

不同寄主上桃粉大尾蚜的取食偏好及形态变异研究*

王晓娟^{1, 2**} 景 军^{1, 2} 陈佳丹¹ 李 恺^{1, 2} 方 燕^{1, 3***}

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200241; 2. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241; 3. 浙江中医药大学基础医学院, 杭州 310053)

摘 要 【目的】桃粉大尾蚜 *Hyalopterus pruni* Geoffroy 是一种常见的农业害虫, 分布广泛。本文对采自上海地区粘核毛桃 *Amygdalus persica* L. var. *scleropersica* (Reich.) Yü et Lu、紫叶李 *Prunus cerasifera* Ehrh. f. *atropurpurea* (Jacq.) Rehd. 和芦苇 *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. 3 种植物上桃粉大尾蚜的取食偏好和形态变异进行了研究。【方法】通过叶碟法观测桃粉大尾蚜对 3 种寄主叶片的取食偏好, 同时测量体长、体宽、触角各节长、喙末端长和宽、各足节长等 30 个形态指标, 基于对形态数据的统计分析, 包括主成分分析、聚类分析和判别分析, 研究不同寄主植物上桃粉大尾蚜的形态变异。【结果】饲以 3 种寄主植物叶片时, 来自粘核毛桃和芦苇上的桃粉大尾蚜对各寄主叶片的总体喜食程度依次为芦苇 > 粘核毛桃 > 紫叶李, 来源于紫叶李上的个体对 3 种叶片的喜食程度为芦苇 > 粘核毛桃 = 紫叶李; 形态数据分析发现粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜各指标间均无显著差异 ($P > 0.05$), 但二者与芦苇上的个体在触角节 II、触角末节鞭部长、喙末端长和中足胫节的长度间差异显著 ($P < 0.05$), 紫叶李与芦苇上的个体前足跗节 I 长这一指标差异显著 ($P < 0.05$), 此外, 主成分分析筛选的体长、头宽、触角各节和各足长度等特征构成的前四个主成分对总体方差的累计贡献率达到 66.206%, 其中贡献率较高的特征为触角和各足节长度, 系统聚类 and 典型判别分析的结果显示采自芦苇上的桃粉大尾蚜区别于粘核毛桃和紫叶李上的, 归为一类, 同为蔷薇科植物的紫叶李和粘核毛桃上的桃粉大尾蚜克隆有小部分重叠。【结论】禾本科植物上的桃粉大尾蚜种群形态特征与蔷薇科植物上的相比, 触角节 II 和末节鞭部、喙末端长、中足胫节的长度存在一定的分化, 初步推测造成桃粉大尾蚜形态分化的原因主要为寄主植物营养成分及其表面特征, 其种内变异的具体机制仍需进一步探索。

关键词 桃粉大尾蚜, 寄主植物, 取食偏好, 形态分化

Feeding preferences and morphological variation of *Hyalopterus pruni* (Geoffroy) (Hemiptera: Aphididae) from different host plants

WANG Xiao-Juan^{1, 2**} JING Jun^{1, 2} CHEN Jia-Dan¹ LI Kai^{1, 2} FANG Yan^{1, 3***}

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. Shanghai Key Laboratory for Urban Ecology Processes and Eco-Restoration, Shanghai 200241, China;

3. College of Basic Medical Sciences, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China)

Abstract [Objectives] The peach mealy aphid, *Hyalopterus pruni* Geoffroy (Hemiptera: Aphididae), is a common agricultural pest that is widely dispersed in China and Europe. The main purpose of this study was to investigate the feeding preferences and morphological variation of *H. pruni* collected from peach, plum, and reeds in Shanghai, China. [Methods] The feeding preferences of *H. pruni* were determined using the leaf disc test, and morphological variation of specimens collected on 3 different host plants was quantified by principal component analysis, hierarchical cluster analysis and canonical

* 资助项目 Supported projects: 华东师范大学科研创新基金项目 (78210268)

**第一作者 First author, E-mail: xiaojuanwang1991@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: fangyan123_2@163.com

收稿日期 Received: 2015-07-21, 接受日期 Accepted: 2015-11-12

discriminate analysis of 30 morphological characteristics such as body length (BODYL), body width (BODYW), length of antenna segments and length of leg segments. **[Results]** Aphids had an obvious preference for reeds irrespective of the host plant they were collected on. *H. pruni* collected on reeds and peach trees preferred peach to plum foliage, but those collected on plum trees displayed no significant preference between peach and plum leaves. Morphological analysis did not detect any significant differences between *H. pruni* feeding on peach and plum foliage ($P>0.05$). However, those feeding on reeds differed significantly from those feeding on peaches and plums in the length of antennal II (ANTL II), length of processus terminalis antennal IV (PTL), basal length of ultimate rostral (URSL) and length of middle tibia (MTL) ($P<0.05$). In addition, a significant difference was found in FT I L between *H. pruni* collected on reeds and those on plum trees ($P<0.05$). The results of principal component analysis showed that BODYL, HEADW, and antenna and leg length, were the top four principal components, collectively comprising up to 66.206% of the total variance. Among these morphological characteristics, the highest variance was in antenna and leg length. Moreover, cluster and canonical discriminate analysis show that *H. pruni* collected on reeds can be objectively separated from those collected on peach and plum trees. Our inability to distinguish *H. pruni* feeding on peaches and plums may be because these plant species belong to the same family. **[Conclusion]** There were significant differences in ANTL II, PTL, URSL and MTL between *H. pruni* feeding on graminaceous and rosaceous plant species. Morphological differentiation of *H. pruni* may be the result of different nutritional composition and surface characteristics of host plants, however, the specific mechanisms responsible need further exploration.

Key words *Hyalopterus pruni*, host plants, feeding preference, morphological differentiation

桃粉大尾蚜 *Hyalopterus pruni* Geoffroy, 俗称桃粉蚜, 隶属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 大尾蚜属 *Hyalopterus* Koch, 该属是蚜科昆虫中较小的一个类群, 目前全世界仅记录 3 种, 它们对世界范围内李属核果类植物均会产生严重危害 (Lozier *et al.*, 2008; Bašilova and Rakauskas, 2012)。桃粉大尾蚜在我国分布较为广泛, 寄主植物主要包括紫叶李、桃、杏、芦苇等 (张广学和钟铁森, 1983)。

作为寄生性的生物类群, 蚜虫对寄主植物有一定的专化性 (张广学和钟铁森, 1983)。研究发现, 棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 对不同棉花品种的取食量存在一定的差异, 取食量受棉花的多毛、红叶性状和抗性、感性品种等因素的影响 (姜永幸和郭予元, 1996), 即棉蚜能够分辨寄主是否“可口”; 玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* Fitch 亦能对不同品种 (系) 的玉米进行选择 (赵曼等, 2015)。寄主植物作为蚜虫唯一的食物来源和栖息地 (Peccoud *et al.*, 2010), 对蚜虫表型的影响不可忽视。迄今国内外已有诸多学者对不同蚜虫类群与其寄主植物之间的形态适应关系展开了一系列研究 (Moran, 1986; Lazzari and Voegtlin, 1993; Wool and Hales, 1997; 周福才等, 1998; 方燕等, 2006, 2011; Margaritopoulos *et al.*, 2007;

Rakauskas *et al.*, 2013), 研究发现同种或异种蚜虫在取食不同寄主植物时形态特征存在差异。

国际上对于大尾蚜属的属下分类历经较长时间的讨论与争议, 自 2008 年又发现并报道了 1 新种以来 (Lozier *et al.*, 2008), 该属迄今已报道的种类为 3 种, 以往的相关报道均是围绕大尾蚜属整个属展开, 已有关于该属蚜虫取食偏好性 (Mosco *et al.*, 1997; Poullos *et al.*, 2007) 以及形态特异性 (Lozier *et al.*, 2008; Rakauskas *et al.*, 2013) 方面的探讨, 但国内对于该属, 特别是桃粉大尾蚜取食偏好性及形态变异分析相关的研究还尚未见报道。本研究依据上海市桃粉大尾蚜寄主植物分布的具体情况, 选取粘核毛桃 *Amygdalus persica*、紫叶李 *Prunus cerasifera* 和芦苇 *Phragmites australis* 为寄主植物代表, 结合取食偏好实验和形态学测量统计分析探讨桃粉大尾蚜的取食偏好性和形态变异, 以期为该种蚜虫的进化适应机理研究提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及寄主植物

取食偏好实验中的供试无翅成蚜采自华东师范大学闵行校区 (121°27'12" E, 31°02'10" N)

和上海交通大学闵行校区 (121°25'55" E, 31°01'40" N), 收集两地的粘核毛桃、紫叶李和芦苇枝叶连带其叶片上寄生的桃粉大尾蚜带回实验室饲养备用。实验期间, 采集未被桃粉大尾蚜寄生的粘核毛桃、紫叶李和芦苇叶片备用。

用于测定形态特征的供试无翅成蚜采自上海市 (120°52'~122°12' E, 30°40'~31°53' N) 各区。将搜寻到的桃粉大尾蚜刷入装有乙醇 (纯度 99.5%) 的 2 mL 冷冻管中, 记录采集信息 (时间、地点、寄主植物、寄生部位、害状、体色、数量以及虫态等)。

1.2 取食偏好

采取叶碟法 (汤清波和王琛柱, 2007), 将植物叶片制成直径 2 cm 的叶碟, 取 3 个直径为 20 cm 的培养皿, 将等量的 3 种植物叶碟随机摆放为环形, 于环形中间刷入采自 1 种寄主植物经 6 h 饥饿处理的无翅成虫 30 头, 每 10 min 观察记录抵达不同寄主植物叶碟上取食的桃粉大尾蚜数量, 记录总时长为 120 min。采自另外 2 种植物上蚜虫的处理方法同上, 设置 3 次独立重复实验。

1.3 标本制作及测量

选取采自 3 种寄主上形态完整的无翅成蚜制成玻片标本, 共计 149 头, 其中寄主植物为粘核毛桃的有 78 头, 紫叶李的有 59 头, 芦苇的有 12 头 (表 1)。制作方法参照加拿大胶封闭法 (Lazzari and Voegtlin, 1993)。每头成蚜选取并测量 30 个形态特征, 对于触角、足节等两侧对称的特征选取触角各节及各足节完整的一侧进行测量。Motic BA310 显微镜通过 Moticam Pro252A 显微镜摄像头接入计算机后使用 Motic Images Advanced 3.2 程序测量各形态特征。本研究所选取的形态特征及对应的字母缩写见表 2 (Blackman and Spence, 1994; 孟玲等, 1998; 刘健等, 2003)。

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 记录数据, 计算 3 种寄主上桃粉大尾蚜克隆 30 个特征的均值、标准差、变异

系数及各特征与体长的比值, 基于 SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA)、主成分分析 (Principal component analysis)、系统聚类 (Hierarchical cluster analysis) 和典型判别分析 (Canonical discriminate analysis)。

2 结果与分析

2.1 桃粉大尾蚜的取食偏好

在整个 120 min 取食偏好实验的持续过程中, 采自不同寄主植物上的桃粉大尾蚜各自抵达取食偏好实验叶碟上取食的最高总头数有一定差别, 采自粘核毛桃上为 20.67 头 (80 min 时), 采自紫叶李上的为 14.67 头 (50 min 时), 采自芦苇上的为 19.33 头 (50 min 时), 剩余蚜虫没有表现出明显的选择性。此外, 采自不同寄主植物上的桃粉大尾蚜, 对饲喂的不同寄主植物叶片的选择性表现出一定的差异。

单因素方差分析结果表明来自粘核毛桃上的桃粉大尾蚜对 3 种寄主植物叶片的选择差异极显著 ($F=92.322$, $df=2$, $P<0.001$)。选择实验开始时, 采自粘核毛桃的桃粉大尾蚜就对芦苇表现出了明显的喜爱, 为 (5.33 ± 2.08) 头, 对粘核毛桃的喜爱程度次之, 为 (3.67 ± 0.58) 头, 对紫叶李的选择性最低, 为 (2.00 ± 2.00) 头; 0~60 min 内各叶片上的蚜虫数量变化趋于稳定, 总体表现为对芦苇的选择性最强, 对粘核毛桃的选择性次之, 对紫叶李的选择性最弱, 但在 60 min 后, 对芦苇叶片的选择呈现出显著增强的趋势, 在 80 min 和 100 min 时一度达到 (11.00 ± 1.00) 头, 100 min 后数量有所下降, 120 min 时芦苇上的桃粉大尾蚜为 (9.67 ± 0.58) 头; 70 min 时选择粘核毛桃的桃粉大尾蚜数量最多, 70 min 后, 桃粉大尾蚜对粘核毛桃的选择呈现略微下降趋势; 120 min 时选择粘核毛桃的蚜虫数量最低; 而桃粉大尾蚜对紫叶李的选择呈现先增大后降低的趋势, 80 min 时蚜虫数量最多, 80 min 后数量变化趋于稳定。总体选择趋势为芦苇 $((8.03\pm 2.22)$ 头) > 粘核毛桃 $((3.86\pm 0.61)$ 头) > 紫叶李 $((2.47\pm 1.30)$ 头), 即采自粘核毛桃上的桃粉大尾蚜对芦苇的选择

表 1 测量的 30 个克隆桃粉大尾蚜标本的基本信息
Table 1 Collection data of the specimens of 30 *Hyalopterus pruni* clones measured

编号 Code	采集地点 Locality	地理坐标 Coordinates	寄主植物 Host	采集时间 Date	个体数 Number
1	松江 SJ	121°13'36"E, 31°7'26"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2010-4-26	5
2	嘉定 JD	121°15'12"E, 31°23'18"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-6	9
3	杨浦 YP	121°29'56"E, 31°17'56"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-11	8
4	南汇 NH	121°44'45"E, 31°3'42"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-15	4
5	南汇 NH	121°44'15"E, 31°3'33"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-15	5
6	闵行 MH	121°26'52"E, 31°2'6"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-15	5
7	金山 JS	121°0'59"E, 30°53'28"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-29	4
8	金山 JS	121°0'59"E, 30°53'28"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4- 29	3
9	青浦 QP	120°59'17"E, 31°12'18"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-18	4
10	宝山 BS	121°26'1"E, 31°24'32"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-18	3
11	长宁 CN	121°21'26"E, 31°12'45"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4- 25	5
12	长宁 CN	121°21'24"E, 31°12'39"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-4-5	3
13	崇明 CM	121°46'12"E, 31°30'56"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-5-7	4
14	崇明 CM	121°46'7"E, 31°30'54"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-5-7	4
15	崇明 CM	121°46'2"E, 31°30'42"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-5-7	6
29	奉贤 FX	121°26'41"E, 30°57'36"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-5-13	3
30	奉贤 FX	121°28'53"E, 30°56'34"N	粘核毛桃 <i>A. persica</i>	2014-5- 13	3
16	嘉定 JD	121°15'16"E, 31°23'12"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-6	12
17	杨浦 YP	121°27'56"E, 31°17'56"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-11	9
18	南汇 NH	121°44'15"E, 31°3'33"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-15	7
19	南汇 NH	121°44'29"E, 31°3'5"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-15	4
20	闵行 MH	121°28'25"E, 31°2'57"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-8	8
21	闵行 MH	121°27'20"E, 31°2'31"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-7	3
22	金山 JS	121°0'59"E, 30°53'28"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-29	4
23	宝山 BS	121°26'1"E, 31°24'32"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-19	3
24	徐汇 XH	121°26'32"E, 31°9'16"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-11	6
25	徐汇 XH	121°26'32"E, 31°9'16"N	紫叶李 <i>Pr. cerasifera</i>	2014-4-11	3
26	崇明 CM	121°54'35"E, 31°32'35"N	芦苇 <i>Ph. australis</i>	2014-6-9	4
27	崇明 CM	121°53'59"E, 31°34'26"N	芦苇 <i>Ph. australis</i>	2014-6-9	4
28	崇明 CM	121°35'51"E, 31°40'3"N	芦苇 <i>Ph. australis</i>	2014-6-9	4

性较强, 对紫叶李的选择性较弱 (图 1 : A)。

采自紫叶李上的桃粉大尾蚜对 3 种植物的选择趋势较为稳定, 选择芦苇的蚜虫数量与选择其它 2 种植物的蚜虫数量间存在极显著差异 ($F=46.701$, $df=2$, $P<0.001$), 总体选择趋势为芦苇 ((6.17 ± 0.89) 头) > 粘核毛桃 ((2.92 ± 0.45) 头) = 紫叶李 ((3.47 ± 0.73) 头)。芦苇叶片上蚜虫数量变化幅度较大, 始终为 3 种叶片中最多的, 整体呈现出小幅的增长; 粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜数量在选择实验前 40 min 和后

表 2 测量的形态特征及其缩写
Table 2 The measured characters and their abbreviations

英文缩写 Abbreviations	变量 Variables	英文缩写 Abbreviations	变量 Variables
BODYL	体长 Body length	FT I L	前足跗节 I 长 Length of fore tarsal I
BODYW	体宽 Body width	FT II L	前足跗节 II 长 Length of fore tarsal II
HEADW	头宽 Head width	MFL*	中足股节长 Length of middle femur
ANTL I	触角节 I 长 Length of antennal I	MTL*	中足胫节长 Length of middle tibia
ANTL II	触角节 II 长 Length of antennal II	MTW	中足胫节宽 Width of middle tibia
ANTL III*	触角节 III 长 Length of antennal III	MT I L	中足跗节 I 长 Length of middle tarsal I
ANTL IV*	触角节 IV 长 Length of antennal IV	MT II L	中足跗节 II 长 Length of middle tarsal II
ANTL V*	触角节 V 长 Length of antennal V	HFL*	后足股节长 Length of hind femur
ANTBL VI*	触角末节基部长 Basal length of antennal VI	HTL*	后足胫节长 Length of hind tibia
PTL*	触角末节鞭部长 Length of processus terminalis antennal IV	HTW	后足胫节宽 Width of hind tibia
URSL*	喙末端长 Basal length of ultimate rostral	HT I L	前足跗节 I 长 Length of hind tarsal I
URSW	喙末端宽 Basal width of ultimate rostral	HT II L	前足跗节 II 长 Length of hind tarsal II
FFL*	前足股节长 Length of fore femur	FCL	前足爪长 Length of fore claw
FTL*	前足胫节长 Length of fore tibia	MCL	中足爪长 Length of middle claw
FTW	前足胫节宽 Width of fore tibia	HCL	后足爪长 Length of hind claw

*用于典型判别分析的特征。

*The characters used for Canonical Discriminate Analysis.

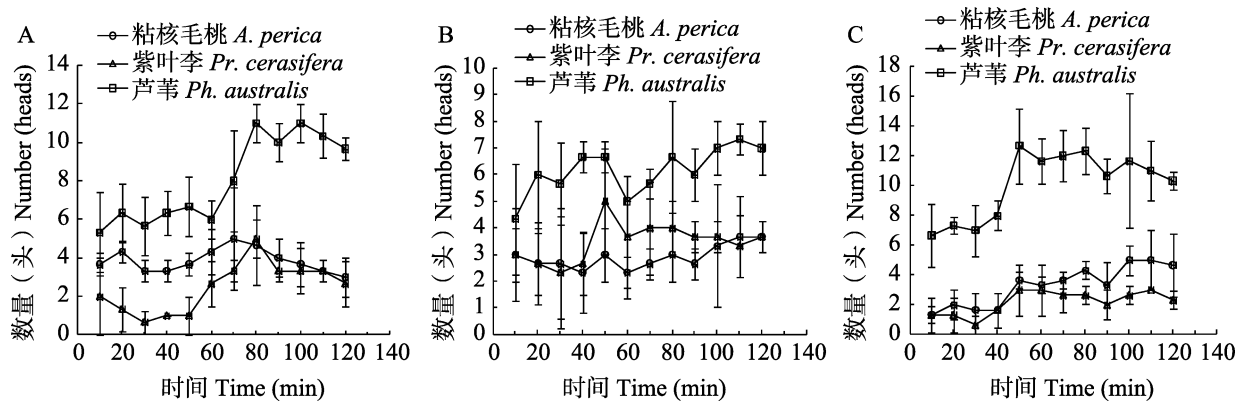


图 1 桃粉大尾蚜对 3 种寄主植物叶片的选择

Fig. 1 The number of *Hyalopteris pruni* on three hosts

A. 采自粘核毛桃；B. 采自紫叶李；C. 采自芦苇。图中数据均为平均值±标准差。

A: *H. pruni* collected from *Amygdalus persica*; B: *H. pruni* collected from *Prunus cerasifera*; C: *H. pruni* collected from *Phragmites australis*; The data in the figure are mean ± SD.

20 min 这两个阶段中基本无差异, 40~100 min 内紫叶李上的蚜虫数较粘核毛桃上的多(图 1 B)。

采自芦苇上的桃粉大尾蚜对 3 种寄主的选择差异极显著 ($F=172.381$, $df=2$, $P<0.001$),

均呈现上升趋势。0~60 min 内, 选择取食粘核毛桃和紫叶李的蚜虫数量差异不大, 40~50 min 内, 选择芦苇的蚜虫数量显著增加, 50 min 时选择芦苇的桃粉大尾蚜数量最多, 占当时选择寄主叶片

蚜虫总数的 $59.11\% \pm 8.09\%$, 50 min 后数量变化较为平稳; 与选择芦苇的桃粉大尾蚜数量相比, 其它 2 种寄主植物上的蚜虫数量相对较少, 对粘核毛桃和紫叶李的选择总体上呈现小幅度的增长, 但 60 min 后取食粘核毛桃的数量较紫叶李多。实验期内选择取食芦苇叶片的蚜虫数量始终最多, 其总体选择趋势为芦苇 (10.11 ± 2.23) 头 > 粘核毛桃 (3.31 ± 1.34) 头 > 紫叶李 (2.19 ± 0.78) 头 (图 1:C)。

2.2 采自不同寄主上的桃粉大尾蚜主要形态特征差异分析

3 种寄主植物中, 粘核毛桃和紫叶李在分类上隶属于蔷薇科 Rosaceae, 芦苇隶属于禾本科 Gramineae。本研究测定的 30 个形态指标中, 方差分析发现采自不同科寄主植物上的桃粉大尾蚜种群间在 ANTL II ($F=5.376$, $P=0.011$)、PTL ($F=4.707$, $P=0.018$)、URSL ($F=8.879$, $P=0.001$)、FT I L ($F=3.581$, $P=0.042$) 和 MTL ($F=3.954$, $P=0.031$) 这 5 个特征间存在显著差异; 3 种寄主上桃粉大尾蚜种群形态特征多重比较的结果显示芦苇上的桃粉大尾蚜种群与粘核毛桃上的种群间 BODYW ($P=0.032$)、PTL ($P=0.027$)、FFL ($P=0.030$)、MTL ($P=0.010$)、ANTL II ($P=0.005$)、ANTBLVI ($P=0.034$)、URSL ($P=0.002$) 这 7 个特征均值差异显著, 与紫叶李上桃粉大尾蚜种群间 PTL ($P=0.005$)、FFL ($P=0.034$)、MTL ($P=0.019$)、ANTBLVI ($P=0.021$)、FT I L ($P=0.019$) 5 个特征均值差异显著, 粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜种群间 30 个特征的均值差异均不显著; 触角作为蚜虫重要的感觉器官之一, 芦苇上的桃粉大尾蚜种群触角节 II 长度较短, 而触角末节鞭部较长, 触角其余各节长度在 3 种寄主上的桃粉大尾蚜种群间无显著差异。可见, 同为蔷薇科植物的粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜种群在所测量的特征间并无显著差异, 而禾本科植物芦苇上的桃粉大尾蚜种群多个形态特征如触角节 II 长、触角末节鞭部长、喙末端长和中足胫节长与另外 2 种植物上的桃粉大尾蚜种群相比, 差异显著; 前足

跗节 I 长度在紫叶李和芦苇上的桃粉大尾蚜种群间差异较显著, 但二者分别与粘核毛桃上的相比, 不存在显著性差异 (表 3)。

2.3 主成分分析、系统聚类 and 典型判别分析

主成分分析中, 变量间具有非常高的共同度, 表明大部分的变量信息能够被提取, 分析结果有效, 桃粉大尾蚜 30 个形态特征的主成分贡献率如表 4 所示。通过主成分分析提取出了 7 个有效的主成分, 这 7 个主成分的特征值之和占总特征值的 80.269%, 能够反映较高的桃粉大尾蚜种群形态特征变异信息。第一主成分中包含了触角节 III、IV、V 长、触角末节基部、鞭部长、前中后足各足的股、胫节长、体长、头宽、中足跗节 I 长和后足跗节 I 长, 这些特征的特征值之和占总特征值的 33.446%; 第二个主成分由各足第 II 跗节长、各足爪长和触角第 II 节长, 特征值之和占总特征值的 16.049%, 这些特征与蚜虫在寄主表面的附着、取食等行为密切相关; 触角第 I 节长和前足跗节 I 长构成了第三主成分, 二者的特征值之和占总特征值的 9.859%; 各足的胫节宽三个特征组成了第四主成分, 特征值之和占总特征值的 6.852%。主成分分析表明体长、头宽、触角各节和各足长度这些特征组成的前四个主成分的特征值之和占总特征值的 66.206%, 各足胫节宽和喙末端的长、宽以及体宽后三个主成分的特征值之和占总特征值的 14.063%。

基于形态特征的聚类分析结果如图 2 所示, 采自崇明的 26、27 和 28 号样本最先聚在一起, 即寄主植物为芦苇的 3 个桃粉大尾蚜种群归为一小类, 其中崇明东滩的 27 号样本与北湖的 28 号样本相关性较高, 采自崇明的 13 号样本及青浦的 9 号样本聚为一小类, 13 号和 9 号样本均为粘核毛桃上的桃粉大尾蚜种群, 二者与前 3 个崇明芦苇上的桃粉大尾蚜样本归为一类; 样本号 29、30、7、15、10、23、12、19 归为一类, 与上一类的 5 个样本共同构成了聚类分析的第一大分支, 其中采自奉贤西渡的 29 和 30 号样本间具有较高的相关性, 并形成了一小类, 二者均为粘核毛桃上的桃粉大尾蚜种群; 第二大类中, 同

表 3 不同种寄主植物上桃粉大尾蚜基于克隆平均数的形态特征描述统计量

Table 3 Character descriptive statistics of *Hyalopterus pruni* calculated with clone mean value from different host plants

特征 Characteristic	寄主植物 Host plant		
	HP-AP	HP-PC	HP-PA
BODYL	2.584±0.180a	2.569±0.175a	2.423±0.112a
BODYW	1.272±0.110a	1.258±0.111a	1.125±0.059a
HEADW	0.445±0.020a	0.444±0.021a	0.455±0.014a
ANTL I	0.124±0.007a	0.122±0.008a	0.117±0.004a
ANTL II	0.094±0.006a	0.091±0.005a	0.089±0.003b
ANTLIII	0.441±0.032a	0.426±0.03a	0.438±0.019a
ANTLIV	0.276±0.030a	0.258±0.025a	0.273±0.014a
ANTL V	0.241±0.017a	0.238±0.020a	0.243±0.011a
ANTBLVI	0.141±0.012a	0.137±0.011a	0.154±0.007a
PTL	0.333±0.031b	0.322±0.031b	0.366±0.014a
FFL	0.43±0.035a	0.434±0.035a	0.401±0.021a
FTL	0.698±0.050a	0.699±0.041a	0.699±0.020a
MFL	0.480±0.031a	0.481±0.034a	0.465±0.010a
MTL	0.782±0.045a	0.78±0.043a	0.729±0.015b
HFL	0.685±0.035a	0.672±0.037a	0.694±0.025a
HTL	1.158±0.054a	1.135±0.057a	1.170±0.016a
URSL	0.110±0.005b	0.107±0.007b	0.117±0.003a
URSW	0.083±0.009a	0.081±0.006a	0.083±0.003a
FTW	0.059±0.003a	0.059±0.003a	0.059±0.002a
FT I L	0.058±0.004ab	0.057±0.004b	0.060±0.001a
FT II L	0.186±0.009a	0.187±0.010a	0.189±0.012a
MTW	0.059±0.003a	0.059±0.002a	0.060±0.001a
MT I L	0.059±0.003a	0.058±0.003a	0.059±0.002a
MT II L	0.193±0.011a	0.194±0.009a	0.189±0.003a
HTW	0.060±0.003a	0.061±0.002a	0.059±0.001a
HT I L	0.059±0.002a	0.058±0.003a	0.060±0.001a
HT II L	0.208±0.024a	0.209±0.010a	0.203±0.005a
FCL	0.059±0.003a	0.059±0.004a	0.062±0.003a
MCL	0.060±0.002a	0.059±0.004a	0.060±0.000a
HCL	0.061±0.003a	0.060±0.003a	0.060±0.000a

各特征缩写含义参考表 2, 表 4 同。表中数据均为平均值±标准差, 同一列数据后标有的不同小写字母表示差异显著 (Duncan's 新复极差法, $P<0.05$)。HP-AP 示采自粘核毛桃的桃粉大尾蚜; HP-PC 示采自紫叶李的桃粉大尾蚜; HP-PA 示采自芦苇的桃粉大尾蚜。

For explanation of character abbreviations as same as Table 2, the same as Table 4. The data in the table are mean ± SD, and followed by the different letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test. HP-AP: *H. pruni* collected from *Amygdalus persica*, HP-PC: *H. pruni* collected from *Prunus cerasifera*, HP-PA: *H. pruni* collected from *Phragmites australis*.

表 4 桃粉大尾蚜 30 个形态特征变量旋转后的因子荷载矩阵、特征值和贡献率
Table 4 Rotated component matrix, eigenvalues and contributions of 30 morphological characteristics variables of *Hyalopterus pruni*

特征 Characteristic	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
ANTLV	0.889	- 0.045	0.168	- 0.120	- 0.133	- 0.048	- 0.105
FTL	0.840	- 0.018	0.015	- 0.139	- 0.036	0.014	0.380
PTL	0.829	0.012	- 0.408	0.081	- 0.149	- 0.031	0.184
ANTLIV	0.828	- 0.141	- 0.159	- 0.168	- 0.044	0.198	- 0.135
HFL	0.811	0.001	0.189	0.140	- 0.040	- 0.343	- 0.163
MFL	0.797	- 0.095	0.316	- 0.080	0.201	- 0.197	- 0.020
HTL	0.790	0.063	0.109	0.203	- 0.147	- 0.171	0.054
HEADW	0.768	0.080	- 0.048	0.247	0.047	0.009	- 0.212
ANTLIII	0.697	- 0.107	0.087	- 0.031	- 0.357	0.233	- 0.073
MTL	0.691	- 0.131	0.593	- 0.240	0.114	- 0.061	0.143
BODYL	0.683	- 0.063	0.278	- 0.158	0.530	0.021	- 0.185
HT I L	0.671	0.222	- 0.248	0.003	0.006	0.398	- 0.298
ANTBLVI	0.612	0.016	- 0.328	- 0.340	- 0.353	- 0.131	0.072
MT I L	0.611	0.224	- 0.061	0.046	0.174	- 0.059	- 0.332
FFL	0.510	- 0.010	0.049	- 0.335	0.377	0.365	0.493
MCL	0.073	0.949	- 0.053	- 0.030	- 0.007	0.110	0.034
MT II L	0.032	0.948	0.073	- 0.119	0.005	0.094	0.054
FT II L	0.148	0.930	- 0.022	- 0.080	0.002	0.135	0.054
FCL	- 0.008	0.928	- 0.158	- 0.105	- 0.087	- 0.073	0.003
HCL	0.050	0.925	0.103	- 0.111	- 0.014	0.026	- 0.110
HT II L	- 0.135	0.671	0.257	- 0.258	0.018	- 0.321	0.134
ANTL II	0.058	- 0.468	0.364	- 0.350	- 0.277	0.269	0.130
FT I L	0.508	- 0.047	- 0.654	- 0.172	0.128	0.293	- 0.106
ANTL I	0.457	0.004	0.618	0.068	- 0.187	0.108	- 0.356
HTW	0.015	0.057	0.365	0.742	0.112	0.262	0.250
FTW	0.194	0.345	0.120	0.642	- 0.151	0.247	0.003
MTW	0.421	0.192	0.216	0.606	- 0.132	- 0.180	0.271
BODYW	0.425	0.052	0.454	- 0.096	0.620	- 0.254	- 0.019
URSW	0.172	0.006	- 0.391	0.219	0.536	- 0.034	0.115
URSL	0.529	- 0.044	- 0.359	0.037	- 0.314	- 0.614	0.048
特征值 Eigenvalue	11.372	5.457	3.352	2.330	1.984	1.585	1.213
贡献率 (%) Variance (%)	33.446	16.049	9.859	6.852	5.834	4.661	3.567
累计贡献率 (%) Cumulative (%)	33.446	49.496	59.354	66.206	72.040	76.702	80.269

为闵行紫叶李上采集的 20、21 号样本聚为一小类, 同为南汇粘核毛桃上采集的 4 号和 5 号样本

也聚为了一小类, 可见同种寄主植物上桃粉大尾蚜种群形态特征间的相关性较高。

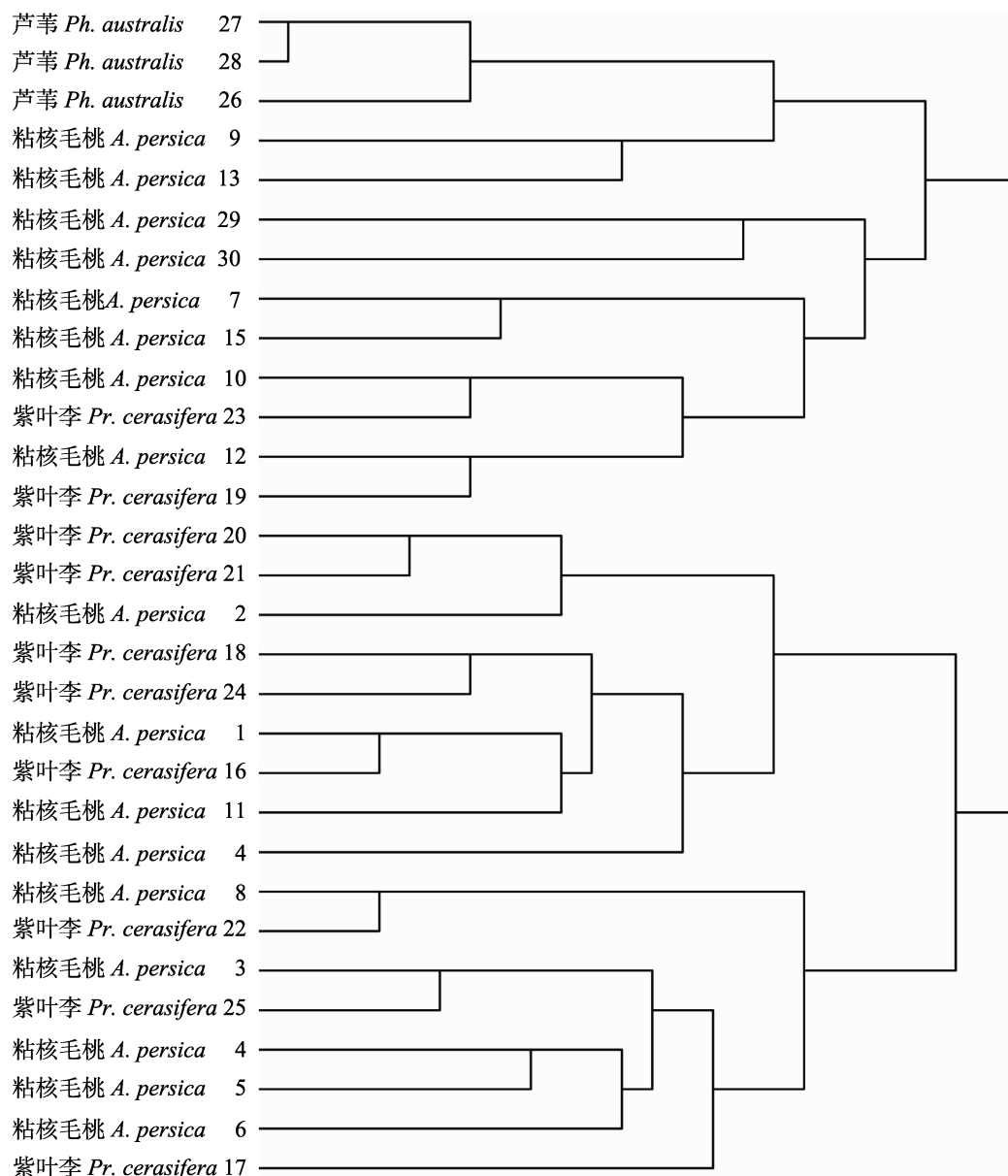


图 2 桃粉大尾蚜 30 个克隆基于形态特征的聚类分析树形图

Fig. 2 Dendrogram of clustering analysis based on the morphological characteristics between 30 clones of *Hyalopterus pruni*

典型判别分析结果如图 3 所示, 基于测量的形态数据将所有桃粉大尾蚜克隆归为两大类, 一类为芦苇上的桃粉大尾蚜, 另一类为蔷薇科植物粘核毛桃和紫叶李上的, 后 2 种寄主上的桃粉大尾蚜克隆在一定程度能相互区分, 但相对而言, 有个别克隆有重叠。可见禾本科和蔷薇科寄主上的桃粉大尾蚜种群形态差异较显著, 结合形态分析发现触角节 II 长、触角末节鞭部长、喙末端长和中足胫节长与体长的比值可以作为区分不同

科寄主植物上桃粉大尾蚜种群的依据。

3 讨论和结论

3.1 桃粉大尾蚜的取食偏好

昆虫选择寄主的行为受多种因素的影响, 如遗传、寄主营养、温度等 (王争艳等, 2011), 此外寄主植物代谢产生的次生性物质 (柯礼道和钦俊德, 1983)、气味 (杜永均等, 1994) 等也可对昆虫的寄主选择行为产生影响。在取食偏好

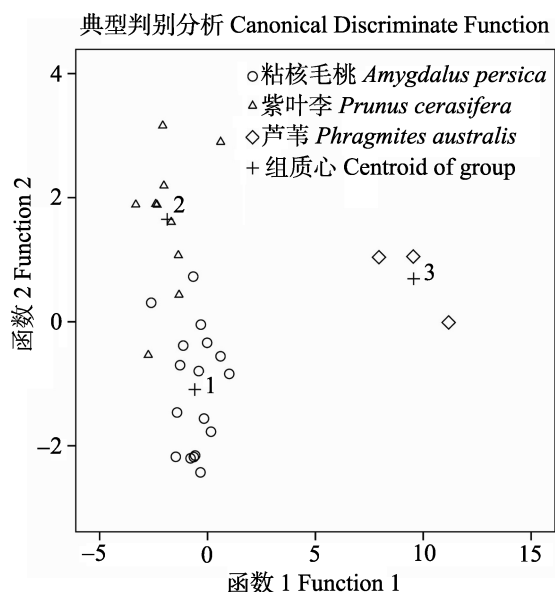


图 3 桃粉大尾蚜 30 个克隆基于形态特征的典型判别分析

Fig. 3 Canonical Discriminate Analysis based on the morphological data of 30 clones of *Hyalopterus pruni*

实验中, 3 种寄主上的桃粉大尾蚜均对芦苇叶片表现出较强的选择性, 随着时间的推移各种寄主植物叶碟上的蚜虫数量有一定的波动, 但总体上对各寄主叶片的喜食程度依次为芦苇 > 粘核毛桃 > 紫叶李。

已有研究证明瓜型棉蚜 *A. gossypii* 比棉花型棉蚜更能准确地选择原来所寄生的植物 (刘向东等, 2004)、桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 对其次生寄主烟草和甘蓝具有较强的趋向性 (张利军等, 2015)。无毛黄瓜 *Cucumis sativus* L. 叶片的抗蚜性相对较高, 这可能与该品种叶片水分、可溶性蛋白、游离氨基酸和可溶性糖含量较低有关 (雷关红等, 2013); 侧枝匍灯藓 *Plagiomnium maximoviczii* 中氨基酸含量明显高于湿地匍灯藓 *P. acutum*, 这可能是角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* Bell 迁飞至侧枝匍灯藓的原因 (邱明生等, 1996)。普遍认为次生寄主的营养更为丰富, 更加有利于蚜虫的生殖和发育 (Mordvilko, 1928), 桃粉大尾蚜营侨迁式全周期生活, 生活史过程中会更换寄主, 其原生寄主为桃、李、杏及榆叶梅等核果类植物, 次生寄主为芦苇。多数桃粉大尾蚜会在春末时期迁飞至芦苇上, 继续营孤雌生殖。在取食偏好实验中粘核毛桃和紫叶李

上的桃粉大尾蚜都没有偏爱其原来所寄生的植物叶片, 而是选择取食次生寄主芦苇的叶片。上海地区芦苇叶片大量发生的时期为 4~5 月, 4 月紫叶李叶片生长状态达到最佳, 此时粘核毛桃叶片也较嫩, 选择实验开始时间定为 4 月下旬使得结果更为可靠, 本研究结果表明春夏季节桃粉大尾蚜会选择营养更为丰富的次生寄主取食。

3.2 桃粉大尾蚜不同形态特征对寄主植物的适应

生物体的表型是由基因型和环境共同决定的。已有研究表明不同寄主植物上相同基因型的棉蚜, 表型也可能存在一定的差异 (陈倩等, 2006)。不同寄主植物甚至相同寄主植物的不同部位上的蚜虫, 其形态特征亦存在明显变异, 如禾本科植物上的蚜虫种类跗节较短, 松科松属植物上蚜虫的跗节较长, 而杨柳科和壳斗科植物上的蚜虫种类跗节长度则介于前两类之间 (方燕等, 2011)。同种寄主植物上不同的蚜虫种类, 与取食寄主叶片和附着寄主表面相关的特征间相似性较高 (方燕等, 2006)。此外, 蚜虫种内的形态变异同样存在, 烟草、甘蓝和桃树这 3 种植物上桃蚜的形态特征存在一定的差异 (张利军等, 2015); 棉花型棉蚜和瓜型棉蚜在体长、头宽、触角节 III 长、腹管、各足全长间差异极显著 (刘向东等, 2004)。触角作为重要的感觉器官, 与蚜虫迁飞、寄主选择等生命活动密不可分 (赵立静和班丽萍, 2011), 本研究发现芦苇上的桃粉大尾蚜触角节 II 和触角末节最长, 其上桃粉大尾蚜喙末端亦较其它 2 种寄主植物上的长, 中足胫节长度却较其它 2 种寄主上的桃粉大尾蚜短, 前足第 I 跗节长度较紫叶李上的长, 与粘核毛桃上的无显著差异。喙末端、足的胫节和跗节等这些特征均与桃粉大尾蚜附着于寄主植物叶片表面密切相关。崇明东滩的芦苇, 不同于生长在沙丘、盐湖等地的芦苇, 其表面不具蜡质 (刘玉冰等, 2011), 而桃叶新叶表面含以三萜酸类物质为主的蜡质 (Baker et al, 1979), 研究表明叶表面的蜡质含量与叶片的抗蚜性呈显著正相关 (徐雪莲, 2013)。桃粉大尾蚜迁飞至次生寄主芦苇后其喙末端的长度以及中足的胫节很有可能对

无蜡质的芦苇叶片产生了一定的形态适应。除叶片表面蜡质含量以外,植物叶片营养成分也能够影响蚜虫的生长发育和繁殖,区焯林等(2006)发现桃蚜的产仔量和发育历期与花青菜叶中的蔗糖、蛋白质及脯氨酸的含量显著相关。可见,造成形态变异的因素有很多,初步分析桃粉大尾蚜迁飞至芦苇后多个特征发生形态变异可能与寄主植物营养成分及表面特征有关。

聚类分析中除同种寄主植物上的桃粉大尾蚜种群相关性较高外,也存在粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜种群间关系较近的情况,如 10 号和 23 号样本形成了相关性较高的一小类,10 号样本的寄主植物为粘核毛桃,而 23 号样本的寄主为紫叶李,结合样本采集信息发现这两号样本均采自宝山区江杨北路地铁站;采自金山区的 8 号和 22 号样本来自不同的寄主植物,也聚为了一小类,表明二者的相关性较高,采自杨浦区粘核毛桃的 3 号样本和徐汇区紫叶李的 25 号样本间也聚为一小类,二者采集信息显示采集地点较近。聚类分析树形图显示了 30 个样本间基于形态测量数据的相关性,能够将芦苇上的桃粉大尾蚜种群归为一小类,分析采自粘核毛桃和紫叶李上桃粉大尾蚜种群的分支,可以发现同种寄主上的桃粉大尾蚜多数聚为一小类,距离较近的粘核毛桃和紫叶李上的桃粉大尾蚜种群也有不少聚为小类,虽然不是采自同种寄主植物,但由于地理距离较近,桃粉大尾蚜的迁移导致了不同寄主上的种群形态特征相关性较高,可见寄主植物能够在一定程度上影响桃粉大尾蚜的形态特征。

总之,桃粉大尾蚜喜食营养较丰富的芦苇叶片,芦苇上桃粉大尾蚜的多个与寄主植物关系密切的特征发生了一定的变异,触角各节、各足股节、胫节与体长的比值可以作为区分原生寄主和次生寄主上桃粉大尾蚜种群的依据。形态变异不仅与寄主植物密切相关,还与越冬虫源、迁飞能力等因素有关。本文仅就所采集地区的 3 种寄主上桃粉大尾蚜形态特征的差异进行了分析,其种内形态分化的具体机制还有待更深层次的探索。

参考文献 (References)

- Baker EA, Bukovac MJ, Flore JA, 1979. Ontogenetic variations in the composition of peach leaf wax. *Phytochemistry*, 18(5): 781–784.
- Bašilova J, Rakauskas R, 2012. Phylogenetic relationships of *Dysaphis pyri* (Boyer de Fonscolombe) and *Dysaphis reaumurii* (Mordvilko) (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae): COI and EF-1 α evidence. *Organisms Diversity & Evolution*, 12(2): 197–204.
- Blackman RL, Spence JM, 1994. The effects of temperature on aphid morphology, using a multivariate approach. *European Journal of Entomology*, 91(1): 7–22.
- Chen Q, Shen ZR, Wang YM, 2006. Phenotypic plasticity of aphids and its genetic basis. *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 859–866. [陈倩, 沈佐锐, 王永模, 2006. 蚜虫的表型可塑性及其遗传基础. 昆虫学报, 49(5): 859–866.]
- Du YJ, Yan FS, Han XL, Zhang GX, 1994. Olfaction in host plant selection of the soybean aphid *Aphis glycines*. *Acta Entomologica Sinica*, 37(4): 385–392. [杜永均, 严福顺, 韩心丽, 张广学, 1994. 大豆蚜嗅觉在选择寄主植物中的作用. 昆虫学报, 37(4): 385–392.]
- Fang Y, Qiao GX, Zhang GX, 2006. Morphometric variation of eight aphid species feeding on the leaves of bamboos. *Acta Entomologica Sinica*, 49(6): 991–1001. [方燕, 乔格侠, 张广学, 2006. 竹类植物叶片上八种蚜虫的形态变异分析. 昆虫学报, 49(6): 991–1001.]
- Fang Y, Qiao GX, Zhang GX, 2011. Morphological adaptation of aphid species on different host plant leaves. *Acta Entomologica Sinica*, 54(2): 157–178. [方燕, 乔格侠, 张广学, 2011. 不同寄主植物叶片上蚜虫的形态适应. 昆虫学报, 54(2): 157–178.]
- Jiang YX, Guo YY, 1996. The study of the feeding behaviour of cotton aphid and relative feeding amount on different cotton varieties. *Acta Phytopythologica Sinica*, 23(1): 1–7. [姜永幸, 郭予元, 1996. 棉蚜在不同棉花品种上的取食行为及相对取食量的研究. 植物保护学报, 23(1): 1–7.]
- Ke LD, Qin JD, 1983. Influences of some secondary plant substances on food selection of *Myzus persicae*. *Acta Entomologica Sinica*, 26(2): 193–201. [柯礼道, 钦俊德, 1983. 几种植物性次生物对桃蚜食性的影响. 昆虫学报, 26(2): 193–201.]
- Lazzari SMN, Voegtlin DJ, 1993. Morphological variation in *Rhopalosiphum padi* and *R. insertum* (Homoptera: Aphididae) related to host plant and temperature. *Annals of the Entomological Society of America*, 86(1): 26–36.
- Lei GH, Hu LL, Liu YL, Ma RJ, Cao CX, 2013. Research on relationship between aphid—resistance and nutrient substances in leaves of glabrous cucumber. *Shandong Agricultural Sciences*, 45(7): 95–98, 101. [雷关红, 胡丽丽, 刘亚丽, 马荣金, 曹辰兴, 2013. 无毛黄瓜抗蚜与叶片营养物质关系的探究. 山东农业科学, 45(7): 95–98, 101.]
- Liu J, Wu KM, Zhao KJ, Guo YY, 2003. Morphological variation of growth and development in *Aphis gossypii* Glover collected from different climate zones. *Cotton Science*, 15(1): 13–16. [刘健, 吴孔明, 赵奎军, 郭予元, 2003. 不同气候带棉蚜种群生长发育

- 的形态指标. 棉花学报, 15(1): 13–16.]
- Liu XD, Zhai BP, Zhang XX, Lu Y, 2004. Differentiation in morphometrics and ecological adaptability of cotton and cucumber biotypes of the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(6): 768–773. [刘向东, 翟保平, 张孝羲, 陆杨, 2004. 棉花型和瓜型棉蚜形态和生态适应力的分化. 昆虫学报, 47(6): 768–773.]
- Liu YB, Li XR, Zhou SH, Tan HJ, Li XJ, 2011. Characteristics of leaf epidermis and chloroplast structure in reed inhabiting in three different habitats. *Journal of Desert Research*, 31(4): 873–877. [刘玉冰, 李新荣, 周生荃, 谭会娟, 李小军, 2011. 3 种不同生境芦苇叶表皮微形态和叶绿体结构特征分析. 中国沙漠, 31(4): 873–877.]
- Lozier JD, Miller GL, Footitt RG, Mills NJ, Roderick GK, 2008. Molecular and morphological evaluation of the aphid genus *Hyalopterus* Koch (Insecta: Hemiptera: Aphididae), with a description of a new species. *Zootaxa*, 1688: 1–19.
- Margaritopoulos JT, Shigehara T, Takada H, Blackman RL, 2007. Host-related morphological variation within *Myzus persicae* group (Hemiptera: Aphididae) from Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 42(2): 329–335.
- Meng L, Li BP, Dong YC, 1998. A morphometric analysis on the food-preference forms of cotton aphids from Xinjiang, China. *Entomological Knowledge*, 35(6): 326–330. [孟玲, 李保平, 董应才, 1998. 新疆棉蚜食物专化型的形态测量分析. 昆虫知识, 35(6): 326–330.]
- Moran NA, 1986. Morphological adaptation to host plants in *Uroleucon* (Homoptera: Aphididae). *Evolution*, 40(5): 1044–1050.
- Mordvilko A, 1928. The evolution of cycles and the origin of heteroecy (migrations) in plant-lice. *Annals and Magazine Natural History*, 2(12): 570–582.
- Mosco MC, Arduino P, Bullini L, Barbagallo S, 1997. Genetic heterogeneity, reproductive isolation and host preferences in mealy aphids of the *Hyalopterus pruni* complex (Homoptera, Aphidoidea). *Molecular Ecology*, 6(7): 667–670.
- Ou ZL, Liu ZM, Cui ZX, Cao Y, Dong HQ, Nie CR, 2006. Effects of broccoli varieties on development and reproduction and population dynamics of *Myzus persicae*. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 32(6): 641–643. [区焯林, 刘志敏, 崔志新, 曹毅, 董华强, 聂呈荣, 2006. 不同品种青花菜对桃蚜生长发育与繁殖及种群数量的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 32(6): 641–643.]
- Peccoud J, Simon JC, Dohlen CV, Coeur A, Plantegenest M, Masutti FV, Jousset E, 2010. Evolutionary history of aphid-plant associations and their role in aphid diversification. *Comptes Rendus Biologies*, 333(6/7): 474–487.
- Poulios KD, Margaritopoulos JT, Tsitsipis JA, 2007. Morphological separation of host adapted taxa within the *Hyalopterus pruni* complex (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology*, 104(2): 235–242.
- Qiu MS, Zhao ZM, Xu XQ, Wu M, Nai Y, Peng XF, Zheng XL, 1996. Study on nutrition relationship between *Schlechtendalia chinensis* (Bell) and its host plants. *Journal of Southwest Agricultural University*, 18(6): 613–617. [邱明生, 赵志模, 徐学勤, 吴猛, 耐阳, 彭兴福, 郑秀兰, 1996. 角倍蚜与其寄主间营养关系的研究. 西南农业大学学报, 18(6): 613–617.]
- Rakauskas R, Havelka J, Zaremba A, 2013. Mitochondrial COI and morphological specificity of the mealy aphids (*Hyalopterus* spp.) collected from different hosts in Europe (Hemiptera, Aphididae). *Zookeys*, 319: 255–267.
- Tang QB, Wang CZ, 2007. Leaf disc test used in caterpillar feeding preference study. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 912–915. [汤清波, 王琛柱, 2007. 一种测定鳞翅目幼虫取食选择的方法——叶碟法及其改进和注意事项. 昆虫知识, 44(6): 912–915.]
- Wang ZY, Li XT, Lu YJ, Mo JC, 2011. Principles of host-selection evolution in insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 174–177. [王争艳, 李心田, 鲁玉杰, 莫建初, 2011. 昆虫寄主选择行为的进化机制. 应用昆虫学报, 48(1): 174–177.]
- Wool D, Hales DF, 1997. Phenotypic plasticity in Australian cotton aphid: Host plant effects on morphological variation. *Annals of the Entomological Society of America*, 90(3): 316–328.
- Xu XL, 2013. Identification and Resistance Mechanisms of Watermelon Varieties to *Aphis gossypii* Glover. Doctoral dissertation. Hainan: Hainan University. [徐雪莲, 2013. 西瓜抗蚜性鉴定及其机理研究. 博士学位论文. 海南: 海南大学.]
- Zhang GX, Zhong TS, 1983. Economic Insect Fauna of China. Beijing: Science Press. 1–387. [张广学, 钟铁森, 1983. 中国经济昆虫志. 北京: 科学出版社. 1–387.]
- Zhang LJ, Li YY, Ma RY, Zhao ZG, Liu TX, 2015. Performance and morphological differentiation of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on three types of host plants. *Acta Ecologica Sinica*, 35(5): 1–10. [张利军, 李丫丫, 马瑞燕, 赵志国, 刘同先, 2015. 3 种寄主上桃蚜的选择性及形态分化研究. 生态学报, 35(5): 1–10.]
- Zhao LJ, Ban LP, 2011. Progress on the morphology and physiological function of the sensilla on aphid antennae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 1077–1086. [赵立静, 班丽萍, 2011. 蚜虫触角感受器结构及功能研究进展. 应用昆虫学报, 48(4): 1077–1086.]
- Zhao M, Tian TW, Li WZ, Luo MH, Guo XR, Yan FM, 2015. Comparative analysis of *Rhopalosiphum maidis* feeding behaviors on eight maize hybrids (inbreds). *Scientia Agricultura Sinica*, 48(8): 1538–1547. [赵曼, 田体伟, 李为争, 罗梅浩, 郭线茹, 闫凤鸣, 2015. 玉米蚜在 8 个玉米品种(系)上取食行为的比较分析. 中国农业科学, 48(8): 1538–1547.]
- Zhou FC, Lu ZQ, Chen LF, Zhu SD, Li X, Xu YH, 1998. The correlativity between wheat morphologic character and resistance to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* L. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 19(4): 39–42. [周福才, 陆自强, 陈丽芳, 祝树德, 李祥, 徐勇惠, 1998. 小麦形态特征与抗禾谷缢管蚜的关系. 江苏农学院学报, 19(4): 39–42.]