温度对胡萝卜微管蚜生长发育繁殖的影响*

王董秀** 李学军*** 王 宁

（沈阳师范大学，辽宁省生物进化与生物多样性重点实验室，沈阳 110034）

摘 要 【目标】明确温度对胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei*（Takahashi）生长发育和繁殖的影响。【方法】在室内 5 个温度梯度下（19、22、25、28、31℃）观察并比较胡萝卜微管蚜的发育历期、存活率、存活寿命及产仔量。【结果】 在 19~31℃范围内，胡萝卜微管蚜各龄期及完整世代的发育历期均随着温度的升高而缩短，完成一个世代分别需要 22.17、17.13、12.57、10.03 和 7.83 d。温度与发育速率呈极显著相关（P<0.01，r>0.8），温度越高发育速率越快。胡萝卜微管蚜 4 个若蚜期和世代的发育起点分别为 14.15、13.87、13.64、15.06、12.92℃，有效积温分别为 29.98、29.30、28.54、24.00 和 144.21 日·度。建立了胡萝卜微管蚜各个发育阶段的历期预测式。在 5 个恒温下胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的存活率随温度的变化而小幅波动。在 19~31℃范围内，该蚜虫世代的存活率分别为 40.0%、52.5%、62.5%、60.0%和 47.5%。25℃该蚜虫的存活率相对较高，1~4 龄及世代的存活率分别为 82.5%、81.8%、92.6%、100%和 62.5%。在相同温度条件下该蚜虫不同发育阶段的存活率存在差异。存活寿命随着温度的升高而缩短，19℃时寿命最长，为 33.30 d，31℃时寿命最短，为 15.40 d。产仔期随着温度的升高而缩短，19℃时产仔期为 11.13 d，31℃时为 7.57 d。在 19~31℃范围内，该蚜虫的单雌产仔总量分别为 26.33、27.93、32.53、27.13 和 17.93 头。【结论】 温度是影响胡萝卜微管蚜的生长发育、存活和繁殖的重要因素。25℃时胡萝卜微管蚜各龄期及世代的发育历期较短，存活率较高，单雌产仔总量最大。25℃较适合该蚜虫生长发育和繁殖。

关键词 胡萝卜微管蚜，发育历期，发育起点，有效积温，存活，繁殖

Influence of temperature on the development, survival and reproduction of *Semiaphis heraclei* (Takahashi)

WANG Jin-Xiu** LI Xue-Jun*** WANG Ning

(Liaoning Key Laboratory of Biodiversity and Evolution, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the effects of temperature on the development, survival and reproduction of *Semiaphis heraclei* (Takahashi). **[Methods]** The developmental duration, survival rate, and fecundity, of *S. heraclei* were measured and compared at five different temperatures (19, 22, 25, 28 and 31℃). **[Results]** The developmental duration of 1st to 4th instar nymphs, and of one complete generation of *S. heraclei*, was significantly shortened by higher temperatures within the range of 19~31℃. The periods required to reach maturity at 19, 22, 25, 28 and 31℃, were 22.17, 17.13, 12.57, 10.03 and 7.83 days, respectively. According to the rule of effective accumulative temperature, the developmental threshold temperatures of 1st to 4th instar nymphs, and of one complete generation, at each of the five temperatures tested were 14.15, 13.87, 13.64, 15.06 and 12.92℃, and 29.98, 29.30, 28.54, 24.00 and 144.21 degree days, respectively. The developmental durations of all stages of *S. heraclei* were predicted. At the five temperatures tested, the survival rates of 1st to 4th instar nymphs and of one complete generation were characterized by small wave motion with changing temperature. The overall survival rates of *S. heraclei* at 19, 22, 25, 28 and 31℃ were 40.0%, 52.5%, 62.5%, 60.0% and 47.5%, respectively. At 25℃, survival rates were relatively high, those for 1st to 4th instar nymphs and of one complete generation were 82.5%, 81.8%, 92.6%, 100% and 62.5%, respectively. Survival rates at the same temperature differed between developmental stages. The longevity of *S. heraclei* from birth to death

*资助项目 Supported projects：公益性行业（农业）科研专项经费资助（201103022）

**第一作者 First author，E-mail：446534830@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lixj7890@163.com

收稿日期 Received：2016-01-11，接受日期 Accepted：2016-05-12

decreased with temperature. At 19℃, the longevity of *S. heraclei* was 33.30 days, however, at 31℃, longevity was 15.40 days. The duration of oviposition also decreased with temperature. At 19℃, oviposition duration was 11.13 days but at 31℃ oviposition duration was 7.57 days. Fecundity at 19, 22, 25, 28 and 31℃, was 26.33, 27.93, 32.53, 27.13 and 17.93 per female, respectively. **[Conclusion]** Temperature is an important factor that affects the growth, development, survival and reproduction of *S. heraclei*. Developmental duration was shortest, and survival rate and total fecundity highest, at 25℃. We conclude that 25℃ is the optimal temperature for the development, survival and reproduction of *S. heraclei.*

Key words *Semiaphis heraclei*, developmental duration, developmental temperature, effective accumulated temperature, survival, reproduction

胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei*（Takahashi）又名芹菜蚜，隶属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 半蚜属 *Semiaphis* van der Goot。广泛分布在广东（简美玲等，2011）、广西（欧善生等，2011b）、重庆（刘春等，2009；张应和李隆云，2011）、四川（严吉明等，2010）、北京（张晓曼等，2015）、河北（贺献林等，2015）、安徽（向玉勇等，2012）、陕西（向琼等，2005）、山东（孙莹等，2013）、吉林、辽宁、福建、云南、新疆等省区，而且在朝鲜、日本、印度尼西亚、印度及美国（夏威夷）也有分布（张广学，1999）。胡萝卜微管蚜是伞形花科蔬菜、中草药以及忍冬科金银花的重要害虫，主要为害寄主植物的茎、嫩梢、叶和花蕾。若蚜和成蚜群集在嫩叶背面和嫩茎上刺吸汁液，使叶片向背面卷缩，导致光合作用下降，叶片发黄，花蕾畸形变色，其排泄物可诱发煤烟病。芹菜上已鉴定的蚜传病毒为芹菜花叶病毒（CeMV）和黄瓜花叶病毒（CMV）（Iwaki and Komuro，1970；Chao and Chen，1991；罗华元和濮祖芹，1991；李省印等，2004），胡萝卜微管蚜是主要的传播介体。有研究表明胡萝卜微管蚜在芹菜上的传毒率为 63.33%（王述彬和濮祖芹，1991）。胡萝卜微管蚜为害后对植株生长发育、产量和质量有较大的影响（张芳等，2012；张金等，2014；刘磊等，2015；张应等，2015）。有研究报道金银花园的蚜虫叶害率平均 38.31%，最高达 91.37%（欧善生等，2011b）。2015 年作者调查了温室内芹菜上胡萝卜微管蚜的种群动态，调查数据显示胡萝卜微管蚜发生高峰期单株平均蚜量为 132.27 头。

目前主要依靠化学农药防治（欧善生等，2011a；何秉青等，2014），已经造成中药材农药残留和环境污染等问题（陈仕江和金仕勇，2001；程惠珍等，2001；崔忠宝等，2005）。据调查，胡萝卜微管蚜是辽宁地区芹菜主要害虫之一，随着设施蔬菜产业的发展，芹菜种植面积不断扩大，该蚜虫的发生和危害日趋严重。农业生产上急需详细了解该害虫的发生规律，为有效防控提供基础信息支撑。

国内已有相关学者对该蚜虫在不同地区的为害、防治方法、空间分布规律以及物候规律等作了研究报道（姚银华等，2008；欧善生等，2011a；苏桂花等，2011；向玉勇等，2012；张应等，2012；孙莹等，2013），而环境温度作为影响蚜虫生长发育、存活和繁殖等生命活动的重要生态因子，对蚜虫的生物学特性和种群数量变化具有重要影响（张润志等，1999；宫亚军等，2006；苗伟等，2008；马亚玲和刘长仲，2014；周晓榕等，2015）。但迄今，有关环境温度对胡萝卜微管蚜生长发育繁殖影响的研究鲜见报道。作者于 2014—2015 年在辽宁沈阳（沈阳师范大学）研究并观察了不同温度条件对胡萝卜微管蚜生长发育繁殖的影响。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

实验蚜虫采自沈阳师范大学日光温室。在温室内种植芹菜（津南实芹、玻璃脆、西芹）、胡萝卜（七寸红）饲养胡萝卜微管蚜。将采集的胡萝卜微管蚜转接到实验室水培芹菜苗上饲养。待成蚜产仔后，用毛笔轻轻将若蚜转移到无蚜的芹菜苗上继续饲养。重复上述操作 3~5 次，至芹菜苗不表现病毒感染症状，以保证供试虫源不带病

毒。用芹菜苗大量繁殖蚜虫，挑选待产仔的成蚜作为供试虫源。

1.2 试验方法

1.2.1 温度对胡萝卜微管蚜生长发育的影响

将人工气候箱设为 19、22、25、28、31℃，温度误差为±0.5℃，湿度为 70%±5%，光周期为 L∶D=14∶10，光照强度为 8 000 lx。使用改良后叶子圆片法饲养蚜虫（刘树生，1987），用脱脂棉球包住芹菜（津南实芹）叶柄部保湿，放在直径 9 cm 聚丙烯材料的养虫盒中，在养虫盒底部铺放脱脂棉和滤纸，加水湿润用来保持水分。每个温度处理无翅孤雌蚜 30 头，单头、单盒饲养。在芹菜叶片上接成蚜，待成蚜产仔蚜时只留下 1 头若蚜，移除成蚜及多余若蚜。每 12 h 观察 1 次（8:00 和 20:00），根据个体的蜕皮情况，记录各处理若蚜的发育历期，同时移去死亡蚜虫和皮蜕，至成蚜期为止。清理更换养虫盒内滤纸，每 5 d 更换一次芹菜叶片。

1.2.2 温度对胡萝卜微管蚜存活的影响 每个温度处理无翅孤雌蚜 40 头，单头、单盒饲养。在芹菜叶片上接成蚜，待成蚜产仔蚜时只留下 1 头若蚜，除去成蚜及多余若蚜。每天 20:00 点观察一次，根据个体的蜕皮和存活情况，记录各处理若蚜的龄期、死亡数，同时移去死亡蚜虫和皮蜕，至完成一个世代为止。清理更换养虫盒内滤纸，每 5 d 更换一次芹菜叶片。

1.2.3 温度对胡萝卜微管蚜繁殖的影响 每个温度处理无翅孤雌蚜 30 头，单头、单盒饲养。在芹菜叶片上接 1 头 4 龄若蚜，待到成蚜初次产仔蚜时，记录成蚜每日产仔数量、产仔期，同时移去仔蚜，至成蚜死亡为止。

1.3 数据分析

采用 SPSS 20.0 软件，对不同温度下胡萝卜微管蚜的发育历期、产仔期、存活寿命、产仔量等数据进行正态分布检验。符合正态分布的数据进行 One-way ANOVA 分析，符合方差齐次性的数据用 LSD 最小显著性差异法作多重比较，方差不齐性的数据用 Tamhane's T_2（M）法。不符合正态分布的数据进行 Kruskal-wallis H（K）检验，然后使用 SPSS 秩和检验方法进行多重比较（刘万里等，2007；祁海萍和申希平，2015）。

温度与发育速率相关性检验（Spearman 相关），在两者呈显著相关的情况下，利用最小二乘法计算发育起点（C）、有效积温（K）、发育起点标准误（S_C）和有效积温标准误（S_K），建立直线回归方程式和发育历期预测式（李学军等，2004；孙慧敏等，2006；王淑贤等，2009；文礼章，2010；向玉勇等，2011；韦昌华等，2011；夏莹莹等，2014）。对不同温度下胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的存活率进行 Pearson 卡方检验。

计算公式：

$$V=\frac{1}{N}\quad C=\frac{\sum V^2\sum T-\sum V\sum VT}{n\sum V^2-\left(\sum V\right)^2},$$

$$K=\frac{n\sum VT-\sum V\sum T}{n\sum V^2-\left(\sum V\right)^2},$$

$$S_C=\sqrt{\left(\frac{\sum\left(T-T'\right)^2}{n-2}\times\left(\frac{1}{n}\times\frac{\overline{V^2}}{\sum\left(V-\overline{V}\right)^2}\right)\right)},$$

$$S_K=\sqrt{\frac{\sum\left(T-T'\right)^2}{\left(n-2\right)\times\sum\left(V-\overline{V}\right)^2}}。$$

T 为试验温度，T' 为求得的温度的理论值，V 为发育速率，C 为发育起点温度，K 为有效积温，n 为设置温度梯度组数。

2 结果与分析

2.1 温度对发育历期的影响

利用 SPSS 20.0 对其发育历期数据进行检验。不同恒温下其发育历期数据均不符合正态分布（P<0.05），进行 Kruskal-wallis H（K）单向评秩方差分析。结果表明，温度对胡萝卜微管蚜 1 龄（χ^2=122.512，df=4，P<0.01）、2 龄（χ^2=122.545，df=4，P<0.01）、3 龄（χ^2=122.450，df=4，P<0.01）、4 龄（χ^2=123.036，df=4，P<0.01）和世代（χ^2=142.742，df=4，P<0.01）的发育历期均有极显著影响。

实验获得不同恒温下胡萝卜微管蚜的发育

历期（表 1）。在 19~31℃范围内，胡萝卜微管蚜完成一个世代分别需要 22.17、17.13、12.57、10.03 和 7.83 d。该蚜虫 1~4 龄及世代的发育历期均随着温度的升高而缩短，即温度越高，完成一个龄期或世代所经历的时间越短。

对不同恒温与胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的发育速率进行相关性检验（Spearman 相关），结果表明温度与发育速率呈极显著相关（$P<0.01$，$r>0.8$）。即在 19~31℃范围内，温度越高发育速率越快。该蚜虫不同龄期的发育速率存在一定差异，4 龄发育速率较快，1 龄发育速率相对较慢（图 1）。

2.2　发育起点和有效积温

根据表 1 中不同温度下胡萝卜微管蚜各龄期及世代的发育历期与对应的温度，采用最小二乘法分别求其发育起点温度、有效积温以及标准误（表 2）。结果表明，胡萝卜微管蚜 4 个若蚜期和世代的发育起点分别为 14.15、13.87、13.64、15.06、12.92℃，有效积温分别为 29.98、29.30、28.54、24.00 和 144.21 日·度。胡萝卜微管蚜 1~4 龄的有效积温随着龄期的增加而降低。

2.3　发育历期预测式的建立

依据回归方程式和误差估计值，建立了各个发育阶段的历期预测式（表 3）。利用发育历期预测式，结合当地实时监测的温度，可以预测胡萝卜微管蚜某一龄期及世代出现的时间。利用室内观测结果验证该发育历期预测试，当室内平均温度为 25.70℃，湿度 48.56%时，该蚜虫 1~4 龄及世代的发育历期分别为 2.60、2.48、2.37、2.26 和 11.28 d，此结果与实际观测值基本吻合。

2.4　温度对存活的影响

2.4.1　温度对存活率的影响　对 5 个恒温下胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的存活率进行 Pearson

表 **1**　不同温度下胡萝卜微管蚜的发育历期（**d**）（**2015**，沈阳）

Table 1　The developmental duration of *Semiaphis heraclei* in different temperatures (d) (2015, Shenyang)

温度 Temperature (℃)	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	世代 Total generation
19	5.33±0.66	5.07±0.69	4.80±0.55	4.53±0.51	22.17±0.65
22	3.90±0.61	3.67±0.55	3.67±0.66	3.70±0.60	17.13±0.82
25	2.93±0.64	2.67±0.61	2.53±0.51	2.63±0.49	12.57±0.86
28	2.33±0.48	2.23±0.43	2.13±0.35	2.00±0.59	10.03±0.85
31	1.70±0.53	1.63±0.49	1.60±0.56	1.43±0.50	7.83±0.70

表中数据为平均值±标准差。

Data are mean±SD.

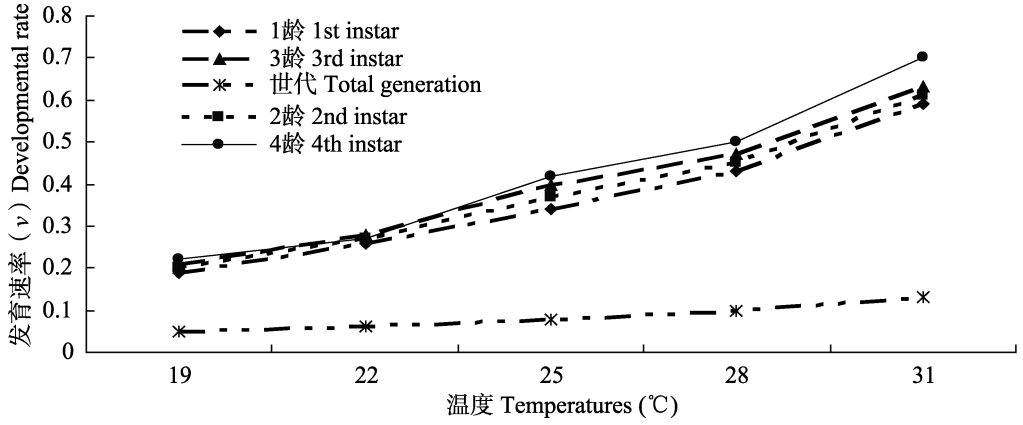

图 **1**　不同温度下胡萝卜微管蚜发育速率比较（**2015**，沈阳）

Fig. 1　The comparision of the developmental rate of *Semiaphis heraclei* in different temperatures (2015, Shenyang)

表 2 胡萝卜微管蚜各龄期发育起点温度和有效积温（2015，沈阳）
Table 2 The developmental threshold temperature and the effective accumulation temperature of *Semiaphis heraclei* (2015, Shenyang)

发育阶段 Development stage	发育起点 C（℃） Threshold temperature	标准误 S_C Standard error	有效积温 K（日·度） Accumulated temperature	标准误 S_K Standard error
1 龄 1st instar	14.15	0.43	29.98	3.09
2 龄 2nd instar	13.87	1.06	29.30	2.62
3 龄 3rd instar	13.64	1.00	28.54	2.37
4 龄 4th instar	15.06	1.39	24.00	3.11
世代 Total generation	12.92	1.01	144.21	11.42

表 3 不同温度下胡萝卜微管蚜各个发育阶段的回归方程和历期预测式（2015，沈阳）
Table 3 The regression equation and the development duration predictions for each stage of *Semiaphis heraclei* in different temperatures (2015, Shenyang)

发育阶段 Development stage	温度（T）与发育速率（V）的回归方程式 $T=C+KV$ Developmental rate model	相关系数（r） Correlation coefficient	历期预测式 Duration prediction $N=\frac{K\pm S_K}{T-(C\pm S_C)}$
1 龄 1st instar	T=14.15+29.98V	0.903**	$N1=\frac{29.98\pm3.09}{T-(14.15\pm0.43)}$
2 龄 2nd instar	T=13.87+29.30V	0.900**	$N2=\frac{29.30\pm2.62}{T-(13.87\pm1.06)}$
3 龄 3rd instar	T=13.64+28.54V	0.897**	$N3=\frac{28.54\pm2.37}{T-(13.64\pm1.00)}$
4 龄 4th instar	T=15.06+24.00V	0.904**	$N4=\frac{24.00\pm3.11}{T-(15.06\pm1.39)}$
世代 Total generation	T=12.92+144.21V	0.979**	$N5=\frac{144.21\pm11.42}{T-(12.92\pm1.01)}$

**表示温度 T 与发育速度 V 呈极显著正相关（P<0.01）。
** indicates that the temperature and growth rate are extremely significant correlation (P<0.01).

卡方检验。结果表明，不同恒温下胡萝卜微管蚜存活率差异不显著（P>0.05）。在 19℃和 28℃时，2 龄若蚜的存活率差异显著（X^2=4.030，P<0.05）；在 19℃和 25℃时，胡萝卜微管蚜 4 龄及完成一个世代的存活率差异显著（P<0.05）。

在 5 个恒温下胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的存活率随温度的变化而小幅波动（图 2）。在 19~31℃范围内，该蚜虫世代的存活率分别为 40.0%、52.5%、62.5%、60.0%和 47.5%。25℃该蚜虫的存活率相对较高，1~4 龄及世代的存活率分别为 82.5%、81.8%、92.6%、100%和 62.5%。同一温度下该蚜虫不同龄期的存活率也存在差异，在 25℃条件下，3~4 龄若蚜的平均存活率为 96.3%，比 1~2 龄的存活率高 14.2%。

2.4.2 温度对寿命的影响 不同温度下的寿命符合正态分布（P>0.05），进行 One-way ANOVA 方差分析，结果表明温度对胡萝卜微管蚜的寿命影响差异极显著（F=203.965，df=4，P<0.01）。用 LSD 最小显著性差异法对不同温度胡萝卜微管蚜的寿命作多重比较，差异均显著。在 5 个温度梯度下，该蚜虫从仔蚜产出至死亡，存活寿命随着温度的升高而缩短。19℃时寿命最长，为 33.30 d，31℃时寿命最短，为 15.40 d（表 4）。

2.5 温度对繁殖的影响

不同恒温下胡萝卜微管蚜的产仔量（单雌日产仔量、单雌产仔总量）和产仔高峰日的数据符合正态分布（P>0.05），进行 One-way ANOVA 单因素方差分析。产仔期、日最大产仔量数据不符合正态分布（P<0.05），进行 Kruskal-wallis H

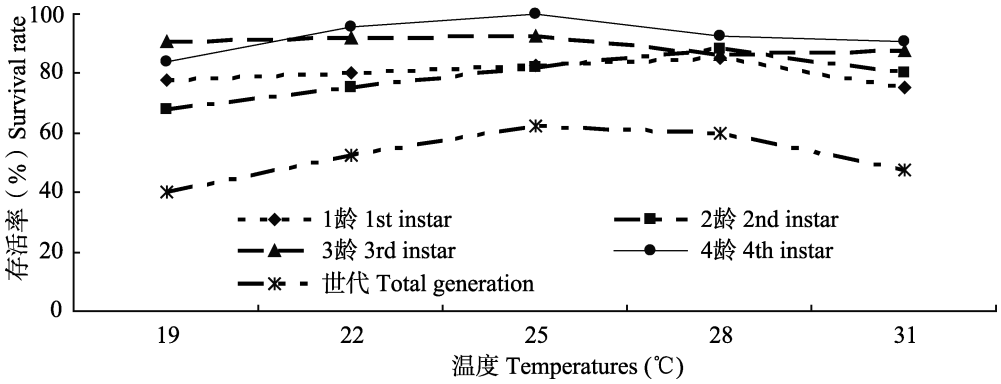

图 2　不同温度条件下胡萝卜微管蚜的存活率（2015，沈阳）

Fig. 2　The survival rate of *Semiaphis heraclei* at different temperatures (2015, Shenyang)

表 4　不同温度下胡萝卜微管蚜寿命（2015，沈阳）

Table 4　The longevity of *Semiaphis heraclei* at different temperatures (2015, Shenyang)

温度 Temperature (℃)	平均寿命 Mean longevity (d)	最长寿命 Longest longevity (d)	最短寿命 Shortest longevity (d)
19	33.30±3.06	40	28
22	27.03±3.26	34	21
25	22.37±2.71	28	17
28	18.60±2.28	23	15
31	15.40±2.01	19	11

（K）单向评秩方差分析。

结果表明，温度对该蚜虫单雌日产仔量的影响差异显著（F =11.870，df =4，P<0.01）。在 5 个恒温下，该蚜虫的单雌日平均产仔量分别为 2.33、2.88、3.29、3.21 和 2.34 头，25℃时最高（表 5）。温度对日最大产仔量的影响差异显著（X^2=24.810，df =4，P<0.01）。25℃时其日产仔量最大，为 6.30 头。19℃时最小，为 4.93 头。温度对产仔期的影响差异显著（X^2=28.294，df =4，P<0.01），产仔期随着温度的升高而缩短，19℃时产仔期最长，为 11.13 d，比 31℃时的产仔期长 3.56 d。该蚜虫从开始产仔至产仔高峰日分别为

表 5　不同温度下胡萝卜微管蚜的繁殖（2015，沈阳）

Table 5　The fecundity of *Semiaphis heraclei* in different temperatures (2015, Shenyang)

温度（℃）Temperatures	产仔期（d）Oviposition duration	开始产仔至产仔高峰日（d）Start production to production peak day	单雌日产仔量（头）/d Oviposition amount per female per day	日最大产仔量（头）Maximum oviposition amount per day	单雌产仔总量（头）Total oviposition amount per female
19	11.13±3.07^{a}	4.20±2.81^{bc}	2.33±0.57^{b}	4.93±1.01^{b}	26.33±10.44^{a}
22	9.90±3.02^{ab}	5.24±2.26^{ac}	2.88±0.65^{ac}	5.77±1.57^{a}	27.93±8.97^{a}
25	9.80±2.38^{bc}	5.80±2.98^{a}	3.29±0.85^{a}	6.30±1.12^{a}	32.53±12.25^{a}
28	8.57±2.03^{cd}	4.38±2.21^{bc}	3.21±0.55^{a}	6.10±1.21^{a}	27.13±6.63^{a}
31	7.57±1.96^{d}	3.57±1.98^{b}	2.34±0.95^{bc}	5.10±1.56^{b}	17.93±9.10^{b}

表中数据为平均值±标准差，数据后标有不同小写字母表示经 LSD 或 SPSS 秩和检验方法进行多重比较后差异显著（P <0.05）。

Data are mean±SD. The different small letters indicate significantly different at 0.05 level by LSD or nonparametic test and multiple comparisons in SPSS (P <0.05).

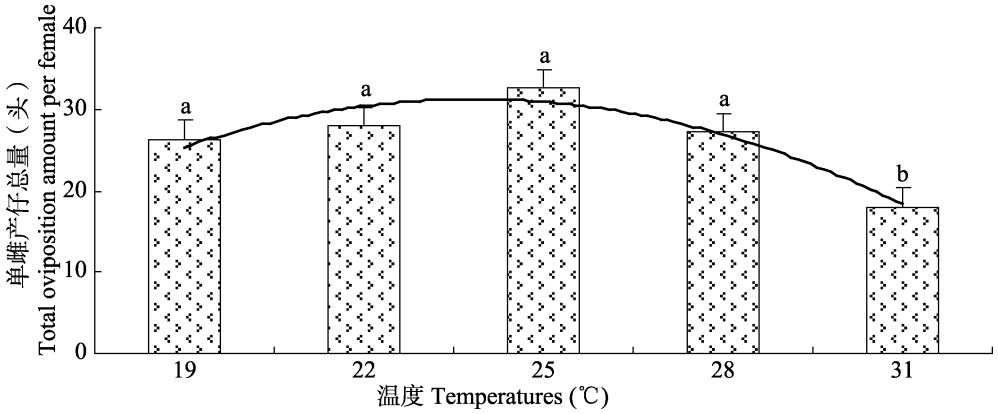

图 3　不同恒温下胡萝卜微管蚜产仔总量（**2015**，沈阳）

Fig. 3　The total oviposition amount per female of *Semiaphis heraclei* in different temperatures (2015, Shenyang)

柱上标有不同字母表示经 LSD 检验方法进行多重比较后差异显著（P<0.05）。

Histograms with the different letters indicate significantly different at 0.05 level respectively by LSD in SPSS (P <0.05).

4.20、5.24、5.80、4.38 和 3.57 d。温度对单雌产仔总量的影响差异显著（F =9.018，df =4，P< 0.01）。在 5 个恒温下，单雌产仔总量分别为 26.33、27.93、32.53、27.13 和 17.93 头，25℃时产仔量最大，超过 25℃时数量下降（图 3）。

3　小结与讨论

研究结果表明温度对胡萝卜微管蚜的发育历期、存活率、寿命、产仔期及产仔量均有一定的影响。不同恒温对胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的发育历期有极显著影响（P<0.01），其发育历期均随着温度的升高而缩短。明确了 4 个若蚜期和世代的发育起点和有效积温，并建立了发育历期预测式，结合温度可以初步预测胡萝卜微管蚜某一龄期及世代的发育历期。不同恒温下该蚜虫的存活率差异不显著（P>0.05）。25℃时 1~4 龄及世代的存活率均较高，31℃时的存活率均较低。25℃时世代的存活率与 31℃时的差异显著（P<0.05）。不同恒温对该蚜虫寿命的影响差异显著（P<0.01），存活寿命随着温度的升高而缩短。不同恒温对该蚜虫单雌产仔总量的影响差异显著（P<0.01），单雌产仔总量随温度的升高先增加后减少，25℃时最大，31℃时最小。25℃最适合胡萝卜微管蚜的生长、存活和繁殖，31℃时对其生长、存活和繁殖不利。

发育起点温度和有效积温是蚜虫生长发育的重要指标，尤其在北方的气候下，必须达到一定温度越冬蚜虫才能进入下一发育阶段。本试验在 5 个恒温条件下测定了胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的发育起点分别为 14.15、13.87、13.64、15.06、12.92℃。辽宁沈阳地区气温满足胡萝卜微管蚜发育起点的时间在 5 月（平均温度 19.1℃）至 9 月（平均温度 17.6℃）。根据张国林等（2013）对辽西地区日光温室温度的记录，温室内满足胡萝卜微管蚜发育起点的时间在 3 月（平均温度 15.6℃）至 11 月（平均温度 16.4℃）。

昆虫的发育历期预测式，可以预测下一虫期及下一世代出现的时间，大体推断种群发展趋势（王世雄等，1989；蒋杰贤和张愉快，1993；张海波和张巧仙，2006；陈汉章等，2013）。本实验获得了胡萝卜微管蚜 1~4 龄及世代的发育历期预测式，可以作为分析该蚜虫种群发展趋势时参考。据作者调查，2015 年 4 月温室内初见蚜时，温度为 21.75℃，湿度 59.25%，利用历期预测式得出该蚜虫 4 个龄期及世代的发育历期分别为 4.38、4.11、3.88、4.04 和 16.80 d。同年 9—10 月室内平均温度为 25.78℃，湿度 48.82%，利用历期预测式计算出该蚜虫 4 个龄期及世代的发育历期分别为 2.58、2.46、2.35、2.23 和 11.21 d。计算得出的发育历期与本实验在恒温条件下观察的结果基本符合。恒温下的预测结果和自然变温下发育历期存在一定差异，自然变温下的发育

历期较短，发育速率较快。

有研究指出该蚜虫 15~25℃繁殖最快，春季降雨频繁，发生相对较轻，立夏后阴雨天，繁殖较快（刘春等，2009；欧善生等，2012；向玉勇等，2012）。本实验表明 25℃时对该蚜虫的生长发育、存活和繁殖最有利，这与上述结果一致；而 19℃时发育相对较慢、存活率较低、产仔量最小，这也表明在本试验设定的温度梯度下，温度越低蚜虫的生长发育和繁殖能力相对较低，这也与前人的研究结果一致。当然，尽管两种试验的环境有所不同，前者是田间条件下的实验结果，除了温度影响外，湿度、降雨、天敌等非生物和生物因素都会对物种产生综合影响；而后者是在室内所做的温度对其生长发育和繁殖影响的控制实验，影响因素存在单一性，研究结果也有一定的局限性。若将温度与湿度等环境因子综合起来考虑，结果将更符合田间发生规律。因此，在辽宁地区要有效控制胡萝卜微管蚜，还应在控制实验研究的基础上，加强田间发生规律以及对照研究。

参考文献 (References)

Chao CH, Chen CC, 1991. Transmission of papaya ringspot virus type-w by aphids. *Bulletion of Taichung District Agricultural Improvement Station*, 3(2): 55–61.

Chen HZ, Chen J, Ding WL, 2001. Questions and countermeasure of plant protection in produce of Chinese medicinal materials. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 24(1): 11–13. [程惠珍, 陈君, 丁万隆, 2001. 中药材生产中的植保问题及对策. 中药材, 24(1): 11–13.]

Chen HZ, Lin XQ, Chen SL, Zhu XH, Tang XH, 2013. Measurement and application of developmental threshold temperature and effective cumulative temperature of *Leptocybe invasa* Fisher *et* La Salle. *Journal of Yangtze University* (*Natural Science Edition*), 10(29): 1–6, 10. [陈汉章, 林秀琴, 陈顺立, 朱信华, 汤行昊, 2013. 桉树枝瘿姬小蜂发育起点温度和有效积温的测定. 长江大学学报(自然科学版), 10(29): 1–6, 10.]

Chen SJ, Jin SY, 2001. Disease and insect pests on artificial medicinal plants and their prevention and control in China. *Chongqing Journal of Research on Chinese Drugs and Herbs*, (43): 14–22. [陈仕江, 金仕勇, 2001. 中国人工种植药用植物病虫害及其防治. 重庆中草药研究, (43): 14–22.]

Cui ZB, Qiao FY, Wang XK, Wang HY, 2005. Investigation of organophosphorus pesticide residues in vegetables in Jinzhou City. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 15(11): 1364–1365. [崔忠宝, 乔福裕, 王秀坤, 王红艳, 2005. 锦州市蔬菜中有机磷农药残留的调查. 中国卫生检验杂志, 15(11): 1364–1365.]

Gong YJ, Shi BC, Lu H, Zhang SL, Wei L, 2006. Effects of temperatures on the development and fecundity of three specices of aphids . *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 21(5): 96–98. [宫亚军, 石宝才, 路虹, 张胜利, 魏蕾, 2006. 温度对 3 种蚜虫生长发育及繁殖的影响. 华北农学报, 21(5): 96–98.]

He BQ, Xu BY, Xie W, Wu QJ, 2014. Toxicity determination of nine insecticides against *Semiaphis heraclei* and evaluation of field control efficacy. *China Vegetables*, (1): 24–26. [何秉青, 徐宝云, 谢文, 吴青君, 2014. 9 种药剂对芹菜蚜的毒力测定及田间药效评价. 中国蔬菜, (1): 24–26.]

He XL, Jia HT, Chen YM, Wang LY, Song YB, 2015. The insect taxa constitute and prevention of *Bupleurum chinense* in Shexian County of Taihang Mountain. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 19(2): 47–50. [贺献林, 贾和田, 陈玉明, 王丽叶, 宋彦斌, 2015. 太行山区涉县柴胡害虫的类群构成及其防治. 河北农业科学, 19(2): 47–50.]

Iwaki M, Komuro Y, 1970. Viruses isolated from carrot. 1. celery mosaic virus and cucumber mosaic virus. *Annals of the Phytopathological Sociely of Japan*, 36: 36–42.

Jian ML, Zhen JH, Mao RQ, 2011. A preliminary survey of diseases and pests of honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) in Guangdong Province. *Guangdong Agricultural Sciences*, 38(14): 74–76. [简美玲, 郑基焕, 毛润乾, 2011. 广东省金银花主要病虫害调查初报. 广东农业科学, 38 (14): 74–76.]

Jiang JX, Zhang YK, 1993. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature constant of *Culex quinquefasciatus*. *Journal of Hengyang Medical College*, 21(4): 383–385. [蒋杰贤, 张愉快, 1993. 致倦库蚊发育起点温度和有效积温常数的研究. 衡阳医学院学报, 21(4): 383–385.]

Li SY, Chang YS, Chang ZT, 2004. Symptom analysis and pathogen identification of virus disease on celery. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculturae and Forestry* (*Natural Science Edition*), 32(7): 85–88, 92. [李省印, 常养生, 常宗堂, 2004. 芹菜病毒病症状分析与毒原种类鉴定. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 32(7): 85–88, 92.]

Li XJ, Wang SX, Zhang GX, Li ZX, 2004. Measurement of developmental temperature threshold and effective cumulative temperature of *Liriomyza sativae* under natural conditions. *China Plant Protection*, 24(9): 7–9. [李学军, 王淑贤, 张广学, 李志祥, 2004. 自然变温下美洲斑潜蝇的发育起点温度和有效积温的测定. 中国植保导刊, 24(9): 7–9.]

Liu C, Xiao XH, Xie XM, Wu HH, 2009. Occurrence and management strategy of pests on *Lonicera macrantha* in Xiushan County. *Plant Doctor*, 22(3): 25–27. [刘春, 肖晓华, 谢雪梅, 吴洪华,

2009. 秀山大花忍冬病虫害发生与治理对策. 植物医生, 22(3): 5–27.]

Liu L, Zhang WD, Zhu GD, Li ZX, Xue M, 2015. Effects of aphids damage on yield and quality of honeysuckle and control technology of aphids in dormancy period. 2015 Academic Annual Conference of China Society of Plant Protection. Jilin. 371–375. [刘磊, 张文丹, 祝国栋, 李朝霞, 薛明, 2015. 蚜虫为害对金银花产量和品质的影响及休眠期蚜虫防治技术研究. 中国植物保护学会 2015 年学术年会. 吉林. 371–375.]

Liu SS, 1987. Let know a leaf-disc method for rearing aphids. *Chinese Bulletin of Entomology*, 24(2): 113–115. [刘树生, 1987. 介绍一种饲养蚜虫的方法——新的叶子圆片法. 昆虫知识, 24(2): 113–115.]

Liu WL, Xue Q, Cao MQ, Ma JF, 2007. Nonparametic test of completely randomized design and multiple comparisons with SPSS. *Endemic Diseases Bulletin*, 22(2): 27–29. [刘万里, 薛茜, 曹明芹, 马金凤, 2007. 用 SPSS 实现完全随机设计多组比较秩和检验的多重比较. 地方病通报, 22(2): 27–29.]

Luo HY, Pu ZQ, 1991 Relationship between aphid vector and epidemiology of virus disease of vegetable crop and measures of prevention of aphid-borne viruses. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 6(4): 235–240. [罗华元, 濮祖芹, 1991. 蚜虫与蔬菜病毒流行的关系及阻断蚜虫传毒的途径. 云南农业大学学报, 6(4): 235–240.]

Ma YL, Liu CZ, 2014. Effect of photoperiod on growth and development of two color morphs of pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 22(12): 1476–1483. [马亚玲, 刘长仲, 2014. 光周期对两种色型豌豆蚜生长发育的影响. 中国生态农业学报, 22(12): 1476–1483.]

Miao W, Lv ZZ, Yu JN, Su YL, 2008. Effect of temperature on development and fecundity of cotton aphid (*Aphis gossypii*). *Xingjiang Agricultural Sciences*, 45(6): 1130–1135. [苗伟, 吕昭智, 于江南, 苏延乐, 2008. 温度对棉蚜发育与繁殖力影响. 新疆农业科学, 45(6): 1130–1135.]

Ou SS, Deng LJ, Su GH, Xie EB, Qin LH, Jian F, Huang XL, Shi HY, Chen CX, Wang XX, 2012. An investigation on the species of *Flos lonicerae* diseases, pest insects and predators in Xincheng County, Guangxi Province. *Plant Protection*, 38(1): 33–140. [欧善生, 邓玲姣, 苏桂花, 谢恩倍, 覃连红, 简峰, 黄雪兰, 石化玉, 陈彩贤, 王小欣, 2012. 广西忻城县山银花病虫害及其天敌昆虫种类调查. 植物保护, 38(1): 33–140.]

Ou SS, Su GH, Xie EB, Jian F , Huang XL, Shi HY, Huang FM, Qin LH, Huang YH, 2011b. Studies on integrated control of major diseases and pests of *Lonicerae japonica*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 38 (5): 90–94. [欧善生, 苏桂花, 谢恩倍, 简峰, 黄雪兰, 石化玉, 黄奉茂, 覃连红, 黄艳花, 2011b. 金银花主要病虫害综合防治研究. 广东农业科学, 38(5): 90–94.]

Ou SS, Su GH, Xie EB, Jian F, Huang XL, Shi HY, Huang FM, Qin LH, Huang YH, 2011a. Study on control effects of different medicament on aphids of *Flos lonicerae*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 38(13): 70–73. [欧善生, 苏桂花, 谢恩倍, 简峰, 黄雪兰, 石化玉, 黄奉茂, 覃连红, 黄艳花, 2011a. 不同药剂对山银花蚜虫的防治效果研究. 广东农业科学, 38(13): 70–73.]

Qi HP, Shen XP, 2015. The realization of mean Rank's Post Hoc multiple comparisons of Kruskal-wallis H test by using SPSS software. *Journal of Lanzhou Institute of Technology*, 22(2): 76–78. [祁海萍, 申希平, 2015. Kruskal- Wallis H 检验平均秩多重比较在 SPSS 软件中的实现. 兰州工业学院学报, 22(2): 76–78.]

Su GH, Xie EB, Ou SS, Huang XL, Shi HY, Huang FM, Jian F, Huang YH, Qin LH, Chen CX, 2011. Short-term prediction of occurrence period of main diseases and pests of *Lonicerae japonica* using phenoecology. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(17): 10299–10300, 10379. [苏桂花, 谢恩倍, 欧善生, 黄雪兰, 石化玉, 黄奉茂, 简峰, 覃连红, 陈彩贤, 2011. 用物候短期预测金银花主要病虫发生期的研究. 安徽农业科学, 39(17): 10299–10300, 10379.]

Sun HM, Li XJ, Zhang GX, 2006. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Macrosiphum euphorbiae* at constant temperature. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 846–848. [孙慧敏, 李学军, 张广学, 2006. 恒温下大戟长管蚜的发育起点温度和有效积温. 昆虫知识, 43(6): 846–848.]

Sun Y, Xue M, Zhang X, Zhao HP, Li ZX, 2013. Population dynamics and control techniques of aphids on honeysuckle. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 38(21): 3676–3680. [孙莹, 薛明, 张晓, 赵海鹏, 李朝霞, 2013. 金银花蚜虫的发生与防治技术研究. 中国中药杂志, 38(21): 3676–3680.]

Wang SX, Li XJ, Su XX, Zhen G, 2009. Study on the developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Neochrysocharis formosa*. *China Plant Protection*, 29(4): 34–35. [王淑贤, 李学军, 苏晓丹, 郑国, 2009. 芙新姬小蜂的发育起点温度和有效积温研究. 中国植保导刊, 29(4): 34–35.]

Wang SB, Pu ZQ, 1991. Identification of cucumber mosaic virus in western clerery and cultivar resistance. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 14(3): 63–67. [王述彬, 濮祖芹, 1991. 侵染西洋芹菜的黄瓜花叶病毒及品种抗病性测定. 南京农业大学学报, 14(3): 63–67.]

Wang SX, Zhang BM, Wang HF, Wang XY, 1989. Study on the effective accumulated temperature of overwintering larvae: Predicting the occurrence period of the first generation of *Lucilia sericata*. *Journal of Medical Pest Control*, 5(4): 15–17. [王世雄, 张保命, 王宏峰, 王雪英, 1989. 越冬幼虫有效积温研究——预测第一代丝光绿蝇发生期. 医学动物防制, 5(4): 15–17.]

Wei CH, Lu YY, Zeng L, 2011. Developmental durations, threshold temperatures and effective accumulative temperatures of *Bactrocera correcta* under natural conditions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1738–1743. [韦昌华, 陆永跃, 曾

玲, 2011. 自然变温条件下番石榴实蝇发育历期、起点温度和有效积温. 应用昆虫学报, 48(6): 1738–1743.]

Wen LZ, 2010. Introduction to Entomology Research Metyhods and Techniques. Beijing: Science Press. 157–240. [文礼章, 2010. 昆虫学研究方法与技术导论. 北京: 科学出版社. 157–240.]

Xia YY, Li XJ, Zhen G, Guo YJ, 2014. Predation by *Coccinula quatuordecimpustulata* on aphids. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 400–405. [夏莹莹, 李学军, 郑国, 郭亚静, 2014. 双七瓢虫对蚜虫捕食作用. 应用昆虫学报, 51(2): 400– 405.]

Xiang Q, Li XL, Liang ZS, 2005. Study on the population dynamics of aphids and predatory natural enemies in *Bupleurum chinense* Dc. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 18(2): 172–174. [向琼, 李修炼, 梁宗锁, 2005. 柴胡苗期蚜虫及捕食性天敌种群消长动态. 西南农业学报, 18(2): 172–174.]

Xiang YY, Yin PF, Wang MY, Luo X, Zhang YC, 2011a. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolocha jinyinhuaphaga*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 152–155. [向玉勇, 殷培峰, 汪美英, 罗侠, 张元昶, 2011. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究. 应用昆虫学报, 48(1): 152–155.]

Xiang YY, Zhu YY, Zhao YR, Chen K, 2012. Species investigation of honeysuckle pests in Anhui and the control methods. *Journal of Hunan Agricultural University* (*Natural Sciences*), 38(3): 291–294. [向玉勇, 朱园美, 赵怡然, 程凯, 2012. 安徽省金银花害虫种类调查及防治技术. 湖南农业大学学报, 38(3): 291–294.]

Yan JM, Yang QF, Ye HZ, Li Q, Jiang SR, 2010. Investigation on insect pest of medicinal plants in Sichuan province and pests identification. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23(3): 768–771. [严吉明, 杨群芳, 叶华智, 李庆, 蒋素容, 2010. 四川重要药用植物害虫种类名录. 西南农业学报, 23(3): 768–771.]

Yao YH, Si SL, Zheng FS, 2008. Diseases and pests of honeysuckle flower (*Lonicare japonica*) and its integrated control. *Journal of Kaili University*, 26(3): 56–59. [姚银华, 侣胜利, 郑福山, 2008. 药用植物金银花病虫害种类及综合防治. 凯里学院学报, 26(3): 56–59.]

Zhang F, Zhang YQ, Yu X, Cui QH, 2012. Effects of aphid occurring on quality of Flos *Lonicera japonica*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 40(9): 5306–5307, 5636. [张芳, 张永清, 于晓, 崔清华, 2012. 蚜虫危害对金银花药材质量的影响. 安徽农业科学, 40(9): 5306–5307, 5636.]

Zhang GL, Zong YF, Wang JH, 2013. Temperature variation rules and prediction model of solar greenhouse in West Liaoning. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29(23): 117–122. [张国林, 宗英飞, 王吉宏, 2013. 辽西日光温室温度变化规律及温度预测模型. 中国农学通报, 29(23): 117–122.]

Zhang GX, 1999. Fauna of Agricultural and Forestry Aphids of Northwest China. Insecta Homoptera Aphidinea. Beijing: China Environmental Science Press. 483–484. [张广学, 1999. 西北农林蚜虫志. 北京: 中国环境科学出版社. 483–484.]

Zhang HB, Zhang QX, 2006. Preliminary research of occurrence regularity of *Apocheima cinerarius* Erschoff and the forecast of occurrence time. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(2): 54–57. [张海波, 张巧仙, 2006. 春尺蠖发生规律及发生期测报初步研究. 农业科学研究, 27(2): 54–57.]

Zhang J, Sun XJ, Shi Y, Li J, Zhang YQ, 2014. Response of defensive enzyme activity and some primary metabolites in *Lonicera japonica* thumb leaves to aphid damage. *Shandong Agricultural Sciences*, 46(8): 57–60. [张金, 孙秀娟, 石岩, 李佳, 张永清, 2014. 蚜虫危害对忍冬叶片防御酶活性及初生代谢的影响. 山东农业科学, 46(8): 57–60.]

Zhang RZ, Liang HB, Zhang J, Qiu Z, 1999. Development, survival and reproduction of the *Russian wheat aphid* at constant temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 42(s1): 35–39. [张润志, 梁宏斌, 张军, 邱焯, 1999. 温度对麦双尾蚜发育、存活和繁殖的影响. 昆虫学报, 42(s1): 35–39.]

Zhang XM, Xi YM, Wang S, Luo C, Zhang F, 2015. Assessment of potential control of *Semiaphis heraclei* by *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(3): 317–321. [张晓曼, 奚一名, 王甦, 罗晨, 张帆, 2015. 异色瓢虫对胡萝卜微管蚜防治潜能评价. 中国生物防治学报, 31(3): 317–321.]

Zhang Y, Cui GL, Li LY, 2012. Spatial distribution patter and sampling technique of *semiaphis heraclei* in *Lonicera macranthoides*. *Plant Protection*, 38 (6): 77–79. [张应, 崔广林, 李隆云, 2012. 胡萝卜微管蚜在灰毡毛忍冬上的空间分布格局. 植物保护, 38(6): 77–79.]

Zhang Y, Li LY, 2011. Disease and insect pests on *Lonicera macranthoides* and their prevention and control in Xiushan County. *Plant Doctor*, 24(6): 20–21. [张应, 李隆云, 2011. 秀山灰毡毛忍冬病虫害发生及防治情况. 植物医生, 24(6): 20–21.]

Zhang Y, Li LY, Ma P, Cui GL, 2015. Effects of aphid occurring on *Lonicera macranthoides* bud yield and quality. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 38(1): 8–10. [张应, 李隆云, 马鹏, 崔广林, 2015. 蚜虫危害对灰毡毛忍冬药材产量和质量的影响. 中药材, 38(1): 8–10.]

Zhou XR, Bu QG, Pang BP, 2015. Effect of temperature on development and population growth of *Aphis gossypii* glover reared on potato. *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 925–930. [周晓榕, 卜庆国, 庞保平, 2015. 温度对马铃薯棉蚜生长发育及种群增长的影响. 环境昆虫学报, 37(5): 925–930.]