



吴佳星, 何应琴, 曾贤义, 等. 吡虫啉对 3 种体色型烟蚜取食行为的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (5): 1148 – 1154.

吡虫啉对 3 种体色型烟蚜取食行为的影响

吴佳星, 何应琴, 曾贤义, 张永强, 丁 伟*
(西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

摘 要: 为探究吡虫啉对红色型、绿色型和褐色型 3 种体色型烟蚜取食行为的影响, 利用刺探电位图谱 (EPG) 技术比较 3 种体色型烟蚜在吡虫啉处理后的烟苗上的取食行为。结果表明: 33.3 mg/L 吡虫啉处理烟苗后, 3 种体色型烟蚜的非刺探总时间 (np 波) 均长于清水处理的绿色型烟蚜, 其中褐色型烟蚜最长, 且与清水处理的绿色型烟蚜存在显著性差异 ($P < 0.05$); 刺探过程中, 3 种体色型烟蚜在烟苗上口针遇到阻力 (F 波) 的时间均长于清水处理的绿色型烟蚜, 但处理间差异不显著; 木质部取食阶段, 褐色型烟蚜的 G 波平均持续时间最长; 韧皮部取食阶段, 3 种体色型烟蚜口针在韧皮部分泌唾液 (E1 波) 和被动吸食汁液 (E2 波) 的总持续时间均短于清水处理的绿色型烟蚜, 其中被动吸食汁液的时间红色型为 15.87 ± 9.33 min, 绿色型为 29.89 ± 8.79 min, 而褐色型仅为 6.38 ± 2.15 min。因此, 吡虫啉处理烟苗后能明显抑制烟蚜对烟草韧皮部的取食。

关键词: 烟蚜; 体色型; 吡虫啉; 刺探电位图谱; 取食行为

中图分类号: Q965.9; S433.39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-0858 (2017) 05-1148-07

The effects of imidacloprid on the feeding behaviors of *Myzus persicae* in three colors

WU Jia-Xing, HE Ying-Qin, ZENG Xian-Yi, ZHANG Yong-Qiang, DING Wei* (College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: To explore the effects of imidacloprid on the feeding behavior of *Myzus persicae* of three colors: Red, green and brown and the electronic penetration graph (EPG) was used to compare the feeding behavior of *M. persicae* of three colors on the tobacco seedlings treated with imidacloprid. The results showed that under the effect of the tobacco seedlings treated with 33.3 mg/L imidacloprid, the total non-probing duration of *M. persicae* of three colors was longer than green aphid treated by water. Among them, the brown aphid's was the longest and was significantly different from green aphid treated by water ($P < 0.05$). In the process of probing, the probing duration of *M. persicae* of three colors was longer than green aphid treated by water when the stylet met with resistance (F wave), but there was no significant difference among treatments. When feeding started on the xylem, G waves in brown aphids was the longest. Once feeding started on the phloem, the total duration of watery salivation (E1 wave) and passive ingestion (E2 wave) was shorter than green aphid treated by water, and the duration of passive ingestion (E2 waveform) of the red type is 15.87 ± 9.33 min, the green type was 29.89 ± 8.79 min and the brown type was just 6.38 ± 2.15 min. In conclusion, the feeding behavior of *M. persicae* on phloem was significantly inhibited on the tobacco seedlings treated with imidacloprid.

Key words: *Myzus persicae* (Sulzer); body colour type; imidacloprid; electrical penetration graph (EPG); feeding behavior

基金项目: 重庆市烟草植保重大专项资助项目 (NY20140401070001)
作者简介: 吴佳星, 女, 1995 年生, 本科, 研究方向为农药, E-mail: 1145924258@qq.com
* 通讯作者 Authors for correspondence, E-mail: dingw@swu.edu.cn
收稿日期 Received: 2016-05-10; 接受日期 Accepted: 2016-09-15

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 又名桃蚜, 属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 瘤蚜属 *Myzus* Passerini, 是一种世界性的多食性害虫 (姚凤奎等, 2013), 它不仅可以通过口针直接取食寄主植物汁液危害植株, 而且还能传播多种病毒病 (马继盛等, 2007)。烟蚜是一个体色多变的混合种群, 各烟蚜不仅在体色、形态上具有差异, 在生活周期、寄主专化性和抗药性等方面也存在一定差异 (王茂涛和张孝羲, 1991; 赵冲, 2014)。此外, 在不同寄主、低温或变温等条件下不同体色型烟蚜会发生体色变化。Zhang 等 (1990) 研究发现在短时冷冻刺激条件下可使烟蚜由绿色转为红色; 刘绍友等 (2000) 研究结果表明绿色型烟蚜在饲养第 3 代后有 20% 的个体可变为褐色型。鉴于此本试验将绿色型烟蚜作为基础体色型烟蚜用于对照。吡虫啉 (imidacloprid) 是一种新烟碱类杀虫剂 (neonicotinoids), 它作用于烟碱型乙酰胆碱受体 (nicotine acetylcholine receptors, nAChRs), 能在植物体内内吸传导, 具有低毒、高效的特点, 是我国近 20 年内使用最广的杀虫剂之一, 主要用于防治双翅目、鞘翅目等害虫, 尤其对半翅目刺吸式口器害虫有特效 (Elbert *et al.*, 1991; 刘淑华等, 2012)。

刺探电位图谱 (electrical penetration graph, EPG) 技术是一种用于准确记录刺吸式口器昆虫口针在寄主植物组织内位置和移动的电生理技术 (Tjallingii *et al.*, 1987)。该技术最早是由美国加利福尼亚大学的 McLean 和 Kinsey (1964) 发明用于监测蚜虫的取食仪, 后被广泛应用于多种刺吸式口器昆虫取食行为的研究。目前, EPG 技术已不仅限于对不同刺吸式口器昆虫取食波形的研究, 亦被广泛应用于探究昆虫对寄主植物的选择性、传毒机制以及内吸性农药毒理学机制等研究 (罗晨, 2005)。都振宝 (2012) 利用 EPG 技术探究吡虫啉和噻虫嗪对荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* 取食行为的影响, 结果表明两种药剂均能抑制荻草谷网蚜的取食活动。Zeng 等 (2016) 研究也表明吡虫啉和氰虫酰胺能抑制绿色型烟蚜的取食行为。近年来, 利用 EPG 技术探究内吸性农药对靶标害虫取食行为影响的报道较多, 但吡虫啉对不同体色型烟蚜取食行为的影响尚未见报道。本研究拟通过 EPG 技术, 研究吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜对烟草取食行为的差异, 以期对吡虫啉在田间防治烟蚜时的合理使用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 寄主植物、供试虫源与供试药剂

寄主植物: 供试烟草品种为云烟 87, 购于玉溪中烟种子有限责任公司。烟草种子播种于 8 cm × 8 cm × 10 cm 的塑料花盆中, 在温度 25℃ ± 1℃, 光照 (L:D = 16 h: 8 h), 相对湿度 70% ± 5% 条件下培养。按烟苗生长所需定量浇水, 待烟苗长至 4 叶 1 心时用于本试验。

供试虫源: 红色型、绿色型、褐色型 3 种体色型烟蚜均于 2014 年采集于重庆市奉节县太和乡烟草科技示范园 (29°59'N, 106°54'E)。将采集后的烟蚜在温度 25℃ ± 1℃、光照 (L:D = 16 h: 8 h)、相对湿度 70% ± 5% 条件下, 以烟草 (云烟 87) 为寄主植物, 进行连续继代饲养。本试验取大小和日龄一致的无翅成蚜用于研究。

供试药剂: 10% 吡虫啉可湿性粉剂, 购于江苏长春农化股份有限公司。

1.2 药剂处理

用清水将吡虫啉配置成有效成分为 33.3 mg/L 的药液。使用喷壶将配置好的药剂均匀喷洒于整株烟苗, 再将烟苗放置于温度 25℃ ± 1℃、光照 (L:D = 16 h: 8 h)、相对湿度 70% ± 5% 条件下培养 48 h 后用于烟蚜刺吸行为的记录, 保证每头蚜虫与每株烟苗一一对应。同时设立清水处理为对照, 清水对照组使用绿色型烟蚜进行波形记录。

1.3 EPG 的波形记录与数据获得

本试验所采用的刺探电位仪为 DC-EPG Giga-4。选择大小一致的无翅成蚜与烟苗分别连入昆虫电极和植物电极。昆虫电极是一段金丝, 长为 2 - 3 cm, 直径为 15 μm。在烟蚜处于运动状态下, 将金丝末端蘸取少量水溶性导电银胶, 迅速粘于烟蚜的前胸背板上; 植物电极则直接插在供烟苗生长的土壤中。烟蚜饥饿处理 1 h 后连接昆虫电极, 在 25℃ ± 1℃ 的室温下进行连续 6 h 的试验记录, 并且整个记录系统处于法拉第金属屏蔽罩中以防止外源噪声的干扰。试验过程中, 每株烟苗与每头烟蚜仅用于 1 次 EPG 测定, 取 18 次有效重复数进行统计。EPG 数据记录和分析使用 EPG style + a 与 EPG style + d 软件, 然后再利用 EPG-analysisworksheet-v4.4.1 软件将完成分析的波形进行归纳统计。

根据 Tjallingii (1978) 和 Civolani (2011) 对蚜虫取食行为波形的划分, 可将烟蚜在烟草上的

刺探取食波形分为以下 9 种：np 波代表非刺探（non-probing）行为；路径波包括 C 波（含有 A 波、B 波、C 波）、pd 波、F 波，表示烟蚜口针位于寄主植物表皮与微管束之间；E1 波为口针到达筛管后分泌水溶性唾液的相关波形；E2 波为韧皮部被动吸食汁液的波形；G 波是烟蚜在木质部主动吸食的波形。本试验共选择 31 个 EPG 参考指标进行分析。

1. 4 数据处理

将连续记录的 EPG 按不同的行为波形进行分类统计。用 Excel 表中 Product 函数求比例。SPSS17.0 软件进行数据统计，应用最小显著差异法（LDS）进行差异显著性检验（ $P>0.05$ ）。

2 结果与分析

2. 1 吡虫啉对不同体色型烟蚜在非韧皮部取食行为的影响

吡虫啉对 3 种体色型烟蚜非韧皮部取食行为的影响见表 1。经 33.3 mg/L 吡虫啉处理烟苗后，

3 种体色型烟蚜的非刺探总时间均明显长于清水处理的绿色型烟蚜，其中褐色型烟蚜非刺探总时间最长。在波形记录的前 2 个小时内，除绿色型烟蚜外，处理组的非刺探时间与清水处理的绿色型烟蚜不存在显著性差异，但经 4 h 的连续刺吸后，3 种体色型烟蚜的非刺探时间均显著长于清水处理的绿色型烟蚜。刺探路径阶段，处理组烟蚜第 1 次开始刺探的时间及其持续的时间与清水处理的绿色型相比无差异，而在整个刺探过程中 pd 波平均时间和次数以及 C 波持续时间与清水处理之间存在显著差异，此外 3 种体色烟蚜之间 pd 波平均时间和 C 波持续时间也存在差异。对于 pd 波平均时间而言，绿色型烟蚜（ 4.81 ± 0.17 s）< 红色型烟蚜（ 5.05 ± 0.17 s）< 褐色型烟蚜（ 6.06 ± 0.26 s）。对于 C 波持续时间而言，红色型 > 绿色型 > 褐色型 > 清水处理的绿色型。另外，吡虫啉处理后褐色型烟蚜 G 波平均持续时间最长，显著高于清水处理的绿色型烟蚜。

表 1 吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜在非韧皮部吸食的 EPG 参数（总记录时间为 6 h）
Table 1 The EPG parameters of three body colours of *Myzus persicae* on non-phloem phase of tobacco treated with imidacloprid (Total recording time 6 h)

EPG 参数 EPG parameter	清水处理的绿色型烟蚜 Green type treated by water	红色型烟蚜 Red type	绿色型烟蚜 Green type	褐色型烟蚜 Brown type
非刺探总时间（min）Total duration of np	71.43 ± 9.25 b	109.87 ± 16.14 ab	115.98 ± 19.87 ab	129.79 ± 19.07 a
第 1 个小时 np 波持续的时间（min） Total duration of np during the 1st hour	23.53 ± 4.65 a	17.14 ± 3.48 ab	11.69 ± 3.06 b	17.60 ± 3.92 ab
第 2 个小时 np 波持续的时间（min） Total duration of np during the 2st hour	17.96 ± 3.56 a	10.66 ± 3.13 a	11.41 ± 3.28 a	16.92 ± 3.95 a
第 5 个小时 np 波持续的时间（min） Total duration of np during the 5st hour	4.16 ± 1.88 b	29.29 ± 5.15 a	30.06 ± 5.62 a	26.45 ± 6.67 a
第 6 个小时 np 波持续的时间（min） Total duration of np during the 6st hour	2.63 ± 1.79 b	21.59 ± 5.19 a	20.71 ± 5.43 a	15.66 ± 4.94 a
刺探次数 Number of probes	21.61 ± 3.31 a	20.44 ± 2.35 a	21.60 ± 3.53 a	16.61 ± 2.95 a
短暂刺吸次数（C < 3 minutes） Number of short probes	14.06 ± 2.53 a	10.56 ± 1.42 a	13.70 ± 2.74 a	10.28 ± 2.32 a
第 1 次刺探开始时间（min） Time to 1st probe from start of EPG	3.65 ± 1.01 a	5.42 ± 1.61 a	5.51 ± 2.42 a	4.07 ± 1.59 a
第 1 次刺探持续时间（min） Duration of 1st probe	7.85 ± 4.12 a	13.72 ± 4.85 a	12.85 ± 5.80 a	9.28 ± 3.29 a

续上表

EPG 参数 EPG parameter	清水处理的绿色型烟蚜 Green type treated by water	红色型烟蚜 Red type	绿色型烟蚜 Green type	褐色型烟蚜 Brown type
第 1 次刺吸到第 1 次到达 pd 波的时间 (min) Time from the beginning of the 1st probe to first pd	2.45 ± 1.49 a	8.53 ± 5.26 a	4.58 ± 2.12 a	9.82 ± 5.28 a
第 1 次刺探至第 1 次到达韧皮部时间 (min) Time from 1st probe to 1st Ey	163.29 ± 23.07 a	225.54 ± 33.15 a	200.89 ± 29.42 a	242.49 ± 31.62 a
第 1 次刺吸至第 1 次出现 E2 的时间 (min) Time from 1st probe to 1st E2y	183.92 ± 20.99 a	262.34 ± 29.75 a	195.44 ± 30.96 a	236.68 ± 30.17 a
pd 波次数 npd	122.06 ± 14.22 a	108.28 ± 14.04 a	92.45 ± 13.38 a	53.83 ± 9.40 b
pd 波平均持续时间 (s) Mean duration of pd	4.38 ± 0.07 c	5.05 ± 0.17 b	4.81 ± 0.17 bc	6.06 ± 0.26 a
C 波总持续时间 (min) Total duration of C	122.17 ± 15.24 b	208.68 ± 17.07 a	175.47 ± 15.46 a	160.06 ± 21.99 ab
F 波次数 Number of F	1.00 ± 0.35 a	0.67 ± 0.20 a	1.35 ± 0.36 a	1.17 ± 0.36 a
F 波总持续时间 (min) Duration of F	20.78 ± 8.62 a	22.51 ± 7.08 a	32.09 ± 9.72 a	38.59 ± 13.47 a
F 波平均持续时间 (min) Mean duration of F	18.70 ± 5.75 a	19.30 ± 6.63 a	21.90 ± 7.68 a	24.34 ± 9.51 a
G 波次数 Number of G	0.22 ± 0.17 a	0.39 ± 0.18 a	0.30 ± 0.11 a	0.44 ± 0.15 a
G 波平均持续时间 (min) Mean duration of G	0.30 ± 0.22 b	3.70 ± 1.89 ab	3.68 ± 1.38 ab	19.15 ± 13.06 a
有 G 波的个体比例 (%) Individual percent with G waveform	11.11	27.78	33.33	38.89

注：表中数据为均数 ± 标准误。同行数据后不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P < 0.05$ by LSD test. The same below.

2.2 吡虫啉对不同体色型烟蚜在韧皮部取食行为的影响

韧皮部的刺吸参数（表 2）表明，在吡虫啉作用下，3 种体色型烟蚜在韧皮部分泌唾液（E1 波）的次数与总持续时间均低于清水处理的绿色型烟蚜，E1 波占总的 E 波比例则高于清水处理的绿色型烟蚜。韧皮部被动吸食汁液（E2 波）阶段，第 1 次韧皮部取食持续时间分别为红色型（18.09 ± 9.26 min）、绿色型（23.55 ± 8.11 min）、褐色型（3.42 ± 1.89 min），显著低于清水处理的绿色型（85.21 ± 17.57 min）；此外，E2 波的平均持续时间、总持续时间以及持续次数与清水处理存在显著差异。与清水处理的绿色型烟蚜相比，吡虫啉处理烟苗后，烟蚜在 6 h 测定时间内能到达韧皮部取食的个体比例分别为清水处理的绿色型（100%）> 绿色型（61.67%）> 红色型（50.00%）> 褐色型（44.44%）。由此可见，在吡虫啉作用下烟蚜口针在寄主植物韧皮部内部取

食的时间缩短，口针能真正到达韧皮部取食的个体数也减少。

2.3 吡虫啉对不同体色型烟蚜在各个阶段吸食所占时间比例的影响

吡虫啉作用下，3 种体色型烟蚜各取食波形在整个取食阶段所占比例存在差异（图 1）。清水处理的绿色型烟蚜的 C 波所占比例均显著低于经吡虫啉处理后的 3 种体色型烟蚜，分别为红色型 84.20% > 绿色型 73.73% > 褐色型 69.36% > 清水处理的绿色型 42.24%。处理组与清水处理绿色型烟蚜的 F 波所占比例差异不明显。G 波所占比例仅褐色型烟蚜最高，与清水处理差异显著。E1 波所占比例均低于清水处理的绿色型烟蚜，仅褐色型烟蚜差异显著。此外，3 种体色型烟蚜的 E2 波所占比例也均显著低于清水处理的绿色型（45.79%），但在 3 种体色型烟蚜之间，绿色型烟蚜（15.04%）与褐色型烟蚜（4.30%）存在显著差异。

表 2 吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜在韧皮部吸食的 EPG 参数（总记录时间为 6 h）
Table 2 The EPG parameters of three body colours of *Myzus persicae* on phloem phase of tobacco treated with imidacloprid (Total recording time 6 h)

EPG 参数 EPG parameter	清水处理的绿色型烟蚜 Green type treated by water	红色型烟蚜 Red type	绿色型烟蚜 Green type	褐色型烟蚜 Brown type
第 1 次韧皮部持续取食时间（min） Duration of 1st E	85.21 ± 17.57 a	18.09 ± 9.26 b	23.55 ± 8.11 b	3.42 ± 1.89 b
E1 波次数 Number of E1	3.22 ± 1.00 a	0.89 ± 0.24 b	2.05 ± 1.12 ab	0.56 ± 0.17 b
E1 波总持续时间（min） Total duration of E1	5.27 ± 1.99 a	3.31 ± 1.33 ab	3.27 ± 1.84 ab	0.28 ± 0.09 b
E1 占总的 E 波的时间（%） Contribution of E1 to phloem phase	5.15 ± 1.99 b	22.40 ± 7.89 a	5.67 ± 2.27 b	5.85 ± 2.29 b
E1 波平均持续时间（min） Mean duration of E1	1.36 ± 0.21 ab	2.48 ± 1.15 a	0.91 ± 0.24 ab	0.23 ± 0.07 b
E2 波次数 Number of E2	2.06 ± 0.56 a	0.72 ± 0.24 ab	1.50 ± 0.78 ab	0.50 ± 0.15 b
E2 波持续次数（longer than 10 minutes） Number of sustained E2	1.56 ± 1.04 a	0.17 ± 0.09 c	0.60 ± 0.11 b	0.28 ± 0.46 bc
E2 波总持续时间（min） Total duration of E2	132.77 ± 16.49 a	16.65 ± 9.28 bc	36.45 ± 9.44 b	6.82 ± 2.21 c
E2 波平均持续时间（min） Mean duration of E2	102.68 ± 17.09 a	15.87 ± 9.33 b	29.89 ± 8.79 b	6.38 ± 2.15 b
有 E2 波的个体比例（%） Individual percent with E2 waveform	100.00	50.00	61.67	44.44

注：表中数据为均数 ± 标准误。同行数据后不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: Data in the table are mean ± SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P < 0.05$ by LSD test.

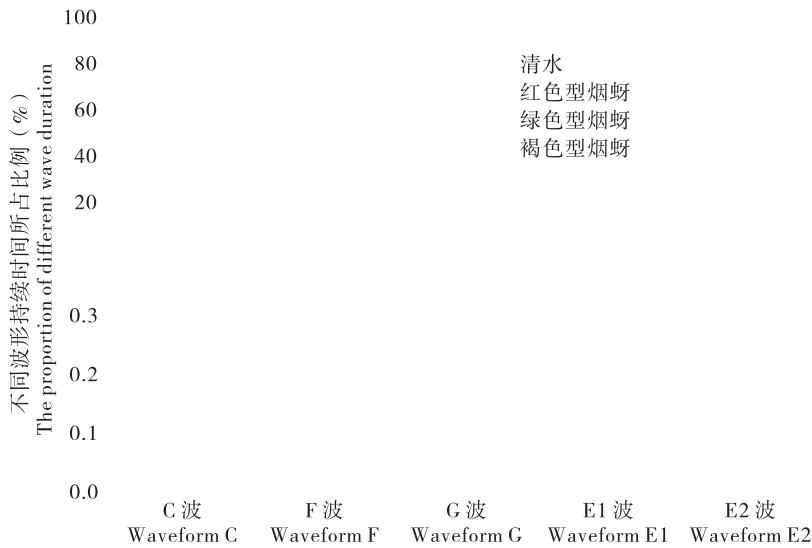


图 1 吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜各 EPG 波形持续时间占总时间的百分比（总记录时间为 6 h）

Fig. 1 EPG recorded behavior of *Myzus persicae* of three colors take under the effects of imidacloprid, shown as percentage of stylet activities during the 6 h experiment

3 结论与讨论

Nauen 等（1995）研究表明吡虫啉内吸至白菜叶片后，对桃蚜存在拒食作用。Costa（2011）研究发现麦蚜取食经吡虫啉处理过的小麦植株后取食行为受到抑制。此外，Bulter 等（2012）通过研究吡虫啉对马铃薯木虱取食行为的影响，发现马铃薯木虱非刺探（np 波）时间增加，而韧皮部被动取食（E2 波）时间减少，说明吡虫啉对马铃薯木虱的取食行为产生消极影响。本试验用吡虫啉通过喷雾法处理烟苗，结果发现吡虫啉作用后 3 种体色型烟蚜在韧皮部被动吸食汁液（E2 波）的平均持续时间、总持续时间和持续次数都显著低于清水处理的绿色型烟蚜，并且能真正到达韧皮部取食的个体数也明显低于清水处理的绿色型烟蚜，说明吡虫啉使烟蚜取食行为受到抑制。

蚜虫是可传播多种植物病毒的重要媒介昆虫。对于持久性病毒而言，蚜虫传毒、获毒的效率和 E1、E2 波所持续的时间成正比（Liu *et al.*，2012），但若只发生路径波和 E1 波的蚜虫很少获毒，而发生 E2 波的蚜虫可大量获得病毒（Prado and Tjallingii，1994）。对于非持久性病毒而言，蚜虫的传毒过程与 pd 波的发生密切相关（罗晨，2005）。但由于病毒必须进入活体细胞内才能存活，因此，持久性病毒与非持久性病毒的传播均与 pd 波的发生有关，如有研究报道棉蚜获得黄瓜花叶病毒需要 pd 波的发生，并且获毒效率与 pd 波发生次数呈正相关（张鹏飞等，2001；王斌等，2003）。本试验结果表明，在吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜 pd 波发生次数均低于清水处理的绿色型烟蚜，而在 3 种体色型烟蚜之间 pd 波发生次数为红色型>绿色型>褐色型。另外，3 种体色型烟蚜在韧皮部被动取食（E2 波）的平均持续时间、总持续时间和持续次数都显著低于清水处理的绿色型烟蚜，并且能到达韧皮部取食的个体比例也低于清水处理的绿色型烟蚜。由此可推测，吡虫啉作用后可影响烟蚜传播持久性和非持久性病毒的能力。本试验利用 EPG 技术比较了在吡虫啉作用下 3 种体色型烟蚜在烟草上取食行为的差异，以期对吡虫啉在田间防治烟蚜提供理论依据。

参考文献（References）

Butler CD, Walker GP, Trumble JT. Feeding disruption of potato

psyllid, *Bactericera cockerelli*, by imidacloprid as measured by electrical penetration graphs [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 142 (3): 247–257.

Cheng XS, Ha YW, Wang FX. The population dynamic and their sensitivity to pesticides of different body color of *Myzus persicae* [J]. *Chinese Tobacco Science*, 1998, 19 (3): 33–34. [程新胜, 韩移旺, 王方晓. 不同体色烟蚜的消长动态及对药剂的敏感性 [J]. 中国烟草科学, 1998, 19 (3): 33–34]

Civolani S, Leis M, Grandi G, *et al.* Stylet penetration of *Cacopsylla pyricola*; an electrical penetration graph (EPG) study [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2011, 57 (10): 1407–1419.

Costa RR, Moraes JC, DaCosta RR. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2011, 135 (1–2): 115–120.

Du ZB. Effect of Sublethal Concentration of Imidacloprid and Thiamethoxam on the Life-table Parameters and Feeding Behavior of *Sitobion miscanthi* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. [都振宝. 吡虫啉和噻虫嗪亚致死剂量对获草谷网蚜生命表参数及取食行为的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012]

Elbert A, Becker B, Hartwig J, *et al.* Imidacloprid a new systemic insecticide [J]. *Pflanzenschutz – Nachrichten Bayer*, 1991, 44: 113–116.

Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, *et al.* The sensitivity of two body colour bio-types of the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) to the pesticides and its correlation to enzyme activity [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (4): 452–457. [宫亚军, 王泽华, 石宝才, 等. 两种体色生物型桃蚜对杀虫剂敏感性差异及其与酶活力的关系 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (4): 452–457]

Harlow CD, Southern PS, Lampert EP. Geographic distribution of two color forms, carboxylesterase activity and chromosome configuration of the tobacco aphid (Homoptera: Aphididae) in North Carolina [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1991, 84 (4): 1175–1179.

Liu BM, Yan FM, Chu D, *et al.* Difference in feeding behaviors of two invasive whiteflies on host plants with different suitability: Implication for competitive displacement [J]. *International Journal of Biological Sciences*, 2012, 8 (5): 697–706.

Liu HS, Yang BJ, Liu H, *et al.* Effects of sublethal dose of imidacloprid and pymetrozine on relative biological fitness of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 26 (3): 361–364. [刘淑华, 杨保军, 刘双, 等. 亚致死剂量吡虫啉和吡蚜酮对褐飞虱生物适合度的影响 [J]. 中国水稻科学, 2012, 26 (3): 361–364]

Liu SY, An YG. Research relationship body – colour biotypes of the peach aphid with the host [J]. *Acta Agriculturae Boreali – occidentalis Sinica*, 2000, 28 (3): 11–14. [刘绍友, 安英鸽. 桃蚜体色生物型与寄主关系的研究 [J]. 西北农业大学学报, 2000, 28 (3): 11–14]

Luo C, Yue M, Xu HF, *et al.* Application of electrical penetration

- graph (EPG) in entomological studies and new findings [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48 (3): 437–443. [罗晨, 岳梅, 徐洪福, 等. EPG 技术在昆虫学研究中的应用及进展 [J]. 昆虫学报, 2005, 48 (3): 437–443]
- Ma JS, Luo MH, Guo XR, *et al.* Chinese Tobacco Insect [M]. Beijing: Science Press, 2007: 116–117. [马继盛, 罗梅浩, 郭线茹, 等. 中国烟草昆虫 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 116–117]
- McLean DL, Kinsey MG. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation [J]. *Nature*, 1964, 202: 1358–1359.
- Nauen R, Behaviour modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response [J]. *Pest Management Science*, 1995, 44 (2): 145–153.
- Prado E, Tjallingii WF. Aphid activities during sieve element punctures [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1994, 72 (2): 157–165.
- Tjallingii WF. Electronic recording of penetration behaviour by aphids [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1978, 24 (3): 721–730.
- Wang B, Cheng JQ, Zhang PF, *et al.* Effects of post-acquisition fast on cucumber mosaic virus transmission by the cotton aphid, *Aphis gossypii* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (3): 259–266. [王斌, 陈建群, 张鹏飞, 等. 棉蚜获毒后禁食对其保持并传播黄瓜花叶病毒的影响 [J]. 昆虫学报, 2003, 46 (3): 259–266]
- Wang MT, Zhang XY. Research on biological of body color biotypes of *Myzus persicae* [J]. *Journal of Plant Protection*, 1991, 18 (4): 351–355. [王茂涛, 张孝羲. 桃蚜体色生物型的研究 [J]. 植物保护学报, 1991, 18 (4): 351–355]
- Yao FL, Xiao YY, Wu P, *et al.* The occurrence and control of *Myzus persicae* (Sulzer) [J]. *Wuyi Science Journal*, 2013, 28 (1): 85–92. [姚凤銮, 肖银玉, 武鹏, 等. 烟蚜的发生与防治 [J]. 武夷科学, 2013, 28 (1): 85–92]
- Zeng XY, He YQ, Wu JX, *et al.* Sublethal effects of cyantraniliprole and imidacloprid on feeding behavior and life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109 (4): 1595–1602.
- Zhang GX, Zhong TS. Experimental studies on some aphid life cycles and the hybridization of two sibling species [J]. *Aphid – plant Genotype Interaction*, 1990, 37–50.
- Zhang PF, Chen JQ, Zhang X, *et al.* The feeding behavior and the acquisition of CMV by the cotton aphid *Aphis gossypii* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2001, 44 (4): 395–401. [张鹏飞, 陈建群, 张闲, 等. 棉蚜获得黄瓜花叶病毒的行为与取食过程的关系 [J]. 昆虫学报, 2001, 44 (4): 395–401]
- Zhao C. Study on Differentiation of *Myzus persicae* on Tobacco in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. [赵冲. 我国烟蚜种群分化的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014]