نشریه علمی- ترویجی مدیریت اراضی/ جلد ۹ / شماره ۱ / ۱۴۰۰

ارزیابی امکان استفاده از فضولات حشرات در بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک

عباس ارباب [۱]

دانشیار گروه حشره‌شناسی، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان ، تاکستان، ایران.

abbasarbab@hotmail.com

دریافت: خرداد ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

حشرات فراوانترین موجودات زنده‌ی مرتبط با گیاهان و خاک می‌باشند. پرورش انبوه آنها برای تامین بخشی از نیاز غذایی طیور و آبزیان، دسترسی به نوع جدیدی از کودهای آلی یعنی فضولات آنها را فراهم ساخته است. ترکیبات شیمیایی فضولات حشرات (مقدار مناسب نیتروژن آلی، کربن محلول، عناصرکم مصرف و پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن) و خواص فیزیکی آنها (دانه‌بندی ریز و ساختار لایه لایه) موجب شده تا امکان بکارگیری آنها برای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و توسعه‌ی محصولات ارگانیک، بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. فضولات حشرات علاوه بر آنکه غنی از مواد غذایی مورد نیاز گیاهان هستند، دارای میکرو ارگانیسم‌های مفیدی مانند برخی گونه‌های باکترهای جنس باسیلوس و سودوموناس بوده و تنها منبع در دسترس کیتین برای گیاهان نیز می‌باشند. کیتین می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده (حشرات و نماتدها) و غیرزنده (خشکی و شوری) را بهبود بخشد. در حال حاضر بیشتر مطالعات بر استفاده از فضولات دو حشره‌ی صنعتی، مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) و سوسک زرد آرد (*Tenebrio molitor*) متمرکز شده است. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد تیمار خاک مزارع با فضولات این دو حشره به مقدار ۱۰-۵ تن در هکتار می‌تواند عملکرد کمی و کیفی چندین گیاه زراعی مهم مانند کلزا، جو، چاودار، ذرت و چغندر قند را افزایش دهد. با توجه به گسترش روز افزون پرورش حشرات صنعتی در کشور لزوم تسریع در استانداردسازی و تهیه‌ی شیوه نامه‌های بکارگیری آنها بیش از گذشته احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فضولات حشرات، حاصلخیزی خاک، کود آلی، کود زیستی

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: گروه حشره شناسی، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان ، تاکستان، ایران.

مقدمه

حشرات بیشترین فراوانی را در میان موجودات دارند. بیش از نیمی از آنها که شامل ۵۰۰ هزار گونه می شود، گیاهخوار بوده و بطور مستقیم با گیاهان در ارتباط می‌باشند (شوونهاوون و همکاران، ۲۰۰۵). آنها همانند سایر موجودات زنده بخشی از غذای هضم نشده‌ی خود را بصورت فضولات دفع می‌کنند. علاوه بر آن فضولات حشرات حاوی بقایای بستر پرورش و اسکلت خارجی آنها نیز می‌باشد. فضولات حشرات از نظر فیزیکی شن مانند، بی بو، دارای رنگ‌های متنوع (از زرد روشن تا قهوه‌ای تیره) و اندازه‌های متغیر می‌باشند (شکل ۱) (ارباب،۱۳۹۷؛ کلامشتاینر و همکاران، ۲۰۲۰). از نظر شیمیایی نیز از ترکیبات متنوعی مانند مواد نیتروژن‌دار (NH_2) تا انواع عناصر معدنی مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم و منیزیم تشکیل شده اند (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲). محدودیت‌ها در تامین غذای طیور و آبزیان موجب شده است تا پرورش انبوه برخی از گونه‌های حشرات بصورت صنعتی در بسیاری از کشورها از جمله ایران مورد توجه قرار گیرد و صنعت نوپای تولید حشرات آهنگ رو به رشدی را تجربه کند. تعداد واحدهای پرورش دهنده‌ی حشرات ایران در طی ۱۰ سال گذشته به بیش از ۳۰ واحد رسیده است و بیش از پنج درصد خوراک آبزیان را تامین می‌نمایند (ارباب،۱۳۹۸؛ زان، ۲۰۱۷؛ گارتلینگ و همکاران، ۲۰۲۰). فضولات حشرات یکی از مهمترین محصولات جانبی این صنعت است. میزان تولید فضولات در حشرات مختلف متفاوت بوده و بستگی به عواملی مانند گونه، مرحله‌ی زندگی، ضریب تبدیل غذا به زیست‌توده و نوع رژیم غذایی آنها دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد لاروهای سوسک زرد آرد به ازای تغذیه‌ی هرکیلوگرم سبوس گندم، ۶۸۰ گرم فضولات تولید می‌کنند (ارباب اطلاعات منتشر نشده) و لاروهای مگس سرباز به ازای تغذیه‌ی هرکیلوگرم کود مرغی و پسماندهای صنایع الکل‌سازی به ترتیب ۶۳۰ و ۳۴۰ گرم فضولات تولید می-کنند (کولیام و همکاران ۲۰۲۰). مقدار تولید سالانه فضولات سوسک زرد آرد که تجاری‌ترین حشره‌ی صنعتی ایران است سالانه بیش از ۲۰۰ تن می‌باشد (بابایی سواسری اطلاعات منتشر نشده). با توجه به سیستم پرورش این حشره هزینه جمع‌آوری و بسته‌بندی هر تن کود میلورم در سال مورد بررسی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار تومان تخمین زده می‌شود. در حال حاضر بیشترین مصرف کود مذکور در تولید محصولات گلخانه‌ای خصوصا پرورش کاکتوس ساکولنت‌ها می‌باشد. حشرات هرچند از جثه‌ی بسیار کوچکتری نسبت به سایر دام‌ها برخوردار هستند ولی در مقایسه با دام‌های بزرگ مانند گوسفند نیاز به فضای کمی برای پرورش دارند. طول دوره‌ی رشد آنها کوتاهتر و از زاد آوری بالاتری برخوردار هستند. در کنار امکان پرورش طبقاتی، بازدهی تولید کود آنها در مقایسه با سایر دام‌ها قابل توجه است. برای نمونه در حالیکه میانگین تولید سالیانه‌ی کود به ازای هر راس گوسفند ۴۰ کیلوگرمی، ۲۰۰ کیلوگرم می‌باشد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴)، لاروهای سوسک زرد آرد با همین وزن در مدت چهار ماه و در فضای پنج متر مکعبی، ۱۸۸ کیلوگرم کود تولید می‌کنند (ارباب اطلاعات منتشر نشده) که به خوبی ارزش اقتصادی تولید آنها را توجیه می‌نماید. تاکنون چندین بررسی (زان، ۲۰۱۷؛ کولیام و همکاران؛۲۰۲۰؛ بسیگاموکاما و همکاران ۲۰۲۰) درخصوص استفاده از فضولات حشرات بعنوان اصلاح کننده و تقویت کننده‌ی خاک انجام شده است نتایج آنها نشان می‌دهد که این زیست توده‌ی آلی می‌تواند اثر مثبتی بر رشد و نمو محصولات مختلف و همچنین حاصلخیزی و اصلاح خاک داشته باشد.

شکل ۱- لارو، حشره کامل و فضولات سوسک زرد آرد (۳-۱)، لارو، حشره کامل و فضولات مگس سرباز (۶-۴)

ترکیبات تشکیل دهنده

فضولات حشرات بطور معمول از نسبت هایی از مواد آلی خام، پروتئین خام، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عنصر کمیابی مانند روی، بور، منگنز، منیزیم و مس تشکیل شده‌اند. در جدول ۱ ترکیبات تشکیل دهنده‌ی فضولات دو حشره‌ی صنعتی (سوسک زرد آرد و مگس سرباز سیاه) ارایه شده است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد فضولات حشرات گیاهخوار دارای پروتئین-های هضم نشده‌ی گیاهان میزبان، پروتئین‌های تولید شده توسط خود حشره و موجودات تک سلولی می‌باشند (ری و همکاران، ۲۰۱۶). در بعضی از حشرات مانند سوسک زرد آرد (*Tenebrio molitor*) و جیرجیرک صحرایی (*Acheta domesticus*) فضولات حاوی اسیدهای چرب فرار مانند اسید بوتیریک، اسید پروپیونیک و اسید والریک نیز می‌باشند. همچنین وجود اسید لاکتیک و اسید استیک نیز در فضولات برخی حشرات اثبات شده است (ویوور و همکاران، ۱۹۹۰، مکفارلن و عالی، ۱۹۸۵). فضولات حشرات دارای مقادیر بالایی نیتروژن (N) (۷-۲ درصد) و کربن ناپایدار (C) (۴۵-۳۰ درصد) است که مقدار آنها بیشتر از مقادیر موجود در خاک برگ گزارش شده است (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲).

جدول۱ - ویژگی های شیمیایی فضولات دو حشره ی مهم صنعتی
(هوبن و همکاران، ۲۰۲۰، کلامشتاینر، ۲۰۱۹ و پودا و همکاران، ۲۰۱۹)

منبع فضولات	نیتروژن (g/kg)	کلسیم (g/kg)	فسفر (g/kg)	پتاسیم (g/kg)	منیزیم (g/kg)	آهن (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	مس (mg/kg)	روی (mg/kg)	اسیدیته (PH)
سوسک زرد آرد	۵۰	۱	۲۰	۱۸/۶۰	۵۴	۱۴۰	۱۷۱	۱۰	۹۴/۲۰	۵/۸۰
مگس سیاه سرباز	۲۴	۱۳	۸	۱۱	۳	۱۲۵	۴۵	۱۵	۹۰	۵/۴۰-۶/۲۲

نیتروژن یکی از عناصر مهم مورد نیاز گیاهان محسوب می‌شود و حشرات با توجه به ترکیبات تشکیل دهنده‌ی کالبد و فضولات شان از منابع تامین نیتروژن گیاهان محسوب می‌شوند. بررسی‌ها نشان می دهد اجساد حشرات موجود در خاک منبع مهمی برای نیتروژن آلی می-باشند (فیلدینگ و همکاران، ۲۰۱۲). این عنصر بطور میانگین ۱۰ درصد وزن حشرات را تشکیل می‌دهد که عموما در ساختار پروتئین‌ها و کیتین قرار دارد (فاگان و همکاران، ۲۰۰۲). در هر هکتار خاک مناطق معتدله، تقریباً ۱۵ گرم نیتروژن در کالبد حشرات خاکزی و ۲۰۰-۱۰۰ گرم نیتروژن در کالبد حشرات بالای سطح زمین وجود دارد که بعد از مرگ آنها به خاک اضافه می‌شود (وان امدم، ۱۹۸۹). این مقدار نیتروژن به‌ویژه هنگامی که با مقدار نیتروژنی که توسط میکروارگانیسم‌های خاک تثبیت می‌شود که تقریباً

۱۰۰ گرم نیتروژن در هکتار در سال است، مقایسه شود قابل توجه خواهد بود (کومرو، ۱۹۷۸). به خوبی مشخص شده است که در برخی زیست بوم‌ها مانند جنگل‌ها و مراتع هنگامی که جمعیت حشرات زیاد و در وضعیت طغیانی قرار دارد، اجساد حشرات و فضولات تولید شده توسط آنها می‌تواند تا ۷۰ درصد نیتروژن را به خاک برگرداند (هولینگر، ۱۹۸۶). تجزیه اجساد بدن حشرات خیلی سریعتر از سایر مواد آلی مانند بقایای گیاهان انجام می‌شود، بنابراین نیتروژن موجود در آنها سریعتر در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد (هانتر، ۲۰۰۱). مقادیر قابل توجهی از نیتروژن آلی فضولات حشرات بصورت اسید اوریک است که می‌تواند به اشکال غیر آلی مانند آمونیاک و نیترات تبدیل شود (فروست و همکاران، ۲۰۰۷، کولر و همکاران، ۲۰۱۳). در زیست بوم‌های جنگلی مقدار نیتروژنی که توسط فضولات حشرات در شرایط عادی و غیر طغیانی وارد خاک می‌شود بین ۰/۳ تا ۱/۱ کیلوگرم در هکتار در سال تخمین زده شده است (هانتر و همکاران، ۲۰۰۳) ولی در شرایط طغیانی این مقدار به مراتب بیشتر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد هنگامی که زنبور برگخوار *Periclista* sp. (Hymenoptera: Symphyta) طغیان می‌کند مقدار نیتروژنی که سالانه توسط فضولات این حشره وارد خاک می شود به ۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌رسد؛ بنابراین جای تعجب نیست که گاهی فضولات حشرات گیاهخوار نیتروژن بیشتری نسبت به خاک برگ به خاک اضافه نماید (گریس، ۱۹۸۶).

فضولات حشرات همچنین می‌تواند منبع غذایی مناسبی برای میکرو ارگانیسم‌های تجزیه کننده‌ی موجود در خاک که تسهیل کننده‌ی تجزیه سایر منابع دارای نیتروژن (بقایای گیاهان و حشرات) هستند، باشد (هولینگر، ۱۹۸۶). قارچ‌های خاکزی از جمله میکوریزاها نقش کلیدی در آزاد سازی نیتروژن آلی موجود در اجساد و فضولات حشرات ایفا می‌کنند (سانتچز، ۲۰۰۹). آنها با ترشح آنزیم‌های هیدرولاز کننده‌ی برون سلولی مانند پروتئازها و کیتینازها توانایی تجزیه نیتروژن آلی و تبدیل آن به اشکال قابل جذب توسط گیاهان را دارا هستند (سانتچز، ۲۰۰۹).

عنصر مهم دیگر موجود در فضولات حشرات، کربن است. مقدار کربن آلی در فضولات لاروهای سوسک زرد آرد و لارو مگس سرباز به ترتیب ۳۹۳ و ۴۴۳ گرم در کیلوگرم گزارش شده که تقریبا سه برابر کود مرغی است (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰، کلامشتاینر، ۲۰۱۹). علاوه بر آن، بیشتر این کربن بصورت محلول و مقدار کمتری از آن بصورت کربن‌های غیر محلول مانند لیگنین و سلولز است. پایین بودن این دو ترکیب بعلت هضم‌پذیری بالای آنها توسط این حشره است (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰).

عوامل موثر بر ترکیبات تشکیل‌دهنده فضولات حشرات

ویژگی‌های شیمیایی فضولات حشرات از جمله نسبت کربن به نیتروژن (C:N) بستگی زیادی به رژیم غذایی آنها دارد (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲، مادریچ و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج بررسی‌های پودا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از لارو سوسک زرد آرد و سه نوع رژیم غذایی متفاوت در جدول (۲) ارایه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار نیتروژن در فضولات بدست آمده از رژیم غذایی نوع سوم که دارای محتوی پروتئینی بیشتری است، تقریبا بیش از دو برابر سایر فضولات است. این به این معنا است که نسبت کربن به نیتروژن (C/N) کمتر از نصف سایرین است. همچنین علاوه بر نیتروژن، مقدار عناصر دیگری مانند کربن، گوگرد، کلسیم و مولبیدین نیز در این نوع از فضولات بیشتر است. فضولات نوع دوم که بعد از مصرف غذای دارای کربوهیدارت بیشتر بدست آمده است دارای بیشترین مقدار پتاسیم و فضولات نوع اول دارای بیشترین مقدار فسفر، منیزیم، منگنز و آهن می‌باشد.

جدول۲ - ترکیبات تشکیل دهنده ی فضولات لارو های کرم زرد آرد تغذیه شده با سه نوع رژیم غذایی متفاوت (پودا و همکاران، ۲۰۱۹)

رژیم غذایی	کربن (گرم/۱۰۰گرم)	نیتروژن (گرم/۱۰۰گرم)	کربن/نیتروژن	فسفر (گرم/۱۰۰گرم)	پتاسیم (گرم/۱۰۰گرم)	گوگرد (گرم/۱۰۰گرم)	کلسیم (گرم/۱۰۰گرم)	منیزیوم (گرم/۱۰۰گرم)	منگنز (میلی گرم/۱۰۰گرم)	آهن (میلی گرم/۱۰۰گرم)	مولیبدن (میلی گرم/۱۰۰گرم)
۱[a]	۳۸/۹۰	۲/۹۲	۱۳/۳۲	۱/۵۳	۱/۸۶	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۵۴	۱۷۱/۸۹	۱۴۰/۶۸	۰/۵۶
۲[b]	۳۸/۸۰	۲/۶۷	۱۴/۵۳	۱/۴۴	۱/۹۷	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۵۲	۱۵۵/۹۰	۱۲۷	۰/۵۳
۳[c]	۴۲/۴۴	۷/۷۵	۵/۴۸	۱/۰۲	۱/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۳۴	۸۳/۴۰	۱۲۹/۰۳	۰/۹۶

تاثیرپذیری ترکیبات فضولات از رژیم غذایی در مورد مگس سرباز سیاه نیز مشاهده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد هنگامی که لاروهای این حشره از سه نوع رژیم غذایی متفاوت با منشا گیاهی (چمن درو شده، میوه و سبزیجات و دان مرغ) تغذیه می‌شوند شاخص‌های خواص شیمیایی فضولات تولید شده توسط آنها مانند اسیدیته و هدایت الکتریکی، مقدار کربن و نیتروژن کل متفاوت خواهد بود (جدول ۳). (کلامشتاینر، ۲۰۱۹).

مقدار نیتروژن کل، نیترات و آمونیوم در فضولات لاروهای پروانه برگخوار کلم (*Mamestra brassicae*) که از کلم‌های تغذیه شده با کود مایع NPK استفاده نموده‌اند در مقایسه با کلم‌های تغذیه نشده با کود به ترتیب تقریبا سه، شش و هفت برابر بیشتر است. این درحالی است که در مقدار کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲) (جدول ۴).

جدول ۳- خواص شیمیایی کود لارو مگس سرباز سیاه تغذیه شده در رژیم های غذایی مختلف (کلامشتاینر، ۲۰۱۹)

ویژگی	نوع رژیم غذایی		
	چمن درو شده	میوه و سبزیجات	دان مرغ
اسیدیته	۵/۴۰	۵/۵۸	۶/۲۲
هدایت الکتریکی[mS cm-1]	۳/۰۶	۲/۳۶	۵/۶۷
کربن کل [g kg-1]	۴۴۳	۴۸۸	۴۷۹
نیتروژن کل [g kg-1]	۲۴/۴	۱۸/۳۰	۲۵/۹
نسبت کربن به نیتروژن	۱۸/۲۰	۲۶/۶	۱۸/۵
متان[g kg-1]	۸۲۵	۸۷۳	۸۱۰

جدول۴ - ترکیب شیمیایی فضولات لارو پروانه برگخوار تغذیه شده با کلم های رشد کرده با کود و بدون کودت (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲)

ترکیبات شیمیایی فضولات (٪)	رژیم غذایی لارو	
	کلم های تغذیه شده با کود	کلم های تغذیه نشده با کود
کربن	۳۵/۰۷	۳۸/۴۳
نیتروژن	۱۰/۷۵	۳/۵۸
نیتروژن نیتراتی (NO3--N)	۰/۴۶	۰/۰۸
نیتروژن آمونیومی	۱/۳۵	۰/۱۹

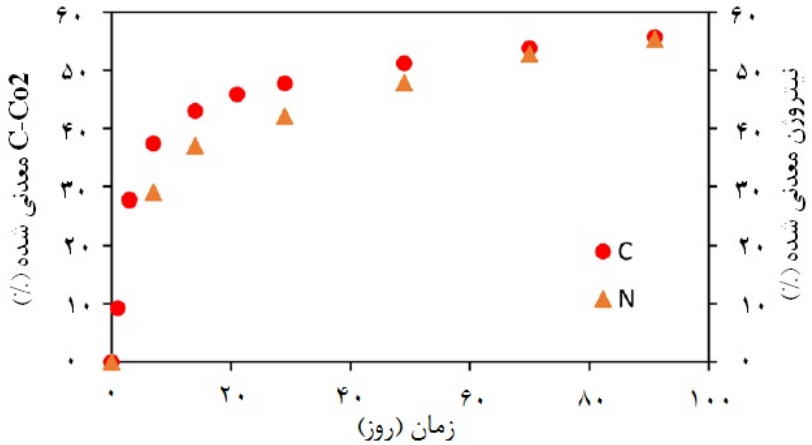
لاروهای پروانه‌ی ابریشم باف ناجور نیز هنگامی که از برگ درختان بلوط و کاج تغذیه می کنند مقدار نیتروژن فضولات آنها به ترتیب ۲/۶۱ و ۰/۶۴ درصد و نسبت کربن به نیتروژن به ترتیب ۱۷/۴۰ و ۸۰/۷۰ می‌باشد (کاگاتا و اوگوشی، ۲۰۱۲).

علاوه بر رژیم غذایی عوامل دیگری نیز مانند افزایش دی اکسید کربن (CO_2) و همچنین ازن (O_3) موجود در اتمسفر نیز می‌تواند بر مقدار نیتروژن و همچنین نسبت کربن به نیتروژن فضولات حشرات گیاهخوار تاثیرگذار باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد هنگامی که لاروهای پروانه‌های گربه‌ی نوروزی (*Malacosoma disstria*) و

ابریشم باف ناجور (*Lymantria dispar*) از برگ درختان صنوبر لرزان (*Populus tremuloides*) و توس (*Betula papyrifera*) پرورش یافته در شرایط ازن و دی‌اکسید کربن بالا تغذیه می‌نمایند مقدار نیتروژن فضولات کاهش و مقدار نسبت کربن به نیتروژن فضولات افزایش می‌یابد (لیندروت و کوتور، ۲۰۱۴).

معدنی شدن فضولات

فرایند معدنی شدن فضولات حشرات بلافاصله بعد از قرارگرفتن آنها در خاک آغاز می‌شود. برای نمونه بررسی‌ها نشان می‌دهد ۳۷ درصد کربن کل فضولات سوسک زرد آرد در مدت هفت روز معدنی می‌شود سپس سرعت معدنی شدن کاهش یافته و بعد از ۹۰ روز ۵۶ درصد باقیمانده آن معدنی می‌شود. معدنی شدن نیتروژن نیز از الگوی مشابهی پیروی می‌کند. ۳۷ درصد آن در مدت ۱۴ روز و ۵۵ درصد آن به آرامی در مدت ۹۰ روز صورت می‌گیرد (شکل ۲) (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۲- روند معدنی شدن نیتروژن و کربن فضولات لارو سوسک زرد آرد (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰)

هرچند فضولات لارو پروانه ابریشم باف ناجور در مدت ۱۲۰ روز کاملا تجزیه می‌شود ولی بیشترین فرایند معدنی شدن در ۱۰ روز نخست انجام می‌شود. غلظت بالای کربن در فضولات حشرات موجب تحریک رشد میکرو ارگانیسم‌ها می‌شود که یکی از پیامدهای آن افزایش مقدار معدنی شدن فضولات است.

تاثیر کاربرد فضولات حشرات بر رشد گیاهان

فضولات حشرات هم بطور بالقوه منبع مهمی برای تامین مواد مورد نیاز خاک محسوب می‌شوند و هم در فرآیند تجزیه‌ی مواد آلی خاک می‌توانند تامین کننده‌ی انرژی و مواد مغذی میکروارگانیسم‌های خاک باشند (اسکات و بیدوچکا، ۲۰۱۳). این ترکیبات نقش قابل توجهی در دسترسی گیاهان به مواد مغذی خاک دارند، بویژه هنگامی که مقدار فضولات بواسطه‌ی جمعیت طغیانی حشرات، زیاد است (هانتر، ۲۰۰۱). در ادامه به بیان نتایج برخی از مطالعات انجام شده می‌پردازیم:

لیو و همکاران (۲۰۰۳) اثر خاک شنی غنی شده با کود سوسک زردآرد به نسبت ۱:۴۰ را بر رشد گیاه ماش بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که گیاهان دریافت کننده‌ی کود نسبت به گیاهان شاهد ۱۷/۹ درصد وزن بیشتری داشته‌اند. لو و همکاران (۲۰۱۱) نیز در یک آزمایش گلدانی اثر مقادیر مختلف فضولات سوسک زرد آرد بر میزان رشد و نمو و کیفیت کلزا را بررسی کرده‌اند. آنها فضولات را به نسبتهای ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد با خاک مخلوط کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که گیاهانی که ۱/۵ درصد فضولات سوسک زرد آرد را دریافت کرده بودند بالاترین عملکرد را داشته‌اند.

پوودا و همکاران (۲۰۱۹) نقش تغذیه‌ای فضولات سوسک زرد آرد را بر گیاهچه‌های چغندر مورد

بررسی قرار داده‌اند. آنها ابتدا لاروهای سوسک زرد آرد را با سه رژیم غذایی با ارزش غذایی متفاوت {(رژیم غذایی نخست حاوی ۶۶ درصد کربوهیدارت (بیشتر کربوهیدرات-ها را سلولز و همی سلولز تشکیل می‌داده‌اند)، شش درصد چربی و ۲۸ درصد پروتئین، رژیم غذایی دوم حاوی ۷۷ درصد کربوهیدارت (۱۲ درصد آن نشاسته بوده است)، شش درصد چربی و ۲۸ درصد پروتئین و رژیم غذایی سوم حاوی ۴۹ درصد کربوهیدارت (بیشتر کربوهیدرات‌ها را سلولز و همی سلولز تشکیل می‌داده‌اند)، ۱۲ درصد چربی و ۳۹ درصد پروتئین)} تغذیه نموده‌اند. سپس فضولات بدست آمده را به نسبت دو درصد حجم گلدان های سه لیتری، در اختیار گیاهچه‌های چغندر قند قرار دادند. پس از یک ماه، گیاهان برداشت شده و وزن تر و خشک آنها ارزیابی شده‌است. نتایج بررسی آنها نشان می‌دهدکه هرچند میزان کلروفیل، وزن تر، طول اندام هوایی و قطر طوقه‌ی تمامی گیاهچه‌های چغندر قند دریافت کننده‌ی هر سه نوع فضولات سوسک زرد آرد در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش می‌یابد ولی زیست توده‌ی گیاهانی که از فضولات بدست آمده از رژیم غذایی نوع اول استفاده کرده بودند، در مقایسه با سایر رژیم‌های غذایی بیشتر بوده است. بعلاوه قطر طوقه گیاهان دریافت کننده‌ی فضولات رژیم غذایی نوع سوم بیشتر از سایرین گزارش شده است.

زان (۲۰۱۷) اثر فضولات لارو مگس سرباز سیاه را بر رشد و نمو پیاز بهاره (*Allium cepa* var. "White Lisbon") مورد بررسی قرار داده است. نتایج بررسی او نشان می‌دهد فضولات این حشره به مقدار پنج تن در هکتار اثر مثبتی بر شاخص‌های عملکردی گیاه (ارتفاع و وزن تر) و حاصلخیزی خاک (اسیدیته و مواد آلی) دارد. همچنین فضولات این حشره موجب افزایش سه سانتیمتری ارتفاع ساقه پیاز نسبت به شاهد شده و بیشتر از مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی (NPK)، ارتفاع ساقه را افزایش می‌دهد. این در حالی است که مصرف ۲۰ تن در هکتار فضولات لارو، اثر معکوس داشته و موجب کاهش رشد گیاه می شود. علت این پدیده می‌تواند مربوط به مقدار بالای آمونیوم (NH^{+4}) در فضولات باشد که در مقدار بالا اثر معکوس بر رشد دارد. مقدار بالای آمونیوم نتیجه ی تجزیه‌ی پی در پی اسید اوریک (مهمترین منبع نیتروژن فضولات) به آلانتوئین، اوره و در نهایت آمونیوم (NH^{+4}) است.

بررسی‌های او همچنین نشان می‌دهد مصرف ۱۰ تن در هکتار فضولات لارو مگس سرباز سیاه موجب افزایش دو برابری وزن تر و خشک گیاهچه‌های پیاز نسبت به سایر تیمارها می‌شود. نسبت وزن ریشه به ساقه کمتر از دو شاخص دیگر تحت تاثیر کود قرار گرفته است ولی با این حال مصرف ۱۰ تن در هکتار فضولات حشره می‌تواند بیشترین نسبت وزن ریشه به ساقه را برای گیاهچه پیاز فراهم سازد. فضولات لارو مگس بیشتر از کود شیمیایی مقدار هدایت الکتریکی خاک (EC) را پایین می‌آورد. بیشترین افزایش میزان مواد آلی خاک با افزودن ۱۰ تن در هکتار فضولات لارو مگس مشاهده شده است. فضولات لارو سوسک زرد آرد نیز با همین مقدار تاثیر همسانی با کودهای معدنی بر روی رشد و نمو جو داشته است (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰).

تاثیر برجمعیت موجودات خاکزی

همانگونه که اشاره شد ترکیبات موجود در فضولات حشرات علاوه برکاربرد تغذیه‌ای برای گیاهان همچنین می‌توانند بعنوان محرک جمعیت بی‌مهرگان خاکزی نیز عمل نمایند (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۳). برای مثال اضافه نمودن آنها به خاک موجب افزایش جمعیت پادمان (Collembola)، نماتدهای قارچ خوار، نماتدهای باکتری خوار و کنه‌های پرو استیگما می‌شود (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر آن فضولات حشرات همانند سایر کودهای دامی از فون میکروبی بالایی برخوردار هستند و تنوع و فراوانی گونه‌ها وابستگی زیادی به رژیم غذایی آنها دارد. برخی از تک یاخته‌ای‌های موجود در فضولات حشرات مفید بوده و می‌توانند بعنوان همیار گیاهان عمل نمایند. برای نمونه در فضولات حشرات باکتری‌هایی مانند

باسیلوس و سودوموناس وجود دارد که در فرایند نیتریفیکاسیون و تثبیت نیتروژن مشارکت دارند. این باکتری‌ها در چرخه نیتروژن شرکت کرده و به جذب نیتروژن توسط گیاهان کمک می‌کنند (بیه و بیدوچا، ۲۰۱۳). بررسی‌های پودا و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهدکه در فضولات لارو های سوسک زرد آرد بیش از ۱۵ گونه از باکتری‌های خاکزی وجود دارد که در میان آنها باکتری‌های جنس Lactococcus بیشترین فراوانی را دارند. در میان قارچ‌های موجود در فضولات این حشره نیز قارچ‌های جنس Aspergillus از فراوانی بیشتری برخوردار هستند.

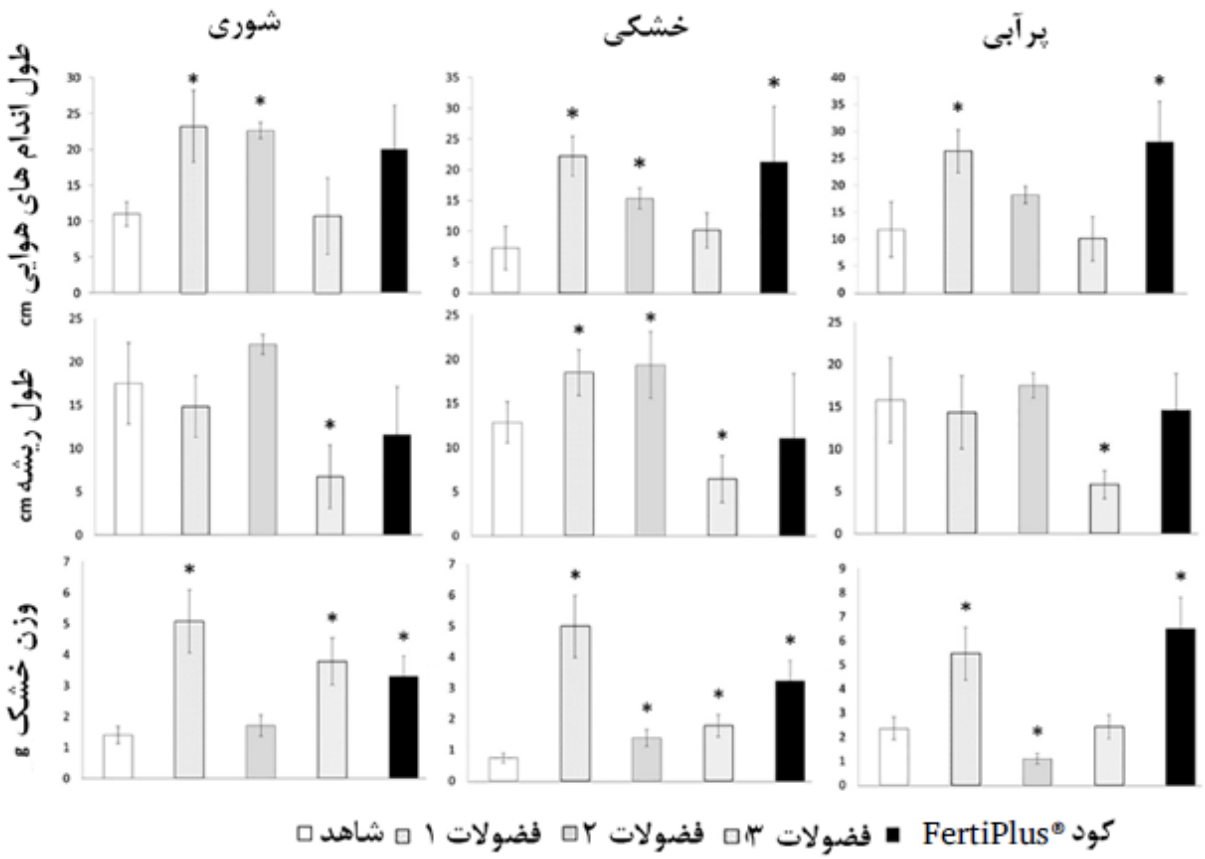
تاثیر بر اسیدیته خاک

از دیگر نقش‌های فضولات حشرات بهینه‌سازی میزان اسیدیته‌ی خاک است. بررسی‌ها نشان می‌دهد مقدار نیتروژن موجود در فضولات حشرات بر pH خاک مؤثر است. بخشی از نیتروژن موجود در فضولات بصورت آمونیوم است که خاصیت اسیدی خاک را افزایش می‌دهد. هر چه میزان نیتروژن موجود در فضولات بیشتر باشد، میزان افزایش خاصیت اسیدی خاک بالاتر است. آمونیوم در خاک در طی فرآیند نیتروفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شود و یون‌های هیدروژن آزاد می‌کند. افزون بر این، نیترات حاصل با یون‌های مثبت موجود در خاک مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم قابل ترکیب است و به صورت محلول از روی خاک به زیر خاک منتقل می‌شود. با حذف این یون‌ها و جایگزینی آن‌ها با یون‌های هیدروژن خاصیت اسیدی خاک افزایش می‌یابد. برای نمونه خاک‌هایی که با فضولات لارو مگس سرباز سیاه تیمار می شوند، محدوده ی pH بهینه‌تری را برای رشد و نمو و فعالیت باکتری‌های مفید دارند، در نتیجه نیتروژن خاک افزایش یافته و شرایط برای جذب بیشتر آن توسط گیاهان فراهم می‌شود (چوی و حسن‌زاده، ۲۰۱۹؛ هوبن و همکاران، ۲۰۲۰).

نقش کود حشرات درافزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده

پوودا و همکاران (۲۰۱۹) کارایی فضولات سوسک زرد آرد را در تحریک توانایی تحمل تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی، پر آبی و شوری در گیاهان چغندر قند و لوبیا مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها همچنین نقش تک یاخته‌ای‌های موجود در فضولات را در تحریک رشد گیاهان و تحمل تنش‌های غیر زنده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. همانگونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود در بیشتر شرایط تنش، فضولاتی که در اثر تغذیه از رژیم غذایی غنی از کربوهیدارت بدست می‌آید کارایی بیشتری نسبت به سایر فضولات و حتی گیاهان تغذیه شده با کود (۳-۳-۴)FertiPlus® در بهبود شاخص‌های رشد گیاهان داشته‌اند. بطوریکه بیشترین رشد طولی اندام‌های هوایی در شرایط تنش توسط این نوع از فضولات مشاهده شده‌است. ولی فضولاتی که در اثر تغذیه از رژیم غذایی غنی از پروتئین حاصل می‌شوند موجب کاهش طول ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد شده‌اند. در شرایط تنش‌های شوری و پرآبی، بیشترین وزن خشک در گیاهان دریافت کننده‌ی فضولات بدست آمده از رژیم غذایی دارای ۶۶ درصد کربوهیدارت، شش درصد چربی و ۲۸ درصد پروتئین گزارش شده است. این نوع از فضولات بیشترین کارایی را در شرایط تنش خشکی نیز داشته‌اند.

میکروب‌های موجود در این نوع از فضولات کارایی بهتری برای تحریک رشد گیاهان و القای تحمل به شرایط تنش را دارا بوده اند. در گیاهچه‌های چغندر قند هنگامی که از فضولات استریل شده استفاده شد، مقدار کلروفیل و وزن تر اندام هوایی کاهش یافته است. لوبیاهای پرورش یافته در شرایط تنش های غیر زنده کاهش قابل توجهی را در طول اندام هوایی نشان دادند. همچنین وزن خشک آنها در شرایط تنش‌های خشکی و پر آبی کاسته شده است (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه کارایی انواع فضولات سوسک زرد آرد در افزایش تحمل به تنش های نامساعد در گیاهچه های چغندر قند (پودا و همکاران، ۲۰۱۹)

فضولات نوع ۱ در اثر تغذیه لارو از رژیم غذایی دارای ۶۶ درصد کربوهیدارت، ۶ درصد چربی و ۲۸ درصد پروتئین.

فضولات نوع ۲ در اثر تغذیه لارو از رژیم غذایی دارای ۷۷ درصد کربوهیدارت، ۶ درصد چربی و ۱۸ درصد پروتئین.

فضولات نوع ۳ در اثر تغذیه لارو از رژیم غذایی دارای ۴۹ درصد کربوهیدارت، ۱۲ درصد چربی و ۳۹ درصد پروتئین.

فضولات حشرات دارای میکرو ارگانیسم‌های مفید و تنها منبع در دسترس کیتین برای گیاهان می‌باشند. کیتین پلیمری طبیعی است که در مقابله با تنش‌های زنده‌ی محیطی پپتیدهای ضد میکروبی تولید می‌کند که موجب تحریک و تقویت سیستم ایمنی گیاه می‌شود (چوی و حسن‌زاده، ۲۰۱۹). گیاه از این ترکیبات برای مقابله با دشمنان طبیعی خود مانند حشرات و عوامل بیماری زا استفاده می‌کند. کیتین و کیتوزان توانایی دفاعی گیاهان را در برابر انواع قارچ‌های بیماریزا مانند *Fusarium graminearum*، *Rhizoctonia solani*، *Phytophtora infestans*، *Botrytis cinerea*، حشرات گیاهخوار مانند سوسک برگخوار سیب زمینی Leptinotarsa *decemlineata* و کرم شاخدار توتون *Manduca sexta* (داگلاس، ۲۰۱۸) و همچنین نماتدهای بیماریزای ریشه مانند *Meloidogyne* spp. (اسکودرو و همکاران، ۲۰۱۷) افزایش می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فضولات لارو مگس سرباز نه تنها عوامل بیماری‌زای گیاهان مانند قارچهای R. *solani* و *Fusarium oxysporum* را منتقل نمی‌کند بلکه عاملی برای محافظت از آنها محسوب می‌شود. از این رو افزودن آنها به خاک می‌تواند در جلوگیری از بیماری‌های قارچی ناشی از آنها کمک کند. همچنین اگر حتی این قارچها در رژیم غذایی لاروها وجود داشته باشد، فضولات تولید شده توسط آنها عاری از اسپور قارچها

خواهد بود. در نتیجه از فضولات لاروهای مگس سرباز می‌توان با اطمینان به عنوان کود آلی استفاده نمود (چوی و حسن زاده، ۲۰۱۹).

مقایسه کود حشرات با سایر کودهای دامی

بررسی خصوصیات شیمیایی فضولات برخی حشرات مانند سوسک سیاه آرد و مگس سیاه سرباز (جدول ۱) نشان می‌دهد که آنها از نظر غلظت عناصر پرمصرفی مانند N، K و P با سایر کودهای دامی خصوصاً کود مرغی که از پتانسیل بالایی برای تقویت گیاهان برخوردار می-باشند، قابل رقابت هستند. ولی بر خلاف کودهای معدنی، فضولات حشرات حاوی غلظت کمتری از عناصر ریزمغذی (مانند مس و روی) می‌باشند (هوبن و همکاران، ۲۰۲۰). هرچند وجود عوامل بیماریزا، حشرات، نماتدها، بذر علف-های هرز، داشتن بوی نامطبوع و امکان انتقال بیماری‌های مشترک بین انسان و دام از معایب کودهای آلی با منشا دامی محسوب می‌شود (رضایی، ۱۳۹۲) ولی فضولات حشرات فاقد همه‌ی معایب ذکر شده هستند. از طرف دیگر میزان رطوبت فضولات حشرات کم و حدود ۱۰ درصد است که در مقایسه با فضولات بسیاری از حیوانات کمتر در معرض آلودگی قارچی قرار می‌گیرد. همانگونه که در جدول ۵ نشان داده شده است مقدار عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان در فضولات لارو سوسک زرد آرد از بسیاری از کودهای دام‌های مختلف بیشتر است. از طرف دیگر نسبت کربن به نیتروژن (C/N) آن نیز از همه‌ی کودهای دامی رایج کمتر (۹/۸۶) است. یکی از مهمترین عوامل کنترل‌کننده ماده آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن است. این نسبت شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی توان حاصلخیزی کودها است. اگر این نسبت بیشتر از ۳۰ باشد فرایند ایمبولیزه شدن، آلی شدن، بدنی شدن میکروبی، آسیمیلاسیون نیتروژن یا توقف معدنی شدن رخ می‌دهد. وقتی مواد آلی با نسبت C/N بیشتر از ۳۰ به خاک‌ها افزوده می‌شوند، در ابتدای فرایند تجزیه، نیتروژن خاک به صورت ساکن در می‌آید. برای نسبت‌های بین ۲۰ و ۳۰ معمولا ساکن شدن و آزاد شدن نیتروژن معدنی اتفاق نمی‌افتد و تعادل برقرار می‌ماند. اگر نسبت C/N کمتر از ۲۰ باشد آزاد سازی نیتروژن خالص قابل دسترس برای گیاه افزایش می‌یابد. اگر مواد آلی دارای نسبت C/N کمتر از ۲۰ باشند معمولا در اوایل فرایند تجزیه نیتروژن معدنی آزاد می‌شود. این نسبت در خاک سطحی با محیط خود دارای تعادلی حدود ۱۰ یا ۱۲ به یک است (هاول، ۲۰۰۵).

جدول۵- مقدار عناصر پرمصرف (درصد وزن خشک) و نسبت کربن/ نیتروژن در انواع متداول کودحیوانی و فضولات سوسک زرد آرد (رینک و همکاران، ۱۹۹۲ و لیو و همکاران، ۲۰۰۳)

عنصر	منبع کود					
	گوسفند	اسب	گاو	مرغ	کرم خاکی	سوسک زرد آرد
نیتروژن (N)	۳/۶۲	۳/۱	۲/۲۶	۳/۶۱	۱/۶	۳/۶۶
فسفر (P)	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۶۴	۱/۹۹	۰/۴	۱/۴۰
پتاسیم (K)	۲/۹۷	۱/۳۷	۲/۰۴	۱/۶۶	۰/۴	۱/۶۲
کربن/ نیتروژن(C / N)	۱۶	۲۵	۲۰	۱۰	۱۵/۵	۹/۸۶

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

انتظار می‌رود در آینده‌ی نزدیک تولید حشرات صنعتی در ایران همانند بسیاری از کشورها به دلیل نیاز روز افزون به یافتن منابع جایگزین پروتئین و چربی، رشد چشمگیری داشته باشد و در نتیجه تولید فضولات حشرات نیز به تبع آن افزایش یابد. از طرف دیگر ضرورت توجه به توسعه ی کشاورزی پایدار و لزوم حفظ محیط زیست، استفاده از کود های سازگار با طبیعت از جمله فضولات حشرات را اجتناب‌ناپذیر خواهد نمود. نتایج مطالعات انجام شده در شرایط مزرعه و گلخانه نشان می‌دهد که فضولات

حشرات از پتانسیل بسیار خوبی برای جایگزینی کامل یا جزئی با کود های معدنی NPK برخوردار هستند. در واقع فضولات حشرات به دلیل معدنی شدن سریع و تامین عناصر پر مصرف گیاهان مانند N، P وK شباهت زیادی با کود های NPK دارند ولی از جنبه ی تولید زیست توده ی پایدار، سازگاری با کشاورزی زیستی و نداشتن فلزات سنگین نسبت به آنها برتری دارند. از طرف دیگر صنعتی شدن تولید حشرات موجب کاهش قابل توجه هزینه‌ی پرورش آنها شده است و دستیابی اقتصادی به فضولات حشرات را که از محصولات فرعی مراکز تولید حشرات می باشد، را فراهم ساخته است. در نهایت فضولات حشرات علاوه بر آنکه بعنوان یک منبع پایدار برای مدیریت تغذیه گیاهان محسوب می‌شوند، می‌توانند جایگزینی امیدوارکننده برای کودهای متعارف بشمار آیند. در حال حاضر مقدار تولید سالانه فضولات سوسک زرد آرد که تجاری‌ترین حشره‌ی صنعتی ایران است و بیشترین مصرف آن در تولید محصولات گلخانه‌ای خصوصا پرورش انواع کاکتوس و ساکولنت‌ها می‌باشد، سالانه بیش از ۲۰۰ تن می‌باشد. با توجه به سیستم پرورش این حشره هزینه جمع‌آوری و بسته بندی هر تن کود میلورم در سال مورد بررسی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار تومان تخمین زده می شود که در مقایسه با کودهای آلی و شیمیایی توانایی رقابت اقتصادی را دارا خواهد بود.

فهرست منابع

۱- ارباب، ع.، ۱۳۹۷. حشره‌شناسی صنعتی: جلد اول: سوسک زرد آرد (سوسک زرد آرد) *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae) آشنایی، پرورش، فرآوری و کاربردها. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. ۲۱۵ص.

۲- ارباب، ع.، ۱۳۹۸. مروری برامکان جایگزینی آرد حشرات با آرد ماهی درجیره غذایی آبزیان. بهره‌برداری وپرورش آبزیان، جلد ۸، شماره ۲، ۱۵-۱.

۳- رضایی، ح. ۱۳۹۲. مروری برتحقیقات کاربردکودهای دامی در اراضی کشاورزی ایران. مدیریت اراضی، جلد ۱ شماره ۱، ۶۸-۵۵.

٤- غلامی، ح.، صیدی، د.، رضا یزدی، ک.، اسماعیلی، ح.، افتخاری، م.، اقباله، ا.، پهلوان شریف، ا. و راهنورد ع. ۱۳۹۴. راهنمای پرورش گوسفند و بز. نشر آموزش کشاورزی، ۵۳۳ ص.

5- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Musyoka, M.W., Fiaboe, K.K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F.M., Subramanian, S., Dubois, T., Ekesi, S. and Tanga, C. M. 2020. Nitrogen fertilizer equivalence of Black Soldier Fly frass fertilizer and synchrony of nitrogen mineralization for maize production. Agronomy, 10:1395.

6- Choi, Y.C., Choi, J.Y. Kim, J.G., Kim, M.S., Kim, W.T., Park, K.H., Bae, S.W. and Jeong, G.S. 2009. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens*(Diptera: Stratiomyidae). International Journal of Industrial Entomology, 19: 171-174.

7- Couture, J.J., and Lindroth, R.L. 2014. Atmospheric change alters frass quality of forest canopy herbivores. Arthropod-Plant Interactions, 8: 33–47.

8- Douglas, AE. 2018. Strategies for enhanced crop resistance to insect pests. The Annual Review of Plant Biology, 69: 637–660.

9- Escudero, N., Lopez-Moya, F., Ghahremani, Z., Zavala-Gonzalez, E.A., Alaguero-Cordovilla, A., Ros-Ibañez, C., Lacasa, A., Sorribas, F.J., and Lopez-Llorca, L.V. 2017. Chitosan increases tomato root colonization by *Pochonia chlamydosporia* and their combination reduces root-knot nematode damage. Frontiers in Plant Science, 8:1415.

10- Fagan, W.F.,Siemann, E., Mitter, C., Denno, R.F., Huberty, A.F,. Woods, A., Elser, J.J. 2002. Nitrogen in insects: Implications for trophic complexity and species diversification. The American Naturalist, 160: 784-802.Fielding, D.J.,Trainor, E., and Zhang, M. 2012.

Diet influences rates of carbon and nitrogen mineralization from decomposing grasshopper frass and cadavers. Biology and Fertility of Soils49: 5.

11- Frost, C.J., and Hunter, M.D. 2007. Recycling of nitrogen in herbivore feces: Plant recovery, herbivore assimilation, soil retention, and leaching losses. Oecologia, 151: 42-53.

12- Garttling, D., Kirchner, S.M. and Schulz, H. 2020. Assessment of the N- and P-Fertilization effect of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) by-products on maize. Journal of Insect Science, 20: 8, 1–11.

13- Grace, J.R. 1986. The influence of gypsy moth on the composition and nutrient content of litter fall in a Pennsylvania oak forest. Forest Science, 32: 855–870.

14- Hollinger, D.Y. 1986. Herbivory and the cycling of nitrogen and phosphorus in isolated California oak trees. Oecologia, 70: 291–297.

15- Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M., and Dulaurent, A.M. 2020. Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. Scientific Reports, 10: 4659.

16- Huis, A. van. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. In: Annual review of entomology 58: 563–83.

17- Hunter, M.D. 2001. Insect population dynamics meets ecosystem ecology: Effects of herbivory on soil nutrient dynamics. Agricultural and Forest Entomology, 3: 77-84.

18- Hunter, M.D., Linnen, C.R., and Reynolds, B.C. 2003. Effects of endemic densities of canopy herbivores on nutrient dynamics along a gradient in the southern Appalachians. Pedobiologia, 47: 231–244.

19- Kagata, H. and Ohgushi, T. 2012. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. Population Ecology, 54, 75–82.

20- Klammsteiner, T., Turan,V., Oberegger, S., Insam, H., and Fernandez-Delgado J.M. 2019. Black soldier fly, (Hermetiaillucens) frass as plant fertilizer. 7th International conference on sustainable solid waste management.39-40.

21- Klammsteiner, T., Turan,V., Fernandez-Delgado J.M., Oberegger, S., and Insam, H.2020. Suitability of black soldier fly frass as soil amendment and implication for organic waste hygienization. Agronomy. 10, 1578.

22- Koller, R., Rodriguez, A., Robin, C., Scheu, S., and Bonkowski, M. 2013. Protozoa enhance foraging efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi for mineral nitrogen from organic matter in soil to the benefit of host plants. New Phytologist, 199: 203-211.

23- Kummerow, J., Alexander, J.V., Neel, J.W., and Fishbeck, K. 1978. Symbiotic nitrogen fixation inCeanothus roots. American Journal of Botany, 65: 63-69.

24- Lalander, C.H., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson,S., and Vinnerås, B. 2014. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling". In: Agronomy for Sustainable Development, 35: 261–271.

25- Liu, H.R., Yang, Z.F., Tan, D.F., and Wu, Z.S. 2003. Study on the fertilizer efficiency of the frass of *Tenebrio molitor* L. Journal of Quanzhou Normal University, 21: 68–70.

26- Luo, H.Y., Wang, H., and Wang, Q. 2011. Effects of different application amount of yellow mealworm excrement on growth and quality of rape. Shandong Agricultural Sciences, 8:75-77.

27- Madritch, M.D., Jordan, L.M., and Lindroth, R.L. 2007. Interactive effects of condensed tannin and cellulose additions on soil respiration. Canadian Journal of Forest Research, 37:2063–2067.

28- Malerba, M., and Cerana, R. 2018. Recent advances of chitosan applications in plants. Polymers, 10:118.

29- McFarlane, J.E. and ALLI, I. 1985. Volatile fatty acids of frass of certain omnivorous insects. Journal of Chemical Ecology, 11: 1. 59-63.

30- Poveda, J. Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Usategui-Martín, R., Rivas and García-Fraile, R. P. 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance inductor in plants. Applied Soil Ecology, 142: 110-122.

31- Quilliam, R.S., Nuku-Adeku, C., Maquart, P., Little, D., Newton, R. and Murray, F**.** 2020**.** Integrating insect frass biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food systems. Journal of Insects as Food and Feed. 6: 315–322.

32- Ray, S., Alves, P.C., Ahmad, I., Gaffoor, I., and Acevedo, F.E. 2016. Turnabout is fair play: Herbivory induced plant chitinases excreted in fall armyworm frass suppress herbivore defenses in maize. Plant Physiol. 171:694–706.

33- Reynolds, H.L., Packer, A., Bever, D., and Clay, K. 2003. Grassroots Ecology: Plant-Microbe-Soil interactions as drivers of plant community structure and dynamics. Ecology. 84: 9. 2281-2291.

34- Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G.B., Singley, M.E. Richard, T.L. Kolega, J.J. Gouin, R. L. Laliberty, J.R., Kay, D. Murphy, D.W. Hoitink, H.A.J. and Brinton, W.F. 1992. On-Farm composting handbook. (ed). Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, N.Y.

35- Sánchez, C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechnological Advance, 27: 185-194.

36- Schoonhoven, L.M, Dicke, M, and van Loon, J.A.J. 2005. Insect-Plant Biology. Oxford Biology, New York.

37- Scott, W., Behie, M., and Bidochka, J. 2013. Insects as a nitrogen source for plants. Insects, 4: 413-424.

38- Van Emden, H.F. 1989. Pest Control. 2nd ed.; Edward Arnold Publication. London, UK, New York.

39- Weaver, D.K. McFarlane, J.E. and All, I. 1990. Repellency of volatile fatty acids present in frass of larval yellow mealworms, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), to larval conspecifics. Journal of Chemical Ecology, 16:585-593.

40- Yildirim-Aksoy, M., Eljack, R. and Beck, B.H. 2020. Nutritional value of frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in a channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and diet. Aquaculture Nutrition, 26: 3. 300-309.

41- Zahn, NH. 2017. The effects of insect frass created by *Hermetia illucens* on spring onion growth and soil fertility. Bachelor's thesis, University of Stirling, Stirling, Great Britain.

Feasibility of Using Insect Frass to Improve Soil Fertility

A. Arbab[1]

Associate Professor, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan-Iran. **abbasarbab@hotmail.com**

Received: June 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Insects are the most abundant organisms associated with plants and soil. Mass rearing of insects to supply animal feed has provided access to insect frass as a new source of organic fertilizer. The chemical composition of insect frass (i.e., proper amounts of organic nitrogen, soluble carbon, and nutritional elements as well as a low carbon to nitrogen ratio) and its physical properties (fine size and layered structure) have given rise to an increasing interest in their potential use for enhancing soil fertility and developing novel organic products. In addition to its being a rich source of plant nutrients, insect frass not only contains beneficial microorganisms such as some species of *Bacillus* and *Pseudomonas* bacteria but is also the only source of chitin available top plants to improve their resistance to biotic (insects and nematodes) and abiotic (drought and salinity) stresses. Current studies in the field are focused on the two industrial insects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) and mealworm (*Tenebrio molitor*). The results have shown that application of 5-10 tons of frass from these two insects per hectare of farm soil increases the yield, both in quantity and quality, in such important crops as rapeseed, barley, rye grass, corn, and sugar beet. Given the nationwide rise in the mass rearing of industrial insects, it is instructive to accelerate the development of appropriate methods and standards for their application as a fertilizer.

Keywords: Insect frass, Soil fertility, Organic fertilizer, Biofertilizer

[1]- Corresponding author: Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan-Iran.