

亚洲柑桔木虱体色变化规律的研究^{*}

吴丰年^{**} 梁广文 岑伊静^{***} 高 娃

(华南农业大学昆虫生态研究室 广州 510642)

摘 要 亚洲柑桔木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 为黄龙病的媒介昆虫。本文研究了其雌雄成虫在刚羽化、羽化后 3 h、交配盛期和产卵盛期的腹部和前翅颜色变化规律,明确了每个时期的主要体色,同时探讨了不同季节、虫口密度和寄主条件对体色变化的影响。结果表明,雌雄木虱羽化后前翅颜色均由白色→黑色→红褐色渐变,木虱雌成虫腹部颜色随时间推移由黄绿色→灰白色→蓝色→橙色渐变,雄虫由黄绿色→灰黑色→橙色渐变。季节、寄主和虫口密度的变化对雌虫腹部颜色构成有一定的影响,但对雄虫基本上没有影响。不同条件下雌虫腹部的主要颜色为蓝色或橙色,雄虫均以橙色为主,其次为灰黑色,表明木虱成虫多处于交配期或产卵期。木虱 5 龄若虫的体色变化也较大。多数条件下木虱的性比接近于 1:1,仅春季雌性比例略低于雄性。通过观察木虱的体色变化规律可以初步判断其羽化情况和性别,估计羽化期、交配期和产卵盛期,作为木虱生物学特性研究和预测预报的参考。

关键词 亚洲柑桔木虱, 体色, 雌雄性比

Temporal changes in color in *Diaphorina citri*

WU Feng-Nian^{**} LIANG Guang-Wen CEN Yi-Jing^{***} GAO Wa

(Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract Change in the color of 5th instar nymphs and the abdomens and the forewings of adult *Diaphorina citri* Kuwayama were studied. Adult color was observed immediately after emergence, 3 hours after emergence, and during the peak mating period and peak oviposition period. The influence of season, host plant and population density on adult color in males and females was also investigated. The results show that forewing color in both females and males followed a sequence of white to black to red brown after emergence. The abdomen color of females changed from olivine to grayish white to blue to orange, whereas that of males changed from olivine to dark gray to orange. The proportions of females with different colored abdomens varied seasonally and with host plant and population density, but that of males did not. The main abdomen color of females was blue or orange, whereas most males abdomens were orange, followed by dark gray. The color of 5th instar nymphs also changed as they got older. The sex ratios under different conditions were approximately 1:1, but there were fewer females than males in spring and autumn.

Key words *Diaphorina citri*, body color, sex ratio

亚洲柑桔木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 过去称为柑桔木虱,属半翅目木虱科,为害柑桔、月桔、枸橼、黄皮、九里香等芸香科植物,是柑桔类新梢期的主要害虫,若虫排出的白色蜜露能引起煤烟病(黄邦侃,1953;Reynolds,1999)。这种害虫也是柑桔生产上毁灭性病害——柑桔黄龙病

(huanglongbing, HLB) 亚洲种 *Candidatus Liberibacter asiaticus* 和美洲种 *Candidatus Liberibacter americanus* 唯一已知的传播媒介(Halbert and Manjunanth,2004;Coletta-Filho *et al.*, 2005),给全世界柑桔生产带来严重威胁。

亚洲柑桔木虱共有 5 个若虫期,从第 3 龄开

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201003067-01);广东现代农业产业技术体系建设专项资金(LNSG-11)。

^{**}E-mail: scau100@163.com

^{***} 通讯作者, E-mail: cenyj@scau.edu.cn

收稿日期:2012-02-23,接受日期:2012-04-20

始体色变化较大。3 龄若虫初期为黄色,后期黄、褐相间(Yamamoto *et al.*, 2006)。成虫期体色变化更大,刚羽化成虫的足、触角、翅全为白色,约经 1 h 左右,前翅才可见到灰褐色斑纹和斑点(陈循渊和廖长青,1982),腹部有蓝色和橙色等颜色,前翅颜色也有深浅之分,这对于木虱性别区分、某些近似种鉴定和有效防治等带来了许多不利因素。

目前研究表明,昆虫体色的变化与温度、湿度、背景颜色、种群密度等环境因素密切相关,影响体色的环境因素因昆虫种类的不同而存在差异(樊永胜和朱道弘,2009)。昆虫的体色是其体壁中色素的反映,常会因一些因素的影响而发生变化(程茂高等,2005)。本文观察分析了亚洲柑桔木虱羽化后雌雄成虫体色随时间的变化规律,研究了不同季节、寄主、虫口密度对亚洲柑桔木虱成虫体色的影响,期望为亚洲柑桔木虱生物学特性研究和预测预报等提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

从华南农业大学校园的九里香(*Murraya exotica* L.)上采集亚洲柑桔木虱成虫,转移到网室内栽培的健康九里香上饲养繁殖多代。

1.2 供试寄主

健康酸桔(*Citrus sunki* Hort. ex Tanaka):2 年生实生砧木苗由杨村柑桔场苗圃提供,在防虫网室内隔离种植,用 Nested-PCR 方法检测黄龙病亚洲种 *Candidatus Liberibacter asiaticus* (李韬和柯冲,2002)呈阴性,作为无病健康苗木供试。

HLB 酸桔:从华南农业大学黄龙病研究室繁育的沙糖桔(*Citrus reticulata* Blanco. cv. Shatangju)黄龙病盆栽苗上采集病芽,嫁接到健康酸桔上使其感染黄龙病。1 年后将病芽摘除,选取表现典型黄龙病症状的酸桔进行 Nested-PCR 检测,取黄龙病亚洲种呈阳性的苗木供试。

健康九里香:九里香种子采集于华南农业大学校园,播种于防虫网室内种植多年,通过 Nested-PCR 检测确定不携带黄龙病亚洲种病原菌。

1.3 亚洲柑桔木虱成虫羽化后体色变化观察

将带有嫩梢的九里香苗木置于繁殖木虱的网室内供木虱成虫产卵,5 d 后取出苗木转入温室内,温度控制在 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$,光周期设为 L:D=14:

10,相对湿度控制在 50%~60%。观察木虱刚羽化时、羽化后 3 h、交配盛期和产卵盛期 4 个时期的体色,其中刚羽化、交配盛期和产卵盛期随机取温室内 5 个点,每点取 50 头木虱;羽化后 3 h 的木虱样品采自刚羽化木虱,转入养虫笼中饲养 3 h 后取样。在 15×放大镜或双目镜下观察生殖器,鉴定所有样品的性别,其中雌性木虱为产卵器(图 1),雄性木虱为抱握器(图 2)。分别记录各样品腹部体色,按黄绿色、灰白色、灰黑色、蓝色和橙色统计雌雄虫数量,分析不同时期不同颜色所占比例。同时,分别观察雌雄成虫不同时期的前翅颜色,分析其变化规律。

1.4 不同季节成虫腹部颜色和性比观察

试验虫源均采自同一个网室内的九里香,在春、夏、秋、冬 4 个季节随机取 5 个样点,每点取约 50 头木虱成虫,按性别分别记录灰白、灰黑、蓝色和橙色个体数量,统计分析不同体色所占比例和不同季节雌雄性比变化规律。

1.5 不同寄主上成虫腹部颜色和性比观察

九里香、健康酸桔、HLB 酸桔 3 种寄主种植在不同的密封网室内,将九里香密封网室内刚羽化的木虱成虫转移到 3 种不同寄主上,饲养 45 d 后参照 1.4 的方法采集标本和进行观察。每种寄主上随机取 5 个不同的方位,每个方位采集约 50 头木虱成虫,分性别记录腹部为灰白、灰黑、蓝色和橙色个体数量,统计分析不同体色所占比例和不同寄主上的雌雄性比差异。

1.6 不同虫口密度对成虫腹部颜色的影响

从网室九里香上取刚羽化的亚洲柑桔木虱,鉴定性别后按 50、20、5、1 头/笼 4 个密度转移到放置有九里香的养虫笼内(规格:0.3 m×0.3 m×0.7 m),45 d 后分性别记录腹部为灰白、灰黑、蓝色和橙色的个体数量,统计分析不同体色所占比例。

1.7 亚洲柑桔木虱 5 龄若虫体色变化规律

亚洲柑桔木虱 5 龄若虫采自网室九里香植株上,用离体九里香嫩叶在塑料培养皿(直径 60 mm)中单头饲养,环境条件为:温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 50%~60%。每天更换嫩叶 1 次,在双目镜下观察拍照,分析其体色变化规律。

1.8 统计分析

实验数据的统计分析采用 SAS9.0 进行正态性分析和方差齐性分析,采用 DPS7.05 进行多重比较;同一环境条件不同处理间差异的统计分析采用 Duncan's 多重比较方法分析。

2 结果与分析

2.1 亚洲柑桔木虱羽化后成虫体色变化规律

成虫腹部颜色的变化是一个由浅色到深色的渐变过程。其中雌成虫腹部体色变化过程为:黄绿色→灰白→蓝色→橙色(图 1);雄成虫腹部体色变化过程为:黄绿色→灰黑→橙色(图 2:A~C),也有极少数个体例外,如腹部呈蓝色(图 2:D)。从表 1 可以看出,刚羽化的雌雄虫腹部均为浅黄色或浅绿色;羽化 3 h 后雌虫灰白色个体比例

最高,而雄虫灰黑色比例最高;交配盛期雌虫蓝色比例最高,雄虫则橙色比例最高;产卵盛期雌虫与雄虫均以橙色比例最高。雌虫黄绿色比例在刚羽化时最高,达到 100%,羽化后 3 h 大幅度降低,到交配盛期和产卵盛期无该颜色;灰白色在羽化后 3 h 的比例最高,其他时期均接近 0;灰黑色和蓝色在交配盛期的比例最高;橙色在产卵盛期的比例最高,其次为交配盛期。雄虫黄绿色在刚羽化时的比例最高,达到 100%;灰白色所占比例在 4 个时期均无显著性差异,且接近 0;灰黑色在羽化后 3 h 的比例最高,其次为交配盛期和产卵盛期;蓝色所占比例均低于 5%,且在交配盛期和产卵盛期最高;橙色在产卵盛期的比例最高,其次为交配盛期。

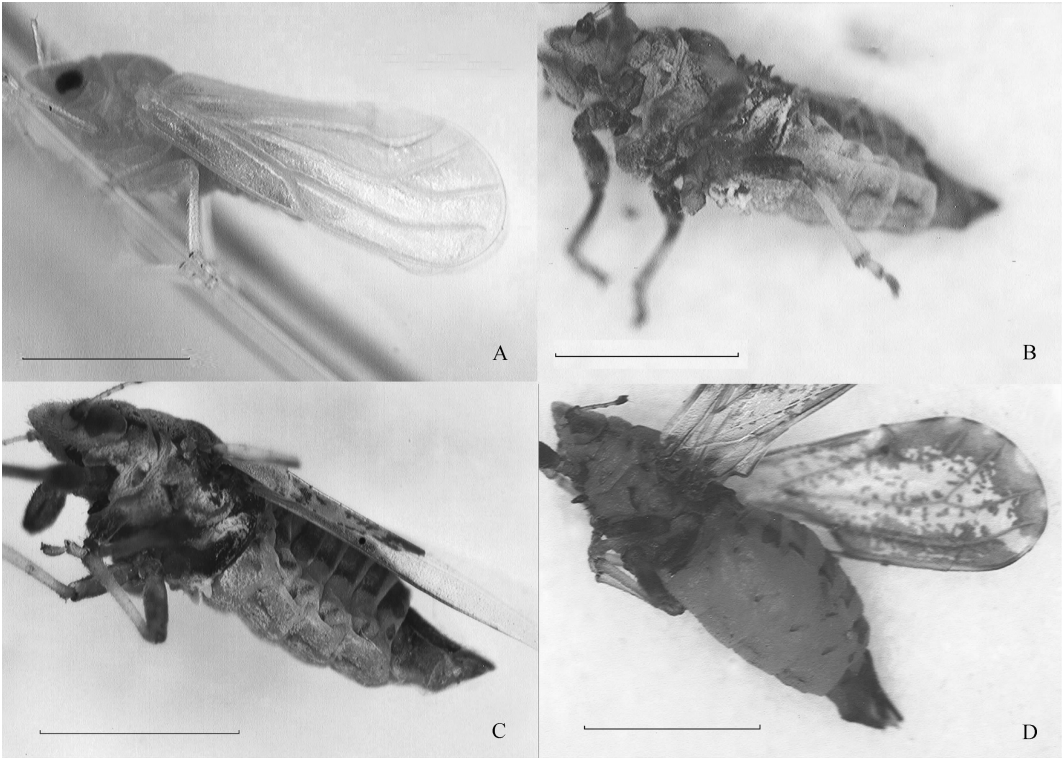


图 1 雌性柑桔木虱羽化后体色变化情况

Fig.1 Temporal changes in body color of female *Diaphorina citri* after emergence

A: 刚羽化(腹部为黄绿色); B: 羽化 3 h(腹部为灰白色); C: 交配期(腹部为蓝色);
D: 产卵期(腹部为橙色)(比例尺:1 mm)。

A: immediately after emergence (olivine abdomen); B: 3 hours after emergence (grayish white abdomen);
C: mating period (blue abdomen); D: oviposition period (orange abdomen) (scale: 1 mm) .

雌雄成虫前翅的颜色变化规律相同,由白色→黑白→红褐色渐变(图 3)。刚羽化为白色,羽

化后 3 h 和交配盛期为黑色,产卵前前翅均为透明带黑色斑点,到了卵盛期及之后雌雄成虫前翅斑

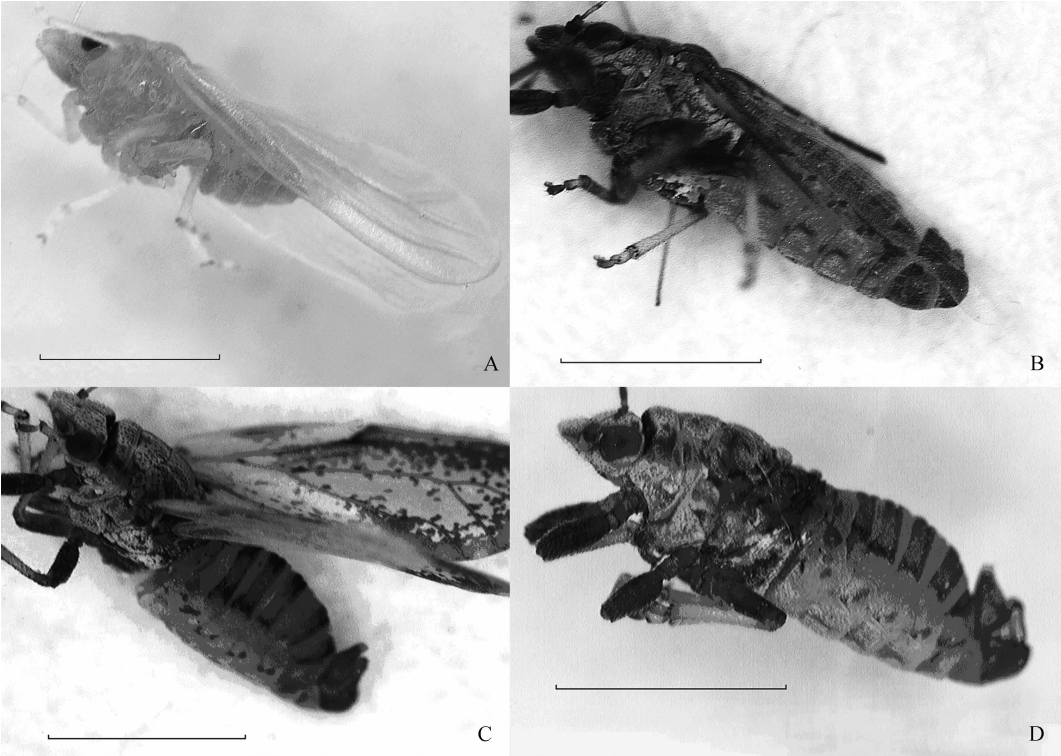


图 2 雄性柑桔木虱羽化后体色变化情况

Fig. 2 Temporal changes in body color of male *Diaphorina citri* after emergence

A: 刚羽化(腹部为黄绿色); B: 羽化 3 h(腹部为黑灰色); C: 交配期(腹部为橙色);
D: 产卵期(腹部为蓝色) (比例尺: 1 mm)。
A: immediately after emergence (olivine abdomen) ; B: 3 hours after emergence (dark gray abdomen) ;
C: mating period (orange abdomen) ; D: oviposition period (blue abdomen) (scale: 1 mm) .

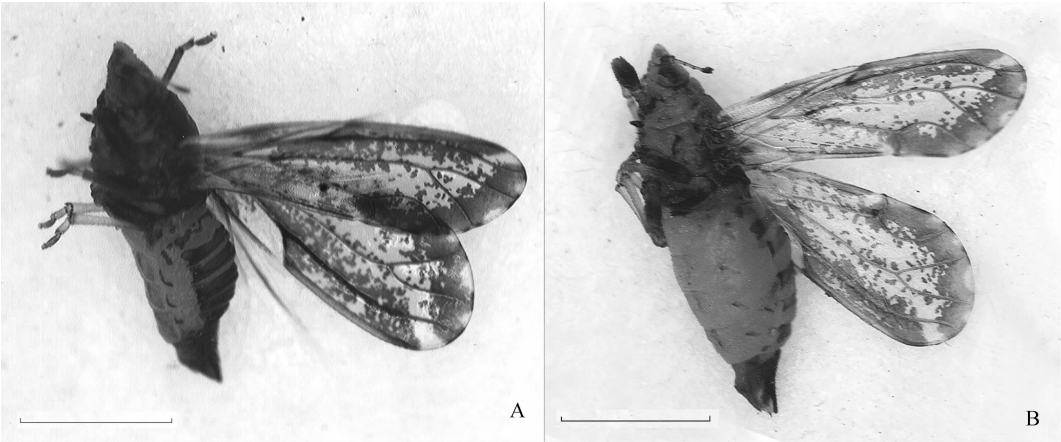


图 3 柑桔木虱前翅颜色变化情况

Fig. 3 Temporal changes in the color of the forewings of *Diaphorina citri*

A: 前翅为黑色; B: 前翅为红褐色 (比例尺: 1 mm)。
A: black forewing; B: red brown forewing (scale: 1 mm) .

点变浅,呈红褐色。4 个时期所采样本雌雄性比分别为 0.97、0.94、1.03 和 1.02,均接近 1:1,其中羽化时和羽化后 3 h 雌虫数量略少于雄虫,交配盛期和产卵盛期雌虫数量略多于雄虫。

表 1 亚洲柑桔木虱雌雄成虫羽化后体色变化情况

Table 1 Temporal changes in body color in females and males of *Diaphorina citri* after emergence

性别 Sex	时期 Period	腹部各体色所占比例(%) Ratios of different abdomen colors (%)					前翅颜色 Color of forewing
		黄绿色 Olivine	灰白 Grayish white	灰黑 Dark gray	蓝色 Blue	橙色 Orange	
雌 Female	羽化时 Emerging	100 ± 0.00 a (a)	0.00 ± 0.00 b (b)	0.00 ± 0.00 b (d)	0.00 ± 0.00 b (c)	0.00 ± 0.00 b (c)	白色 White
	羽化后 3 h 3 h after emerge	11.73 ± 1.78 b (b)	88.02 ± 1.79 a (a)	0.25 ± 0.03 c (c)	0.00 ± 0.00 c (c)	0.00 ± 0.00 c (c)	黑色 Black
	交配盛期 Mating period	0.00 ± 0.00 e (c)	0.34 ± 0.34 d (b)	0.54 ± 0.42 c (a)	94.28 ± 1.42 a (a)	4.84 ± 0.78 b (b)	黑色 Black
	产卵盛期 Oviposition period	0.00 ± 0.00 e (c)	0.09 ± 0.09 d (b)	0.32 ± 0.20 c (b)	31.25 ± 0.54 b (b)	68.35 ± 0.43 a (a)	红褐 Red brown
	羽化时 Emerging	100 ± 0.00 a (a)	0.00 ± 0.00 b (a)	0.00 ± 0.00 b (c)	0.00 ± 0.00 b (b)	0.00 ± 0.00 b (d)	白色 White
	羽化后 3 h 3 h after emerge	11.00 ± 3.56 b (b)	0.97 ± 0.72 c (a)	86.84 ± 4.18 a (a)	0.00 ± 0.00 c (b)	1.19 ± 0.17 c (c)	黑色 Black
雄 Male	交配盛期 Mating period	0.00 ± 0.00 e (c)	0.23 ± 0.17 d (a)	39.77 ± 1.44 b (b)	4.29 ± 0.48 c (a)	55.70 ± 1.00 a (b)	黑色 Black
	产卵盛期 Oviposition period	0.00 ± 0.00 e (c)	0.80 ± 0.49 d (a)	34.58 ± 2.35 b (b)	4.25 ± 1.19 c (a)	60.38 ± 3.25 a (a)	红褐 Red brown

注:同行数据后括号外字母相同者表示经 Duncan's 多重比较方法分析在 0.05 水平上差异不显著,同列数据后带括号字母相同者表示经 Duncan's 多重比较方法法分析在 0.05 水平上差异不显著,下表同。

Data followed with same letters without brackets are not significantly different within the same row at 0.05 level by Duncan's multiple range test. Data followed with same letters with brackets are not significantly different within the same column at 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

2.2 不同季节亚洲柑桔木虱成虫的体色和性比

由表 2 可以看出,季节变化对亚洲柑桔木虱雌虫腹部颜色变化影响较大,而对雄虫没有明显影响。雌虫在春季、夏季和冬季均以蓝色所占比例最大,而秋季则橙色比例最大。雌虫各颜色所占比例在一年四季之间存在显著性差异,灰白色个体春季所占比例显著高于其他季节;蓝色所占比例春季和冬季最高,其次依次为夏季和秋季;橙色比例在 4 个季节均有显著差异,由高到低依次为:秋→夏→春→冬。雄虫在 4 个季节均以橙色比例最高,同种体色个体所占比例在 4 个季节间均无显著性差异。

分析不同季节所采样品的雌雄性比,春夏秋冬分别为 0.85、1.07、0.90 和 1.05,均接近 1:1,其中春季和秋季所采雌虫数量略少于雄虫,夏季和冬季雌虫数量略多于雄虫。

2.3 不同寄主上亚洲柑桔木虱成虫的体色和性比

由表 3 可以看出,亚洲柑桔木虱雌虫腹部颜色在九里香和 HLB 酸桔上均以橙色所占比例最大,而健康酸桔则蓝色比例最大。其中灰白色和蓝色所占比例在健康酸桔上显著高于九里香和 HLB 酸桔,橙色所占比例在九里香和 HLB 酸桔上显著高于健康酸桔。雄虫体色所占比例在不同寄主上无显著性差异,均以橙色比例最高,其次为灰黑色,蓝色比例很少,无灰白色。说明寄主植物对雌虫腹部颜色有影响,而对雄虫没有影响。

九里香、健康酸桔和 HLB 酸桔上亚洲柑桔木虱的雌雄性比分别为 1.03、0.97 和 1.05,均接近 1:1,雌虫数量在九里香和 HLB 酸桔上略多于雄虫,在健康酸桔上略少于雄虫。

表 2 不同季节亚洲柑桔木虱雌雄成虫腹部的颜色

Table 2 Abdomen color changes in both females and males of *Diaphorina citri* in different seasons

性别 Sex	季节 Season	腹部各体色所占比例(%) Ratios of different abdomen colors (%)			
		灰白 Grayish white	灰黑 Dark gray	蓝色 Blue	橙色 Orange
雌 Female	春 Spring	12.73 ± 0.26b (a)	0.00 ± 0.00c (a)	74.00 ± 0.85a (a)	13.27 ± 0.59b (d)
	夏 Summer	6.40 ± 2.30c (b)	0.00 ± 0.00d (a)	55.14 ± 2.61a (b)	38.46 ± 1.57b (b)
	秋 Autumn	2.72 ± 0.68c (b)	0.00 ± 0.00c (a)	41.11 ± 1.27b (c)	56.17 ± 1.81a (a)
	冬 Winter	3.82 ± 0.44c (b)	0.00 ± 0.00d (a)	73.55 ± 1.46a (a)	22.63 ± 1.64b (c)
雄 Male	春 Spring	0.00 ± 0.00c (a)	11.76 ± 2.57b (a)	1.43 ± 0.77c (a)	86.81 ± 3.26a (a)
	夏 Summer	0.00 ± 0.00b (a)	13.32 ± 7.19b (a)	0.00 ± 0.00b (a)	86.68 ± 7.19a (a)
	秋 Autumn	0.00 ± 0.00c (a)	15.73 ± 2.80b (a)	0.00 ± 0.00c (a)	84.27 ± 2.80a (a)
	冬 Winter	0.00 ± 0.00c (a)	10.71 ± 2.32b (a)	2.40 ± 2.40c (a)	86.89 ± 1.64a (a)

表 3 不同寄主对亚洲柑桔木虱雌雄成虫腹部颜色的影响

Table 3 Abdomen color changes in both females and males of *Diaphorina citri* on different host plants

性别 Sex	寄主 Host plant	腹部各体色所占比例(%) Ratios of different abdomen colors (%)			
		灰白 Grayish white	灰黑 Dark gray	蓝色 Blue	橙色 Orange
雌 Female	九里香 <i>Murraya exotica</i> L.	2.72 ± 0.68c (b)	0.00 ± 0.00c (a)	41.11 ± 1.27b (b)	56.17 ± 1.81a (a)
	健康酸桔 <i>Healthy Citrus sunki</i>	11.96 ± 0.96c (a)	0.48 ± 0.48d (a)	57.17 ± 1.19a (a)	30.38 ± 1.00b (b)
	HLB 酸桔 <i>HLB Citrus sunki</i>	3.68 ± 0.37c (b)	0.00 ± 0.00c (a)	36.04 ± 2.86b (b)	60.27 ± 2.90a (a)
雄 Male	九里香 <i>Murraya exotica</i> L.	0.00 ± 0.00c (a)	25.73 ± 2.80b (a)	0.00 ± 0.00c (a)	74.27 ± 2.80a (a)
	健康酸桔 <i>Healthy Citrus sunki</i>	0.00 ± 0.00c (a)	21.43 ± 1.35b (a)	0.58 ± 0.58c (a)	78.57 ± 1.35a (a)
	HLB 酸桔 <i>HLB Citrus sunki</i>	0.00 ± 0.00c (a)	24.09 ± 2.29b (a)	1.00 ± 1.00c (a)	75.91 ± 2.29a (a)

2.4 虫口密度对亚洲柑桔木虱成虫体色的影响

由表 4 可以看出,亚洲柑桔木虱雌虫腹部颜色在 50 对/笼和 20 对/笼时均以橙色所占比例最

大,其次为蓝色;在 5 对/笼以蓝色所占比例最大,其次为橙色;单头饲养时均为蓝色。雄虫在各个虫口密度均以橙色所占比例最大,其次为灰黑。

雌虫蓝色所占比例在 5 对/笼和 1 头/笼显著高于 50 对/笼和 20 对/笼,且比例随着密度增加而降低;橙色所占比例在 5 对/笼和 1 头/笼则显著低于 50 对/笼和 20 对/笼,且比例随着数量增加而增加。雌虫灰白色、灰黑色及雄虫各体色所占比例在不同密度均无显著性差异。说明虫口密度对雌虫腹部体色有影响,而对雄虫没有显著影响。

从表 4 还可以看出,单独饲养雌虫时,全部个体腹部均为蓝色,橙色所占比例为 0,说明木虱雌虫虽然处于交配盛期,但由于没有雄虫不能进行交配,也无法进入产卵期,因此,产卵期的特征色橙色也不会出现,估计与雌虫必须经过交配才能产卵的习性有关。

表 4 不同虫口密度对亚洲柑桔木虱雌雄成虫腹部颜色的影响

Table 4 Abdomen color changes in females and males of <i>Diaphorina citri</i> in relation to different population densities					
性别 Sex	虫口密度 Population density	雌虫各体色所占比例 (%) Ratios of different abdomen colors (%)			
		灰白 Grayish white	灰黑 Dark gray	蓝色 Blue	橙色 Orange
雌 Female	50 对/笼 50 pairs/cage	2.72 ± 0.68c (a)	0.00 ± 0.00c (a)	41.11 ± 1.27b (b)	56.17 ± 1.81a (a)
	20 对/笼 20 pairs/cage	5.00 ± 2.89b (a)	0.00 ± 0.00b (a)	45.00 ± 5.00a (b)	50.00 ± 5.77a (a)
	5 对/笼 5 pairs/cage	0.00 ± 0.00b (a)	0.00 ± 0.00b (a)	80.00 ± 11.55a (a)	20.00 ± 11.55b (b)
	1 头/笼 1/cage	0.00 ± 0.00b (a)	0.00 ± 0.00b (a)	100.00 ± 0.00a (a)	0.00 ± 0.00b (b)
雄 Male	50 对/笼 50 pairs/cage	0.00 ± 0.00c (a)	15.73 ± 2.80b (a)	0.00 ± 0.00c (a)	84.27 ± 2.80a (a)
	20 对/笼 20 pairs/cage	0.00 ± 0.00b (a)	46.67 ± 7.26a (a)	0.00 ± 0.00b (a)	53.33 ± 7.26a (a)
	5 对/笼 5 pairs/cage	0.00 ± 0.00b (a)	53.33 ± 13.33a (a)	0.00 ± 0.00b (a)	46.67 ± 13.33a (a)
	1 头/笼 1/cage	0.00 ± 0.00a (a)	33.33 ± 33.33a (a)	0.00 ± 0.00a (a)	66.67 ± 33.33a (a)

2.5 亚洲柑桔木虱若虫体色的变化

木虱 3 龄以上若虫前后期体色有明显的变化,可以通过条纹确定木虱所处于龄期的时间段。5 龄若虫有 3 种形态(图 4):前期为棕黄色,条纹为黄褐色;中期条纹转为黑褐色;后期条纹变浅,腹部呈亮蓝色,出现此颜色后会在 1~2 d 内羽化。

3 结论和讨论

亚洲柑桔木虱成虫雌性和雄性体色变化存在显著性差异,并且这种变化规律会受到季节、寄主种类和虫口密度的影响。此现象在其他昆虫也经常出现,如在木槿、石榴和花椒 3 种寄主上,棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 早春和夏末以绿色型个体为主,春末夏初以黄色型为主,且比例受到寄主的影

响(原国辉等,2002)。在不同温度条件下,烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 成蜂胸部颜色可以由全部黄色变为全部黑色或黑褐色,而僵蚜壳颜色可由乳白或淡黄色变为黑褐色(季正端和毕章宝,1995)。麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* Fabricius 种群中红色蚜虫所占比例随温度升高而增加(杜桂林等,2007)。飞蝗 *Locusta migratoria* Linnaeus 若虫在高密度时为黑色配以橘黄色底色,低密度时则出现各种隐蔽色,如黄色、褐色、赤褐色、绿色、黑色等(Uravov,1977),昆虫变型及体色多型除了受到环境影响之外,还受到内分泌的控制(霍科科和郑哲民,2003;熊延坤等,2003;朱道弘和阳柏苏,2004)。随着分子生物学技术的发展和运用,发现了烟青虫 *Helicoverpa assulta* Guenée 和棉铃虫



图 4 亚洲柑桔木虱 5 龄若虫体色变化规律

Fig. 4 Temporal changes in body color 5th instar nymph of *Diaphorina citri*

A: 前期; B: 中期; C: 后期 (比例尺: 1 mm)。

A: prior period of 5th instar nymph; B: metaphase of 5th instar nymph; C: later period of 5th instar nymph (scale: 1 mm) .

Helicoverpa armigera Hübner 幼虫的体色可能是一种多基因控制的数量性状(罗梅浩, 1999)。

本研究表明, 亚洲柑桔木虱雌雄成虫在刚羽化、羽化后 3 h、交配盛期和产卵盛期的体色变化具有一定规律。可以利用所采样品的各颜色所占比例判断所处时期: 1) 5 龄若虫呈亮蓝色, 可以推断其即将羽化; 2) 白色木虱较多, 或者腹部颜色为灰白色或深灰色为主、翅颜色为深黑色时, 表明木虱正处于羽化盛期; 3) 腹部颜色为蓝色、深灰色所占比例高, 翅以红褐色为主时, 木虱正处在交配盛期; 4) 腹部以橙色为主, 所调查木虱可能处在产卵高峰期。此方法方便快捷, 可以指导果农预测木虱发生高峰期, 及时喷药防治; 或在木虱产卵高峰期前进行控梢, 能有效降低下一代若虫虫口密度, 从而有效控制其对黄龙病的传播。

亚洲柑桔木虱雌虫显橙色的主要原因是腹部有橙红色的卵。灰白色在春季比例最高, 蓝色在春季和冬季最高, 可能是因为温度较低, 寄主没有嫩芽, 木虱发育缓慢, 因此成虫交配和产卵较少; 夏季和秋季蓝色木虱相对较少, 橙色木虱雌虫多, 证明处于交配和产卵盛期。比较 3 种寄主植物发现, 九里香和 HLB 酸桔较健康酸桔容易生长嫩梢, 有利于亚洲柑桔木虱交配和产卵, 因此在羽化后相同时间, 其橙色比例显著高于其他颜色, 而此时在健康酸桔上比例最高的还是蓝色。

黄邦侃(1953)观察到柑桔木虱雌虫到了产卵期呈橙黄色。木虱雌虫橙色所占比例随虫口密度的增加而增大, 蓝色所占比例随密度增加而降低, 说明虫口密度大更有利于成虫交配, 当雌虫单头

饲养时不会转为橙色, 进一步证明了雌虫显橙色的原因是腹部有橙色的卵, 也说明雌虫必须经过交配才能产卵。

亚洲柑桔木虱雄虫体色随着时间推移呈规律性变化, 不同季节、寄主和虫口密度对其规律没有影响。由于木虱体型较小, 前翅有深色斑点, 且不透明, 因此肉眼无法通过外生殖器判断其性别。通过腹部颜色可以初步进行性别鉴定, 蓝色绝大部分为雌性, 灰黑色绝大部分为雄性, 但橙色可能是雄性或雌性, 因此对于需要精确区分性别的实验, 应该结合使用放大镜或体视镜观察外生殖器进行鉴别, 从而减少实验误差。

致谢: 感谢澳大利亚 Alan Louey Yen 教授 (Department of Primary Industries, Burwood Highway Knoxfield, Victoria. 3156, Australia) 对本研究提出宝贵意见并修改英文摘要。感谢黄建邦、苏依瑞等人的帮助。

参考文献 (References)

- Coletta-Filho HD, Takita MA, Targon MLPN, Machado MA, 2005. Analysis of 16S Rdna sequences from citrus huanglongbing bacteria reveal a different “*Ca. Liberibacter*” strain associated with citrus disease in São Paulo. *Plant Dis.*, 89(8):848–852.
- Halbert SE, Manjunanth KL, 2004. Asian citrus psyllids (Sternooohyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Fla. Entomol.*, 87(3):330–353.
- Reynolds DR, 1999. *Capnodium citri*: the sooty mold fungi

comprising the taxon concept. *Mycopathologia*, 148:141 – 147.

Uravov BP, 1977. Grasshoppers and Locusts. Vol. 2. London: Centre for Overseas Pest Research. 1 – 613.

Yamamoto PT, Felipe MR, Garbim LF, Coelho JHC, Ximenes NL, Martins EC, Leite APR, Sousa MC, Abrahao DP, Braz JD, 2006. *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Psyllidae): Vector of the bacterium *Candidatus Liberibacter americanus*. Proceedings of the Huanglongbing Greening International Workshop, Ribeirao Preto, São Paulo, Brazil. 96 – 97.

陈循渊, 廖长青, 1982. 柑桔木虱生物学特性观察及其与黄龙病的关系. 中国柑桔, (4):14 – 17.

程茂高, 乔卿梅, 原国辉, 2005. 昆虫体色分化研究进展. 昆虫知识, 42(5):502 – 505.

杜桂林, 李克斌, 尹姣, 刘辉, 曹雅忠, 2007. 影响麦长管蚜体色变化的主导因素. 昆虫知识, 44(3):353 – 357.

樊永胜, 朱道弘, 2009. 昆虫体色多型及其调控机理. 中南林业科技大学学报, 29(1):84 – 88.

黄邦佩, 1953. 柑橘木虱的初步观察. 福建农学院学报, (1):7 – 20.

霍科科, 郑哲民, 2003. 黑带食蚜蝇体色变异的研究. 昆虫知识, 40(6):529 – 534.

季正端, 毕章宝, 1995. 烟蚜茧蜂生物学研究——温度对成蜂体色的影响及某些形态特征的变异. 河北农业大学学报, 18(2):1 – 5.

李韬, 柯冲, 2002. 应用 Nested-PCR 检测柑橘木虱及其寄主九里香的柑橘黄龙病带菌率. 植物保护学报, 29(1):31 – 35.

罗梅浩, 郭线茹, 张宏亮, 王雪芬, 熊建伟, 1999. 烟田烟青虫和棉铃虫幼虫体色变化及遗传规律初步研究. 河南农业大学学报, 33(3):263 – 266.

熊延坤, 张青文, 徐静, 周明群, 2003. 影响大蜡螟幼虫体色的环境因素初探. 昆虫知识, 40(1):52 – 54.

原国辉, 彭红, 潘森, 韩旭, 樊树平, 2002. 棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 在不同寄主上的体色分化研究. 河南农业大学学报, 36(1):7 – 14.

朱道弘, 阳柏苏, 2004. 飞蝗变型及体色多型的内分泌控制机理. 动物学研究, 25(5):460 – 464.