تحقیقات آفات گیاهی
۴۸-۳۷ : (۱) ۵- ۱۳۹۴

تعیین بهترین شاخص ریخت‌سنجی در کنترل کیفی جمعیت جنسی زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* (Braconidae: Aphidiinae)

زهرا محمدی[۱]، آرش راسخ[۲*]، فرحان کچیلی[۳] و بهزاد حبیب پور[۴]
۱، ۲، ۳ و ۴ - دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۰)

چکیده

فقدان روش کنترل کیفیت طی پرورش انبوه دشمنان طبیعی ممکن است منجر به شکست برنامه های کنترل زیستی شود. اندازه بدن به عنوان یک معیار موثر بر ویژگی‌های زیستی، به طور معمول در کنترل کیفی پارازیتوئیدها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این پژوهش مناسب‌ترین شاخص ریخت‌سنجی که بتواند بیشترین همبستگی را با اندازه بدن و بار تخم در جمعیت جنسی زنبور *Lysiphlebus fabarum* (Marshall)، هنگام پرورش روی سنین مختلف پورگی شته سیاه باقلا، *Aphis fabae* Scopoli برقرار کند، تعیین شد. آزمایش‌ها در اطاق رشد (دمای ۱ ± ۲۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰٪ و دوره نوری ۱۶:۸ تاریکی: روشنایی) انجام شد و شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد مطالعه شامل عرض کپسول سر، طول بال جلو و طول ساق پای عقب بودند. بر اساس نتایج، عرض کپسول سر به عنوان بهترین شاخص برای پیشگویی طول بدن در زنبورهای پرورش یافته روی پوره سن دوم شته سیاه باقلا (مناسب‌ترین سن میزبان برای پرورش زنبور) تعیین شد، در حالی که طول بال جلو به عنوان بهترین شاخص در کل پوره‌های مورد مطالعه معرفی شد. همچنین بار تخم ارتباط مستقیمی با اندازه بدن در زنبورهای پرورش یافته در چهار سن پورگی شته میزبان داشت و طول بال، بیشترین همبستگی را با بار تخم زنبورهای پرورش یافته در چهار سن پورگی نشان داد. مطابق با نتایج به دست آمده، طول بال جلو یک شاخص مناسب برای نظارت کیفی در پرورش انبوه این جمعیت زنبور *L. fabarum* می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کنترل کیفی، پرورش انبوه، اندازه بدن، بار تخم، شته سیاه باقلا

نویسنده مسئول: a.rasekh@scu.ac.ir

مقدمه

پارازیتوئیدها از مهم‌ترین دشمنان طبیعی کنترل‌کننده‌ی آفات محسوب می‌شوند. این گروه از دشمنان طبیعی در میان بال‌غشاییان بسیار رایج بوده و تلاش‌های بسیاری برای پرورش انبوه آنها به‌ویژه در خانواده‌های Trichogrammatidae، Aphelinidae و Braconidae انجام پذیرفته است (Hajek, 2004). در این راستا، فقدان روش‌های مؤثر در کنترل کیفی طی تولید انبوه دشمنان طبیعی ممکن است منجر به شکست در برنامه مدیریت کنترل آفات شود (Calkins and Ashley, 1989). استانداردهای کنترل کیفی شامل نرخ ظهور، نسبت جنسی، طول عمر، باروری و نرخ پارازیتیسم یا شکارگری و همچنین اندازه حشرات بالغ می‌باشند (Calkins and Ashley, 1989; Bourchier and Song, 1993; Pavlik, 1993)، و این عناصر ارتباط نزدیکی با عملکرد دشمن طبیعی در مزرعه دارند (van Lenteren *et al.*, 2003).

اندازه بدن به‌عنوان یکی از عناصر کنترل کیفی، اثرات مهمی بر اجزای تناسب[1] پارازیتوئیدها دارد (Godfray, 1994; Roitberg, 2001). اندازه بدن به‌واسطه منابع غذایی دریافت شده در زمان لاروی تعیین می‌شود (Jervis *et al.*, 2008). این منابع غذایی به‌عنوان تابعی از کیفیت میزبان، خود متاثر از گونه میزبان (Harvey and Vet, 1997; Sampaio *et al.*, 2008)، سن و یا مرحله رشدی (Sequeira and Mackauer, 1992 a,b) و همچنین شرایط محیطی (Li and Mills, 2004; Xu *et al.*, 2008) می‌باشد. موقعی که منابع میزبان محدود می‌شود، پارازیتوئیدها در تخصیص منابع به ویژگی‌های مختلف زیستی از قبیل طول‌عمر، بار تخم، ماهیچه‌های بال و ... با چالش مواجه می‌شوند، چرا که حشرات کامل باید منابع به دست آمده را به‌صورتی اختصاص دهند تا بیشترین تناسب را کسب کنند (Jervis *et al.*, 2008). در پارازیتوئیدهای کوینوبیونت[2] که میزبان پس از پارازیته شدن امکان رشد دارد، پتانسیل رشد میزبان می‌تواند تعیین کننده‌ی مقدار منابعی باشد که در آینده در اختیار لارو پارازیتوئید قرار خواهد گرفت (Nicol and Mackauer, 1999)، لذا اندازه نهایی بدن نسبت به مرحله رشدی میزبان در زمان پارازیتیسم حساس می‌باشد (Gauld, 1988; Li and Mills, 2004). این گروه از پارازیتوئیدها چنانچه در یک میزبان خیلی کوچک تخم‌ریزی کنند، ممکن است رشد خودشان را به تأخیر بیندازند (Mackauer and Kambhampti, 1988).

معیارهای مختلفی شامل وزن خشک یا مرطوب (Sequeira and Mackauer, 1992 a, b) و ویژگی‌های مختلف ریخت‌شناسی[3] از قبیل طول ساق پای عقب (Li and Mills, 2004)، عرض کپسول سر (O'Neill and Skinner, 1990) و طول بال جلو (Ameri *et al.*, 2013) به‌عنوان معیارهای اندازه بدن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما استفاده ازویژگی‌های نامناسب می‌تواند منتج به ارزیابی‌های متفاوتی از تنوع اندازه درون جمعیت‌ها و حتی منجر به نتیجه-گیری‌های نادرست شود (Gauld and Fitton, 1987; Nicol and Mackauer, 1999). اگرچه تخمین اندازه بدن[4] با استفاده از توده بدن ممکن است قابل اعتمادترین شاخص باشد (Harvey *et al.*, 1994, 2000; Harvey and Strand, 2002)، اما اندازه‌گیری‌های توده بدن معمولاً منجر به بروز تغییرات[5] بیشتری نسبت به سایر شاخص‌های خطی[6] می‌شود (Harvey *et al.*, 2000). در میان شاخص های ریخت‌سنجی[7]، طول ساق پای عقب رایج‌ترین معیار می-باشد (Godfray, 1994) اما ممکن است قابل اعتمادترین شاخص برای پیشگویی اندازه بدن نباشد (Nicol and Mackauer, 1999).

1. Fitness components

2. Koinobiont
3. Morphology
4. Body mass
5. Variation
6. Linear measurements
7. Morphometric

زنبور پارازیتوئید *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hym.: Braconidae: Aphidiinae) از گونه‌های کوینوبیونت انفرادی (Gauld, 1988) بوده و از جمعیت جنسی[8] آن در بیشتر گزارش‌ها در کشور، به عنوان پارازیتوئید رایج شته‌ها نام برده شده است (Rakhshani *et al*., 2006; Talebi *et al*., 2009). در این پژوهش، ارتباط بین اندازه‌ی شاخص‌های مختلف ریخت‌شناسی زنبور (عرض کپسول سر، طول بال و طول ساق پای عقب) با اندازه بدن و بار تخم[9]، هنگام پرورش زنبور در مراحل مختلف رشدی شته میزبان (شته سیاه باقلا، *Aphis fabae* Scopoli)، مورد بررسی قرار گرفت. امید می‌رود که نتایج این پژوهش در ارائه ی روش‌های مؤثر در کنترل کیفی این پارازیتوئید چندین خوار[10]، طی تولید انبوه[11] کمک‌رسان باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات

شته

شته سیاه باقلا، *A. fabae* در اردیبهشت سال ۱۳۹۰ طی نمونه‌برداری از مزارع باقلای دانشگاه شهید چمران اهواز به دست آمد. این شته‌ها روی گیاهان باقلا (رقم شوشتری)، درون قفس توری با ابعاد ۷۰×۱۲۰×۸۰ سانتی‌متر، و در شرایط محیطی دمای ۱±۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۵٪ و دوره‌ی نوری ۱۶:۸ (تاریکی:روشنایی) پرورش یافتند. کلیه آزمایش‌ها در شرایط محیطی ذکر شده، انجام پذیرفت.

زنبور پارازیتوئید

همراه با نمونه برداری‌هایی انجام شده از مزارع باقلای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، مومیایی‌های شته سیاه باقلا که توسط زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* پارازیته شده بودند، جمع‌آوری شدند. آزمایش‌های تکمیلی نشان‌دهنده‌ی تولیدمثل جنسی در این جمعیت زنبور بود (Mohammadi, 2014). نگهداری و پرورش زنبور، روی گلدان‌های آلوده به شته سیاه باقلا در شرایط ذکر شده انجام گرفت.

همبستگی[12] بین شاخص‌های ریخت‌سنجی با طول بدن و بار تخم

به منظور تعیین همبستگی بین شاخص های ریخت‌سنجی با طول بدن، در زنبورهای پرورش یافته در سنین مختلف پورگی شته میزبان، گروه‌های همسن[13] زنبور، به صورت جداگانه روی این چهار سن پورگی شته تشکیل شد. ابتدا حدود ۵۰ شته بالغ بکرزا از کلنی شته انتخاب و روی یک شاخه جوان گیاه باقلا گذاشته شد. شاخه باقلا در درون یک ظرف استوانه-ای تهویه‌دار (با ابعاد ۸×۱۵ سانتی‌متر) قرار داشته و قاعده شاخه نیز درون محلول کود کامل[14] (با غلظت سه در هزار) قرار گرفته بود. پس از ۱۲ ساعت شته‌های مادر حذف و پوره-های همسن تا رسیدن به سن مورد نظر پرورش داده شدند. لازم به ذکر است بر اساس مطالعات قبلی، سنین رشدی شته سیاه باقلا از پوره سن اول تا چهارم به ترتیب بعد از ۱، ۲/۲۵، ۳/۷۵، و ۵/۷۵ روز تشکیل شدند (Ameri *et al*., 2012). در ادامه زنبورهای ماده‌ای (یک روزه) که از قبل جفت‌گیری کرده بودند (n=۱۰)، به هر ظرف (با ابعاد ۸×۱۵ سانتی‌متر) محتوی ۴۰ شته همسن مورد نظر وارد شدند. زنبورها به مدت ۸ ساعت اجازه پارازیته کردن میزبان‌ها را داشتند و پس از این زمان، حذف شدند. شته‌های پارازیته شده تا ظهور مومیایی روی شاخه‌های باقلا پرورش داده شدند. سپس مومیایی‌های ظاهر شده از شاخه‌ها جدا و به ظروف پتری منتقل شدند. زنبورهای ماده بلافاصله بعد از ظهور به مدت سه دقیقه در معرض بخار الکل قرار داده شدند تا کشته شوند. پس از آن

8. Sexual (=arrhenotokous) population
9. Egg load
10. Polyphagous
11.Mass rearing
12. Correlation
13. Synchronous cohorts
14. Hortigrowth

طول بدن (از بالای سر تا انتهای شکم)، عرض کپسول سر، طول بال جلو و ساق پای عقب به کمک استریومیکروسکوپ مجهز به عدسی چشمی مدرج (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه گیری شد. پس از آن تخمدان زنبورها در محلول سدیم کلراید ۰/۷ درصد در زیر بینوکولر تشریح شده و از تخم‌های موجود در آنها به‌وسیله بینوکولر مجهز به دوربین دیجیتال عکس‌برداری شد. عکس‌های گرفته شده به کامپیوتر منتقل شد و تعداد تخم‌های بالغ به وسیله نرم افزار ImageJ با دقت زیادی شمارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری

از رگرسیون خطی جهت تعیین ارتباط بین شاخص‌های مختلف ریخت‌سنجی با طول بدن استفاده شد. بهترین شاخص منجر به بالاترین ضریب تبیین[15] شد. به‌منظور تعیین بهترین برازش بین شاخص‌های ریخت‌سنجی با بار تخم در زنبورهای پرورش یافته در سنین مختلف پورگی شته میزبان، از پنج نوع مدل شامل خطی ($y=ax+b$)، دو جمله‌ای ($y=ax^2+bx+c$)، توانی ($y=ax^b$)، نمایی ($y=ae^{bx}$) و لگاریتمی ($y=a.\ln(x)+b$) استفاده شد. برای مقایسه بین مدل‌ها از آکاایکه تصحیح شده[16] استفاده شد. میزان کمتر آکاایکه، نشان‌دهنده‌ی برازش بهتر توسط آن مدل بوده و وجود تفاوت کمتر از ۲ در میزان آکاایکه‌ی دو مدل، به‌عنوان عدم وجود اختلاف بین آن دو مدل تلقی شد (Burnham and Anderson, 2002). در صورت عدم وجود اختلاف در میزان آکاایکه، از میزان ضریب تبیین جهت انتخاب بهترین مدل استفاده شد. برای مقایسه نسبت شاخص‌های ریخت‌سنجی با طول بدن در زنبورهای پرورش یافته در سنین مختلف پورگی، از آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه[17] و برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها از آزمون تکمیلی حداقل تفاوت معنی‌داری[18] استفاده شد. از آرک‌سینوس این داده‌ها[19] جهت تجزیه واریانس استفاده شد.

نتایج

در زنبورهای پرورش یافته روی سنین مختلف پورگی شته، شاخص‌ها همبستگی متفاوتی را با طول بدن نشان دادند. چنانچه در پوره سن اول، طول ساق پا بیشترین ضریب تبیین را داشت، در پوره سن دوم عرض کپسول سر، در پوره سن سوم طول بال و طول ساق پا، و در پوره سن چهارم عرض کپسول سر به بهترین شکل پیشگوی طول بدن بودند (جدول ۱). در یک نگاه کلی، هنگامی که داده‌های تمام زنبورهای پرورش یافته روی چهار سن پورگی با هم ادغام شدند، طول بال بالاترین همبستگی را با طول بدن نشان داد ($y = ۱/۱۷۰x + ۰/۱۲۰$، $R^2=۰/۷۰۴$) و بعد از آن به‌ترتیب طول ساق پا ($y = ۲/۸۶۶x + ۰/۴۴۰$، $R^2=۰/۶۹۲$) و عرض کپسول سر ($y = ۴/۵۳۲x + ۰/۰۲۶$، $R^2=۰/۶۲۸$) قرار گرفتند. همچنین در ارتباط بین شاخص‌ها و طول بدن، بیشترین همبستگی در زنبورهای پرورش یافته در پوره سن دوم وجود داشت و بعد از آن به ترتیب زنبورهای پرورش یافته در پوره سن اول، چهارم و سوم قرار داشتند (جدول ۱).

درباره نسبت بین طول بال و طول بدن و همچنین طول ساق پا و طول بدن، تفاوت معنی‌داری در زنبورهای پرورش یافته در سنین مختلف پورگی مشاهده نشد (جدول ۲)، درحالی که در نسبت عرض کپسول سر و طول بدن تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲) و این نسبت در زنبورهای پرورش یافته در پوره سن اول به طور معنی‌داری از زنبورهای پرورش یافته در پوره‌های سن دوم ($P<۰/۰۰۱$) و سوم ($P =۰/۰۱۱$) بیشتر بود. زنبورهای پرورش یافته در پوره سن چهارم نیز به عنوان گروه حدواسط، تفاوتی با سایر تیمارها نداشت.

15. Coefficient of determination (R^2)
16. Corrected Akaike information criterion (AICc)
17. One-way ANOVA
18. Post Hoc-LSD
19. Arcsine-transformed

جدول ۱- اندازه‌ی قسمت‌های مختلف بدن در زنبورهای ماده‌ی جمعیت جنسی *Lysiphlebus fabarum* و ارتباط آنها با طول بدن، هنگامی که میزبان‌ها در مراحل مختلف رشدی پارازیت شده بودند.

Table 1. Linear measurements of various body parts of sexual population of *Lysiphlebus fabarum* females and their correlation with total body length, when hosts were parasitized in different life stages.

Host life stage at parasitism	Morphological parameter	Mean ± SE	Regression equation		R^2	df	F	*P*
			Slope	Intercept				
1st instar	Body length	1.58 ± 0.020	-	-	-			
	Head width	0.35 ± 0.003	4.04 ± 0.438	0.165	0.54	1,73	84.8	< 0.001
	Forewing length	1.25 ± 0.010	1.23 ± 0.105	0.047	0.66	1,69	136.2	< 0.001
	Hind tibia length	0.40 ± 0.010	2.78 ± 0.224	0.469	0.68	1,73	154.9	< 0.001
2nd instar	Body length	1.75 ± 0.030	-	-	-			
	Head width	0.37 ± 0.010	5.77 ± 0.407	0.391	0.83	1,42	201.6	< 0.001
	Forewing length	1.38 ± 0.020	1.26 ± 0.095	0.020	0.81	1,61	174.9	< 0.001
	Hind tibia length	0.44 ± 0.010	3.15 ± 0.227	0.357	0.82	1,42	192.4	< 0.001
3rd instar	Body length	1.64 ± 0.020	-	-	-			
	Head width	0.35 ± 0.003	3.50 ± 0.513	0.403	0.43	1,62	46.5	< 0.001
	Forewing length	1.29 ± 0.010	1.17 ± 0.148	0.129	0.51	1,60	62.1	< 0.001
	Hind tibia length	0.42 ± 0.010	2.41 ± 0.301	0.628	0.51	1,62	64.0	< 0.001
4th instar	Body length	1.57 ± 0.010	-	-	-			
	Head width	0.34 ± 0.003	3.59 ± 0.393	0.344	0.62	1,51	83.6	< 0.001
	Forewing length	1.26 ± 0.010	0.78 ± 0.094	0.588	0.58	1,51	69.6	< 0.001
	Hind tibia length	0.40 ± 0.010	2.06 ± 0.289	0.741	0.50	1,51	50.7	< 0.001

جدول ۲- نسبت شاخص‌های ریخت‌سنجی با طول بدن در زنبورهای ماده‌ی جمعیت جنسی *Lysiphlebus fabarum*، هنگامی که میزبان‌ها در مراحل مختلف رشدی پارازیت شده بودند.

Table 2. The proportion of morphometric indicators to body length in sexual population of *Lysiphlebus fabarum* females, when hosts were parasitized in different life stages

The proportion of morphometric indicators to body length	(Host life stage) Mean ± SE				F	df	P
	1st instar	2nd instar	3rd instar	4th instar			
Head width / Body length	0.222 ± 0.002 a	0.213 ± 0.002 b	0.216 ± 0.002 b	0.218 ± 0.001 ab	6.646	3, 232	0.001
Forewing length / Body length	0.791 ± 0.005	0.789 ± 0.006	0.792 ± 0.006	0.802 ± 0.006	1.043	3, 225	0.374
Hind tibia length / Body length	0.253 ± 0.002	0.253 ± 0.002	0.256 ± 0.002	0.257 ± 0.002	1.030	3, 232	0.380

*میانگین های دارای حروف مشابه در هر ردیف اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (LSD ، ۰/۰۵= P).

ارتباط بین بار تخم و شاخص‌های ریخت‌سنجی (عرض کپسول سر، طول بال و طول ساق پا) به بهترین شکل توسط مدل دوجمله‌ای برازش داده شد و از ۱۲ مورد مقایسه‌ی بین مدل‌ها در سنین مختلف پورگی، ۹ مورد مدل دوجمله‌ای و ۳ مورد مدل لگاریتمی برازش بهتری داشتند (جدول ۳). در بین زنبورهای پرورش یافته در ۴ سن پورگی، درپوره سن دوم و چهارم ارتباط بیشتری بین شاخص‌ها و بار تخم مشاهده شد (جدول ۳)، هرچند میزان همبستگی بسته به نوع شاخص و مرحله رشدی میزبان متفاوت بود (جدول ۴، شکل ۱). از آنجایی که طول بال در تمامی سنین پورگی میزبان همبستگی بیشتری (آکاایکه کمتر) را با بار تخم نشان داد، بنابراین مطابق با نتایج به دست آمده، طول بال نسبت به شاخص‌های عرض کپسول سر یا طول ساق پا، می‌تواند به نحو بهتری بار تخم زنبور را پیشگویی نماید.

بحث

تناسب در حشرات به‌طور معمول به‌طور مستقیم قابل اندازه گیری نبوده و به جای آن محققین بیشتر پارامترهایی مثل اندازه بدن و باروری را برای برآورد شایستگی گزارش کرده‌اند. در میان این پارامترها اندازه بدن یا وزن خشک بیش از همه مورد توجه قرار گرفته است (Roitberg *et al*., 2001). از آن جایی‌که به دلیل تلسکوپی بودن بندهای شکم و تغییر شکل در نمونه‌های قدیمی، اندازه‌گیری مستقیم طول بدن با مشکلاتی روبروست (Gauld and Fitton, 1987)، به‌طور معمول از شاخص‌های ریخت‌سنجی مانند عرض کپسول سر، طول ساق پا و طول بال که به علت دارا بودن ساختارکوتیکولی طی زمان تحت تاثیر عوامل محیطی قرار نمی‌گیرند (Blackburn, 1991)، استفاده می‌شود. مطابق با نتایج به دست آمده، سن پورگی شته میزبان روی همبستگی شاخص‌ها با طول بدن تاثیر داشت، هر چند در پوره سن دوم که به عنوان بهترین میزبان برای پرورش این جمعیت زنبور می‌باشد (Mohammadi, 2014)، عرض کپسول سر دارای بیشترین ضریب تبیین در ارتباط با طول بدن بود. عامری (Ameri *et al*., 2013) نیز در بررسی روی جمعیت غیرجنسی زنبور *L. fabarum*، از عرض کپسول سر به عنوان بهترین شاخص برای زنبورهای پرورش یافته روی پوره سن دوم شته سیاه باقلا نام برده است.

جدول ۳- ضریب تبیین (R^2) و معیار تصحیح شده آکاایکه (AICc)، در مدل‌های شرح‌دهنده‌ی میزان ارتباط بار تخم و شاخص-های مختلف ریخت‌سنجی، در زنبورهای ماده‌ی جمعیت جنسی *Lysiphlebus fabarum*، هنگامی که میزبان‌ها در مراحل مختلف رشدی پارازیت شده بودند.

Table 3. The coefficient of determination (R^2) and Akaike information criterion corrected (AICc) values for different models describing the dependence of egg load on morphometric indicators for sexual population of *Lysiphlebus fabarum* females emerging from aphid hosts parasitized at different developmental stages

Stage	Model	Head width		Forewing length		Hind tibia length	
		R^2	AICc	R^2	AICc	R^2	AICc
1st instar	Linear	0.06	369.3	0.18	339.7	0.14	364.5
	Quadratic	0.15	366.2	0.19	341.6	0.15	366.2
	Logarithmic	0.07	368.9	0.18	339.5	0.14	364.8
	Exponential	0.05	370.7	0.16	340.9	0.12	365.3
	Power	0.06	370.3	0.17	340.7	0.12	365.6
2nd instar	Linear	0.46	359.0	0.43	354.0	0.42	362.5
	Quadratic	0.46	361.3	0.45	355.0	0.44	364.2
	Logarithmic	0.46	359.0	0.44	353.5	0.43	361.9
	Exponential	0.52	362.0	0.50	357.9	0.46	366.5
	Power	0.52	361.0	0.51	356.6	0.47	361.0
3rd instar	Linear	0.15	486.0	0.36	453.1	0.18	484.2
	Quadratic	0.21	483.9	0.39	453.1	0.19	485.1
	Logarithmic	0.14	486.7	0.35	454.0	0.17	484.7
	Exponential	0.16	486.1	0.36	452.2	0.17	484.9
	Power	0.15	486.8	0.35	452.8	0.16	485.4
4th instar	Linear	0.46	364.1	0.44	365.9	0.33	375.6
	Quadratic	0.49	363.3	0.48	364.3	0.36	375.2
	Logarithmic	0.47	363.2	0.46	364.7	0.34	374.7
	Exponential	0.45	376.3	0.41	381.3	0.30	383.4
	Power	0.46	373.2	0.42	376.3	0.31	381.4

در پژوهش حاضر هنگامی که ارتباط بین شاخص‌ها با طول بدن در کل زنبورهای پرورش یافته در چهار سن پورگی مورد ارزیابی قرار گرفت، طول بال بالاترین همبستگی را نشان داد.

بر خلاف سایر شاخص‌های ریخت‌سنجی، نسبت عرض کپسول سر به طول بدن در زنبورهای پرورش یافته در سنین مختلف پورگی شته اختلاف معنی‌داری داشت. این نسبت در زنبورهای پرورش یافته در پوره سن اول به طور معنی‌داری از زنبورهای پرورش یافته در پوره‌های سن دوم و سوم بیشتر بود. بر اساس مطالعات قبلی (Mohammadi, 2014)، زنبورهای پرورش یافته در پوره سن اول و چهارم در مقایسه با دو تیمار دیگر به طور معنی‌داری اندازه‌ی کوچکتری داشتند، بنابراین نتایج حاضر نشان می‌دهد که هنگامی که از اندازه زنبورها در این دو سن پورگی میزبان (به‌واسطه کیفیت پایین میزبان) کاسته می‌شود، زنبورها به همان نسبت از عرض کپسول سر خود نمی‌کاهند چرا که ظاهراً از لحاظ فیزیولوژیک کاهش عرض کپسول سر از حد مشخصی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جدول ۴- رگرسیون دوجمله‌ای بین بار تخم و شاخص‌های ریخت‌سنجی در زنبورهای ماده‌ی جمعیت جنسی *Lysiphlebus fabarum*، هنگامی که میزبان‌ها در مراحل مختلف رشدی پارازیت شده بودند.

Table 4. Quadratic regressions of egg load on morphometric indicators for sexual population of *Lysiphlebus fabarum* females emerging from aphid hosts parasitized at different growth stages.

Morphological parameter	Host life stage	Coefficient x^2	Coefficient x	intercept	df	F	P
Head width	1st instar	-133059.1 P = 0.026	9676.3 P = 0.021	-1652.6 P = 0.027	2, 48	4.30	0.019
	2nd instar	-1243.9 P = 0.873	2629.7 P = 0.644	-612.6 P = 0.553	2, 41	17.56	< 0.001
	3rd instar	13220.3 P = 0.044	-8381.5 P = 0.065	1464.4 P = 0.063	2, 60	7.86	0.001
	4th instar	-11651.7 P = 0.094	9258.8 P = 0.050	-1669.9 P = 0.037	2, 48	23.36	< 0.001
Forewing length	1st instar	-288.0 P = 0.551	896.9 P = 0.455	-540.3 P = 0.468	2, 45	5.11	0.010
	2nd instar	-522.6 P = 0.277	1788.7 P = 0.173	-1272.3 P = 0.152	2, 40	16.43	< 0.001
	3rd instar	757.6 P = 0.145	-1561.7 P = 0.239	908.4 P = 0.282	2, 58	18.19	< 0.001
	4th instar	-580.0 P = 0.057	1771.3 P = 0.023	-1178.9 P = 0.016	2, 48	22.47	< 0.001
Hind tibia length	1st instar	1711.4 P = 0.465	-1008.3 P = 0.584	254.2 P = 0.482	2, 48	4.34	0.019
	2nd instar	-3443.7 P = 0.240	3901.5 P = 0.130	-851.0 P = 0.126	2, 41	15.86	< 0.001
	3rd instar	3416.6 P = 0.273	-2314.2 P = 0.375	525.2 P = 0.335	2, 60	7.113	0.002
	4th instar	-4634.5 P = 0.120	4519.0 P = 0.065	-935.4 P = 0.061	2, 48	13.50	< 0.001

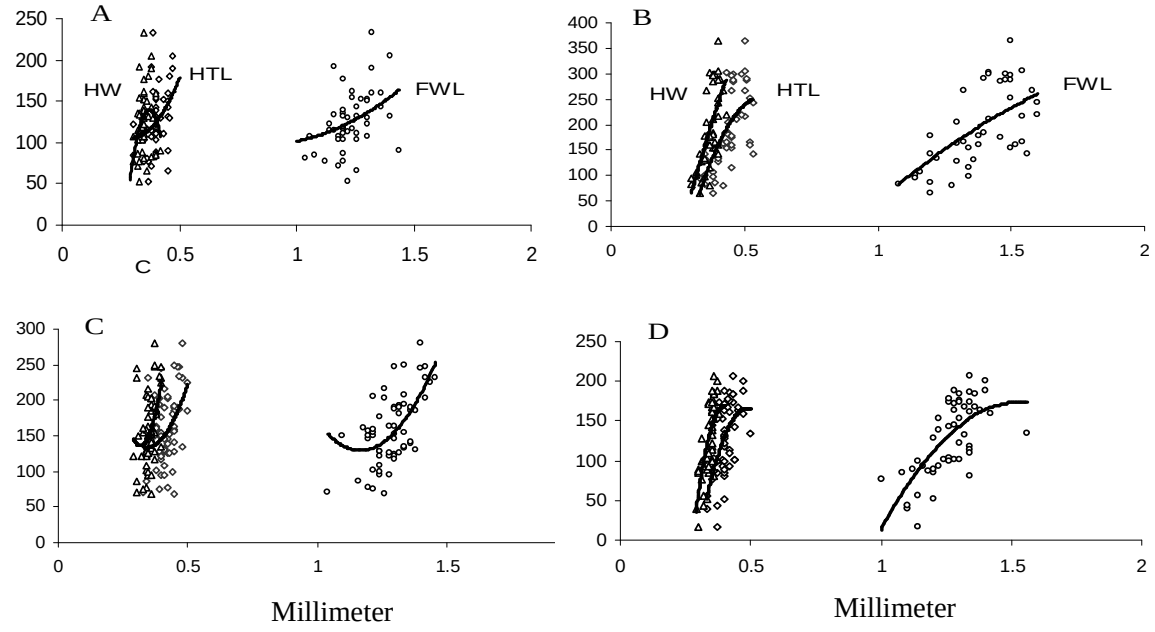
زنبور پارازیتوئید *L. fabrum*، یک گونه‌ی پرواویژنیک[۲۰] محسوب می‌شود (Belshaw and Quicke, 2003)، به این معنی که اغلب تخم‌های حشرات ماده در زمان ظهور رسیده بوده و آماده‌ی تخم‌ریزی هستند. بنابراین در این زنبور شمارش تعداد تخم بلافاصله بعد از ظهور می‌تواند تا حدود زیادی نماینده‌ی بار تخم نهایی زنبور باشد. در مطالعه حاضر بار تخم زنبور *L. fabarum* ارتباط مستقیمی با طول بدن داشت، موضوعی که در سایر گونه‌های پارازیتوئید مشاهده شده (O'Niell and Skinner, 1990; Jervis *et al.*, 2001; Bezemer *et al.*, 2005)، هر چند این نتایج ارتباط بین بار تخم و طول بدن در زنبورهای پرورش یافته در یکایک سنین پورگی میزبان را به اثبات رسانده است. در خصوص ارتباط بین شاخص‌های ریخت‌سنجی با بار تخم در زنبور *L. fabarum*، طول بال در تمامی سنین پورگی میزبان همبستگی بیشتری را با بار تخم نشان داد، بنابراین طول بال نسبت به شاخص‌های عرض کپسول سر یا طول ساق پا، به نحو بهتری توانست بار تخم زنبور را پیشگویی نماید. هر چند در مطالعات متعددی ارتباط مشخص عرض کپسول سر با ویژگی‌های زیستی مانند بار تخم، اندازه تخم و طول عمر در پارازیتوئیدها گزارش شده (van Alphen and Thunnissen, 1983; O'Niell and Skinner, 1990)، اما طول شاخص ساق پا در بعضی مطالعات مورد تردید واقع شده است (Pavlik, 1993; Nicol and Mackauer, 1999).

در یک جمع‌بندی کلی باید اظهار داشت عرض کپسول سر می‌تواند به عنوان بهترین شاخص برای پیشگویی طول بدن در پوره سن دوم شته (بهترین سن میزبان برای پرورش زنبور) معرفی شود، اما به طور کلی در زنبورهای پرورش یافته در تمام سنین پورگی، طول بال جلو بهترین شاخص محسوب می‌شود. ضمن این که از شاخص طول بال می‌توان به بهترین شکل بار تخم زنبورها را پیشگویی نمود. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند با تسهیل تعیین دقیق اندازه بدن و بار تخم در زنبورهای پرورش یافته در انسکتاریوم‌ها، در کنترل کیفی این پارازیتوئید کمک‌رسان باشد.

20. Pro-ovigenic

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر می‌شود.



شکل ۱- رگرسیون دوتوانی بین تعداد کل تخم زنبورهای ماده‌ی *Lysiphlebus fabarum*، با عرض کپسول سر (HW)، طول بال جلو (FWL) و طول ساق پای عقب (HTL)، هنگامی که میزبان‌ها در مراحل مختلف رشدی پارازیت شده بودند (A، پوره سن اول؛ B، پوره سن دوم؛ C، پوره سن سوم؛ D، پوره سن چهارم).

Figure 1. Quadratic regressions of total egg load of *Lysiphlebus fabarum* females on head width (HW), forewing length (FWL) and hind tibia length (HTL) when hosts were parasitized in different life stages (A, first instar; B, second instar; C, third instar; D, fourth instar).

References

Ameri, M., Rasekh, A. and Allahyari, H. 2012. Effect of different nymphal stages of *Aphis fabae* Scopoli on some biological features of thelytokous population of *Lysiphlebus fabarum* (Marshall). **Journal of Plant Protection** 35(4): 83-94. (in Farsi).

Ameri, M., Rasekh, A., Michaud, J. P. and Allahyari, H. 2013. Morphometric indicators for quality assessment in the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum* (Braconidae: Aphidiinae). **European Journal of Entomology** 110(3): 519-525.

Belshaw, R. and Quicke, D. L. J. 2003. The cytogenetics of thelytoky in a predominantly asexual parasitoid wasp with covert sex. **Genome** 46(1): 170-173.

Bezemer, T. M., Harvey, J. A. and Mills, N. J. 2005. Influence of adult nutrition on the relationship between body size and reproductive parameters in a parasitoid wasp. **Ecological Entomology** 30(5): 571-580.

Blackburn, T. 1991. Evidence for a 'fast-slow' continuum of life-history traits among parasitoid Hymenoptera. **Functional Ecology** 5: 65-74.

Bourchier, R. S. S. and Song, S. 1993: Host acceptance and parasitoid size as predictors of parasitoid quality for mass-reared *Trichogramma minutum*. **Biological Control** 3: 135-139.

Burnham K. P. and Anderson D. R. 2002: Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd ed. Springer, New York, 490 pp.

Calkins, C. and Ashley, T. 1989: The impact of poor quality of mass-reared Mediterranean fruit flies on the sterile insect technique used for eradication. **Journal of Applied Entomology** 108: 401-408.

Gauld, I. and Fitton, M. 1987. Sexual dimorphism in Ichneumonidae: a response to Hurlbutt. **Biological Journal of the Linnean Society** 31(3): 291-300.

Gauld, I. D. 1988. Evolutionary patterns of host utilization by ichneumonoid parasitoids (Hymenoptera: Ichneumonidae and Braconidae). **Biological Journal of the Linnean Society** 35: 351-377.

Godfray, H. C. J. 1994. Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology, Princeton University Press.

Hajek, A. E. 2004. Natural enemies: An introduction to biological control, Cambridge University Press.

Harvey, J. A. and Vet, L. E. M. 1997. *Venturia canescens* parasitizing *Galleria mellonella* and *Anagasta kuehniella*: differing suitability of two hosts with highly variable growth potential. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 84(1): 93-100.

Harvey, J. A., Harvey, I. F. and Thompson, D. J. 1994. Flexible larval growth allows use of a range of host sizes by a parasitoid wasp. **Ecology** 75: 1420-1428.

Harvey, J. A., Kadash K. and Strand M. R. 2000: Differences in larval feeding behavior correlate with altered developmental strategies in two parasitic wasps: implications for the size fitness hypothesis. **Oikos** 88: 621–629.

Harvey, J. A. and Strand, M. R. 2002. The developmental strategies of endoparasitoid wasps vary with host feeding ecology. **Ecology** 83: 2439-2451.

Jervis, M. A., Heimpel, G. E., Ferns, P. N., Harvey, J. A. and Kidd, N. A. C., 2001. Life history strategies in parasitoid wasps: a comparative analysis of 'ovigeny'. **Journal of Animal Ecology** 70(3): 442-458.

Jervis, M. A., Ellers, J. and Harvey, J. A. 2008. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies. **Annual Review of Entomology** 53: 361-385.

Li, B. and Mills, N. 2004. The influence of temperature on size as an indicator of host quality for the development of a solitary koinobiont parasitoid. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 110(3): 249-256.

Mackauer, M. and Kambhampati, S. 1988. Parasitism of aphid embryos by *Aphidius smithi*: Some effects of extremely small host size. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 49: 167-174.

Mohammadi, Z. 2014. Investigation of foraging behavior and impact of host developmental stage (*Aphis fabae*) on offspring fitness of *Lysiphlebus fabarum* (Hym., Aphidiidae). M.Sc. dissertation. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi).

Nicol, C. M. Y. and Mackauer, M. 1999. The scaling of body size and mass in a host parasitoid association: influence of host species and stage. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 90(1): 83-92.

O'Neill, K. and Skinner, S. 1990. Ovarian egg size and number in relation to female size in five species of parasitoid wasps. **Journal of Zoology** 220(1): 115-122.

Pavlik, J. 1993. The size of the female and quality assessment of mass-reared *Trichogramma* spp. **Entomologia Experimentalis Et Applicata** 66: 171-177.

Rakhshani, E., Talebi, A. A., Manzari, S., Rezwani, A. and Rakhshani, H. 2006. An investigation on alfalfa aphids and their parasitoids in different parts of Iran, with a key to the parasitoids (Hemiptera: Aphididae; Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). **Journal of Entomological Society of Iran** 25(2): 1-14.

Roitberg, B. D., Boivin, G. and Vet, L. E. M. 2001. Fitness, parasitoids, and biological control: an opinion. **Canadian Entomologist** 133: 429–38.

Sampaio, M. V., Bueno, V. H. P. and De Conti, B. F. 2008. The effect of the quality and size of host aphid species on the biological characteristics of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). **European Journal of Entomology** 105(3): 489-494.

Sequeira, R. and Mackauer, M. 1992a. Covariance of adult size and development time in the parasitoid wasp *Aphidius ervi* in relation size of it's host, *Acyrtosiphon pisum*. **Evolutionary Ecology** 6(1): 34-44.

Sequeira, R. and Mackauer, M. 1992b. Nutritional ecology of an insect host-parasitoid association: the pea aphid-*Aphidius ervi* system. **Ecology** 183-189.

Talebi, A. A., Rakhshani, E., Fathipour, Y., Starý, P. and Tomanović, Ž. 2009. Aphids and their Parasitoids (Hym., Braconidae: Aphidiinae) associated with medicinal plants in Iran. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture** 3(2): 205-219.

van Alphen, J. and Thunnissen, I. 1983. Host selection and sex allocation by *Pachycrepoideus vindemiae* Rondani (Pteromalidae) as a facultative hyperparasitoid of *Asobara tabida* Nees (Braconidae; Alysiinae) and *Leptopilina heterotoma* (Cynipoidea: Eucoilidae). **Netherlands Journal of Zoology** 33(4): 497-514.

van Lenteren, J., Hale, A., Klapwijk, J., van Schelt, J. and Steinberg, S. 2003. 19- Guidelines for quality control of commercially produced natural enemies. In quality control and production of biological control agents: Theory and testing procedures. van Lenteren, J. (ed). CABI Publishing. London, UK. 278-316 pp.

Xu, Q., Meng, L., Li, B. and Mills, N. 2008. Influence of host size variation on the development of a koinobiont aphid parasitoid, *Lysiphlebus ambiguus* Haliday (Braconidae, Hymenoptera). **Bulletin of Entomological Research** 98: 389–395.

Plant Pests Research
2015- 5(1): 37-48

Determining the best morphometric indices for quality control in a sexual population of *Lysiphlebus fabarum* (Braconidae: Aphidiinae)

Z., Mohammadi[1], A., Rasekh[*2], F., Kocheli[3] and B. Habibpour[4]
1,2, 3 and 4. Department of Plant Protection, College of Agricultural, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(Received: June 2, 2014- Accepted: August 11, 2014)

Abstract

Lack of quality control methods during the mass rearing of natural enemies may lead to failures in biological control. Body size has important effects on fitness components of parasitoids, and often use as a standard measure of quality control. In the present study, the most appreciate morphological feature that provides the best correlation with body size and egg load in a sexual population of the parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) was determined, when females reared on different nymphal instars of the host aphid, *Aphis fabae* Scopoli. The experiments were performed under standardized conditions in a growth chamber (21 ± 1°C, 60–70% RH, and 16L : 8D), and candidate metrics were head width, length of the right forewing, and length of the right hind tibia. According to results, head width emerged as the most suitable proxy for total body length of females that were reared in the 2nd nymphal instar (the most suitable host growth stage for mass rearing), while length of the right forewing yielded the highest correlation with total body length, when the data of wasps reared in all four nymphal instars were pooled. Egg load increased linearly with body length across all host growth stages, and the forewing length had the highest correlation with females reared in all four nymphal instars, so it may serve as a better predictor of egg load than other measurements. The results suggest that forewing length can be used as a proxy of quality control in mass rearing of this population of *L. fabarum*.

Key words: Quality control, mass rearing, body size, egg load, *Aphis fabae*

*Corresponding author: a.rasekh@scu.ac.ir