

云南不同菜区小菜蛾对三种生物农药的抗药性及其变化趋势*

尹艳琼^{1**} 李向永¹ 赵雪晴¹ 谌爱东^{1***} 沐卫东² 郑丽萍³

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205;

2. 云南省通海县植保植检站, 通海 6527003; 3. 云南省弥渡县植保植检站, 弥渡 675600)

摘要 【目的】通过抗药性监测掌握滇中通海和滇西弥渡菜区小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 种群对 3 种生物农药的抗药性水平及其变化趋势, 为抗性治理提供技术支持。【方法】2008—2015 年, 在室内采用浸叶法测定了云南两个菜区小菜蛾种群对阿维菌素、多杀菌素和苏云金杆菌的抗药性。【结果】2008 年抗药性测定结果表明, 滇中通海、滇西弥渡菜区小菜蛾对阿维菌素和多杀菌素的抗药性水平均为高抗, 对阿维菌素 LC_{50} 值分别 34.017 和 25.688 mg/L, 抗性倍数为 1 700.85 和 1 284.40 倍; 对多杀菌素 LC_{50} 值分别 13.728 和 19.830 mg/L, 抗性倍数为 114.40 倍和 165.25 倍, 两菜区对多杀菌素的抗性也为高抗; 两菜区小菜蛾对苏云金杆菌敏感, LC_{50} 值分别 0.530 和 0.538 mg/L, 抗性倍数为 2.04 倍和 2.07 倍, 属于抵抗水平。到 2015 年, 通海和弥渡菜区小菜蛾种群对阿维菌素的抗性倍数分别下降到了 455.70 倍和 255.05 倍, 下降趋势显著, 但两菜区仍属高抗水平; 对多杀菌素的抗药性下降趋势不显著, 抗性倍数分别为 35.56 倍和 75.28 倍, 为中抗水平, 但年度间变化幅度较大, LC_{50} 为 0.885~19.830 mg/L; 两菜区对苏云金杆菌仍敏感, 抗性倍数分别为 5.41 倍和 1.73 倍。【结论】总体上, 2008—2015 年度间有差异, 通海和弥渡菜区小菜蛾种群对 3 种药剂的抗药性基本一致, 对阿维菌素和多杀菌素的抗药性有所下降, 但仍处于高抗水平, 对苏云金杆菌一直保持在抵抗水平, 建议生产上可以轮换使用苏云金杆菌, 以提高对小菜蛾的持续控制效果。

关键词 小菜蛾, 生物农药, 抗药性, 变化趋势

Resistance to three biopesticides and changing population trends in the diamondback moth in different vegetable planting areas of Yunnan, China

YIN Yan-Qiong^{1**} LI Xiang-Yong¹ ZHAO Xue-Qing¹ CHEN Ai-Dong^{1***}
MU Wei-Dong² ZHENG Li-Ping³

(1. Agriculture Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

2. Tonghai County Plant Protection and Quarantine Station, Tonghai 6527003, China;

3. Midu County Plant Protection and Quarantine Station, Midu 675600, China)

Abstract [Objectives] To understand trends in insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), and the population dynamics of this species, in Tonghai and Midu counties, which are the two main vegetable growing areas of Yunnan province. [Methods] During 2008–2015, resistance levels of these two diamondback moth populations to abamectin, spinosad and *Bacillus thuringiensis*(BT) were assessed by the leaf-dipping method in a laboratory. [Results] In 2008, resistance to abamectin and spinosad were high in both populations. With respect to abamectin, the respective LC_{50} s for Tonghai and Midu were 34.017 and 25.688 mg/L, and the resistance ratios were 1 700.85 and 1 284.40, respectively. For spinosad, LC_{50} s were 13.728 and 19.830 mg/L, respectively, and the resistance ratios were 114.40 and 165.25, respectively.

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业(农业)科研专项(200803001, 201103021)

**第一作者 First author, E-mail: yinyq1977@sina.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: shenad68@163.com

收稿日期 Received: 2016-01-19, 接受日期 Accepted: 2016-02-27

Both populations were highly resistant to spinosad. With respect to Bt, the respective LC_{50} s for each population were 0.530 and 0.538 mg/L, and the resistance ratios were 2.04 and 2.07, respectively, which are relatively low. By 2015, the respective resistance ratios of the two diamondback moth populations to abamectin had dropped to 455.70 and 255.05. Although this decrease was statistically significant, resistance remained high. There was no significant drop in spinosad resistance in either population in 2015, resistance ratios remained a moderate 35.56 and 75.28, respectively, in that year. There was, however, a significant difference in resistance between years; the LC_{50} increasing from 0.885 to 19.830 mg/L. Both populations remained sensitive to Bt; with resistance ratios in 2015 of 5.41 and 1.73, respectively. **[Conclusion]** The resistance of the Tonghai and Midu populations of *P. xylostella* to the three biopesticides were similar from 2008 to 2015. Although resistance to abamectin and spinosad declined over time, it remained relatively high. Both populations currently only display low resistance to Bt and consequently we recommend using Bt in rotation with other insecticides to improve control of the diamondback moth in Yunnan.

Key words diamondback moth, biopesticides, resistance, change trend

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 是世界性的十字花科蔬菜重要害虫之一, 南方各省广大蔬菜产区发生较为严重(冯夏等, 2011), 我省蔬菜主产区更是周年发生, 世代重叠(尹艳琼等, 2011)。目前, 防治小菜蛾的重要手段以杀虫剂为主, 由于我国明令禁止高毒农药在蔬菜上使用, 生物农药产品获得广泛应用(尤民生和魏辉, 2007)。其中, 抗生素农药阿维菌素(Abamectin)和多杀菌素(Spinosad)是目前使用面积最大、防效最显著的生物农药; 微生物农药苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*)全球每年市场销售达48亿美元(邱德文, 2015)。随着这3种生物制剂在防治小菜蛾上的广泛应用, 小菜蛾对这种3种生物农药的抗药性已成为一个不容忽视的问题。云南省蔬菜主产区复种指数和用药频率都比较高, 施药技术较低, 从而更加速其抗性发展, 通海、弥渡菜区一直是全国小菜蛾监测网中抗药性相对较高的地区(冯夏等, 2011)。因此, 了解云南省主要菜区小菜蛾对生物农药的抗药性动态变化, 通过抗药性监测, 建立和完善云南小菜蛾抗药性治理措施, 对生物农药的可持续利用至关重要, 对促进云南省蔬菜产业的可持续发展、保障食品安全、保护生态环境也具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试虫源均采自滇中通海县(102°30'E,

23°65'N, 海拔1 820 m, 年均16.6°C), 滇西弥渡县(100°19'E, 24°47'N, 海拔1 672 m, 年均温17.3°C)抗性治理核心示范区(通海县黄龙村, 弥渡县新城村), 每次随机多点采集高龄幼虫或蛹200~300头, 带回室内用萝卜苗饲养至 F_1 代, 选取3龄初期幼虫供试。

1.2 供试药剂

3%苏云金芽胞杆菌可湿性粉剂(*Bacillus thuringiensis*) 16 000 IU/mg 华中农业大学研制; 2.5%多杀菌素悬浮剂(Spinosad)美国陶氏益农公司; 2.39%阿维菌素乳油(Abamection) 广东省农业科学院植物保护研究所提供。

1.3 室内毒力测定

采用浸叶法(冯夏等, 2014): 用含0.05% Triton X-100的蒸馏水稀释药液, 按等比级数稀释法, 每浓度药液量200 mL, 顺次配制成5个系列浓度。用洁净的甘蓝叶片取直径6.5 cm的圆片(避免主叶脉)。将叶片置于不同浓度的溶液中浸泡10 s后取出晾干, 放入直径6.5 cm的培养皿中, 接入10头3龄初期幼虫, 每个浓度重复4次, 以含0.05% Triton X-200水溶液浸渍的叶片作为对照, 所有处理覆盖双层吸水卷纸, 盖上培养皿上盖。将其正面向上置于(RXZ-380B型)人工气候箱((25±1)°C、RH 65%~70%、光照(L:D=16:8))。阿维菌素和多杀菌素于药后48 h调查, 苏云金杆菌于药后96 h调查。以小毛笔轻触虫

体, 不能协调运动视为死亡。

1.4 计算方法

测定结果用 POLO 软件计算毒力回归方程的斜率, LC_{50} 值及其 95%置信限, 并与室内敏感品系的 LC_{50} (邵振润等, 2013) 相比较, 计算出抗性倍数 (表 1)。

抗性倍数 (RR) = 各药剂的 LC_{50} /各药剂相应的相对敏感基线的 LC_{50} 。

1.5 抗性水平的分级标准

抗性分级标准 (邵振润等, 2013): 抗性倍数 (RR) < 10.0 为低水平抗性, $10.0 \leq RR < 100.0$ 为中等水平抗性, $RR \geq 100.0$ 为高水平抗性。

2 结果与分析

2008—2015 年, 对云南通海、弥渡菜区小菜蛾田间种群对阿维菌素、多杀菌素和苏云金杆

表 1 小菜蛾敏感毒力基线 (邵振润等, 2013)
Table 1 Susceptible toxicity baseline of diamondback moth (Shao *et al.*, 2013)

药剂名称 Insecticides	LC_{50} (mg/L)	毒力回归方程 Toxic regression equation	95%置信限 (mg/L) 95% confidence limits	备注 Notes
阿维菌素 Bamection	0.02	$Y=2.04X+8.50$	0.01-0.03	NJS
苏云金杆菌 Bt	0.26	$Y=1.54X+0.91$	0.03-0.50	BJS
多杀菌素 Spinosad	0.12	$Y=2.05X+6.96$	0.09-0.14	NJS

1. 南京敏感品系 (NJS) 的毒力基线制订: 2001 年引自于英国洛桑试验站, 在室内经单对纯化筛选的敏感品系, 在不接触任何药剂的情况下在室内饲养。2. 北京敏感品系 (BJS) 的毒力基线制订: 1995 年引自于美国康奈尔大学, 在室内经单对纯化筛选的敏感品系, 在不接触任何药剂的情况下在室内饲养。

1. Toxicity baseline of Nanjing susceptible strain (NJS): bought from Lausanne Experimental Station in 2001, single paired purified screening and contacted with not any insecticides in laboratory. 2. Toxicity baseline of Beijing susceptible strain (BJS): bought from Cornell University in 1995, single paired purified screening and contacted with not any insecticides in laboratory.

表 2 云南菜区小菜蛾对阿维菌素的抗性动态 (2008—2015)
Table 2 The resistance of diamondback moth from Yunnan to abamection (2008-2015)

种群 Population	年度 Year	LC_{50} (mg/L)	毒力回归方程斜率 ($b \pm SE$) Toxic regression equation	95%置信限 95% confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance ratios
通海 Tonghai	2008	34.017	2.058 ± 0.209	24.663-48.146	6.229	1 700.85
	2009	20.418	$1.668 - 0.215$	10.290-39.015	1.076	1 020.90
	2010	28.301	1.777 ± 0.240	18.783-58.091	1.860	1 415.05
	2011	38.540	2.371 ± 0.315	31.291-49.120	2.829	1 927.00
	2012	16.598	1.371 ± 0.247	9.661-23.417	1.747	829.90
	2013	6.907	1.979 ± 0.345	4.123-9.018	1.034	345.35
	2014	11.335	1.613 ± 0.264	7.971-15.199	1.292	566.75
	2015	9.114	2.018 ± 0.299	6.831-11.671	2.763	455.70
弥渡 Midu	2008	25.688	1.508 ± 0.176	18.695-34.780	1.979	1 284.40
	2009	38.398	1.646 ± 0.220	26.997-52.406	2.123	1 919.90
	2010	19.745	2.518 ± 0.346	10.802-40.548	5.485	987.25
	2011	24.498	1.962 ± 0.303	18.566-32.808	2.668	1 224.90
	2012	47.375	2.114 ± 0.368	28.841-79.119	3.559	2 368.75
	2013	9.829	1.377 ± 0.254	5.420-14.127	0.421	491.45
	2014	13.055	2.166 ± 0.346	9.252-16.777	1.393	652.75
	2015	5.101	2.012 ± 0.314	2.454-7.681	3.016	255.05

表 3 云南菜区小菜蛾对多杀菌素的抗性动态 (2008—2015)
Table 3 The resistance of diamondback moth from Yunnan to spinosad (2008-2015)

种群 Population	年度 Year	LC ₅₀ (mg/L)	毒力回归方程斜率 (b±SE) Toxic regression equation	95%置信限 95% confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance ratios
通海 Tonghai	2008	13.728	1.739±0.261	9.696-18.551	1.840	114.40
	2009	1.624	1.659±0.505	0.244-3.201	2.130	13.53
	2010	2.017	1.746±0.390	1.118-2.858	0.158	16.81
	2011	9.225	1.553±0.256	6.899-12.974	0.320	76.88
	2012	3.802	2.061±0.284	2.903-4.804	1.563	31.68
	2013	5.268	2.467±0.311	3.401-9.381	5.006	43.90
	2014	6.601	2.533±0.412	5.247-8.584	2.180	55.01
弥渡 Midu	2015	9.034	1.891±0.298	6.823-13.677	0.151	75.28
	2008	19.830	2.101±0.274	15.294-25.782	3.611	165.25
	2009	5.895	0.283±0.320	4.31-7.437	3.572	49.13
	2010	3.069	1.774±0.278	2.274-3.878	0.218	25.58
	2011	13.746	1.316±0.280	9.198-26.736	2.062	114.55
	2012	3.409	1.652±0.255	2.375-4.508	1.355	28.41
	2013	0.885	1.582±0.357	0.263-1.500	0.867	7.38
	2014	11.821	2.757±0.507	9.387-15.192	1.669	98.51
	2015	4.267	2.203±0.298	2.091-7.018	5.078	35.56

表 4 云南菜区小菜蛾对苏云金杆菌的抗性动态 (2008—2015)
Table 4 The resistance of diamondback moth from Yunnan to Bt (2008-2015)

种群 Population	年度 Year	LC ₅₀ (mg/L)	毒力回归方程斜率 (b±SE) Toxic regression equation	95%置信限 95% confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance ratios
通海 Tonghai	2008	0.530	2.091±0.412	0.294-0.731	4.740	2.04
	2009	0.670	2.040±0.448	0.281-1.005	2.394	2.58
	2010	1.169	1.599±0.248	0.600-1.927	3.3683	4.50
	2011	1.592	1.351±0.232	1.145-2.238	0.181	6.12
	2012	1.047	1.589±0.251	0.341-1.665	5.374	4.03
	2013	0.742	1.131±0.237	0.425-1.040	0.393	2.85
	2014	1.384	1.528 - 0.246	1.008-1.865	0.396	5.32
弥渡 Midu	2015	1.407	1.393±0.241	0.997-1.950	2.494	5.41
	2008	0.538	2.064±0.579	0.100-0.927	0.858	2.07
	2009	0.585	1.275±0.307	0.143-1.806	1.964	2.25
	2010	0.846	2.361±0.330	0.502-1.240	3.240	3.25
	2011	0.278	0.915±0.284	0.023-0.578	1.489	1.07
	2012	0.335	0.970±0.283	0.050-0.643	1.619	1.29
	2013	0.879	2.180±0.309	0.659-1.112	2.744	3.38
	2014	0.640	1.951±0.300	0.448-0.830	2.525	2.46
	2015	0.449	1.745±0.310	0.258-0.627	1.868	1.73

菌进行了抗药性监测, 监测结果表明: 云南通海、弥渡菜区小菜蛾田间种群对阿维菌素的抗药性水平处于高水平抗性, 抗性倍数 >250 倍, 2012 年弥渡菜区达到了 2 368.75 倍; 对多杀菌素的抗药性水平从低抗到高抗均有, 年度间变化幅度较大, 说明对多杀菌素的抗药性是不稳定的, 抗性倍数在 7.38~165.25 间; 对苏云金杆菌的抗药性均敏感, 抗性倍数 <6 。

从图 1 可以看出, 云南通海、弥渡菜区小菜蛾田间种群对阿维菌素的抗药性水平都呈下降趋势。从 2011 年开始, 通海县小菜蛾田间种群对阿维菌素抗药性呈现下降趋势, 抗性倍数由 2008 年的 1 700 倍下降到 2015 年的 455 倍, 除 2009 年外 2008—2011 年 LC_{50} 值 95% 的置信区间与 2012—2015 年 LC_{50} 值 95% 的置信区间不重叠, LC_{50} 值间差异显著。弥渡县小菜蛾田间种群从 2012 年开始对阿维菌素的抗药性呈下降趋势, 抗性倍数由 2008 年的 1 284 倍到 2015 年下降为 255 倍, 2013—2015 年 LC_{50} 值 95% 的置信区间除与 2010 年 LC_{50} 值 95% 的置信区间很少一部分重叠外, 与其余年份的 LC_{50} 值 95% 的置信区间不重叠, LC_{50} 值差异显著, 抗药性下降趋势明显。

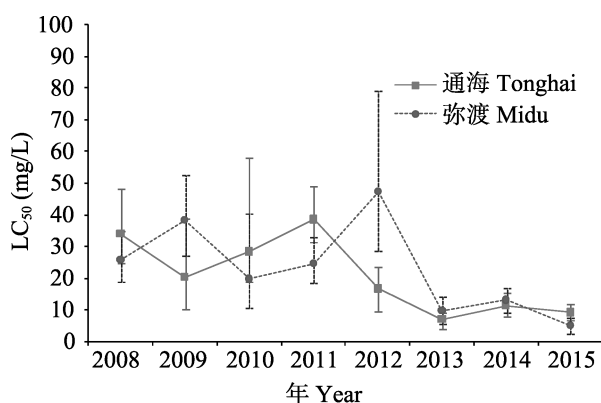


图 1 云南菜区小菜蛾对阿维菌素的 LC_{50} 变化趋势 (2008—2015)

Fig.1 The change trend of LC_{50} from Yunnan diamondback moth to abamection (2008-2015)

线段表示各 LC_{50} 值的 95% 置信限。下图同。

Line segment means that 95% confidence of each LC_{50} . The same below.

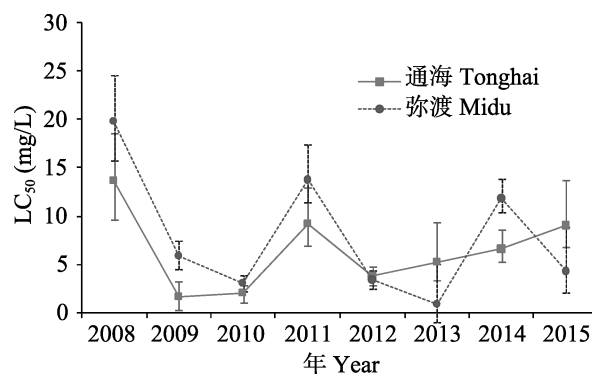


图 2 云南菜区小菜蛾对多杀菌素的敏感性变化趋势 (2008—2015)

Fig. 2 The change trend of LC_{50} from Yunnan diamondback moth to spinosad (2008-2015)

云南通海、弥渡菜区小菜蛾田间种群对多杀菌素的抗药性, 2008 年抗药性水平都是最高的, 通海 LC_{50} 值 13.728 mg/L, 抗性倍数 114.40 倍, 弥渡的 LC_{50} 值 19.830 mg/L 抗性倍数 165.25 倍, 从 2008 年到 2015 年, 年度间抗药性变化幅度大, 但相对 2008 年抗药性都没有增加, 通过轮换用药, 延缓了小菜蛾对其药剂抗药性的发展速度。

通海、弥渡菜区小菜蛾种群对苏云金杆菌制剂总体敏感, 抗性水平低, 除 2011、2014 和 2015 年 LC_{50} 值 95% 的置信区间不重叠外, 两个监测点的抗药性水平近似。

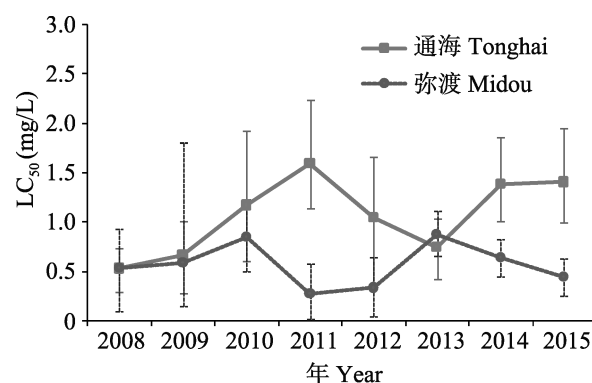


图 3 云南菜区小菜蛾对苏云金杆菌的敏感性变化趋势 (2008-2015)

Fig. 3 The change trend of LC_{50} from Yunnan diamondback moth to Bt (2008-2015)

3 讨论

抗药性监测是科学评价抗性治理策略, 指导

田间合理使用杀虫药剂的基础(张友军和姜辉, 1998)。通过抗性监测,可以及时准确地测出抗性水平,对治理方案的治理效果提供评估,为抗性治理方案的修订提供依据(潘志萍和李敦松, 2006),抗性监测是一种积极的措施。吴青君等(2000)研究表明小菜蛾对阿维菌素产生抗性后并不存在适合度劣势,与敏感种群的繁殖能力相比均无显著差异,抗性基因快速稳定遗传,抗性一旦产生将难于恢复(刘开林等, 2007),抗性治理难度大。2008年监测到云南省通海县和弥渡县田间小菜蛾对阿维菌素产生了上千倍的抗性,在全省提出了限制使用该药的用药建议,并将监测结果制成册发放到各县植保站,对农户开展宣传培训,建立核心示范区,定期进行抗性监测,通过几年的治理,取得了成效,到2015年抗性倍数降到455倍和255倍,但仍处于高抗水平,也说明了阿维菌素的停用只能延缓抗性发展,使其敏感性得到恢复还是很困难。

在抗性治理中,轮用或换用不同毒理机制的杀虫剂是最为广泛的策略之一,其间隔至少为2~3代(吴刚等, 2001),据此我们制定了春、秋隔季使用多杀菌素的抗性治理策略。通过抗性监测,结果表明,云南菜区小菜蛾对多杀菌素的抗性变化幅度较大,抗性抗治理没有呈现总体下降的趋势,不同类型杀虫剂抗性衰退的模式不同(吴刚等, 2001)。今后在轮换用药中还应考虑杀虫剂作用强度、抗性基因型个体的适合度大小和杀虫剂混用后的毒理效应类型等(莫建初等, 1999)并测定其稳定性。

苏云菌杆菌因其与环境的相容性,长期以来一直在多种害虫(主要是鳞翅目害虫)的综合治理中扮演重要角色(袁哲明和柏连阳, 1999)。苏云菌杆菌预处理可缓解小菜蛾对有机磷的抗性,说明生物农药与化学农药的结合使用是抗性治理策略中一种较为理想的应用模式(吴刚等, 2001)。苏云菌杆菌在云南通过盆栽、大田药效试验都说明对小菜蛾有很好的防效,防治效果在60%以上(尹艳琼, 2014, 2015)。从2010年开始,项目组在冬季小菜蛾发生较轻的季节,在

核心期定期发放苏云菌杆菌,增加苏云菌杆菌在田间的用量。据研究报道小菜蛾是目前唯一在田间对苏云菌杆菌产生抗性的昆虫(徐艳聆等, 2006),有定期开展抗性监测很有必要。

抗性监测结果表明,抗生素阿维菌素、多杀菌素用量大,抗性水平高,微生物农药苏云金杆菌用量小,抗性水平低,体现了农户根深蒂固的化学农药思维模式,片面寻找特效药和速效药。加强宣传培训,让农户了解到防治小菜蛾除了常用的化学药剂外,还有如白僵菌、印楝素、玫烟色拟青霉、苏云金杆菌等微生物农药、植物源农药、生化农药、天敌生物等生物农药对小菜蛾幼虫也是有很好的防效(吕利华等, 2007; 黄春萍, 2012; 尹艳琼等, 2015),让农户形成购买意愿,农户的购买意愿与和购买行为具有一致性。我国从2014年开始大力推进低毒低残留农药示范补贴工作(邱德文, 2015),降低生产成本,让农户更容易接受。通过各种形式形成多元化的生物农药推广机制,引导农民使用低毒低残留生物农药。生物农药的大力推广将对农业的可持续发展、农业生态环境的保护、食品安全的保障等提供保障。

参考文献(References)

- Huang CP, Li Q, Cheng JW, Chen J, Zong H, 2012. Studies on application of the extract from *azadirachta indica* a. juss for control of *Plutella xylostella* L. larvae. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 25(3): 902-905. [黄春萍, 李琪, 程晋伟 H 陈洁, 宗浩, 2012. 印楝素对小菜蛾幼虫的防治效果研究. 西南农业学报, 25(3): 902-905.]
- Feng X, Li ZY, Wu QJ, Chen AD, Wu YD, Hou YM, He YR, Li JH, Xie SH, Zhang JM, Fu W, Ma CS, 2011. Research progress of the resistance management and sustainable control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 247-253. [冯夏, 李振宇, 吴青君, 谌爱东, 吴益东, 侯有明, 何余容, 李建洪, 谢圣华, 章金明, 符伟, 马春森, 2011. 小菜蛾抗性治理及可持续防控技术研究与示范. 应用昆虫学报, 48(2): 247-253.]
- Feng X, Li ZY, Wu QJ, Zhang S, Zhang JM, Chen HY, Bao HL, Hu ZD, Zhang QG, 2014. Techniques for surveying diamondback moth (*Plutella xylostella*) populations and monitoring their resistance to pesticides. *Chinese Journal of Applied Entomology*,

- 51(4): 1120–1124. [冯夏, 李振宇, 吴青君, 张帅, 章金明, 陈焕瑜, 包华理, 胡珍娣, 张启国, 2014. 小菜蛾系统调查及抗药性监测方法. 应用昆虫报, 51(4): 1120–1124.]
- Liu KL, He L, Wang JJ, Zhao ZM, 2007. Advances in the research on the pest resistance to avermectins. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2): 194–200. [刘开林, 何林, 王进军, 赵志模, 2007. 害虫及害螨对阿维菌素抗药性研究进展. 昆虫知识, 44(2): 194–200.]
- Lu LH, He YR, Wu YJ, Feng X, Chen HY, 2007. The time-dose-mortality model of a *Paecilomyces fumosoroseus* isolate on the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Entomologica Sinica*, 50(6): 567–573. [吕利华, 何余容, 武亚敬, 冯夏, 陈焕瑜, 2007. 玫瑰色拟青霉对小菜蛾致病力的时间-剂量-死亡率模型模拟. 昆虫学报, 50(6): 567–573.]
- Mo JC, Zhuang PJ, Tang ZH, 1999. Influence of rotation and mixture treatment of two pesticides on the evolution of pest population resistance to pesticides. *Acta Entomologica Sinica*, 42(4): 337–346. [莫建初, 庄佩君, 唐振华, 1999. 杀虫剂轮用和混用对害虫种群抗性演化的影响. 昆虫学报, 42(4): 337–346.]
- Pan ZP, Li DS, 2006. Research advances in monitoring and detecting insect pesticide-resistance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(8): 1539–1543. [潘志萍, 李敦松, 2006. 昆虫抗药性监测与检测技术研究进展. 应用生态学报, 17(8): 1539–1543.]
- Qiu DW, 2015. Analysis of the development situation and trends of biological pesticides in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 679–684. [邱德文, 2015. 生物农药的发展现状与趋势分析. 中国生物防治学报, 31(5): 679–684.]
- Shao ZR, Feng X, Zhnag S, Li ZY, Huang JD, Cheng HY, Hu ZD, 2013. NY/T 2360-2013, Guideline for insecticide resistance monitoring of *Plutella xylostella*(L.) on cruciferous vegetables. Beijing: Chinese Agricultural Press. [邵振润, 冯夏, 张帅, 李振宇, 黄军定, 陈焕瑜, 胡珍娣, 2013. NY/T 2360-2013, 十字花科小菜蛾抗药性监测技术规程. 北京: 中国农业出版社.]
- Wu QJ, Zhang WJ, Zhang YJ, Xu BU, Zhu GR, 2000. Biotic fitness of abamectin susceptible and resistant strains of *Plutella xylostella* L. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3(1): 36–40. [吴青君, 张文吉, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2000. 敏感和抗阿维菌素小菜蛾的生物适合度. 农药学报, 3(1): 36–40.]
- Wu G, You MS, Zhao SX, 2001. The stability of resistance and the strategies for management of insecticide resistance in *Plutella xylostella*(L.). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3(1): 83–86. [吴刚, 尤民生, 赵士熙, 2001. 小菜蛾抗性稳定性及抗性治理对策研究. 农药学报, 3(1): 83–86.]
- Xu YL, Wang ZY, He KL, Bei SX, 2006. The mechanism of insect resistance to Bt toxin and the resistance management tactics. *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(4): 437–444. [徐艳聆, 王振营, 何康来, 白树雄, 2006. 昆虫对苏云菌杆菌杀虫蛋白的抗性机制及治理策略. 植物保护学报, 33(4): 437–444.]
- Yin YQ, Zhano XQ, Li XY, Chen AD, 2011. The relationship between susceptibility of *Plutella xylostella* to insecticides and resistance. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 296–300. [尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 谌爱东, 2011. 小菜蛾对杀虫剂的敏感性与其抗药性的相关性. 应用昆虫学报, 48(2): 296–300.]
- Yin YQ, Li XY, Zhano XQ, Shen HM, Chen AD, 2014. Resistance of *Plutella xylostella* to *Bacillus thuringiensis* in Yunnan Province and control efficacy of Bt on potted plants. *Plant Protection*, 40(3): 174–177. [尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 沈慧梅, 谌爱东, 2014. 云南小菜蛾对 Bt 的抗药性及盆栽药效评价植物保护, 40(3): 174–177.]
- Yin YQ, Mu WD, Li XY, Zhano XQ, Huang CF, Ai Y, Chen AD, 2015. Resistance monitoring of diamondback moth and field control efficacy of pesticides against the pest in Tonghai, Yunnan Province. *Plant Protection*, 41(3): 205–209. [尹艳琼, 沐卫东, 李向永, 赵雪晴, 黄春芬, 艾英, 谌爱东, 2015. 云南通海小菜蛾种群抗药性监测及田间药效评价. 植物保护, 41(3): 205–209.]
- You MS, Wei H, 2007. Research of *Plutella xylostella*. Beijing: China agriculture Press. 153–167. [尤民生, 魏辉, 2007. 小菜蛾的研究. 北京: 中国农业出版社. 153–167.]
- Yuan ZM, Bai LY, 1999. Advances of studies on the resistance of *Plutella xylostella* to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Hunan Agricultural University*, 25(6): 505–510. [袁哲明, 柏连阳, 1999. 小菜蛾对苏云金杆菌抗性研究进展. 湖南农业大学学报, 25(6): 505–510.]
- Zhang YJ, Jiang H, 1998. Advance in the monitoring technique of pest resistance. *Pesticide Science and Administration*, 65(1): 20–23. [张友军, 姜辉, 1998. 杀虫剂抗性监测技术研究进展. 农药科学与管理, 65(1): 20–23.]