.

Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Vayias, B.J., Tsakiri, J.B., Mikeli, N.H., Meletsis, C.M., & Tomanovic, Z. (2008). Persistence and efficacy of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) and diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) on wheat and maize. Crop Protection, 27, 1303–1311. Doi:10.1016/j.cropro.2008.03.004

Bischoff, J.F., Rehner, S.A., Humber, & R.A. (2009). A multilocus phylogeny of the Metarhizium anisopliae lineage. Mycologia, 101(4), 512–530. Doi: 10.3852/07-202

Butt, T.M., Jackson, C., & Magan, N. (2001). Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems, and Potential, CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom.

Capinera, J.L. (2001). Handbook of vegetable pests. Academic press.

Dadaşoğlu, F., Tozlu, E., Tozlu, G., Tatar, M., & Kotan, R. (2023). Fungal and bacterial bioagents efficiency on the control of potato pest *Phthorimaea operculella* via ingestion or contact. Journal of Agricultural Production, 4(1), 72-80. Doi:10.56430/japro.1313505

De Faria, M.R., & Wraight, S.P. (2007). Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. Biological Control, 43, 237-256. Doi:10.1016/j.biocontrol.2007.08.001

Eltair, A.S., Abd-El Rahman, I.E., Ibrahim, & A.A. 2024. Efficacy of certain entomopathogenic fungi for controlling the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) under field conditions in Beheira Governorate, Egypt. Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute, 7 (2), 188–198

Eslamizadeh, R., Sajap, A.S.B., Omar, D.B., & Binti Adam, N.A. (2015). Evaluation of different isolates of entomopathogenic fungus, Paecilomyces fumosoroseus (Deuteromycotina: Hyphomycetes) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Biocontrol in Plant Protection, 2 (2), 82-91.

Faraji, S., Derakhshan Shadmehri, A., & Mehrvar, A. (2016). Compatibility of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with some pesticides. Journal of Entomological Society of Iran, 36, 137-146.

Faraji, S., Mehrvar, A., & Derakhshan Shadmehri, A. (2013). Studies on the virulence of different isolates of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin and *Metarhizium anisopliae* (Metcsn.) Sorokin against Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae). African Journal of Agricultureal Research, 8 (30), 4157-4161.

Fargues, J., Goettel, M.S., Smits, N.A.M., & Rougier, O. (1997). Effect of temperature on vegetative growt of

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

Beauveria bassiana isolates from different origins. Mycologia, 89(3), pp. 383-392.

Fargues, J. & Luz, C. (2000). Effects of Fluctuating Moisture and Temperature Regimes on the Infection Potential of *Beauveria bassiana* for *Rhodnius prolixus*. Journal of Invertebrate Pathology, 75, 202–211.

Furong, G., & Zhengue, L. (2003). A method for rearing the potato tuber moth, phthorimaea operculella on potato. Kunchong Zhishi, 40(2), 187-189.

Gao, Q., Jin, K., Ying, S.H., Zhang, Y., Xiao, G., Shang, Y., Duan, Z., Hu, X., Xie, X.Q., & Zhou, G. (2011). Genome sequencing and comparative transcriptomics of the model entomopathogenic fungi Metarhizium anisopliae and M. acridum. PLoS Genetics, 7(1).

Gautam, S., Pandey, R., Yadav, & R.K. (2023). Eco-friendly management of potato tuber moth (*Phthorima operculella* Zeller) under storage and field condition in Dailekh, Nepal. Fundamental and Applied Agriculture, 8(4), 706 –716. Doi:10.5455/faa.3808

Greenfield, B.P., Peace, A., Evans, H., Dudley, E., Ansari, M.A., & Butt, T.M. (2015). Identification of Metarhizium strains highly efficacious against Aedes, Anopheles and Culex larvae. Biocontrol Science and Technology, 25(5), 487–502. Doi: 10.1080/09583157.2014.989813

Hafez, M., Zaki, F.N., Moursy, A., & Sabbour, M. (1997). Biological effects of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Seller). Entomology, 70, 158–159. Doi:10.1007/BF01907353

Hallsworth, J.E., & Magan, N. (1999). Water and Temperature Relations of Growth of the Entomogenous Fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces farinosus*. Journal of Invertebrate Pathology, 74, 261–266. Doi:10.1006/jipa.1999.4883

Hasani, M.J., Ahmadi, A., & Valizadeh, B. (2022). Evaluation of the effect of diatomaceous earth and two compounds derived from chinaberry tree (*Melia Azedarach*) extract on mortality of nymphs and spawning rate of common pistachio psyllid *Agonoscena pistaciae* Burkhardt and Lauterer (Hem.: Psyllidae) under field conditions. Pistachio and Health Journal, 5 (2), 58-66. Doi: 10.22123/phj.2022.348550.1133

Ibrahim, A.A., Farag, S.R.M., & Mohamed, S.A. (2019). Combined effect of *Beauveria Bassiana* (Bals.) and gamma irradiation on potato tuber moth *Phthorimaea Operculella* (Zeller). Egyptian Journal of Agricultural Research, 97 (2), 559-570.

Idrees, A., Afzal, A., Qadir, Z.A., & Li, J. (2022). Bioassays of *Beauveria bassiana* isolates against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Journal of Fungi, 8 717. Doi:10.3390/jof8070717

Kazemi Yazdi, F., Eilenberg, J., & Mohammadipour, A. (2011). Biological characterization of *Beauveria bassiana* (Clavicipitaceae: Hypocreales) from overwintering sites of Sunn Pest, *Eurygaster integriceps* (Scutelleridae: Heteroptera) in Iran. International Journal of Agricultural Science and Research, 2(2), 7-16.

Khanbabayi, Z., Saber, M., Vojoudi, S., & Gharekhani, G. (2019). Investigating the effects of a mixture of diatomaceous earth and spinosad insecticide to control adult flour weevils, *Tribolium castaneum* Herbst. (Col: Tenebrionidae) World Journal of Environmental Biosciences, 8(2), 41-43

Kiewnick, S. (2006). Effect of temperature on growth, germination, germ-tube extension and survival of *Paecilomyces lilacinus* strain 251. Biocontrol Science and Technology, 16, 535–546. Doi: 10.1080/09583150500532766

Korunic, Z. (1998). Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. Journal of Stored Product Research, 34, 87–97. Doi:10.1016/S0022-474X(97)00039-8

Lacey, L.A., & Croschel, J. (2009). Microbial control of the tuber potato moth (Lepidoptera: Gelechiidae). Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology, 3, 46-54.

Lu, H.L., & Leger R.J.S. (2016). Insect immunity to entomopathogenic fungi. Advances in Genetics, 94, 1-35.

Meyling, N.V., Schmidt, N.M., & Eilenberg, J. (2012). Occurrence and diversity of fungal entomopathogens in soils of low and high Arctic Greenland Polar Biology, 35(9), 1439–1445. Doi: 10.1007/s00300-012-1183-6

Mwamburi, L.A., Laing, M.D., Miller, R.M., Mwamburi, L.A., Laing, M.D., & Miller, R.M. (2015). Effect of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana*. Brazilian Journal of Microbiology, 46, 67–74. Doi:10.1590/ S1517-838246120131077.

Nawaz, M., & Freed, S. (2022). Pathogenicity of different isolates of entomopathogenic fungi on cotton mealybug, *Phenaccocus solenopsis* Tinsley. Pakistan Journal of Zoology, 54(1), 275-282, DOI: https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20161124031127

Oreste, M., Baser, N., Bubici, G., & Tarasco, E. (2015). Effect of *Beauveria bassiana* strains on the *Ceratitis capitata* - *Psyttalia concolor* system. Bulletin of Insectology, 68 (2), 265-272.

Qayyum, M.A., Bilal, H., Ullah, U.N., Ali, H., Raza, H., & Wajid, M. (2021). Factors affecting the epizootics of entomopathogenic fungi-a review. Journal of Bioresource Management, 8 (4). Doi.org/10.35691/JBM.1202.0204

Rigopoulou, M., Baliota, G.V., & Athanassiou, C.G. (2023). Persistence and efficacy of diatomaceous earth against stored product insects in semi-field trials, Crop

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]

Protection, 174, 106416, Doi:10.1016/j.cropro.2023.106416.

Rodríguez, M., Gerding, M., & France, A. (2009). Selection of entomopathogenic fungi to control L *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). Chilean Journal of Agricultural Research, 69(4),534-540.

Sabbour, M. (2002). The role of chemical additives in enhancing the efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(11) Doi:10.3923/pjbs.2002.1155.1159

Safavi, S.A., Kharrazi, A., Rasoulian, G.R., & Bandani, A.R. (2010). Virulence of some isolates of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* on *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. Journal of Agricultural Science and Technology, 12, 13-21. Dor: 20.1001.1.16807073.2010.12.1.10.6

Safavi, S.A., Shah, F.A., Pakdel, A.K., Rasoulian, G.R., Bandani, A.R. & Butt, T.M. (2007). Efect of nutrition on growth and virulence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. FEMS Microbiol Lett 270 116–123. Doi: 10.1111/j.1574-6968.2007.00666.x

Shafighi, Y., Ziaee, M., & Ghosta, Y. (2014). Diatomaceous earth used against insect pests, applied alone or in combination with *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. Journal of Plant Protection Research, 54(1), Doi: 10.2478/jppr-2014-0009

Sharma, A., Sharma, S., & Yadav, P.K. (2023). Entomopathogenic fungi and their relevance in sustainable agriculture: A review. Cogent Food and Agriculture, 9(1). Doi:10.1080/23311932.2023.2180857

Shehzad, M., Tariq, M., Mukhtar, T., & Gulzar, A. (2021). On the virulence of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales), against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 31,86 Doi:10.1186/s41938-021-00428-z

Subramanyam, B., & Roesli, R. (2000). Inert dusts. In: Subramanyam, B., Hagstrum D.W. (Eds.), Alternatives to pesticides in storedproduct IPM. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp: 321 – 380. Doi:10.1007/978-1-4615-4353-4_12

Trivedi, T.P., & Rajagopal, D. (1992). Distribution, biology, ecology and management of potato tuber moth, *phthorimaea operculella* (zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae): a review. Tropical pest management, 8(3), 279-285. Doi:10.1080/09670879209371709

Zeleke, T., Mulatu, B., & Negeri, M. (2014). Evaluation of entomopathogenic fungi against potato tuber moth (*Phthorimaea operculella* ZELLER.) in west Shoa, Ethiopia. Journal of Science and Sustainable Development, 2(2), 21-33. Doi:10.20372/au.jssd.2.2.2014.030

Zeni, V., Baliota, G.V., Benelli, G., Canale, A., & Athanassiou, C.G. (2021). Diatomaceous earth for arthropod pest control: back to the future. Molecules, 26(24), 7487. Doi: 10.3390/molecules26247487.

Zhang, M.D., Wu, S.Y., Yan, J.J., Reitz, S., & Gao, Y.L. (2022). Establishment of *Beauveria bassiana* as a fungal endophyte in potato plants and its virulence against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Insect Science, Doi:10.1111/1744-7917.13049

Zhang, W., Meng, J., Ning, J., Qin, P., Zhou, J., Zou, Z., Wang, Y., Jiang, H., Ahmad, F., Zhao, L., & Sun, J. (2017). Differential immune responses of *Monochamus alternatus* against symbiotic and entomopathogenic fungi. Life Sciences, 60 (8), 902–910. Doi: 10.1007/s11427-017-9102-y

Zibaee, A., Bandani, A.R, Talaei-Hassanlouei, R., & Malagoli, D. (2010). Cellular immune reactions of the sunn pest, *Eurygaster integriceps*, to the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* and its secondary metabolites. Journal of Insect Science, 11, 1-16. Doi: 10.1673/031.011.13801

Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*, Biocontrol Science and Technology, 17(6), 553-596. Doi:10.1080/09583150701309006

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.1.6]