

棉蚜对吡虫啉的抗性选育和现实遗传力分析

郭天凤^{1,2}, 马野萍², 丁荣荣², 杜晶², 周晶², 李国萍², 蔡晓丽²,
王国平², 赵富强², 李家胜², 史雪岩^{1,*}, 高希武^{1,*}

(1. 中国农业大学昆虫系, 北京 100193; 2. 新疆生产建设兵团第七师农科所, 新疆奎屯 833200)

摘要: 【目的】为了评估棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 对吡虫啉的抗性风险, 在室内进行了棉蚜对吡虫啉 (imidacloprid) 的抗性选育和抗性现实遗传力分析。【方法】采用单头反选育法和群体汰选法, 分别得到了棉蚜对吡虫啉敏感品系 (LC_{50} 为 0.176 mg/L) 和抗性品系 (LC_{50} 为 14.657 mg/L)。采用阈值性状分析方法, 获得棉蚜对吡虫啉的抗性现实遗传力 (h^2)。【结果】相对于田间原始种群 (LC_{50} 为 0.346 mg/L), 吡虫啉敏感棉蚜品系对吡虫啉的 LC_{50} 减少了 2 倍; 获得的吡虫啉抗性棉蚜品系, 经过 40 代的选育, 得到抗性倍数为室内敏感品系的 83.27 倍的抗性品系。棉蚜对吡虫啉的抗性现实遗传力 (h^2) 为 0.1478。进一步预测其抗性发展速度, 基于 80%~90% 的选择压力, 预计抗性增长 100 倍时, 吡虫啉可使用 30.2~38.1 代。【结论】这些研究说明棉蚜对吡虫啉存在抗性风险。

关键词: 棉蚜; 吡虫啉; 抗性选育; 现实遗传力; 抗性风险

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2014)03-0330-05

Selection and realized heritability analysis of resistance to imidacloprid in cotton aphid (*Aphis gossypii*)

GUO Tian-Feng^{1,2}, MA Ye-Ping², DING Rong-Rong², DU Jing², ZHOU Jing², LI Guo-Ping², CAI Xiao-Li², WANG Guo-Ping², ZHAO Fu-Qiang², LI Jia-Sheng², SHI Xue-Yan^{1,*}, GAO Xi-Wu^{1,*}
(1. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Institute of Agricultural Sciences, Agricultural Division 7, Xinjiang Production and Construction Corps, Kuitun, Xinjiang 833200, China)

Abstract: 【Aim】In order to evaluate the resistance risk of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover, to imidacloprid, the selection and realized heritability analysis of resistance to imidacloprid in *A. gossypii* were performed in the laboratory. 【Methods】The imidacloprid-susceptible and resistant strains were developed by individual reverse and group selection, with the LC_{50} values of 0.176 and 14.657 mg/L, respectively. The realized heritability (h^2) of *A. gossypii* resistance to imidacloprid was estimated by Tabashnik's method. 【Results】Compared with the LC_{50} value of the original field strain of *A. gossypii* (0.346 mg/L), the LC_{50} value of the imidacloprid-susceptible strain had a 2-fold decrease. The resistance index of the imidacloprid-resistant strain was 83.27-fold as high as that of the imidacloprid-susceptible strain after 40 generations of selection. The realized heritability (h^2) of *A. gossypii* resistance to imidacloprid was 0.1478. It was predicted that *A. gossypii* would require 30.2 to 38.1 generations to obtain 100-fold resistance to imidacloprid under breeding pressure of imidacloprid with 80%–90% mortality for each generation of selection. 【Conclusion】The results suggest that *A. gossypii* has resistance risk to imidacloprid.

Key words: *Aphis gossypii*; imidacloprid; resistance selection; realized heritability; resistance risk

由德国拜耳公司和日本农药公司共同开发的杀虫剂吡虫啉 (imidacloprid), 目前已在超过 80 个国家的 60 种农作物上使用 (Nauen and Brescneider,

2002)。除吡虫啉 (imidacloprid) 外, 商品化的新烟碱类杀虫剂还有啉虫脒 (acetamiprid)、烯啉虫胺 (nitenpyram)、噻虫啉 (thiacloprid)、噻虫嗪

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31330064); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203038); 新疆兵团博士基金项目 (2011BB002)

作者简介: 郭天凤, 女, 1975 年生, 硕士, 高级农艺师, 主要从事昆虫毒理学研究, E-mail: ktgtf@sina.cn

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: gaowu@263.net.cn; shixueyan@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2013-12-18; 接受日期 Accepted: 2014-03-07

(thiamethoxam)、呋虫胺(dinotefuran)和噻虫胺(clothianidin)等。吡虫啉等新烟碱类杀虫剂对同翅目害虫如飞虱、粉虱、蚜虫等刺吸式口器害虫,具有优异的防治效果,对哺乳动物则毒性较低(方继朝等, 1998)。随着吡虫啉在田间的大规模使用,稻飞虱、烟粉虱、温室白粉虱及马铃薯甲虫等对此药产生了抗性(Prabhaker *et al.*, 2005; Mota-Sanchez *et al.*, 2006; 程家安和祝增荣, 2006; Gorman *et al.*, 2007)。

抗性筛选是害虫抗性风险评估和抗性遗传分析的基础,通过现实遗传力对害虫抗性进行风险评估的方法已经在多种农业害虫或螨得到应用,如小菜蛾、烟芽夜蛾、马铃薯甲虫、二化螟、棉铃虫、家蝇、淡色库蚊和朱砂叶螨等(何林等, 2002; 叶蔚锋等, 2003; 王志钢等, 2004; 曹明章和沈晋良, 2005; 宋锋林等, 2005; 沈福英等, 2006; 王利华等, 2009)。棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 对吡虫啉的抗性遗传力的研究还未见报道。本研究通过使用吡虫啉药剂对采自新疆的棉蚜进行室内连续抗性筛选,研究了棉蚜对吡虫啉的抗性风险,为有效进行害虫治理,以及为开展抗性预防性治理研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫种群和杀虫剂

2011 年 6 月,在新疆兵团第七师 129 团棉田采集棉蚜。不接触任何药剂,室内利用水培法种植棉苗。在室内网室内棉苗上饲养棉蚜种群,温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,湿度 80% ~ 90%,光周期 18L: 6D。

供试杀虫剂为 96% 吡虫啉原药(山东省联合农药工业有限公司生产)。

1.2 毒力生物测定

将吡虫啉加入少量的丙酮直至药剂完全溶解,再用 0.05% Triton X-100 水溶液将吡虫啉配制成 5 ~ 7 个药剂浓度梯度,将未接触农药的新鲜棉叶,在药液中浸泡 30 s。以浸渍 0.05% Triton X-100 水溶液的棉叶为对照。选择个体大小均匀一致的无翅棉蚜进行试验,每浓度处理棉蚜不少于 25 头,24 h 后检查试虫死亡情况。

1.3 敏感品系棉蚜的选育

采用单头筛选的方法进行。将生长于不同植株上的棉蚜,单头接种于棉株上并置于养虫笼中隔离饲养,依此方法选择 30 株不同棉苗上的单头蚜虫接种于 30 个养虫罩中。待蚜虫繁殖到一定数量后,用选育前品系的 LC_{10} 吡虫啉浓度处理试虫。

选育方法采用带虫棉苗浸渍法,即将棉苗轻轻倒置,放入药液中浸 20 s,放回原处。24 h 后观察死亡率,并且根据测定结果,选出死亡率最高的种群,对其进行隔离饲养,作为生物测定及下一代筛选的虫源。

1.4 抗性品系棉蚜的选育

采用群体筛选方法。用带虫棉苗浸渍法处理群体饲养的棉蚜,使死亡率维持在 70% ~ 80% 左右,将处理后存活的棉蚜个体,单独隔离饲养作为生物测定及下一代虫源。

1.5 现实遗传力(h^2)的估算

参见 Tabashnik 和 McGaughey (1994) 的阈性状分析方法。

1.6 抗性风险评估

参见雷虹和张战利(2007) 1.6 节抗性风险评估方法。

1.7 数据统计与分析

生测数据用 POLO 软件计算 LC_{10} , LC_{50} 和 LC_{90} 。作图采用 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 吡虫啉敏感棉蚜品系和抗性品系的选育

采用群体遗传学方法,利用吡虫啉对棉蚜进行室内平行筛选,获取遗传背景相似的抗性和敏感试虫材料。以棉田采集的棉蚜为原始种群(吡虫啉对其 LC_{50} 为 0.346 mg/L),在室内用吡虫啉药剂进行群体抗性选育,经过 40 代抗性筛选,获得了 LC_{50} 为 14.657 mg/L 的抗性种群,相对于田间原始种群,其相对抗性倍数为 42.4 倍(表 1);单头选育敏感品系,获得了 LC_{50} 为 0.176 mg/L 的敏感种群,相对于田间原始种群,敏感倍数提高了 2.0 倍(表 2);相对于室内敏感品系,棉蚜对吡虫啉的抗性上升了 83.27 倍。

2.2 棉蚜对吡虫啉选育的现实遗传力(h^2)的估算和抗性风险评估

根据试验结果的实际遗传力(h^2)值(表 3),通过连续 40 代用吡虫啉药剂对棉蚜原始种群进行抗性筛选,获得最终抗性遗传力(h^2)是 0.1478,筛选后毒力回归线斜率为 3.928,即表型标准差 $\delta_p = 0.2546$,以 50% ~ 90% 的死亡率为选择压力,预测抗性提高 100 倍所需的代数。结果表明(图 1 和 2),以 80% ~ 90% 的选择压力,预计抗性增长 100 倍时,吡虫啉可使用 30.2 ~ 38.1 代。棉蚜对吡虫啉的抗性倍数随着筛选代数的增加而缓慢上升。

表 1 吡虫啉对棉蚜种群的抗性筛选

Table 1 Selection of resistance to imidacloprid in cotton aphid (*Aphis gossypii*)

世代 Generation	斜率 Slope	致死中浓度 LC ₅₀	95% 置信限 95% Confidence limit	卡方值 χ ²	自由度 df	抗性倍数 Resistance ratio
F ₀	4. 766	0. 346	0. 317 – 0. 380	2. 190	16	1. 0
F ₃	4. 024	0. 536	0. 486 – 0. 591	7. 285	16	1. 5
F ₆	3. 841	1. 238	1. 120 – 1. 368	6. 168	16	3. 6
F ₉	3. 660	2. 213	1. 997 – 2. 454	4. 960	16	6. 4
F ₁₂	3. 493	4. 780	4. 300 – 5. 313	4. 703	16	13. 8
F ₁₅	3. 749	5. 599	5. 058 – 6. 207	11. 612	16	16. 2
F ₁₈	3. 031	7. 847	7. 002 – 8. 806	9. 054	16	22. 7
F ₂₁	3. 023	8. 328	7. 431 – 9. 353	11. 371	16	24. 1
F ₂₄	3. 604	8. 648	7. 800 – 9. 602	9. 850	16	25. 0
F ₂₇	3. 394	9. 032	8. 119 – 10. 069	10. 432	16	26. 1
F ₃₀	3. 020	11. 106	9. 882 – 12. 464	5. 076	16	32. 1
F ₃₃	3. 314	13. 237	11. 860 – 14. 750	5. 634	16	38. 3
F ₃₆	3. 201	14. 315	12. 810 – 15. 986	5. 983	16	41. 4
F ₄₀	3. 090	14. 657	13. 087 – 16. 406	7. 481	16	42. 4

抗性倍数 = Fn 代 LC₅₀/ F₀ 代 LC₅₀。Resistance ratio = LC₅₀ of the Fn generation/LC₅₀ of the F₀ generation.

表 2 吡虫啉对棉蚜种群的敏感度筛选

Table 2 Selection of susceptibility to imidacloprid in cotton aphid (*Aphis gossypii*)

世代 Generation	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	致死中浓度 LC ₅₀	95% 置信限 95% Confidence limit	卡方值 χ ²	自由度 df	抗性倍数 Resistance ratio
F ₀	4. 766 ± 0. 411	0. 346	0. 317 – 0. 380	2. 190	16	2. 0
F ₁	2. 388 ± 0. 172	0. 315	0. 275 – 0. 359	9. 462	16	1. 8
F ₂	2. 585 ± 0. 210	0. 267	0. 233 – 0. 303	5. 671	13	1. 5
F ₃	2. 542 ± 0. 210	0. 245	0. 213 – 0. 279	7. 344	13	1. 4
F ₄	2. 674 ± 0. 222	0. 234	0. 204 – 0. 266	5. 946	13	1. 3
F ₅	2. 529 ± 0. 216	0. 220	0. 191 – 0. 252	5. 368	13	1. 3
F ₆	2. 469 ± 0. 176	0. 194	0. 171 – 0. 221	7. 275	16	1. 1
F ₇	2. 550 ± 0. 183	0. 184	0. 162 – 0. 208	6. 937	16	1. 0
F ₈	2. 639 ± 0. 191	0. 176	0. 155 – 0. 199	6. 776	16	1. 0

抗性倍数 = Fn 代 LC₅₀/ F₈ 代 LC₅₀。Resistance ratio = LC₅₀ of the Fn generation/LC₅₀ of the F₈ generation.

表 3 棉蚜对吡虫啉的抗性现实遗传力(h^2)估算

Table 3 Estimation of the realized heritability (h^2) of resistance to imidacloprid in cotton aphid (*Aphis gossypii*)

世代 Generation	平均选择反应 Mean response to selection per generation			平均选择差异 Mean selection difference per generation						h^2
	初 LC ₅₀	终 LC ₅₀	R	P	i	初斜率	终斜率	δ_p	S	
	Initial LC ₅₀	Final LC ₅₀				Initial slope	Final slope			
F ₃	0. 3460	0. 5360	0. 6455	25. 373	1. 2639	4. 7660	4. 0240	0. 2275	0. 2876	0. 2203
F ₆	0. 3460	1. 2380	0. 2795	27. 971	1. 2063	4. 7660	3. 8410	0. 2324	0. 2803	0. 3292
F ₉	0. 3460	2. 2130	0. 1563	31. 753	1. 1273	4. 7660	3. 6600	0. 2374	0. 2676	0. 3347
F ₁₂	0. 3460	4. 7800	0. 0724	32. 988	1. 1025	4. 7660	3. 4930	0. 2422	0. 2670	0. 3559
F ₁₅	0. 3460	5. 5990	0. 0618	28. 631	1. 1921	4. 7660	3. 7490	0. 2349	0. 2800	0. 2879
F ₁₈	0. 3460	7. 8470	0. 0441	17. 152	1. 4769	4. 7660	3. 0310	0. 2565	0. 3788	0. 1988
F ₂₁	0. 3460	8. 3280	0. 0415	28. 270	1. 1998	4. 7660	3. 0230	0. 2568	0. 3081	0. 2135
F ₂₄	0. 3460	8. 6480	0. 0400	30. 199	1. 1591	4. 7660	3. 6040	0. 2389	0. 2770	0. 2103
F ₂₇	0. 3460	9. 0320	0. 0383	15. 645	1. 5244	4. 7660	3. 3940	0. 2451	0. 3736	0. 1404
F ₃₀	0. 3460	11. 1060	0. 0312	22. 366	1. 3353	4. 7660	3. 0200	0. 2569	0. 3430	0. 1464
F ₃₃	0. 3460	13. 2370	0. 0261	33. 298	1. 0964	4. 7660	3. 3140	0. 2475	0. 2714	0. 1767
F ₃₆	0. 3460	14. 3150	0. 0242	31. 524	1. 1319	4. 7660	3. 2010	0. 2510	0. 2841	0. 1580
F ₄₀	0. 3460	14. 6570	0. 0236	34. 065	1. 0813	4. 7660	3. 0900	0. 2546	0. 2753	0. 1478

R: 选择反应 Response to selection; P: 筛选存活率 Mean survival percentage of the selection generation; i: 选择强度 Intensity of selection; δ_p: 表现型标准方差 Phenotypic standard deviation; S: 选择差异 Selection difference.

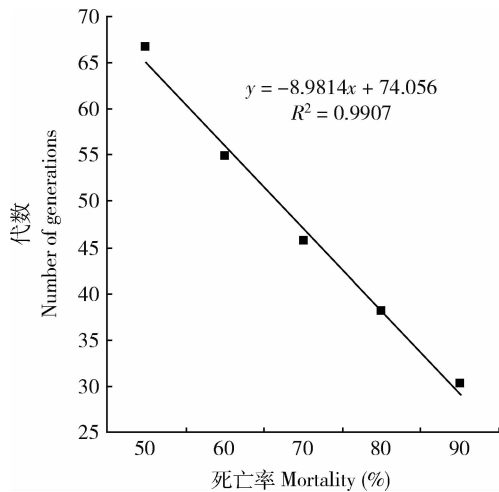


图1 在不同死亡率下棉蚜对吡虫啉的抗性达 100 倍所需代数

Fig. 1 Number of generations of cotton aphid (*Aphis gossypii*) to obtain 100-fold resistance to imidacloprid under different mortalities

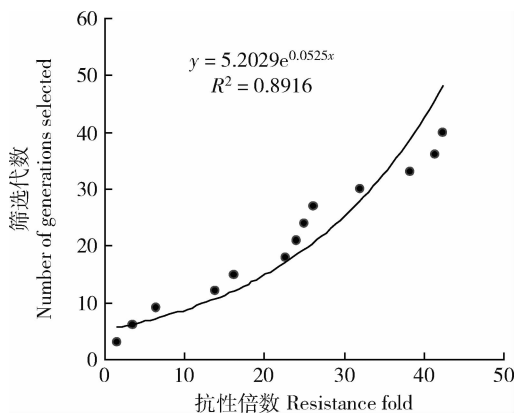


图2 棉蚜对吡虫啉抗性增长倍数与筛选代数的关系

Fig. 2 Relationship between increased resistance ratio and generations selected to imidacloprid in cotton aphid (*Aphis gossypii*)

3 讨论

昆虫对杀虫剂产生抗性是一种进化现象,抗药性筛选是害虫抗性风险评估的基础。根据 Tabashnik 和 McGaughey (1994) 的方法,从室内连续 40 代筛选结果来看,棉蚜对吡虫啉的抗性增长了 83.3 倍。相对于有机磷药剂和拟除虫菊酯类药剂,棉蚜对吡虫啉的抗性发展速率较低,但棉蚜对吡虫啉的最终抗性现实遗传力为 0.1478,表明棉蚜对吡虫啉存在一定的抗性风险。王圣印等 (2012) 采用吡虫啉药液浸泡芸豆法,对西花蓟马敏感种群成虫

进行抗性选育,获得抗性种群,现实抗性遗传力为 0.112,表明西花蓟马对吡虫啉具有较高水平抗性的风险。李国志等 (2013) 采用 Tabashnik 的阈性状指标,评价新疆 MEAM1 烟粉虱隐种对吡虫啉的抗性水平,获得的抗性现实遗传力为 0.2149,表明新疆 MEAM1 烟粉虱隐种对吡虫啉产生抗性的风险很大。

棉蚜具有繁殖速度快,具有有性繁殖和无性繁殖两种繁殖方式,适宜的温度条件下发育历期短的特点。在棉花生长的关键时期,棉农普遍会加大使用浓度,短期内造成抗药性水平迅速升高。2011 年全国农业有害生物抗药性监测结果显示:河北沧州、山东阳谷、安徽萧县、河南西华棉蚜种群对吡虫啉处于极高水平抗性,抗性倍数达到 309.5 ~ 2 719.4 倍 (张帅和邵振润,2011)。

张学涛等 (2012) 年对北疆不同地区棉蚜种群,不同类型杀虫剂的毒力大小顺序为:新烟碱类 > 有机磷类 > 抗生素类 > 拟除虫菊酯类。石河子垦区 147 团种群和新湖种群对啶虫脒亦产生了明显的抗药性,但对吡虫啉的敏感度较高。孙磊等 (2011) 对新疆玛纳斯河流域棉蚜的抗药性现状进行调查,对吡虫啉的抗性倍数为 2.32 ~ 3.60。郭天凤等 (2012) 利用叶片浸渍法研究发现,整个新疆植棉区棉蚜对吡虫啉的敏感性高于啶虫脒,部分地区棉蚜对啶虫脒已经产生了低水平的抗性。

各地对药剂抗性水平参差不齐的现象,可能是由于用药背景、用药水平的差异和敏感基线不一致导致的。笔者在研究中采用叶片浸渍法建立了棉蚜对吡虫啉敏感毒力基线,为今后测定棉蚜的抗药性做了铺垫。但预报田间实际的抗性发展速率,尚需要将相关的影响因素考虑进去,才能提高预报的准确度。从以上结果来看,棉蚜对吡虫啉等新烟碱类药剂的抗性仍然存在一定的抗性风险,且有增加的趋势,应采取限制其使用次数、轮换用药等抗性治理措施。

参考文献 (References)

Cao MZ, Shen JL, 2005. Realized heritability and inheritance mode of monosultap resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chinese Journal of Rice Science*, 19(5): 447 - 452. [曹明章, 沈晋良, 2005. 二化螟对杀虫单抗性现实遗传力与遗传方式. *中国水稻科学*, 19(5): 447 - 452]

Cheng JA, Zhu ZR, 2006. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005. *Plant Protection*, 32(4): 1 - 4. [程家安, 祝增荣, 2006. 2005

- 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. 植物保护, 32(4): 1-4]
- Fang JC, Piao YF, Sun JZ, Du ZW, 1998. Action mechanism and application techniques of imidacloprid as an insecticide against rice planthoppers and other crop pests. *Journal of Southwest Agricultural University*, 20(5): 478-488. [方继朝, 朴永范, 孙建中, 杜正文, 1998. 吡虫啉防治稻飞虱等害虫的毒理和技术研究. 西南农业大学学报, 20(5): 478-488]
- Gorman K, Devine G, Bennison J, Coussons P, Punchard N, Denholm L, 2007. Report of resistance to the neonicotinoid insecticide imidacloprid in *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.*, 63(6): 555-558.
- Guo TF, Ma YP, Ding RR, Du J, Zhou J, Li GP, Cai XL, Wang GP, Zhao FQ, Li JS, Shi XY, Gao XW, 2012. Resistance of the *Aphis gossypii* populations from main cotton area in Xinjiang to imidacloprid and acetamiprid. *China Cotton*, 39(12): 4-30. [郭天凤, 马野萍, 丁荣荣, 杜晶, 周晶, 李国萍, 蔡晓丽, 王国平, 赵富强, 李家胜, 史雪岩, 高希武, 2012. 新疆主要植棉区棉蚜对吡虫啉和啉虫脒的抗性评价. 中国棉花, 39(12): 4-30]
- He L, Zhao ZM, Deng XP, Wang JJ, Liu H, Liu YH, 2002. Selection and risk assessment of resistance to fenprothrin, abamectin and pyridaben in *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 688-692. [何林, 赵志模, 邓新平, 王进军, 刘怀, 刘映红, 2002. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育与抗性风险评估. 昆虫学报, 45(5): 688-692]
- Lei H, Zhang ZL, 2007. Resistance selection of cotton aphid to acetamiprid and its risk assessment. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 16(6): 238-241. [雷虹, 张战利, 2007. 棉蚜对啉虫脒的抗性汰选与风险评估. 西北农业科学, 38(2): 238-241]
- Li GZ, Cao Q, Duan XD, Zhang X, Ma DY, 2013. Realized heritability analysis of resistance to imidacloprid and cross-resistance to insecticides in *Bemisia tabaci* Middle-East-Asia-Minor 1 (MEAM1) in Xinjiang. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 15(1): 59-64. [李国志, 曹骞, 段晓东, 张鑫, 马德英, 2013. 新疆 MEAM1 烟粉虱隐种对吡虫啉的抗性遗传力分析及交互抗性测定. 农药学报, 15(1): 59-64]
- Mota-Sanchez D, Hollingworth RM, Grafius EJ, Moyer DD, 2006. Resistance and cross-resistance to neonicotinoid insecticides and spinosad in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Manag. Sci.*, 62(1): 30-37.
- Nauen R, Bretschneider T, 2002. New modes of action of insecticides. *Pesticide Outlook*, 12: 241-245.
- Prabhakar N, Castle S, Henneberry TJ, Toscano NC, 2005. Assessment of cross-resistance potential to neonicotinoid insecticides in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research*, 95(6): 535-543.
- Shen FY, Zhang SF, Chen SX, Zhang HJ, Gong XC, Gao XW, 2006. Analysis on symptomatic heritability of *Plutella xylostella*'s resistance to abamectin. *China Plant Protection*, 26(2): 5-7. [沈福英, 张树发, 陈素馨, 张红杰, 龚学臣, 高希武, 2006. 小菜蛾对阿维菌素的敏感度及抗性现实遗传力分析. 中国植保导刊, 26(2): 5-7]
- Song FL, Zhao TY, Dong YD, Cao XM, Li CX, 2005. The study on realized heritability of resistance to pyrethroid (deltamethrin and esbiothrin) in *Culex pipiens pallens*. *Acta Parasitol. Med. Entomol. Sin.*, 12(4): 199-204. [宋锋林, 赵彤言, 董言德, 曹晓梅, 李春晓, 2005. 淡色库蚊对拟除虫菊酯(溴氰菊酯、Es-生物丙烯菊酯)抗药性品系现实遗传力的研究. 寄生虫与医学昆虫学报, 12(4): 199-204]
- Sun L, Xie HQ, Xu HM, Yang DS, 2011. Detection on the resistance of *Aphis gossypii* Glover to insecticide in the Manas river basin of Xinjiang. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(27): 299-302. [孙磊, 谢慧琴, 许慧敏, 杨德松, 2011. 新疆玛纳斯河流域棉蚜抗药性测定. 中国农学通报, 27(27): 299-302]
- Tabashnik BE, McCaughey WH, 1994. Resistance risk assessment for single and multiple insecticide: response of Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology*, 87(4): 834-841.
- Wang LH, Liu YH, Fang JC, 2009. Risk assessment and inheritance mode to chlorpyrifos in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and cross-resistance to other insecticides. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 25(1): 73-78. [王利华, 刘艳荷, 方继朝, 2009. 灰飞虱对毒死蜱的抗性风险评估、抗性遗传及交互抗性. 江苏农业学报, 25(1): 73-78]
- Wang SY, Yu Y, Liu YJ, Ma JY, 2012. Resistance risk and resistance stability of *Frankliniella occidentalis* to imidacloprid, emamectin benzoate and phoxim. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(12): 3429-3434. [王圣印, 于毅, 刘永杰, 马井玉, 2012. 西花蓟马对吡虫啉、辛硫磷和甲维盐的抗性风险和抗性稳定性. 应用生态学报, 23(12): 3429-3434]
- Wang ZG, Hai XP, Xu YH, Qian W, 2004. Risk assessment and prediction of resistance to cypermethrin in housefly (*Musca domestica*). *Chinese Journal of Public Health*, 20(3): 363-364. [王志钢, 海秀平, 许永红, 钱巍, 2004. 家蝇对氯氰菊酯抗性的风险评估与预报. 中国公共卫生, 20(3): 363-364]
- YE WF, Shen JL, Lv M, 2003. Risk assessment and prediction of resistance to profenofos in cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* and cross-resistance to other insecticides. *Cotton Science*, 15(5): 293-297. [叶蔚锋, 沈晋良, 吕梅, 2003. 棉铃虫对丙溴磷抗性风险评估、预报及交互抗性研究. 棉花学报, 15(5): 293-297]
- Zhang S, Shao ZR, 2012. The resistance monitoring results to agricultural pest and the scientific proposals to use the pesticides all over the country in 2011. *China Plant Protection*, 32: 42-45. [张帅, 邵振润, 2012. 2011 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 32: 42-45]
- Zhang XT, Liu JW, Li F, Liu N, Sun L, Zhang DH, Liu XN, 2012. Susceptible level of *Aphis gossypii* to different insecticides in the north of Xinjiang. *Plant Protection*, 38(2): 163-166. [张学涛, 柳建伟, 李芬, 刘宁, 孙磊, 张东海, 刘小宁, 2012. 北疆地区棉蚜对不同杀虫剂敏感度水平测定. 植物保护, 38(2): 163-166]