



مدیریت پسماندهای آلی با بهره گیری از مگس سرباز سیاه

فاطمه محمدیگی^{۱*}، مهدیس امجدی^۲، رمضانعلی پوررستمی^۳، سمیرا حیدری^۴

۱. دانشجوی دکترای حشره‌شناسی کشاورزی، سازمان سیما منظر و فضای سبز کرج، کرج، ایران

۲. کارشناس ارشد باغبانی (گیاهان زینتی)، سازمان سیما منظر و فضای سبز کرج، کرج، ایران

۳. دکترای تخصصی جنگل، مشاور شهردار کرج، کرج، ایران

۴. دکترای حشره‌شناسی کشاورزی، سازمان سیما منظر و فضای سبز کرج، کرج، ایران

* مسئول مکاتبات: fmbeigi6187@gmail.com

چکیده

مدیریت نادرست پسماندهای آلی منجر به اثرات مخرب بر محیط زیست ما شده و می‌تواند اثرات منفی تغییرات اقلیمی را تسریع و در نهایت، دستیابی به اهداف توسعه پایدار را با چالش بزرگی مواجه کند. بنابراین، امروزه به‌کارگیری فناوری بازیافت مناسب پسماندهای آلی، با در نظر گرفتن سه جنبه پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، به یک مسئله مهم تبدیل شده است. مگس سرباز سیاه (BSF) به عنوان یکی از فناوری‌های بازیافت امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شود که به سه جنبه پایداری دست می‌یابد. میانگین زمان کمپوست شدن لاروهای BSF حدود ۱۲ تا ۱۵ روز است که سریع‌تر از زمان کمپوست شدن میکروب‌ها یا کرم‌های خاکی (۴ تا ۵ هفته) است. BSF به دلیل دارا بودن محتوای تغذیه‌ای بالا، مانند آنزیم، کیتین، اسید چرب با زنجیره متوسط و پپتیدهای ضد میکروبی، پتانسیل استفاده به عنوان یک ماده غذایی و خوراک دام را دارد و می‌تواند به عنوان یک ماده غذایی کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، برخی چالش‌ها در مورد استفاده از لاروهای BSF به عنوان یک عامل تبدیل زیستی، مانند بقایای فلزات سنگین، بقایای آفت‌کش‌ها، عوامل بیماری‌زا و انتقال ژن‌های ضد میکروبی و بقایایی که نیاز به بهترین استراتژی کمپوست برای کاهش الودگی دارند، وجود دارد. تحقیقات باید بر افزایش مؤثر و ایمن کشت و فرآوری BSF و کاربردهای آن به عنوان یک عامل کاربردی متمرکز شود. در نتیجه، BSF یک جایگزین سودآور برای تبدیل زیستی زباله‌های آلی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است.

واژگان کلیدی: پسماند آلی، محیط زیست، توسعه پایدار، مگس سرباز سیاه، بازیافت، کمپوست، تبدیل زیستی.

مقدمه

مدیریت پسماند یک موضوع فزاینده است که بر بسیاری از جنبه‌های محیطی، اجتماعی و توسعه اقتصادی تاثیر می‌گذارد (Matheca et al., 2022). با رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی و شهرنشینی به ویژه در کشورهای کم درآمد و متوسط، پاسخگویی به تقاضا برای مواد غذایی باکیفیت و نیز مدیریت پسماندهای آلی، به منابع قابل توجهی نیاز دارد. زنجیره تامین مواد غذایی، سالانه ۱/۳ میلیارد تن زباله کشاورزی و مواد غذایی در دنیا تولید می‌کند. که به لحاظ اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، استراتژی‌های مناسبی برای مدیریت پسماند ضرورت دارد (Rajasekar et al., 2023). محتوای بالای رطوبت و مواد مغذی، ناپایداری بیولوژیکی ناشی از تجزیه زیستی، فعالیت آنزیمی و همچنین حضور بالقوه عوامل بیماری‌زا، مدیریت پسماندهای آلی را در مقایسه با سایر پسماندها چالش برانگیزتر می‌کند (Surendra et al., 2020). در حال حاضر رویکردهای متفاوتی در مدیریت پسماندهای آلی وجود دارد. با این حال برنامه ریزی نامناسب مدیریت پسماند جامد، نبود تخصص فنی و تجهیزات برای جمع‌آوری، حمل و نقل، تصفیه و دفع مواد زائد جامد و منابع مالی ناکافی، وضعیت را اسفبار کرده است. به دلیل نبود جایگزین، زباله‌های آلی اغلب در محل‌های دفن زباله تخلیه می‌شوند. جایی که مواد را به صورت انبوه در شرایط بی‌هوای



تجزیه و در نتیجه اثرات منفی نظیر آلودگی آب، تکثیر حشرات ناقل بیماری و انتشار گازهای گلخانه‌ای به جا می‌گذارند (Matheca et al., 2022)

بازیافت پسماندهای آلی اغلب نادیده گرفته می‌شود، زیرا ارزش محصولات آن کمتر از سایر مواد زائد مانند پلاستیک، شیشه، فلز و ... تلقی می‌شود. با این حال تصفیه زباله‌های آلی در کشورهای کم درآمد که بیشترین درصد زباله جامد شهری را تشکیل می‌دهند، به طور قابل توجهی کل سیستم مدیریت پسماند را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، خطرات زیست محیطی و بهداشتی ناشی از دفع نامناسب زباله کاهش می‌یابد. فناوری‌های مختلفی برای ارزشمندسازی پسماند آلی مورد مطالعه و اجرا قرار گرفته که مهمترین آنها تولید کمپوست و هضم بی هوازی می باشد که در کشورهای با درآمد کم و متوسط، اجرای این راه‌حل‌ها به دلیل وجود موانعی نظیر ضعف منابع مالی، عدم حمایت سیاسی، قانونگذاری ضعیف، چارچوب‌ها و موانع قانونی مانع از بازاریابی محصولات ناشی از فرآیندهای ارزشمندسازی پسماند و نیز فقدان مدل های تجاری قابل دوام می‌شود (Joly et al., 2019).

50 تا 70 درصد زباله‌های جامد منتقله به لندفیل‌ها، مواد آلی هستند که تجزیه آنها متان و دی اکسید کربن را به عنوان محصولات نهایی منتشر می‌کند و باعث تجمع گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییرات اقلیمی می‌شود. شرایط غیر بهداشتی در محل‌های دفن زباله سبب افزایش حیوانات موزی، مگس خانگی و جوندگان ناقل و گسترش بیماری‌هایی نظیر وبا و مالاریا می‌شود. تهیه کمپوست یکی از روش‌های کاهش پسماندهای آلی ارسالی به لندفیل‌ها است (Amrul et al., 2022).

ضایعات آلی شامل ضایعات مواد غذایی، محصولات جانبی نامطلوب از جمله لجن فاضلاب تصفیه خانه‌ها، کود حیوانی و ... است. ضایعات آلی، دی‌اکسید کربن زیادی تولید می‌کند و پیش بینی می‌شود انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال 2050 از 1/6 به 2/6 میلیارد تن افزایش یابد (Ratchaprapa et al., 2024).

کود حیوانی از جمله پسماندهای آلی جامد است که مهم‌ترین استراژی برای دفع آن استفاده در زمین‌های کشاورزی می‌باشد، ولی به دلیل سطوح بالای فسفر و نیتروژن در کود دامی، خاک آلوده شده و در نتیجه آلودگی محیط زیست را در پی دارد. بنابراین مدیریت کود حیوانی و ضایعات کشاورزی، از طریق فناوری‌هایی نظیر فشرده‌سازی و کمپوست انجام می‌شود که هزینه زیادی در پی دارد. ضمن این که به دلیل انتشار گاز متان و آمونیاک، باعث آلودگی محیط زیست شده و افزایش ظرفیت خاک با فسفر به دلیل مصرف کود دامی، شسته شدن فسفر از خاک توسط رواناب‌های سطحی، فرسایش مداوم خاک را به دنبال دارد. بنابراین پسماندهای آلی جامد مستلزم یک مدیریت فراگیر به منظور کاهش خطرات زیست محیطی و کاهش هزینه‌های طولانی مدت دفع است. نیاز به بازاریابی بهتر منابع، تلاش‌هایی را برای بازیافت جامع‌تر مواد مغذی موجود در ضایعات آلی برای فرمولاسیون خوراک دام، تهیه خاک، سوخت جامد و تولید بیوگاز افزایش داده است. تبدیل زیستی توسط حشرات یکی از نوآورانه‌ترین فناوری‌ها برای مدیریت زباله است، زیرا بهره‌وری و کارایی زنجیره غذایی را افزایش می‌دهد (Matheca et al., 2022).

با توجه به این موضوعات، هدف اصلی این مقاله بررسی اهمیت و کاربرد مگس سرباز سیاه در مدیریت پسماندهای آلی و نقش آن در کاهش آلودگی‌های محیطی است. در این مقاله ابتدا به چالش‌های مدیریت پسماند آلی پرداخته می‌شود، سپس مگس سرباز سیاه، معرفی شده و در نهایت، محصولات ناشی از فعالیت این حشره روی پسماندهای آلی، مزایا و سیستم پردازش این حشره در دنیا مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تصفیه پسماندهای آلی مبتنی بر حشرات

گزارش شده که پرورش حشرات بر روی پسماندهای آلی مختلف مثل ضایعات مواد غذایی، مدفوع انسان و کود دامی باعث کاهش پسماندهای آلی بین 25 تا 72 درصد می‌شود. بسیاری از حشرات متعلق به راسته‌های Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera, Hemiptera



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

Odonata و Trichoptera, Coleoptera. فعالیت‌های ضدقارچی و یا پتیدهای ضد میکروبی دارند. بنابراین پرورش حشرات بر روی پسماندهای آلی باعث کاهش پاتوژن‌ها و بوی نامطبوع می‌شود. چندین گونه از حشرات مانند ملخ‌ها، جیرجیرک‌ها، مگس خانگی و مگس سرباز سیاه به عنوان عوامل کلیدی شناخته شده‌اند (Surendra et al., 2020).

حشرات می‌توانند به عنوان عامل زیستی تبدیل پسماندهای آلی مانند ضایعات مواد غذایی و کود دامی عمل نمایند به نحوی که محصولات آن می‌تواند برای تولید خوراک غنی از مواد مغذی و کود آلی مورد استفاده قرار گیرد (Rajasekar et al., 2023). حشرات به ویژه لاروهای گونه‌های مختلف مگس و برخی از سوسک‌ها به راحتی از کود تازه تغذیه می‌کنند و پروتئین باقیمانده و سایر مواد مغذی را به زیست توده خود تبدیل کرده که می‌تواند یک خوراک دام با کیفیت بالا باشد (Octaviani et al., 2024).

درمان ضایعات مواد غذایی مبتنی بر حشرات به طور فزاینده‌ای به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست برای بازیافت منابع شناخته می‌شود و مزیت این روش، هزینه پایین اجرا است. علاوه بر این، چنین حشراتی می‌توانند یک منبع پروتئین عالی باشند. حفظ شرایط مناسب مانند اجزای خوراک، دما، رطوبت و PH به منظور زنده ماندن و رشد حشرات اهمیت دارد. انتخاب مناسب‌ترین حشره یک عامل کلیدی است و برای یافتن گونه‌ای که بهترین عملکرد تجزیه زیستی را ارائه دهد باید چندین ویژگی در نظر گرفته شود (Forrenato et al., 2023). لارو حشرات مختلف مانند *Tenebrio molitor* L. از راسته Coleoptera و دوبالانی نظیر مگس سیاه سرباز *Hermetia illucens* و *Sarcophaga carnaria* L. و مگس خانگی *Musca domestica* برای تبدیل زیستی زباله‌های آلی شناخته شده‌اند. لارو *Tenebrio molitor* L. 23 تا 47 درصد چربی و توانایی مصرف سبزیجات پوسیده را به عنوان بستر تغذیه دارد. علاوه بر آن لارو مگس خانگی می‌تواند در بستری از مواد آلی جامد و کود رشد کند. اگرچه مگس خانگی سرعت تولید مثل بالایی دارد، اما یک آفت است و می‌تواند به طور گسترده‌ای انواع بیماری‌ها و انگل‌ها را منتقل کند و سایر حشرات نیز محدودیت‌هایی جهت استفاده در این حوزه دارند و می‌توانند مشکلاتی را برای دام و انسان ایجاد کنند. در میان گونه‌های مختلف حشرات، تنها لارو مگس سیاه سرباز به دلایل مختلف به عنوان یک حشره مفید در این راستا در نظر گرفته می‌شود (Ratchaprapa et al., 2024). تصفیه زباله‌های زیستی با لارو مگس سرباز سیاه BSF یک گزینه جایگزین برای مدیریت زباله‌های آلی است که باید اثرات زیست محیطی آن در ارزیابی با گزینه‌های درمانی معمول مقایسه شود (Forrenato et al., 2023).

درمان پسماندهای آلی با استفاده از مگس سرباز سیاه BSF (Black Soldier Fly)

در میان حشرات، درمان ضایعات غذایی با استفاده از لارو مگس سرباز سیاه (BSFL) توجه زیادی را به خود جلب کرده است. BSF متعلق به راسته Diptera و خانواده Stratiomyidae بوده و در مناطق گرمسیری و معتدل در سراسر جهان زندگی می‌کند. تبدیل پسماندهای آلی توسط BSFL یک تکنیک بازیافت عالی و یک راه حل جامع می‌باشد که سبب بروز کمتر اثرات نامطلوب زیست محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و ردپای زیست محیطی کمتر برای تولید خوراک دام و سایر مکمل‌های غذایی است (Amrul et al., 2022). لارو مگس سرباز سیاه (BSFL) از انواع پسماندهای آلی نظیر ضایعات غذایی، ضایعات ناشی از صنعت کشاورزی و کود دامی و مرغی به مقدار قابل توجهی تغذیه کرده و وزن اولیه پسماندهای آلی را در مدت زمان کمتری در مقایسه با تولید کمپوست، کاهش می‌دهد. BSF ها به عنوان عوامل تبدیل آلی تکثیر شده‌اند، زیرا آن‌ها انواع مختلفی از مواد آلی را به اندازه 4 برابر وزن خود می‌خورند و لاروهای حاوی 40 درصد پروتئین و 30 درصد زیست توده چربی تولید می‌کنند. تبدیل زیستی پسماندهای آلی توسط BSF کاربردهای مختلفی نظیر کاهش ضایعات، تثبیت، خوراک دام و ایجاد فرصت‌های اقتصادی جدید برای کارآفرین‌های کوچک در کشورهای در حال توسعه دارد (Rajasekar et al., 2023).

بنابراین فناوری مبتنی بر BSF می‌تواند به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین فناوری‌ها برای پردازش زباله‌های آلی در نظر گرفته شود (Joly et al., 2019). جدیدترین فناوری مدیریت زباله، تبدیل زیستی با استفاده از لارو مگس است که پسماندهای آلی را به زیست توده لارو حشرات و بقایای آلی تبدیل می‌کند. تبدیل زیستی یک عمل بازیابی منابع است که مقدار دفن ماده آلی را به حداقل می‌رساند. ارگانوسم‌های



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

متعددی در این فرآیند درمانی استفاده و مطالعات زیادی در خصوص استفاده از لارو مگس سیاه سرباز برای تجزیه مواد آلی انجام شده است. بیشتر این مطالعات بر تجزیه کود دامی توسط لارو مگس سیاه سرباز در کشورهای توسعه یافته، متمرکز شده است (Chatli et al., 2019).

لاروها در صورت تغذیه از پسماند آلی تبدیل به یک زیست توده بسیار مغذی و قابل برداشت شده و می‌تواند به عنوان یکی از اجزاء تشکیل دهنده خوراک دام یا بیودیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد و باقیمانده پسماند نیز می‌تواند پس از پردازش به عنوان کود زیستی استفاده شود. علاوه بر بهبود مدیریت پسماند، فناوری BSF می‌تواند به امنیت غذایی کمک کند (Joly et al., 2019).

BSFL می‌تواند حدود 58 درصد ماده خشک موجود در یک منبع آلی را به خوراک دام باکیفیت تبدیل کند. با توجه به این واقعیت که تقریباً 1/3 میلیارد تن غذا سالانه هدر می‌رود، فرصت خوبی برای استفاده از این مگس برای تبدیل زیستی وجود دارد (Chatli et al., 2019). BSF به عنوان عامل ارزشمندسازی پسماندهای آلی و تولید خوراک دام به مدت بیش از 7 دهه مطالعه شده است. با این حال پتانسیل فناوری BSF برای تبدیل زیستی پسماندهای آلی به محصولات باارزش به خوبی بررسی نشده است (Surendra et al., 2020). در مواجهه با افزایش جمعیت جهان و چالش‌های زیست محیطی، امنیت غذایی همچنان یک نگرانی مبرم است. از آنجا که تغییرات اقلیمی، از دست دادن تنوع زیستی و کمبود آب بر بهره‌وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد، دامداری سنتی با محدودیت در پاسخگویی به تقاضای روزافزون جهانی برای گوشت و محصولات لبنی مواجه است. در این زمینه لارو مگس سرباز سیاه به عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای تولید مواد غذایی پایدار بوده و دارای چندین مزیت نسبت به دام‌های معمولی است. از جمله رشد سریع، سازگاری با مواد زائد آلی مختلف و اثرات زیست محیطی کم. نرخ تبدیل زیستی آنها، توانایی تبدیل ضایعات آلی به محصولات باارزش و بهینه سازی محصول نهایی از جمله عوامل کلیدی هستند که پتانسیل آنها را به عنوان یک منبع پروتئین غنی از مواد غذایی، کود و سوخت زیستی افزایش می‌دهد (Siddiqui et al., 2024). BSFL پرورش یافته بر روی ضایعات غذایی می‌تواند به عنوان غذای حیوانات خصوصاً در آبرزی پروری استفاده شود (Gligorescu et al., 2020).

BSFL می‌تواند هدر رفت مواد غذایی را کاهش دهد، راندمان تبدیل بالاتری را برای بیودیزل بدست آورده، پاتوژن‌ها را غیرفعال کند و انتشار بو را کاهش دهد (با توجه به زمان پردازش کوتاه و کاهش فعالیت باکتری‌ها). علاوه بر این پروتئین‌های BSF اخیراً برای تولید پلاستیک‌های زیستی در نظر گرفته شده‌اند (Forrenato et al., 2023).

بازیافت ضایعات آلی با استفاده از BSF باعث تولید چند محصول و فرآورده‌های جانبی مانند پروتئین، کیتین، آنتی اکسیدان‌ها، قندها، اسیدهای آمینه و لیپیدها می‌شود که تأثیر مستقیمی بر صنایع مختلف مانند صنایع غذایی حیوانات، داروسازی، سوخت‌های زیستی بیوهیدروژن و بیوگاز دارد. BSFL بالغ حاوی 20 تا 40 درصد محتوای چربی است و می‌تواند به عنوان ماده اولیه پروتئین و چربی برای خوراک طیور و تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرد. این حشره نه تنها می‌تواند به کنترل مگس خانگی که یک آفت است کمک کند، بلکه خود حشرات بالغ این گونه نیز آفت نیستند و لاروها ساپروفاز بوده و قادر به ارزشمندسازی مقدار زیادی مواد آلی جامد هستند (Ratchaprapa et al., 2024). محققین بر این باورند که BSF یک موجود پویا با فواید بسیار و یک عامل کمپوست عالی با کمترین تأثیر زیست محیطی است. سیستم تصفیه پسماندهای آلی توسط BSF یک فناوری سبز است که زباله‌های آلی را کاهش می‌دهد، حتی اگر کاهش در مقیاس کوچک باشد (Amrul et al., 2022).

معرفی مگس سرباز سیاه (BSF)

مگس سرباز سیاه با نام علمی (*Hermetia illucens* L) متعلق به راسته Diptera و خانواده Stratiomyidae می‌باشد که با نام لارو توالت نیز شناخته می‌شود. این حشره به طور کلی حشره‌ای مفید و غیرآفت محسوب می‌شود. عموماً مرتبط با فضای باز بوده و معمولاً در



اطراف مواد آلی در حال پوسیدن مانند فضولات حیوانی یا مواد گیاهی یافت می‌شود. این حشره در اصل متعلق به مناطق گرمسیری مرکز و جنوب آمریکا بوده، ولی به سبب جابجایی بار و مهاجرت افراد، به نقاط دیگر دنیا گسترش یافته است. امروزه این حشره عموماً در مناطق گرمسیری بین ۴۵ درجه شمالی و ۴۰ درجه جنوبی و در مناطق گرمسیری و معتدل جهان یافت می‌شود. این حشره در طول جنگ جهانی دوم در اروپا، آسیا، استرالیا و هند گسترش یافته است (Chatli et al., 2019).

مگس‌های بالغ به آسانی از طریق شاخک‌های بلند خود قابل شناسایی هستند و گونه‌ای بسیار مقاوم به شرایط محیطی سخت مانند خشکسالی، کمبود غذا یا کمبود اکسیژن هستند (Chatli et al., 2019). حشرات بالغ، پرواز خوبی ندارند و بیشتر روز را روی گیاهان استراحت کرده و تقریباً ۲ هفته فقط روی آب زندگی می‌کنند. برخلاف سایر مگس‌ها، حشرات بالغ به دلیل نداشتن نیش، قطعات دهانی یا اندام‌های گوارشی، نمی‌گزند و غذا نمی‌خورند. حشره کامل سیاه رنگ بوده به نحوی که شکم حشره نر، به رنگ برنز و شکم حشره ماده قهوه‌ای مایل به قرمز است. طول حشرات بالغ ۱۵ تا ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. حشرات ماده بالغ تنها یک بار در طول زندگی خود، جفتگیری و تخم‌ریزی می‌نمایند. این مگس یک حشره اورپگام است که در طول پرواز، جفتگیری می‌کند و به محدوده وسیعی برای پرواز جفت‌گیری خود نیاز دارد. حشره نر، دو روز زودتر از حشره ماده ظاهر شده و جفت‌گیری بعد از دو روز اتفاق می‌افتد (Amrul et al., 2022).

ماده‌ها در شکاف‌هایی در نواحی خشک نزدیک بستر لارو، تخم می‌گذارند. تخم‌ها در حدود ۴ روز بعد، تفریخ و به لارو نئونات تبدیل می‌شوند. لاروها روی پسماندهای آلی از جمله ضایعات غذا، زباله‌های شهری و مواد گیاهی تجزیه شده، رشد می‌کنند. در نهایت طول لاروها به ۲۷ میلی‌متر، عرض آن‌ها به ۶ میلی‌متر و وزن آن‌ها به ۲۲۰ میلی‌گرم می‌رسد. پیش شفیره، آخرین مرحله لاروی قبل از شفیره شدن است که دستگاه گوارش خود را تخلیه و منبع غذایی را ترک نموده تا به دنبال یک مکان خشک و ایمن برای شفیره شدن باشد. لاروها در این مرحله به حداکثر اندازه خود رسیده و ۳۶-۴۸ درصد پروتئین و ۳۳ درصد محتوای چربی دارند و در حدود ۱۴ روز بعد به حشره بالغ تبدیل خواهند شد. طول زندگی این حشره از تخم تا حشره کامل به طور میانگین ۴۰-۴۳ روز می‌باشد. بسته به در دسترس بودن غذا و سایر شرایط، این چرخه ممکن است تا ۴ ماه طول بکشد، زیرا مراحل لارو و شفیرگی ممکن است طولانی شود. لاروها ضایعات آلی مختلف را با استفاده از قطعات دهانی قوی و آنزیم‌های گوارشی قدرتمند خود تجزیه می‌کنند. تحت شرایط ایده‌آل تامین غذا، دما و رطوبت، BSFL می‌تواند در عرض ۲ هفته شفیره شود. لارو این حشره تا جایی که می‌تواند از ضایعات آلی تغذیه کرده و پس از تبدیل شدن به شفیره و حشره کامل، تغذیه را متوقف می‌کند. چربی ذخیره شده در بدن آن‌ها تبدیل به انرژی برای جفتگیری و چرخه مداوم زندگی حشرات بالغ می‌شود (Amrul et al., 2022).

مگس سرباز سیاه یک حشره هلو متابول بوده و سیکل زندگی آن از مرحله تخم شروع می‌شود. تخم این حشره بیضی شکل به طول یک میلی‌متر و به رنگ سفید کمرنگ بوده که به تدریج تا زمان تفریخ به رنگ زرد تغییر می‌کند. کلونی تخم مگس سیاه سرباز شامل ۲۰۰ تا ۹۰۰ تخم می‌باشد که نزدیک منابع غذایی نظیر پسماندهای آلی گذاشته می‌شوند. حشرات بالغ می‌توانند در رطوبت بیش از ۶۰ درصد به طور مطلوب تخم‌گذاری کنند. تفریخ تخم بین ۳ تا ۶ روز در دمای ۲۴ درجه انجام می‌شود.

لاروها انرژی مورد نیاز خود را از مواد زائد آلی نظیر فضولات کود مرغی، کنجاله هسته خرما و پسماند میوه و سبزیجات که هنوز مملو از مواد غذایی هستند، بدست می‌آورند. لارو به عنوان تجزیه کننده عمل می‌کند و این مرحله طولانی‌ترین مرحله در چرخه زندگی BSF است. لارو BSF به عنوان عامل تبدیل زیستی شناخته می‌شود و می‌تواند در طیف وسیعی از دما و pH زندگی کند. مرحله لاروی تقریباً ۱۲ روز طول می‌کشد. لاروها یک هفته بعد شروع به قهوه‌ای و تیره شدن کرده و به مرحله پیش شفیره می‌رسند. پیش شفیره نیاز به تغذیه نداشته و با مهاجرت به پناهگاه‌های خشک تبدیل به شفیره می‌شوند. حداکثر اندازه، مربوط به پیش شفیره بوده که مقادیر زیادی چربی برای دگردیسی، ذخیره دارد. مرحله شفیرگی ۶ تا ۷ روز تا زمان ظهور حشره کامل طول می‌کشد. حشرات بالغ برای زندگی به مدت ۶-۸ روز فقط نیاز به آب دارند (Rajasekar et al., 2023).



سیکل زندگی BSF شامل 5 مرحله از جمله تخم، لارو، پیش شفیره، شفیره و حشره بالغ می‌باشد. مراحل لارو و پیش شفیره بیشترین دوره زمانی سیکل زندگی این حشره را تشکیل می‌دهد و در مقایسه، طول دوره تخم گذاری و حشره بالغ کوتاه‌تر است و مرحله لاروی تنها مرحله از چرخه حیات BSF است که تغذیه می‌کند و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لاروها می‌توانند در طیف وسیعی از دما (20-45) درجه سانتی‌گراد و رطوبت 45-90 درصد رشد کنند. مهاجرت پیش شفیره‌ها به مکان‌های خشک و تاریک، برداشت آن‌ها را جهت استفاده‌های مختلف نظیر تولید حشرات بالغ، روغن زیستی و خوراک دام امکان‌پذیر می‌کند. پیش شفیره‌ها می‌توانند از شیب‌های 40 درجه بالا بروند و 100 متر به سمت بالا بخزند تا مکان مناسبی برای شفیره شدن پیدا کنند. دما و رطوبت نسبی بهینه برای پرورش BSF به ترتیب 26-27 درجه سانتی‌گراد و 60-70 درصد است. رطوبت بهینه زیر لایه‌ها مشابه رطوبت نسبی 52 تا 70 درصد است و شدت نور بهینه 135-200 مول بر مترمربع است که به شدت به تغییرات فصل و آب و هوا وابسته می‌باشد. هنگام تجزیه ضایعات غذایی با استفاده از BSFL، تراکم لارو نیز باید در نظر گرفته شود. رقابت بین لاروها، رفتار کلنی را تغییر داده و بر میزان بقای لارو تاثیر منفی می‌گذارد. کیفیت غذا بر اندازه لارو، نرخ زنده ماندن و تولید مثل تاثیر می‌گذارد. BSF یک حشره گرمادوست است که با وجود حساسیت به دما می‌تواند با دماهای مختلف سازگار شود (15-47 درجه سانتی‌گراد). دما و رطوبت تاثیر زیادی بر رشد، جفت‌گیری و تخم‌ریزی BSF دارد. وجود نور برای جفت‌گیری BSF ضروری است و BSF نمی‌تواند به دلیل شدت نور ضعیف در زمستان جفت‌گیری کند. بنابراین نور مصنوعی مورد نیاز است. سرعت رشد BSFL بسته به رژیم غذایی، دما، سرعت تغذیه و رطوبت متفاوت است (Matheca et al., 2022).

محصولات مگس سرباز سیاه (BSF)

لارو مگس سرباز سیاه (BSFL) به عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای تولید مواد غذایی پایدار عنوان شده است. BSFL یک خوراک مناسب برای طیور و ماهی است، زیرا حاوی تقریباً 40 درصد پروتئین و 35 درصد چربی در ماده خشک است. نتایج تجزیه و تحلیل اسیدهای چرب BSFL نشان می‌دهد که اسیدهای چرب آن‌ها در صنایع غذایی مفید هستند، زیرا محتوای آن‌ها شبیه روغن پالم و چربی نارگیل است. محتویات معدنی نیز جنبه مهمی است که باید در هنگام استفاده از BSFL به عنوان خوراک دام در نظر گرفته شود. BSFL می‌تواند برای تغذیه بسیاری از مهره داران استفاده شود و از ضایعات مختلف مهره‌داران به عنوان بستر استفاده کند بدون این که تاثیری بر خوش طعم بودن گوشت‌های تغذیه شده با BSFL برای انسان و پیامدهای قابل توجهی برای پایداری داشته باشد (Siddiqui et al., 2024). چربی BSF را می‌توان از طریق ترانس استریفیکاسیون، استخراج و به بیودیزل تبدیل کرد. بیودیزل تولیدی دارای استانداردهای جهانی از جمله آمریکا می‌باشد. بستر باقیمانده پس از برداشت زیست توده BSF می‌تواند به عنوان یک کود آلی استفاده شود. پالایشگاه زیستی مبتنی بر BSF علاوه بر تولید خوراک دام، سوخت و کود، پتانسیل زیادی در تولید سایر محصولات دارد. از جمله کیتین که محصول جانبی اصلی پردازش زیست توده BSF بوده و تا 7 درصد از ماده خشک زیست توده را تشکیل می‌دهد. کیتین و مشتق آن یعنی کیتوزان، کاربردهای صنعتی زیادی مانند چسب، فیلم‌های خوراکی، غشاهای صنعتی، نخ‌های جراحی و شراب‌سازی دارد. علاوه بر آن، محصولات زیستی مهم اقتصادی مانند هیدرولیزهای پروتئینی، پلاستیک‌های زیستی و رنگدانه‌های طبیعی نیز می‌تواند از زیست توده BSF استخراج شود. مطالعات انجام شده، زیست توده BSF را به عنوان منبع بالقوه آنزیم‌های مختلف صنعتی مانند تریپسین، لیگنیناز، سلولاز و پپتیدهای ضد میکروبی می‌داند. بیوماس BSF، کلسیم و منیزیم فراوانی داشته ولی سدیم و گوگرد ندارد (Surendra et al., 2020). BSF غنی از لوریک اسید می‌باشد. مگس سیاه سرباز برای استفاده به عنوان خوراک دام مجاز است، ولی کاربرد آن برای غذای انسان مورد بحث است. محققان دریافته‌اند BSFL ترکیبات باکتری کش مضری ترشح می‌کند که از تخم‌گذاری مگس خانگی جلوگیری کرده و پاتوژن‌های غذایی نظیر اشرشیا و سالمونلا و ... را کاهش می‌دهد (Rajasekar et al., 2023).

مزایای عمومی BSF



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

کمپوست نسبت به دفن زباله روش کارآمدتری برای مدیریت پسماند است، زیرا در عین کاهش آلودگی، زباله‌های جامد را به طرز موثرتری مدیریت می‌کند. لارو مگس سیاه سرباز به عنوان یک عامل کمپوست می‌باشد، زیرا لاروها به شدت از ضایعات آلی غنی تغذیه می‌کنند که این امر سبب کاهش قابل توجه مقدار ضایعات می‌شود (Kabir Ahmad et al., 2021). این فرآیند در مقایسه با ورمی کمپوست که به 60 روز زمان نیاز دارد، به زمان پردازش کوتاه تری (12 روز) نیازمند است (Oemar et al., 2023). به دلیل مسائل اقتصادی، زیست محیطی و فنی، گزینه‌های درمان موسوم، مانند کمپوست و هضم بی‌هوازی همیشه آسان نیستند (Forrenato et al., 2023).

تصفیه زباله‌های مواد غذایی از طریق BSFL می‌تواند به کاهش بسیاری از مشکلات زیست محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و تولید مواد مضر مرتبط با روش‌های دفع مثل دفن زباله و سوزاندن کمک می‌کند. تصفیه پسماندهای آلی با BSF مقرون به صرفه است و آلودگی را منتشر نمی‌کند (Amrul et al., 2022). میانگین زمان کمپوست‌سازی لارو BSF حدود 12 تا 15 روز است که سریع‌تر از میکروب‌ها و کرم خاکی می‌باشد (4 تا 5 هفته). تولید BSF آسان، ارزان و سریع است (Rajasekar et al., 2023).

چندین ویژگی BSF این حشره را برای ارزشمندسازی پسماند ارگانیک، مناسب می‌سازد:

- اشتیاق زیاد لارو برای پوساندن مواد آلی، تبدیل موثر حجم وسیعی از مواد زائد آلی را امکان‌پذیر می‌کند (Joly et al., 2019).
- سیکل کوتاه زندگی BSF باعث تولیدمثل مکرر شده، بنابراین وجود منبعی ثابت از لارو برای تبدیل ضایعات آلی و لاروهای غنی از انرژی به عنوان خوراک دام تضمین می‌گردد.
- انعطاف پذیری BSF پرورش آن را تسهیل می‌نماید.
- با خزیدن پیش شفیره‌ها به بیرون از بستر، به راحتی می‌توان آن‌ها را برداشت نمود.
- تاسیسات تصفیه پسماندهای آلی توسط BSFL هزینه نصب و نگهداری پایینی دارند.
- بیشتر حشراتی که از ضایعات تغذیه می‌کنند، باکتری‌ها و عوامل بیماری‌زا را حمل می‌کنند، اما BSFL قادر به غیر فعال‌سازی پاتوژن‌هایی نظیر سالمونلا است.

بنابراین مهم‌ترین مزایای مگس سیاه سرباز عبارتند از:

مدیریت محیط زیست

خوراک دام

کاهش بوی نامطبوع

کاهش مگس خانگی

طراحی یک اقتصاد دایره‌ای با پرداختن به امنیت غذایی و مدیریت پسماندها که چالش‌های بزرگ جهانی هستند. از نظر اقتصادی، زمان کوتاه تولید کمپوست می‌تواند به نفع تولیدکنندگان و مصرف کنندگان می‌باشد و یک فرصت اقتصادی تولید محصولات ارگانیک و مشتقات سالم، ایمن و مغذی هستند (Rajasekar et al., 2023). تولید این حشره نیازی به فناوری پیشرفته ندارد بنابراین برای گروه‌های کم درآمد بدون نیاز به آزمایشگاه پیشرفته مناسب است.

سیستم پردازش BSFL

فرآیند درمان BSF شامل مواردی شامل پیش پردازش پسماند، پرورش BSF، پردازش زباله، برداشت محصول، محصولات پس از پردازش می‌باشد. اجزای اصلی سیستم عبارتند از لاروها، جایی که لاروها تغذیه و رشد می‌کنند و مکانی که حشرات بالغ مگس تکثیر می‌شود. تاسیسات پردازش ضایعات آلی توسط BSF شامل پیش پردازش ضایعات، تصفیه پسماندهای ارگانیک، جداسازی BSFL از بقایای فرایند و تبدیل لارو و باقیمانده ناشی از فعالیت BSF به محصولات قابل فروش است (Amrul et al., 2022).

کاهش ضایعات توسط BSF و بقا و رشد لارو تحت تاثیر نسبت C به N، درصد پروتئین و جامدات سبک محتوای بستر می‌باشد. مقدار بالای فیبر بر کارایی تبدیل زیستی و رشد لارو تاثیر منفی دارد. دیگر عوامل موثر بر تبدیل زیستی عبارتند از: میزان تغذیه، انبوهی تراکم و



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

تناسب تغذیه. میزان مصرف ضایعات توسط BSFL با توجه به نوع ضایعات، تعداد لاروها، میزان رطوبت، دما و اندازه لارو متفاوت است. استفاده از بسترهای مختلف، ترکیبات بیوشیمیایی مختلفی از لاروها تولید می‌کند. پروتئین منشا گرفته از حشرات سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه بوده و نقش مهمی در طبیعت دارد (Rajasekar *et al.*, 2023).

چندین جنبه باید در ایجاد یک مرکز پردازش BSF در نظر گرفته شود:

- دسترسی آسان به آب و برق
- امکان مدیریت فاضلاب
- ایجاد موانع محیطی و فیزیکی برای به حداقل رساندن مزاحمت بصری و بویایی برای محیط اطراف
- اطمینان از تامین مواد اولیه باکیفیت
- ایجاد امکانات و شرایط رشد مناسب برای BSF

چالش‌ها و محدودیت‌ها

استفاده از مگس سرباز سیاه (Black Soldier Fly – BSF) برای مدیریت پسماند، به ویژه پسماندهای آلی، راه‌حلی نوآورانه و مؤثر است، اما با چالش‌ها و محدودیت‌هایی نیز روبه‌رو است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱. محدودیت‌های زیست‌محیطی و اقلیمی

- حساسیت به دما و رطوبت: رشد و تولیدمثل BSF نیازمند دمای بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بالا است. در مناطق خیلی سرد یا خشک، بهره‌برداری از آن نیازمند سرمایه‌گذاری برای ایجاد شرایط مصنوعی است.

- حساسیت به نور: برای جفت‌گیری به نور طبیعی یا نور مصنوعی خاص نیاز دارند که ممکن است در برخی مناطق چالش‌برانگیز باشد.

۲. محدودیت در نوع پسماند

- پسماندهای خاص: BSF نمی‌تواند هر نوع زباله‌ای را تجزیه کند. پسماندهای حاوی مواد شیمیایی سمی، فلزات سنگین، چربی‌های صنعتی یا زباله‌های بیمارستانی مناسب نیستند.

- نسبت C:N مناسب: ترکیب کربن به نیتروژن نامناسب می‌تواند باعث کاهش بازده تبدیل پسماند شود.

۳. چالش‌های فنی و مدیریتی

- نیاز به تخصص: پرورش BSF نیازمند دانش فنی در زمینه پرورش حشرات، تغذیه، کنترل بیماری‌ها و فرآوری است.
- مدیریت بوی بد: اگر مدیریت پسماند به‌درستی انجام نشود، ممکن است بوی نامطبوع ایجاد کند و موجب شکایت همسایگان شود.
- تثبیت چرخه تولید: تولید پایدار لارو و کنترل چرخه زندگی (از تخم تا لارو و بالغ) چالش‌برانگیز است.

۴. محدودیت‌های قانونی و اجتماعی

- قوانین و مقررات: در بسیاری از کشورها هنوز قوانین مشخصی برای پرورش و استفاده از حشرات در مدیریت پسماند وجود ندارد یا فرایند صدور مجوز دشوار است.

- پذیرش اجتماعی: ممکن است در جوامع سنتی، استفاده از حشرات با مقاومت فرهنگی یا ذهنی مواجه شود.

۵. اقتصادی و بازار

- سرمایه اولیه: راه‌اندازی مزرعه BSF نیاز به سرمایه اولیه برای تجهیزات، سازه‌ها و آموزش دارد.
- بازار محصولات ثانویه: بازار فروش لارو خشک، روغن لارو یا کود تولیدی باید توسعه یابد تا چرخه اقتصادی این کار پایدار شود.

بحث و نتیجه‌گیری



همایش ملی فناوری و نوآوری در آبرزی پروری

امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست



National Conference Technology and Innovation in Aquaculture Food Security and Environmental Protection

زمان برگزاری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

مگس سرباز سیاه (BSF) یک حشره محبوب است و پتانسیل آن به عنوان یک عامل تبدیل زیستی برای کاهش و بازیافت زیست توده آلی وجود دارد. پتانسیل BSF به عنوان منبع خوراک دام و غذا (محصول خوراکی) نیز به طور فزاینده‌ای در فناوری غذا و خوراک دام، به ویژه به عنوان منبع پروتئین، مورد بررسی قرار گرفته است. سهولت نگهداری و جابجایی آسان برای محصولاتی که از نظر مالی سودآور و برای محیط زیست بی خطر هستند، مهم است. از BSF می‌توان برای تولید اجزای زیست‌فعال و پری‌بیوتیک مانند پپتیدهای ضد میکروبی، کیتین و آنزیم‌ها و حتی به عنوان ماده اولیه برای بیودیزل استفاده کرد.

تصفیه BSFL یک تکنیک در حال تکامل برای تبدیل زباله‌های آلی به محصولات با ارزش بالا است که پایدار و از نظر تجاری مقرون به صرفه هستند. تحت شرایط مشابه، محتوای غذایی پسماندهای آلی بیشترین تأثیر را بر عملکرد فرآیند دارد. راندمان تصفیه BSFL به نرخ تبدیل زیستی، وزن لارو و ترکیب زیست‌توده لارو (محتوای پروتئین و لیپید) بستگی دارد که بسته به ترکیب زباله و میزان زباله‌های آلی متفاوت است. دو محصول جانبی اصلی سیستم تصفیه پسماندهای آلی BSFL، لاروها و پیش‌شیره‌ها هستند که می‌توانند به عنوان خوراک دام استفاده شوند، در حالی که باقیمانده آنها می‌تواند به عنوان کود آلی مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، سیستم تصفیه پسماند آلی BSF یک فناوری سبز است که زباله‌های آلی را کاهش می‌دهد، حتی اگر این کاهش در مقیاس کوچک باشد. ایمنی BSF باید از جنبه‌های میکروبیولوژیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. مطالعه روش‌های تولید، کاربرد و پتانسیل BSF مستلزم کاوش بیشتر و عمیق‌تری برای تولید کارآمد محصولاتی است که واقعاً سودآور، سازگار با محیط زیست و اقتصادی باشند.

پیشنهادهای

برای استفاده مؤثر از مگس سرباز سیاه (BSF) در مدیریت پسماند، مجموعه‌ای از پیشنهادات قابل ارائه است:

- انتخاب مناسب پسماند: استفاده از پسماندهای آلی خانگی، کشاورزی، ضایعات غذایی رستوران‌ها و صنایع غذایی که فاقد مواد سمی یا آلاینده هستند.

- کنترل شرایط محیطی: فراهم کردن دمای بین ۲۵ تا ۳۵ درجه، رطوبت مناسب و تهویه کافی در محل پرورش لاروها.
- استفاده از نور مصنوعی برای جفت‌گیری: فراهم کردن نور LED با طیف مناسب برای تحریک رفتار جفت‌گیری در محیط‌های بسته.
- ایجاد سیستم‌های بسته: برای کاهش بو، کنترل آلودگی و جلوگیری از فرار حشرات بالغ.
- فرآوری و نگهداری محصولات: خشک کردن، روغن‌گیری و تبدیل لارو به محصولات قابل استفاده در خوراک دام یا کود.
- ایجاد مزرعه‌های نیمه‌صنعتی یا صنعتی: طراحی مزارع استاندارد با ظرفیت مشخص برای پردازش حجم بالا از پسماند.
- آموزش و توانمندسازی نیروی کار: آموزش کشاورزان، کارآفرینان و کارکنان در زمینه پرورش BSF، بهره‌برداری و فرآوری.
- تنوع‌بخشی به محصولات: تولید کود آلی، خوراک دام، روغن لارو و کیتین به عنوان محصولات جانبی.
- برنامه‌ریزی جمع‌آوری پسماند: همکاری با شهرداری‌ها یا صنایع برای دریافت منظم و بهداشتی پسماند مناسب.
- تدوین استانداردها و مقررات: ایجاد قوانین روشن برای پرورش حشرات و استفاده از آنها در بازیافت پسماند.
- حمایت مالی و تسهیلات بانکی: ارائه وام‌های کم‌بهره یا یارانه برای راه‌اندازی واحدهای پرورش BSF.
- پشتیبانی از تحقیق و توسعه (R&D): سرمایه‌گذاری در پژوهش برای بهبود کارایی و توسعه نژادهای مقاوم‌تر.
- کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی: آگاه‌سازی جامعه نسبت به مزایای این روش و مقابله با ذهنیت منفی نسبت به حشرات.
- استفاده از مزارع BSF برای بازیافت پسماند کشاورزی و تولید خوراک مکمل برای دام و طیور.
- طراحی مدل‌های کوچک و قابل اجرا در مزارع خانوادگی با تجهیزات ساده و هزینه پایین.

منابع



- Amrul, N.F., Suja, F., Ahmad Basri, N.E., Kabir Ahmad, I. and Abdul Jalil, N.A., 2022.** A Review of Organic Waste Treatment Using Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). Sustainability, 14: 4565.
- Chatli, M.K., Rindhe, S.N., Wagh, S.V., Kaur, A., Mehta, N., Kumar, N. and Malav, O.P., 2019.** Black Soldier Fly: A New Vista for Waste Management and Animal Feed. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(1): 1329-1342.
- Ferronato, N., Paoli, R., Romagnoli, F., Tettamanti, G., Bruno, D. and Torretta, T., 2023.** Environmental impact scenarios of organic fraction municipal solid waste treatment with Black Soldier Fly larvae based on a life cycle .assessment. Environmental Science and Pollution Research, 31:17651–17669.
- Gligorescu, A., Fischer, C.H., Larsen, P.F., Nørgaard, J.V. and Heckman, L., 2020.** Production and Optimization of *Hermetia illucens* (L.) Larvae Reared on Food Waste and Utilized as Feed Ingredient, Sustainability, 12: 9864.
- Joly, G. and Joly, J., 2019.** Global Experiences on Waste Processing with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*): From Technology to Business. Research Program on Water Land and Ecosystems, International Water Management Institute, (IWMI),p.66.
- Kabir Ahmad, I., Mohamed, Z.S., Amrul, N.F, Quan, C.W., Abdul Jalil, N.A, Ahmad Basri, N.E. and Azmi, M.R., 2021.** Composting Fruit and Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae. Jurnal Kejuruteraan, 33(4):837-843.
- Matheka, R.M., Raude, J.M. and Murunga, S.I., 2022.** Resource recovery from organic wastes using Black Soldier Fly Larvae. African Journal of science Technology and Social Sciences, 2(2):16-25.
- Octaviani, Y.N., Budihardjo, M.A. and Sumiyati, S., 2024.** The Impact of Food Waste Mitigation with Black Soldier Fly.Assistance on Climate Change in Indonesia – A Systematic Review. Ecological Engineering and Environmental Technology, 25(1): 60–72.
- Oemar, T., Purwaningrum, P., Ruhayat, R. and Ashardiono, F., 2023.** Potential of black soldier fly (BSE) in reducing municipal foodloss and waste (FLW) at taman Sari district, west Jakarta. Doi: <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v6i2.16932>.
- Siddiqui, S.A., Süfer, O., Çalışkan Koç, G., Lutuf, H., Rahayu, T., Castro-Muñoz, R. and Fernando, I., 2024.** Enhancing the bioconversion rate and end products of black soldier fy (BSF) treatment – A comprehensive review. Environment, Development and ustainability. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04306->
- Surendra, K.C., Tomberlin, J.K., Huis, A.N., Jonathan, A., Cammac Lars-Henrik, L. and Heckmann, 2020.** Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). Waste Management, 117: 58–80.