

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.03.27

苹果绵蚜蚜小蜂发育历期、发育起点温度和有效积温的研究

周仙红¹, 李刚^{1,3}, 陈浩¹, 曲树杰¹, 张思聪¹, 翟一凡¹,
于毅¹, 郑方强², 张安盛^{1*}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100; 2. 山东农业大学植物保护学院昆虫系, 泰安 271000;
3. 温州科技职业学院, 温州 325105)

摘要: 本文以苹果绵蚜为繁殖寄主, 研究了苹果绵蚜蚜小蜂在不同温度下的发育历期、发育起点温度和有效积温。结果显示: 苹果绵蚜蚜小蜂的发育历期随温度的升高而缩短, 最适发育温度为 21℃ - 27℃。山东地区越冬代苹果绵蚜蚜小蜂打破滞育的发育起点温度为雌蜂 8.58℃, 雄蜂 8.22℃; 有效积温为雌蜂 148.72 日度, 雄蜂 154.68 日度。非越冬代苹果绵蚜蚜小蜂在卵 - 羽化阶段发育起点温度为雌蜂 5.62℃, 雄蜂 5.55℃; 有效积温为雌蜂 284.40 日度, 雄蜂为 295.61 日度。并推测了 2008 年济南地区苹果绵蚜蚜小蜂发生代数 and 越冬代羽化时间, 与实测情况基本相符。

关键词: 苹果绵蚜蚜小蜂; 发育历期; 发育起点温度; 有效积温

中图分类号: Q965; S436.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 03-0634-06

The study on developmental duration, developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae)

ZHOU Xian-Hong¹, LI Gang^{1,3}, CHEN Hao¹, QU Shu-Jie¹, ZHANG Si-Cong¹, ZHAI Yi-Fan¹, YU Yi¹, ZHENG Fang-Qiang², ZHANG An-Sheng^{1*} (1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Science/Shandong Key Laboratory of Plant Virology, Jinan 250100, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271000, China; 3. Wenzhou Vocational College of Science and Technology, Wenzhou 325105, China)

Abstract: Studies on developmental duration at different temperature, developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Aphelinus mali* (Haldeman) were carried out in the laboratory. The results showed that the developmental period of *A. mali* decreased as the temperature increased in the tested temperature range, and its developmental temperature was 21℃ - 27℃. The developmental threshold temperature of overwintering generation female and male were 8.58℃ and 8.22℃ respectively, and the effective accumulated temperature were 148.72 day-degrees and 154.68 day-degrees respectively in Shandong. The developmental threshold temperature of non-overwintering generation at the stage immature, were 5.62℃ (female) and 5.55℃ (male), respectively. The effective accumulated temperatures were 284.40 day-degrees (female) and 295.61 day-degrees (male) respectively. We estimated the number of generations and the emergence period of *A. mali* in Jinan in 2008, which matched with actual situation.

基金项目: 山东省产业技术体系 (SDAIT-03-022-08); 公益性行业专项子课题“苹果绵蚜综合防控技术研究与示范” (201103026)

作者简介: 周仙红, 女, 1982 年生, 汉族, 山东威海人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为昆虫生态学

* 通讯作者 Author for correspondence, Email: Anshengzhang2003@163.com

收稿日期 Received: 2016-03-11; 接受日期 Accepted: 2016-05-10

Key words: *Aphelinus mali* (Haldeman); developmental duration; threshold temperature; effective accumulated temperature

苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) 是我国农业检疫性有害生物, 1914 年首次在山东发现, 现国内的山东、河南、辽东半岛等地有分布报道 (邱名榜, 1997), 其主要寄主为苹果, 春季主要集中在树干上的伤疤、剪锯口等处危害, 夏季主要集中在当年生新梢、叶腋等处危害, 严重影响果树的长势, 造成果树产量的下降。

国内外报道苹果绵蚜的天敌种类较多 (Asante, 1997; 李向永等, 2008), 其中寄生性天敌苹果绵蚜小蜂 *Aphelinus mali* (Haldeman) 专一性强, 对苹果绵蚜的制约作用大 (况荣平等, 1989), 是我国苹果绵蚜的优势种天敌。早在 20 世纪 50 年代开始, 国内学者将苏联引进的苹果绵蚜小蜂与国内种进行杂交, 大大提高了山东地区苹果绵蚜小蜂的寄生能力 (龙承德等, 1960)。

目前对苹果绵蚜小蜂研究主要集中在控害潜能方面, 对苹果绵蚜小蜂的滞育解除和生长发育问题研究尚不完善, 仅有少量的研究 (Trimble *et al.*, 1990; 唐业忠等, 1991; Asante and Danthanarayana, 1992)。因此本文在前人的研究基础上进一步探明我国苹果主产区之一的山东地区苹果绵蚜小蜂越冬代和非越冬代的发育历期、发育起点温度和有效积温, 明确苹果绵蚜小蜂发育的生物学特征, 对预测苹果绵蚜小蜂发生期和田间保护利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

苹果绵蚜, 2007 年田间采集后转接至山东省农科院植保所温室内的海棠苗上繁殖, 接虫后对海棠苗进行罩网 (100 目防虫网), 确保苹果绵蚜未被天敌寄生; 越冬代苹果绵蚜小蜂于 2007 年采自山东省济南市商河县怀仁镇苹果园中, 存于 4℃ 冰箱中备用; 非越冬代苹果绵蚜小蜂于 2007 年采自山东省济南市历城区张马屯村苹果园。

1.2 方法

1.2.1 越冬代苹果绵蚜小蜂发育起点温度和有效积温

参照 Trimble (1990) 的方法设计试验。试验温度设置为: 13℃、15℃、18℃、21℃、24℃、

27℃ 和 30℃, 光周期为 L:D = 16:8, 相对湿度 RH 75% ± 10%。每个温度处理设置 3 次重复, 每次重复包含 30 头苹果绵蚜僵蚜。田间采集获得被寄生的苹果绵蚜僵蚜, 从中挑取个头较大且未羽化破壳的僵蚜放入试管中, 将试管放入设定好温度的人工气候箱中, 每天记录雌雄蚜小蜂的羽化数量。

1.2.2 非越冬代苹果绵蚜小蜂发育历期、发育起点温度以及有效积温

将有苹果绵蚜的枝条 (每个枝条上至少有 2 个蚜群, 蚜虫数量约为 100 - 200 头/枝) 放置在圆形糖果瓶 (2 L, 直径约 18 cm) 中, 按照雌雄比为 1:1 引入苹果绵蚜小蜂 180 对, 6 h 后移出蚜小蜂并将苹果枝条分别放置在不同温度下的人工气候箱中。气候箱温度设置为 13℃、15℃、18℃、21℃、24℃、27℃ 和 30℃, 光周期为 L:D = 16:8, 相对湿度 RH = 75% ± 10%。每 12 h 挑取变黑的苹果绵蚜僵蚜放入试管, 试管放入相应温度的气候箱中培养。每隔 12 h 记录出蜂时间及雌雄, 计算每头蜂的产卵 - 羽化阶段的发育历期, 每个温度处理至少包含 50 头蜂。将羽化的蚜小蜂放入相应温度的气候箱中进行单头观察直至死亡, 记录每头蜂的死亡时间, 计算成虫寿命。试验过程中未对成蜂补充营养, 遇到成虫逃逸或意外死亡的情况, 及时补充蚜小蜂。

1.2.3 数据处理方法

根据有效积温法则 ($T = C + KV$) 计算发育起点温度 (C) 和有效积温常数 (K) (丁岩钦, 1980, 1994)。实验数据采用 SPSS 14.0 和 Microsoft Excel 进行统计分析。计算公式如下:

$$C = \frac{\sum v^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}; K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

式中 C 为发育起点温度, T 为环境温度, K 为有效积温, V 为发育速率, n 为温度处理的个数。

1.2.4 苹果绵蚜小蜂发生代数实际调查与理论计算

2008 年在山东省济南市进行了苹果绵蚜小蜂的田间消长动态调查, 并根据该年每月平均温度和发育起点温度计算发生世代数 (N)。

计算公式: $N = K_1 / K$

其中 K_1 为该地全年的有效积温的总和, K 为发育一代所的有效积温。

2 结果与分析

2.1 越冬代苹果绵蚜小蜂发育历期、发育起点温度和有效积温

越冬代苹果绵蚜小蜂从滞育态幼虫到成蜂的发育历期见表 1, 各温度处理内雌蜂和雄蜂的发育历期 (N) 没有显著差异, 越冬代的苹果绵蚜小蜂在 13℃ - 27℃ 范围内, 发育历期均随温度 (T) 的升高而缩短, 发育速率 (V) 随温度的升

高而增高。但在 30℃ 时蚜小蜂的发育历期有所延长, 发育速率降低。这说明在一定范围内温度对蚜小蜂的发育有促进作用, 但温度过高时对蚜小蜂的发育有明显的抑制作用, 27℃ 为其发育的最适温度。

越冬代苹果绵蚜小蜂雌蜂和雄蜂发育起点温度和有效积温差异不显著 (表 2)。雌虫发育起点温度稍高, 有效积温稍低。越冬代苹果绵蚜小蜂发育起点温度在 8℃ - 9℃, 有效积温 147 - 161 日度。

表 1 不同温度下越冬代苹果绵蚜小蜂从滞育幼虫到成蜂的发育历期

Table 1 The developmental duration from diapauses larva to adult of overwintering generation of *Aphelinus mali* at different temperatures

温度 (°C) Temperature	雌/雄 Female/Male	发育历期 (d) Developmental period	发育速率 Developmental rate
13	雌 ♀	33.37 ± 0.86 a	0.0300
	雄 ♂	32.10 ± 1.96 a	0.0312
15	雌 ♀	29.45 ± 0.71 a	0.0421
	雄 ♂	30.32 ± 0.27 a	0.0453
18	雌 ♀	18.06 ± 0.48 b	0.0554
	雄 ♂	18.07 ± 0.58 b	0.0554
21	雌 ♀	11.03 ± 0.64 c	0.0906
	雄 ♂	11.25 ± 0.38 c	0.0889
24	雌 ♀	10.69 ± 0.47 cde	0.0936
	雄 ♂	10.92 ± 0.08 cd	0.0916
27	雌 ♀	6.83 ± 0.17 f	0.1463
	雄 ♂	6.67 ± 0.67 f	0.1500
30	雌 ♀	7.20 ± 0.20 ef	0.1389
	雄 ♂	7.33 ± 0.33 def	0.1364

注: 平均值 ± 标准误。表中同一列数据后相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 下同。Note: Mean ± SE were analyzed by one-way ANOVA/ Duncan, and those data followed by the same letter meant no significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 越冬代苹果绵蚜小蜂的发育起点温度和有效积温

Table 2 The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of overwintering generation of *Aphelinus mali*

雌/雄 Female/Male	回归方程 Regression equation	发育起点温度 (°C) Developmental threshold temperature	有效积温 (日度) Effective accumulated temperature (Day-degree)	决定系数 (R^2)
雌 ♀	$N = 148.7246 / (T - 8.5782)$	8.58 ± 0.13 a	148.72 ± 1.60 a	0.9822
雄 ♂	$N = 154.6823 / (T - 8.2247)$	8.22 ± 0.40 a	154.68 ± 4.83 a	0.9810
雌 + 雄 ♀ + ♂	$N = 151.6332 / (T - 8.4068)$	8.41 ± 0.33 a	151.63 ± 4.22 a	0.9818

2.2 非越冬代苹果绵蚜小蜂发育历期、发育起点温度和有效积温

非越冬代苹果绵蚜小蜂的发育历期如表 3 所示。从卵到羽化成蜂, 13℃ - 30℃ 范围内同一温度处理内苹果绵蚜小蜂雌雄蜂之间的发育历期差异不显著。13℃ 和 15℃ 低温处理之间其雌雄蜂发育历期差异亦不显著, 但随温度进一步升高其发育历期逐渐缩短, 发育速率逐渐提高。非越冬

代蚜小蜂在 30℃ 为最适温度, 其发育历期最短, 发育速度最快。13℃ 和 15℃ 处理苹果绵蚜小蜂的雌雄蜂间成虫寿命差异显著, 即雌蜂的寿命明显长于雄蜂。但其它温度处理中雌雄蜂发育历期差异不显著, 雌蜂寿命仅略长于雄蜂。在各温度处理之间苹果绵蚜小蜂发育历期差异显著, 呈现出发育历期随温度的升高而明显缩短的趋势。

表 3 非越冬代苹果绵蚜小蜂的发育历期

Table 3 The developmental period of non-overwintering generation of *Aphelinus mali*

温度 (℃) Temperature	雌/雄 Female/ Male	卵 - 羽化 (A) Egg-eclosion		成虫寿命 (b) Life span of adult		总历期 (d) Whole period		A/b
		发育历期 (d) Developmental period	发育速率 Developmental rate	发育历期 (d) Developmental period	发育速率 Developmental rate	发育历期 (d) Developmental period	发育速率 Developmental rate	
		13	雌 ♀	36.16 ± 1.84 a	0.0277	6.53 ± 0.39 a	0.1532	
	雄 ♂	37.35 ± 0.74 a	0.0268	4.18 ± 0.20 bc	0.2392	41.53 ± 0.93 a	0.0241	8.94
15	雌 ♀	37.08 ± 1.21 a	0.0270	4.78 ± 0.25 b	0.2094	41.86 ± 1.38 a	0.0239	7.76
	雄 ♂	36.44 ± 0.54 a	0.0274	3.78 ± 0.17 c	0.2643	40.23 ± 0.70 a	0.0249	9.63
18	雌 ♀	23.56 ± 0.35 b	0.0425	3.39 ± 0.10 cd	0.2947	26.95 ± 0.44 b	0.0371	6.94
	雄 ♂	22.71 ± 0.54 b	0.0440	2.78 ± 0.13 de	0.3592	25.49 ± 0.63 b	0.0392	8.16
21	雌 ♀	17.42 ± 0.32 c	0.0574	2.69 ± 0.12 def	0.3720	20.11 ± 0.43 c	0.0497	6.48
	雄 ♂	16.84 ± 0.32 cd	0.0594	1.86 ± 0.12 fgh	0.5388	18.69 ± 0.42 c	0.0535	9.07
24	雌 ♀	15.67 ± 0.31 cd	0.0623	2.49 ± 0.35 gh	0.3143	18.19 ± 0.41 c	0.055	6.29
	雄 ♂	16.20 ± 0.82 cd	0.0647	1.82 ± 0.24 gh	0.5792	18.04 ± 0.27 c	0.0521	8.90
27	雌 ♀	13.54 ± 0.45 de	0.0739	2.36 ± 0.13 efg	0.4237	15.90 ± 0.51 c	0.0629	5.74
	雄 ♂	15.97 ± 0.55 cd	0.0626	1.70 ± 0.11 gh	0.5891	17.60 ± 0.62 c	0.0568	9.41
30	雌 ♀	9.22 ± 0.37 f	0.1084	1.81 ± 0.10 gh	0.5525	11.03 ± 0.46 d	0.0906	5.10
	雄 ♂	10.25 ± 0.35 ef	0.0976	1.31 ± 0.11 h	0.7634	11.56 ± 0.44 d	0.0865	7.82

苹果绵蚜小蜂发育的各个阶段随着温度的升高, 发育速率总体呈加快趋势, 羽化前发育历期是羽化后发育历期的 5.1 - 9.6 倍 (A/b) (A: 卵 - 羽化阶段的发育历期; b: 成虫寿命) (屈振刚等, 2004), 且该倍数在不同温度下雄蜂均大于雌蜂, 这主要是由于雌蜂寿命高于雄蜂所造成的。

非越冬代苹果绵蚜小蜂的卵至羽化阶段发育起点温度雌蜂高于雄蜂 (见表 4), 但差异不显著, 均在 5℃ - 6℃, 明显高于越冬代的发育起点温度 (8℃ - 9℃)。有效积温雄蜂略高于雌蜂, 但差异不显著, 均在 280 - 300 日度, 明显低于越冬代的有效积温 (147 - 161 日度)。

3 结论与讨论

关于苹果绵蚜小蜂的发育起点温度以及有效积温, 上世纪九十年代澳大利亚学者 (Asante and Danthararayana, 1992) 和中国云南学者 (唐业忠等, 1991) 分别对澳大利亚和云南种群进行过研究, 所采用的试验方法类似, 但研究结果不同。本文借鉴前人的方法, 在山东地区系统的对该蜂的发育起点温度和有效积温进行了研究, 发现山东地区的苹果绵蚜小蜂发育全世代有效积温为雌雄蜂分别为 326.26 和 329.33 日度, 明显大

表4 非越冬代苹果绵蚜蚜小蜂的发育起点温度和有效积温
Table 4 The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of non-overwintering generation *Aphelinus mali*

时期 Stage	雌/雄 Femle/Male	回归方程 Regression equation	发育起点温度(°C) Developmental threshold temperature	有效积温 (Day-degree) Effective accumulated temperature	决定系数 (R^2)
卵 - 羽化 Egg-Eclasion	雌 ♀	$N = 286.4008 / (T - 5.6160)$	$5.62 \pm 0.18 a$	$284.40 \pm 0.96 a$	0.9222
	雄 ♂	$N = 295.6081 / (T - 5.5505)$	$5.55 \pm 0.10 a$	$295.61 \pm 5.31 a$	0.9308
	雌 + 雄 ♀ + ♂	$N = 291.0003 / (T - 5.5616)$	5.56 ± 0.12	291.00 ± 4.17	0.9233

于澳大利亚种群的 252.8 和 256.7 日度,但小于我国云南种群的 375.51 日度。结合这 3 个地区的纬度以及气候条件,推测这种差异可能是不同纬度及气候条件下苹果绵蚜蚜小蜂长期适应当地环境引起的。

影响苹果绵蚜蚜小蜂和苹果绵蚜生长发育的环境因子包括温度、湿度、光照等非生物因子,其中温度是决定他们是否能生存以及发生代数的关键因子。本研究发现苹果绵蚜蚜小蜂越冬代的发育起点温度明显高于非越冬代,这样苹果绵蚜蚜小蜂可以避免早春气温低波动大的不利环境。越冬代苹果绵蚜蚜小蜂的发育历期随着温度的升高而减小,适当的温度条件有利于苹果绵蚜蚜小蜂滞育状态的解除,温度可能是苹果绵蚜蚜小蜂滞育解除关键因素。而各温度处理内苹果绵蚜寄生蜂雌蜂和雄蜂的发育历期没有显著差异,说明雌雄蜂发育是同步的,这与它们长期进化过程中的相互适应有关。山东地区苹果绵蚜一年发生 13-18 代(阴启忠等,2006),而苹果绵蚜蚜小蜂一年发生 10-11 代,苹果绵蚜的最适发育温度低于苹果绵蚜蚜小蜂,二者发育不同步,这是苹果绵蚜蚜小蜂在果园同样不能控制苹果绵蚜为害的主要原因之一。对于其主要天敌苹果绵蚜蚜小蜂来说,为了充分利用该蜂对苹果绵蚜的控制作用,冬季收集被蚜小蜂寄生的苹果绵蚜蚜群,在 0-5°C 低温条件贮存,于 5 月初苹果绵蚜大量繁殖前将蚜群取出分挂于果园内,该蜂羽化后寄生苹果绵蚜,控制苹果绵蚜的为害(张淑敏,2000)。

2008 年 3-11 月山东地区的平均气温分别为 8.8°C、14.5°C、20.2°C、23.0°C、25.8°C、25.4°C、21.2°C、16.0°C 和 7.7°C(丛春华等,2008;高留喜等,2008;周雪松等,2008)计算出全年对苹果绵蚜蚜小蜂所能提供的有效积温(K_1)为 3421.9 日度,山东地区一年发生代数为 $3421.9/327.67 =$

10.44,即 10-11 代。非越冬代苹果绵蚜蚜小蜂完成一个世代的发育历期 15°C 时需 41 d,18°C 时需 26 d,21°C 时需 19 d,24°C 时需 18 d,27°C 以上完成一个发育历期仅需要 11-15 d,故该虫在 4-5 月能发生 2 代左右,6-8 月份每月可发生 2-3 代,9 月之后发生 1-2 代即停止发育。山东地区的田间调查表明:该寄生蜂 1 年发生 10-12 代,自 5 月中下旬至 10 月上旬均有成虫发生。10 月中下旬以幼虫在寄主体内开始越冬。每代所需之日数,因气温高低而不同。田间调查结果和试验结果基本一致。山东地区 2008 年 3-5 月的平均气温分别为 8.8°C、14.5°C、20.2°C(丛春华等,2008),试验测得越冬代羽化有效积温为 151.63 日度,发育起点温度为 8.41°C,可以计算出 3 月份对苹果绵蚜蚜小蜂提供的有效积温(K)为 $(8.8°C - 8.41°C) \times 31 d = 12.09$ 日度,据此可以推测 4 月份达到苹果绵蚜蚜小蜂羽化所需要的天数为 $(151.63 - 12.09) / (14.5 - 8.41) = 22.91$,即 23 d 左右。参照于毅等(2000)推测小花蝽的田间羽化日期的方法,推测出 2008 年苹果绵蚜蚜小蜂的越冬代在田间羽化时间应为 4 月 23 日。这些推测结果与调查的山东地区蚜小蜂田间发生规律基本吻合,也与同行研究结果一致(杨勤民等,2008;马明等,2008)。田间调查显示 2008 年苹果绵蚜蚜小蜂在山东地区越冬代成虫 4 月中下旬羽化,5 月上中旬开始寄生苹果绵蚜。

本实验是在人工气候箱内恒温条件下进行的,其它环境因子如湿度、光周期和光照强度等均为固定值,有效积温法则利用的温度是恒温,然而自然变温条件下昆虫的发育速率与恒温条件下相比存在一定的差异。预测时所用温度为气象台发布的平均气温,与昆虫栖息环境的小气候亦有一定的差异。因此本文根据试验结果计算出的发育起点温度以及有效积温与其在自然变温条件下的

实际发育情况存在一定差异,但实际工作中仍具有参考价值,为准确预测苹果绵蚜蚜小蜂的发生代数、发生规律提供了科学依据。

参考文献 (References)

- Asante SK, Natural enemies of the woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Homiptera: Aphididae): A review of the world literature [J]. *Plant Protection Quarterly*, 1997, 2 (4): 166 - 172.
- Asante SK, Danthanarayana W, Development of *Aphelinus mali* an endoparasitoid of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* at different temperatures [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1992, 65: 1, 31 - 37.
- Cong CH, Gao L, Tang ZD, et al. The review of Shandong weather in the spring (March - May) in 2008 [J]. *Journal of Shandong Meteorology*, 2008, 2: 40 - 42. [丛春华, 高理, 汤子东, 等. 2008 年春季 (3 - 5 月) 山东天气评述 [J]. 山东气象, 2008, 2: 40 - 42]
- Ding YQ. The Principle and Application of Mathematical Ecology of Insect Population [M]. Beijing: Science Press, 1980, 214 - 223. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1980, 214 - 223]
- Ding YQ. Mathematical Ecology of Insects [M]. Beijing: Science Press, 1994, 318 - 326. [丁岩钦. 昆虫数学生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1994, 318 - 326]
- Gao LX, Liu CH, Wan MB, et al. The review of Shandong weather in the autumn (September - November) in 2008 [J]. *Journal of Shandong Meteorology*, 2008, 4: 60 - 63. [高留喜, 刘畅, 万明波, 等. 2008 年秋季 (9 - 11 月) 山东天气评述 [J]. 山东气象, 2008, 4: 60 - 63]
- Kuang RP, Shan F, Tang YZ, et al. Evaluation of a natural enemies of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hallsn) [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1989, 11 (2): 51 - 56. [况荣平, 单方, 唐业忠, 等. 苹果绵蚜天敌的评价 [J]. 昆虫天敌, 1989, 11 (2): 51 - 56]
- Li XY, Zhao GH, Shi AX, et al. Occurrence of *Euborellia pallipes* Shiraki and its predation on *Eriosoma lanigerum* Hausmann [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (3): 273 - 276. [李向永, 赵高慧, 石安宪, 等. 黄足肥螋的发生及其对苹果绵蚜的捕食作用 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (3): 273 - 276]
- Long CD, Wang YP, Tang PZ. Investigations on the biology and utilization of *Aphelinus mali* Haldeman, the specific parasite of the woolly apple aphids [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1960, 10 (1): 1 - 39. [龙承德, 王永佩, 唐品志. 苹果绵蚜寄生蜂 *Aphelinus mali* (Haldeman) 的生物学特性和其利用研究 [J]. 昆虫学报, 1960, 10 (1): 1 - 39]
- Ma M, Guo JY, Tan XM, et al. *Aphelinus mali* (Haldeman) - A potentially effective parasitoid of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) [J]. *Entomologic Journal of East China*, 2008, 17 (1): 71 - 75. [马明, 郭建英, 谭秀梅, 等. 苹果绵蚜蚜小蜂 - 对苹果绵蚜有控制潜能的寄生蜂 [J]. 华东昆虫学报, 2008, 17 (1): 71 - 75]
- Qiu MB. Studies on the spread, damage rate and control techniques of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* in Jiaodong Area [J]. *Entomological Journal of East China*, 1997, 6 (2): 39 - 45. [邱名榜. 胶东半岛苹果绵蚜的扩散为害及防治研究 [J]. 华东昆虫学报, 1997, 6 (2): 39 - 45]
- Qu ZG, Wang JY, Zhu LY. Study on development durations, accumulated temperature and developmental zero of *Microplitis tuberculifer* Wesmael [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2004, 19 (4): 100 - 101. [屈振刚, 王金耀, 祝丽英. 管侧沟茧蜂发育历期、发育起点及有效积温研究 [J]. 华北农学报, 2004, 19 (4): 100 - 101]
- Tang YZ, Zhao WY, Kuang RP, et al. A simulation of interspecific relationship between woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Haus.) and its parasite *Aphelinus mali* (Hald.) I. The comparative study of biology and ecology of woolly apple aphid and its parasite [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11 (1): 54 - 59. [唐业忠, 赵万源, 况荣平, 等. 苹果绵蚜与苹果绵蚜蚜小蜂种间关系的模拟研究 I. 两种群生物学的数量特征比较 [J]. 生态学报, 1991, 11 (1): 54 - 59]
- Trimble RML, Blommers HM, Helsen HHM. Diapause termination and thermal requirements for post diapause development in *Aphelinus mali* at constant and fluctuating temperatures [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1990, 56: 61 - 69.
- Yang QM, Cheng ED, Wang XG, et al. Seasonal abundance of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* and its parasitic wasp, *Aphelinus mali* and community structure of woolly apple aphid and its natural enemies in south western area of Shandong Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (6): 2635 - 2643. [杨勤民, 程二东, 王希国, 等. 鲁西南地区苹果绵蚜及其天敌种群动态与群落结构特征 [J]. 生态学报, 2008, 28 (6): 2635 - 2643]
- Yin QZ, Zhang Y, Gong YM. Occurring situation and control strategy of woolly apple aphid in Shandong Province [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2006, 1: 56 - 57. [阴启忠, 张勇, 宫永铭. 山东省苹果绵蚜发生现状及防治对策 [J]. 山东农业科学, 2006, 1: 56 - 57]
- Yu Y, Zhang AS, Feng JG, et al. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Orius sauteri* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2000, 6: 29 - 30. [于毅, 张安盛, 冯建国, 等. 东亚小花蝽发育起点温度和有效积温的研究 [J]. 山东农业科学, 2000, 6: 29 - 30]
- Zhang SM. The natural enemy of woolly apple aphid - *Aphelinus mali* (Haldeman) and its utilization [J]. *Shanxi Fruits*, 2000, 4: 41. [张淑敏. 苹果绵蚜的天敌 - 日光蜂及其利用 [J]. 山西果树, 2000, 4: 41]
- Zhou XS, Zhang SL, Wang H, et al. The review of Shandong weather in the spring (June - August) in 2008 [J]. *Journal of Shandong Meteorology*, 2008, 3: 57 - 59. [周雪松, 张少林, 王晖, 等. 2008 年春季 (6 - 8 月) 山东天气评述 [J]. 山东气象, 2008, 3: 57 - 59]