

# 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫捕食及 限域搜索行为的影响\*

徐锐<sup>1</sup>, 吴迪<sup>2</sup>, 杨松<sup>1</sup>, 刘霞<sup>2</sup>, 黄忆<sup>2</sup>, 周玫玄<sup>1</sup>, 况荣平<sup>1</sup>

(1. 云南大学 生命科学学院, 云南 昆明 650091; 2. 西南林学院 保护生物学院, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 采用室内生物测定方法对七星瓢虫在亚致死剂量百草枯作用下的捕食和限域搜索行为进行了测定。毒力实验研究结果表明, 田间常用百草枯体积比(20 mL/L) 低于七星瓢虫成虫的  $LC_{50}$ , 对七星瓢虫幼虫的杀伤作用死亡率为 95.7%。捕食速率测定结果显示,  $LC_{20}$  剂量的百草枯会对七星瓢虫尤其是其幼虫的捕食速率产生显著影响, 24 h 七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫的捕食速率分别下降了 31.32%、23.47% 和 25.60%。此外, 百草枯对七星瓢虫的限域搜索行为也产生了显著影响, 百草枯处理后七星瓢虫搜索速率降低, 搜索范围缩小。

**关键词:** 百草枯; 七星瓢虫; 捕食速率; 限域搜索; 亚致死效应

**中图分类号:** S 186    **文献标识码:** A    **文章编号:** 0258-7971(2008)02-0191-07

百草枯是一种无选择性的速效触杀型灭生性除草剂, 系目前世界上使用量第 2 的除草药剂。它被广泛用于控制阔叶杂草和超过 50 种作物的田间杂草, 还包括人造林的除草养护<sup>[1]</sup>。由于其对生态环境和人类健康表现出越来越多的负面影响, 目前百草枯已在 13 个国家被禁止或限制使用。但在中国仍然作为“低毒、高效”农药被大量生产和使用。

最近的一些研究表明<sup>[2~6]</sup>百草枯会影响人类的健康, 导致人体的急性中毒和慢性中毒, 并且中毒后表现出高死亡率。据我国国内统计资料显示<sup>[7]</sup>, 利用传统方法治疗百草枯中毒死亡率在 80%~90%, 且至今没有解毒药或有效的治疗方法。国外的研究<sup>[8~12]</sup>表明, 百草枯对生物多样性也表现出了诸多负面作用: 不仅会影响野生动物诸如鸟类、哺乳类的繁殖能力、导致动物畸形和非正常死亡, 还会毒害土壤中的有益菌, 甚至通过渗透作用污染地下水、造成水下植物体内毒素蓄积, 从而

导致水生动物的死亡或畸形。但目前还没有发现百草枯对于昆虫尤其是天敌昆虫产生影响的相关报道。

在百草枯应用最为广泛的农业生态系统中, 百草枯导致的动植物毁灭或变异势必破坏农田生态系统中的自然平衡<sup>[13]</sup>, 而目前尚缺乏进行百草枯生态风险评价的有效方法。因此, 作为昆虫天敌, 以七星瓢虫为案例, 从个体角度出发, 研究百草枯对农业生态系统的生态风险具有重要意义。本文主要研究了亚致死剂量下百草枯对七星瓢虫限域搜索行为<sup>[14~17]</sup>的影响。研究内容包括亚致死剂量百草枯影响下七星瓢虫搜索速度和搜索范围等的变化情况。该研究模拟田间施药情况下随着时间推移药剂残留量逐渐降低后, 天敌昆虫由于接触施药区域或捕食受药剂污染猎物而导致的对自身捕食作用的抑制。研究结果对于指导生产实践中合理利用天敌, 增强天敌控害效果具有重要意义。

\* 收稿日期: 2007-10-17

基金项目: 云南省应用基础研究基金资助项目(2006WF01)。

作者简介: 徐锐(1979-), 男, 辽宁人, 博士生, 主要从事昆虫生态学方面的研究

通讯作者: 况荣平(1957-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 主要从事昆虫学方面的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 试虫 桃蚜 *Myzus persicae*, 饲养于田间豌豆上, 实验时选取大小一致三龄若蚜供试七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) 成虫, 自有机农场采回虫蛹后置于温室内观察, 待羽化为成虫后于温室内人工饲养, 以桃蚜饲喂, 实验时选取大小一致羽化 3 d 的成虫供试; 七星瓢虫幼虫, 自有机农场采回卵块, 于温室内观察, 孵化后将一龄幼虫隔离饲养, 以桃蚜饲喂, 实验时选取大小一致三龄幼虫供试. 七星瓢虫成虫和幼虫在实验前均于室温下饥饿 24 h.

1.1.2 百草枯(paraquat) 20% 水剂, 青岛海利尔药液有限公司产品.

### 1.2 方法

1.2.1 百草枯对七星瓢虫成虫及幼虫毒力测定<sup>[18]</sup> 把试虫成虫每 20 头放入用铁丝支好的 0.42 mm 纱网内, 封口. 将药剂稀释成 10, 20, 30, 40, 50 mL/L 和 60 mL/L 的梯度, 另设清水作为空白对照以资比较. 用手持喷雾器喷雾, 至下垫滤纸刚刚全部湿润, 然后将处理的成虫分别放入带有足够蚜虫的菜叶上, 外罩玻璃罩, 用纱布封口, 24 h 检查各处理死亡数; 每处理重复 15 次. 死亡率和校正死亡率可通过 Abbott 公式进行计算, 以药剂稀释度( $C$ )的对数值为横坐标, 死亡率机率值  $p$  为纵坐标, 求  $\log C \sim p$  直线方程及  $LC_{50}$  和  $LC_{20}$ .

1.2.2 百草枯对七星瓢虫捕食速率的影响 七星瓢虫用  $LC_{20}$  剂量的百草枯进行处理, 处理方法同 1.2.1. 24 h 后, 选取未死亡七星瓢虫进行实验. 每个培养皿固定蚜虫数量为 50 头, 在 4, 8, 12, 18, 24 h 观察蚜虫的被食量, 每个处理设置 11 个重复, 按照以下公式计算捕食速率:

$$\text{捕食速率(头/h)} = \frac{\text{捕食量(头)}}{\text{捕食时间(h)}}$$

1.2.3 百草枯对七星瓢虫摄食甘蓝蚜后搜索行为轨迹的影响 借鉴 Nakamura<sup>[19]</sup> 的方法进行试验设计, 采用白炽灯垂直照射, 在 12 cm 培养皿下垫置坐标纸, 摄像机正对培养皿中央. 每次试验前把 1 头高龄若蚜放置在培养皿中央. 实验开始后放置

1 头  $LC_{20}$  剂量百草枯处理过的七星瓢虫成虫或幼虫于培养皿内, 处理方法同 1.2.1. 试虫取食完毕后启动摄像机记录其爬行轨迹, 根据试虫爬行的轨迹, 每 15 s 取 1 个停点, 通过记录停点所在的位置和停点间的距离以及旋转的角度等, 计算七星瓢虫的搜索速度和搜索范围. 幼虫记录其摄食后 0~60 s 的搜索行为轨迹; 成虫爬行速度相对较快, 记录其摄食后 0~45 s 的搜索行为轨迹<sup>[20]</sup>. 实验设 15 个重复, 以清水作对照.

1.2.4 数据的统计分析 所有数据均采用 SPSS 软件和 Microsoft Excel 进行分析处理.

## 2 实验结果

2.1 百草枯对七星瓢虫的毒力测定 百草枯对七星瓢虫的雌成虫、雄成虫、幼虫都会产生致死效应. 由表 1 不难看出, 24 h 百草枯对雌、雄成虫的  $LC_{50}$  分别达到 37.77 mL/L 和 39.69 mL/L,  $LC_{20}$  也分别达到 32.06 mL/L 和 33.57 mL/L, 这些体积比均高于百草枯的田间使用推荐体积比(20 mL/L). 而百草枯对七星瓢虫幼虫的伤害较之成虫大得多, 24 h 幼虫的  $LC_{50}$  和  $LC_{20}$  分别为 12.22 mL/L 和 9.70 mL/L. 在田间常用体积比下幼虫死亡率的实测值达到 95.7% (毒力方程理论值为 97.4%).

2.2 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫捕食速率的影响 从单位时间捕食量(表 2)看, 亚致死剂量百草枯处理后, 在不同时间段七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫捕食速率均较对照显著降低. 亚致死剂量百草枯处理幼虫 24 h 后捕食速率下降 31.32%, 通过  $T$  检验比较, 实验组与对照组捕食速率在各时间段于 0.05 水平上均呈显著差异. 处理组雌、雄成虫在各时间段的捕食速率变化情况与对照组比较, 在 0.05 水平上差异不显著, 但 24 h 的捕食速率也分别下降了 23.47% 和 19.64%.

### 2.3 百草枯对七星瓢虫限域搜索行为的影响

2.3.1 百草枯对七星瓢虫摄食甘蓝蚜后搜索轨迹弯曲角度的影响 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫摄食蚜虫后的搜索行为轨迹平均弯曲角度和平均角速度会产生一定的影响. 表 3 所示为七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫在  $LC_{20}$  剂量百草枯影响下摄食后的搜索轨迹弯曲角度变化情况.

表 1 百草枯对七星瓢虫成虫及幼虫毒力

Tab. 1 Toxicity of paraquat on adults and larvae of ladybird

试虫 (七星瓢虫)	毒力回归 方程	相关 系数 $r$	显著性 水平	LC <sub>50</sub> (95% 置信区间) / (mL·L <sup>-1</sup> )	LC <sub>20</sub> (95% 置信区间) / (mL·L <sup>-1</sup> )
雌成虫	$y = 11.803 0x - 13.615 0$	0.998 0	0.001 9	37.77(35.25~40.47)	32.06(28.30~36.32)
雄成虫	$y = 11.556 0x - 13.474 0$	0.997 9	0.002 0	39.69(37.11~42.44)	33.57(30.07~37.48)
三龄幼虫	$y = 8.391 9x - 4.122 6$	0.992 5	0.007 5	12.22(9.79~15.25)	9.70(6.79~13.87)

表 2 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫捕食速率的影响

Tab. 2 Effects of sublethal doses of paraquat on predatory rates of ladybirds

时间 /h	七星瓢虫幼虫				七星瓢虫雌成虫				七星瓢虫雄成虫			
	LC <sub>20</sub>	对照	$T$ 检 验值	显著性 水平	LC <sub>20</sub>	对照	$T$ 检 验值	显著性 水平	LC <sub>20</sub>	对照	$T$ 检 验值	显著性 水平
4	3.93±0.75	5.22±0.64	-5.169	0.000	3.85±0.83	4.25±0.44	-1.163	0.249	3.82±0.77	3.93±0.53	-0.542	0.590
8	3.62±0.86	4.35±0.58	-3.691	0.000	3.08±0.46	3.95±0.58	-3.076	0.03	3.03±0.43	3.32±0.47	-1.404	0.166
12	3.37±0.39	4.12±0.18	-4.086	0.000	2.25±0.39	2.83±0.18	-1.854	0.069	2.15±0.37	2.38±0.26	-1.296	0.200
18	2.33±0.97	2.88±0.42	-2.275	0.027	1.80±0.67	2.18±0.42	-1.388	0.170	1.63±0.54	1.85±0.72	-1.477	0.145
24	1.82±0.12	2.65±0.63	-3.435	0.001	1.50±0.12	1.97±0.63	-1.760	0.084	1.35±0.24	1.68±0.57	-1.951	0.056
24h 下 降率/%	31.32	—	—	—	24.47	—	—	—	19.64	—	—	—

表 3 摄食后七星瓢虫搜索轨迹平均弯曲角度总和(不分左右)及平均角速度

Tab. 3 The total curvilinear angles and the angular velocities of ladybirds

时间 /s	统 计 项	七星瓢虫幼虫				七星瓢虫雌成虫				七星瓢虫雄成虫			
		LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 验值	显著性 水平	LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 验值	显著性 水平	LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 验值	显著性 水平
0~15	$\varphi$ / (°)	315.86±9.31	418.40±9.87	7.510	0.000	401.73±14.66	496.87±14.07	4.363	0.001	421.00±23.65	524.00±21.44	3.183	0.007
	$\omega$ / (°/s)	21.06	27.89			26.78	33.12			28.07	34.93		
15~30	$\varphi$ / (°)	220.93±10.01	296.33±9.24	5.771	0.000	331.53±16.26	463.40±48.14	6.923	0.002	244.53±17.46	335.93±22.34	3.016	0.009
	$\omega$ / (°/s)	14.73	19.76			22.10	30.89			16.30	22.40		
30~45	$\varphi$ / (°)	237.13±10.60	290.47±12.38	3.481	0.004	204.93±16.86	262.87±20.04	2.587	0.022	247.13±16.88	343.20±24.80	3.431	0.004
	$\omega$ / (°/s)	15.81	19.36			20.33	24.19			16.48	22.88		
45~60	$\varphi$ / (°)	221.27±13.19	284.93±15.18	2.633	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\omega$ / (°/s)	14.75	19.00			—	—			—	—		

$\varphi$ : 七星瓢虫在不同时间段内的平均弯曲角度总和;  $\omega$ : 不同时间段内的平均弯曲角速度

百草枯处理七星瓢虫幼虫在 0~ 15, 15~ 30, 30~ 45 s 期间搜索轨迹平均弯曲角度总和与对照比较,  $T$  检验值在 0.01 水平上呈显著差异, 45~ 60 s 期间  $T$  检验值在 0.05 水平上呈显著差异. 百草枯处理雌成虫在 0~ 15, 15~ 30 s 期间搜索轨迹平均弯曲角度与对照比较,  $T$  检验值在 0.01 水平上呈显著差异, 30~ 45 s 期间  $T$  检验值在 0.05 水平上呈显著差异. 百草枯处理雄成虫不同时间段在 0.01 水平上  $T$  检验值与对照相比均呈显著差异. 由各处理弯曲角度变化情况计算出百草枯处理七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫平均搜索角速度较对照分别下降 18.36% ~ 25.44%, 15.97% ~ 28.46% 和 19.66% ~ 27.99%.

2.3.2 百草枯对七星瓢虫摄食甘蓝蚜后搜索轨迹各停点间距离的影响 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫摄食蚜虫后的搜索行为轨迹各停点间平均距离和平均搜索线速度也会产生一定的影响. 表 4 所示为七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫在 LC<sub>20</sub> 剂量百草枯影响下不同时间段摄食后的搜索轨迹各停点间平均距离和平均线速度变化情况.

通过各处理组与对照组比较的  $T$  检验结果, 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫搜索轨迹各停点间平均距离的影响顺序依次为雌成虫(小于或接近 0.01) > 幼虫(小于 0.05) > 雄成虫(大于或接近 0.05). 由各停点间平均距离计算不同时间段七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫经百草枯处理后的平均搜索线速度分别较对照下降 19.42% ~ 27.36%, 19.40% ~ 29.01% 和 13.90% ~ 21.82%.

2.3.3 百草枯对七星瓢虫摄食甘蓝蚜后摄食点至

各停点间距离的影响 亚致死剂量百草枯对七星瓢虫摄食蚜虫后的搜索行为轨迹半径和搜索范围也会产生较显著的影响. 表 5 所示为七星瓢虫幼虫、雌成虫、雄成虫在 LC<sub>20</sub> 剂量百草枯影响下搜索轨迹摄食点至各停点间平均距离和平均搜索范围变化情况.

由不同处理组与对照组比较的  $T$  检验结果可以看出, 百草枯对七星瓢虫搜索轨迹摄食点至各停点间平均距离的影响顺序依次为雌成虫(接近 0.01) > 幼虫(小于 0.05) > 雄成虫(大于或接近 0.05). 该结果与各停点间平均距离的测定结果相一致. 通过摄食点到各停点的平均距离还可以计算出百草枯影响下七星瓢虫摄食后搜索领域范围的变化情况. 七星瓢虫幼虫搜索领域较之对照缩小 35.11% ~ 44.49%, 雌成虫搜索领域缩小 29.58% ~ 41.56%, 雄成虫搜索领域缩小 36.24% ~ 40.60%.

### 3 讨论

本研究以百草枯为案例, 分析了该除草剂对七星瓢虫捕食和限域搜索行为的影响, 证实了非杀虫剂类农药同样会对天敌昆虫产生负面影响. 以七星瓢虫为案例的农药生态风险评估方法的研究, 为非杀虫剂类农药的生态风险评估提供了理论依据和方法参考. 此外, 研究中所采用的喷雾接触法模拟了大田天敌所处的环境, 当田间施药以后, 捕食性天敌七星瓢虫爬行于喷过药剂的叶面而接触到化学药剂, 或者当它们捕食已中毒的猎物时也会受到药剂的污染, 由此模拟出的实验结果对于指导生产上合理用药是十分有意义的.

表 4 摄食后七星瓢虫幼虫各停点间平均距离和平均线速度

Tab. 4 The average distances and linear velocities between stops of ladybirds

地点	统计项	七星瓢虫幼虫			七星瓢虫雌成虫			七星瓢虫雄成虫		
		LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 显著性 验值 水平	LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 显著性 验值 水平	LC <sub>20</sub> 百草枯	清水	$T$ 检 显著性 验值 水平
摄食点至 第 1 停点	$L/cm$ $V/(cm \cdot s^{-1})$	1.45 ± 0.14 0.10	1.80 ± 0.10 0.12	2.313 0.036	1.35 ± 0.11 0.09	1.73 ± 0.11 0.12	2.909 0.011	0.86 ± 0.09 0.06	1.10 ± 0.11 0.07	1.514 0.152
第 1 至第 2 停点	$L/cm$ $V/(cm \cdot s^{-1})$	2.21 ± 0.14 0.15	2.96 ± 0.21 0.20	2.454 0.028	2.20 ± 0.14 0.15	2.73 ± 0.14 0.18	2.638 0.019	1.51 ± 0.11 0.10	1.83 ± 0.15 0.12	1.912 0.077
第 2 至第 3 停点	$L/cm$ $V/(cm \cdot s^{-1})$	2.39 ± 0.14 0.16	3.29 ± 0.14 0.22	4.001 0.001	3.99 ± 0.26 0.27	5.62 ± 0.37 0.37	9.445 0.00	2.23 ± 0.14 0.15	2.59 ± 0.14 0.17	2.417 0.030
第 3 至第 4 停点	$L/cm$ $V/(cm \cdot s^{-1})$	2.89 ± 0.23 0.19	3.81 ± 0.19 0.25	2.868 0.012	— —	— —	— —	— —	— —	— —

$L$ : 搜索轨迹在不同停点时间的平均距离;  $V$ : 不同停点间的平均搜索线速度

表 5 摄食后七星瓢虫幼虫摄食点至各停点间的平均距离和平均搜索范围

Tab. 5 The linear distances from food to different stops and the searching areas of ladybirds

地点	统计项	七星瓢虫幼虫				七星瓢虫雌成虫				七星瓢虫雄成虫			
		LC <sub>20</sub>		T 检 显著性		LC <sub>20</sub>		T 检 显著性		LC <sub>20</sub>		T 检 显著性	
		百草枯	清水	验值	水平	百草枯	清水	验值	水平	百草枯	清水	验值	水平
摄食点至第 1 停点	L/cm	1.45±0.14	1.80±0.10	2.313	0.036	1.35±0.11	1.73±0.11	2.909	0.011	0.86±0.09	1.10±0.11	1.514	0.152
	S/cm <sup>2</sup>	6.60	10.18			5.73	9.40			2.32	3.80		
摄食点至第 2 停点	L/cm	1.87±0.17	2.51±0.22	2.436	0.029	2.40±0.17	2.86±0.18	2.415	0.030	1.21±0.11	1.57±0.13	2.574	0.022
	S/cm <sup>2</sup>	10.98	19.79			18.10	25.70			4.60	7.74		
摄食点至第 3 停点	L/cm	2.77±0.24	3.47±0.21	2.644	0.019	4.09±0.30	5.35±0.35	3.116	0.008	2.10±0.16	2.63±0.12	2.879	0.012
	S/cm <sup>2</sup>	24.10	37.83			52.55	89.92			13.85	21.73		
摄食点至第 4 停点	L/cm	2.93±0.17	3.65±0.26	2.175	0.047	—	—	—	—	—	—	—	—
	S/cm <sup>2</sup>	26.97	41.85			—	—			—	—		

L: 搜索轨迹摄食点至各停点间的平均距离; S: 不同时间段的平均搜索范围

捕食速率下降是百草枯对七星瓢虫亚致死效应的重要体现。亚致死剂量百草枯可能导致七星瓢虫感觉器官的敏感性降低, 对外界刺激的反应速度变慢, 这一点已经通过其它相关文献<sup>[22~24]</sup>得到证实。对于杀虫剂类农药对天敌的亚致死效应曾有一些报道, 稻田施用 1 次杀虫双, 拟水狼蛛捕食褐飞虱的功能 7 d 才能恢复, 而频繁使用甲胺磷则由于削弱了天敌的控害功能, 易导致褐飞虱再猖獗<sup>[21]</sup>。亚致死剂量的抗蚜威、兴棉宝、乐果等可引起蚜茧蜂的功能反应从 Holling II 型变为 S 型, 搜索能力下降, 攻击效率降低<sup>[22]</sup>。亚致死剂量的杀虫剂还对天敌的生长发育<sup>[23]</sup>、觅食活动<sup>[24]</sup>、繁殖<sup>[25]</sup>等存在不同程度的影响。而除草剂等非杀虫剂类的农药对天敌产生的影响, 在目前的报道中尚属首次。该实验证实了田间正常使用剂量的百草枯不会对七星瓢虫成虫构成严重杀伤作用, 但会对七星瓢虫幼虫产生严重威胁。同样, 毒力实验和捕食速率实验显示的重要信息是七星瓢虫幼虫更容易受到百草枯的侵害, 其原因可能是因为成虫厚厚的“盔甲”对百草枯的侵蚀起到了一定的保护作用。

由于亚致死剂量百草枯干扰了七星瓢虫幼虫和雌、雄成虫的食饵搜索行为, 改变了不同限域搜索反应的轨迹特征, 这也是本文对农药亚致死剂量造成昆虫钝态<sup>[22]</sup>的一种描述方法。行为生态反应的改变必然引起种群生态的变动。任何对天敌捕食行为的损伤或导致其对猎物进攻推迟的因素都会使天敌对害虫的控制作用被削弱甚至丧失。同时, 天敌行为的改变是影响害虫与天敌种群平衡的因素之一<sup>[26]</sup>。出现了钝态的七星瓢虫在单位时间内

对害虫采取限域搜索时的搜索区域缩小、速度降低, 这就是害虫天敌由于农药亚致死剂量的影响而出现的钝态对害虫种群数量影响的信息传递。

对幼虫的影响在短期内得以表现, 但长期、大量的使用除草剂同样可能对成虫的捕食和搜索行为产生影响。其具体表现为天敌在单位时间内捕食猎物数量的降低, 对害虫的控制能力被削弱; 雌成虫搜索能力降低的同时繁育后代的能力可能被削弱, 具体表现应为产卵量减少、孵化率、成活率降低, 这一推断仍需后续试验加以验证。

除了对害虫天敌的影响外, 除草剂对其它生物, 包括微生物、植物、高等动物以及人类均存在亚致死效应的现象。深入研究除草剂在生态系统中的影响, 对合理使用除草剂, 减少其不良副作用将具有积极意义。由于除草剂种类、施用条件和方法以及受药昆虫的种类、年龄、生理状况和生态型的不同, 其对天敌的亚致死效应也是千差万别的。但仅以死亡率、繁殖率以及行为学等方面的参数来评价除草剂的亚致死影响, 均只是从生物个体水平上的评估。若能从种群水平、群落水平乃至生态系统水平进行评估, 对研究生态系统的承压能力、恢复能力、系统内种群的相互作用及生物群落与生态环境间的关系等将更具有现实意义。目前已有一些成熟的研究方法可供我们借鉴: Wright 等<sup>[27]</sup>综述了农药对有益节肢动物影响的评估方法, 包括间接影响、亚致死效应以及田间、半田间条件下农药有效度的评价等, 并考虑到天敌对农药敏感性的种间及种内差异。Stark 等<sup>[28]</sup>证实统计毒理学分析可作为一种估计农药对种群总效应(致死和亚致死效应)

的有效评估方法.

事实上, 药剂的作用往往与使用的剂量密切相关. 如何在实际操作中将施用药剂的剂量控制在对害虫有效但对天敌相对安全的剂量范围内是至关重要的. 完全杜绝农药的使用目前在我国的广大地区尚不现实, 同样要求药剂对天敌绝对无副作用也是难以实现, 尚须做很多探索. 总之, 在防治有害生物时, 不完全依赖化学农药, 逐步扩展生物防治的使用范围和所占比例是提高农业生态系统对不利因素的抵抗能力, 发展生态农业、绿色农业的必由之路.

### 参考文献:

- [1] Pesticide Action Network Asia and Pacific (PANAP). Paraquat[Z], 2003.
- [2] 叶敏. 云南省农药使用中的生态环境问题及对策[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1998, 20(生物专辑): 602-604.
- [3] 李晓光, 蓝远强. 百草枯中毒 31 例诊治体会[J]. 医学文选, 2004, 23(6): 755.
- [4] BROOKS A I, CHADWICK C A, GELBARD H A, et al. Paraquat elicited neurobehavioural syndrome caused by dopaminergic neuron loss[J]. Brain Res, 1999, 823(12): 1-10.
- [5] McCormack A L, THIRUCHELVAM M, Manning Bog A B, et al. Environmental risk factors and Parkinson's disease: selective degeneration of nigral dopaminergic neurons caused by the herbicide paraquat[J]. Neurobiol Dis, 2002, 10(2): 119-127.
- [6] MOLLACE V, IANNONE M, MUSCOLI C, et al. The role of oxidative stress in paraquat-induced neurotoxicity in rats: protection by non peptidyl superoxide dismutase mimetic[J]. Neurosci Lett, 2003, 335(3): 163-166.
- [7] 李新花, 丁玉梅. 百草枯中毒 32 例抢救与护理[J]. 齐鲁护理杂志, 2005(1): 39.
- [8] DENG X, TANG Q F. Effects of Paraquat on soil microorganism[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(4): 146-149.
- [9] HAN J C, ZHANG Y J, LIU H P, et al. Influences of insecticides and herbicides on the growth of the biocontrol fungus *Coniothyrium minitans* campbell[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(4): 150-152.
- [10] LEWIS R ANDERSON, JOSEPH A. Land use and anuran biodiversity in Southeast Kansas, USA[J]. Amphibian and Reptile Conservation, 2006, 4(1): 46-59.
- [11] Mark W Brown, Thomas Tworkoski. Enhancing biocontrol in orchards by increasing food web biodiversity[J]. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 2006, 14(3): 19-27.
- [12] THAMAN R R. Island life in the 21<sup>st</sup> century: current status and challenges for mainstreaming the conservation and sustainable use of biodiversity in the pacific islands[C]. //7th Pacific Island conference on Nature Conservation and Protected Areas. Rarotonga, Cook island, 2002, 8-12.
- [13] 陈澜. 中国生态农业发展的背景、现状和展望[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, 26(6A): 140-144.
- [14] BANKS C J. The Behavior of individual coccinellid larvae plants[J]. Br J Anim Behav, 1957(5): 12-24.
- [15] 邹运鼎. 农林昆虫生态学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989.
- [16] SMITH J N M. The food searching behavior of two European thrushes I. Description and analysis of search paths[J]. Behavior, 1974, 48: 276-302.
- [17] SMITH J N M. The food searching behavior of two European thrushes II. The adaptiveness of the search patterns[J]. Behavior, 1974, 48: 276-302.
- [18] WANG Xiao-yi, SHEN Zu-rui. Effects of sublethal doses of insecticides on predation of multicolored asian ladybird *Harmonia axyridis* (pallas) (coleoptera: coccinellidae)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2278-2284.
- [19] NAKAMUTA K. Swichover in searching behavior of the ladybeetle, *Coccinella septempunctata* L (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. Appl Ent Zool, 1982, 19: 123-125.
- [20] NAKAMUTA K. Sequence of predatory behavior of the ladybeetle, *Coccinella septempunctata* L (Coleoptera: Coccinellidae) on the green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (homoptera: Aphididae)[J]. Appl Ent Zool, 1983, 18: 559-561.
- [21] WU J C, XU J X, LI G S. Impact of several insecticides on the predation function of *Pirata subpiraticus*[J]. Acta Entomologica Sinica, 1997, 40(1): 165-171.
- [22] GU D J, YU M G, HOU R H. The effects of sublethal doses of insecticides on the foraging behavior of parasitoid, *Diaeretiella rapae* (Hym.: Braconidae)[J]. Acta Ecologica Sinica, 1991, 11(4): 324-329.
- [23] SELL P. Efficiency of aphid predator *Aphidletes aphidimyza* (Rond) (Diptera: Cecidomyiidae) after exposure of 2 and 3-day-old larvae to insecticides and fungicide deposits[J]. Zeitschriftfur Pf Lanzenkrankheiten and Pf Lanzenschutz, 1985, 92(2): 157-163.

- [ 24 ] UMORU P A, POWELL W, CLARK S J. Effect of pirimicarb on the foraging behavior of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) on host-free and infested oilseed rape plants[J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86(2): 193-201.
- [ 25 ] SPOLLEN K M, ISMAN M B. Acute and sublethal effects of a neem insecticide on the commercial biological control agents *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 1996, 89(6): 1379-1386.
- [ 26 ] IRVING S N. Effects of sublethal doses of pesticides on oviposition of *Encarsia Formosa*[J]. Ann Appl Biol, 75: 57-62.
- [ 27 ] STARK J D. Wennergren, Can population effects of pesticides be predicted from demographic toxicological studies? [J]. Journal of Economic Entomology, 1995, 66(5): 1089-1096.
- [ 28 ] SCHMUCK R, TORNIER I, BOCK K D, et al. A semi-field testing procedure using the ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* L. (Col.: Coccinellidae), for assessing the effects of pesticides on nontarget leaf-dwelling insects under field exposure[J]. Canadian J Applied Entomology, 1997, 121: 111-120.

## Sublethal effect of Paraquat on predation and area-restricted searching behavior the Ladybird Beetle *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae)

XU Rui<sup>1</sup>, WU Di<sup>2</sup>, YANG Song<sup>1</sup>, LIU Xia<sup>2</sup>,  
HUANG Yi<sup>2</sup>, ZHOU Jixuan<sup>1</sup>, KUANG Rongping<sup>1</sup>

(1. School of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Biology Protection Department, Southwest Forest College, Kunming 650224, China)

**Abstract:** The impact of sublethal doses of Paraquat on predation and area-restricted searching behavior of the ladybird beetle *Coccinella septempunctata*, most commonly simply called the ladybird, was studied by infecting ladybirds with different concentration of Paraquat and watching their life history. The results showed that although the commonly used concentration (20 mL/L) of paraquat in field was lower than the LC<sub>50</sub> for female and male adults, it could cause 95.7% mortality to larvae. The predation speeds and area-restricted searching effects of both adults and larvae ladybirds were significantly affected by Paraquat.

**Key words:** Paraquat; ladybird; predation speed; area-restricted searching; sublethal