

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.02.25

不同虫态烟蚜对杀虫剂敏感性及其与解毒酶活力关系

李 勇¹, 何 林^{2*}

(1. 重庆烟草科学研究所, 重庆 400700; 2. 西南大学植物保护学院, 重庆 400700)

摘要: 为更好地指导生产, 本文研究了不同虫态烟蚜 *Myzus persicae* 对吡虫啉和丁硫克百威敏感性及其与羧酸酯酶、多功能氧化酶、谷胱甘肽 *S*-转移酶比活力相关性。结果表明, 3 龄若虫对吡虫啉敏感性水平最低, 4 龄若虫对丁硫克百威敏感性水平最低。不同虫态烟蚜解毒酶活力随龄期逐渐增强, 之后逐渐减弱, 3 龄若虫高于其他任何虫态, 且多功能氧化酶和羧酸酯酶比活力与杀虫剂敏感性间存在强的负相关性。田间最佳防治虫态为 1 龄若虫、2 龄若虫和成虫。

关键词: 烟蚜; 虫态; 杀虫剂敏感性; 解毒酶活力

中图分类号: Q965.9; 433.39

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 02-0408-06

Insecticide susceptibility in *Myzus persicae* of different life stage and correlation with detoxification enzyme activity

LI Yong¹, HE Lin^{2*} (1. Chongqing Institute of Tobacco Science, Chongqing 400700, China; 2. Plant Protection Academy of Southwest University, Chongqing 400700, China)

Abstract: To guide the practice better, this work aims at the insecticide susceptible level of *Myzus persicae* in different life stages to imidacloprid and carbosulfan, and the effect of detoxification enzymes to insecticide susceptibility. Results showed that the susceptibility of *M. persicae* in all life stages to imidacloprid and carbosulfan decreased with the age firstly, and then increased continuously. The 3rd larvae were the most unsusceptible to imidacloprid, and the 4th exhibited the lowest susceptibility to carbosulfan. The mixed function oxidase and carboxylesterase specific activities of 3rd larvae's were larger than any other states of the insect. There was a negative correlation between LC_{50} of *M. persicae* in different life stages to the two insecticides and specific activities of mixed function oxidase and carboxylesterase. And the best stages for control are the young larvae and the mature.

Key words: *Myzus persicae*; life stage; insecticide susceptibility; detoxification enzyme activity

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 是造成经济损失最严重的世界性害虫之一, 能寄生包括桃树、油菜、土豆、番茄、烟草、辣椒、甘蔗和花卉等大田及温室的 50 多个植物属 (Emden *et al.*, 1969), 能传播 150 种以上植物病毒 (Gray and Gildow, 2003)。由于烟蚜具有强的变态性和较短的生命周期 (Moran, 1988), 通过自然界天敌进行种群数量

控制很难达到目的。目前, 化学防治在烟蚜综合治理中起主要作用, 也是农民选择的首要手段。但杀虫剂不合理使用和施药器械落后等原因使得烟蚜长期处于高选择压和高残留环境中, 加上其强的环境适应能力和较短的生活史, 敏感性快速减弱, 耐药性问题亦日趋严重 (Bass *et al.*, 2014)。

基金项目: 重庆市烟草专卖局科技计划项目 (NY20130301070005)

作者简介: 李勇, 女, 1978 年生, 重庆巴南人, 农学硕士, 农艺师, 主要从事烟草植物病虫害防治与研究工作, E-mail: liyong5662@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: helinok@vip.tom.com

收稿日期 Received: 2015-03-18; 接受日期 Accepted: 2015-06-10

研究表明,不同龄期昆虫对杀虫剂敏感性不同(王泽华等,2014;张鹏等,2014)。宋春满等(2006,2012)和郭天凤等(2013)的结果也显示,不同抗性水平蚜虫间解毒酶活力差异较大。虫态和杀虫剂敏感性水平是烟蚜防治适期选择、提高杀虫剂防效、治理和延缓耐药性的重要依据。为此,本文研究了不同虫态烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威敏感性及其体内主要解毒酶活力,并对二者间关系进行了分析,旨在为烟蚜的田间有效防控和耐药性管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试烟蚜与饲养条件

试验烟蚜于2012年5月采自重庆市武隆县田间烟株上,体色红色,自采集后一直室内饲养,未接触过农药,寄主烟草品种为云烟89。饲养室内温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,光照为16 L:8 D。

1.2 供试药剂

供试药剂为吡虫啉原药(96%,山东侨昌化学有限公司提供)和丁硫克百威原药(98%,山东侨昌化学有限公司提供)。

1.3 杀虫剂敏感性测定方法与数据分析

烟蚜对杀虫剂敏感性生物测定方法参考鲁艳辉等(2009)改进的药膜法。以丙酮为对照,并用丙酮将吡虫啉和丁硫克百威原药分别稀释成至少7个浓度梯度(试验烟蚜死亡率在20%–80%)。用移液枪取稀释后药液3 mL加入标记好的5 mL离心管中,盖上盖子,置于离心管架上反复颠倒数次以使药液与管壁充分均匀接触。倒掉离心管中药液并倒扣斜放在托盘中,于通风橱过夜直至丙酮完全挥发,仅在管壁上形成一层均匀药膜。试验每个浓度设置3次重复,单个离心管中分别挑入30头3龄若虫、4龄若虫和成蚜、60头1龄若虫和2龄若虫,盖上盖子置于室内温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、光照为16 L:8 D条件下,并于24 h后用解剖镜调查死亡率,以轻触无任何部位活动为死亡标准。

1.4 解毒酶活性测定

1.4.1 酶液制备

分别挑取60头3龄若虫、4龄若虫和成蚜,120头1龄若虫和2龄若虫于不同玻璃研磨器中,加入2.0 mL Tris-HCl缓冲液(0.4 mol/L , pH7.0),在冰上研磨匀浆后匀浆液导入2 mL离心

管,在高速冷冻离心机中以 4°C 、10000 g离心10 min,取上清液置于冰上备用。每个虫态设置三个生物重,每个生物重复重复三次。

1.4.2 酶源蛋白含量测定

烟蚜不同虫态酶源蛋白含量参照Bradford(1976)的考马斯亮蓝染色法,用牛血清蛋白作为标准物测定。在酶标板参比孔与待测孔中均加入200 μL 考马斯亮蓝G-250溶液,参比孔中加入50 μL Tris-HCl(0.5 mol/L , pH7.5),待测孔中加入50 μL 酶液,在酶标仪中 25°C 条件下反应10 min后测定595 nm处OD值。所测OD值减去对照OD值,参照牛血清蛋白标准曲线,求出酶源蛋白含量。实验设置3个生物重复,每个重复3次。

1.4.3 羧酸酯酶活性测定

羧酸酯酶(CarE)活力测定参照van Aspere(1962)的方法。不同体积 α -萘酚($1 \times 10^{-3}\text{ mol/L}$)和Tris-HCl缓冲液(0.4 mol/L , pH 7.0)在酶标仪中 30°C 条件下反应10 min后,加入25 μL 显色剂(1%固蓝B盐水溶液与5%十二烷基硫酸钠以2:5配制),再 30°C 反应10 min后检测600 nm处光密度值,并依此制作 α -萘酚标准曲线。于酶标板加样孔中加入100 μL α -醋酸萘酯($1 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$)和75 μL 酶液,按与标准曲线制作相同反应后检测600 nm处光密度值,并换算出羧酸酯酶比活力。实验设置3个生物重复,每个重复3次。

1.4.4 谷胱甘肽s-转移酶活性测定

谷胱甘肽s-转移酶(GSTs)的活性测定方法参照Clark等(1984)的方法。在酶标板对照孔和待测孔中分别加入100 μL 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB)(0.6 mol/L)作为底物,与100 μL GSTs(6 mol/L)催化剂混合,于酶标仪中 37°C 下反应20 min后,在对照孔加入 0.5 mol/L pH 7.5 Tris-HCl 100 μL ,待测孔中加入酶液100 μL , 37°C 下以40 s为时间间隔,记录340 nm处7 min之内OD值变化。计算GSTs的比活力($\mu\text{mol/min} \cdot \text{mg}$)。实验设置3个生物重复,每个重复3次。

1.4.5 多功能氧化酶活性测定

多功能氧化酶(MFO)活力测定参照Shang等(1998)的方法,以对硝基苯酚制作标准曲线。以10 μL 对硝基苯甲醚(0.05 mol/L)为底物,加入100 μL 酶液和NADPH($1 \times 10^{-3}\text{ mol/L}$)于 37°C 反应30 min后,加入100 μL 盐酸(1 mol/L),

终止反应, 再加入 500 mL 氯仿萃取, 25℃ 静置 10 min 后在氯仿层移取 300 μ L 到另一组离心管, 再加入 500 μ L NaOH (0.5 mol/L) 萃取, 相同条件下静置 10 min 后, 取 NaOH 层 300 μ L 加入酶标板, 于酶标仪中测定 400 nm 处 OD 值。根据对硝基苯酚标准曲线计算 MFO 比活力。实验设置 3 个生物重复, 每个重复 3 次。

1.5 数据分析

烟蚜杀虫剂敏感性生测结果用害虫抗药性管理系统 (IRM, 由西南大学植物保护学院昆虫研究室开发) 分析。解毒酶比活力与敏感性相关性用 SPSS Statistics 17.0 进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同虫态烟蚜对杀虫剂敏感性

不同虫态烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威敏感性测定结果表明, 烟蚜不同龄期若虫和成虫对杀虫剂敏感性存在着显著差异。3 龄若虫对吡虫啉抗性指数最大, 为 9.11, 敏感性水平最低, 其次是 4 龄若虫、成虫和 2 龄若虫, 1 龄若虫最为敏感。4 龄若虫对丁硫克百威敏感性水平最低, 其次为 3 龄若虫、成虫、2 龄若虫和 1 龄若虫。如以对同种农药敏感性最强的 1 龄若虫为相对敏感品系, 则 3 龄以上虫态均处于敏感性下降和低抗之间 (表 1)。

表 1 不同虫态烟蚜对杀虫剂敏感性
Table 1 Insecticides susceptibility of *Myzus persicae* in different life stages

杀虫剂 Insecticide	虫态 Life stages	卡方值 χ^2	斜率 Slope	致死中浓度 (mg/L) LC ₅₀	置信限 95% Fiducial limits		相对抗性指数 Relative resistance index
					Lower	Upper	
吡虫啉 Imidacloprid	1 龄若虫 1 st instar	4.27	0.29	1263.06	625.54	1900.58	1.00
	2 龄若虫 2 nd instar	4.25	0.43	2933.18	1976.77	3889.62	2.32
	3 龄若虫 3 rd instar	7.31	0.31	11504.66	5040.34	17968.98	9.11
	4 龄若虫 4 th instar	5.27	0.56	8848.64	5575.13	12122.14	7.01
	成虫 Newly emerged adults	5.44	0.28	6254.21	2201.94	10306.48	4.95
丁硫克百威 Carbosulfan	1 龄若虫 1 st instar	2.30	0.38	184.53	107.51	261.54	1
	2 龄若虫 2 nd instar	1.99	0.40	411.97	363.95	560.00	2.24
	3 龄若虫 3 rd instar	7.03	0.38	1048.65	606.61	1490.70	5.70
	4 龄若虫 4 th instar	7.78	0.56	1264.03	945.57	1582.49	6.87
	成虫 Newly emerged adults	2.66	0.49	712.67	492.31	933.04	3.87

2.2 不同虫态烟蚜体内解毒酶活力

酶活测定结果表明,不同虫态烟蚜体内酶活力差异明显。随着虫龄增加,解毒酶比活力逐渐增强,3龄最强,之后逐渐降低。CarE比活力4龄>2龄>成虫>1龄(图1);GSTs比活力2龄>4龄>1龄>成虫(图2);MFO比活力4龄>2龄>成虫>1龄,其中2龄和成虫差异不大(图3)。

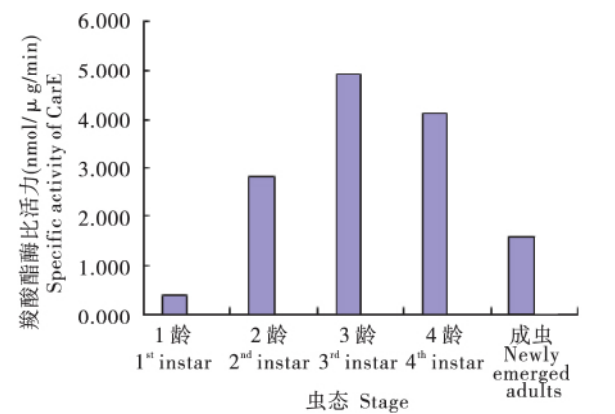


图1 不同虫态烟蚜羧酸酯酶比活力
Fig. 1 CarE activities of *Myzus persicae* in different life stages

不同虫态烟蚜杀虫剂敏感性与解毒酶比活力间相关性分析可以看出,烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威LC₅₀与CarE和MFO比活力相关系数均大于0.8,说明烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威敏感性与CarE和MFO比活力之间存在强的负相关性;GSTs与烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威LC₅₀相关系数分别为0.37和0.20,说明GSTs与烟蚜对吡虫啉和丁

硫克百威敏感性存在普通负相关性和低普通负相关性(表2)。

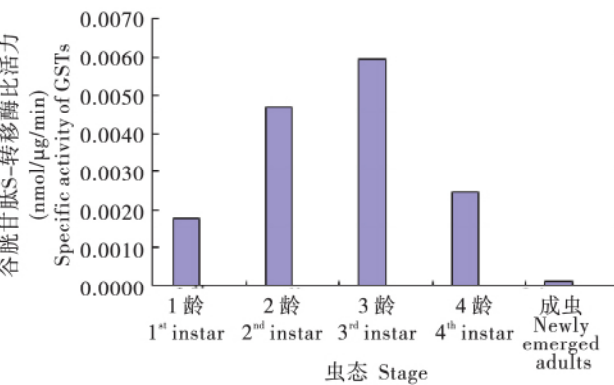


图2 不同虫态烟蚜谷胱甘肽S-转移酶比活力
Fig. 2 GSTs activities of *Myzus persicae* in different life stages

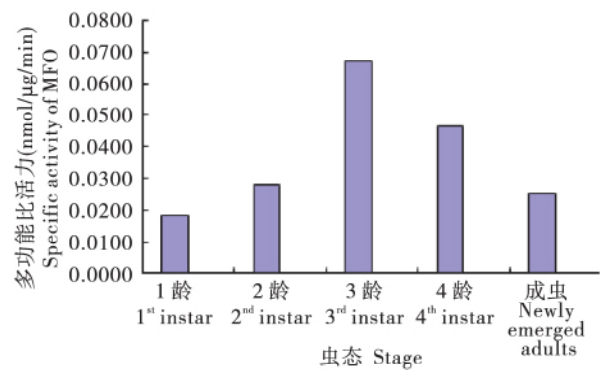


图3 不同虫态烟蚜多功能氧化酶比活力
Fig. 3 MFO activities of *Myzus persicae* in different life stages

表2 不同虫态烟蚜解毒酶比活力与药剂敏感性相关性			
Table 2 Relationship between detoxification enzyme activity and insecticide susceptibility in <i>Myzus persicae</i> of different life stages			
杀虫剂 Insecticide	解毒酶 Detoxification enzyme	回归方程 Regression	相关系数 r
各虫态对吡虫啉 LC ₅₀ The LC ₅₀ of different life stage to imidacloprid	羧酸酯酶 Carboxylesterase	Y = 0.44 + 0.0038x	0.86
	谷胱甘肽 S-转移酶 Glutathione S-transferase	Y = 0.002 + 2.03E ⁻⁷ x	0.37
	多功能氧化酶 Mixed function oxidase	Y = 0.01 + 4.35E ⁻⁶ x	0.92
各虫态对丁硫克百威 LC ₅₀ The LC ₅₀ of different life stage to Carbosulfan	羧酸酯酶 Carboxylesterase	Y = 0.27 + 0.003x	0.83
	谷胱甘肽 S-转移酶 Glutathione S-transferase	Y = 0.002 + 1.05E ⁻⁶ x	0.2
	多功能氧化酶 Mixed function oxidase	Y = 0.011 + 3.56E ⁻⁵ x	0.80

3 结论与讨论

本研究主要从杀虫剂触杀作用方面对不同虫态烟蚜对吡虫啉和丁硫克百威敏感性及其与解毒酶活力的相关性进行了研究。结果表明, 3 龄若虫对吡虫啉敏感性最弱, 4 龄若虫对丁硫克百威敏感性最弱; 不同虫态烟蚜体内解毒酶活力随龄期增大逐渐增强, 3 龄若虫最强, 之后逐渐减弱。由此, 在烟蚜的防控过程中, 宜选择对药剂相对敏感性较强的 1 龄、2 龄若虫和成虫, 以提高防效, 节约防治成本。

吡虫啉是一种硝基亚甲基类内吸杀虫剂, 通过作用于昆虫体内烟碱型乙酰胆碱受体, 干扰昆虫神经系统刺激传导, 通过引起神经通路阻塞和物质积累起到杀虫作用 (Nauen *et al.*, 1998)。目前研究认为, 解毒酶与烟蚜形成对新烟碱类杀虫剂产生抗性具有相关性 (Philippou *et al.*, 2010)。Choi 等 (2001) 报道, 烟蚜对吡虫啉抗药性增强的重要原因是羧酸酯酶和多功能氧化酶活力增强。潘文亮等 (2003) 加入增效剂生测抗药性结果显示, 棉蚜抗性品系中 CarE 和 GSTs 的含量显著高于敏感品系。Philippou 等 (2010) 和 Puinean 等 (2010) 从生物化学和分子生物学层面阐明, P450 介导的代谢能力增强是烟蚜产生对烟碱类杀虫剂抗药性的最重要原因。本文中烟蚜药剂敏感性与解毒酶比活力的关系分析表明, 烟蚜体内 MFO 和 CarE 比活力越强, 对吡虫啉敏感性水平就越低, 二者存在强的负相关性; GSTs 比活力与吡虫啉敏感性为普通负相关性, 说明 GSTs 对烟蚜形成吡虫啉耐药性作用不大。本文结果与前人研究结果基本一致。在 Chris 等 (2014) 报道中, 增效剂不能完全消除烟蚜对新烟碱类杀虫剂的抗性, 且口喂方式测得抗性较局部注射方式低 17 倍。同时, 2 个具有相似 P450 表达水平烟蚜品系在接受局部注射吡虫啉后测得抗性相差 5 倍, 注射尼古丁和噻虫胺抗性则相似。这说明体壁穿透能力下降是烟蚜对新烟碱类的另一个抗性机制。本文中 2 龄若虫 CarE 和 MFO 比活力大于成虫, 而吡虫啉敏感性水平高于成虫, 这可能与 2 龄若虫体壁发育未成熟, 穿透性高于成虫有关 (Philippou, *et al.* 2010; Puinean, *et al.* 2010)。

烟蚜体内羧酸酯酶对其形成对氨基甲酸酯类杀虫剂抗药性作用 40 年前就已有报道 (Needham

and Sawicki, 1971), 作用方式为在杀虫剂到达靶标前将其隔离或水解。Deok 等 (2009) 和 Dossa 等 (2012) 发现, 羧酸酯酶与氨基甲酸酯类杀虫剂抗药性相关, 抗性品系中羧酸酯酶 E4、FE4 含量水平均有提高。宋春满等 (2012) 的研究表明, α -乙酸萘酯羧酸酯酶活力增强是烟蚜对氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性机制之一。本文研究也表明, 羧酸酯酶比活力与烟蚜对丁硫克百威敏感性呈负相关性。Chris 等 (2014) 研究显示, 乙酰胆碱酯酶结构变异可引起烟蚜对氨基甲酸酯类杀虫剂敏感性下降, 具有 E4 或 FE4 羧酸酯酶介导抗性的烟蚜品系对氨基甲酸酯类杀虫剂不敏感, 对抗蚜威和啉蚜威抗性达 15 - 30 倍。本研究中, 4 龄若虫对丁硫克百威敏感性水平低于 3 种解毒酶活力均较高的 3 龄若虫, 这说明有其他抗性机制参与了烟蚜对氨基甲酸酯类杀虫剂的耐药性形成, 如体壁渗透性降低、靶标抗性等 (Bass *et al.*, 2014)。

由于烟蚜不同虫态敏感性及其解毒酶活力等相关报道较少, 本实验结论还需要其他学者进一步验证。

参考文献 (References)

- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72 (1): 248 - 254.
- Bass C, Puinean AM, Zimmer CT, *et al.* The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae* [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2014, 51: 41 - 51.
- Clark AG, Dick GL, Smith JN. Kinetic studies on a glutathione-S-transferase from the larvae of *Costelytra zealandica* [J]. *Biochem.*, 1984, 217 (1): 51 - 58.
- Choi BR, Lee SW, Yoo JK. Resistance mechanisms of green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), to imidacloprid [J]. *Korean Journal of Applied Entomology*, 2001, 40 (3): 265 - 27.
- Devonshire AL, Field LM, Foster SP, *et al.* The evolution of insecticide resistance in the peach-potato aphid, *Myzus persicae* [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1998, 353 (1376): 1677 - 1684.
- Devonshire AL, Moores GD. A carboxylesterase with broad substrate specificity causes organophosphorus, carbamate and pyrethroid resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae*) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1982, 18 (2): 235 - 246.
- Dossa GSC, Zimmer TC, Nauen R. Characterisation of insecticide resistance in clonal cultures of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) obtained from an Italian field population in 2010 [J]. *Tropentag: Resilience of Agricultural Systems against Crises*, 2012: 9 - 21.

- Emden HFV, Eastop VF, Hughes RD, *et al.* The ecology of *Myzus persicae* [J]. *Annual Review of Entomology*, 1969, 14 (1): 197–270.
- Gray S, Gildow FE. Luteovirus-aphid interactions [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2003, 41 (1): 539–566.
- Guo TF, Shi XY, Gao XW, *et al.* Study on the activity of the detoxification enzymes and synergist synergism of cotton aphid (*Aphis gossypii*) on imidacloprid, acetamiprid different strains [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (3): 388–394. [郭天凤, 史雪岩, 高希武, 等. 棉蚜吡虫啉, 啉虫脒不同品系解毒酶活性测定和增效剂作用的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (3): 388–394]
- Kwon DH, Choi BR, Lee SW, *et al.* Characterization of carboxylesterase-mediated pirimicarb resistance in *Myzus persicae* [J]. *Pesticide Biochemistry and physiology*, 2009, 93 (3): 120–126.
- Lu YH, Yang T, Gao X. Establishment of baseline susceptibility data to various insecticides for aphids *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera: Aphididae) by the method of residual film in glass tube [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (1): 52–58. [鲁艳辉, 杨婷, 高希武. 禾谷缢管蚜和麦长管蚜玻璃管药膜法敏感毒力基线的建立 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (1): 52–58]
- Moran NA. The evolution of host-plant alternation in aphids: Evidence for specialization as a dead end [J]. *American Naturalist*, 1988, 681–706.
- Needham PH, Sawicki RM. Diagnosis of resistance to organophosphorus insecticides in *Myzus persicae* [J]. *Nature*, 1971, 230: 125–126.
- Nauen R, Koob B, Elbert A. Antifeedant effects of sublethal dosages of imidacloprid on *Bemisia tabaci* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1998, 88 (3): 287–293.
- Philippou D, Field L, Moores G. Metabolic enzyme (s) confer imidacloprid resistance in a clone of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) from Greece [J]. *Pest Management Science*, 2010, 66 (4): 390–395.
- Puinean AM, Foster SP, Oliphant L, *et al.* Amplification of a cytochrome P450 gene is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae* [J]. *PLoS Genetics*, 2010, 6 (6): e1000999.
- Shang CC, Soderlund DM. Monooxygenase activity of tobacco budworm (*Heliothis virescens* F.) larvae: Tissue distribution and optimal assay conditions for the gut activity [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part B): Comparative Biochemistry*, 1984, 79 (3): 407–411.
- Pan HL, Dang ZH, Gao ZL. Comparison of activities of detoxic enzymes in the imidacloprid-resistant and susceptible strains of the cotton aphid, *Aphis gossypii* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (6): 793–796. [潘文亮, 党志红, 高占林. 棉蚜抗吡虫啉品系和敏感品系主要解毒酶活性比较 [J]. 昆虫学报, 2003, 46 (6): 793–796]
- Song CM, Deng JH, Wu XH, *et al.* Activity of detoxicating enzyme of *Myzus persicae* (Sulzer) in different tobacco areas of Yunnan [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2006, 28 (2): 55–61. [宋春满, 邓建华, 吴兴富, 等. 云南主要烟区烟蚜种群解毒酶活力比较 [J]. 昆虫天敌, 2006, 28 (2): 55–61]
- Song CM, Deng JH. The resistant mechanism of *Myzus persicae* to pesticide in Yunnan Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (3): 310–314. [宋春满, 邓建华. 云南烟蚜抗药性机制研究 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (3): 310–314]
- Van AK. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1962, 8 (4): 401–416.
- Wang ZH, Shi BC, Kang ZJ, *et al.* The sensitivity of different larval instars of the beet armyworm *Spodoptera exigua* to insecticides and correlation with enzyme activity [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (1): 185–193. [王泽华, 石宝才, 康总江, 等. 甜菜夜蛾不同龄期幼虫对药剂的敏感性及其与酶活力的关系 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (1): 185–193]
- Zhang P, Li H, Wang QH, *et al.* Effect of larval instars, rearing conditions and bioassay methods to the insecticide susceptibility of *Bradysia odoriphaga* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 36 (5): 730–743. [张鹏, 李慧, 王秋红, 等. 龄期, 饲养条件和测定方法对韭菜迟眼蕈蚊药剂敏感性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (5): 730–736]