

硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 的毒性效应

何忠文 席贻龙* 陈 艳

(安徽师范大学生命科学学院 安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室 芜湖 241000)

摘要: 为了解亚致死浓度的有机氯农药硫丹和狄氏剂对枝角类的急性、慢性和联合毒性作用, 采用急性毒性实验方法研究了硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 (*Moina macrocopa*) 的 48 h 半效应浓度, 应用生命表实验方法研究了亚致死浓度的硫丹(0, 52 和 208 $\mu\text{g/L}$ 和狄氏剂(0, 12 和 48 $\mu\text{g/L}$) 对多刺裸腹 生命表统计学参数的影响。结果表明, 硫丹及狄氏剂对多刺裸腹 的 48 h 半效应浓度是 834.9 和 185.8 $\mu\text{g/L}$ 。硫丹对多刺裸腹 出生时的生命期望(e_0 、世代时间(T) 和净生殖率(R_0) 有显著的影响($P < 0.05$), 但对种群内禀增长率(r_m) 没有显著的影响($P > 0.05$); 狄氏剂仅对种群内禀增长率有显著的影响($P < 0.05$); 硫丹与狄氏剂的交互作用对所有生命表统计学参数均无显著影响($P > 0.05$)。与硫丹浓度为 0 时相比, 52 和 208 $\mu\text{g/L}$ 的硫丹均使多刺裸腹 的 e_0 和 T 显著缩短, R_0 显著降低; 与狄氏剂浓度为 0 时相比, 48 $\mu\text{g/L}$ 的狄氏剂使多刺裸腹 的 r_m 显著升高。这说明硫丹与狄氏剂对多刺裸腹 的联合作用形式是独立相加, 没有产生协同作用。

关键词: 硫丹; 狄氏剂; 多刺裸腹 ; 急性毒性; 生命表统计学参数

中图分类号: Q494 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2009)05-86-06

Toxicological Effects of Endosulfan and Dieldrin on *Moina macrocopa*

HE Zhong-Wen XI Yi Long* CHEN Yan

(Provincial Key Laboratory of Biotic Environment & Ecological Safety in Anhui, Life Science College, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: In order to investigate acute, chronic and joint toxicity of sublethal concentrations of endosulfan and dieldrin, the half effect concentrations of endosulfan and dieldrin to *Moina macrocopa* were tested respectively, and the effects of endosulfan (0, 52 and 208 $\mu\text{g/L}$ and dieldrin (0, 12 and 48 $\mu\text{g/L}$) on the life table demography of the cladoceran were studied. The results showed that the EC_{50} values to endosulfan and dieldrin for *M. macrocopa* were 834.9 and 185.8 $\mu\text{g/L}$, respectively. The endosulfan concentration affected significantly the life expectancy at birth, generation time and net reproductive rate, but did not influence the intrinsic rate of population increase of *M. macrocopa*. The dieldrin concentration affected markedly only intrinsic rate of population increase. The interactions between endosulfan and dieldrin concentrations on all the life table demographic parameters of *M. macrocopa* were not significant. Compared with those when the concentration of endosulfan was zero, endosulfan at 52 and 208 $\mu\text{g/L}$ decreased markedly the life expectancy at birth, generation time and net reproductive rate. Compared with those when

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30470323), 教育部科学技术研究重点基金项目(No. 051286), 安徽省优秀青年基金项目(No. 04043050), 安徽省教育厅自然科学基金重点项目(No. 2003kj032xl), 重要生物资源的保护和利用研究安徽省重点实验室专项基金项目;

* 通讯作者, E-mail: yki1965@yahoo.com.cn;

第一作者介绍 何忠文, 男, 硕士研究生; 研究方向: 水生态毒理学; E-mail: nubp2005@mail.ahnu.edu.cn.

收稿日期: 2009-02-16, 修回日期: 2009-06-26

the concentration of dieldrin was zero, dieldrin at 48 $\mu\text{g/L}$ increased the intrinsic rate of population increase of *M. macrocpa*.

Key words: Endosulfan; Dieldrin; *Moina macrocpa*; Acute toxicity; Life table demography

在研究了大量的单一污染物毒性后, 越来越多的学者开始关注两种或两种以上污染物的联合毒性效应。随着技术的改进和认识的深入, 现代生态毒理学已经开始深入研究污染物在环境中真实而又复杂的作用行为, 低剂量复合污染物的慢性毒性效应是其研究的重要内容之一^[1]。水体污染物的种类繁多, 化合物间极有可能存在的复合作用使毒性结果发生很大变化, 特别是当每种化合物各自以很低的浓度共存时, 联合毒性研究的意义尤为重大。

有机氯杀虫剂 (organochlorine pesticides, OCPs) 曾因高毒性、杀虫效果好而被大量生产和使用, 以至于在 OCPs 被禁用多年后的今天仍可以从土壤^[2-4]、水体^[5]、沉积物^[6]、食品^[7]以及动物和人的脂肪组织^[8]中检出很高的残留量, 而且多种 OCPs 往往同时残留于生物及人的体外和体内^[1]。硫丹和狄氏剂是两种曾经被广泛使用的有机氯杀虫剂。其中, 硫丹被认为是其他有机氯杀虫剂 (如狄氏剂) 的安全替代品而在全世界被广泛使用, 也是极少数几种至今仍在使用有机氯杀虫剂的候选化合物之一^[9]。关于硫丹和狄氏剂对水生生物如枝角类^[10-12]、鱼类^[13, 14]的单一毒性作用研究已有较多报道; 而关于这二者的联合毒性作用研究并不多见, 且主要集中于细胞水平上探讨二者在雌激素效应上的交互作用方式^[15, 16]。

多刺裸腹 (*Moina macrocpa*) 在东南亚主要生活于池塘和水稻田等自然水体中, 属于浮游甲壳类动物, 是鱼类的重要饵料, 是水生生态系统中食物链的重要环节。由于其具有分布范围广、生命周期短、对许多污染物敏感性强、能通过孤雌生殖获得纯系等优点^[17], 被许多学者用作受试生物来研究单一污染物的毒性^[19-22]。

本文采用急性毒性实验方法研究了硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 的急性毒性; 应用生命表实验方法, 采用 2×3 完全析因设计, 研究了亚

致死浓度的硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 的慢性毒性, 并探讨了它们的联合毒性效应。

1 材料与方法

1.1 受试生物的来源和培养 实验所用多刺裸腹 由日本长崎大学提供, 在实验室内温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光强为 2 500~4 000 lx、光照和黑暗比为 12/12 条件下进行克隆培养。培养时间在 3 个月以上, 培养用水为曝气自来水, 所用的饵料是由 HB-4 培养基^[17]培养的、处于指数增长期的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*), 投喂密度为 1.0×10^6 cell/ml^[22]。实验所用多刺裸腹 是在标准实验条件下经过三代孤雌生殖后的幼体。

1.2 测试液的配制 实验所用的硫丹和狄氏剂均为德国 SIGMA 公司生产, 纯度 > 99.5%。测试液的配制采用母液稀释的方法, 实验前用丙酮配制成 1 g/L 的原液, 再用蒸馏水稀释成 10 mg/L 的母液。实验时用曝气自来水将其配制成所需浓度的溶液。测试液中丙酮的最高含量不超过 0.01% (体积比)。

1.3 硫丹和狄氏剂的单一急性毒性实验 实验在 50 ml 的烧杯中进行, 每个烧杯中加入 10 个多刺裸腹 幼体 (龄长 < 8 h 和 50 ml 测试液 (内含密度为 1.0×10^6 cell/ml 的小球藻)。通过概率单位法分别计算出硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 48 h 的半效应浓度 (half effect concentration, EC_{50})。

1.4 硫丹和狄氏剂的慢性毒性实验 采用半静态实验方法。测试液浓度的设计采用 2×3 完全析因设计: 硫丹 (0, $1/16 \text{ EC}_{50}$ 和 $1/4 \text{ EC}_{50}$) 与狄氏剂 (0, $1/16 \text{ EC}_{50}$ 和 $1/4 \text{ EC}_{50}$) 互配成 9 组, 即 0 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 0 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、0 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 12 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、0 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 48 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、52 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 0 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、52 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 12 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、52 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 48 $\mu\text{g/L}$ 狄氏剂、208 $\mu\text{g/L}$ 硫丹 + 0

μg/L 狄氏剂、208 μg/L 硫丹+ 12 μg/L 狄氏剂和 208 μg/L 硫丹+ 48 μg/L 狄氏剂, 另加一个丙酮对照, 共 10 组实验, 每组 3 个重复。实验也在 50 ml 的烧杯中进行, 每个烧杯中加入 10 个多刺裸腹

幼体(龄长 < 8 h 和 50 ml 测试液(内含密度为 1.0×10^6 cell/ml 的小球藻)。实验过程中, 每天更换一次测试液, 保证 24 h 内农药浓度为起始浓度的 90% 以上; 更换测试液的同时取出新生幼, 记录母 的生殖窝数、产幼体数和存活数。实验持续到全部母体死亡为止。根据多刺裸腹 的存活率和繁殖率, 参照 Xi 等^[21] 的方法, 通过构建生命表计算出多刺裸腹 出生时的生命期望、世代时间、净生殖率和种群内禀增长率等生命表统计学参数。

1.5 实验数据的统计分析 使用 SPSS 软件对所有数据作正态性分布检验后, 对符合正态性分布的数据进行双因素方差分析, 采用多重比

较(LSR 分析每种参数的平均数在各组间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 的单一急性毒性 急性毒性实验结果表明, 硫丹对多刺裸腹 的 48 hr EC₅₀ 是 834.9 μg/L (95% 置信限为 638.5~ 1 287.3 μg/L), 狄氏剂对多刺裸腹 的 48 hr EC₅₀ 是 185.8 μg/L (95% 置信限为 136.2~ 245.4 μg/L)。

2.2 硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 的慢性毒性 与空白对照组相比(0 μg/L 狄氏剂+ 0 μg/L 硫丹, 丙酮对多刺裸腹 的存活率无显著的影响。当狄氏剂浓度分别为 0 和 12 μg/L 时, 多刺裸腹 的存活率随着硫丹浓度的升高而降低。与此相似的是, 当硫丹浓度为 52 μg/L 时, 多刺裸腹 的存活率随着狄氏剂浓度的升高而降低

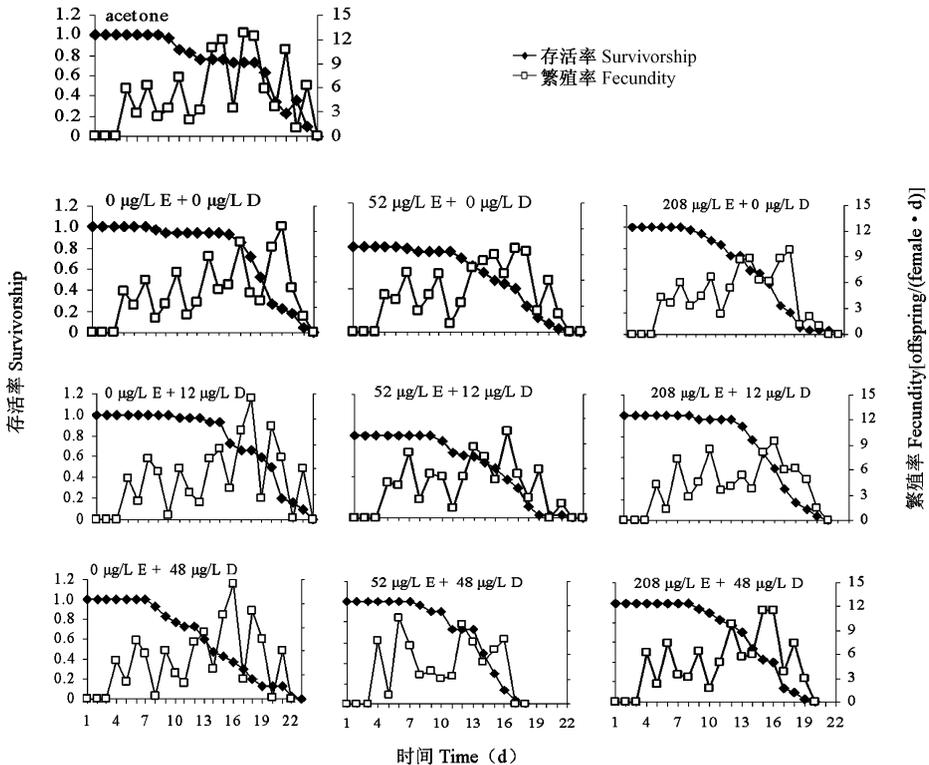


图 1 不同浓度的硫丹与狄氏剂组合下多刺裸腹 的存活率和繁殖率
 Fig. 1 Age specific survivorship and fecundity of *Moina macrocopa* exposed to different combinations of endosulfan and dieldrin concentrations

E 代表硫丹, D 代表狄氏剂。E represented endosulfan, and D represented dieldrin.

(图 1)。当狄氏剂浓度分别为 0、12 和 48 $\mu\text{g/L}$ 时, 208 $\mu\text{g/L}$ 的硫丹使多刺裸腹 的繁殖率显著低于无硫丹存在时。无论硫丹的浓度如何, 狄氏剂对多刺裸腹 的繁殖率均无显著的影响, 但多刺裸腹 的繁殖率最大值出现的时间随着狄氏剂浓度的升高而提前(图 1)。

双因素方差分析结果表明, 硫丹对多刺裸腹 出生时的生命期望(e_0)、世代时间(T)和净生殖率(R_0)有显著的影响($P < 0.05$), 但对

种群内禀增长率(r_m)没有显著的影响($P > 0.05$); 狄氏剂仅对种群内禀增长率有显著的影响($P < 0.05$); 而硫丹和狄氏剂的交互作用对所有生命表统计学参数均无显著的影响($P > 0.05$)。与硫丹浓度为 0 时相比, 52 $\mu\text{g/L}$ 和 208 $\mu\text{g/L}$ 的硫丹均使多刺裸腹 的 e_0 和 T 显著缩短, R_0 显著降低; 与狄氏剂浓度为 0 时相比, 48 $\mu\text{g/L}$ 的狄氏剂使多刺裸腹 的 r_m 显著升高(表 1、2)。

表 1 不同浓度的硫丹和狄氏剂组合下多刺裸腹 出生时的生命期望(e_0)、世代时间(T)、净生殖率(R_0)和种群内禀增长率(r_m)

Table 1 Life expectancy at birth (e_0), generation time (T), net reproductive rate (R_0) and intrinsic rate of population increase (r_m) of *Moina macrocopa* exposed to different combinations of endosulfan and dieldrin concentrations (Mean \pm SE)

参数 Parameters	狄氏剂 Dieldrin ($\mu\text{g/L}$)	硫丹 Endosulfan ($\mu\text{g/L}$)		
		0	52	208
生命期望(d)	0	15.93 \pm 0.57	13.80 \pm 1.10*	12.83 \pm 0.75*
Life expectancy at birth	12	15.90 \pm 1.08	13.06 \pm 0.90*	13.77 \pm 0.63*
	48	13.30 \pm 1.15	12.43 \pm 0.43*	13.27 \pm 0.63*
	世代时间(d)	0	10.52 \pm 0.18	9.69 \pm 0.53
Generation time	12	10.57 \pm 1.01	8.71 \pm 0.34*	8.73 \pm 0.34*
	48	9.70 \pm 0.70	7.78 \pm 0.21*	9.18 \pm 0.21*
	净生殖率(ind)	0	69.05 \pm 0.49	61.97 \pm 6.41*
Net reproductive rate	12	72.97 \pm 2.89	55.97 \pm 6.52*	61.05 \pm 4.60*
	48	65.92 \pm 9.03	55.97 \pm 8.44*	60.12 \pm 4.87*
	种群内禀增长率(/d)	0	0.70 \pm 0.03	0.71 \pm 0.02
Intrinsic rate of population increase	12	0.72 \pm 0.04	0.72 \pm 0.01	0.78 \pm 0.05*
	48	0.77 \pm 0.04*	0.80 \pm 0.06*	0.75 \pm 0.05*

* 与空白对照组相比有显著性差异($P < 0.05$)。* Significantly different from the blank controls ($P < 0.05$).

表 2 硫丹和狄氏剂对多刺裸腹 生命表参数影响的双因素方差分析结果

Table 2 Two way ANOVA of variance for the effects of endosulfan and dieldrin on the demographic parameters of *Moina macrocopa*

参数 Parameters	污染物 Pollutant	df	SS	MS	F	P-value
生命期望(d)	硫丹 Endosulfan(E)	2	21.838	10.919	5.506	0.013
	狄氏剂 Dieldrin(D)	2	8.989	4.494	2.266	0.131
	E \times D	4	9.107	2.277	1.148	0.361
世代时间(d)	硫丹 Endosulfan(E)	2	13.138	6.569	9.545	0.001
	狄氏剂 Dieldrin(D)	2	3.167	1.583	2.301	0.127
	E \times D	4	4.269	1.067	1.551	0.228
净生殖率(ind)	硫丹 Endosulfan(E)	2	772.466	386.233	4.576	0.024
	狄氏剂 Dieldrin(D)	2	31.846	15.923	0.189	0.830
	E \times D	4	185.501	46.375	0.549	0.702
种群内禀增长率(/d)	硫丹 Endosulfan(E)	2	0.002	0.001	0.686	0.516
	狄氏剂 Dieldrin(D)	2	0.021	0.010	5.991	0.010
	E \times D	4	0.009	0.002	1.289	0.309

E \times D 代表硫丹和狄氏剂的交互作用, SS 为离均差平方和, MS 为方差。

E \times D represented the interaction between endosulfan and dieldrin, SS represented sum of square, MS represented mean of square.

3 讨论

已有研究结果表明, 硫丹对大型 (*Daphnia magna* 的 48 hr EC₅₀ 为 740 μg/L, 对斑马鱼 (*Zebra fish*、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss* 及蓝鳃太阳鱼 (*Lepomis macrochirus* 的 48 hr EC₅₀ 分别为 2.49、0.17 和 4.4 μg/L^[23]。本实验结果表明, 硫丹对多刺裸腹 的 48 hr EC₅₀ 为 834.9 μg/L, 高于大型 和鱼类的研究结果, 这说明大型 对硫丹的敏感性比多刺裸腹 强, 而鱼类对硫丹的敏感性要比多刺裸腹 和大型 强得多。狄氏剂对隆线 (*D. carinata*、蚤状 (*D. pulex*、球潮虫 (*Glyptonotus antarcticus* 及克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii* 的 48 hr EC₅₀ 分别 130、250、5 和 740 μg/L, 而对金鱼 (*Carassius auratus* 和虹鳟的 48 hr EC₅₀ 分别为 41 和 2.5 μg/L^[24]。本研究中, 狄氏剂对多刺裸腹 的 48 hr EC₅₀ 为 185.8 μg/L。说明多刺裸腹 对狄氏剂的敏感性强于蚤状 , 但弱于隆线 和球潮虫, 其中球潮虫在上述 4 种甲壳类动物中对狄氏剂最敏感; 而与枝角类相比, 鱼类对狄氏剂更敏感。这可能是因为甲壳类动物的外壳对自身有保护作用, 而鱼皮肤的敏感性较强, 所以鱼类的 EC₅₀ 值较低。

硫丹和狄氏剂毒性的相对强度常因受试生物种类的不同而异。硫丹对钩虾 (*Gammarus fasciatus* 和 *G. lacustris* 的毒性强于狄氏剂^[10], 而对石蝇 (*Pteronarcys californica* 和羽摇蚊 (*Chironomus plumasus* 的毒性均弱于狄氏剂^[25, 26]。本实验结果表明, 硫丹对多刺裸腹 的毒性弱于狄氏剂。

研究发现枝角类的种群内禀增长率主要受第一和第二窝所产幼体数的影响^[18, 19]。本实验中, 多刺裸腹 的种群内禀增长率在狄氏剂浓度为 48 μg/L 时最大, 这与该浓度下多刺裸腹 的第一和第二窝所产幼体数最大相一致。国内外已报道的结果显示, 亚致死剂量的杀虫剂大多对浮游动物的种群增长起抑制作用, 但 5 和 50 μg/L 的 S- 烯虫酯促进了多刺裸腹 的种群

增长^[19], 4.0、6.0 和 8.0 mg/L 的草甘膦 (glyphosate 显著增大了萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus* 的种群增长率^[27], 0.1 和 1 μg/L 的 β-六六六对多刺裸腹 的种群增长也有明显的促进作用^[21]。本研究中, 浓度为 48 μg/L 的狄氏剂使多刺裸腹 的种群内禀增长率显著增大。这一结果表明当水体中存在一定浓度的狄氏剂时, 多刺裸腹 的数量会增加, 从而对水生态系统的结构和功能产生影响。

Chuah 等^[12] 发现硫丹的浓度达到或超过 2 μg/L 时, 多刺裸腹 的平均寿命、首次生殖年龄和内禀增长率显著降低; 与空白对照组相比, 2 μg/L 的硫丹使多刺裸腹 的产卵量下降了 97%。与上述结果相比, 本研究中有关硫丹会显著降低多刺裸腹 的平均寿命和首次生殖年龄等结果与其一致, 但未发现硫丹浓度超过 2 μg/L 时会显著降低内禀增长率。这可能是因为净生殖率和世代时间的同时降低导致内禀增长率的变化很小。Micheal^[16] 研究发现, 狄氏剂和硫丹对由雌激素介导的 MCF7 细胞增殖过程没有协同增效作用, Munacevic^[28] 发现 1/2 LD₅₀ 的溴硫磷和 1/2 LD₅₀ 的硫丹对小鼠 (*Mus musculus* 口服后的死亡率也无协同作用; 但 Demeter 等^[29] 发现酒精和硫丹对人的影响存在协同作用, 硫丹和灭多威、甲基对硫磷和高效氯氟氰菊酯等有机磷农药混合使用, 对杀灭害虫有增毒效果^[30]。本研究发现, 低浓度下, 硫丹和狄氏剂同时存在对多刺裸腹 的存活、生殖和种群增长等的影响也无显著的交互作用。至于较高浓度的硫丹和狄氏剂同时存在时是否会对多刺裸腹 的生命表统计学参数产生交互作用, 仍有待于进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 戴树桂. 环境化学进展. 北京: 化学工业出版社, 2005, 468~ 469.
- [2] 朱雪梅, 郭丽青, 崔艳红等. 污灌水稻土有机氯农药残留分析的样品净化. 环境化学, 2002, 21(2): 177~ 182.
- [3] 龚钟明, 王学军, 李本纲等. 天津地区土壤中 DDT 的残留分布研究. 环境科学学报, 2003, 23(4): 447~ 451.
- [4] Feng K, Yu B Y, Ge D M, et al. Organochlorine pesticide

- (DDT and HCH residues in the Taihu lake region and its movement in soil-water system 1: Field survey of DDT and HCH residues in ecosystem of the region. *Chemosphere*, 2003, **50**: 683~ 687.
- [5] 张祖麟, 陈伟琪, 哈里德等. 九龙江口水体中有机氯农药分布特征及归宿. *环境科学*, 2001, **22**(3): 88~ 92.
- [6] 许士奋, 蒋新, 冯建防等. 气相色谱法测定长江水体悬浮物和沉积物中有机氯农药的残留量. *环境科学学报*, 2000, **20**(4): 94~ 98.
- [7] 郜红建, 蒋新. 有机氯农药在南京市郊蔬菜中的生物富集与质量安全. *环境科学学报*, 2005, **25**(1): 90~ 93.
- [8] 李延红, 郭常义, 汪国权等. 上海地区人乳中六六六、滴滴涕蓄积水平的动态研究. *环境与职业医学*, 2003, **20**(3): 181~ 185.
- [9] Jergentz S, Mugni H, Bonetto C, *et al.* Runoff related endosulfan contamination and aquatic macroinvertebrate response in rural basins near Buenos Aires, Argentina. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2004, **46**: 345~ 352.
- [10] Sanders H O. Toxicity of pesticides to the Crustacean *Gammarus lacustris*. Washington DC: US Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, 1969, 25.
- [11] Sunderam R IM, Thompson G B, Chapman J C, *et al.* Acute and chronic toxicity of endosulfan to two Australian cladocerans and their applicability in deriving water quality criteria. *Arch Environ Contam Toxicol*, 1994, **27**(4): 541~ 545.
- [12] Chuah T S, Loh J Y, Hii Y S. Acute and chronic effects of the insecticide endosulfan on freshwater cladoceran *Moina macrocampa* Straus. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2007, **79**: 557~ 561.
- [13] Shama R M. Effect of endosulfan on adenosine triphosphatase (ATPase) activity in liver, kidney, and muscles of *Channa gachua*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1988, **41**(3): 317~ 323.
- [14] Atif F, Kaur M, Rehman H, *et al.* Modulatory effect of cadmium injection on endosulfan induced oxidative stress in the freshwater fish, *Channa punctata* Bloch. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2005, **74**(4): 777~ 784.
- [15] Arnold S F, Klotz D M, Collins B M, *et al.* Synergistic activation of estrogen receptor with combinations of environment chemicals. *Science*, 1996, **272**: 1489~ 1492.
- [16] Michael G W, Daniel D, Karen L, *et al.* Interactions between endosulfan and dieldrin on estrogen-mediated processes *in vitro* and *in vivo*. *Reprod Toxicol*, 1997, **11**(6): 791~ 798.
- [17] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 410~ 411.
- [18] Wong C K, Chu K H, Shum F F. Acute and chronic toxicity of malathion to the freshwater cladoceran *Moina macrocampa*. *Water, Air Soil Poll*, 1995, **84**(3/4): 399~ 405.
- [19] Chu K H, Wong C K, Chiu K C. Effects of the insect growth regulator (α -methoprene) on survival and reproduction of the freshwater cladoceran *Moina macrocampa*. *Environ Poll*, 1997, **96**(2): 173~ 178.
- [20] Nandini S, Mayeli S M, Sama S S S. Effect of stress on the life table demography of *Moina macrocampa*. *Hydrobiologia*, 2004, **526**(1): 245~ 254.
- [21] 杨冬青, 席贻龙, 姚胜等. β -六六六对多刺裸腹 生命表统计学参数的影响. *动物学杂志*, 2007, **42**(5): 157~ 160.
- [22] Xi Y L, Hagiwara A, Sakakura Y. Combined effects of food level and temperature on life table demography of *Moina macrocampa* Straus (Cladocera). *Internat Rev Hydrobiol*, 2005, **90**(5/6): 546~ 554.
- [23] USEPA. Ambient Water Quality Criteria for Endosulfan. Washington DC: US Environmental Protection Agency, 1980, 124~ 126.
- [24] USEPA. Ambient Water Quality Criteria for Aldrin/ Dieldrin. Washington DC: US Environmental Protection Agency, 1980, 210~ 212.
- [25] Ludemann D, Neumann H. Gber die wirkung der neuzeitlichen kontaktinsektizide auf die tiere des süsswassers. *Anz Schdlingsunde*, 1962, **35**: 5.
- [26] Sanders H O, Cope O B. The relative toxicities of several pesticides to naiads of three species of stoneflies. *Limnol Oceanogr*, 1968, **13**: 112.
- [27] 储昭霞, 席贻龙, 徐晓平等. 除草剂草甘膦对萼花臂尾轮虫生活史特征的影响. *应用生态学报*, 2005, **16**(6): 1142~ 1145.
- [28] Muavecic G. Acute toxicity and cholinesterase inhibition *in vivo* of bromophos ethyl. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1973, **25**: 180.
- [29] Demeter J, Heyndrickx A. Two lethal endosulfan poisonings in man. *J Anal Toxicol*, 1978, **2**: 68.
- [30] 宋化稳, 慕立义, 王金信. 十三种杀虫剂对七星瓢虫的毒力研究. *农药科学与管理*, 2001, **22**: 15~ 16.