دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ٤٦٦٨-٢٠٠٨
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی
(علمی- پژوهشی)
جلد ۱۲، شماره۱، سال ۱۳۹۹، (٤٠-۲۹)

تاثیر جیره غذایی بر پارامترهای جدول زندگی کرم زرد آرد

فائزه زمانی[۱]، علیرضا جلالی‌زند[۲]*، ابراهیم سلیمان نژادیان[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه حشره‌شناسی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، گروه حشره‌شناسی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده

افزایش جمعیت از چالش‌های مهم جهان که با محدودیت منابع و افزایش قیمت موادغذایی و پروتئینی مواجهه شده است. استفاده از حشرات به عنوان غذا و خوراک برای انسان، دام و طیور می‌تواند راه‌حل مناسبی در جهت کمک به این بحران جهانی باشد. کرم زرد آرد به عنوان یکی از رایج‌ترین منابع غنی از پروتئین با کیفیت بالا، که برای تغذیه حیوانات کوچک، پرندگان و ماهی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، پنج رژیم غذایی متفاوت در شرایط آزمایشگاهی (دمای ۱±۲۵ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ٥±٦٠٪، دوره نوری ١٦:٨ ساعت (روشنایی: تاریکی)) برای پرورش کرم زرد آرد استفاده شد. در این تحقیق سبوس گندم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. این آزمایشات نشان دهنده نرخ ذاتی رشد و همچنین نرخ متناهی به طور معناداری در تیمار با رژیم غذایی گندم وگندم خرد شده نسبت به شاهد افزایش داشته و همچنین رژیم غذایی گندم و گندم خردشده باعث افزایش معنی‌دار نرخ خالص و ناخالص افزایش جمعیت شده است، اما رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودرشده این دو پارامتر را به طور معناداری در مقایسه با شاهد کاهش داشته است. بنابراین رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودرشده دارای اثرات منفی بر ویژگی‌های زیستی کرم زردآرد داشته و رژیم غذایی گندم و گندم خردشده باعث ایجاد اثرات مثبت بر ویژگی‌های زیستی کرم زردآرد بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد پرورش کرم زرد آرد روی رژیم‌های غذایی مختلف اثرات معنی‌داری روی چرخه زیستی کرم زرد آرد دارد و رژیم غذایی گندم و گندم خردشده می‌تواند در آینده یک رژیم غذایی مناسب با هزینه بسیار پایین‌تر و با زحمت کمتر برای پرورش کرم زرد آرد مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: حشرات، چرخه زیستی، رژیم غذایی، پرورش انبوه.

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: arjalalizand@gmail.com
تاریخ دریافت مقاله:۹۸/٦/۲۸ - تاریخ پذیرش مقاله:۹۹/۲/۲۲

مقدمه

نیاز به منابع پروتئینی با ارزش برای جمعیت انسان با رشد بی رویه، تغییرات اقلیمی و همچنین کاهش مناطق مناسب موجود برای تولید، محصولات کشاورزی سبب شده تا امروزه تأمین پروتئین تبدیل به چالشی بسیار جدی برای بشر گردد. انتظار می‌رود که تقاضای جهانی برای گوشت طیور و تخم آنها در مقایسه با گوشت قرمز به طور قابل توجهی افزایش یابد چراکه گوشت پرندگان ارزش تغذیه‌ای بسیار بالا بوده، نسبتاً ارزان قیمت هستند. علاوه براین، زمانی که با سایر احشام مقایسه شوند، تولید طیور به لحاظ زیست محیطی ایمن‌تر در نظر گرفته می‌شود زیرا CO_2 بسیار کمتری تولید می‌کند. افزایش تولید طیور نیازمند مقادیر بالاتری از پروتئین به منظور رفع نیازهای آمینواسیدی برای تشکیل بال و پرها، رشد و تولید تخم می‌باشد

(Van Huis., 2013). منابع پروتئینی گیاهی موجود برای طیور شامل پودر سویا، پودر کلزا، لگوم‌ها و محصولات جانبی و مختلف غلات می‌باشد، که تولید این محصولات را با مشکلاتی روبرو کرده است. تولید محصولات کشاورزی اغلب وابسته به فاکتورهایی نظیر وضعیت زمین، نهاده‌های کشاورزی، تغییرات آب و هوایی و میزان آب می‌باشد. سویا یکی از محصولات عمده‌ای است که در سرتاسر دنیا کشت می‌شود. در سال ۲۰۰۹ میلادی، ۲۱۰/۹ میلیون تن سویا از مزارع برداشت شده است که این میزان بیش از ۵۰ درصد تولید دیگر دانه‌های روغنی می‌باشد. اما افزایش کشت سویا نیازمند اراضی کشاورزی بیشتر می‌باشد که این خود باعث تخریب جنگل‌ها شده و اثرات زیست محیطی جبران ناپذیری را به اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌سازد. همچنین مصرف آب فراوان، استفاده از کودها و سموم شیمیایی و استفاده از گیاهان تراریخته نیز اثرات مخربی را به محیط زیست وارد می‌سازد. ترکیب آمینواسیدی پروتئین‌های گیاهی برای طیور در مقایسه با پروتئین‌های جانوری بویژه به لحاظ محتوای آمینواسیدهای حاوی گوگرد مخصوصاً متیونین از کیفیت پایین‌تری برخوردار هستند. از این رو، پودر ماهی هنوز در رژیم غذایی طیور بسیار پرکاربرد است. علاوه بر این به دلیل افزایش روند صید ماهی در آب‌های جهانی و مدت زمان نسبتاً زیاد تولید نسل جدید در آبزیان، استفاده از این منبع پروتئینی نیز با چالش‌های فراوانی روبرو است. بنابراین منابع پروتئینی جایگزین و قابل رقابت با پودر ماهی به منظور تبدیل تولید طیور به یک تولید پایدار در آینده امری بسیار ضروری به نظر می‌رسد (Józefiak *et al*., 2016).

به دلایل پتانسیل پروتئین‌های حشرات در رژیم غذایی طیور توجه زیادی را به خود جلب کرده است. استفاده از پروتئین‌های حشرات به عنوان مواد خام در تولید خوراک تجاری طیور و همچنین راه اندازی سیستم‌های تولید انبوه حشرات امری منطقی به نظر می‌رسد. به منظور کسب اطمینان از مقرون به صرفه بودن هزینه تولید پروتئین مبتنی بر حشرات، حشره ایده آل باید دارای یک سیکل تولید مثلی کوتاه بوده و دارای ارزش غذایی بالایی باشد به گونه‌ای که بتواند غلظت‌های بالایی از پروتئین و آمینو اسیدهای دارای سولفور تولید کند. همچنین تولید انبوه حشره کاندید مورد استفاده باید ساده باشد (Józefiak *et al*., 2016; Drew & Pieterse, 2015).

حشرات در همه مراحل زندگی خود، منابع غنی از پروتئین جانوری هستند (Bovera, 2016). تا کنون، بیشترین تحقیقات انجام شده بر روی حشرات متمرکز بر کرم زرد آرد (میل ورم) (لاروهای سوسک *Tenebrio molitor*)، لارو و شفیره مگس خانگی (*Musca domestica*)، مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) و خانواده‌های حشره‌ای متعلق به راسته راست‌بالان شامل ملخ‌ها، جیرجیرک‌ها و katylids بوده است. اما حشرات راسته Blattodea مثل سوسری آمریکایی (*Periplaneta americana*)، آلمانی (*Blattella germanica*) و آسیایی (*Blattella asahinai*) نیز کاندیدهای بالقوه و قابل توجهی هستند (Makkar *et al*., 2014).

محتوای پروتئینی پودرهای حشرات به طور قابل توجهی از ٤٠٪ تا ٦٠٪ متغیر می‌باشد. همین مقدار نیز برای محتوای چربی آنها صادق است. ولی که پودرهای حشره در مقایسه با پودرماهی غلظت‌های کمتری متیونین و کلسیم دارند. غلظت مواد تغذیه‌ای حشرات وابسته به مرحله زندگی آنها و همچنین شرایط پرورش و ترکیب محیط رشد استفاده شده برای تولید آنها می‌باشد (Makkar *et al*., 2014). به عنوان مثال، لاروهای مگس خانگی رشد کرده بر روی فضولات ماکیان دارای محتوای ماده خشک کمتر می‌باشد اما در مقایسه با لاروهای رشد کرده بر روی یک محیط حاوی سبوس گندم، یونجه، مالت و مخمر خشک دارای محتوای متیونین بیشتر بر هر کیلوگرم از ماده خشک می‌باشند. لاروهای کرم زرد آرد (میل ورم) رژیم‌های مبتنی بر پروتئین را در مقایسه با رژیم‌های مبتنی بر نشاسته بیشتر ترجیح می‌دهند و از مخمرها بیشترین استفاده را می‌کنند (Józefiak *et al*., 2016).

در سال‌های اخیر توجه زیادی به سمت پپتیدهای ضد میکروبی (AMPs)[36] که آنتی بیوتیک نامیده می‌شوند معطوف شده است. تحقیقات زیادی در حال انجام است تا امکان استفاده از این ترکیبات را در کشاورزی مثل تغذیه جانوری و همچنین صنعت داروسازی بررسی کنند. در کل، باور براین است که فعالیت این ترکیبات منجر به ایجاد مقاومت باکتریایی نمی‌شود (Józefiak *et al*., 2016). حشرات یک منبع غنی از AMPs می‌باشند. اغلب ترکیبات AMP در حشرات پروتئین‌های کوچک و کاتیونی بوده که دارای فعالیت ضد باکتریایی و قارچی هستند (Józefiak *et al*., 2016). گروه بزرگی از AMP حشرات شامل دیفنسین ها[37] هستند (Ganz, 2013). دیفنسین‌ها در حشرات، پپتیدهای حاوی ٣٤ تا ٥١ آمینواسید و ٦ سیستئین حفاظت شده می‌باشند. این پپتیدها در گونه‌های زیادی از اعضای راسته‌های دوبالان، بال‌غشاییان[38]، سخت بالپوشان، بالپولکداران[39]، نیم بالان[40]، مساوی بالان[41] و سنجاقک شکلان[42] شناسایی شده‌اند (Yi *et al*., 2014). دیفنسین‌های حشرات عمدتاً در برابر باکتری‌های گرم مثبت مثل *Micrococcus luteus*، *Aerococcus viridians*، *Bacillus megaterium*، *B. subtilis*، *B. thuringiensis* و *Staphylococcus aureus* فعال هستند. بعضی از دیفنسین‌های حشرات در برابر باکتری‌های گرم منفی مثل *Escherichia coli* نیز فعالیت دارند (Seufi *et al*., 2011; Ueda *et al*., 2015).

علاوه براین خواص ضد قارچی نیز در بعضی از پپتیدهای ضد میکروبی حشرات مشاهده شده است. پروتئین‌های دارای فعالیت ضد میکروبی از لاروهای میلی‌ورم‌ها نیز جداسازی شده‌اند. از آنجایی که مقاومت قابل توجهی در برابر آنتی بیوتیک‌ها در سرتاسر جهان ایجاد شده است، پپتیدهای ضد میکروبی حشرات می‌توانند نوید بخش رفع این مسئله باشند. تکامل مکانیسم ضدمیکروبی این پپتیدها طی گذشت سال‌ها ایجاد شده و بسیار حفاظت شده می‌باشد، بدین معنا که برخلاف آنتی بیوتیک‌ها که سریعاً القای مقاومت می‌کنند، این ترکیبات ممکن است در برابر باکتری‌ها مؤثر باقی بمانند(Aerts et al., 2008; Józefiak *et al*., 2016). پروتئین‌های گیاهی جزء جدایی ناپذیر تغذیه حیوانات در سرتاسر جهان به شمار می‌روند. اما، در بسیاری از موارد این پروتئین‌ها دارای مقادیر پایین لیزین، تریپتوفان، ترئونین و متیونین هستند. بعضی از گونه‌های حشرات غلظت‌های آمینواسیدی بالایی را فراهم می‌کنند به عنوان مثال لارو پروانه‌های

36- Anti-microbial peptides
37- Defensins
38- Hymenoptera
39- Lepidoptera
40- Hemiptera
41- Isoptera
42- Odonata

Saturniidae دارای محتوای لیزین بالایی هستند(Bukkens and Paoletti, 2005) .

به نظر می‌رسد استفاده از حشرات به عنوان مواد غذایی طبیعی، منبع پروتئینی مناسبی برای پرورش ماکیان باشد. تا به حال توصیه‌های تغذیه‌ای زیادی برای پرورش اقتصادی این جانداران شش پا توسعه نیافته است، چراکه در بین حشرات برحسب نیازهای تغذیه‌ای تنوع بسیار وسیعی وجود دارد. تاکنون، اکثر تلاش‌های تحقیقاتی معطوف به اعضای راسته‌های دوبالان (مگس سرباز سیاه و مگس خانگی)، سخت بالپوشان (کرم زرد آرد) و راست بالان (ملخ‌ها، جیرجیرک‌ها و ملخ‌های باغی) بوده است. توانایی و قدرت آنها در رشد تحت شرایط نامطلوب (اکسیژن پایین، عدم وجود نور، تراکم بالا) و همچنین ارزش تغذیه‌ای بالای آنها باعث جلب توجه زیاد به این جانداران شش پا شده است (Makkar *et al.*, 2014). به منظور تولید انبوه حشرات، مجموعه‌ای از آزمایشات جهت تعیین نیازهای تغذیه‌ای و بهینه سازی رشد حشرات انجام گرفته است. لاروهای مگس‌ها بویژه لاروهای مگس خانگی و لاروهای مگس سرباز سیاه ویژگی‌های مختلفی دارند که آنها را برای محققین بسیار با ارزش ساخته است. ترجیح غذایی این راسته از حشرات به خوبی شناخته شده است. در اوایل ۱۹۲۸ انجمن CSMA[۴۳] یک محیط مرجع را برای پرورش مگس خانگی ارائه نمود که برای سال‌ها از آن استفاده شده است. این محیط دارای سبوس‌ها، سلولز یا کود اسب می‌باشد. یکی از محققین محیط YMA (مخمر- شیر آگار) را به عنوان محیط رشد پیشنهاد کرد (Józefiak *et al.*, 2016). محقق دیگری غنی سازی محیط پیشنهادی CSMA را با یونجه و خوراک‌های جانوری پیشنهاد کرد. هم اکنون، تعداد کمی پیشنهاد برای رژیم غذایی جهت پرورش لاروهای مگس خانگی ارائه شده‌اند. پرورش انبوه کرم زرد آرد (میل ورم) با استفاده از موادی که برای حیوانات تک معده‌ای کمترین کیفیت را داشته باشد (مثل طیف وسیعی از محصولات جانبی کشاورزی و صنعتی) امکان پذیر است. محققین تفاوت قابل توجهی را در عملکرد رشد *T. molitor* بعد از گذشت ۱۵ روز از پرورش و تغذیه آن از غلات مختلف مشاهده نکردند (Ramos-Elorduy, 2002).

بادر نظر گرفتن حشرات به عنوان موجودات پرورشی (دام اهلی)، پیش نیاز هرگونه تولید تجاری برای آنها کسب دانش در مورد شرایط بهینه نگهداری (دما، رطوبت و تهویه) و شرایط تغذیه‌ای آنها است. علاوه براین، برای تولید این حشرات باید در مورد بیماری‌های حشرات و استانداردهای ایمنی زیستی نیز دانش مربوطه کسب شود (Józefiak *et al.*, 2016). برخلاف بسیاری از گونه‌های دامی (به جز ماهی‌ها) حشرات می‌توانند در سیستم‌های سه بعدی (سه طرفه) تولید شوند به گونه‌ای که باعث می‌شود ساختار تولید بسیار کارآمد باشد. علاوه براین، حشرات می‌توانند برخی از خلاءهای موجود در زنجیره غذایی را بویژه وقتی مدیریت مواد زائد (زباله‌ها) به عنوان تغذیه پایدار حشرات در نظر گرفته شود، کامل کنند. به این لحاظ، لاروها از کارایی بالاتری برخوردار هستند. به عنوان مثال، امکان تولید بیش از ۱۸۰ کیلوگرم وزن زنده لاروهای مگس سرباز سیاه در یک متر مربع در ٤٢ روز وجود دارد در حالی که تنها ۳۰ کیلوگرم از افراد بالغ جیرجیرک در همین سطح می‌تواند تولید شود (Józefiak &Engberg, 2015; Józefiak *et al.*, 2016).

نرخ رشد و همچنین تغذیه حشرات به شدت وابسته به دما است به طوری که برای اغلب حشرات دمای بهینه بین ۲۷ تا ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد. حشرات در مقابل تغییرات دمایی مقاوم هستند، به عنوان مثال، دمای بهینه برای پرورش کرم زرد آرد (میل ورم)ها ۲۸ درجه سلسیوس می‌باشد ولی آنها به راحتی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت زنده می‌مانند. اما این حشرات تحت شرایط رطوبت بالا (بیش از ۷۰ درصد) به سرعت می‌میرند (Józefiak *et al.*, 2016)

[43]- Chemical Specialties Manufactures' Association

یکی از مسائل مهم دیگر در زمینه تولید حشرات، ایمنی زیستی مزرعه است. بسته به انـدازه و فعالیـت بـی‌مهرگـان، سیستم‌های کنترلی بسیار کارآمد در ساختمان‌های پرورشی باید به کار گرفته شوند. به عنوان مثـال، اسـتفاده از تورهـای پلاستیکی در تولید مگس‌های سرباز سیاه مؤثر است اما در پرورش سوسری‌ها و جیرجیرک‌هـا مـؤثر نیسـت. بنـابراین، توری‌های آلومینیومی یا مسی باید استفاده شوند. در نهایت، در تولید انبوه حشرات باید مهاجم بودن گونه را نیز در نظر بگیرند چرا که می‌تواند به طور غیر مستقیم بر محیط زیست تأثیر گذار باشد (Józefiak &Engberg, 2015; Józefiak *et al*., 2016).

رسیدن به وزن ایده آل در کوتاه‌ترین زمان ممکن یکی از مهمترین اهداف پرورش دهندگان طیور گوشتی به منظـور دستیابی به سود بیشتر است. در بیشتر مطالعات انجام شده، جایگزینی لارو کرم زرد آرد (میل ورم) با پودر ماهی و سویا باعث بهبود عملکرد و رشد سریع جوجه‌های گوشتی شده است. همچنـین محقـق دیگـری در سـال ۲۰۰٤ مـیلادی در مطالعه ایی که انجام داد مشخص نمود که هنگامی که لارو مگس را جایگزین پودر ماهی نماییم، کاهش هزینه ایـی ۲۸-۱۸ درصدی در تولید خواهیم داشت (Awoniyi *et al*., 2004).

کرم زرد آرد با تولید انبوه در ایالات متحده برای اهداف مختلفی از جمله بـرای پسـتانداران، پرنـدگان، خزنـدگان و دوزیستان به فروش می‌رسد (Józefiak *et al*., 2016). لارو زنده و خشک آن به‌ترتیـب دارای بـیش از ۵۰ و ۲۰ درصـد پروتئین هستند و اسیدهای چرب غیر اشباع بخش قابل توجهی از چربی‌هـای تشـکیل دهنـده آن را تشـکیل مـی‌دهنـد. بررسی‌های محققین نشان می‌دهد این حشره می‌تواند در آینده نزدیک یکی از منابع تأمین کننـده نیازهـای‌هـای غـذایی صنعت آبزی پروری بویژه آبزیان باشد. کرم زرد آرد دارای انعطاف‌پذیری مختلف در برابر عوامل مختلفی از جمله دمـا، رطوبت و دوره نوری می‌باشد. یکی از عوامل مهم در تولید و پرورش کرم زرد آرد نوع رژیم غذایی می‌باشد (Józefiak *et al*., 2016). هدف از این تحقیق حاضر، بررسی ویژگی‌های کرم زرد آرد بر روی انـواع مختلفـی از جیـره غـذایی در شرایط آزمایشگاهی در جهت افزایش کیفیت و بهره بردن به بهترین حالت از کرم زرد آرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سـال ۱۳۹۸ در آزمایشـگاه حشـره‌شناسـی مرکـز تحقیقـات دانشـگاه آزاد اسـلامی اصـفهان واحـد (خوراسگان) واقع در جنوب شرقی اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤۹ دقیقه شرقی) اجرا گردید.

برای انجام آزمایشات از پنج جیره غذایی متفاوت در دمای ۱±۲۵ درجه سیلسیوس و رطوبت نسـبی ۵±٦۰ درصـد، دوره نوری ۱٦:۸ ساعت (روشنایی: تاریکی) استفاده شد. جیره‌های غذایی در جدول ۱ نشان داده شده است. بـرای هـر رژیم غذایی ٦۰ عدد پتری دیش قرار داده شده و هر پتری دیش شامل یک عدد لارو سن یک بود. هر پتـری دیـش بـه طور روزانه بررسی و طول دوره زندگی کرم زرد آرد تا مرگ ثبت شد.

جدول ۱: مقادیر و جیره‌های مورد استفاده شده در رژیم غذایی کرم زرد آرد

Table 1. The value and diets used on the diet of mealworm

	Diet usage in this project	Ratio (gr)
1	Wheat straw + crushed wheat	1.5 : 0.5
2	Cardboard + powdered bread	1.5 : 0.5
3	Wheat bran	2
4	Barley bran	2
5	Animal fertilizer (sheep)	2

نتایج

۳-۱. اثر رژیم غذایی بر پارامترهای رشد کرم زرد آرد

پارامترهای زیستی کرم زرد آرد شامل طول دورهای لاروی، شفیرگی و بالغ کرم زرد آرد تحت تیمار با رژیم غذاییهای توصیه شده کاه گندم و گندم خرد شده، مقوا و نان خشک پودرشده، سبوس گندم، سبوس جو، کود حیوانی در جدول ۲ ارائه شده است. جیره غذایی توصیه شده گیاه گندم و گندم خرد شده (۱/۵ گرم کاه گندم + ۰/۵ گرم گندم خرد شده)، مقوا و نان خشک پودرشده (۱/۵ گرم مقوا + ۰/۵ گرم نان خشک) و سبوس گندم (۲ گرم سبوس گندم) باعث تکمیل شدن مرحله زیستی کرم زردآرد شدند. اما دو جیره غذایی سبوس جو و کود حیوانی، مورد استفاده نتوانستند باعث تکمیل چرخه زیستی کرم زرد آرد شوند. در این تحقیق سبوس گندم به عنوان شاهد در نظر گرفته شده است و تمامی مقایسات آماری بر مبنا شاهد (سبوس گندم) انجام گرفت.

جدول ۲: میانگین زمان رشد مراحل مختلف زندگی کرم زرد آرد در جیره های مختلف

Table 2. Mean developmental time of different life stages of mealworm reared on different diets (mean (day) ±standard error)

Parameters	Wheat straw + crushed wheat	Cardboard + powdered bread	Wheat bran	Barley bran	Animal fertilizer (sheep)
Egg	1.08^{a}±4.47	1.06^{c}±3.08	1.12^{b}±4.10	-	-
First -instar larvae	0.96^{b}±4.80	0.92^{a}±6.20	0.95^{b}±4.80	0.95^{a}±6.56	0.93^{b}±4.80
Second -instar larvae	0.96^{c}±3.98	0.92^{b}±4.93	0.95^{c}±3.98	0.95^{a}±6.93	0.93^{b}±5.00
Third -instar larvae	1.06^{e}±3.28	1.02^{b}±7.02	1.95^{c}±3.68	3.95^{a}±10.56	2.93^{d}±5.82
Fourth -instar larvae	1.86^{c}±3.50	1.72^{a}±7.03	2.95^{c}±4.08	4.95^{a}±7.00	1.93^{b}±7.25
Fifth -instar larvae	1.52^{c}±3.76	1.25^{a}±6.08	1.95^{c}±3.32	4.95^{b}±5.00	3.93^{b}±4.90
Sixth -instar larvae	1.26^{b}±3.19	1.12^{ab}±4.76	0.95^{b}±3.19	-	2.53^{a}±4.83
Seventh -instar larvae	0.96^{a}±3.11	0.92^{b}±5.53	0.65^{a}±3.60	-	1.13^{b}±3.33
Eighth -instar larvae	1.42^{a}±4.77	0.62^{ab}±4.54	0.60^{b}±3.07	-	-
Ninth -instar larvae	1.25^{b}±3.00	0.42^{a}±5.53	1.95^{b}±2.88	-	-
Tenth -instar larvae	1.65^{b}±2.00	0.12^{a}±5.50	1.95^{b}±2.00	-	-
Eleventh -instar larvae	1.76^{b}±3.52	1.02^{a}±6.00	0.95^{c}±2.88	-	-
Pupation	1.06^{a}±5.18	0.12^{ab}±5.00	1.95^{bc}±5.05	-	-
Adult	6.79^{a}±64.00	5.77^{c}±25.20	0.76^{b}±32.51	-	-

*means followed by the same letters in each row are not significantly different (LSD test, P>0.05).

پارامترهای جدول زندگی– باروری شامل نرخ ذاتی رشد (r_m)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص افزایش جمعیت (R_o)، نرخ ناخالص افزایش جمعیت (Grr) و متوسط مدت زمان یک نسل (T) کرم زرد آرد تحت رژیم غذایی مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نرخ ذاتی رشد و نرخ منتاهی افزایش جعمیت به طور معناداری در تیمار با رژیم غذایی کاه گندم وگندم خرد شده نسبت به شاهد (سبوس گندم) افزایش داشت. رژیم غذایی گندم و گندم خردشده باعث افزایش معنیدار نرخ خالص (۶۸/۹۳±۱۱/۹۶) و ناخالص (۱۱۵/۱۹±۵۲/۶۶) افزایش جمعیت شده است

در حالیکه در رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودرشده این دو پارامتر (معنی‌دار نرخ خالص،۰۸/۰۹±۲/۰ و ناخالص،۵/۴۵±۱۱/۵۹) را به طور معناداری کاهش داده است. متوسط مدت زمان یک نسل که بیانگر زمان لازم برای یک ماده نوظهور جهت ایجاد جمعیتی معادل R_0 است، در تیمار با رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودرشده (۱۱/۸۹±۱۰۹/۰۰) افزایش معناداری نسبت به شاهد (سبوس گندم، ۱/۵۷±۵۸/۰۱) داشته است.

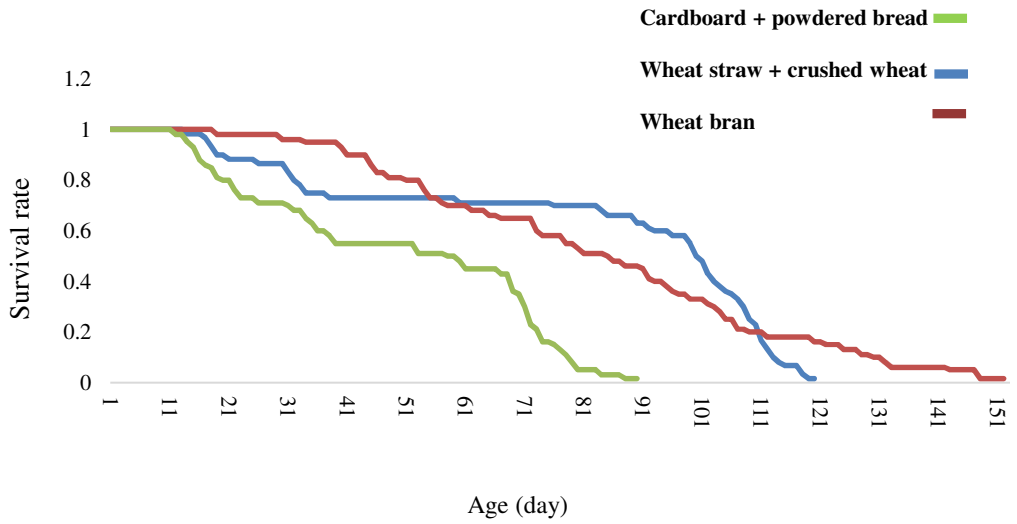
به طورکلی نتایج این آزمایش نشان دهنده اثرات منفی جیره غذایی رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودر شده بر برخی از ویژگی‌های زیستی کرم زردآرد مانند نرخ خالص و ناخالص افزایش جمعیت و همچنین متوسط مدت زمان یک نسل بود. رژیم غذایی کاه گندم و گندم خردشده نیز با افزایش پارامترهای نرخ ذاتی رشد، نرخ متناهی افزایش جمعیت، نرخ خالص و ناخالص افزایش جمعیت باعث ایجاد اثرات مثبت بر ویژگی‌های زیستی کرم زردآرد بود.

جدول ۳: خطای معیار ± میانگین شاخص‌های رشد کرم زرد آرد تحت تیمار رژیم غذایی مختلف

Table 3. Demographic parameters of mealworm on different diets (mean (day) ±standard error)

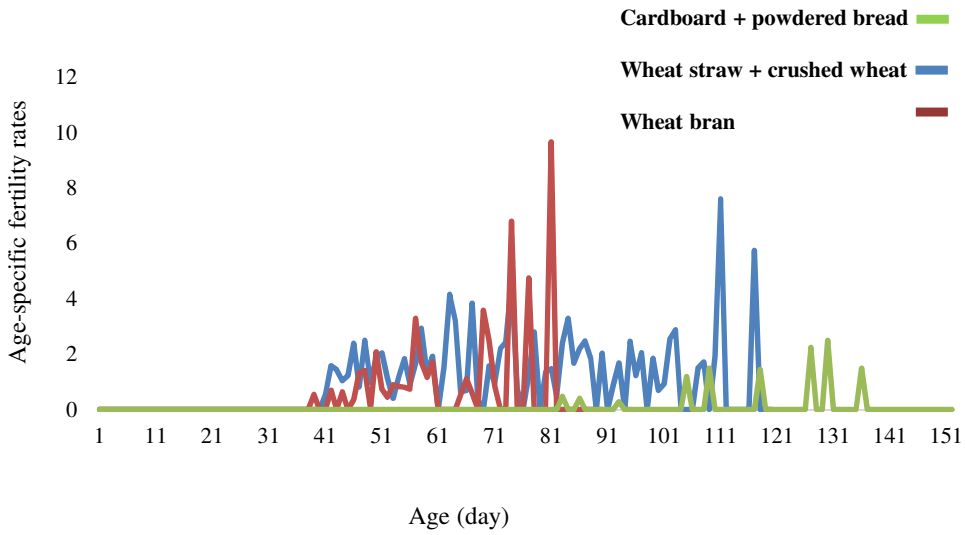
Treatments	Intrinsic rate of increase (r_m)	Finite rate of increase (λ)	Net reproductive rate (R_0)	Mean generation Time (T)	Gross reproductive rate (Grr)
Wheat bran	0.004^{b}±0.04	0.004^{b}±1.04	3.51^{b}±15.85	1.57^{c}±58.01	13.48^{b}±49.71
Wheat straw + crushed wheat	0.003^{a}±0.06	0.003^{a}±1.06	11.96^{a}±68.93	0.81^{b}±63.00	19.66^{a}±115.52
Cardboard + powdered bread	0.001^{c}±0.00	0.004^{c}±1.00	0.09^{c}±2.08	11.89^{a}±109.00	5.45^{c}±11.59

*The means followed by the same letters in each row are not significantly different (LSD test, P>0.05).



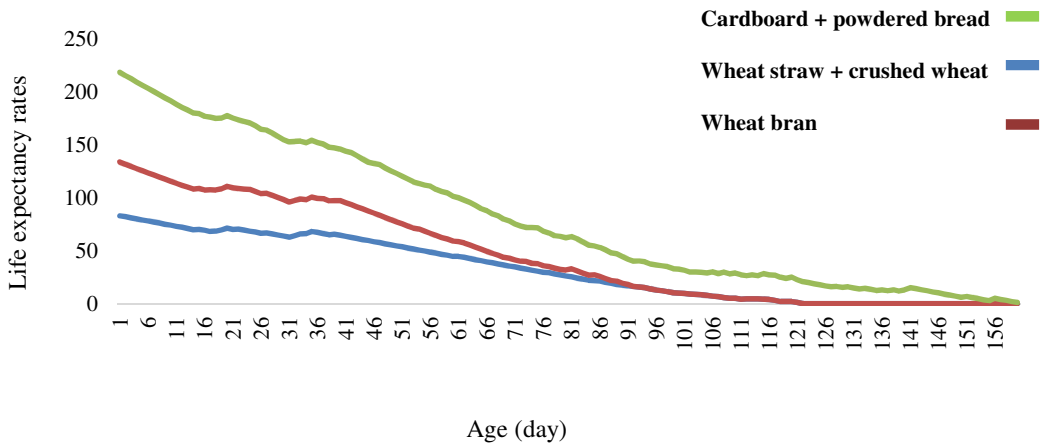
شکل ۱: نمودار نرخ بقا (Lx) در کرم زرد آرد تحت رژیم‌های غذایی مختلف

Fig. 1: Age-specific survival rate (Lx) in mealworm under different diets



شکل ۲: نمودار باروری ویژه سن (Mx) در کرم زرد آرد تحت رژیم‌های غذایی مختلف

Fig. 2: Age-specific fecundity (Mx) in mealworm under different diets



شکل ۳: نمودار امید به زندگی (Ex) در کرم زرد آرد تحت رژیم‌های غذایی مختلف

Fig. 3: Life expectancy (Ex) in mealworm under different diets

منحنی‌های مربوط به نرخ بقا (Lx)، باروری ویژه سن (Mx)، امید به زندگی (Ex) برای کرم زرد آرد در شکل (۱، ۲ و ۳) ارائه شده است. با توجه به نمودار باروری ویژه سن، برای همه تیمارها، بیشترین تخم ریزی در همان اوایل بعد از ظهور حشره کامل اتفاق افتاد. تیمار رژیم غذایی گندم و گندم خردشده باعث افزایش میزان تخم‌ریزی را نسبت به شاهد افزایش داد ولی تیمار رژیم غذایی مقوا و نان خشک آرد این پارامتر را به حداقل رساند.

نمودار امید به زندگی که بیانگر احتمال زنده ماندن یک فرد تا رسیدن به سن x می‌باشد، نشانگر اثر مثبت تیمار رژیم غذایی کاه گندم و گندم خردشده بر کرم زرد آرد بود. همچنین رژیم غذایی مقوا و نان خشک آرد اثرات منفی را بر میزان زنده‌مانی این حشره داشتند.

همچنین، نتایج حاکی ازآن بود که اثر رژیم غذایی مختلف بر وزن لارو اثر معنی‌داری داشته است. میانگین وزن لارو در رژیم غذایی گندم و گندم خرد شده، بیشترین ۰/۱۶۸ و تیمار رژیم غـذایی مقـوا و نـان خشـک آرد، ۰/۱۰۵ وزن را داشتند.

بحث

در این پژوهش جیره غذایی گندم و گندم خرد شده، مقوا و نان خشک آرد شده در مرحله تخم، لاروی، شفیرگی و بالغ تفاوت معنی داری با شاهد (سبوس گندم) داشته‌اند (p<۰/۰۵). در بررسی سه رژیم غذایی مشاهده شد تیمار رژیـم غذایی کاه گندم و گندم خرد شده دارای اثرات مثبتی در مقایسه با شاهد روی چرخه زیستی کرم زرد آرد باشد. در ایـن مطالعه کرم زرد آرد تحت تیمار رژیم غذایی کاه گندم وگندم خرد شده،۲/۸۳± ۹۱/٦٤ روز و مقوا و نـان خشـک پـودر شده، ۳/۷۰± ۱۱۱/۹ روز و سبوس گندم ۱/۲۰± ۷۹/۷۷ روز مرحله چرخه زیستی (از مرحله تخم تا بالغ) خود را تکمیل کند. در مطالعه‌ای تکمیل چرخ زیستی کرم زرد آرد روی رژیم غذایی سبوس گندم از مرحله تخم تا بالغ ٦۲ روز به طول می‌انجامد (Ribeiro, 2017). کیفیت غذا تأثیر اساسی روی اندازه بدن لاروها، شفیره‌هـا و موفقیـت دگردیسـی دارد. یـک دوره کامل چرخه تولید مثلی کرم زرد آرد را در ۷ محیط کشت مختلف مورد بررسی قرار داد و محیط حـاوی آرد جـو نرخ رشد سریع‌تر و دوره تکوین کوتاه‌تر داشت. سوسک زرد آرد چرخه زندگی خود را زودتر به پایان می‌رساند. اما در محیط عدس و لوبیا نرخ رشد کم و دوره تکوین طولانی و طی زمان طولانی چرخه زندگی خود را به پایان مـی‌رسـانند درنتیجه در این دو محیط کشت طول عمر بیشتری نسبت به محیط‌های دیگر (گندم و جو) داشتند. ولی از نظر نرخ بقـا، مرگ ومیر و امید به زندگی تفاوتی مشاهده نشد و مطالعات انجام شده در رابطه با تأثیر ۵ جیره غذایی بر روی رشد کرم زرد آرد، نشان داد که کرم زرد آرد تغذیه از سبوس گندم بیشترین رشـد را داشـتند (Bumroongsook & Nahuanong, 2018). با این حال در نتایج بدست آمده در این پژوهش مشاهده شد بیشترین اثرات مثبت روی چرخه زیستی کرم زرد آرد مربوط به تیمار تحت رژیم غذایی گندم و گندم خردشده می‌باشد. مطالعات انجام شده بر روی اثر سه جیره غـذایی روی ویژگی‌های زیستی کرم خراط نیز نشان داد که که در پرورش کرم خراط جیره غذایی حاوی سـویا، مخمـر، آگـار، شیر خشک، عسل، سبوس گندم، اسید استیک و آب باعث ایجاد کمترین دوره جنینی و دوره شفیرگی در شفیره‌های ماده می‌شود. هم‌چنین این جیره بیشترین وزن شفیره‌های ماده، بیشترین تخم به ازای هر حشره ماده و بیشترین تخم در اولین روز خروج و طول عمر بالای حشرات بالغ را سبب می‌شود، ولی در مقایسه با سایر جیـره‌هـا طـول دوره لاروی نسـبتاً بالایی دارد. با توجه به این خصوصیات این جیره غذایی به عنوان بهترین جیـره پیشـنهاد گردیـد (Bumroongsook & Nahuanong, 2018).

نتایج

نتایج این پژوهش نشان دهنده اثرات منفی تیمار رژیم غذایی مقوا و نان خشک پودر شده بر نرخ ذاتی رشد جعمیت (۰/۰±۰۰/۰۰۱) کرم زردآرد و همچنین متوسط مدت زمان یک نسل (۱۰۹/۰±۱۱/۸۹) بود. اما رژیم غذایی گندم و گندم خردشده بر نرخ ذاتی رشد جعمیت (۰/۰٦±۰۰/۰۰۳) کرم زردآرد و همچنین متوسط مدت زمان یک نسل (٦۳/۰±۰/۸۱) باعث ایجاد اثرات مثبت بر ویژگی‌های زیستی کرم زردآرد در مقایسه با رژیم غذایی سبوس گندم بـا نـرخ ذاتـی رشـد جعمیت (۰/۰±۰٤/۰۰٤) کرم زرد آرد و همچنین متوسط مدت زمان یک نسل (۵۸/۱±۰۱/۵۷) بود. همچنین که نرخ بقـا

در تیمار رژیم غذایی کاه گندم و گندم خردشده نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است. در واقع کرم زرد آرد از قدرت زنده‌مانی بیشتری نسبت به شاهد برخوردار بوده است. اما رژیم غذایی مقوا و نان خشک آرد باعث کاهش این پارامتر نسبت به شاهد شده است. اثرات محیط‌های غذایی مختلف مانند گندم، جو، ذرت و برنج بر روی رشد لارو *Alphitobius diaperinus* سنجیده شد که نشان داد محیط غذایی جو مناسب‌ترین شرایط را برای رشد و تکوین سوسک آرد فراهم می‌کند. در این آزمایش با بزرگ‌تر شدن لارو سوسک آرد بین محیط‌های مختلف تفاوت‌های معنی‌دارتری مشاهده شد (Hosen *et al*., 2004). همچنین نتایج مشابه‌ای بر رشد نوع دیگری از لارو *Tribolium confusum* بدست آمده است (Haque *et al*., 1978). بررسی‌های لی و همکاران نشان می‌دهد که لاروهایی که از ضایعات گیاهی تغذیه می‌کنند در مقایسه با آنهایی که از سبوس گندم تغذیه می‌کنند دارای چربی کمتری هستند (Li *et al*., 2012). یو و همکاران نشان داده است که پرورش لاروهای سوسک زرد آرد در دو منطقه متفاوت می‌تواند ترکیب اسیدهای چربی موجود در آنها را تغییر دهد (Yoo *et al.,* 2013). آلوس و همکاران نیز اثبات کرده‌اند که رژیم غذایی اثر مستقیمی بر درصد اسیدهای چرب موجود در لاروها دارد (Alves *et al.,* 2016) .

افزایش وزن لارو کرم زرد آرد در رابطه با پرورش انبوه می‌تواند منجر به افزایش کیفیت در موارد مصرفی چون پرورش ماهی، طیور شود. در مطالعه‌ای اثر رژیم‌های غذایی حاوی پودر سویا و پودر لاروهای کرم زرد آرد را بر روی جوجه‌های گوشتی مقایسه کردند و در نهایت نشان دادند که لاروهای کرم زرد آرد عملکردی یکسان و تا حدی بیشتر از پودر سویا در رشد گوشتی جوجه‌ها داشته و می‌توانند به طور کامل جایگزین پودر سویا گردند. همچنین مشاهده شده است که لاروهای کرم زرد آرد توانستند به عنوان منبع پروتئینی، رشد خوبی را در جوجه‌های گوشتی ایجاد کرده اند (Bovera *et al.,* 2016).آن‌ها پیشنهاد دادند که این لاروها می‌توانند جایگزین مناسبی برای پروتئین‌های گیاهی در رژیم‌های غذایی این جوجه‌ها باشند (Ramos-Elorduy, 2002). هرچه وزن لاروهای بیشتر باشد، میزان ذخیره غذایی آن‌ها نیز بیشتر خواهد بود که این ویژگی در انتخاب آن‌ها به عناون ماده‌ی غذایی یا بستری برای پرورش تأثیر می‌گذارد. تیمار گندم و گندم خرد شده با بیشترین میانگین وزن لارو می‌تواند پیشنهاد خوبی برای پرورش انبوه باشد، حال آن که تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده شد.

References

Alves, A. V., Sanjinez-Argandoña, E. J., Linzmeier, A. M., Cardoso, C. A. L. and Macedo, M.L.R., 2016. Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeate* pulp flour. PLoS ONE 11(3): e0151275. DOI: 10.1371/journal.pone. 0151275.

Aerts A, François I, Cammue B, Thevissen K. 2008. The mode of antifungal action of plant, insect and human defensins. Cellular and Molecular Life Sciences, 65: 2069-2079.

Awoniyi T, Adetuyi F, Akinyosoye F. 2004. Microbiological investigation of maggot meal, stored for use as livestock feed component. Journal of food, agriculture and environment (JFAE), 38: 45-49.

Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. Journal of animal science, 94: 639-647.

Bukkens SG, Paoletti M. 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. Ecological implications of minilivestock, 545-577.

Bumroongsook, S., and Nahuanong, P. 2018. Effect of protein content in feed formulas on growth and nutritional values of mealworms. International Journal of Agricultural Technology, 14(5): 621-630.

Drew D, Pieterse E. 2015. Markets, money and maggots. Journal of Insects as Food and Feed, 1: 227-231.

Ganz T. 2003. Defensins: antimicrobial peptides of innate immunity. Nature reviews immunology, 3: 710.

Hosen, M., Khan, A.R. and Hossain, M., 2004. Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) on cereal floursPakistan Journal of Biological Sciences, *7*(9) :1505-1508.

Haque, A., Chassoux, D., Ogilvie, B.M. and Capron, A., 1978. Dipetalonema viteae infection in hamsters: enhancement and suppression of microfilaraemia. Parasitology, 76(1) :77-84.

Józefiak D. 2015. Engberg RM Insects as poultry feed. In: 20th European symposium on Poultry Nutrition, 24-27.

Józefiak D, Józefiak A, Kierończyk B, Rawski M, Świątkiewicz S, Długosz J, Engberg RM. 2016. Insects–A Natural Nutrient Source for Poultry–A Review. Annals of Animal Science, 16: 297-313.

Li, L.Y., Zhao, Z. and Liu, H., 2012. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bio regenerative life support systems as a source of animal protein for humans. Acta Astronautica, 92(1) :103-109. http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.03.012.

Makkar HP, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, 197: 1-33.

Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. Journal of Economic Entomology, 95: 214-220.

Ribeiro Ntgm. 2017. Tenebrio molitor for food or feed: rearing conditions and the effects of pesticides on its performance. Ph.D. dissertation, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal.

Seufi AM, Hafez EE, Galal FH. 2011. Identification, phylogenetic analysis and expression profile of an anionic insect defensin gene, with antibacterial activity, from bacterial-challenged cotton leafworm, *Spodoptera littoralis*. BMC molecular biology, 12: 47.

Ueda K, Imamura M, Saito A, Sato R. 2005. Purification and cDNA cloning of an insect defensin from larvae of the longicorn beetle, *Acalolepta luxuriosa*. Applied entomology and zoology, 40: 335-345.

Van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annual Review of Entomology, 58: 563-583.

Yi H-Y, Chowdhury M, Huang Y-D, Yu X-Q. 2014. Insect antimicrobial peptides and their applications. Applied microbiology and biotechnology, 98: 5807-5822.

Yoo, J.M., Hwang, J.S., Goo, T.W. and Yun, E.Y., 2013. Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). Journal of Korean Society Food Science Nutrition, 42(2): 249-254.

Journal of Entomological Research
Volume 12, Issue 1, pages:29-40

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

The effect of diet on the life table parameters of the Mealworm, *Tenebrio molitor*

F. Zamani [1]***, A. Jalalizand*** [2*]***, E. Soleyman Nejadian***[2]

1- M.Sc. Student, Department of Plant protection, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant protection, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Abstract

Increasing the volume of the world's major challenges facing resource constraints and rising food and protein prices. Using insects as food and feed for humans, livestock and poultry can be a good solution to this global crisis. Yellow flour cream is one of the most common sources of high-quality protein, used to feed small animals, birds, and fish. In this study, five different in vitro diets (25 1 1 ° C and 60 5 5 relative humidity, 16: 8 h light period (brightness: dark)) were used to grow yellow worm. In this study, wheat bran was considered as control. The results showed that the intrinsic growth rate, as well as the finite rate, increased significantly in the treatment of wheat and chopped wheat compared to the control, and the wheat and chopped wheat diet significantly increased the net and gross population growth rate, respectively, But the diet of cardboard and powdered bread reduced these two parameters significantly compared to the control. Therefore, the diet of cardboard and powdered bread had negative effects on the biological characteristics of yellow worm and wheat and chopped wheat diet had positive effects on the biological properties of a yellow worm. In general, the results of this study showed that the cultivation of yellow worm on different diets has significant effects on the life cycle of yellow flour, and wheat and shredded wheat can be a suitable diet in the future at a much lower cost and with less effort to grow worms. Yellow flour to be used.

Keywords: Insect, Biological Cycle, Diet, Mass Breeding.

* Corresponding Author, E-mail*: arjalalizand@gmail.com*
Received:19 Sep. 2019 – Accepted: 11 May 2020