

茚虫威对不同抗药性品系小菜蛾呼吸代谢的影响^{*}

侯建虎^{**} 周小毛^{***} 柏连阳 罗梨宾 刘 佳

(湖南农业大学农药研究所 长沙 410128)

摘 要 以小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 敏感品系(S)、田间品系(F)及茚虫威汰选抗性品系(T17)幼虫为供试虫源,采用便携式光合作用测定仪测定小菜蛾3~4龄幼虫在受药前后或不同受药剂量等条件下呼吸速率的变化,从能量代谢的角度研究抗药性机制。结果表明,汰选抗性品系、田间品系与敏感品系同龄期小菜蛾幼虫在未受药条件下的呼吸速率差异不显著,表明抗药性的产生并未影响小菜蛾本底的呼吸速率。以各个品系的茚虫威 LC₂₀ 和 LC₅₀ 剂量处理幼虫后,3个品系的呼吸速率均明显提高,汰选抗性品系呼吸速率提高幅度明显大于其他2个品系。在 LC₂₀ 剂量下3个品系呼吸速率峰值均出现在2 h前后,10 h后恢复到正常水平;在 LC₅₀ 剂量下敏感品系没有明显差异;而田间品系和汰选抗性品系分别在药剂处理后4 h和6 h达到呼吸高峰,汰选抗性品系保持高水平呼吸速率时间长达9 h,分别于药后15 h和24 h恢复到正常水平。这表明用药后抗性品系呼吸速率的提高幅度与小菜蛾的解毒代谢能力有关,这也揭示了昆虫幼虫中毒后能量消耗会随着抗性水平的提高而增加。

关键词 小菜蛾, 茚虫威, 抗性品系, 敏感品系, 田间品系, 呼吸速率

Effects of indoxacarb on the respiratory metabolism of different resistant strains of *Plutella xylostella*

HOU Jian-Hu^{**} ZHOU Xiao-Mao^{***} BAI Lian-Yang LUO Li-Bin LIU Jia

(Institute of Pesticide Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract The effects of indoxacarb on the respiratory rates of 3—4 instar larvae of a susceptible strain (S), a field population (F), and a resistant strain (T17) of *Plutella xylostella* (L.) were investigated. The results show that there were no significant differences in respiratory rates of larvae of the same instar among the three strains, and that increased resistance to indoxacarb did not change the fundamental respiratory rate. The respiratory rates of larvae from all three strains increased significantly with increasing indoxacarb dose. However, the respiratory rate of the T17 strain was higher than that of the S and F strain at their respective LC₂₀ and LC₅₀ doses. The highest respiratory rate of all three strains appeared 2 h after treatment after which it took 10 h for larvae to return to the initial respiratory rates observed at their respective LC₂₀ dosages. There were no significant differences in the respiratory rate of the susceptible strain between LC₂₀ and LC₅₀ doses. However, the highest respiratory rates observed in the field population and resistant strain appeared at 4 h and 6 h after treatment, respectively. The resistant strain sustained the maximum respiratory rate for 9 h. It took 15 h and 24 h respectively for the field population and the resistant strain to return to their initial respiratory rates. This suggests a degree of correlation between increased respiratory rate and the ability to detoxify indoxacarb in *Plutella xylostella* (L.) larvae. These results indicate that the energy consumption of treated larvae increases with indoxacarb resistance level.

Key words *Plutella xylostella*, indoxacarb, resistant strain, susceptible strain, field population, respiratory rate

目前已有600多种昆虫或螨对不同种类杀虫剂产生了不同程度的抗性,其中十字花科蔬菜的

主要害虫—小菜蛾是抗性害虫的典型代表,据不完全统计它已对50多种杀虫剂产生抗性,可以称

^{*} 资助项目:国家自然科学基金资助项目(30971936)、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0163)。

^{**} E-mail: houjianhu727@163.com

^{***} 通讯作者, E-mail: zhouxm@126.com

收稿日期:2011-10-08,接受日期:2011-11-12

为抗药性研究的“模式害虫”(刘辉等,2007;Qian *et al.*,2008)。小菜蛾抗性水平高、发展速度快、交互抗性谱广,严重影响蔬菜的产量和质量,开发新型作用机理的杀虫剂已成为小菜蛾抗药性治理及防控技术研究的重要策略。美国杜邦公司上世纪末开发的新型钠通道阻断型噁二嗪类(oxadiazine)杀虫剂茚虫威(indoxacarb)结构新颖,作用机理独特,对几乎所有的农业鳞翅目、部分同翅目和鞘翅目害虫具有卓越的杀虫活性,成为替代有机磷、有机氯、氨基甲酸酯及拟除虫菊酯等传统农药的理想产品之一(刘长令,2003;丁宁等,2005)。

随着茚虫威的频繁使用,研究发现小菜蛾等一些害虫对茚虫威产生了不同程度的抗性。通过抗性监测已发现,与2001年基线相比,2003年小菜蛾夏威夷种群对茚虫威已产生了高水平的抗性(Zhao *et al.*,2006)。2007年长沙地区(使用推广茚虫威4年)田间小菜蛾对茚虫威产生了11.7倍的抗性(黄雄英等,2008)。在室内茚虫威抗性选育试验中,仅仅经过3代汰选,从野外采集的家蝇 *Musca domestica* 对茚虫威的抗性就已超过118倍(Shono *et al.*,2004)。对马来西亚一个小菜蛾田间种群的茚虫威抗性选育研究发现,经过6代筛选,小菜蛾对茚虫威抗性提高了90倍,与敏感品系(Lab-UK)相比,对茚虫威的抗性达到了2594倍(Sayyed and Wright,2006)。王建军等(2009)用茚虫威对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 在室内经过10代6次抗性选育,与选育前相比,斜纹夜蛾对茚虫威的敏感性降低了15.63倍,而敏感品系斜纹夜蛾经13代11次抗性选育,对茚虫威抗性高达69.6倍(刘辉等,2011)。Ghodki等(2009)用茚虫威对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 经8代选育,相对于敏感种群抗性达到1238.86倍。王伟等(2011)对抗性甜菜夜蛾种群RR-indox经茚虫威12代抗性选育,获得240倍抗性。以上试验表明,昆虫具有对茚虫威产生高水平抗性的风险。

目前关于茚虫威的抗药性研究主要集中在毒力效应、生物测定、抗性遗传和生化机制等方面(王建军,2009;刘辉等,2011;吕桂贞等,2011;王伟等,2011),而生理机制方面的研究还鲜见报道。呼吸代谢作为昆虫重要的生理指标之一,探究呼吸速率与抗药性之间的内在联系,是未来药剂使用和延缓抗性产生的关键。

过去有关昆虫呼吸代谢的研究主要集中在不同虫态或龄期昆虫的呼吸代谢规律和病毒侵染或药剂处理后昆虫呼吸代谢的改变(吴坤君和龚佩瑜,1984,吴坤君等,1985;Adamek and Fisher,1985;戈峰和陈常铭,1990;崔志新等,2001;王开运等,2001;王满囤和李周直,2001),而对抗药性和呼吸代谢关系的研究则报道很少。笔者以室内筛选的茚虫威抗性小菜蛾品系为材料,系统研究了敏感、抗性和田间3个品系小菜蛾的不同发育期幼虫在施药前后或不同受药剂量等条件下呼吸速率的变化,从能量消耗的角度探讨了不同抗药性品系之间的差异。

1 材料与方法

1.1 供试小菜蛾及饲养方法

室内敏感品系(S):由中国农业科学院蔬菜花卉研究所昆虫研究组提供,该种群于1990年采集于深圳田间,一直在室内饲养,期间未接受任何化学农药。

汰选抗性品系(T17):2006年4月采集于长沙县榔梨镇农家甘蓝地,是抗药性筛选的初始种群,室内用茚虫威连续筛选17代,为茚虫威抗性品系。

田间品系(F):2009年10月采集于长沙县榔梨镇农家甘蓝地,其敏感性水平与筛选初始种群相似。

饲养方法参照魏娟等(2009)室内盆栽甘蓝苗法,养虫室内环境条件为:温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度50%~70%,光周期L:D=16:8。

1.2 供试药剂及主要仪器

150 g/L 茚虫威乳油,美国杜邦公司;

L1-6200 光合作用测定仪,美国(原英国)PP Systems公司;

GZ-800-GSI 人工气候箱,韶关市广智科技设备有限公司。

1.3 毒力测定方法

毒力测定采用叶片浸渍法(Tabashnik and Cushing,1987),将150 g/L 茚虫威乳油EC分别用蒸馏水稀释成不同浓度的药液,以小菜蛾S、F和T17品系3龄、4龄(24 h)、4龄(96 h)幼虫为材料,取新鲜甘蓝苗嫩叶片,用打孔器打下直径6 cm的圆片,分别在供试药剂各浓度药液中浸渍约10

s,取出自然晾干后,放入直径为 9 cm 的培养皿中(垫有滤纸保湿),并接入供试小菜蛾幼虫,每处理 4 次重复,每重复接虫 10 头。另设清水空白对照。然后放回养虫室饲养。72 h 后调查幼虫死亡情况。幼虫死亡标准为用毛笔尖轻触试虫虫体,无明显自主反应者为死亡。若空白对照死亡率在 10% 以上,则需重复试验。先用 Abbott 公式计算各处理的死亡率和校正死亡率,运用 DPS 软件求出测试药剂的毒力回归线 $y = a + bx$ 及 LC_{50} 值。

1.4 呼吸速率测定

1.4.1 正常幼虫的呼吸速率测定 参照慕卫等(2005)的方法:采用便携式 LI-6200 光合作用测定仪测定一定时间内未接触药剂幼虫呼吸排出的 CO_2 量。测定在养虫室内进行,光合作用测定仪的导气管置于 20 L 的玻璃气体缓冲瓶中,养虫室温度 $(25 \pm 1)^\circ C$,相对湿度 70%,光照强度 3 000 lx,光周期 L:D=16:8。测定从养虫每天开始光照后 2~4 h 之后完成。分别选取小菜蛾 S、F 和 T17 品系 3 龄、4 龄(24 h)、4 龄(96 h)幼虫各 5 头,称量体重后放入仪器的呼吸室内,密封好后进行测量,当仪器显示值基本稳定后开始记录,连续记录

5 个数据,每处理重复 5 次。呼吸速率以每克虫体鲜重每小时产生 CO_2 的微升量 $(\mu L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1})$ 表示。

1.4.2 供试药剂处理后对 4 龄幼虫呼吸速率的影响 将 150 g/L 茚虫威 EC 分别用蒸馏水稀释成不同浓度药液,将试虫在药液中浸渍 5 s 后放入装有新鲜甘蓝叶的养虫缸中在养虫室正常饲养,分别于药后 15、30 min、1、2、4、6、10、15、24 和 48 h 随机取 5 头没有明显中毒症状的存活试虫称重,按上述 1.3.1 中方法测定试虫呼出 CO_2 量,每次测定后,试虫放回养虫缸中继续饲养,每处理重复 5 次。同时测定不用药剂处理的 4 龄幼虫呼吸速率。测定从养虫室每天开始光照 2 h 后进行。

2 结果与分析

2.1 不同品系小菜蛾幼虫呼吸速率的比较

由表 1 中数据可见,2006 年 4 月从田间采集的品系在室内经过 17 代的汰选,相对于敏感品系,3 龄幼虫已产生了 31.3 倍的抗性,4 龄(24 h)幼虫产生了 40.5 倍的抗性,4 龄(96 h)幼虫产生了 24.7 倍的抗性。相对于田间品系而言,也分别

表 1 茚虫威对不同龄期不同品系小菜蛾的毒力

Table 1 Toxicities of indoxacarb to different instar larvae of the susceptible, the field population and resistant strains of *Plutella xylostella*

品系 Strain	单头平均体重(mg) Mean weight per larva(mg)	b 值(±标准) b value(±SE)	LC_{50} ($\mu g/mL$) (95% CL)	抗性倍数 Resistance ratio
3 龄 3rd instar				
S	2.8 ± 0.4 c	1.73 ± 0.41	$0.11(0.06-0.20)$	1.0
F	2.7 ± 0.5 c	1.71 ± 0.42	$1.29(0.87-2.05)$	11.7
T17	2.7 ± 0.4 c	1.68 ± 0.35	$3.44(2.73-4.45)$	31.3
4 龄(24 h) 4th instar(24 h)				
S	6.2 ± 0.7 b	1.72 ± 0.40	$0.21(0.12-0.40)$	1.0
F	6.3 ± 0.8 b	1.65 ± 0.39	$2.94(2.14-4.54)$	12.8
T17	6.2 ± 0.8 b	1.51 ± 0.32	$8.51(8.17-8.94)$	40.5
4 龄(96 h) 4th instar(96 h)				
S	9.6 ± 1.4 a	1.36 ± 0.28	$0.64(0.37-1.26)$	1.0
F	9.6 ± 1.3 a	1.35 ± 0.27	$6.21(5.36-7.25)$	9.7
T17	9.5 ± 1.5 a	1.32 ± 0.25	$15.81(14.52-16.31)$	24.7

注:表中数据为平均值±SD;同列数据后标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$, Duncan 新复极差法);S 代表敏感品系,F 代表田间品系,T17 代表汰选 17 代的抗性品系。

Data are mean ±SD, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test. S, F, T17 represent the susceptible, field, resistant after selection 17 generation strain, respectively.

产生了 11.7 倍, 12.8 倍和 9.7 倍的抗性。

采用光合测定仪测定不同品系不同龄期正常幼虫的呼吸速率(图 1), 可见 3 个品系同龄期幼虫的呼吸速率差异不显著, 表明汰选抗性品系、田间品系与敏感品系相比呼吸速率未发生变化, 即抗药性的产生并未影响小菜蛾的呼吸速率。

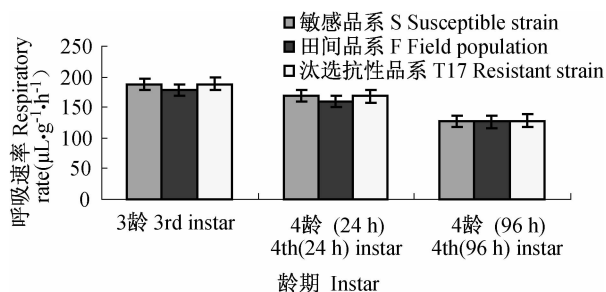


图 1 不同龄期不同品系小菜蛾幼虫的呼吸速率

Fig. 1 Respiratory rates of different instar larvae of the susceptible, the field population and resistant strains of *Plutella xylostella*

2.2 茚虫威不同剂量处理后不同品系小菜蛾呼

吸速率的动态变化

2.2.1 未施药条件下不同品系小菜蛾呼吸速率的变化 从 3 个不同品系中分别挑取 4 龄小菜蛾幼虫不用茚虫威处理, 分别在 15、30 min、1、2、4、6、10、15、24 和 48 h 测定其呼吸速率。4 龄小菜蛾幼虫随着时间的延长, 呼吸速率逐渐下降, 但不同品系小菜蛾幼虫的呼吸速率之间无显著差异(图 2)。

2.2.2 茚虫威 LC_{20} 剂量处理后对不同品系小菜蛾呼吸速率的影响 茚虫威对敏感品系小菜蛾 4 龄幼虫致死率为 20% 的剂量为 $0.0039 \mu\text{g}/\text{mL}$, 该剂量对田间品系和汰选抗性品系的致死率均为 0。用该剂量分别处理 3 个品系 4 龄幼虫, 其呼吸速率随时间的变化均有明显提高, 呼吸速率峰值均出现在 2 h 前后, 10 h 后 3 个品系呼吸速率恢复到正常水平, 24 h 后呼吸速率均低于正常水平(图 3)。

2.2.3 茚虫威 LC_{50} 剂量处理后对不同品系小菜蛾呼吸速率的影响 分别用茚虫威对敏感、田间和汰选抗性品系 4 龄幼虫各自的 LC_{50} 剂量即 0.21 、 2.94 和 $8.51 \mu\text{g}/\text{mL}$ 处理各自品系 4 龄幼

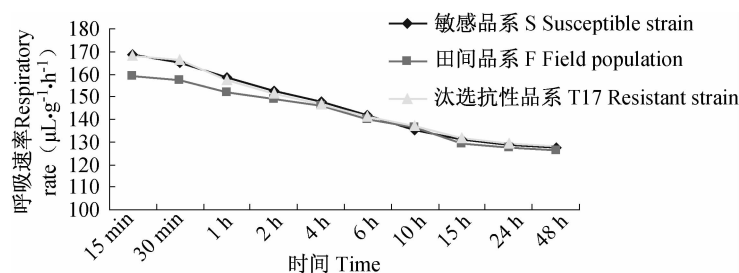


图 2 未施药条件下不同品系小菜蛾呼吸速率的变化

Fig. 2 Comparison of the respiratory rate among the S, F and T17 strains of *Plutella xylostella* 4th instar larvae untreated with indoxacarb

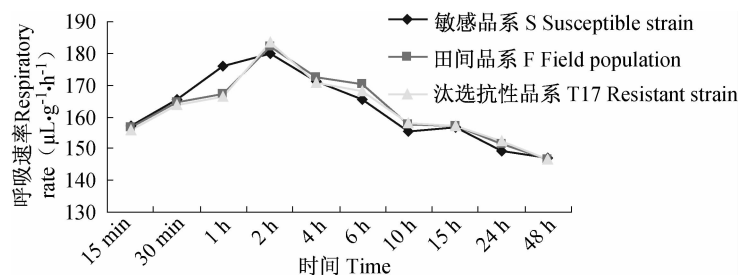


图 3 茚虫威 LC_{20} 剂量处理后对不同品系小菜蛾呼吸速率的影响

Fig. 3 Comparison of the respiratory rate among the S, F and T17 strains of *Plutella xylostella* 4th instar larvae treated with indoxacarb in LC_{20} doses

虫, 选取没有明显中毒反应的幼虫进行呼吸速率测定。测定结果表明敏感品系在药剂处理 2 h 后达到呼吸高峰, 药后 10 h 呼吸速率进入正常水平。田间品系在药剂处理 4 h 后达到呼吸高峰, 药后

15 h 呼吸速率进入正常水平。汰选抗性品系在药剂处理 6 h 后达到呼吸高峰, 药后 24 h 呼吸速率进入正常水平(图 4)。

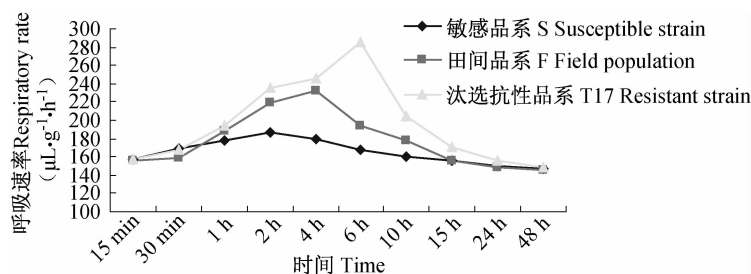


图 4 茚虫威 LC_{50} 剂量处理后对不同品系小菜蛾呼吸速率的影响

Fig. 4 Comparison of the respiratory rate among the S, F and T17 strains of *Plutella xylostella* 4th instar larvae treated with indoxacarb in LC_{50} doses

3 讨论

本研究表明未接触杀虫剂的田间品系、汰选抗性品系和敏感品系同龄期小菜蛾正常幼虫呼吸速率没有显著性差异, 表明汰选抗性品系和田间品系小菜蛾抗药性水平的提高没有引起小菜蛾本底呼吸速率的提高, 这与不同抗药性品系甜菜夜蛾呼吸速率的研究结果基本一致(慕卫等, 2005)。

昆虫遇到逆境时其呼吸速率一般会增强, 这是生物代谢体内异物的生理、生化自卫反应(崔志新等, 2001)。茚虫威神经毒理学研究结果表明, 茚虫威能够被鳞翅目昆虫在体内迅速转化为 N-去甲氧羰基代谢物 DCJW, 并作用于失活态钠离子通道, 不可逆阻断钠离子通道, 破坏神经冲动传递, 导致靶害虫运动失调、停止取食、麻痹并最终死亡(Sliver and Soderlund, 2005)。本研究结果表明, 3 个品系的小菜蛾幼虫在茚虫威作用下, 呼吸速率都有明显提高, 并且剂量越高, 中毒时间越长, 呼吸速率增高的时间越长。这可能是由于昆虫中毒之后激发体内解毒代谢能力增强, 能量消耗随之增加, 引起昆虫过度兴奋或长时间痉挛。另外, 不同品系小菜蛾对药剂的穿透速率和代谢方面存在差异, 各自较高剂量 LC_{50} 处理后的反应存在差异, 汰选抗性品系诱导的呼吸速率提高幅度高于敏感和田间品系, 呼吸速率峰值差别较大, 峰期拖后, 持续时间延长, 可见施药后抗性品系呼吸速率的提高幅度不仅与小菜蛾的解毒代谢能力

有关, 也与抗药性水平高低存在一定相关性, 这也暗示昆虫幼虫中毒后能量消耗会随着抗性水平的提高而增加。

昆虫的呼吸代谢是细胞内一系列复杂生理生化反应相互作用的过程, 呼吸速率的测定易受到各种因素的干扰, 如体重、日龄和生活习性等内在因素, 还有温度、光照、饥饿与取食、活动状况等外在因素等(卢宜娟等, 2010)。本试验中作者严格控制了测定条件, 选择试虫标准化, 温度、湿度和光照进行准确设定时观察, 基本上考虑到了上述影响因素, 因此测定结果是比较真实可靠的。

尽管小菜蛾抗茚虫威生理机制研究的报道尚很少见, 但是甜菜夜蛾、斜纹夜蛾等鳞翅目害虫的研究具有重要的参考价值。昆虫的生理指标除了呼吸速率, 还包括体重、血淋巴总糖量及各种保护酶系等(赵海珍等, 2006; 吴青君等, 2011)。为了进一步探讨茚虫威对小菜蛾生理系统的影响, 作者也系统研究了小菜蛾不同抗药性品系幼虫在受到茚虫威不同选择压力下, 体内 SOD、CAT 和 POD 3 种保护酶的活性变化, 没有发现保护酶系统的活性显著增加(另文发表)。鉴于昆虫酶系统的这种能量保守性, 我们可以推测小菜蛾对茚虫威的抗性产生和发展过程中, 虽然呼吸代谢会不断增强, 但是昆虫体内保护酶系统具有减缓或抑制抗性提高的作用。小菜蛾的解毒代谢酶和保护酶的联合作用, 在茚虫威的抗药性形成过程中发挥重要作用。

参考文献 (References)

- Adamek G, Fisher J, 1985. The oxygen consumption of nondormant and dormant larvae of *Chironomus plumosus* (Diptera). *J. Insect Physiol.*, 31 (10):767—772.
- Ghodki BS, Thakare SM, Moharil MP, Rao NGV, 2009. Genetics of indoxacarb resistance in *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Entomol. Res.*, 39(1):50—54.
- Qian L, Cao GC, Song JX, 2008. Biochemical mechanisms conferring cross-resistance between tebufenozide and abamectin in *Plutella xylostella*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 91(3):175—179.
- Sayyed AH, Wright DJ, 2006. Genetics and evidence for an esterase associated mechanism of resistance to indoxacarb in a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest. Manag. Sci.*, 62(11):1045—1051.
- Shono T, Zhang L, Scott JG, 2004. Indoxacarb resistance in the house fly, *Musca domestica*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 80(2):106—112.
- Silver KS, Soderlund DM, 2005. Action of pyrazolinetyp insecticides at neuronal target. *Pic. Biochem. Physiol.*, 81(2):136—143.
- Tabashnik BE, Cushing NL, 1987. Leaf residue topical bioassays for assessing insecticide resistance in the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). *FAO Plant Prot. Bull.*, 35:11—14.
- Zhao JZ, Collins HL, Li YX, 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamect in benzoate. *J. Ecol. Entomol.*, 99(1):176—181.
- 崔志新, 林进添, 赵善欢, 2001. 印楝素对中华稻蝗若虫呼吸作用的影响. *华中农业大学学报*, 20(6):544—546.
- 丁宁, 孟庆伟, 赵伟杰, 苗蔚荣, 2005. 噁二嗪类杀虫剂茚虫威的研究进展. *农药学报*, 7(2):97—103.
- 戈峰, 陈常铭, 1990. 褐飞虱和八斑球腹蛛的呼吸代谢及其能量消耗. *昆虫学报*, 33(1):35—42.
- 黄雄英, 周小毛, 柏连阳, 2008. 长沙地区小菜蛾对 13 种药剂的抗药性测定. *植物保护*, 34(5):146—149.
- 刘辉, 肖鹏, 刘永杰, 贺金, 邱秀翠, 焦艳艳, 2011. 斜纹夜蛾对茚虫威抗性风险分析及抗性生化机理. *农药*, 50(3):197—200.
- 刘辉, 周小毛, 尹国才, 龙建琪, 2007. 10% 虫螨脲悬浮剂防治小菜蛾田间药效试验. *湘潭师范学院学报(自然科学版)*, 29(3):19—21.
- 刘长令, 2003. 新型高效杀虫剂茚虫威. *农药*, 42(2):42—44.
- 卢宜娟, 杨文超, 缪晓青, 2010. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂工蜂幼虫和蛹呼吸代谢的研究. *中国蜂业*, 61(7):5—8.
- 吕桂贞, 毕道芬, 李建洪, 2011. 溴虫脲、茚虫威与氟啶脲混配对小菜蛾毒力最佳配比筛选及田间防效研究. *应用昆虫学报*, 48(2):306—312.
- 慕卫, 吴孔明, 郭予元, 张文吉, 2005. 不同抗药性品系甜菜夜蛾呼吸速率的比较. *昆虫学报*, 48(6):881—885.
- 王建军, 董红刚, 袁林泽, 2009. 斜纹夜蛾对茚虫威的抗性机制. *植物化学保护*, 36(2):168—172.
- 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 孙学振, 2001. 4 种杀虫剂对棉铃虫抗药性种群幼虫呼吸代谢的影响. *农药学学报*, 3(2):24—28.
- 王满困, 李周直, 2001. 鞭角华扁叶蜂幼虫期的呼吸代谢. *昆虫学报*, 44(3):311—315.
- 王伟, 高明, 慕卫, 2011. 甜菜夜蛾对抗茚虫威品系的生物适合度及抗性遗传方式. *中国农业科学*, 44(18):3741—3749.
- 魏娟, 肖铁光, 张友军, 2009. 小菜蛾室内继代饲养技术及抗性选育. *作物研究*, 23(2):129—132.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 1984. 棉铃虫的呼吸代谢. *昆虫学报*, 28(1):22—29.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 1985. 棉铃虫成虫期的呼吸代谢及其能量消耗. *生态学报*, 5(2):147—156.
- 吴青君, 张友军, 徐宝云, 张文吉, 2011. 保护酶系在小菜蛾对阿维菌素抗性中的作用. *应用昆虫学报*, 48(2):291—295.
- 赵海珍, 张志祥, 廖美德, 胡珊, 徐汉虹, 2006. 丙环唑对斜纹夜蛾细胞和幼虫生理指标的影响. *华中农业大学学报*, 25(4):375—377.