

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2010.04.011

不同温度对经吡虫啉处理的异色瓢虫捕食能力的影响

王峰巍^{1,2}, 王 甦², 张 帆^{2*}, 庞 虹^{1*}

(1. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 2. 北京市农林科学院植保环保研究所, 北京 100097)

摘要: 在不同温度条件下, 测定经亚致死剂量 (LC_{25}) 的吡虫啉处理的异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 对蚜虫的捕食能力。结果显示, 不同温度对药剂处理后的异色瓢虫的捕食量、寻找效应、捕食功能等方面都有显著影响。异色瓢虫 24 h 内捕食量, 在 20℃ 和 25℃ 下处理组显著高于对照组, 而 30℃ 下则处理组显著低于对照组。不同温度下, 吡虫啉处理组与对照组功能反应模型均为符合 HollingII 型, 但其参数均发生了变化。异色瓢虫处理组的瞬时攻击率 (a), 在 20℃ 和 25℃ 下, 处理组均高于对照组, 30℃ 时则低于对照组; 异色瓢虫对猎物的处理时间也显示出相同的趋势, 20℃ 和 25℃ 时, 处理组比对照组处理时间均有所缩短, 而 30℃ 下处理时间稍有延长。

关键词: 异色瓢虫; 吡虫啉; 温度; 捕食; 功能反应

中图分类号: S476+.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2010) 04-504-6

Influence of imidacioprid on predatory capacity of *Harmonia axyridis* (Pallas) under different temperatures

WANG Feng-Wei^{1,2}, WANG Su², ZHANG Fan^{2*}, PANG Hong^{1*} (1. School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Sublethal doses of imidacioprid was used to test the effects on predatory capacity of *Harmonia axyridis* (Pallas) in laboratory under different temperatures. The results indicated that sublethal doses of imidacioprid (LC_{25}) on *H. axyridis* prey consumption, search behavior, predatory function and so there were significant impacts. Daily consumption of *H. axyridis* with imidacioprid treatment was significantly increased more than control at 20℃ and 25℃, except 30℃. We also found the functional response models of ladybird preying on aphid were all still conformed to Holling's type II curve in different temperatures with sublethal doses of imidacioprid, but the parameters of models of all treatments combination had some changes. The successful attack rate of *H. axyridis* with imidacioprid treatment was lower than control at 30℃, but at 20℃ and 25℃ that was contrary. And the handling time of *H. axyridis* with imidacioprid treatment was shorter than control at 20℃ and 25℃, but that was opposite at 30℃.

Key words: *Harmonia axyridis* (Pallas); imidacioprid; temperature; predatory; functional response

随着人们对食品安全和环境保护意识的不断提高, 绿色农业生产理念以及环境友好型生物防治投入品等已逐渐成为目前农业生产的主流 (Cardinale *et al.*, 2003; Lucas *et al.*, 2004), 包括天敌昆虫等在内的害虫生物防治技术逐渐为人们所重

视 (Hesler *et al.*, 2001)。而生物防治的推广应用与传统化学农药的相互影响及关联就成为害虫综合生物防治体系中研究的热点。国内外学者针对天敌昆虫受化学农药影响的生物学、生理学以及生态学等领域进行了研究探讨, 以期能够获得更

基金资助: 国家“973”计划项目 (2009CB119206); 国家科技支撑计划 (2008BADA5B02); 国家桃产业技术体系 (nycytx-31-02)

作者简介: 王峰巍, 男, 1985年生, 硕士研究生, 从事异色瓢虫抗逆性研究, E-mail: wfw5032@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: Lssh pang@mail.sysu.edu.cn; E-mail: zf6131@263.net

收稿日期 Received: 2010-07-28; 接受日期 Accepted: 2010-09-16

为安全有效的天敌昆虫与化学防治协调控害技术与方法 (Cardinale *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004)。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 是一种非常重要的捕食性天敌昆虫, 能够捕食多种蚜虫、介壳虫等害虫, 亦能捕食鳞翅目昆虫卵及初孵幼虫等, 在全世界农业生产中得到了广泛应用 (Koch, 2003; 王甦等, 2007; Vincent *et al.*, 2007)。但农田生态系统中害虫种类繁多、发生复杂、世代重叠, 瓢虫往往只能控制某种或几种害虫, 因此在生产中往往需要同时采用化学农药进行防治。

吡虫啉 (imidacloprid) 作为一种新型的确基亚甲基类高效、广谱、残效期长的杀虫剂, 具有内吸、胃毒和触杀作用, 是防治蚜虫等刺吸式口器害虫的理想药剂, 近年来在我国得以迅速推广应用 (孙建中等, 1996; 刘爱芝等, 2002; 潘文亮等, 2003)。但如果按其推荐上限用量计算, 吡虫啉对异色瓢虫的幼虫会有一定的伤害 (张帆, 2007)。另有报道显示, 用亚致死剂量的吡虫啉处理后, 异色瓢虫的生长发育和存活率的均会受到不同程度的影响 (王小艺等, 2003年)。而不同温度下异色瓢虫呼吸速率、代谢功能、活动能力等均有不同 (Hodek and Honek, 1996; 王甦等, 2007)。但其亚致死效应与不同环境温度的交互作用而导致的异色瓢虫生长发育的影响尚较少报道, 值得深入研究探讨。

本文观察研究了不同温度下, 亚致死剂量的吡虫啉对异色瓢虫捕食行为的影响, 初步明确了温度在亚致死剂量吡虫啉对异色瓢虫捕食功能影响中的作用。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源

本试验所用异色瓢虫种群于2008年10月采自吉林省长春市, 在北京市农林科学院养虫室内 (温度为 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $70\% \pm 5\%$ 、光周期为 16L:8D) 条件下建立实验饲养群。

成虫饲养于塑料养虫盒中 ($16.6 \times 11.7 \times 5.5 \text{ cm}$), 每盒 20~30 头, 每 24h 更新带有足量豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* (Matsumura) 的蚕豆茎一次。成虫产卵后, 将卵取出置于养虫笼中 (铝合金框架 + 尼龙网 120 目; $62.2 \times 44.7 \times$

39.0 cm), 笼中放有接过蚜虫的蚕豆苗, 异色瓢虫卵在笼内孵化, 幼虫捕食笼内的蚜虫, 完成幼虫阶段的发育, 待羽化后转移到养虫盒中继续饲养第 2 代, 在实验室饲养 3 代后选择同日龄异色瓢虫成虫进行试验。

1.1.2 主要试验试剂及耗材

95% 吡虫啉原药 (中国农业大学高希武教授提供), 配制成 10000 ppm 的母液, 使用时稀释至相应浓度。

Sanyo 人工气候箱。

1.2 试验方法

1.2.1 不同温度下吡虫啉对异色瓢虫捕食量的影响

采用滤纸接触法: 在培养皿 ($\phi = 9 \text{ cm}$, $h = 1.2 \text{ cm}$) 的底部铺一层滤纸, 然后吸取 65 ppm (预试验中对异色瓢虫 LC_{25} 的剂量) 的药剂 1 mL, 当药剂在滤纸上扩散均匀后分别接入待试的异色瓢虫雌、雄成虫, 以清水处理为对照。处理 1 h 后, 将试虫转移至干净培养皿中饲养, 培养皿底部铺一层滤纸保持水分, 内接两片蚕豆叶片和 100 头大小相近的蚜虫。每处理 1 头瓢虫, 共 30 个处理, 重复 3 次。

试验在温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $30 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $70\% \pm 1\%$ 、光照为 L:D = 16:8 条件的人工气候箱内进行。每天 9:00 调查瓢虫的捕食情况, 记录蚜虫存活数和死亡数。连续调查 6 d。

1.2.2 不同温度下经吡虫啉处理的异色瓢虫对蚜虫的捕食功能反应

为排除雌虫抱卵等因素的影响, 选择雄虫进行本试验。将供试雄虫首先饥饿处理 24 h, 药剂处理后, 转至干净培养皿 (同 1.2.1) 中。同时供给在蚕豆叶片密度分别为 20, 40, 60, 80, 100 头/皿的大小相似蚜虫, 同样以清水处理为对照。每处理 10 头雄虫, 重复 3 次。将处理的试虫分别置于温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $30 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $70\% \pm 1\%$ 、光照为 L:D = 16:8 条件的人工气候箱内饲养。24 h 后观察被捕食的蚜虫数。

1.3 数据处理方法

用 HollingII 圆盘方程拟合异色瓢虫捕食量与蚜虫密度关系 (Holling, 1959a, 1959b)。

$$N_a = aN_t T_i / (1 + aT_h N_t) \quad (1)$$

上式中, N 为猎物密度; N_a 为被捕食蚜虫数量; T 为异色瓢虫总搜索时间 (本试验为 1 d, 即 $T_i = 1$); a 为瞬时攻击率; T_h 为异色瓢虫处理一头

蚜虫所需时间; a 、 T_h 为估测参数, 可由线性最小二乘法求得。

寻找效应估计:

$$S = a / (1 + aT_h N_a) \quad (2)$$

上式中, S 为寻找效应, 其它同公式 (1)。

本试验所作各项统计分析均使用 SPSS 17.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同温度下吡虫啉对异色瓢虫捕食行为的影响

表 1 结果显示, 雌、雄异色瓢虫在 20℃ 和 25℃ 下的捕食量分别为 41.2, 40.6 和 41.6, 44.6 头, 均显著高于各自的对照 (33.8, 28.7 和 38.3, 34.2 头)。20℃ 时雌、雄处理间 (41.2, 40.6 头) 无显著性差异, 而对照间 (33.8, 28.7 头) 存在显著性差异, 说明 20℃ 时吡虫啉的作用显著提高了异色瓢虫的捕食量, 且对雄性的影响更大; 25℃ 雌、雄处理组间 (41.6, 44.6 头) 和对照组间 (38.2, 34.2 头) 均存在显著性差异, 但在 30℃ 条件下, 雌、雄 (36.9, 37.4 头) 处理的捕食量却均显著低于各自对照 (42.2, 40.6 头) 的, 而且存在明显差异。可见, 温度高会增强农药对异色瓢虫的影响, 从而明显降低其对猎物的捕食能力。

表 1 不同处理组合异色瓢虫的日捕食量 (头)

Table 1 Predacious number of *H. axyridis* under different treatments combination in 24 h (Head)

温度 Temperature	雌虫 Male		雄虫 Female	
	处理 Treatments	对照 CK	处理 Treatments	对照 CK
20℃	41.2 ± 3.8 a	33.8 ± 3.0 c	40.6 ± 4.7 b	28.7 ± 3.3 c
25℃	41.6 ± 4.5 a	38.2 ± 3.3 b	44.6 ± 3.8 a	34.2 ± 3.5 b
30℃	36.9 ± 3.9 b	42.2 ± 3.9 a	37.4 ± 4.1 c	40.6 ± 3.6 a

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同列中相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)。The data are expressed as mean ± SD. The data followed with same letters are not significantly different at $P < 0.05$ in the column.

将各温度下处理组与对照组作为配对样本进行配对样本 T 检验显示 (表 2), 处理与对照间变化趋势差异显著 ($T_1 = -12.771$, $Sig_1 < 0.001$; $T_2 = -10.505$, $Sig_2 < 0.001$; $T_3 = 3.380$, $Sig_3 = 0.002$)。

各处理组合异色瓢虫连续 6d 的捕食量变化趋势见图 1。可以看出, 在温度为 20℃ 时, 农药处理后的异色瓢虫捕食量出现先连续上升又急剧降低到对照以下的趋势, 而 25℃ 和 30℃ 时, 变化趋势与 20℃ 时截然相反, 即先急剧下降, 后回升甚至超过对照。

表 2 不同温度下吡虫啉处理组与对照组间配对样本 T 检验
Table 2 Paired - Sample T test between treatment of imidacloprid and CK under different temperatures

温度 Temperatures	雌虫 Male			雄虫 Female		
	t	df	sig.	t	df	sig.
20℃	-11.242	29.0	<0.001	-12.771	29.0	<0.001
25℃	-3.880	29.0	0.001	-10.505	29.0	<0.001
30℃	5.276	29.0	<0.001	3.380	29.0	0.002

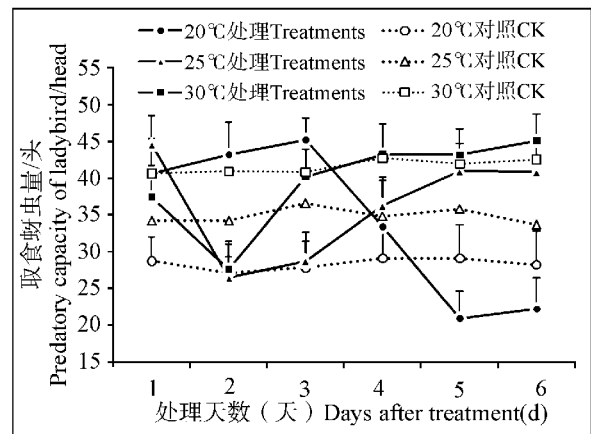


图 1 各处理异色瓢虫雄虫连续 6 d 日捕食量变化比较
Fig. 1 Compared predacious number of *H. axyridis* male in 6 days under different temperatures

2.2 不同温度下吡虫啉处理对异色瓢虫捕食功能反应的影响

不同处理组合的异色瓢虫对蚜虫的功能反应符合 HollingII 圆盘方程, 经卡方检验和独立样本 T 检验, 显示拟合效果均达到显著性水平 ($r_1 = 0.978$, $x_1^2 = 1.143$, $Sig_1 = 0.887$; $r_2 = 0.979$, $x_2^2 = 0.010$, $Sig_2 = 1.000$; $r_3 = 0.993$, $x_3^2 = 1.678$, $Sig_3 = 0.795$; $r_4 = 0.991$, $x_4^2 = 1.935$, $Sig_4 = 0.748$; $r_5 = 0.957$, $x_5^2 = 0.536$, $Sig_5 = 0.970$; $r_6 = 0.961$, $x_6^2 = 0.447$, $Sig_6 = 0.978$), 具体参数见表 2。

表 3 异色瓢虫不同处理组合功能反应拟合结果

Table 3 Simulating results of functional response models of all treatments combination of *H. axyridis*

处理组合 Treatments combination		圆盘方程 Disc equation	a	Th(d)	a/Th	r	χ^2	Sig.
20℃	处理 Treatments	$Na = 0.8691N_t / (1 + 0.014959N_t)$	0.8691	0.017212	50.5	0.978 **	1.143	0.887
	对照 CK	$Na = 0.8320N_t / (1 + 0.026948N_t)$	0.8320	0.032389	25.7	0.979 **	0.010	1.000
25℃	处理 Treatments	$Na = 0.9315N_t / (1 + 0.008138N_t)$	0.9315	0.008736	106.6	0.993 **	1.678	0.795
	对照 CK	$Na = 0.8742N_t / (1 + 0.008571N_t)$	0.8742	0.009804	89.2	0.991 **	1.935	0.748
30℃	处理 Treatments	$Na = 1.0294N_t / (1 + 0.006799N_t)$	1.0294	0.006020	171.0	0.957 **	0.536	0.970
	对照 CK	$Na = 1.0577N_t / (1 + 0.006782N_t)$	1.0577	0.005858	180.6	0.961 **	0.447	0.978

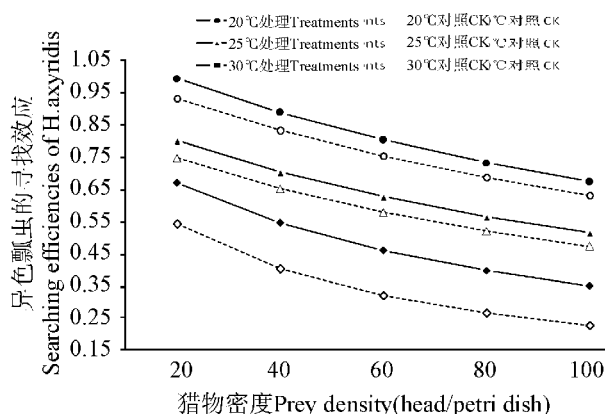


图 2 异色瓢虫不同处理下的寻找效应 (S) 比较

Fig. 2 Compared of searching efficiencies of *H. axyridis* under different treatments combination

不同温度下，吡虫啉处理与对照组的功能反应模型并没有发生改变，但参数发生了变化。异色瓢虫的瞬时攻击率 (a)，在 30℃ 时为 1.0294，低于对照的 1.0577；而在 20℃ 和 25℃ 下，处理组 (0.8691, 0.9315) 均高于对照组 (0.8320, 0.8742)。对猎物的处理时间也显示出相同的规律，20℃ 和 25℃ 下，处理组 (0.017212, 0.008736) 比对照组 (0.032389, 0.009804) 均有所缩短；30℃ 条件下处理 (0.006020) 比对照 (0.005858) 稍有延长。

各处理组异色瓢虫的寻找效应均随蚜虫密度的增加而降低，在同一温度下，各密度下处理组寻找效应均显著大于对照组，尤以 20℃ 下变化最为明显 ($T_1 = -35.769$, $df_1 = 4$, $Sig_1 < 0.001$; $T_2 = -23.035$, $df_2 = 4$, $Sig_2 < 0.001$; $T_3 = 13.907$, $df_3 = 4$, $Sig_3 < 0.001$)，详见图 2。各温度下亚致死剂量的吡虫啉处理均能提高异色瓢虫的寻找效应，但不同温度下变化的程度又有差异，温度和农药的交互影响显著。

3 结论与讨论

影响捕食者捕食能力的因素有很多，例如捕食者的生理状态、生存环境、猎物的密度以及试验进行的环境等 (雷朝亮等, 2003)。大量研究表明，不同环境温度下捕食者的生存和捕食能力差异较大 (陈先锋等, 2000; Srivastava *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004; 陈洁等, 2008)。施用化学农药、不同耕作方式等都会影响异色瓢虫的取食及生长发育 (Heinz & Nelson, 1996; Srivastava, 2003)。杀虫剂的亚致死剂量可显著影响捕食者的功能反应，可使蚜茧蜂的功能反应从 Holling II 型变为 S 型，搜索能力下降，攻击能力减弱 (古德就等, 1991)。

本试验中不同温度下亚致死剂量的吡虫啉对异色瓢虫捕食量、搜索行为、捕食功能等都存在显著性影响。处理 24 h 后，20℃ 和 25℃ 下处理组较对照组捕食量均显著性提高，可能是由于其在低温时体内代谢活动较弱，为尽快排除体内杀虫剂，需要增加捕食量来提高代谢速率，促进体内杀虫剂的分解。而 30℃ 下，处理组较对照组捕食量显著降低，由于吡虫啉的作用使自身行动减缓，而猎物的逃避能力在高温下有所增强，导致其捕食量降低。20℃ 和 25℃ 其恢复正常的捕食量水平约需 4~5 d，而 30℃ 下仅需 3 d，可能不适的温度条件促使其更快的启动了自身的抵御机制，如解毒酶活性或热激蛋白的增加等。说明在不同温度下昆虫的抗逆机制有所差异，非常有必要进一步深入研究。

昆虫的功能反应是指每头捕食者在一定时间内的捕食量对猎物密度变化的反应，两者之间的这种关系通常用 Holling 圆盘方程描述 (吴坤君等, 2004)。本试验中功能反应参数表明各处理组

与对照组均属于 HollingII 模型。以瞬时攻击率和处理时间作为评价指标,在各处理组中,不同温度下处理组和对照组表现出不同的变化趋势,说明温度对药剂的影响较大,也比较复杂,验证了王小艺的结论(王小艺等,2002)。然而其寻找效应在各温度条件下处理组均比对照组显著提高,同时,较低温时异色瓢虫处理组的寻找效应变化也最为显著,说明较高温时杀虫剂对异色瓢虫的影响较小,更有利于异色瓢虫的捕食和对害虫的防治。同时,这一现象也说明异色瓢虫在不同环境温度下可能存在不同的抗逆机制,还需进一步进行研究。

然而田间用药过程中,不止温度因素会对天敌昆虫产生影响,温度和药剂的综合作用仅仅是一方面,不同的药剂、不同的害虫、不同的温湿度等组合对天敌的影响各有不同,因此,在使用药剂控制害虫的过程中,完全对天敌没有影响是不现实的,但如何更合理的使用药剂,最大程度的减小药剂对天敌的亚致死效应是非常值得探索的。

参考文献 (References)

- Banhen JO, Stark JD, 1998. Multiple routes of pesticide exposure and the risk of pesticides to biological controls: a study of neem and the seven spotted lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology*, 91 (1): 1-6.
- Cardinale BJ, Harvey CT, Gross K, 2003. Biodiversity and biocontrol: Emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. *Ecology Letters*, 6: 857-865.
- Chen J, Qin QJ, Sun WY, He YZ, 2008. Influence of temperature on experimental populations of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Acta Phytotaphylacica Sinica*, 35 (5): 405-409. [陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转, 2008. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. 植物保护学报, 35 (5): 405-409]
- Chen XF, Ren SX, Ying XL, Pang H, 2000. The effects of temperature on laboratory population of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. *Acta Ecologica Sinica*, 20 (1): 129-133. [陈先锋, 任顺祥, 应霞玲, 庞虹, 2000. 温度对孟氏隐唇瓢虫实验种群的影响. 生态学报, 20 (1): 129-133]
- Dixon AFG, 2000. *Insect Predator - Prey Dynamics: Ladybird beetles and Biological Control*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Ettifouri M, Ferran A, 1993. Influence of larval rearing diet on the intensive searching behavior of *Harmonia axyridis* (Col.: Coccinellidae) larvae. *Entomophaga*, 38: 51-59.
- Gu DJ, Yu ME, Hou RH, Li ZH, 1991. The effects of sublethal doses of insecticides on the foraging behavior of parasitoid, *Diaeretiella rapae* (Hym., Braconidae). *Acta Ecologica Sinica*, 11 (4): 324-329. [古德就, 余明恩, 侯任环, 李哲怀, 1991. 农药亚致死剂量对菜蚜茧蜂搜索行为影响的研究. 生态学报, 11 (4): 324-329]
- Hattingh V, Samways MJ, 1992. Prey choice and substitution in *Chiocorus* spp. (Coleoptera: Coccinellidae). *Bull. Entomol. Res.*, 81: 169-174.
- Heinz KM, Nelson JM, 1996. Quality control test for natural enemies used in greenhouse. *Biol. Contr.*, 6 (3): 384-393.
- Hodek I, Honek I, 1996. *Ecology of Coccinellidae*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- Hodek I, Ceryngier P, 2000. Sexual activity in Coccinellidae (Coleoptera): A review. *European Journal of Entomology*, 97: 449-456.
- Holling CS, 1959a. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Can. Ent.*, 91: 385-398.
- Holling CS, 1959b. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Ent.*, 91: 293-320.
- Jiang WH, Ma SL, Lu ZQ, Shi HT, Wen CW, Shu Q, 1999. Biological activity and efficacy of acetamiprid and imidacloprid compared on aphid. *Plant Protection*, 25 (6): 42-43. [姜卫华, 马式廉, 陆自强, 施恒桃, 温传武, 束前. 1999. 啉虫脒、吡虫啉对麦蚜生物活性及药效比较. 植物保护, 25 (6): 42-43]
- Koch RL, 2003. The multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis*: A review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science*, 3: 1-16.
- Lee JH, Kang TJ, 2004. Functional responses of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *Applied Entomology and Zoology*, 39: 477-485.
- Lei CL, Rong SL, 2003. *General Entomology*. Beijing: China Agricultural Press. [雷朝亮, 荣秀兰, 2003. 普通昆虫学. 北京: 中国农业出版社]
- Liu AZ, Wang XJ, Li SJ, Wu YQ, Li QS, 2002. Sensitivity of *Stibionavenae* (Finnaeus) and *Rhopalosiphum padi* (Labricius) to imidacloprid and evaluation on effective doses. *Plant Protection*, 28 (3): 15-18. [刘爱芝, 王晓军, 李素娟, 武子清, 李巧丝, 2002. 麦蚜对吡虫啉的敏感性及吡虫啉有效用量的评价. 植物保护, 28 (3): 15-18]
- Li ZH, Zheng FQ, Ye BH, Qi DZ, Li AM, 1993. Predation of *Leis axyridis* on *Chaitophqrus pcpulialbae*. *Acta Entomologica Sinica*, 36 (4): 438-443. [李照会, 郑方强, 叶保华, 齐登珠, 李爱民, 1993. 异色瓢虫对白毛蚜捕食作用的研究. 昆虫学报, 36 (4): 438-443]
- Lucas E, Demonget S, Vincet C, 2004. Predation upon the oblique-banded leafroller, *Christoneura rosuceana* (Lepidoptera: Tortricidae), by two aphidophagous coccinellids. (Coleoptera: Coccinellidae) in the presence and absence of aphids. *European Journal of Entomology*, 10 (1): 37-41.
- Mullins JW, 1993. Imidacloprid: a new nitroguanidine insecticide. *Amer. Chem. Soc. Symp. Series*, 534: 183-198.
- Nauen R, Strobel J, Tietjen K, Otsu Y, Erdelen C, Elbert A, 1996.

- Aphicidal activity of imidacloprid against a tobacco feeding strain of *Myzuspersicae* from Japan closely related to *Myzus nicotianae* and highly resistant to carbamates and organophosphates. *Bulletin of Entomological Research*, 86 (2): 165 - 171.
- Osawa N, 2000. Population field studies on the aphidophagous ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): Resource tracking and population characteristics. *Population Ecology*, 42: 115 - 127.
- Pang H, Zeng T, Pang XF, Ren SX, 2004. Species Diversity and Application of Ladybirds (Coccinellidae: Coleoptera) in China. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. [庞虹, 曾涛, 庞雄飞, 任顺祥, 2004. 中国瓢虫物种多样性及其利用. 广州: 广东科技出版社]
- Prabhaker N, Toscano NC, Castle SJ, Henneberry TJ, 1997. Selection for imidacloprid resistance in silverleaf whiteflies from the Imperial Valley and development of a hydroponic bioassay for resistance monitoring. *Pesticide Sciences*, 51 (4): 419 - 428.
- Ren GW, Shen WP, 2000. The spatial distribution pattern and sapling method of the larvae of *Leis axyridis* in tobacco fields. *Entomological Knowledge*, 37: 164 - 165.
- Sato S, Dixon AFG, Yasuda H, 2003. Effect of emigration on cannibalism and intraguild predation in aphidophagous ladybirds. *Ecological Entomology*, 28: 628 - 633.
- Shrivastava S, Omkar, 2003. Influence of temperature on certain biological attributes of a ladybeetle *Coccinella septem punctata* Linnaeus. *Entomologia Sinica*, 10 (3): 185 - 193.
- Stone, BS, Shuffran RA, Wilde GE, 1999. Imidacloprid toxicity to insecticide resistant and susceptible strains of the greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae). *Journal of Kansas Entomological Society*, 72 (2): 248 - 250.
- Sun JZ, Fang JC, Xia LR, Yang JS, Shen XS, 1996. Studies on the insecticidal activity of imidacloprid and its application in paddy fields against the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomologica Sinica*, 39 (1): 37 - 45. [孙建中, 方继朝, 夏礼如, 杨金生, 沈雪生, 1996. 灭虫精的杀虫活性及田间防治褐飞虱的应用研究. 昆虫学报, 39 (1): 37 - 45]
- Umoru PA, Powell W, Clark SJ, 1996. Effect of pirimicarb on the foraging behavior of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) on host-free and infested oilseed rape plants. *Bulletin of Entomological Research*, 86 (2): 193 - 201.
- Wang S, Liu S, Zhang RZ, Zhang F, 2008. Effects of environment color on developmental characteristics and reproduction capability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51 (12): 1320 - 1326. [王甦, 刘爽, 张润志, 张帆, 2008. 环境颜色对异色瓢虫生长发育及繁殖能力的影响. 昆虫学报, 51 (12): 1320 - 1326]
- Wang S, Zhang RZ, Zhang F. 2007. Research progress on biology and ecology of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 9 (18): 2117 - 2126. [王甦, 张润志, 张帆, 2007. 异色瓢虫生物生态学研究进展. 应用生态学报, 9 (18): 2117 - 2126]
- Wang XY, Shen ZR, 2002a. Progress of applied research on multicolored Asian ladybird beetle. *Entomological Knowledge*, 39 (4): 255 - 261. [王小艺, 沈佐锐, 2002. 异色瓢虫的应用研究概况. 昆虫知识, 39 (4): 255 - 261]
- Wang XY, Shen ZR, 2002b. Selective toxicity of four insecticides on green peach aphid (Homoptera: Aphididae) and predator multicolored Asian ladybird (Coleoptera: Coccinellidae) and the coordination evaluation of biological & chemical control to insect pest. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4 (1): 34 - 38. [王小艺, 沈佐锐, 2002b. 四种杀虫剂对桃蚜和异色瓢虫的选择毒性及害虫生物防治与化学防治的协调性评价. 农药学报, 4 (1): 34 - 38]
- Wang XY, Shen ZR, 2003. Effects of sublethal doses of insecticides on predation of multicolored Asian ladybird *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Ecologica Sinica*, 22 (12): 2276 - 2284. [王小艺, 沈佐锐, 2003. 亚致死剂量杀虫剂对异色瓢虫捕食作用的影响. 生态学报, 22 (12): 2276 - 2284]
- Wu HB, Zhang F, Wang SQ, Zhang JM, 2007. Susceptibility of *Harmonia axyridis* (Pallas) to several insecticides. *Chinese Journal of Biological Control*, 23 (3): 213 - 217. [吴红波, 张帆, 王素琴, 张君明, 2007. 几种常用杀虫剂对异色瓢虫的敏感性研究. 中国生物防治, 23 (3): 213 - 217]
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY, 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. *Entomological Knowledge*, 41 (3): 267 - 269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41 (3): 267 - 269]
- Wu WJ, Liang GW, 1989. Review of methods fitting Holling disk equation. *Natural Enemies of Insects*, 11 (2): 96 - 100. [吴伟坚, 梁广文, 1989. Holling 圆盘方程拟和方法概述. 昆虫天敌, 11 (2): 96 - 100]
- Yu GY, 2008. Ladybird. Beijing: Chemical Industry Press. [虞国跃, 2008. 瓢虫. 北京: 化学工业出版社]
- Zhang AS, Feng JG, Li ZH, 2002. Spatial Distribution of *Myzus persicae* (Sulzer) and Functional Response of *Harmonia axyridis*. *Shandong Agricultural Sciences*, 3: 31 - 33.