



任志勇, 陈永明, 吕瑞娥, 巩芳娥, 汪海, 臧连生. 甘肃陇南地区银杏大蚕蛾卵寄生蜂种类调查 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1464 - 1471.

## 甘肃陇南地区银杏大蚕蛾卵寄生蜂种类调查

任志勇<sup>1\*</sup>, 陈永明<sup>2\*</sup>, 吕瑞娥<sup>1</sup>, 巩芳娥<sup>1</sup>, 汪海<sup>1</sup>, 臧连生<sup>2\*\*</sup>

(1. 陇南市经济林研究院核桃研究所, 甘肃武都 746000; 2. 吉林农业大学生物防治研究所, 长春 130118)

**摘要:** 银杏大蚕蛾 *Caligula japonica* (Moore) 作为危害核桃、板栗、银杏等坚果类果树的重要害虫之一, 已经引起国内外广泛关注。明确银杏大蚕蛾卵期寄生蜂的种类、分布和自然寄生状况, 可为银杏大蚕蛾天敌的保护利用提供科学依据。本文于 2018 - 2019 年在甘肃省陇南市银杏大蚕蛾核桃危害区采集该害虫的越冬卵并带回实验室培养, 收集羽化的寄生蜂并记录其种类和数量, 最后通过计算寄生率确定优势天敌物种。本研究共采集银杏大蚕蛾卵块 1 114 个约 8 万粒卵, 单株核桃树木卵块数与卵粒数最高可达 7.5 块和 533.5 粒; 共收集到膜翅目 3 科 5 属 9 种银杏大蚕蛾卵期寄生蜂, 其中 6 种为首次报道; 具体为旋小蜂科 7 种, 包括平腹小蜂属 4 种: 麻纹蜂平腹小蜂 *Anastatus fulloi*、甘肃平腹小蜂 *A. gansuensis*、日本平腹小蜂 *A. japonicus* 和梅岭平腹小蜂 *A. meilingensis*; 短角平腹小蜂属 2 种: 白跗短角平腹小蜂 *Mesocomys albitarsis* 和枯叶蛾短角平腹小蜂 *M. trabalae*; 旋小蜂属 1 种: *Eupelmus* sp.; 赤眼蜂科赤眼蜂属 1 种: 螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*; 姬小蜂科长尾啮小蜂属 1 种: 短梗长尾啮小蜂 *Aprostocetus brevipedicellus*。结果表明, 旋小蜂科两种短角平腹小蜂数量最多, 分布最广, 物种优势度指数达 86 以上, 为陇南地区野外寄生银杏大蚕蛾卵的优势性天敌, 且卵块寄生率和卵粒寄生率分别最高可达 55.91% 和 6.77%。本研究结果拓宽了银杏大蚕蛾自然天敌种类, 并为今后开发利用寄生蜂防治该害虫提供了理论依据。

**关键词:** 银杏大蚕蛾; 平腹小蜂属; 短角平腹小蜂属; 自然天敌; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 06-1464-08

## Investigation on parasitoid species of *Caligula japonica* Moore eggs in Longnan area of Gansu Province

REN Zhi-Yong<sup>1\*</sup>, CHEN Yong-Ming<sup>2\*</sup>, LV Rui-e<sup>1</sup>, GONG Fang-e<sup>1</sup>, WANG Hai<sup>1</sup>, ZANG Lian-Sheng<sup>2\*\*</sup> (1. Institute of Walnut, Longnan Economic Forest Research Institute, Wudu 746000, Gansu Province, China; 2. Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** *Caligula japonica* (Moore), one of the most important pest of walnut, chestnut, ginkgo and other nut fruit trees, has been attracted wide attention. The objective of this study was to screen out the parasitic natural enemies, clarify their distribution and natural parasitism rate on *C. japonica* eggs, and provide scientific basis for the protection and utilization of those natural enemies. The overwintering eggs of the pest were collected and brought back to the laboratory during 2018 to 2019 from the area most seriously damaged by *C. japonica* in Longnan, Gansu Province. The number of parasitoid females and males emerged from each egg were collected and recorded. The parasitism rate of eggs and egg masses was

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201000); 甘肃省重点研发计划 - 农业类 (20YF3NK030); 甘肃省级财政科技奖补资金项目 (2018-01)

\* 共同第一作者: 任志勇, 男, 1974 年生, 甘肃文县人, 高级工程师, 研究方向为经济林栽培与保护, E-mail: 348007929@qq.com; 陈永明, 男, 1995 年生, 甘肃康县人, 博士研究生, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: angusbio@126.com

\*\* 通讯作者 Author for correspondence: 臧连生, 男, 博士, 研究员, 研究方向为害虫生物防治、昆虫生态学, E-mail: ls0415@163.com

收稿日期 Received: 2020-06-26; 接收日期 Accepted: 2020-08-26

calculated and the dominant natural enemy species were identified. In this study, a total of 1 114 egg masses, and approximately 80 thousand eggs of *C. japonica* were collected. The average number of egg masses and eggs per walnut tree were 7.5 and 533.5, respectively. Total of nine egg parasitoid species of *C. japonica*, belonging to five genera and three families of Hymenoptera, were found. Among them, six species were firstly reported on *C. japonica* eggs, and seven species were belonged to Eupelmidae, in which there were four *Anastatus* species (*A. fulloi*, *A. gansuensis*, *A. japonicus* and *A. meilingensis*), two *Mesocomys* species (*M. albitarsis* and *M. trabalae*), one *Eupelmus* species (*Eupelmus* sp.). In addition, *Trichogramma chilonis* and *Aprostocetus brevipedicellus* belonged to Trichogrammatidae and Eulophidae, respectively, were identified. The species dominance index of *M. albitarsis* and *M. trabalae* was more than 86, and their average parasitism rate of egg masses and eggs were 55.91% and 6.77%, respectively. These results indicated that *M. albitarsis* and *M. trabalae* were the dominant natural enemies of wild *C. japonica* in Longnan area. This study provided important information on naturally occurring parasitoids of *C. japonica* and also provided a theoretical basis for the development and utilization of parasitoids to control this pest in the future.

**Key words:** *Caligula japonica*; *Anastatus*; *Mesocomys*; natural enemies; biological control

银杏大蚕蛾 *Caligula japonica* (Moore, 1862) 英文名称: The Japanese giant silkworm, 俗称白果虫(蚕)、白毛虫、核桃大蚕蛾等, 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 大蚕蛾科 Saturniidae 黄目天蚕蛾属 *Caligula* 同物异名有 *Dictyoploca japonica*, *Saturnia japonica*, *Dictyopoea japonica* 等 (Kawaguchi *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2019)。该害虫为亚洲特有种, 一年发生一代, 以卵越冬; 在我国除新疆、西藏、内蒙古、青海等(自治区、省) 地外广泛分布于黑龙江、吉林、辽宁、广西、福建、浙江、山东、台湾等 20 多个省(直辖市、自治区), 但主要危害地区为甘肃陇南、陕西南部、四川达州、重庆渝北和湖北西北部; 国外主要分布于俄罗斯远东地区、朝鲜、日本等地 (Qiao *et al.*, 2014; Abarenkov, 2020)。银杏大蚕蛾危害范围广, 扩散速度快, 已报道的寄主植物超过 20 科 30 属的 38 种, 包括核桃 *Juglans regia* L、板栗 *Castanea mollissima* Bl、银杏 *Ginkgo biloba* L、漆树 *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkley、苹果 *Malus pumila* Mill 等重要的经济林果树 (伍小兵, 2013; 刘玉彬和兰庆, 2019)。银杏大蚕蛾可将成片果树树叶大部分或者全部进行取食, 严重时仅剩满树的叶脉和幼果, 危害后的树木因不能进行光合作用而使生长受阻, 加速果树衰老及干枯死亡, 果实大量或全部脱落, 造成大面积减产或绝收, 是一种对核桃等果树长势和产量影响十分严重的害虫之一。其次, 银杏大蚕蛾具有杂食

性、突发性和暴食性的特点, 一旦发生将会对果树造成毁灭性的危害 (刘桂湘和刘小军, 2018)。目前, 对银杏大蚕蛾的防治仍以化学农药为主, 但在甘肃陇南、陕西秦巴山区等主要核桃产地实施却十分困难。并且农药的不合理使用致使 70%~80% 的农药漂移或流失到非靶标生物、土壤和水域中, 严重污染生态环境, 农药的滥用不仅大量杀伤天敌, 也造成银杏大蚕蛾等害虫产生高抗药性, 不得不加大农药使用剂量, 陷入农药使用的恶性循环, 严重影响了核桃产量、品质和效益 (Qiao *et al.*, 2014)。

甘肃省陇南市核桃栽植规模位居全国市(州) 第二, 核桃产业作为该地区实行乡村振兴战略和精准扶贫的主要抓手之一, 产值达 20 亿元。银杏大蚕蛾自 2006 年由陕西秦巴山区传入后, 在该地区迅速传播, 超 169 330 hm<sup>2</sup> 约 5 089 200 棵核桃树被危害, 造成经济损失愈 2 亿元。为此省市(委) 政府曾连续几年发文、召开现场观摩会对陇南核桃银杏大蚕蛾防治工作进行部署。目前该害虫仍在部分乡镇爆发成灾, 并有进一步扩散至其他核桃产区的风险 (Qiao *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2019)。如何使用有效且绿色环保的方法去防治银杏大蚕蛾, 是目前亟需解决的问题。

当下, 以生物防治为主要成分的害虫综合治理 (IPM) 已经被国内外专家公认为有效途径之一, 利用天敌昆虫防治银杏大蚕蛾是一条理想的途径 (吴猛耐等, 2001)。在日本、俄罗斯等国家

已发现可成功寄生银杏大蚕蛾卵的寄生性天敌, 如凸腿小蜂 *Kriechbaumerella hofferi* Bouček, 跳小蜂 *Ooencyrtus dictyoplocae* Sharkov, 白跗短角平腹小蜂 *Mesocomys albitarsis* Ashmead, *Mesocomys kalinai* Ozidikmen, 螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii, 松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Clausen, 1927; Noyes, 2020)。目前我国关于银杏大蚕蛾卵期寄生性天敌的研究偶见零星报道, 未见系统的调查研究, 仅吴猛耐等 (2000, 2001) 在重庆市城口县核桃主产区调查时发现两种卵期寄生蜂, 其中双斑平腹小蜂 *Anastatus* sp. 为卵期优势性天敌, 释放于林间防治银杏大蚕蛾卵的校正寄生率可达 69.30%。为实现核桃产业转型升级向高质量发展和建设环境友好型社会, 使用生物防治技术来防控该害虫, 本研究于 2018–2019 年对甘肃陇南地区银杏大蚕蛾危害区系统采集越冬卵, 以期探明该害虫卵期的寄生性天敌种类及自然寄生状况, 为银杏大蚕蛾的生物防治和寄生蜂的保护利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采集时间和地点

试验地位于甘肃省陇南市, 海拔 600~1 100 m, 32°48′52″N~35°45′03″N, 104°54′18″E~105°55′36″E, 结合银杏大蚕蛾危害现状, 于 2018–2019 年在该市选取了 3 个县 (区) 的 5 个被银杏大蚕蛾取食最严重的核桃产地进行了系统采集调查 (表 1)。

### 1.2 调查方法

根据银杏大蚕蛾卵在核桃林间呈低密度、高聚集块状的分布特点 (何兴文等, 2002), 在银杏大蚕蛾危害区采集的每一个卵块单独放置于试管 (直径 2.5 cm × 长 10 cm) 中并盖上封口布, 同时对其编号以记录每棵树上的卵块数及卵粒数, 每个采集点随机选取有银杏大蚕蛾卵粒的核桃树 ≥20 株进行调查。采集完毕后, 将装有卵块的试管带回实验室置于人工气候室 (温度 25 ± 1℃, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 L:D = 14 h: 10 h) 进行发育培养, 逐日观察银杏大蚕蛾卵寄生性天敌羽化情况, 记录各个试管内卵块羽化寄生性天敌成虫数并将其收集, 通过查阅与羽化出天敌昆虫相关的分类文献资料进行初步鉴定 (Gibson,

1989, 1995, 1997, 2011; Yao, 2005; Gibson and Fusu, 2016; Noyes, 2020), 同时将标本邮寄给该领域相关专家对其进行检视以准确鉴定天敌种类, 确定寄生蜂分类地位。卵块与卵粒认定为寄生的标准分别为该卵块至少有一粒卵被寄生及卵粒具有寄生蜂羽化出蜂时形成的羽化孔。最后汇总记录羽化出天敌的种类及其数量, 确定该地区银杏大蚕蛾卵优势寄生蜂。

### 1.3 数据分析

试验所有数据采用 Office Excel 2016 进行整理分析。各指标具体计算公式如下:

$$P_1 = (A_i/B_i) 100 \quad (1)$$

(1) 式中  $P_1$  代表总卵块寄生率,  $A_i$  与  $B_i$  分别代表第  $i$  个调查地点被寄生的卵块总数和采集卵块总数;

$$P_2 = (C_i/D_i) 100 \quad (2)$$

(2) 式中  $P_2$  代表总卵粒寄生率,  $C_i$  与  $D_i$  分别代表第  $i$  个调查地点被寄生的卵粒总数和采集卵粒总数;

$$Q_1 = (E_j/\sum B_i) 100 \quad (3)$$

(3) 式中  $Q_1$  代表寄生蜂的卵块寄生率,  $E_j$  代表第  $j$  种寄生蜂寄生的卵块总数;  $\sum B_i$  代表  $i$  个调查地点的卵块数总和;

$$Q_2 = (F_j/\sum D_i) 100 \quad (4)$$

(4) 式中  $Q_2$  代表寄生蜂的卵粒寄生率,  $F_j$  代表第  $j$  种寄生蜂寄生的卵粒总数;  $\sum D_i$  代表  $i$  个调查地点的卵粒数总和;

$$\text{雌性比}(\%) = (\text{子代雌蜂数}/\text{子代蜂总数}) \times 100 \quad (5)$$

$$d = (N_j/N) 100 \quad (6)$$

(6) 式中  $d$  代表物种优势度指数 (贝格帕克指数 Berger-Parker index),  $N_j$  与  $N$  分别代表采集地第  $j$  种寄生蜂的数量和该调查地点总寄生蜂数量; 当  $d \geq 10$  时为优势种,  $5 \leq d < 10$  为丰富种,  $1 < d < 5$  为常见种,  $d \leq 1$  为稀有种 (Berger and Parker, 1970; Caruso and Migliorini, 2006)。

## 2 结果与分析

### 2.1 银杏大蚕蛾卵及其寄生蜂寄生情况

本研究在甘肃省陇南市武都区、康县 (云台镇、大南峪镇)、文县 (尚德镇、碧口镇) 共计 5 个地区进行采集调查, 共采集到 1 114 个卵块,

2018 和 2019 年分别为 558 个和 556 个; 卵粒数 79 942 粒, 2018 年和 2019 年分别为 40 081 和 39 861 粒, 羽化出寄生蜂 5 302 头, 2018 和 2019 年分别为 2 634 和 2 668 头。由表 1 可知, 不管是 2018 年还是 2019 年, 文县碧口镇银杏大蚕蛾发生均相对较严重单株卵块数与卵粒数最高分别

可达 7.5 块与 533.5 粒; 而康县大南峪镇单株卵块数与卵粒数最少分别为 4.4 块与 284.5 粒。2018 和 2019 年 5 个调查地区银杏大蚕蛾卵块和卵粒被寄生蜂寄生的自然寄生率分别为 43.65%、6.47% 和 43.98%、6.51%。

表 1 银杏大蚕蛾卵及其寄生蜂寄生情况调查 (2018-2019 年)

Table 1 Details of parasitism of *Caligula japonica* eggs and its parasitic natural enemies

采集地点 Location	卵块数/株 Number of egg		卵粒数/株 Number of eggs		总卵块寄生率( $P_1$ , %) Total parasitism rate of egg masses		总卵粒寄生率( $P_2$ , %) Total parasitism rate of eggs		
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	
康县 Kang County	云台镇 Yuntai town	4.65	4.55	338.70	348.50	44.09	50.75	7.01	6.94
	大南峪镇 Dananyu town	5.70	4.40	374.55	285.40	35.21	31.96	6.27	6.98
武都区 Wudu District		5.05	6.35	413.40	501.15	52.82	58.41	6.88	6.54
文县 Wen County	尚德镇 Shangde town	5.40	5.00	353.95	324.50	44.16	41.41	6.18	6.36
	碧口镇 Bikou town	7.10	7.50	523.45	533.50	41.97	37.37	5.99	5.72
平均 Average		5.58	5.56	400.81	398.61	43.65	43.98	6.47	6.51

## 2.2 银杏大蚕蛾卵寄生蜂种类

甘肃省陇南地区银杏大蚕蛾卵寄生蜂较为丰富, 共调查到银杏大蚕蛾卵寄生蜂 9 种 (表 2), 其中旋小蜂科 3 属 7 种: 甘肃平腹小蜂、麻纹蝽平腹小蜂、梅岭平腹小蜂、日本平腹小蜂、白跗短角平腹小蜂、枯叶蛾短角平腹小蜂和旋小蜂; 赤眼蜂科赤眼蜂属 1 种: 螟黄赤眼蜂; 姬小蜂科长尾啮小蜂属 1 种: 短梗长尾啮小蜂。不同种类的寄生蜂在不同地区分布及种群数量存在差异, 枯叶蛾短角平腹小蜂、白跗短角平腹小蜂、日本平腹小蜂及短梗长尾啮小蜂分布最广, 在各调查地区均能采集到, 且种群数量占各采集地区寄生蜂种群数量的比例也较大, 最高可分别达 80.98%、56.59%、13.43% 及 12.38%; 其次是麻纹蝽平腹小蜂、甘肃平腹小蜂与梅岭平腹小蜂, 最高可分别占采集地区寄生蜂种群数量的 4.76%、2.86% 及 2.26%; 旋小蜂与螟黄赤眼蜂则仅在文县碧口镇发现, 种群数量占各采集地区寄生蜂种群数量

的比例最高为 0.48% 和 5.98% (表 2)。

## 2.3 银杏大蚕蛾卵优势寄生蜂种类的确定

银杏大蚕蛾卵优势性寄生性天敌种类的确定采用贝格帕克指数, 并结合每种蜂卵块及卵粒寄生率来确定 (表 3)。由贝格帕克指数可知, 枯叶蛾短角平腹小蜂与白跗短角平腹小蜂指数均 > 10, 为陇南当地野外寄生银杏大蚕蛾卵的绝对优势物种; 日本平腹小蜂、短梗长尾啮小蜂、螟黄赤眼蜂及麻纹蝽平腹小蜂为丰富种或常见种; 甘肃平腹小蜂、梅岭平腹小蜂及旋小蜂为寄生银杏大蚕蛾卵的稀有物种。除短梗长尾啮小蜂与螟黄赤眼的卵粒寄生率略有反常外, 每种蜂卵块寄生率及卵粒寄生率所占比例与贝格帕克指数趋势基本一致。在性比方面, 绝大部分蜂种均较偏雌性 (雌性比 > 0.6), 其中甘肃平腹小蜂均为雌性个体, 麻纹蝽平腹小蜂、螟黄赤眼蜂与短梗长尾啮小蜂雌性比均 > 0.8, 两种短角平腹小蜂和梅岭平腹小蜂雌性比均 < 0.7。

表 2 银杏大蚕蛾卵寄生蜂种类 (2018 - 2019 年)  
Table 2 Species of parasitic natural enemies identified from parasitized *Caligula japonica* eggs

		寄生蜂所占比例(%) The percentage of parasitoids															
		旋小蜂科 Eupelmidae						姬小蜂科 Eulophidae			赤眼蜂科 Trichogrammatidae						
采集地点 Location		枯叶蛾短角 平腹小蜂 <i>Mesocormys trabatae</i>	白跗短角 平腹小蜂 <i>Mesocormys albitarsis</i>	日本平腹小蜂 <i>Anastatus japonicus</i>	麻纹蜂平 腹小蜂 <i>Anastatus fulloi</i>	甘肃平 腹小蜂 <i>Anastatus gansuensis</i>	梅岭平 腹小蜂 <i>Anastatus meilingensis</i>	旋小蜂 <i>Eupelmus</i> sp.	短梗长尾 嗜小蜂 <i>Aprostocetus brevipedicellus</i>								
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019		
云台镇 Yuntai town	80.98	35.23	11.32	47.73	3.63	3.41	1.28	2.27	0.64	2.27	-	2.26	-	2.15	6.83	-	-
	64.82	29.52	15.14	43.81	13.43	5.72	3.20	4.76	1.71	2.86	0.43	0.95	-	1.27	12.38	-	-
大南峪镇 Dananyu town	50.39	45.06	45.76	54.17	3.08	0.39	-	-	-	0.38	-	-	-	0.77	-	-	-
	55.07	50.07	39.61	34.68	3.38	2.69	-	-	-	-	0.48	-	0.48	0.98	6.28	-	5.98
武都区 Wudu District	22.07	29.74	74.83	56.59	0.69	2.40	-	-	0.34	-	-	-	-	2.07	11.27	-	-

注：“-”表示该物种在该地区没有采集到。Note:“-” indicates that the species has not been collected in the area.

表 3 自然条件下各寄生蜂在银杏大蚕蛾卵上的生物学指标 (2018–2019 年)

Table 3 Biological indexes of various egg parasitoids of *Caligula japonica* under natural conditions

蜂种 Species	每种蜂卵块 寄生率 ( $Q_1$ , %)		每种蜂卵粒 寄生率 ( $Q_2$ , %)		雌性比 Sex ratio of female		贝格帕克指数 ( $d$ ) Berger-Parker index	
	Parasitism rate of egg masses for each species		Parasitism rate of eggs for each species					
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
枯叶蛾短角平腹小蜂 <i>Mesocomys trabalae</i>	30.41	25.93	3.59	2.93	0.64	0.57	57.98	41.48
白跗短角平腹小蜂 <i>Mesocomys albitarsis</i>	25.50	27.91	2.39	3.01	0.63	0.64	32.97	45.30
日本平腹小蜂 <i>Anastatus japonicus</i>	6.59	7.70	0.32	0.24	0.86	0.76	5.54	2.46
麻纹蝽平腹小蜂 <i>Anastatus fulloi</i>	2.09	1.35	0.06	0.11	0.86	0.86	1.15	0.45
甘肃平腹小蜂 <i>Anastatus gansuensis</i>	1.41	1.21	0.03	0.06	1.00	1.00	0.66	0.39
梅岭平腹小蜂 <i>Anastatus meilingensis</i>	0.55	0.89	0.01	0.04	0.67	0.67	0.16	0.19
旋小蜂 <i>Eupelmus</i> sp.	0.37	0.80	0.01	0.01	1.00	0.50	0.05	0.13
短梗长尾啮小蜂 <i>Aprostocetus brevipedicellus</i>	1.65	3.62	0.06	0.10	0.81	0.86	1.49	7.01
螟黄赤眼蜂 <i>Trichogramma chilonis</i>	–	0.40	–	0.01	–	0.80	–	2.59

注 “–” 表示该物种在该地区没有采集到。Note “–” indicates that the species has not been collected in the area.

### 3 结论与讨论

甘肃陇南地区银杏大蚕蛾卵寄生性天敌种类丰富, 共调查到银杏大蚕蛾卵寄生蜂 9 种, 其中枯叶蛾短角平腹小蜂和白跗短角平腹小蜂为野外寄生银杏大蚕蛾卵优势寄生蜂。螟黄赤眼蜂与短梗长尾啮小蜂为一卵多蜂物种 (Polyembryonic species, 即一粒卵羽化出多头蜂), 其余 7 种寄生蜂均为单卵单蜂物种 (Monoembryonic species, 即一粒卵羽化出一头蜂)。甘肃平腹小蜂、麻纹蝽平腹小蜂、梅岭平腹小蜂、日本平腹小蜂、旋小蜂和枯叶蛾短角平腹小蜂为首次报道寄生银杏大蚕蛾卵。9 种寄生蜂中, 研究最多的当属用于防治荔

枝蜡象的麻纹蝽平腹小蜂 (之前一直被认为是日本平腹小蜂) (Li *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2017), 其次为白跗短角平腹小蜂, Clausen (1927) 曾在日本详细研究了该寄生蜂的个体发育和生殖等生物学参数, 并通过野外调查确定其为银杏大蚕蛾卵优势寄生蜂, 这与本文的结论一致。梅岭平腹小蜂为雌性短翅 (不能飞) 雄性长翅 (能飞) 物种, 这可能是它分布范围不广和寄生率低的原因之一 (Gibson, 1995)。甘肃平腹小蜂为调查发现的平腹小蜂属一新种 (Chen *et al.*, 2019)。

本研究选取了陇南地区银杏大蚕蛾危害十分严重的 5 个地点进行调查, 结果表明, 不同地区天敌种类略有差异, 且不同种类的天敌对银杏大蚕蛾卵寄生率不同, 但各采集地点两种短角平腹

小蜂均有分布且为优势天敌类群，占总寄生蜂总数的 80% 以上。银杏大蚕蛾卵块寄生率总体较高 (> 40%)，而卵粒寄生率却很低 (< 7%)，其原因可能与银杏大蚕蛾卵块是堆叠聚集存在有关 (何兴文等, 2002)，寄生蜂一般只能寄生表面一层，而不能深入其内部。卵寄生率差异原因可能与不同属间对害虫卵的适应性不同有关，目前报道短角平腹小蜂仅寄生鳞翅目昆虫卵 (枯叶蛾科、天蚕蛾科等)，而平腹小蜂则还可寄生半翅目蝽类、鳞翅目毒蛾科等昆虫卵；旋小蜂一般为幼虫或蛹寄生蜂，因此旋小蜂也有可能为误寄生 (Gibson, 1995; 姚艳霞等, 2009)。同时，在调查卵块羽化出蜂种类和数量时，也发现一个卵块被两种及两种以上寄生蜂同时寄生的情况。枯叶蛾短角平腹小蜂和白跗短角平腹小蜂共寄生卵块数量最多，占总寄生卵块的近 40%。而且，同一卵块最多可同时被枯叶蛾短角平腹小蜂、白跗短角平腹小蜂、日本平腹小蜂、麻纹蝽平腹小蜂和日本平腹小蜂共寄生，这些信息或将为以后寄生蜂选育、繁殖利用提供参考价值。

膜翅目昆虫一般为单倍二倍体生殖方式 (Haploid - male systems)，即未受精卵 (单倍体) 发育为雄蜂，而受精卵 (二倍体) 发育为雌蜂 (Heimpel and Boer, 2008)，本研究发现螟黄赤眼蜂、短梗长尾啮小蜂等多数物种后代为雌性居多 (Female - biased sex ratio)，有利于种群的建立与繁衍；甘肃平腹小蜂后代均为雌性，后经室内研究发现该物种为产雌雄孤雌生殖 (Deuterotoky)，在柞蚕 *Antheraea pernyi* Guérin - Méneville 卵上后代雌雄比为 113:1 (未发表数据)；旋小蜂性比波动最大，主要原因是该物种采集数量太少 (2018 年 1 雌, 2019 年 1 雌 1 雄)。同时研究发现这些寄生蜂 (除旋小蜂) 在实验室可用柞蚕卵进行繁育，尤其两种优势天敌短角平腹小蜂对柞蚕卵具有较高的“蜂一卵适合度”，这为将来以柞蚕卵作为中间替代寄主进行大量生产奠定了一定基础 (Chen *et al.*, 2019)。然而为使其成为有效控制银杏大蚕蛾的生防天敌资源，还要对其生物学、生态学特性及繁育技术在生产上的应用等开展进一步研究。影响寄生蜂自然种群消长的自然因素及人为原因有很多，如温度、湿度 (下雨) 及打农药等，因此为更好了解自然界这些寄生蜂生存状况，还应该结合实际调查其在自然界的种群动态并准确评估 (Sithole *et al.*, 2019)。

在实施农药化肥零增长、科技扶贫和乡村振兴战略，提倡生态文明建设、聚焦现代农业发展的今天，如何应用操作便捷、安全高效的措施去防治害虫成为人们普遍关心的问题，且随着人民生活水平不断提升，绿色消费观念逐步深入人心，对有机食品需求日益提高，因此对害虫实施绿色防控，符合 IPM 策略，特别是利用天敌昆虫进行生物防治是必然趋势。我国幅员辽阔，天敌资源非常丰富，使用生物防治技术来防控主要害虫，是实现经济林产业转型升级向高质量发展和建设环境友好型社会的迫切需要，此次发现的银杏大蚕蛾卵寄生蜂种质资源，对开发出安全有效防控农林业害虫的天敌产品具有重要理论和实践意义。

**致谢:** 感谢加拿大农业与农业食品部国家昆虫标本馆的 Gary A. P. Gibson 博士与中国科学院动物研究所曹焕喜博士帮助鉴定本文中的旋小蜂科及姬小蜂科寄生蜂种类。

### 参考文献 (References)

- Abarenkov K. Life Sciences EUO, Estonian University of Life Sciences. PlutoF. Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15156/bio/587441> accessed via GBIF.org on 2020 - 06 - 21. <https://www.gbif.org/occurrence/1148336835> [accessed 21 June 2020]
- Berger WH, Parker FL. Diversity of planktonic foraminifera in deep - sea sediments [J]. *Science*, 1970, 168 (3937): 1345 - 1347.
- Caruso T, Migliorini M. A new formulation of the geometric series with applications to oribatid (Acari, Oribatida) species assemblages from human - disturbed mediterranean areas [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 195 (3 - 4): 402 - 406.
- Chen YM, Gibson GAP, Peng LF, *et al.* *Anastatus* Motschulsky (Hymenoptera, Eupelmidae): Egg parasitoids of *Caligula japonica* Moore (Lepidoptera, Saturniidae) in China [J]. *ZooKeys*, 2019, 881: 109 - 134.
- Clausen CP. The bionomics of *Anastatus albitarsis* Ashm., parasitic in the eggs of *Dictyoploca japonica* Moore (Hymen.) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1927, 20 (4): 461 - 473.
- Gibson GAP, Fusu L. Revision of the Palaearctic species of *Eupelmus* (*Eupelmus*) Dalman (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eupelmidae) [J]. *Zootaxa*, 2016, 4081: 1 - 331.
- Gibson GAP. Chapter 2. Morphology and Terminology. In: Gibson GAP, Huber JT, Woolley JB. Eds Annotated Keys to the Genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera) [M]. Ottawa: NRC Research Press, 1997, 16 - 44.
- Gibson GAP. Parasitic wasps of the subfamily Eupelminae: Classification and revision of world genera (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eupelmidae) [J]. *Memoirs on Entomology, International*, 1995, 5: 1 - 421.

- Gibson GAP. Phylogeny and classification of Eupelmidae, with a revision of the world genera of Calosotinae and Metapelmatinae (Hymenoptera: Chalcidoidea) [J]. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 1989, 149: 1–121.
- Gibson GAP. The species of *Eupelmus* (*Eupelmus*) Dalman and *Eupelmus* (*Episolindelia*) Girault (Hymenoptera: Eupelmidae) in North America north of Mexico [J]. *Zootaxa*, 2011, 2951: 1–97.
- He XW, Pu YL, Chen J, et al. Relationship between the spatial distribution pattern of *Dictyoploca japonica* eggs and the environment [J]. *Entomological Knowledge*, 2002, 48 (1): 47–49. [何兴文, 蒲永兰, 陈杰, 等. 银杏大蚕蛾卵空间分布与环境关系的研究 [J]. 昆虫知识, 2002, 48 (1): 47–49]
- Heimpel GE, Boer JGD. Sex determination in the Hymenoptera [J]. *Annual Review of Entomology*, 2008, 53: 209–230.
- Kawaguchi Y, Ichida M, Kusakabe T, et al. Chorion architecture in the Japanese giant silkmoth, *Caligula japonica* Moore [J]. *Sericologia*, 2003, 43 (1): 29–39.
- Li DS, Liao CY, Zhang BX, et al. Biological control of insect pests in litchi orchards in China [J]. *Biological Control*, 2014, 68 (1): 23–36.
- Liu GX, Liu XJ. *Dictyoploca japonica* Butler: Occurrence, damage caused and integrated control techniques in Ningshan county [J]. *Shanxi Forest Science and Technology*, 2018, 46 (1): 40–42. [刘桂湘, 刘小军. 宁陕县银杏大蚕蛾发生危害和综合防治技术 [J]. 陕西林业科技, 2018, 46 (1): 40–42]
- Liu YB, Lan Q. Biological characteristics of *Dictyoploca japonica* and the measures for its prevention and control [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2019, 40 (6): 101–104. [刘玉彬, 兰庆. 银杏大蚕蛾的生物学特性及防治措施 [J]. 四川林业科技, 2019, 40 (6): 101–104]
- Noyes JS. Universal Chalcidoidea Database. <http://www.nhm.ac.uk/our-science/data/chalcidoidea/> [accessed 20 June 2020]
- Peng LF, Tang L, Gibson GAP. Redescription of the types of species of *Anastatus* Motschulsky, 1859 (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eupelmidae) described by J. K. Sheng and coauthors [J]. *European Journal of Taxonomy*, 2017, 292: 1–24.
- Qiao X, Wang YC, Wu G, et al. Occurrence reasons and control measures of *Caligula japonica* in Longnan city of China [J]. *Plant Diseases and Pests*, 2014, 5: 38–41.
- Sithole R, Nyamukondiwa C, Chinwada P, et al. Population dynamics of the diamondback moth and its parasitoids in Zimbabwe [J]. *Biological Control*, 2019. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.03.008.
- Wu MN, Yang SZ, Chen J, et al. A study on the *Anastatus* spp. released in forest for control of *Dictyoploca japonica* Moore [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2001, 23 (1): 26–29. [吴猛耐, 杨世璋, 陈杰, 等. 林间释放平腹小蜂防治银杏大蚕蛾研究 [J]. 昆虫天敌, 2001, 23 (1): 26–29]
- Wu MN, Yang SZ, Chen J, et al. The Investigation of the Natural Enemies of *Dictyoploca japonica* on the Walnuts Tree in Chongqing. In: Proceedings of the 2000 National Symposium on Biological Control [C]. 2000. [吴猛耐, 杨世璋, 陈杰, 等. 重庆市银杏大蚕蛾天敌调查 [C]. 见: 全国生物防治暨第八届杀虫微生物学术研讨会, 2000]
- Wu XB. Occurrence and prevention of *Dictyoploca japonica* [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2013, 7: 42–45. [伍小兵. 银杏大蚕蛾的发生与防治 [J]. 福建农业科技, 2013, 7: 42–45]
- Yao YX, Yang ZQ, Zhao WX. Descriptions of four new species in the genus *Mesocomys* (Hymenoptera, Eupelmidae) parasitizing eggs of defoliators from China [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2009, 34 (1): 155–160. [姚艳霞, 杨忠岐, 赵文霞. 中国寄生于林木食叶害虫的短角平腹小蜂属(膜翅目, 旋小蜂科)四新种记述 [J]. 动物分类学报, 2009, 34 (1): 155–160]
- Yao YX. Taxonomic Study on Chalcidoids Parasitizing Forest Defoliators in China (Hymenoptera) [D]. Beijing: the Chinese Academy of Forestry, 2005. [姚艳霞. 寄生于林木食叶害虫的小蜂分类研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院博士学位论文, 2005]