韭菜迟眼蕈蚊对新烟碱类杀虫剂的抗药性及抗性机制初探*

陈澄宇** 王翠翠 郭静静 许国升 史雪岩*** 宋敦伦

（中国农业大学植物保护学院，北京 100193）

摘 要 **【目的】** 为明确韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 对新烟碱类杀虫剂的抗性水平及其抗性机制。**【方法】** 通过测定不同地区韭菜迟眼蕈蚊对 3 种新烟碱类杀虫剂吡虫啉、噻虫嗪和噻虫胺的敏感度，及通过增效剂实验和酶活性测定，初步探索抗性产生机制，为韭菜迟眼蕈蚊抗性治理提供依据。**【结果与结论】** 4 个不同的韭菜迟眼蕈蚊田间种群对 3 种新烟碱类杀虫剂均产生了不同水平的抗性。其中，唐山种群对 3 种新烟碱杀虫剂均产生了较高的抗性。研究发现，唐山种群的 7-乙氧基香豆素-O-脱乙基酶（ECOD）比活力为（3.89±0.31）pmol/（mg·pro·min），显著高于敏感品系。增效剂 PBO 对唐山种群的吡虫啉毒力的增效比为 2.64，高于对敏感品系的增效比 1.08。因此，P450s 酶活性的升高与韭菜迟眼蕈蚊对吡虫啉的抗性有关。

关键词 韭菜迟眼蕈蚊，新烟碱类杀虫剂，抗性监测，抗性机制

Neonicotinoid insecticide resistance in *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang

CHEN Cheng-Yu** WANG Cui-Cui GUO Jing-Jing XU Guo-Sheng
SHI Xue-Yan*** SONG Dun-Lun

(College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the level of resistance of *Bradysia odoriphaga* to neonicotinoid insecticides and the mechanism responsible for this resistance. **[Methods]** Larvae of *B.odoriphaga* were collected from different regions of China and their sensitivity to three neonicotinoids; imidacloprid, thiamethoxam and clothianidin, examined. In addition, the P450s-related resistance mechanism to neonicotinoids was explored. **[Results and Conclusion]** Four field populations of *B. odoriphaga* had different resistance levels to the three neonicotinoids tested. Among these populations, the TS population had the highest resistance to all three neonicotinoids. ECOD activity of the TS population was (3.89±0.31)pmol/(mg·pro·min), higher than that of the SS population. Moreover, the synergic ratio of PBO to imidacloprid toxicity in the TS population was 2.64, which was higher than that of the susceptible population to PBO (1.08). This suggests that elevated P450s activity is related to imidacloprid resistance in *B. odoriphaga* larvae.

Key words *Bradysia odoriphaga*, neonicotinoid insecticides, resistance monitoring, resistance mechanism

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang，属眼蕈蚊科迟眼蕈蚊属，是韭菜等百合科蔬菜的主要害虫（梅增霞等，2003）。韭菜迟眼蕈蚊在保护地的危害尤其严重，幼虫主要取食韭菜的根茎和鳞茎，是造成韭菜减产的主要原因之一（薛明等，2002）。

目前，田间韭菜迟眼蕈蚊防治的主要方法为化学防治（陈澄宇等，2014）。如有机磷类杀虫

*资助项目 Supported projects：公益性行业科技专项“作物根蛆类害虫综合防治技术研究与示范”（201303027）

**第一作者 First author，E-mail：chenchengyu@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：shixueyan@cau.edu.cn

收稿日期 Received：2016-11-01，接受日期 Accepted：2016-11-10

剂毒死蜱（Chlorpyrifos）、辛硫磷（Phoxim）等均是目前田间防治韭菜迟眼蕈蚊的主要药剂（王洪涛等，2012），但是由于长期使用，导致很多地区的韭菜迟眼蕈蚊种群对有机磷类杀虫剂的耐受性逐年提高，甚至产生了一定的抗性。如齐素敏等（2016）研究发现山东省不同地区韭菜迟眼蕈蚊种群对毒死蜱和辛硫磷的抗性已较为普遍。

近年来，一些研究发现新烟碱类杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊具有良好的防治效果。如李贤贤等（2014）比较研究了几种不同类型的杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊的毒杀效果，发现在 50 mg/L 剂量下噻虫胺（Clothianidin）对韭菜迟眼蕈蚊的防效最高。王志超等（2014）发现，吡虫啉对韭菜迟眼蕈蚊 3 龄幼虫的毒力高于毒死蜱、辛硫磷等有机磷杀虫剂。李慧等（2015）研究发现新烟碱类杀虫剂可以通过韭菜根部水培处理防治韭菜迟眼蕈蚊。由于新烟碱类杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊具有良好的毒力及田间防治效果，目前我国登记防治韭菜迟眼蕈蚊的主要药剂为吡虫啉及其混剂。

随着新烟碱类杀虫剂在韭菜迟眼蕈蚊防治中的应用，应当加强对新烟碱类杀虫剂的抗药性监测。本研究通过采集不同地区的韭菜迟眼蕈蚊种群，测定了其对 3 种新烟碱类杀虫剂的抗药性现状，并初步研究了韭菜迟眼蕈蚊对吡虫啉产生抗性的机制，以期为合理使用新烟碱类杀虫剂进行韭菜迟眼蕈蚊防治以及延缓抗药性的发展，提供必要的研究基础。

1　材料与方法

1.1　试虫

室内敏感品系（SS）：于 2014 年采自山东泰安露地韭菜，将带有卵和幼虫的韭菜根，带回室内饲养，参照慕卫等（2002）的方法饲养。饲养条件：在培养皿中倒入 2.5%的琼脂，并铺圆形滤纸。用细毛笔轻轻挑取韭蛆幼虫于滤纸上，饲喂 1~2 cm 韭菜假茎小段，置于温度（23±1）℃，相对湿度 RH 60%条件下，于阴暗处饲养。饲养期间不接触任何杀虫药剂。

保定种群（BD）：2015 年 11 月采自河北省保定市望都县；河北唐山（TS）种群：2015 年 11 月采自河北唐山市乐亭县；潍坊种群（WF）：2015 年 5 月采自山东潍坊峡山区；许昌种群（XC）：2015 年 4 月采自河南许昌鄢陵县。

1.2　供试药剂

98%吡虫啉（Imidacloprid）原药，江苏克胜作物科技有限公司；98%噻虫嗪（Thiamethoxam）原药，江苏绿叶农化有限公司；95%噻虫胺（Clothianidin）原药，山东京蓬生物药业股份有限公司。

1.3　生物测定

参考慕卫等（2004）的胃毒触杀联合毒力测定方法。将原药用丙酮配制成母液，再用 0.1% (v/v) Triton X-100 水溶液将母液梯度稀释。将滤纸平铺在含有琼脂的 9 孔细胞培养板内，将韭菜茎基的白色部分剪成约 0.5 cm 的小段，在不同浓度药液中浸泡 15 s 后取出，在吸水纸上吸除多余药液后置于培养板内。毛笔轻轻挑选大小一致的 4 龄幼虫，并将其置于浸虫网内分别在不同浓度药液中接触 15 s 后，放入含有相同药液处理韭菜段的培养板内。每处理至少 20 头 4 龄幼虫，重复 3 次，于处理 48 h 后检查死亡虫数，用湿润毛笔轻触虫体，若不动即认为死亡。同时设 0.1 % Triton X-100 水溶液为对照。

1.4　增效剂试验

将 P450s 酶的抑制剂增效醚（PBO）用丙酮配置成母液，用 0.1% (v/v) Triton X-100 水溶液稀释至 150 mg/L。将韭菜段和试虫分别浸泡 15 s 后转入培养皿中预处理 2 h，然后按照 1.3 的生测方法进行对吡虫啉的生物测定。

1.5　7-乙氧基香豆素-O-脱乙基酶（7-ethoxycoumarin O-deethylase，ECOD）活性测定

将不同品系的约 40 头 4 龄初韭菜迟眼蕈蚊幼虫加入 400 μL 0.1 mol/L pH 7.5 磷酸盐缓冲液（含 1 mmol/L EDTA，1 mmol/L PMSF，1 mmol/L DTT 和 15%甘油），匀浆，在 4℃，10 800 g 离心 15 min，收集上清液，用脱脂棉过滤后，用于

进行酶活性和蛋白质含量测定。

ECOD 活性的测定，参考 Zhen 等（2015）并加以改进。反应体系的总体积为 100 μL。其中含有 76 μL 0.1 mol/L pH 7.5 磷酸盐缓冲液，2 μL 20 mmol/L 7-乙氧基香豆素做底物，2 μL 50 mmol/L NADPH，加入 20 μL 酶液启动反应。在 30℃恒温水浴中摇振反应 15 min 后，加入 100 μL 乙腈与 Tris 混合液（1∶1）终止反应。加入 70 μL 1.6 mol /L pH 10.4 的 Gly-NaOH 缓冲液，充分混合后，在激发波长为 380 nm，发射波长为 450 nm 下，测定产物 7-羟基香豆素的荧光值。

取少量酶制备液，加入考马斯亮蓝 G-250，在 5～15 min 之内测定酶制备液中的蛋白含量。以牛血清白蛋白 BSA 为标准品计算蛋白质浓度。

用不同浓度的 7-羟基香豆素标准品作标准曲线。将所测定的荧光值，使用 7-羟基香豆素标准曲线换算为酶反应生成的 7-羟基香豆素的量，再结合所使用的酶蛋白含量和酶反应时间，计算出 ECOD 活性，以 pmol/(mg pro·min)为单位。

1.6 数据分析

采用 SPSS 数据处理系统软件进行分析，求出不同杀虫剂对 4 龄幼虫在 48 h 的 LC_{50} 和 LC_{95}。采用 *t*-检验对抗性和敏感品系韭菜迟眼蕈蚊的 ECOD 活进行差异性分析。抗性水平分级标准(Ban *et al.*，2012)：抗性倍数 3.0 倍以下为敏感；3～5.0 倍为敏感性下降；5～10 倍为低水平抗性；10～40 倍为中等水平抗性；40～160 倍为高水平抗性；大于 160 倍为极高水平抗性。

2 结果与分析

2.1 不同地区韭菜迟眼蕈蚊幼虫对 3 种新烟碱类杀虫剂的抗药性现状

不同地区韭菜迟眼蕈蚊对吡虫啉、噻虫嗪和噻虫啉的抗性监测结果见表 1。结果表明，不同韭菜迟眼蕈蚊种群对同一种新烟碱类杀虫剂的抗性水平有所不同。以吡虫啉为例，唐山种群对吡虫啉已产生中等水平抗性（15.10 倍），许昌种群为低水平抗性（6.72 倍），而保定（3.88 倍）和潍坊（3.27 倍）种群对吡虫啉为敏感性下降。4 个不同韭菜迟眼蕈蚊种群对噻虫嗪的抗性水平较低。由表 1 可知，保定和潍坊种群韭菜迟眼蕈蚊对噻虫嗪均为敏感，而许昌种群对噻虫嗪为敏感性下降（3.73 倍），仅唐山种群表现为低水平抗性（8.10 倍）。

韭菜迟眼蕈蚊对噻虫胺为低到中等水平抗性（6.47~29.23 倍），其中低水平抗性种群和中等水平抗性的种群各占 50%。与敏感种群相比，唐山种群对噻虫胺的抗性水平最高，其 LC_{50} 为 37.41 mg/L，抗性达到 29.23 倍。潍坊种群对噻虫胺的抗性水平最低，其 LC_{50} 为 8.28 mg/L，抗性为 6.47 倍。

从韭菜迟眼蕈蚊对 3 种新烟碱杀虫剂的抗性监测结果，可以看出，唐山种群韭菜迟眼蕈蚊对这 3 种新烟碱类杀虫剂已产生了一定水平的抗性，其中对吡虫啉和噻虫胺的抗性水平已达到中等水平抗性。

2.2 唐山种群韭菜迟眼蕈蚊的 ECOD 活性

图 1 为唐山种群和室内敏感品系的韭菜迟眼蕈蚊的 ECOD 活性比较。唐山韭菜迟眼蕈蚊品系的 ECOD 活性为（3.89±0.31）pmol/(mg·pro·min)，而敏感品系的 ECOD 活性为（1.01±0.18）pmol/(mg·pro·min)，可以看出唐山种群的 ECOD 活性明显高于敏感品系（$P \leq 0.05$）。可见，对吡虫啉、噻虫嗪和噻虫胺均具有一定抗性的唐山种群韭菜迟眼蕈蚊，其 ECOD 活性显著超过了敏感种群，说明，ECOD 活性升高与唐山种群对 3 种新烟碱类杀虫剂的抗性具有一定关系。

2.3 增效剂对吡虫啉的增效作用

选择对 3 种新烟碱类杀虫剂均产生抗性的唐山种群，使用 P450s 酶的抑制剂——PBO 进行增效试验研究。由表 2 结果可知，PBO 对唐山种群的吡虫啉毒性的增效作用十分明显。PBO 处理后，吡虫啉对唐山种群的 LC_{50} 值为 20.48 mg/L，与未经 PBO 处理的唐山种群相比，增效比为 2.64，而 PBO 对敏感品系的增效比仅为 1.08，说明在唐山种群中 P450s 参与了其对吡虫啉的代谢抗性。

表 1　韭菜迟眼蕈蚊幼虫对新烟碱类杀虫剂的抗性水平

Table 1　Resistance levels of *Bradysia odoriphaga* larvae to neonicotinoid insecticides

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	*N*	斜率±标准误 Slope±SE	卡方值 χ^2	*df*	*P*	LC_{50} (mg/L)	95% CI (mg/L)	RR
吡虫啉 Imidacloprid	BD	459	7.70±0.67	2.12	3	0.55	13.90	13.33–14.45	3.88
	XC	357	8.31±0.99	1.66	3	0.65	24.06	23.06–25.01	6.72
	WF	396	4.35±0.65	0.97	3	0.81	11.69	10.52–12.59	3.27
	TS	453	6.78±0.64	3.26	3	0.35	54.05	51.53–56.46	15.10
	SS	348	2.44±0.25	11.13	3	0.01	3.58	1.82–5.83	1.00
噻虫嗪 Thiamethoxam	BD	420	6.72±0.77	0.84	3	0.84	21.67	20.72–22.68	2.00
	XC	447	8.47±0.87	3.12	3	0.37	40.44	39.06–41.88	3.73
	WF	435	9.29±1.03	0.93	3	0.82	27.85	26.99–28.79	2.57
	TS	456	17.16±1.89	0.35	3	0.95	87.84	86.26–89.30	8.10
	SS	444	3.79±0.43	3.41	3	0.33	10.84	9.94–11.70	1.00
噻虫胺 Clothianidin	BD	381	3.23±0.36	1.43	3	0.70	10.08	9.14–11.20	7.88
	XC	453	6.79±0.74	3.88	3	0.28	13.38	12.83–13.99	10.45
	WF	453	3.38±0.41	0.30	3	0.96	8.28	7.62–9.05	6.47
	TS	446	6.36±0.80	2.61	3	0.46	37.41	35.62–39.10	29.23
	SS	442	2.02±0.26	2.75	3	0.43	1.28	1.11–1.48	1.00

BD 代表保定种群，XC 代表许昌种群，WF 代表潍坊种群，TS 代表唐山种群，SS 代谢室内敏感种群。下表同。

BD represents Baoding population, XC represents Xuchang population, WF represents Weifang population, TS represents Tangshan population, SS represents sensitive population. The same below.

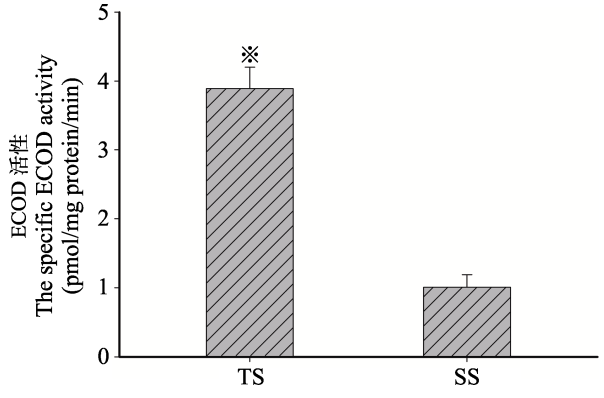


图 1　唐山种群和敏感品系的 **ECOD** 活性比较

Fig. 1　Comparison of the ECOD activities between Tangshan (TS) and sensitive (SS) populations

TS 代表唐山种群，SS 代表室内敏感种群；*表示两个种群的 ECOD 活性存在显著差异（*P*<0.05，*t*-检验）。

TS represents Tangshan population, SS represents sensitive population. Histograms with asterisks (*) indicates significant difference between two populations in ECOD activities (*P*<0.05, Student's *t*-test).

3　讨论

通过室内生测实验发现，虽然 3 种新烟碱类杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊幼虫均具有良好的毒杀效果，但已有多个地区的韭菜迟眼蕈蚊对新烟碱类杀虫剂产生了不同程度的抗性，这与近年来吡虫啉等新烟碱类杀虫剂已被逐渐推广应用于韭菜迟眼蕈蚊的田间防治有关。在本文监测的几个韭菜迟眼蕈蚊种群中，唐山种群已对吡虫啉和噻虫胺产生了中等水平抗性。因此，针对已产生抗性或敏感度显著下降的韭菜迟眼蕈蚊种群，建议使用其它杀虫机理的药剂进行韭菜迟眼蕈蚊防治，以延缓韭菜迟眼蕈蚊对新烟碱类杀虫剂的抗性发展。

一些研究发现，P450s 酶参与了昆虫对吡虫啉的抗药性机制。对吡虫啉产生抗药性的家蝇 *Musca domestica* 种群，经 PBO 处理后，吡虫啉对雄成虫的 LC_{50} 从 32 mg/L 下降到 3.7 mg/L，说明 P450s 酶参与了家蝇对吡虫啉的抗药性（Markussen and Kristensen，2010）。Elzaki 等（2016）报道了对吡虫啉产生抗性的灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 种群，使用 PBO 处理后，其增效比为 1.70，而且在抗性种群中 P450s 酶活

表 2 **PBO** 对韭菜迟眼蕈蚊幼虫的吡虫啉毒力的增效作用

Table 2 Synergic effects of PBO on imidacloprid toxicity to *Bradysia odoriphaga* larvae

种群 Population	*N*	斜率±标准误 Slope±SE	卡方值 χ^2	*df*	*P*	LC_{50} (mg/L)	95% CI (mg/L)	增效比 SR
TS	398	7.84±0.82	1.60	3	0.66	20.48	19.68–21.36	2.64
SS	428	1.54±0.19	5.00	3	0.17	3.32	2.74–4.08	1.08

性为敏感品系的 1.88 倍，表明 P450s 酶介导的代谢增强是导致灰飞虱对吡虫啉产生抗性的原因之一。本文通过 ECOD 酶活性测定发现，唐山抗性品系的 ECOD 活性明显高于敏感品系，而且 PBO 对唐山种群和室内敏感种群的吡虫啉的毒力的增效比分别为 2.64 和 1.08，表明在韭菜迟眼蕈蚊的抗吡虫啉性品系中，P450s 介导的代谢增强与韭菜迟眼蕈蚊对吡虫啉的抗性有关。

综上所述，随着新烟碱类杀虫剂在韭菜迟眼蕈蚊防治中的逐步推广与应用，目前田间种群已对该类杀虫剂产生了一定水平的抗性。因此，应当加强对不同地区韭菜迟眼蕈蚊抗药性的监测，针对当地韭菜迟眼蕈蚊的抗药性特点制定合理的施药方案，合理使用和轮用杀虫剂，以延缓抗性的发展，达到有效治理韭菜迟眼蕈蚊的目的。

参考文献 **(References)**

Ban LF, Zhang S, Huang ZY, He YP, Peng YQ, Gao CF, 2012. Resistance monitoring and assessment of resistance risk to pymetrozine in *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae). *Journal of Economic Entomology*, 105 (6): 2129–2135.

Chen CY, Zhao YH, Li H, Zhang P, Mu W, Liu F, 2014. Biological activity of benzothiazole against *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) at different developmental stages. *Acta Entomologica Sinica*, 57 (1): 45–51. [陈澄宇, 赵云贺, 李慧, 张鹏, 慕卫, 刘峰, 2014. 苯并噻唑对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的生物活性. 昆虫学报, 57 (1): 45–51.]

Elzaki MEA, Zhang WF, Feng A, Qiou XY, Zhao WX, Han ZJ, 2016. Constitutive overexpression of cytochrome P450 associated with imidacloprid resistance in *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Pest Management Science*, 72 (5): 1051–1058.

Li H, Zhao YH, Wang QH, Han JK, Liu F, Mu W, 2015. Comparison of systemic activity of neonicotinoid insecticides in leeks and its toxicity to larvae of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 17 (2): 156–162. [李慧, 赵云贺, 王秋红, 韩京坤, 刘峰, 慕卫, 2015. 新烟碱类杀虫剂在韭菜中的内吸性及其对韭菜迟眼蕈蚊幼虫的毒力比较. 农药学学报, 17(2): 156–162.]

Li XX, MA XD, Xue M, LI ZX, 2014. Toxicity of insecticides to *Bradysia odoriphaga* at different temperature and their control effect in the fields. *Northern Horticulture*, (9): 125–128. [李贤贤, 马晓丹, 薛明, 李朝霞, 2014. 不同药剂对韭菜迟眼蕈蚊致毒的温度效应及田间药效. 北方园艺, (9): 125–128.]

Markussen MDK, Kristensen M, 2010. Cytochrome P450 monooxygenase-mediated neonicotinoid resistance in the house fly *Musca domestica* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98(1): 50–58.

Mei ZX, Wu QJ, Zhang YJ, Hua L, 2003. The biology, ecology and management of *Bradysia odoriphaga*. *Entomological Knowledge*, 40(5): 396–398. [梅增霞, 吴青君, 张友军, 花蕾, 2003. 韭菜迟眼蕈蚊的生物学、生态学及其防治. 昆虫知识, 40(5): 396–398.]

Mu W, Ding Z, He MH, Guo H, Liu F, 2002. Bioassay technique of *Bradysiaodoriphaga* and control to larvae and adults by insecticides. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 17(Suppl.): 12–16. [慕卫, 丁中, 何茂华, 郭红, 刘峰, 2002. 韭菜迟眼蕈蚊的生测方法及防治药剂研究. 华北农学报, 17(增刊): 12–16.]

Mu W, Liu F, Jia ZM, Zhang YL, Zhao D, 2004. Study on correlationship between toxicity and field control effect of insecticides to *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(3): 53–55. [慕卫, 刘峰, 贾忠明, 张月亮, 赵德, 2004. 杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊毒力与药效相关性研究. 农药学学报, 6(3): 53–55.]

Qi SM, Wu YF, Li RM, Zhang SC, Zhuang QY, Zhou XH, Yu Y, Liu YJ, 2016. Detection of insecticide resistance of *Bradysia odoriphaga* in Shandong province. *Plant Protection*, 42(4): 179–183. [齐素敏, 吴有芳, 李如美, 张思聪, 庄乾营, 周仙红, 于毅, 刘永杰, 2016.山东省不同地区韭菜迟眼蕈蚊种群对杀虫剂的抗药性, 植物保护, 42(4): 179–183.]

Wang HT, Wang PS, Luan BH, Wang YZ, 2012. Evaluation of control efficiency on Beichuang synergist mixture with chlorpyrifos against *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang. *China Vegetables*, (6): 82–84. [王洪涛, 王培松, 栾炳辉, 王英姿, 2012. 增效剂倍创与 48%毒死蜱乳油混用对韭菜根蛆防治效果的评价. 中国蔬菜, (6): 82–84.]

Wang ZC, Wang SY, Shi XY, Song DL, Gao XW, 2014. Toxicity of the mixtures of imidacloprid and three different organophosphate insecticides to the larvae of *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang. *Acta Phytophylacica Sinica*, 41(4): 511–512. [王志超, 王思一, 史雪岩, 宋敦伦, 高希武, 2014. 吡虫啉与三种有机磷杀虫剂混配对韭菜迟眼蕈蚊幼虫的室内毒力测定. 植物保护学报, 41(4): 511–512.]

Xue M, Yuan L, Man XU, 2002. The olfactory response of adults to volatiles and compare of toxicity of different insecticides to the adults and larvae of *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4(2): 50–56. [薛明, 袁林, 徐曼琳, 2002. 韭菜迟眼蕈蚊成虫对挥发性物质的嗅觉反应及不同杀虫剂的毒力比较. 农药学学报, 4(2): 50–56.]

Zhen CA, Gao XW, 2016. A point mutation (L1015F) of the voltage-sensitive sodium channel gene associated with lambda-cyhalothrin resistance in *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) population from the transgenic Bt cotton field of China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 127: 82–89.