

夏季木槿上棉蚜的种群动态及其寄主利用能力

耿桃兰, 刘向东

(南京农业大学昆虫学系, 南京 210095)

摘要: 【目的】阐明南京地区冬寄主木槿上棉蚜种群年生活史的分化。【方法】采用定点、定株、定枝的系统调查及寄主转接建立生命表方法, 比较夏季木槿上滞留棉蚜及棉花上棉蚜在主要夏寄主植物上的存活与繁殖能力。

【结果】2006年和2007年的整个夏季, 棉蚜的冬寄主木槿上均有滞留棉蚜种群存在, 并且这些滞留棉蚜均以无翅型为主。木槿上夏季滞留棉蚜不能直接在黄瓜、香瓜、西葫芦、南瓜、四季豆和西红柿等寄主上繁殖后代和建立种群, 仅极少部分个体可在棉花和豇豆上发育到成蚜并产仔, 但产仔量极低, 净增殖率多小于1。但是, 滞留棉蚜经棉花寄主饲养多代后, 能较好地利用棉花和南瓜寄主, 表现出滞留棉蚜仍保持着对一些夏寄主的利用能力。

【结论】南京地区冬寄主木槿上的棉蚜种群存在年生活史的多样性, 同种群内存在异寄主生活史和同寄主生活史共存的现象; 在木槿上营同寄主生活史的棉蚜已经失去或降低了对一些夏寄主的利用能力; 棉蚜种群的转寄主生活史特性具有可塑性。

关键词: 棉蚜; 生活史; 种群分化; 寄主利用; 可塑性

Population Dynamics of *Aphis gossypii* Glover on Hibiscus Tree in Summer and Its Capacity to Utilize Other Host-plants

GENG Tao-lan, LIU Xiang-dong

(Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract: 【Objective】 The research was to clarify the differentiation in the life-cycle of cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover) on an overwintering host plant, *Hibiscus syriacus* L. in Nanjing, Jiangsu province, China. 【Method】 The cotton aphids on hibiscus trees were investigated by systematic observation method in a whole summer season. Survival and reproduction of cotton aphids from hibiscus tree and cotton were compared on different summer host-plants using host transplantation and life-table methods.

【Result】 There was a sedentary population of cotton aphid on the overwintering host-plant, hibiscus tree, in the whole summer of 2006 and 2007, and it was mainly apterous. The sedentary cotton aphids from hibiscus trees could not produce offspring and establish population when they were transferred directly to cucumber, muskmelon, zucchini, pumpkin, kidney bean and tomato. Although a minority of the sedentary aphid individuals from hibiscus could grow up into adults on cotton and cowpea, they produced fewer offspring and their net reproductive rate (R_0) was less than one. However, the sedentary cotton aphids from hibiscus trees showed better fitness on cotton and zucchini after they were reared on the cotton for some generations. The sedentary aphids on summer hibiscus still kept the capacity to utilize some summer host-plants. 【Conclusion】 The diversity of life-cycle exists in the cotton aphid population on an overwintering host-plant, hibiscus in Nanjing, and the autoecious (host-specific) and heteroecious (host-alternating) coexist in the same population. The aphids, which life-cycle is host-specific on hibiscus, have lost or weakened the capacity to utilize some summer host-plants. The life-cycle of cotton aphid population on overwintering host-plant is flexible.

Key words: cotton aphid; life-cycle; population differentiation; host utilization; plasticity

0 引言

【研究意义】蚜虫的年生活史有两种类型, 即同

寄主型和异寄主型。同寄主型蚜虫生活在一种或几种特殊属中的少数种植物上; 异寄主型蚜虫在秋季、冬季和春季生活在木本植物(原生寄主)上, 而夏季通

收稿日期: 2008-03-12; 接受日期: 2008-05-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771418)

作者简介: 耿桃兰(1983-), 女, 江苏常州人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态与进化。E-mail: 2006102088@njau.edu.cn。通信作者刘向东(1970-), 男, 湖南隆回人, 副教授, 博士, 研究方向为昆虫生态及预测预报。Tel: 025-84395242; E-mail: liuxd@njau.edu.cn

常生活在草本植物(次生寄主)上^[1]。以前的研究表明, 蚜虫中大约 10% 的物种在冬寄主木本植物和夏寄主草本植物上转主生活^[1-2]; 而最近通过线粒体和核糖体有关基因的测序研究表明, 在蚜亚科中有大约 15% 的种类在冬寄主和夏寄主之间转主生活, 剩下的 85% 中少部分仅生活在木本植物上, 而大部分则已丧失或放弃了对木本植物(原生寄主)的利用, 终年生活在草本植物上^[3-4]。蚜虫的转寄主生活史不但会造成为害的扩散, 而且易引起蚜传病害的蔓延^[5]。棉蚜在寄主关系、生活史和地理分布上比其它的蚜虫分化更大^[4]。因此, 研究多食性棉蚜种群的转寄主生活史特性的分化与可塑性, 不但对蚜虫生活史进化研究有理论价值, 而且对不同作物上棉蚜的防控有一定的指导意义。【前人研究进展】在蚜虫的进化过程中, 蚜虫种群为适应环境条件的变化, 常常分化出对不同寄主拥有不同的利用能力以及生活史上的分化^[6-8]。邹晨辉等^[9]对不同冬夏寄主棉蚜种群重复序列引物 DNA 多态性分析表明, 冬寄主上的棉蚜种群很明显与夏寄主上的不同。龚鹏等^[10]对棉蚜种群寄主分化的研究也表明, 冬寄主种群和夏寄主种群之间有较大的分化。张孝羲等^[11]研究表明, 棉蚜从冬寄主向夏寄主转移时, 不同冬寄主上的虫源对夏寄主的利用有明显分化。不过, 这些研究均把冬寄主上的棉蚜看作是转寄主生活史的类型。研究表明, 在不同温区, 同一种蚜虫存在不同的生活史类型^[6]。鼯瓣黑隐瘤蚜(*Cryptomyzus galeopsidis*)同时存在有 2 种生活史类型, 一种是在冬寄主和夏寄主之间转主生活; 另一种是夏季仍生活在冬寄主上, 并可在不同种的冬寄主上同寄主生活。对两种不同生活史类型的蚜虫杂交还发现, 杂交后代中既有营同寄主生活史的, 也有营转寄主生活史的^[12]。Dohlen 等^[13]通过调查金缕梅叶瘿扁蚜(*Hormaphis hamamelidis*)发现, 该蚜在低海拔地区营转寄主生活, 在高海拔(1 000 m)地区营同寄主生活, 而在这两海拔之间的地区两种生活史可同时存在。并且通过这两种类型生活史杂交发现杂交后代的受精率下降。【本研究切入点】普遍认为南京地区棉蚜营转寄主生活史, 即春末夏初, 冬寄主上越冬的棉蚜产生有翅蚜向夏寄主迁飞; 秋季再从夏寄主上迁回到冬寄主, 并在冬寄主上以卵越冬。但是, 在作者的观察中发现, 在南京地区并非所有的越冬棉蚜均迁离冬寄主, 而在整个夏季冬寄主木槿上仍存在有少量棉蚜。由此推测, 冬寄主木槿上棉蚜可能存在生活史类型的多样性, 但是有关同一区域同一种群内棉蚜生活史的分化国内外尚无研究, 并

且更缺乏不同生活史棉蚜对寄主利用能力的测定。【拟解决的关键问题】通过研究证实南京地区冬寄主木槿上棉蚜种群存在转寄主生活史的可塑性; 明确不转寄主生活(即同寄主生活史)的棉蚜发生了对夏寄主利用能力上的分化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试寄主植物 棉花、黄瓜、南瓜、西葫芦、香瓜、四季豆、豇豆和西红柿均为常规品种, 其中棉花为冀 668, 棉蚜品系均用该品种苗期棉株饲养。供试植物用珍珠岩栽种在塑料杯中, 定期浇灌培养液。出苗后长至 3~4 片真叶时用于接虫试验。

1.1.2 供试棉蚜 木槿上夏季滞留棉蚜于 2007 年 7-8 月采自南京农业大学校园内的木槿树上, 采回后一部分直接用于寄主测试, 称为木槿上夏季滞留棉蚜, 简称为 S-aphid; 一部分用棉苗饲养, 在棉株上饲养 3 代以后的滞留棉蚜称为棉花饲养后的滞留棉蚜, 简称为 S/C-aphid。同年 8 月在南京棉田采集无翅棉蚜, 带回室内用棉株饲养, 该棉蚜称为棉花上棉蚜, 简称 C-aphid。

1.2 试验方法

1.2.1 木槿上棉蚜的调查 调查于 2006 年 6-10 月及 2007 年 6-9 月在南京农业大学校园内的木槿树上进行。采用定点、定株、定枝挂牌的系统调查方法, 调查 5~10 株木槿树, 每株选取东、南、西、北、中 5 枝条, 每枝条记数离顶梢 20 cm 长区域内棉蚜的总数量、有翅蚜数量及棉蚜的天敌数量(主要为瓢虫、草蛉、蜘蛛、蚜茧蜂等)。由于整个夏季木槿上各天敌的数量均较少, 因此分析时仅列出了各调查时间所有天敌的总数量。调查每 3~5 d 一次, 从春季棉蚜迁飞后一直持续到秋季棉蚜回迁为止, 连续调查两年。

1.2.2 寄主转接 采用寄主转接方法, 分别测试了木槿上夏季滞留棉蚜、棉花上饲养多代的滞留棉蚜及棉花上棉蚜对棉花、黄瓜、香瓜、南瓜、西葫芦、豇豆、四季豆和西红柿等作物的利用能力。每种测试寄主开始接各测试棉蚜品系的无翅成蚜 20~25 头, 用塑料网罩罩好后置于光照培养箱中(27℃, L:D=12:12)。每种转接重复 8~33 次。接虫 24 h 后检查所接蚜虫的存活情况及产仔量, 如果所接棉蚜在 24 h 内所产仔蚜达 10 头以上, 则去除所接成蚜, 保留并记数仔蚜, 并以此仔蚜作为转接的起始蚜量。以后每天观察记录该起始蚜的存活情况。当起始蚜发育到成蚜并产仔时,

还需记数仔蚜数量并去除全部仔蚜。调查直至所有起始蚜死亡为止。

1.3 数据分析方法

根据以上调查数据分别估计各种转接下棉蚜的生命表参数，计算方法为：

$$\text{净增殖率 } R_0 = \sum (l_x m_x)$$

$$\text{世代平均寿命 } T = \sum (x l_x m_x) / \sum (l_x m_x)$$

$$\text{内禀增长率 } r_m = (\ln R_0) / T$$

其中， l_x 为棉蚜在 x 时刻（天）的存活率， m_x 为棉蚜从第 $x-1$ 天到第 x 天内的每雌产仔量。

如果转接棉蚜没产仔蚜就死亡，其世代平均寿命（ T ）则按存活时间的加权平均估计。不同棉蚜品系在相同寄主上的生命表参数的差异显著性检验采用

Duncan's 新复极差法；而存活率间的差异显著性采用非参检验方法中的两个或多个独立样本检验方法。统计检验均在 SPSS10.0 系统中进行。文中数据均为平均数±标准误。

2 结果与分析

2.1 冬寄主木槿树上夏季滞留棉蚜的种群动态

在 2006 和 2007 年的夏季，对冬寄主木槿树上的棉蚜及其天敌进行了系统调查，结果如图所示。两年的调查结果表明，在整个夏季，棉蚜的冬寄主木槿上仍然存在有不迁飞到夏寄主上去的滞留棉蚜；并且这些滞留棉蚜均以无翅型为主，有翅型比率极低。同时，夏季木槿树上棉蚜天敌的数量也很少。

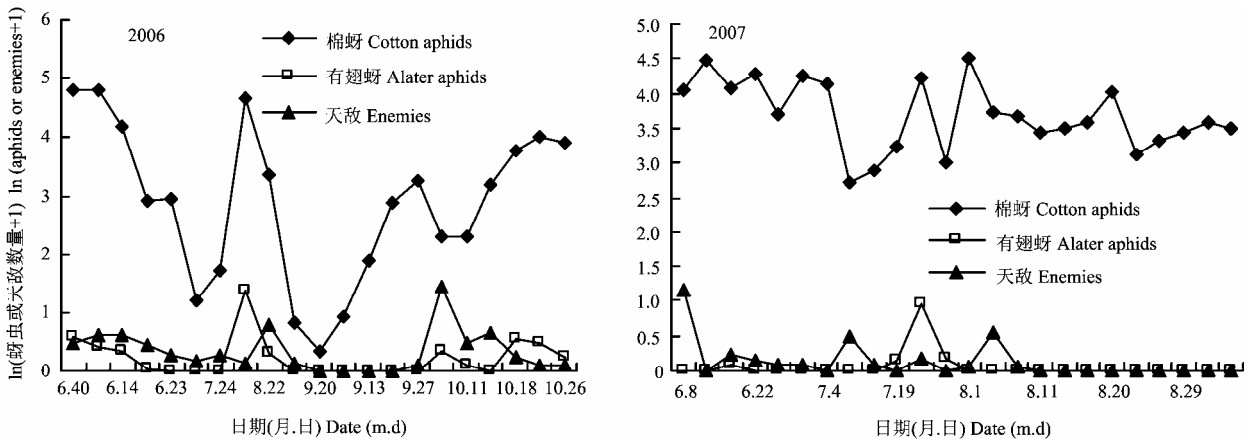


图 2006 和 2007 年木槿树上夏季滞留棉蚜及其天敌的数量动态（头/20 cm 枝条）

Fig. Number dynamics of cotton aphids or enemies per 20 cm branch of hibiscus in summer of 2006 and 2007

2.2 滞留棉蚜对夏寄主的利用能力

2.2.1 对几种葫芦科植物的利用能力 结果表明(表 1)，木槿上夏季滞留棉蚜以及棉花上的棉蚜均不能正常利用黄瓜和香瓜寄主，表现出寄主转换后死亡率极高，平均存活时间仅为 1.2~1.5 d，最长也仅为 2~4 d，并且不能产生后代建立种群。但是，木槿上夏季滞留棉蚜在利用西葫芦和南瓜时表现出了与棉花上棉蚜的显著差异，棉花上棉蚜可以在西葫芦及南瓜上存活较长时间，并产仔蚜建立种群；而木槿上夏季滞留棉蚜在西葫芦和南瓜上均不能发育到成蚜阶段，且不能产仔建立种群。即使在棉花上饲养多代后的滞留棉蚜也不能利用西葫芦。不过，棉花上饲养多代后的滞留棉蚜能在南瓜上存活并繁殖后代，并且对南瓜的适合度与棉花上棉蚜相比差异不显著（表 1）。由此说明，

木槿上夏季滞留棉蚜仍保持着对南瓜的利用能力，而失去了利用西葫芦寄主的能力。

2.2.2 对棉花、豇豆、四季豆和西红柿等植物的利用能力 由表 2 可知，木槿上的夏季滞留棉蚜在棉花上的存活率显著低于棉花上的棉蚜(U=718.0, P<0.01)，转接 3 d 后种群的存活率已低于 40%，而棉花上棉蚜的存活率却在 70%以上，并且滞留棉蚜在棉花上的最长存活时间为 31 d，而棉花上棉蚜则长达 63 d。木槿上夏季滞留棉蚜利用棉花寄主的能力显著低于夏季棉田中的棉蚜，表现为若蚜能发育到成蚜并产生后代的概率较低，33 个重复中仅 9 个重复有后代产生；能产仔的重复其产仔前期也较长，而世代平均寿命（ T ）却较短，并且产仔量极低，净增殖力仅为棉花上棉蚜的 1/10 左右，同时，内禀增长率（ r_m ）均小于 0。不

表 1 木槿上夏季滞留棉蚜和棉花上棉蚜在葫芦科植物上的生命参数

Table 1 The life parameters of S- and C-aphids on Cucurbitaceae plants

转接类型 The type of transplantation	产仔重复数 Replications which can produce offspring	R_0	T	r_m
木槿上滞留棉蚜-黄瓜 S-aphid on cucumber ($n=24$)	0	0a	1.2±0.04a	-
棉花上棉蚜-黄瓜 C-aphid on cucumber ($n=12$)	0	0a	1.5±0.13a	-
木槿上滞留棉蚜-香瓜 S-aphid on muskmelon ($n=12$)	0	0a	1.3±0.09a	-
棉花上滞留棉蚜-香瓜 C-aphid on muskmelon ($n=15$)	0	0a	1.2±0.05a	-
木槿上滞留棉蚜-西葫芦 S-aphids on zucchini ($n=10$)	0	0b	1.2±0.08b	-
棉花上饲养的滞留棉蚜-西葫芦 S/C-aphids on zucchini ($n=7$)	0	0b	1.4±0.14b	-
棉花上棉蚜-西葫芦 C-aphids on zucchini ($n=11$)	9	2.9±1.2a	12.6±0.95a	0.0080±0.05
木槿上滞留棉蚜-南瓜 S-aphids on pumpkin ($n=10$)	0	0b	1.1±0.02b	-
棉花上饲养的滞留棉蚜-南瓜 S/C-aphids on pumpkin ($n=8$)	4	0.7±0.4a	13.4±1.2 a	-0.086±0.065a
棉花棉蚜-南瓜 C-aphids on pumpkin ($n=11$)	8	1.7±0.5 a	14.4±0.4a	0.011±0.02 a

数据后不同的小写字母表示不同棉蚜种群在相同寄主上差异显著。“-”表示有转接未产仔，不能计算该值，表 2 同

The different letter followed data shows significant difference among different aphid populations on the same host-plant. “-” shows no offspring produced and can not calculate the value. The same as the following table 2

过，滞留棉蚜仍然保持着对棉花寄主的利用能力，在棉株上饲养多代后，其对棉花寄主的利用与棉花上棉蚜相同，表现为净增殖率、平均存活寿命及内禀增长率不再有显著差异。

试验结果还表明，木槿上夏季滞留棉蚜和棉花上棉蚜都不能利用四季豆和西红柿，两种类型棉蚜在这

两种寄主上仅能存活 1~3 d，不能产生后代建立种群。木槿上夏季滞留棉蚜和棉花上棉蚜对豇豆的利用能力也较弱，表现为存活率低、存活时间短，虽有极少数个体能发育到成蚜，但产仔量极低，净增殖率分别为 (0.08±0.05) 和 (0.14±0.10) 头/雌，两者无显著差异 (表 2)。

表 2 木槿上夏季滞留棉蚜在棉花、豇豆、四季豆及西红柿上的存活率与生命参数

Table 2 Survival and life parameters of S- and C-aphids on cotton, cowpea, kidney bean, and tomato

转接后天数 Days after transfer (d)	木槿上夏季滞留棉蚜 S-aphids				棉花上棉蚜 C-aphids			
	棉花 Cotton $n=33(9)$	豇豆 Cowpea $n=14(4)$	四季豆 Kidney bean $n=8(0)$	西红柿 Tomato $n=8(0)$	棉花 Cotton $n=14(14)$	豇豆 Cowpea $n=7(2)$	四季豆 Kidney bean $n=12(0)$	西红柿 Tomato $n=10(0)$
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.6882	0.5937	0.0375	0.1868	0.8875	0.5595	0.1069	0
2	0.3910	0.3733	0	0	0.8231	0.3333	0	
3	0.2528	0.2448			0.7254	0.2143		
4	0.1805	0.153			0.6206	0.1667		
5	0.1242	0.1017			0.5693	0.1190		
6	0.0975	0.0865			0.506	0.0952		
7	0.0816	0.0786			0.4813	0		
8	0.0658	0.0607			0.4476			
9	0.0532	0.0357			0.4205			
10	0.0421	0			0.3945			
净增殖率 R_0	1.10±0.50b	0.08±0.05	0	0	0.13±0.01 a	0.14±0.10	0	0
平均寿命 T	10.7±1.4b	-	-	-	14.9±1.3 a	-	-	-
内禀增长率 r_m	-0.095±0.044b	-	-	-	0.129±0.014a	-	-	-
开始产仔时间	7.6±0.6b	7.3±1.0	-	-	5.9±0.2a	5.5	-	-
Duration of development (d)								

n 为重复数，括号中数字代表能产生仔蚜的重复数。数据后不同小写字母表示不同棉蚜种群在棉花寄主上差异显著 ($P \leq 0.05$)

n represents the replications, the data in parentheses is the number of replications which can produce offspring. The different letter followed data shows significant difference among different aphid populations on cotton

3 讨论

冬寄主上的棉蚜在春季大量向夏寄主迁飞, 以实现营异寄主的年生活史^[14-15]。本研究表明, 在南京地区的木槿现蕾期, 虽然棉蚜种群数量急剧下降, 但在整个夏季, 木槿上仍有棉蚜种群滞留。以前的研究表明, 木槿上春季棉蚜种群中存在有迁飞系和居留系, 并且两品系在起飞角度、起飞比率和有翅蚜产生能力上表现出显著差异, 并且有很强的遗传效应^[16]。夏季木槿上的滞留棉蚜很可能就是由这些居留系个体所组成, 它们由于迁飞能力的低弱, 而不能迁飞到夏寄主上, 从而保持周年的同寄主生活。而迁飞能力强的个体则转移到夏寄主上, 而营异寄主生活史。当然, 这还有待于进一步研究证实。在南京地区, 冬寄主木槿上的棉蚜种群同时存在异寄主和同寄主两种类型的生活史, 表现出了同种群中的生活史多样性。Dohlen 等^[13]报道, 金缕梅叶瘿扁蚜在不同地区存在 3 种生活史对策, 分别为同寄主生活史、转寄主生活史以及混合型生活史(两种生活史同时存在)。本研究的结果与之非常相似, 在同地域同一种群的棉蚜存在两种生活史的共存。

蚜虫种群具有较高的遗传多样性和表型可塑性^[17-23]。Peppe 等^[22]研究表明, 桃蚜(*Myzus persicae*)的一些基因型在甘蓝上适合度最好, 而在萝卜上的适合度最差; 其它的基因型则在甘蓝和萝卜上适合度没有差别。Gazi 等^[23]也发现, 黑豆蚜(*Aphis fabae*)种群中的 8 种基因型不能在旱金莲(*Tropaeolum majus*)上存活, 而其它 5 种基因型却能够存活; 这 5 种基因型在旱金莲上饲养多代后, 其对旱金莲的适合度显著提高, 但对原来适宜的寄主蚕豆(*Vicia faba*)的适合度却没有显著变化。在本研究中, 木槿滞留蚜转接到棉花上的 33 个重复中有 24 个重复不能产仔, 而有 9 个重复却能产仔和繁殖后代, 这说明滞留棉蚜种群中可能存在基因型的多样性, 其中绝大部分个体属于不能利用棉花的基因型, 而极少部分个体属于能利用棉花的基因型。这种基因型的多样性不仅增加了滞留棉蚜的生态适应力, 同时, 也保证了棉蚜种群在一定环境条件下可以进行生活史类型的转换。本研究还发现, 木槿上的夏季滞留棉蚜不能很好地利用棉花、南瓜和西葫芦, 而棉花上的棉蚜则可利用这些寄主。棉蚜在寄主利用能力上的分化, 很可能是促使其发生生活史类型分化的原因。不能很好利用棉花和瓜类等夏寄主的棉蚜个体则分化为周年在冬寄主上营同寄主生活史

的类型; 反之, 则分化为营异寄主生活史的类型。

另外, 夏季木槿上滞留的棉蚜种群有其明显的生态价值。蚜虫在转寄主过程中不但要消耗大量的能量, 而且存在找不到适宜寄主的危险, 特别是在秋冬季节转主到数量较少的冬寄主上时^[24-25]; 并且在整个夏季冬寄主上各种类型天敌的数量均维持在极低水平。因此, 在冬寄主上营同寄主生活史的棉蚜种群, 则可避开迁飞过程中的风险和减轻天敌的干扰, 从而保证了种群的发展和延续。

4 结论

南京地区, 冬寄主木槿上的棉蚜种群存在年生活史类型的多样性, 在大量个体营异寄主生活史的同时, 有少量个体营冬寄主上的同寄主生活史, 夏季木槿上常年均有滞留棉蚜存在。夏季木槿上滞留棉蚜在对夏寄主的利用能力上发生了明显退化, 对棉花和瓜类等主要夏寄主的利用能力明显降低, 但依然保持着利用一些夏寄主的能力。

References

- [1] Dixon A F G. *Aphid Ecology*. London: Chapman & Hall, 1998: 128.
- [2] Powell G, Hardie J. The chemical ecology of aphid host alternation: How do return migrants find the primary host plant? *Applied Entomology and Zoology*, 2001, 36(3): 259-267.
- [3] Dohlen C D, Moran N A. Molecular data support a rapid radiation of aphids in *Cretaceous* and multiple origins of host alternation. *Biological Journal of Linnean Society*, 2000, 71: 689-717.
- [4] Emden H F, Harrington R. *Aphids as Crop Pests*. London: Cromwell Press, 2007: 10.
- [5] Powell G, Tosh C R, Hardie J. Host plant selection by aphids: behavioral, evolutionary and applied perspectives. *Annual Review of Entomology*, 2006, 39: 309-330.
- [6] Moran N A. The evolution of aphid life cycles. *Annual Review of Entomology*, 1992, 37: 321-348.
- [7] 刘向东, 翟保平, 张孝羲. 南京地区棉蚜寄主专化型及其成因研究. *中国农业科学*, 2003, 36(1): 54-58.
Liu X D, Zhai B P, Zhang X X. Studies on the host biotypes and its cause of cotton aphid in Nanjing, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 54-58. (in Chinese)
- [8] 陈倩, 沈佐锐, 王永模. 蚜虫的表型可塑性及其遗传基础. *昆虫学报*, 2006, 49(5): 859-866.
Chen Q, Shen Z R, Wang Y M. Phenotypic plasticity of aphids and its genetic basis. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(5): 859-866. (in

- Chinese)
- [9] Zou C H, Yang X W, Chen X F, Li Y X. Repeat sequence primers-PCR study on the host-related population differentiation of cotton aphid, *Aphis gossypii* in China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2000, 6 (6): 560-564.
- [10] 龚 鹏, 杨效文, 张孝羲, 刘向东, 陈晓峰. 棉蚜(*Aphis gossypii*)种群寄主分化和季节分化的微卫星引物 PCR 研究. *生态学报*, 2001, 21(5): 765-771.
- Gong P, Yang X W, Zhang X X, Liu X D, Chen X F. Microsatellite primer-PCR studies on the population differentiation of *Aphis gossypii* in relation to host plants and seasons. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 765-771. (in Chinese)
- [11] 张孝羲, 赵静雅, 张广学, 陈晓峰. 棉蚜种群寄主转换的适应和变异规律研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 106-111.
- Zhang X X, Zhao J Y, Zhang G X, Chen X F. Studies on population adaptation and differentiation of *Aphis gossypii* Glover among host plant transplantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 106-111. (in Chinese)
- [12] Guldemond J A. Evolutionary genetics of the aphid *Cryptomyzus*, with a preliminary analysis of the inheritance of host plant preference, reproductive performance and host-alteration. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1990, 57: 65-76.
- [13] Dohlen C D, Gill D E. Geographic variation and evolution in the life cycle of the witch-hazel leaf gall aphid, *Hormaphis hamamelidis*. *Oecologia*, 1989, 78: 165-175.
- [14] 吴振廷, 王敬才, 董艳慧. 棉蚜在木槿上种群变化特点及其营养分析. *昆虫知识*, 1988, 25(1): 14-21.
- Wu Z T, Wang J C, Dong Y H. The change characteristic and nutrition analysis in the population of cotton aphids on hibiscus tree. *Entomological Knowledge*, 1988, 25(1):14-21. (in Chinese)
- [15] 刘向东, 张孝羲, 翟保平. 南京地区棉蚜的飞行活动节律及其飞行能力. *昆虫学报*, 2003, 46(4): 489-493.
- Liu X D, Zhang X X, Zhai B P. Flight activity rhythm of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover in Nanjing and its flight capacity. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46(4): 489-493. (in Chinese)
- [16] 刘向东, 翟保平, 梁圣爱, 许新华, 龚群辉. 棉蚜迁飞型和居留型及其杂交后代飞行特性的比较研究. *昆虫学报*, 2006, 49(4): 619-624.
- Liu X D, Zhai B P, Liang S A, Xu X H, Gong Q H. Migratory and sedentary strains of *Aphis gossypii* Glover and the flight characteristics of their hybridized offspring. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(4): 619-624. (in Chinese)
- [17] Dres M, Mallet J. Host races in plant-feeding insects and their importance in sympatric speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2002, 357: 471-492.
- [18] Agrawal A A. Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. *Science*, 2001, 294: 321-326.
- [19] Scheiner S M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1993, 24: 35-68.
- [20] Gazi G. The role of phenotypic plasticity in host race formation and sympatric speciation in phytophagous insects, particularly in aphids. *Turkish Journal of Zoology*, 2000, 24: 63-68.
- [21] Agarwala B K. Phenotypic plasticity in aphids (Homoptera: Insecta): Components of variation and causative factors. *Current Science*, 2007, 93(3): 308-313.
- [22] Peppe F B, Lomônaco C. Phenotypic plasticity of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) raised on *Brassica oleracea* L. var. *acephala* (kale) and *Raphanus sativus* L. (radish). *Genetics and Molecular Biology*, 2003, 26(2): 189-194.
- [23] Gazi G, Cecilia L, Aulay M. Phenotypic plasticity in host-plant specialization in *Aphis fabae*. *Ecological Entomology*, 2005, 30: 657-664.
- [24] 张 超, 潘晓明, 黄 诚. 棉蚜迁飞行为及其能量物质利用的研究. *安徽农学通报*, 1999, 5(4): 29-30.
- Zhang C, Pan X M, Huang C. Studies on migration behavior and energy substance of cotton aphids. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 1999, 5(4): 29-30. (in Chinese)
- [25] Ward S A, Leather S R, Pickup J, Harrington R. Mortality during dispersal and the cost of host-specificity in parasites: how many aphids find hosts? *Journal of Animal Ecology*, 1998, 67: 763-773.

(责任编辑 毕京翠)