

Research Article

بررسی تاثیر ميزبان بر بقا و ذخاير انرژی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Hym., Braconidae)بهاره آصف پور^۱ و مجید کزازی^۱^۱ - گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده: کاربرد عوامل کنترل بیولوژیک، به ویژه پارازیتوئیدها، در چارچوب برنامه های مدیریت تلفیقی آفات به طور فزاینده ای در حال گسترش است. عوامل متعددی می توانند بر کارایی پارازیتوئیدها تاثیرگذار باشند که از جمله مهم ترین آن ها، نوع و در دسترس بودن ميزبان است. در این پژوهش اثر دو شب پره ميزبان *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep., Pyralidae) و *Plodia interpunctella* Hubner (Lep., Pyralidae) بر ذخاير انرژی و فراسنجه های زیستی زنبور *Habrobracon hebetor* Say (Hym., Braconidae) بررسی شد. نتایج نشان داد که ميزبان پروتئين، لیپید، کربوهیدرات و گلیکوژن در مراحل مختلف زیستی زنبور بسته به نوع ميزبان تفاوت معنی داری دارند. زنبورهای پرورش یافته روی *E. kuehniella* دارای ميزبان پروتئين و لیپید بالاتر، رشد سریع تر و طول عمر بیشتر بودند. از سوی دیگر، زنبورهای پرورش یافته روی *P. interpunctella* دارای ميزبان کربوهیدرات و گلیکوژن بیشتری بودند. همچنین، نوع ميزبان اثر معنی داری بر فراسنجه های زیستی زنبور داشت، به طوری که نرخ ذاتی رشد (r)، نرخ خالص تولید مثل (R_m)، نرخ ناخالص تولید مثل (GRR)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و تعداد تخم گذاشته شده در زنبورهای پرورش یافته روی *E. kuehniella* بیشتر بود، که نشان دهنده ظرفیت تولیدمثلی بالاتر آن ها است. طول دوره پیش از بلوغ، دوره لاروی و شفیرگی در زنبورهای تغذیه شده از *P. interpunctella* طولانی تر بود. بر اساس یافته ها، *E. kuehniella* به عنوان ميزبان برتر برای *H. hebetor* شناسایی شد، زیرا موجب افزایش باروری، کاهش طول دوره یک نسل و بهبود نرخ رشد آن شد. این نتایج نشان می دهد که *E. kuehniella* می تواند به عنوان یک ميزبان مناسب برای پرورش انبوه *H. hebetor* در برنامه های کنترل زیستی آفات انباری مورد استفاده قرار گیرد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳

دبیر تخصصی: محمد امین جلالی

نویسنده مسئول: مجید کزازی

ایمیل: mkazzazi@basu.ac.ir

کلمات کلیدی: منابع انرژی، پارازیتوئید خارجی، *Plodia interpunctella*، *Ephestia kuehniella*DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.46.1.12>

مقدمه

با توجه به اثرات سوء استفاده از آفت کش ها مانند افزایش جمعیت های مقاوم به آفت کش ها، از بین رفتن حشرات مفید، شیوع آفات ثانویه، آلودگی مواد غذایی گیاهی و دامی و همچنین آلودگی منابع آب و محیط زیست لزوم استفاده از روش های سازگار با محیط زیست برای مدیریت آفات ضروری است که در نتیجه آن، علاقه به روش کنترل بیولوژیک در مدیریت تلفیقی آفات به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Farag et al., 2015). در این بین یافتن ميزبان مناسب برای پرورش انبوه عوامل بیولوژیک بسیار حائز اهمیت می باشد، در واقع افراد ماده بسته به شرایط فیزیولوژیکی و محیطی می توانند از مواد غذایی برای تخم گذاری و افزایش توان تولید مثلی استفاده کنند. فراهم نمودن ميزبان مناسب در رشد و نمو، افزایش طول عمر، تولید مثل و افزایش پارازیتیسیم افراد بالغ نقش مهمی دارد (Jeffrey et al., 2016; Aliabadi et al., 2019). از میان عوامل کنترل بیولوژیک می توان به زنبور پارازیتوئید خارجی *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) اشاره کرد که می تواند لارو گونه های مختلفی از آفات راسته Lepidoptera را پارازیته کند. همچنین گزارش های بسیاری مبنی بر حمله این پارازیتوئید به آفات انباری و زراعی وجود دارد (Saadat et al., 2014; Hadidi et al., 2023). زنبور پارازیتوئید با نیش زدن لارو ميزبان، سمی را به بدن لارو تزریق می کند و لارو ميزبان را فلج می کند که بلافاصله تغذیه و حرکت آن متوقف می شود. پس از آن، تخم ها در قسمت بیرونی لارو ميزبان گذاشته می شوند که فلج باقی می ماند. لارو زنبور پس از خروج از تخم، از ميزبان خود تغذیه می کند و در نهایت آن را می کشد (Lettmann et al., 2021).

عوامل متعددی در ميزبان پارازیتوئیدها از جمله شرایط فیزیولوژیکی، نوع گونه های ميزبان و همچنین نوع رژیم غذایی ميزبان می تواند بر پارامترهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی پارازیتوئیدها تاثیر گذار باشد (Hadidid et al., 2023). بنابراین، لازم است اطلاعات مربوط به روابط پارازیتوئید-ميزبان با واسطه فیزیولوژیکی و بیولوژیکی برای تولید موفق عوامل کنترل زیستی پیدا شود (Saadat et al., 2014). جدول زندگی یکی از ابزارهایی است که در تجزیه و تحلیل کمی و برآورد جمعیت مورد استفاده قرار می گیرد (Farag et al., 2015) که ادغام آن با برآوردهای فیزیولوژیکی از جمله ارزیابی میزان ذخیره انرژی در بندپایان به ویژه حشرات پارازیتوئید و شکارگر به استفاده بهینه از آن ها کمک شایانی می کند. از سوی دیگر جابه جایی انرژی در اکولوژی بسیار حائز اهمیت است زیرا به ما اجازه می دهد تا نتایج تعاملات بین افراد و یا جمعیت ها و همچنین تأثیر آن ها بر جوامع را پیش بینی کنیم. علاوه بر این، دانش انرژی در خصوص یک فرد یا یک

جمعیت به ما این امکان را می‌دهد تا اطلاعاتی در مورد کارایی، استراتژی‌های جستجو و تکامل به‌دست آوریم (Gao et al., 2010). همواره یک ارتباط متابولیکی بین وزن بدن حشره و اندوخته غذایی آن وجود دارد که در نهایت میزان کلی ذخایر پروتئینی، چربی و کربوهیدراتی را تعیین می‌کند که مجموع آن‌ها بقا حشره را تضمین خواهد کرد (Briegleb et al., 2001). به‌طور کلی حشرات انرژی را به شکل گلیکوژن، کربوهیدرات، لیپید و پروتئین ذخیره می‌کنند. ذخایر انرژی منابع اصلی برای تقویت فعالیت بندپایان هستند و منابع پروتئینی و کربوهیدرات‌ها ممکن است فعالیت حشرات را برانگیزند (Moeini & Tahmasebi, 2018). متابولیسم لیپید برای رشد و تولیدمثل ضروری است و انرژی مورد نیاز را در طول دوره‌های طولانی بدون تغذیه فراهم می‌کند (Arrese & Soulges, 2010). بنابراین هدف از انجام این پژوهش در وهله اول ارزیابی فراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر روی دو آفت انباری *E. kuehniella* و *P. interpunctella* و سپس ارزیابی استفاده از طیف وسیعی از تکنیک‌های اسپکتوفتومتری برای تعیین کمیت منابع انرژی شامل پروتئین، کربوهیدرات، لیپید و گلیکوژن در مراحل مختلف زیستی زنبور پارازیتوئید بوده. در نهایت هدف این پژوهش بیان ارتباط بین ویژگی‌های فیزیولوژیک و فراسنجه‌های زیستی بوده است.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات. کلونی اولیه شب‌پره *E. kuehniella* از انسکتاریوم مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان همدان تهیه شد و سپس در ظروف پلاستیکی حاوی آرد گندم و سیبوس به نسبت ۱:۴ و ۵ درصد مخمر در انکوباتور با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش یافت (Abroun et al., 2013). کلونی اولیه شب‌پره *P. interpunctella* از انبارهای گردو آلوده به این آفت از شهرستان تویسرکان استان همدان تهیه شد و سپس در ظروف پلاستیکی حاوی رژیم غذایی ۸۰ گرم سیبوس گندم، ۱۶۰ گرم مخمر، ۲۰۰ میلی لیتر گلیسرول و ۲۰۰ میلی لیتر عسل در انکوباتور با شرایط ذکر شده در بالا پرورش یافت (Silhacek & Miller, 1972). برای شروع آزمون‌های اصلی زنبور *H. hebetor* به‌مدت سه نسل روی لاروهای سنین آخر هر دو شب‌پره درون پتری دیش‌هایی به قطر ۱۰ سانتی متر در انکوباتور با شرایط ذکر شده در بالا پرورش یافت.

جدول زندگی. برای شروع مطالعات، زنبورهای پارازیتوئید به مدت سه نسل روی هر یک از آفات پرورش یافتند. برای مطالعات جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* هر یک از حشرات ماده تازه ظهور کرده با یک حشره نر جفت شده و سپس به ماده‌های جفت شده اجازه داده شد تا لاروهای *E. kuehniella* و *P. interpunctella* را به مدت ۲۴ ساعت پارازیته کنند. پس از آن فقط یک تخم روی هر لارو نگه داشته شد. بنابراین آزمایش با ۵۰ تخم به‌عنوان کوهورت اولیه آغاز شد. به‌منظور انجام آزمایش از پتری دیش‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر که در آن‌ها با توری پوشانده شده بود استفاده شد. سپس هر لارو به‌طور روزانه تا مرحله شفیرگی و ظهور بالغین و یا مرگ آن‌ها بررسی شد. پس از ظهور حشرات بالغ، براساس شکل ظاهری زنبورهای نر و ماده جفت شده و روزانه چهار لارو سن چهار از شب‌پره‌های ذکر شده در اختیار آن‌ها قرار گرفت و مشاهده روزانه برای تعیین طول عمر و میزان تخم‌ریزی آن‌ها تا زمان مرگ آخرین فرد انجام شد. آزمایش در شرایط نوری ۱۶:۸ روشنایی تاریکی، دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد انجام شد.

اندازه‌گیری ذخایر انرژی. پروتئین براساس روش توصیف شده توسط Bradford (1976) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که ابتدا مراحل زیستی مختلف زنبور پارازیتوئید شامل (تخم، لارو سن سوم، شفیره و حشرات کامل نر و ماده) به‌طور جداگانه همراه با ۱۸۰ میکرولیتر بافر فسفات (۱۰۰ میلی‌مولار مونوپتاسیم فسفات، یک میلی‌مولار اتیلن دی آمین اتر استیک اسید و یک میلی‌مولار تیوتریتول، با pH ۷/۴) با هموژنایز دستی به خوبی همگن شدند و سپس محلول حاصل به درون میکروتیوب‌های ۲ میکرولیتری منتقل گردید. میکروتیوب‌های حاوی حشرات همگن شده با دور ۱۸۰g و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. برای سنجش میزان پروتئین ۱۰ میکرولیتر از رانشین حاصل درون میکروتیوب‌های جداگانه ریخته شد و سپس ۵۰۰ میکرولیتر معرف بردفورد به هر یک از میکروتیوب‌ها اضافه شد. پس از انکوبه کردن نمونه‌ها در دمای اتاق جذب با دستگاه اسپکتوفتومتری در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد پروتئین از سرم آلبومین گاوی استفاده گردید.

برای حل کردن تمام کربوهیدرات‌ها، ۲۰ میکرولیتر محلول ۲۰ درصد سولفات سدیم و ۱۰ میکرولیتر محلول بافر فسفات به رانشین باقی‌مانده از مرحله قبل اضافه شد تا حجم نهایی به ۰/۲ میلی‌لیتر و غلظت سولفات سدیم به ۲ درصد برسد. پس از آن ۵۰۰ میکرولیتر کلروفرم و ۱۰۰۰ میکرولیتر متانول به این مخلوط اضافه گردید. پس از ورتکس شدید نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه، با دور ۱۸۰g و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ گشته تا گلیکوژن ته‌نشین شود و برای آنالیز بعدی آماده گردد. رانشین حاصل که حاوی کربوهیدرات‌های محلول و لیپیدهای کل بود به میکروتیوب‌های جدید انتقال یافت. از هر میکروتیوب ۱۵۰ میکرولیتر محلول رانشین درون میکروتیوب‌های جدید ریخته شد و پس از انکوبه کردن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و رسیدن حجم آن‌ها به ۱۰ میکرولیتر به هر یک از میکروتیوب‌ها ۲۴۰ میکرولیتر معرف آنترون اضافه شد و میکروتیوب‌ها با دقت بسته شده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در حمام بن‌ماری و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از خنک شدن، جذب نمونه‌های کربوهیدرات در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد.

برای سنجش میزان گلیکوژن ته‌نشین حاصل از سانتریفیوژ نمونه‌ها که حاوی سولفات سدیم و گلیکوژن بود دوبار توسط ۴۰۰ میکرولیتر متانول ۸۰ درصد شسته شد. مرحله شست‌وشو شامل ورتکس شدید و به دنبال آن سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در دور ۱۶۰۰g و دمای ۴ درجه سلسیوس بود. رانشین حاصل با میکروپیپت برداشته و دور ریخته شد، پس از آن یک میلی‌لیتر معرف آنترون به ته‌نشین اضافه گردید و نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس انکوبه شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها روی یخ و توقف واکنش، نمونه‌ها به کمک سرنگ فیلتردار فیلتر شدند. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد کربوهیدرات و گلیکوژن از گلوکز استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری میزان لیپید کل ۱۰۰ میکرولیتر از رانشین حاصل در میکروتیوب‌های جدید ریخته شد و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا حلال آن به‌طور کامل تبخیر گردد. پس از تبخیر ۱۰ میکرولیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به هر یک از میکروتیوب‌ها اضافه گردید و نمونه‌ها در حمام آبی در

دمای ۹۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. پس از خنک شدن میکروتیوب‌ها روی یخ ۱۹۰ میکرولیتر معرف وانیلین به هر یک از نمونه‌ها اضافه شد. در نهایت میکروتیوب‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شدند و سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۵ نانومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد از کلوسترول استفاده گردید (Van Handel, 1965; Van Handel, 1985a; Van Handel, 1985b).

تجزیه و تحلیل آماری. اطلاعات به‌دست آمده از فراسنجه‌های زیستی و بقا، براساس جدول زندگی دوجنسی سن-مرحله رشدی با استفاده از نرم افزار TWOSEX-MSChart تجزیه شد (Chi et al., 2023). میانگین و خطاهای استاندارد آماره‌های جدول زندگی با استفاده از روش بوت استرپ با ۱۰۰۰۰۰ تکرار محاسبه شده و جهت مقایسه تیمارها از Paired bootstrap در سطح احتمال ۵ درصد موجود در این برنامه استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار SigmaPlot 15.0 استفاده شد. داده‌های ذخایر انرژی با آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA Tow-Way) آنالیز شد این آزمون امکان بررسی هم-زمان اثر عوامل مستقل شامل «مرحله‌ی رشدی» و «نوع میزبان» و نیز برهم‌کنش میان آن‌ها را بر میزان هر یک از ترکیبات انرژی‌زا فراهم ساخت و نمودارهای این بخش با نرم افزار Excel 19 رسم شدند.

نتایج

ویژگی‌های زیستی. میانگین طول مراحل زیستی مختلف زنبور *H. hebetor* در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که طول مراحل زیستی این زنبور به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع میزبان قرار می‌گیرد. همچنین نتایج نشان داد که طول دوره پیش از بلوغ در زنبورهای پارازیتوئید پرورش یافته روی *E. kuehniella* به‌طور معنی‌داری کمتر از زنبورهای پارازیتوئید پرورش یافته روی *P. interpunctella* بود ($p < 0.05$). همچنین، طول عمر زنبورهای نر و ماده روی این میزبان به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. به‌علاوه دوره شفیرگی و مرحله لاروی زنبورهای پارازیتوئید پرورش یافته روی میزبان *P. interpunctella* طولانی‌تر بود، که بیانگر تفاوت‌های رشدی بین این دو گونه است.

در جدول ۲ میانگین فراسنجه‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی میزبان‌های *E. kuehniella* و *P. interpunctella* مشاهده می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که فراسنجه‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع میزبان قرار می‌گیرند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص تولید مثل (R_0) و نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) روی میزبان *E. kuehniella* است و این میزبان یک میزبان برتر برای *H. hebetor* محسوب می‌شود و نرخ ذاتی رشد (r) و نرخ خالص تولید مثل (R_0) زنبور پارازیتوئید بین دو میزبان دارای اختلاف معنی‌دار است. در طول مدت زمان یک نسل (T) اما اختلاف معنی‌داری بین دو میزبان مشاهده نشد. طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات کامل (APOP)، طول دوره کل قبل از تخم‌ریزی (TPOP)، میانگین تعداد تخم گذاشته شده در روز و میزان باروری کل حشرات ماده در جدول ۳ نشان داده شده است. طول دوره قبل از تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی این دو میزبان تفاوت معنی‌دار نشان نداد اما سه پارامتر دیگر دارای تفاوت معنی‌دار بودند. دوره قبل از تخم‌ریزی و کل دوره قبل از تخم‌ریزی روی میزبان *E. kuehniella* کمتر بود ولی میزان باروری و میانگین تعداد تخم گذاشته در روز بیشتر از میزبان دیگر بود. نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله زیستی (s_{xij}) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی دو میزبان مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است که احتمال زنده ماندن تخم تا سن x در حالی که در مرحله سنی z است را نشان می‌دهد و علاوه بر توصیف نرخ زنده‌مانی، روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف را نیز توصیف می‌کند. بالاترین مقدار s_{xij} بر روی *E. kuehniella* و *P. interpunctella* برای پارازیتوئیدهای ماده به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۲ و برای پارازیتوئیدهای نر ۰/۳۴ و ۰/۳۶ محاسبه شد. کمترین میزان مرگ و میر قبل از بلوغ روی طعمه *E. kuehniella* مشاهده شد.

جدول ۱: میانگین ($\pm$ خطای معیار) طول دوره زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر روی دو میزبان *E. kuehniella* و *P. interpunctella*

Host	Stage					Preadult (day)
	Egg (day)	Larva (day)	Pupa (day)	Adult longevity of female (day)	Adult longevity of male (day)	
<i>E. kuehniella</i>	1.49 $\pm$ 0.07 ^a	2.98 $\pm$ 0.11 ^b	5.11 $\pm$ 0.11 ^b	33.07 $\pm$ 0.49 ^a	22.59 $\pm$ 0.65 ^a	9.61 $\pm$ 0.23 ^b
<i>P. interpunctella</i>	1.58 $\pm$ 0.09 ^a	4.49 $\pm$ 0.09 ^a	6.09 $\pm$ 0.11 ^a	25.42 $\pm$ 0.51 ^b	16.78 $\pm$ 0.44 ^b	12.11 $\pm$ 0.18 ^a

Mean values in a row followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) according to paired-bootstrap test

جدول ۲: فراسنجه‌های رشد جمعیت ($\pm$ خطای معیار) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی دو میزبان *E. kuehniella* و *P. interpunctella*

Host	r (day ⁻¹)	λ (day ⁻¹)	T (day)	GRR (offspring)	R_0 (offspring)
<i>E. kuehniella</i>	0.26 $\pm$ 0.009 ^a	1.303 $\pm$ 0.013 ^a	19.75 $\pm$ 0.46 ^b	237.06 $\pm$ 23.96 ^a	187.76 $\pm$ 25 ^a
<i>P. interpunctella</i>	0.22 $\pm$ 0.007 ^b	1.25 $\pm$ 0.009 ^a	21.25 $\pm$ 0.3 ^a	154.98 $\pm$ 17.61 ^b	125.56 $\pm$ 17.5 ^b

Mean values in a row followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) according to paired-bootstrap test

جدول ۳: میانگین ($\pm$ خطای معیار) دوره‌های تخم‌ریزی و میزان باروری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی دو میزبان *E. kuehniella* و *P. interpunctella*

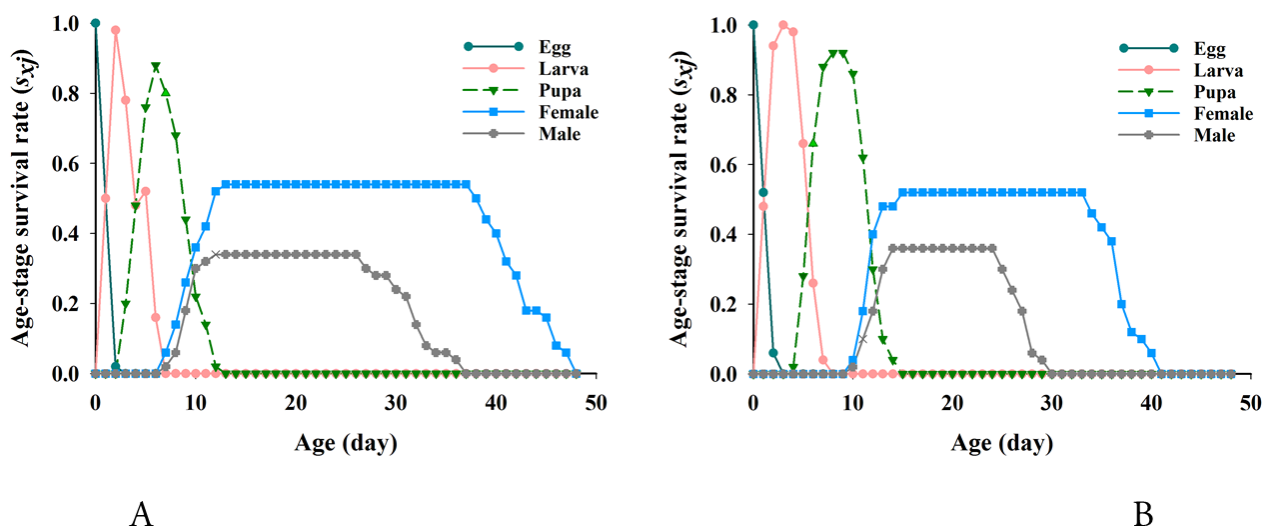
Table 3: The mean ($\pm$ SE) of oviposition and fecundity rates of *H. hebetor* on two hosts *E. kuehniella* and *P. interpunctella*

Host	APOP (day)	TPOP (day)	Eggs/ days	Fecundity
<i>E. kuehniella</i>	1.56 $\pm$ 0.1 ^a	11.3 $\pm$ 0.36 ^b	27.93 $\pm$ 2.91 ^a	347.7 $\pm$ 9.15 ^a
<i>P. interpunctella</i>	1.69 $\pm$ 0.09 ^a	13.65 $\pm$ 0.27 ^a	20.04 $\pm$ 2.78 ^b	241.46 $\pm$ 8 ^b

Mean values in a row followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) according to paired-bootstrap test

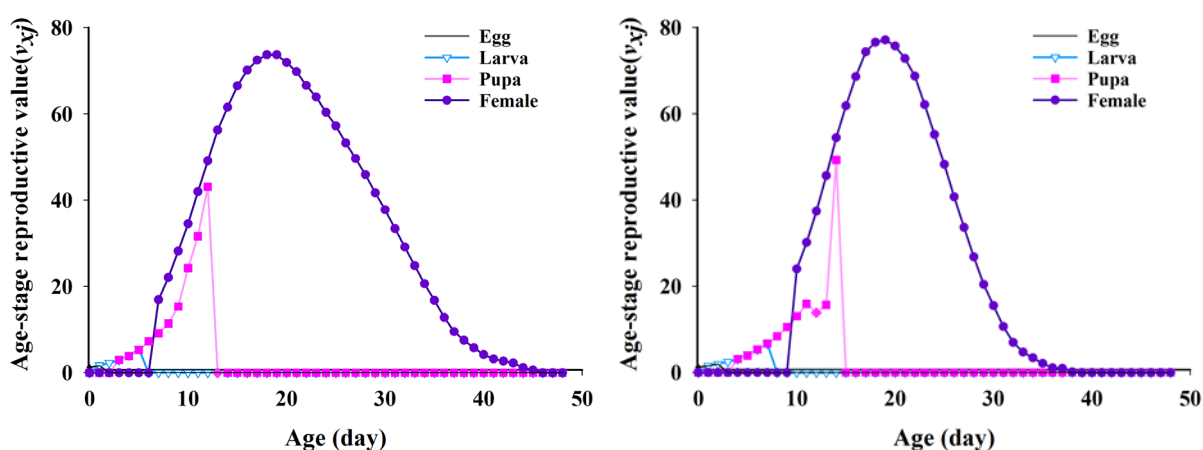
شاخص ارزش تولید مثلی ویژه سن-مرحله‌ای (v_{xj}) زنبور پارازیتوئید به معنای سهم یک فرد در سن x و مرحله رشدی j بر روی میزبان مشخص در ایجاد نسل بعدی می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است و این میزان به طور معنی‌داری وقتی تولید مثل شروع می‌شود افزایش می‌یابد. اوج مقدار ارزش تولید مثلی زنبور پارازیتوئید با تغذیه از *E. kuehniella* در روز نوزدهم، ۷۳/۷۱ بود و زنبور از روز هفتم شروع به تخم‌ریزی کرده است در مقابل با تغذیه از *P. interpunctella* بیشترین ارزش تولید مثلی در روز نوزدهم، ۷۷/۱۱ بود و شروع تخم‌ریزی از روز دهم بعد از بلوغ می‌باشد. نرخ زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) و باروری ویژه سنی (m_x) در شکل ۳ نشان داده شده است، نتایج نرخ زنده‌مانی نشان داد که مرگ آخرین فرد روی طعمه *P. interpunctella* (روز ۳۹) و روی میزبان *E. kuehniella* (روز ۴۵) اتفاق افتاده است. همچنین باروری ویژه سنی نشان داد که میانگین تعداد تخم گذاشته شده توسط هر فرد بر روی *E. kuehniella* ۱۱/۴۸ تخم در روز ۲۱ و روی *P. interpunctella* ۱۱/۳۶ و در روز ۲۲ مشاهده شده است. تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط زنبورهای پرورش‌یافته روی *E. kuehniella* به‌طور معنی‌داری بیشتر از زنبورهای پرورش‌یافته روی *P. interpunctella* بود.

ذخایر انرژی. میانگین ذخایر انرژی (پروتئین، چربی، کربوهیدرات و گلیکوزن) مراحل زیستی مختلف زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر روی دو شب‌پره مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی میزان ذخایر انرژی در مراحل مختلف زیستی نشان داد که مقدار پروتئین، لیپید، کربوهیدرات و گلیکوزن در مراحل مختلف زندگی زنبور روی این دو گونه تفاوت‌های معنی‌داری دارند. یافته‌ها نشان داد که میزان پروتئین زنبور پارازیتوئید بسته به مرحله زیستی روی این دو میزبان متفاوت است. مقدار پروتئین در مراحل شفیرگی ($M = 10.72$, 95% CI: 8.48- 12.95) و حشرات بالغ ماده ($M = 19.93$, 95% CI: 17.70-22.17 and $M = 10.31$, 95% CI: 8.07- 12.54 & $M = 7.46$, 95% CI: 5.23- 9.69) که به ترتیب بر روی دو میزبان *E. kuehniella* و *P. interpunctella* پرورش یافتند دارای تفاوت معنی‌دار بود که ممکن است به دلیل تفاوت‌های متابولیکی و نیازهای فیزیولوژیکی در مراحل رشد و تکامل باشد. اما در مراحل تخم ($M = 1.64$, 95% CI: -0.59-0.3.87) و لارو ($M = 18.44$, 95% CI: 16.55- 21.02) و $M = 18.78$, 95% CI: 16.20- 60.67) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی اثر متقابل تاثیر میزبان بر میزان پروتئین زنبورهای پارازیتوئید دارای اختلاف معنی‌دار بود ($F = 29.91$, $p < 0.001$).



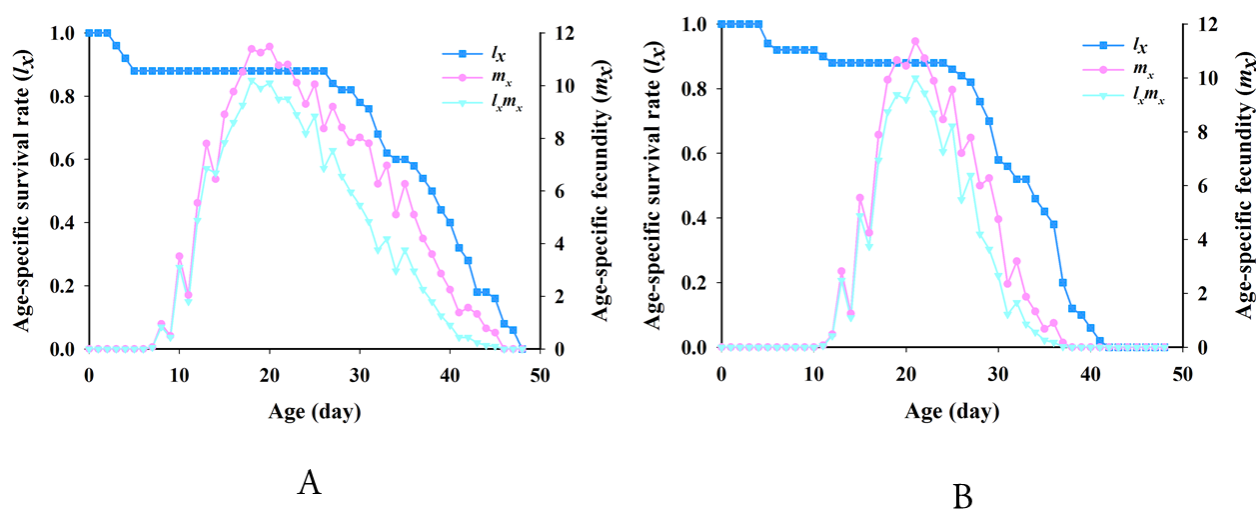
شکل ۱: نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله زیستی (s_{xj}) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی A) *E. kuehniella* و B) *P. interpunctella*

Fig. 1: Age-stage-specific survival rate (s_{xj}) of *H. hebetor* on A) *E. kuehniella* and B) *P. interpunctella*



شکل ۲: ارزش تولید مثلی زنبر پارازیتوئید *H. hebetor* روی *E. kuehniella* و *P. interpunctella*

Fig. 2: Reproductive value of *H. hebetor* on A) *E. kuehniella* and B) *P. interpunctella*



شکل ۳: نرخ زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) و باروری ویژه سنی (m_x) زنبر پارازیتوئید *H. hebetor* روی *E. kuehniella* و *P. interpunctella*

Fig. 3: Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *H. hebetor* on A) *E. kuehniella* and B) *P. interpunctella*

میزان لیبید در لارو زنبرهای پرورش یافته بر روی *E. kuehniella* به‌طور معنی‌داری ($M = 16.65$, 95% CI: 15.09- 18.20) بیشتر از لارو زنبرهای پرورش یافته روی *P. interpunctella* ($M = 12.64$, 95% CI: 11.09- 14.19) بود، همچنین در مراحل شفیرگی ($M = 7.35$, 95% CI: 5.79- 8.90 & $M = 4.58$, 95% CI: 3.03- 6.13) و ماده‌های بالغ ($M = 11.93$, 95% CI: 10.38- 13.48 & $M = 5.27$, 95% CI: 3.70- 6.80) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. اما در مراحل تخم ($M = 2.86$, 95% CI: 1.31- 4.41 & $M = 1.15$, 95% CI: -) و بالغین نر ($M = 0.89$, 95% CI: -6.62- 2.42 & $M = 0.199$, 95% CI: -1.35- 1.75) تفاوت معنی‌داری دیده نشد. تاثیر میزان بر روی میزان چربی در زنبرهای پارازیتوئید دارای اختلاف معنی‌دار ($F = 45.35$, $p < 0.001$) بود. در مقابل میزان کربوهیدرات و گلیکوژن در تمامی مراحل زیستی زنبر (به‌جز بالغین نر) روی میزبان *P. interpunctella* بیشتر بود. میزان کربوهیدرات در مرحله لاروی ($M = 23.38$, 95% CI: 21.03- 25.72 & $M = 17.83$, 95% CI: 15.49- 20.17)، شفیرگی ($M = 29.62$, 95% CI: 27.28- 31.97 & $M = 27.24$, 95% CI: 24.89- 29.58) و بالغ ماده ($M = 28.14$, 95% CI: 25.80- 30.49 & $M = 12.18$, 95% CI: 9.83- 14.52) و بالغ نر ($M = 13.67$, 95% CI: 11.33- 15.99) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.

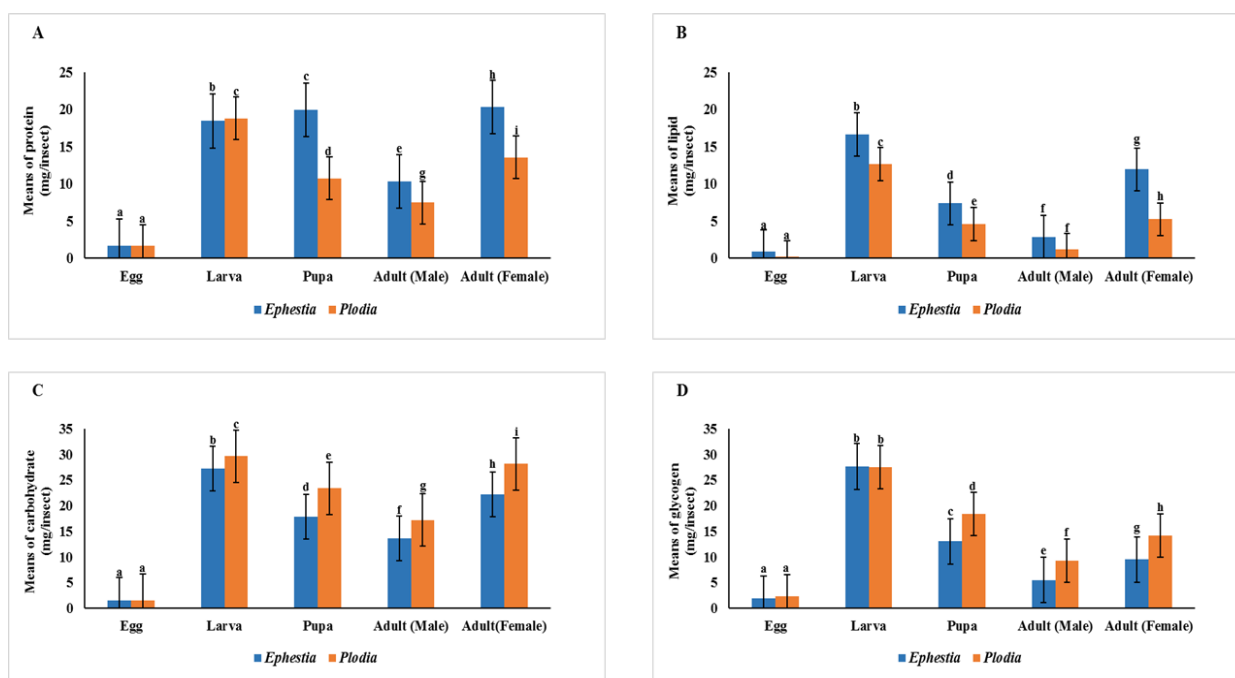
تخم پارازیتوئید تفاوت معنی‌داری بین دو میزبان مشاهده نشد. همچنین بیشترین میزان کربوهیدرات در مراحل لاروی (۲۷/۴۲-۲۹/۶۲) و ماده‌های بالغ (۱۲/۱۸-۲۸/۱۴) مشاهده شد.

در میزان گلیکوژن زنبور پارازیتوئید بین دو میزبان در مرحله شفیرگی ($M = 13.02$, 95% CI: 7.93- 18.11) و بالغ ماده ($M = 9.51$, 95% CI: 4.42- 14.60) و بالغ نر ($M = 5.52$, 95% CI: 4.18- 14.36) تفاوت معنی‌دار بود اما در مراحل تخم ($M = 1.91$, 95% CI: -3.18- 7) و مرحله لاروی ($M = 0.43$ - 10.61) تفاوت معنی‌دار نبود. تاثیر میزبان بر کربوهیدرات ($F = 32.88$, $p < 0.001$) معنی‌دار بوده در صورتی که بر گلیکوژن معنی‌دار نبود ($F = 3.26$, $p > 0.086$).

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می‌تواند لارو هر دو میزبان را پارازیت کرده و چرخه زندگی خود را کامل کند اما *E. kuehniella* میزبان بهتری برای *H. hebetor* محسوب می‌شود، زیرا رشد و تکامل زنبور را تسریع کرده و طول عمر آن را افزایش می‌دهد همچنین بالاتر بودن نرخ خالص و ناخالص تولید مثل، نرخ رشد ذاتی و نرخ متناهی افزایش جمعیت و نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله زیستی بیانگر ظرفیت بالاتر تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید روی این میزبان است. از سوی دیگر، متوسط مدت زمان یک نسل (T) در زنبورهای پرورش یافته روی *P. interpunctella* بیشتر بود، که می‌تواند نشان‌دهنده طولانی‌تر بودن چرخه زندگی این گونه باشد. وجود تفاوت در مرگ‌ومیر پیش از دوران بلوغ در پژوهش‌های مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت در جنس و گونه میزبان و شرایط پرورش زنبور پارازیتوئید باشد (Amir- Maafi & Chi, 2006). استفاده از رژیم‌های غذایی در پرورش انبوه حشرات می‌تواند در تولید تخم، باروری و اندازه جثه آن‌ها تاثیرگذار باشد. نتایج حاصل از فراسنجه‌های زیستی نیز تأیید کرد که *E. kuehniella* میزبان مناسبی برای پرورش انبوه *H. hebetor* محسوب می‌شود. نرخ رشد ذاتی (r)، نرخ خالص تولید مثل (R_0) و میزان باروری در زنبورهای تغذیه‌شده با این میزبان بیشتر بود. بالاتر بودن این فراسنجه‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت میزبان می‌باشد. این یافته‌ها با مطالعات قبلی هم‌خوانی دارند که نشان داده‌اند میزبان‌های با کیفیت غذایی بالاتر منجر به افزایش ظرفیت تولیدمثلی و موفقیت تولیدمثلی بیشتر در زنبورهای پارازیتوئید می‌شوند (Vinson & Iwantsch, 1980).

مقادیر r و R_0 زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در نسل اول روی *E. kuehniella* توسط Amir-Maafi & Chi (2006) به ترتیب برابر با ۰/۱۳۷۵ و ۱۱/۹ بودند. (2008) Eliopoulos & Stathas نیز نرخ ذاتی رشد *H. hebetor* را در تراکم‌های ۱، ۵ و ۳۰ عدد لارو *E. kuehniella* به ترتیب ۰/۱۲۱، ۰/۱۶۳ و ۰/۱۹۱ گزارش کردند. همچنین مقدار R_0 را برای این تراکم‌ها به ترتیب ۱۱/۵۹، ۳۰/۳۳ و ۴۴/۷۰ و ۸۸/۸۱ بدست آوردند. بیشتر بودن مقادیر فراسنجه‌های زیستی در این مطالعه نسبت به پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده مرگ و میر پایین‌تر در مراحل پیش از بلوغ، طول عمر بیشتر بالغین و باروری بیشتر زنبور پارازیتوئید در مطالعه حاضر بوده است. همچنین، بررسی طول مراحل زیستی نشان داد که زنبورهای پرورش‌یافته روی *E. Kuehniella* دوره پیش از بلوغ کوتاه‌تری داشتند و سریع‌تر به مرحله بلوغ رسیدند. این امر نشان می‌دهد که این میزبان شرایط بهینه‌تری برای رشد و تکامل *H. hebetor* فراهم می‌کند. در مقابل، زنبورهای پرورش‌یافته روی *P. interpunctella* دوره لاروی و شفیرگی طولانی‌تری داشتند، که نشان‌دهنده محدودیت‌های تغذیه‌ای یا نیاز به صرف زمان بیشتر برای رشد است (Ahmed et al., 2019). Farag et al. (2015) طول دوره تخم این پارازیتوئید را با پرورش بر روی میزبان‌های مختلف گزارش نمودند. طول دوره تخم این زنبور با تغذیه از *E. kuehniella* برابر با ۱/۵۵ روز بود همچنین طول دوره پیش از بلوغ را ۸/۷۳ روز گزارش کردند که با نتایج بدست آمده از این تحقیق هم‌پوشانی دارد. در مطالعه دیگری طول دوره پیش از بلوغ زنبور *H. hebetor* پارازیتوئید بر روی شب‌پره *P. interpunctella*، ۱۳/۱۶ روز محاسبه شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است (Eliopoulos & Stathas, 2008). همچنین (Muslim et al., 2017) طول دوره‌های تخم، لارو، شفیره و پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید پرورش یافته روی شب‌پره هندی را به ترتیب ۱/۴۷، ۳/۷۴، ۶/۸۷ و ۱۲/۰۷ روز بیان کردند. Farag et al. (2015) گزارش کردند که زنبور *H. hebetor* روی *E. kuehniella* به‌طور روزانه ۹/۴۵ عدد تخم می‌گذارد که خیلی کمتر از تعداد تخم روزانه در مطالعه حاضر بود توجه احتمالی این اختلاف می‌تواند به علت کوتاهی طول عمر حشرات ماده در مطالعات دیگر نسبت به مطالعه حاضر باشد. (2006) Amir- Maaffi & Chi طول دوره کل قبل از تخم‌ریزی را روی دو میزبان *E. kuehniella* و *G. mellonella* به ترتیب ۱۲/۲۲ و ۱۳ روز محاسبه کردند. همچنین مشخص شد که میزان باروری پارازیتوئید تحت تاثیر رژیم غذایی است، (Farag et al., 2015) *G. mellonella* را روی *E. kuehniella* و *Corcyra cephalonica* به ترتیب ۳۹۵/۱۱ و ۹۳/۵ و ۵۶ و تعداد تخم‌های گذاشته شده روزانه توسط زنبور را به ترتیب ۱۹/۳۱، ۶/۹ و ۵/۸ تخم گزارش کردند که نشان‌دهنده تاثیر میزبان می‌باشد. مطالعات نشان داده‌اند که میزان ذخایر انرژی (لیپیدها، پروتئین و گلیکوژن) نقش کلیدی در تعیین باروری و طول عمر حشرات پارازیتوئید دارند (Brown et al., 2018). بالا بودن تولید مثل روی شب‌پره آرد نشان‌دهنده ترکیب متناسب پروتئین، چربی و کربوهیدرات در بدن زنبورهای ماده مرتبط است که برای توسعه تخمدان و افزایش باروری ضروری است. این موضوع به‌ویژه در زنبورهای پارازیتوئید که اغلب به‌عنوان عوامل مهم کنترل بیولوژیکی آفات کشاورزی محسوب می‌شوند اهمیت دارد (Jeffrey et al., 2016). اما باید توجه کرد مهم‌ترین فاکتور در رژیم‌های غذایی به‌منظور رشد مناسب متعادل بودن مواد غذایی می‌باشد (Wäckers, 2001). در این پژوهش نیز مشاهده شد که *E. kuehniella* موجب افزایش میزان پروتئین و چربی در بدن زنبورهای ماده شده و در مقابل میزان کربوهیدرات و گلیکوژن نیز در زنبورهای پرورش‌یافته روی *P. interpunctella* بیشتر بوده است. این نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های متابولیکی و استراتژی‌های زیستی مختلف در این دو گونه است، که می‌تواند بر توانایی تولیدمثلی و میزان بقا تأثیر بگذارد اما در نهایت ترکیب متناسب تمام منابع انرژی است که نیازهای حشرات را برآورده می‌کند.



شکل ۴: میانگین ذخایر انرژی اندازه گیری شده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*. A: پروتئین، B: لیپید، C: کربوهیدرات، D: گلیکوژن. میکروگرم بر حشره

Fig. 4: Average measured energy reserves of *H. hebetor* (A: protein, B: lipid, C: carbohydrate, D: glycogen. micrograms per insect)

این یافته نشان می‌دهد که بسته به نوع میزبان، الگوی متابولیسمی زنبور می‌تواند متفاوت باشد، اما به نظر می‌رسد که افزایش پروتئین و چربی تأثیر بیشتری بر باروری دارد، زیرا این ترکیبات برای رشد و توسعه تخم‌ها ضروری هستند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان ذخایر انرژی (پروتئین، لیپید، کربوهیدرات و گلیکوژن) در مراحل مختلف زندگی دو گونه‌ی *E. kuehniella* و *P. interpunctella* تفاوت معنی‌داری دارند. این تفاوت‌ها احتمالاً تحت تأثیر فاکتورهای متعددی از جمله تفاوت‌های متابولیسمی، نیازهای فیزیولوژیکی در مراحل مختلف رشد و کیفیت غذایی میزبان‌ها قرار دارند (Rivero et al., 2010; Toprak, 2020). در مطالعه حاضر میزان پروتئین در مراحل شفیرگی و حشرات بالغ نر و ماده بسته به میزبان متفاوت بود، که احتمالاً به دلیل ترکیب غذایی متفاوت لاروهای این دو میزبان و نقش آن در ستر پروتئین طی فرآیند دگردیسی است (Chapman, 2013). همچنین این تفاوت ممکن است به دلیل کیفیت تغذیه‌ای بهتر *E. kuehniella* فراهم بودن اسیدهای آمینه ضروری، و کارایی بالاتر در سنتز پروتئین باشد در مقابل، در مرحله تخم و لارو تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که احتمالاً این امر ناشی از ذخیره‌سازی اولیه پروتئین در تخم‌ها و کارایی یکسان در استفاده از منابع پروتئینی در مراحل ابتدایی رشد است (Chapman, 2013) همچنین ممکن است به دلیل مشابهت در ذخیره‌سازی اولیه پروتئین در تخم‌ها و مراحل اولیه زیستی باشد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی در مورد حشرات پارازیتوئید هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهد اختلاف در ترکیب پروتئینی بیشتر در مراحل بعدی زندگی و در هنگام بلوغ مشخص می‌شود (Huang et al., 2020). علاوه بر این، تفاوت در میزان پروتئین می‌تواند به میزان دسترسی به اسیدهای آمینه ضروری و کارایی هضم و جذب مواد مغذی در بدن لاروها مرتبط باشد. در کنار پروتئین، تغییرات در میزان ذخایر لیپید نیز قابل توجه است.

لیپیدها در بندپایان نقش مهمی در تولیدمثل، ذخیره انرژی و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی دارند (Arrese & Soulages, 2010). تفاوت در مقدار لیپید بین این دو گونه ممکن است نشان‌دهنده استراتژی‌های متابولیسمی متفاوت برای بقا و تولیدمثل در شرایط محیطی متنوع باشد. به عنوان مثال، گونه‌هایی که روی میزبان‌هایی با محتوای غذایی پایین‌تر رشد می‌کنند، ممکن است مکانیسم‌های جبرانی مانند افزایش ذخیره سازی لیپیدها در مراحل لاروی را به کار گیرند تا بقای خود را در مراحل بعدی زندگی تضمین کنند این یافته‌ها نشان می‌دهد که زنبورهایی که روی *E. kuehniella* پرورش یافته‌اند، ذخیره لیپیدی بیشتری برای مراحل بعدی زندگی فراهم می‌کنند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده بالاتر بودن کیفیت تغذیه‌ای *E. kuehniella* یا کارایی بیشتر زنبورها در استخراج و ذخیره چربی از این میزبان باشد (Joannis & Storey, 1996). از سوی دیگر، در مرحله تخم و نرهای بالغ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، که می‌تواند نشان‌دهنده استراتژی‌های اختصاصی تخصیص منابع در مراحل مختلف زیستی باشد. افزایش میزان پروتئین و لیپید در زنبورهای تغذیه‌کننده از *E. kuehniella* می‌تواند دلیل رشد سریع‌تر و افزایش نرخ بقا در این گروه باشد. ذخایر کربوهیدرات و گلیکوژن نیز بسته به مرحله زیستی و میزبان متفاوت بودند. این تفاوت احتمالاً به دلیل تفاوت در متابولیسم این دو میزبان و ترکیب غذایی آن‌ها است (Gäde et al., 1997). این ترکیبات به عنوان منابع انرژی کوتاه‌مدت در حشرات عمل کرده و در فرآیندهایی مانند فعالیت‌های حرکتی، تولیدمثل و مقاومت در برابر گرسنگی نقش کلیدی دارند (Gäde et al., 1997). مقادیر بالاتر گلیکوژن در حشرات بالغ ماده‌ی پرورش‌یافته روی *E. kuehniella* نسبت به *P. interpunctella* احتمالاً نشان‌دهنده سطح فعالیت بالاتر یا نیازهای انرژی بیشتر برای تخم‌گذاری و تولیدمثل در این شرایط است (Beenackers et al., 1984). از آنجایی که کربوهیدرات‌ها منبع اصلی انرژی برای فعالیت‌های حرکتی، تولیدمثل و بقای طولانی‌مدت هستند، احتمالاً زنبورهایی که از *P. interpunctella* تغذیه کرده‌اند، وابستگی بیشتری به کربوهیدرات‌ها به عنوان منبع انرژی دارند (Beenackers et al., 1984). مطالعات پیشین نشان داده‌اند

که افزایش سطح پروتئین در رژیم غذایی میزبان، تأثیر مثبتی بر رشد، باروری و طول عمر زنبورهای پارازیتوئید دارد (Brown *et al.*, 2018). در مقابل، میزان بالاتر کربوهیدرات و گلیکوژن در زنبورهای پرورش یافته روی *P. interpunctella* نشان می دهد که این زنبورها انرژی بیشتری ذخیره می کنند که ممکن است به عنوان یک راهبرد جبرانی در برابر رشد کندتر و کاهش نرخ باروری عمل کند (Garcia *et al.*, 2017). همچنین، مشخص شده است که ترکیب غذایی میزبان بر میزان موفقیت تخم گذاری پارازیتوئیدها تأثیر دارد، به طوری که کیفیت بالاتر تغذیه ای منجر به افزایش تخم گذاری می شود که با مطالعه حاضر و تخم ریزی بیشتر روی میزبان *E. kuehniella* مطابقت دارد.

این نتایج نشان می دهد که نوع میزبان، ترکیب غذایی میزبانها و نیازهای متابولیکی زنبور پارازیتوئید بسته به مرحله ی زیستی می تواند بر میزان ذخایر انرژی و ویژگی های زیستی پارازیتوئیدها اثر بگذارد. بررسی دقیق تر این تفاوت ها می تواند به درک بهتر ساز و کارهای تنظیم متابولیک در حشرات و استراتژی های بقا و تولیدمثل آن ها در شرایط مختلف اکولوژیکی کمک کند و این موضوع می تواند در برنامه های کنترل بیولوژیک و پرورش انبوه زنبورهای پارازیتوئید مورد توجه قرار گیرد. این ویژگی ها باعث می شود که *E. kuehniella* گزینه ای ایده آل برای پرورش انبوه *H. hebetor* در برنامه های کنترل زیستی آفات انباری باشد. پیشنهاد می شود که مطالعات آینده به بررسی تأثیر عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، و رژیم غذایی مکمل بر تغییرات متابولیکی و فیزیولوژیکی این گونه ها بپردازند.

Author Contributions

Bahareh Asefpour: conceptualization, methodology, formal analysis, investigation, draft preparation, final review and edit.
Majid Kazzazi: visualization, supervision, project administration and funding acquisition, methodology, final review and edit.

Author's Information

Bahareh Asefpour

✉ bahareh.asefpour@yahoo.com

 <https://orcid.org/0009-0000-6402-6646>

Majid Kazzazi

✉ mkazzazi@basu.ac.ir

 <https://orcid.org/0009-0005-5837-9126>

Funding

This research has received financial support by the Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Data Availability Statement

All data used in this study are available from the corresponding author upon request.

Acknowledgments

The author thanks Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran for providing the necessary facilities and is very grateful to anonymous reviewers for their comments and advice.

Ethics Approval and Consent to Participate

This study only included insects' material. All applicable international, national, and institutional guidelines for the ethical use of animals were followed. This article does not contain any studies involving human participants or vertebrate animals performed by any of the authors.

Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Generative AI statement

The authors declare that no Gen AI was used in the creation of this manuscript.

REFERENCES

- Abroun, P., Mousavi, S. Gh., Ashouri, A. & kishani, H. (2013) Effect of different quality of *Ephestia kuehniella* on the parasitism of *Trichogramma brassicae*. *The 1st National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*, 1-8.
- Ahmed, A., Khan, M. A. & Rehman, S. (2019) Impact of host quality on parasitoid development and reproduction. *Biological Control Journal* 58(3), 295-307.
- Aliabadi, A., Afshari, A. & Yazdani, M. (2019) Effect of sugar feeding frequency and mating status on the cold storage efficacy of adult *Bracon hebetor* Say. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* 42(2), 21-37.
- Amir-Maafi, M.A. & Chi, H. (2006) Demography of *Habrobracon hebetor* (Hym: Braconidae) on two pyralid hosts (Lepidoptera: Pyralidae). *Annals of the Entomological Society of America* 99, 84-99. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2006\)099\[0084:DOHHB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)099[0084:DOHHB]2.0.CO;2).
- Arrese, E. L. & Soulages, J. L. (2010). Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology* 55(1), 207-225. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085356>.

- Beenackers, A.T., Van der Horst, D.J. & Van Marrewijk, W.J.A. (1984). Insect flight muscle metabolism. *Insect Biochemistry* 14(3), 243-260. [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(84\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0020-1790(84)90057-X).
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- Briegel, H., Knusel, I. & Timmermann, S. E. (2001) *Aedes aegypti*: size, reserves, survival, and flight potential. *Journal of Vector Ecology* 26(1), 21-31.
- Brown, P., Thompson, L. & Green, D. (2018) Nutritional ecology of parasitoid wasps: Linking host quality to life-history traits. *Journal of Insect Physiology* 112, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.06.017>.
- Chapman, R.F. (2013) The insects: structure and function. *Cambridge University Press* .Ed 5, 919 pp
- Chi, H., Kavousi, A., Gharekhani, G., Atlihan, R., Salih Ozgokçe, M., Güncan, A., Gokçe, A., Smith, C.L., Benelli, G., Guedes, R.N.C. & Amir Maafi, M. (2023) Advances in theory, data analysis, and application of the age-stage, two-sex life table for demographic research, biological control, and pest management. *Entomologia Generalis* 43(4), 1-28. <https://doi.org/10.1127/Entomologia/2023/2048>.
- Eliopoulos, P. A. & Stathas, G. J. (2008) Life tables of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host density. *Journal of Economic Entomology*, 101(3):982. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[982:LTOHHH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[982:LTOHHH]2.0.CO;2).
- Farag, N. A., Ismail, I. A., Elbehery, H. H. A., Abdel-Rahman, R. S. & Abdel-Raheem, M. A. (2015) Life table of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) reared on different hosts. *International Journal of Chemical Technology Research* 8(9), 123-130.
- Gade, G., Hoffmann, K.H. & Spring, J.H. (1997) Hormonal regulation in insects: facts, gaps, and future directions. *Physiological Reviews* 77(4), 963-1032. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.4.963>.
- Gao, F., Jifon, J., Liu, X. H. & Ge, F. (2010) An energy budget approach for evaluating the biocontrol potential of cotton aphid (*Aphis gossypii*) by the ladybeetle *Propylaea japonica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 136(1), 72-79. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01005>.
- Garcia, J. E., Lee, W. & Smith, R. J. (2017) Carbohydrate metabolism in insect hosts and its influence on parasitoid fitness. *Physiological Entomology* 45(1), 21-36.
- Hadidi, M. S., Askarianzadeh, A. & Abbasipour, H. (2023) Adults feeding on pollen diet influence biology and life table parameters of the ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor*. *Research Square* 1-27. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2980086/v1>.
- Huang, Y., Dai, A., Mao, Z., Cai, Z. & Jiang, J. (2020) Effect of supplementary nutrition on the reproduction and mating behaviour of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *European Journal of Entomology* 117, 393- 399. <https://doi.org/10.14411/eje.2020.043>.
- Jeffrey, A., Harvey, T. L. A., Essens Rutger, A. & Las, C. (2016). Honey and honey –based sugars partially affect reproductive trade-offs in parasitoids exhibiting different life-history and reproductive strategies. *Journal of Insect Physiology*, 98, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.12.003>.
- Joanisse, D.R. & Storey, K.B. (1996) Fatty acid content and enzymes of fatty acid metabolism in overwintering cold-hardy gall insects. *Physiological Zoology* 69(5), 1079-1095. <https://doi.org/10.1086/physzool.69.5.30164247>.
- Lettmann, J., Mody, K., Kursch-Metz, T. A., Blüthgen, N. & Wehner, K. (2021) *Bracon* wasps for ecological pest control– a laboratory experiment. *Peer J* 9, 11540. <http://doi:10.7717/peerj.11540>.
- Moeini, P. & Tahmasebi, A. (2018) Maize Iranian mosaic virus infection promotes the energy sources of its insect vector, *Laodelphax striatellus*. *Journal of Application Entomology* 14, 1–6. <https://doi.org/10.1111/jen.12585>.
- Momenian, G. (2022) Effect of continuous rearing generations on some biological parameters of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) under insectarium conditions. *Arthropods* 11(1), 1-12.
- Muslim, M., Ansari, Sh. & Hasan, F. (2017) Do lepidopteran hosts differentially affect the development and demography of *Bracon hebetor* Say?. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(3). 1020-1027.
- Rivero, A., Vezilier, J., Weill, M., Read, A.F. & Gandon, S. (2010) Insecticide control of vector-borne diseases: when is insecticide resistance a problem?. *PLOS Pathogens* 6(8). <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1001000>.
- Saadat, D., Bandani, A. R. & Dastranj, M. (2014) Comparison of the developmental time of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) reared on five different lepidopteran host species and its relationship with digestive enzymes. *European Journal of Entomology* 111(4): 495-500. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.069>.

- Silhacek, D. L. & Miller, G. L. (1972) Growth and development of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: phycitidae) under laboratory mass-rearing conditions. *Annals of the Entomological Society of America* 65, 1084-1087. <https://doi.org/10.1093/aesa/65.5.1084>.
- Toprak, U. (2020) The role of peptide hormones in insect lipid metabolism. *Frontiers in Physiology* 7 (11), 434. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00434>.
- Van Handel, E. (1965) Estimation of glycogen in small amounts of tissue. *Analytical Biochemistry* 11(2), 256-265. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(65\)90013-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(65)90013-8).
- Van Handel, E. (1985 a) Rapid determination of glycogen and sugars in mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1(3), 299-301.
- Van Handel, E. (1985 b) Rapid determination of total lipids in mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association* 1(3), 302-304.
- Vinson, S.B. & Iwantsch, G.F. (1980). Host suitability for insect parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 25, 397-419. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.25.010180.002145>.
- Wäckers, F. L. (2001) A comparison of nectar and honeydew sugars with respect to their utilization by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata*. *Journal of Insect Physiology* 47, 1077-1084. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(01\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(01)00088-9).

Citation: Asefpour, B. & Kazzazi, M. (2026) Study the effect of the host on the survival and energy budget of *Habrobarcon hebetor* (Hym., Braconidae). *J. Entomol. Soc. Iran*, 46(1), 121-131.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.46.1.12>

URL: https://jesi.areco.ac.ir/article_135036.html



Study the effect of the host on the survival and energy budget of *Habrobracon hebetor* (Hym., Braconidae)

Bahareh Asefpour¹  & Majid Kazzazi¹ 

1- Department of Plant Protection, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract. Using of biological control agents, especially parasitoids, within the Integrated Pest Management (IPM) programs is increasingly expanding. Several factors can influence the effectiveness of parasitoids, the most important of which is the type and availability of suitable host. In this study, the impact of two host species *Ephestia kuehniella* (Lep., Pyralidae) and *Plodia interpunctella* (Lep., Pyralidae) on the energy budget and biological performance of *Habrobracon hebetor* Say (Hym., Braconidae) was investigated. The results revealed that the levels of protein, lipid, carbohydrate, and glycogen in various life stages of the parasitoid differed significantly depending on the host species. Parasitoids reared on *E. kuehniella* exhibited higher protein and lipid content, faster development, and a longer lifespan. In contrast, those reared on *P. interpunctella* showed higher carbohydrate and glycogen levels. Host species also had a significant effect on the biological parameters of the parasitoid. Specifically, intrinsic rate of increase (r), net reproductive rate (R_0), gross reproductive rate (GRR), finite rate of increase (λ), and fecundity were all higher in parasitoids reared on *E. kuehniella*, indicating greater reproductive potential. Additionally, the pre-adult developmental period, including the larval and pupal stages, was longer in parasitoids fed on *P. interpunctella*. Based on these findings, *E. kuehniella* was identified as a more suitable host for *H. hebetor*, as it enhanced reproductive performance, reduced generation time, and increased the population growth rate. These results suggest that *E. kuehniella* is an appropriate host for the mass rearing of *H. hebetor* in biological control programs targeting stored-product pests.

Keywords: Energy budget, Ectoparasitoid, *Ephestia kuehniella*, *Plodia interpunctella*

Article history

Received: 02 June 2025
Accepted: 21 December 2025
Published: 13 January 2026

Subject Editor: Mohammad Amin Jalali

Corresponding author: Majid Kazzazi

E-mail: mkazzazi@basu.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22034/jesi.46.1.12>