

β -六六六对多刺裸腹溞生命表统计学参数的影响

杨冬青 席贻龙* 姚胜 刘罗

(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:应用生命表统计学方法研究了不同浓度(0.001、0.01、0.1、1、10、100和1 000 $\mu\text{g/L}$)的 β -六六六对多刺裸腹溞(*Moina macrocopa*)种群统计学参数的影响。结果表明,与对照组相比,浓度为1 000 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著降低了多刺裸腹溞出生时的生命期望和净生殖率,100和1 000 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著降低了多刺裸腹溞的世代时间,0.1和1 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著提高了多刺裸腹溞的种群内禀增长率。

关键词: β -六六六; 多刺裸腹溞; 生命表统计学参数

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2007)05-157-04

Effect of β -BHC on the Life Table Demography of Cladoceran *Moina macrocopa*

YANG Dong-Qing XI Yi-Long* YAO Sheng LIU Luo

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

Abstract: The effect of different concentrations (0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 and 1 000 $\mu\text{g/L}$) of β -BHC on the life table demography of cladoceran *Moina macrocopa* were studied by means of life-table demographic technique. The results showed that compared with control, β -BHC at 1 000 $\mu\text{g/L}$ decreased markedly the life expectancy at birth and the net reproductive rate of the cladoceran. β -BHC at 100 and 1 000 $\mu\text{g/L}$ reduced significantly the generation time of the cladoceran. β -BHC at 0.1 and 1 $\mu\text{g/L}$ increased markedly the intrinsic rate of population increase of the cladoceran.

Key words: β -BHC; *Moina macrocopa*; Life table demography

六六六, 化学名称为六氯环己烷(hexachlorocyclohexane, HCHs)或苯六氯(benzene hexachloride, BHC), 是最早发现和应用的一类人工合成杀虫剂和杀螨剂, 起初在世界各国曾被广泛使用, 但由于其具有高毒和高残留性而相继被一些发达国家禁用, 我国也在1983年停止生产和使用^[1]。作为一种有机氯农药, 其特点之一是化学性质稳定, 使用后在环境中不易被分解, 在生物体内易于积累, 久而久之, 造成毒性残留, 污染食品和环境, 影响人类健康。虽然六六六已被禁用多年, 但在我国一些地区的土壤或底泥中仍有较高浓度的残留^[2,3]。混合六六六共有 α 、 β 、 γ 、 δ 和 ϵ 五种稳定异构体, 而 β -

六六六为六六六在环境、动植物和人体内残留的主要代谢产物^[4]。近年来, β -六六六还被确定具有雌性激素效应, 对动物的生殖系统具有

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. 2003kj032zd)及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;

* 通讯作者, E-mail: ylx1965@yahoo.com.cn;

第一作者介绍 杨冬青, 男, 硕士研究生; 研究方向: 水生生态毒理学; E-mail: dongqing838457@yahoo.com.cn;

收稿日期: 2007-03-12, 修回日期: 2007-07-09

不利的影 响^[5]。因此,研究 β -六六六对包括水生动物在内的各类群生物的生态影响具有重要的意义,而有关 β -六六六对水生生物的慢性毒性研究仍然较少^[6]。

枝角类是自然水体中水生食物链的重要一环,是鱼类的重要饵料。枝角类生命周期短,对许多污染物敏感,能通过孤雌生殖获得纯系,是毒性实验的理想模式物种。使用枝角类为受试生物进行慢性毒性试验的方法已经相当成熟,生命表统计学参数等指标已经被广泛地应用于重金属^[7]、电镀废水^[8]以及杀虫剂^[9-11]的毒性研究。日前用于此方面毒性试验的枝角类主要有大型溞 (*Daphnia magna*)、蚤状溞 (*D. pulex*)、隆线溞 (*D. carinata*)、锯顶低额溞 (*Simocephalus serrulatus*) 和多刺裸腹溞 (*Moina macrocopa*) 等^[12]。

本文以多刺裸腹溞为受试生物,研究了低浓度的、具有雌激素活性的 β -六六六对其生命表统计学参数的影响。

1 材料与方 法

1.1 多刺裸腹溞的来源和培养 实验用多刺裸腹溞由日本长崎大学提供,在实验室内(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、自然光照条件下进行克隆培养。培养时间在 3 个月以上,所用的培养基采用人工合成淡水(EPA)配方^{*},所用的饵料是由 HB-4 培养基^[13]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 个细胞/ml^[14]。

1.2 测试液的配制和生命表实验 实验用 β -六六六为德国 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 EPA 将其配制成所需浓度的溶液。实验时, β -六六六共设置 7 个浓度梯度,分别是 0.001、0.01、0.1、1、10、100 和 1 000 $\mu\text{g/L}$,另设一个空白对照和一个丙酮(助溶剂)对照(丙酮含量与 1 000 $\mu\text{g/L}$ 浓度组中的含量相同),每个浓度设置 3 个重复。实验所使用的多刺裸腹溞为在标准实验条件下

经过三代孤雌生殖后所产的幼体。实验在 50 ml 的烧杯中进行,每个烧杯中加入 10 个幼体(龄长 < 8 h)和 50 ml 培养基(内含密度为 1.0×10^6 个细胞/ml 的小球藻)。实验开始后,每天定时观察、记录每个烧杯中母体的存活数及所产幼体数,并将存活的母体转移至新鲜配制的测试液中。实验持续到所有受试个体全部死亡时结束,受试个体的死亡以解剖镜下观察无心跳为标准。

1.3 生命表统计学参数的定义和计算 多刺裸腹溞特定年龄存活率、特定年龄繁殖率、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的定义及计算与冯粒克等^[15]的方法相同。

2 结果与分析

2.1 多刺裸腹溞的存活率和繁殖率 不同浓度 β -六六六溶液中多刺裸腹溞的存活率和繁殖率如图 1 所示。由图中可见,当 β -六六六浓度达到 100 和 1 000 $\mu\text{g/L}$ 时,多刺裸腹溞种群的存活时间最短,仅为 16 ~ 17 d;当 β -六六六浓度为 0.1 $\mu\text{g/L}$ 时,多刺裸腹溞种群的存活时间最长,为 22 d。多刺裸腹溞的繁殖率以 1 000 $\mu\text{g/L}$ 组最低,而且其峰值出现的时间也较其他浓度组晚一天。多刺裸腹溞第一窝所产幼体数以 0.1 和 1 $\mu\text{g/L}$ 组最高,0.001 $\mu\text{g/L}$ 组较高,而其他各浓度组间无显著的差异。

2.2 多刺裸腹溞的生命表统计学参数 通过构建生命表计算得到的各生命表统计学参数列于表 1。 β -六六六对多刺裸腹溞各生命表统计学参数均有显著的影响($P < 0.05$)。多重比较(LSD)发现,与空白对照相比,丙酮对照组中的丙酮对多刺裸腹溞各生命表统计学参数均无显著影响;而 1 000 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著减小了多刺裸腹溞出生时的生命期望值和净生殖率,100 和 1 000 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著缩短了多刺

* USEPA. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. USEPA Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, Ohio, 1985. EPA/600/4-85/013. 90 p.

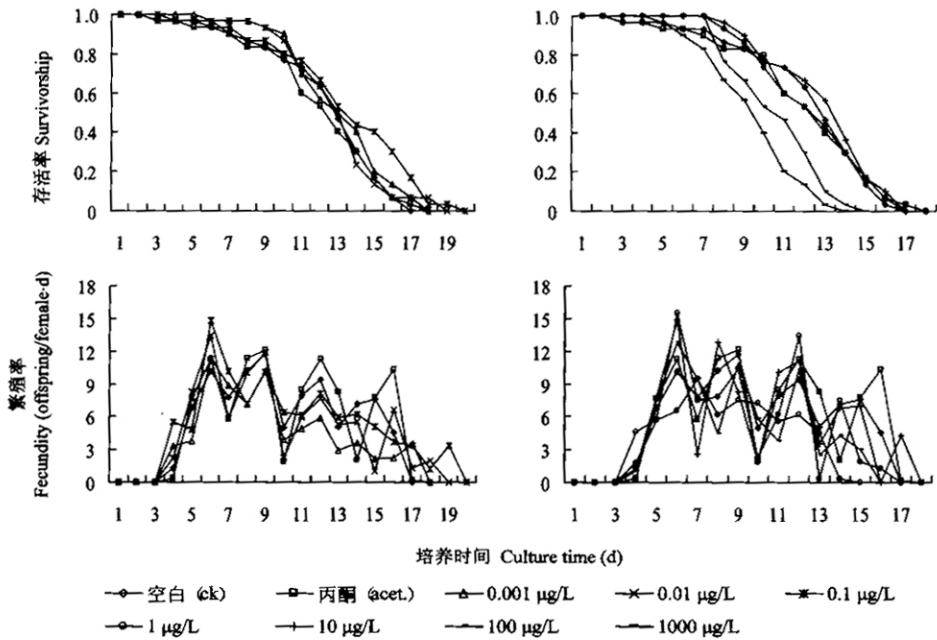


图1 不同浓度($\mu\text{g/L}$) β -六六六溶液中多刺裸腹蚤的存活率和繁殖率

Fig.1 Age-specific survivorship and fecundity of *M. macrocopa* exposed to different concentrations ($\mu\text{g/L}$) of β -BHC

表1 不同浓度 β -六六六溶液中的多刺裸腹蚤出生时的生命期望、世代时间、净生殖率和种群内禀增长率

Table 1 Life expectancy at birth, generation time, net reproductive rate and intrinsic rate of population increase of *M. macrocopa* exposed to different concentrations of β -BHC

浓度 ($\mu\text{g/L}$) Concentration	生命期望 (d) Life expectancy at birth	世代时间 (d) Generation time	净生殖率 (ind.) Net reproductive rate	种群内禀增长率 (/d) Intrinsic rate of population increase
对照 Control	11.10 \pm 0.15	7.79 \pm 0.38	66.66 \pm 3.88	0.714 1 \pm 0.002 4
丙酮 Acetone	10.77 \pm 0.67	7.64 \pm 0.35	62.33 \pm 8.91	0.695 4 \pm 0.024 4
0.001	11.80 \pm 1.44	7.29 \pm 0.71	61.46 \pm 12.21	0.739 6 \pm 0.028 7
0.01	11.53 \pm 0.03	7.18 \pm 0.04	65.27 \pm 0.99	0.767 5 \pm 0.021 1
0.1	12.13 \pm 1.27	7.66 \pm 0.37	74.41 \pm 7.98	0.811 7 \pm 0.006 6*
1	11.07 \pm 1.56	6.75 \pm 0.65	64.83 \pm 9.16	0.811 7 \pm 0.011 1*
10	11.73 \pm 0.93	7.40 \pm 0.11	67.37 \pm 7.51	0.748 0 \pm 0.033 3
100	9.37 \pm 0.29	6.45 \pm 0.20*	49.64 \pm 0.87	0.733 0 \pm 0.012 6
1 000	8.20 \pm 0.50*	6.31 \pm 0.33*	35.36 \pm 2.59.	0.678 3 \pm 0.020 6

* 与对照组有显著性差异。Significantly different from the controls ($P < 0.05$)。

裸腹蚤的世代时间,0.1和1 $\mu\text{g/L}$ 的 β -六六六显著提高了多刺裸腹蚤的种群内禀增长率。

3 讨论

已有研究结果表明,多刺裸腹蚤和蚤状蚤

的首次产幼时间不受杀虫剂马拉硫磷(malathion)、二嗪农(diazinon)和重金属的显著影响^[7,9,10,16,17]。本研究表明,当水体中 β -六六六在1 000 $\mu\text{g/L}$ 的浓度以下时,多刺裸腹蚤的首次产幼时间也不受其显著影响。0.01 $\mu\text{g/L}$

的马拉硫磷、1.0 μg/L 的二嗪农和 0.05 mg/L 的 S-烯虫酯[(s)-methoprene]均使多刺裸腹溞的净生殖率显著降低^[9,10,18]。同样,1 000 μg/L 的 β-六六六使多刺裸腹溞的净生殖率显著降低。

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^[9,10,19],但低浓度的杀虫剂对浮游动物种群增长的影响研究相对较少。目前已知,5 和 50 μg/L 的 S-烯虫酯促进了多刺裸腹溞的种群增长^[18]。与此相似的是,本研究中 0.1 和 1 μg/L 的 β-六六六对多刺裸腹溞的种群增长也有明显的促进作用。与 S-烯虫酯相似^[18],β-六六六也具有雌激素活性^[5],但 0.1 和 1 μg/L 的 β-六六六对多刺裸腹溞的种群增长所具有的显著促进作用是否与其所具有的雌激素效应有关,值得进一步研究。

Bertam 等^[14]发现,枝角类的种群内禀增长率主要受其第一和第二窝所产幼体数的影响。本研究中,浓度为 0.1 和 1 μg/L 的 β-六六六显著地提高了多刺裸腹溞的种群内禀增长率,这与在此浓度下多刺裸腹溞第一窝所产幼体数较多也是一致的。这一结果表明,当水体中 β-六六六的浓度达到 0.1 和 1 μg/L 时,多刺裸腹溞的种群增长会受到显著的影响,从而影响到藻类和其他植食性浮游动物种群密度以及群落结构,水生生态系统的结构和功能会受到显著的影响,控制 β-六六六的排放对维护生态平衡具有重要的意义。

参 考 文 献

[1] Voldner E C, Li Y F. Global usage of selected persistent organochlorines. *Sci Total Environ*, 1995, **160**: 201 ~ 210.
 [2] 林玉锁. 农药与生态环境保护. 北京: 化学工业出版社, 2000.
 [3] Qian Y, Zheng M H, Zhang B, et al. Determination and assessment of HCHs and DDTs residues in sediments from Lake Dongting, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, **116**: 157 ~ 167.
 [4] 刘国红, 陈莉, 杨克敌等. p,p'-DDE 和 β-BHC 联合染毒对小鼠生殖及其胎仔发育的影响. *卫生研究*, 2006, **35** (2): 139 ~ 142.

[5] 李兰生, 刘晋湘, 蒋万枫等. 腐殖质对水体中六六六降解的促进作用. *海洋水产研究*, 2005, **26**(6): 45 ~ 49.
 [6] Wester P W, Canton J H. Histopathological study of *Orizias latipes* (medaka) after long-term β-hexachlorocyclohexane exposure. *Aquatic Toxicology*, 1986, **9**: 21 ~ 45.
 [7] Wong C K. Effects of chromium, copper, nickel, and zinc on longevity and reproduction of the cladoceran *Moina macrocopa*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1993, **50**(5): 633 ~ 639.
 [8] Wong C K, Wong P K, Tao H. Toxicity of nickel and nickel electroplating water to the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1991, **47**(3): 448 ~ 454.
 [9] Wong C K, Chu K H, Shum F F. Acute and chronic toxicity of malathion to the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, **84**(3-4): 399 ~ 405.
 [10] Wong C K. Effects of diazinon on some population parameters of *Moina macrocopa* (Cladocera). *Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, **94**(3-4): 393 ~ 399.
 [11] Hartgers E M, Heugens E H W, Deneer J W. Effect of lindane on the clearance rate of *Daphnia magna*. *Arch Environ Contam Toxicol*, 1999, **36**(4): 399 ~ 404.
 [12] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性实验方法. 北京: 农业出版社, 1987, 157 ~ 169.
 [13] 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.
 [14] Xi Y L, Hagiwara A, Sakakura Y. Combined effects of food level and temperature on life table demography of *Moina macrocopa* Straus (Cladocera). *International Review of Hydrobiology*, 2005, **90**(5-6): 546 ~ 554.
 [15] 冯粒克, 席貽龙. 三个地理品系蓼花臂轮虫生活史特征的比较. *动物学杂志*, 2004, **39**(1): 12 ~ 15.
 [16] Bertram P E, Hart B A. Longevity and reproduction of *Daphnia pulex* (De Geer) exposed to cadmium-contaminated food or water. *Environmental Pollution*, 1979, **19**: 295 ~ 305.
 [17] Garcia G G, Nandini S, Sarma S S S. Effect of cadmium on the population dynamics of *Moina macrocopa* and *Macrothrix triseriatis* (Cladocera). *Arch Environ Contam Toxicol*, 2004, **72** (4): 717 ~ 724.
 [18] Chu K H, Wong C K, Chiu K C. Effect of the insect growth regulator (s)-methoprene on survival and reproduction of the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Environmental Pollution*, 1997, **96**(2): 173 ~ 178.
 [19] Rao T R, Sarma S S S. Demographic parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) exposed to sublethal DDT concentrations at low and high food levels. *Hydrobiologia*, 1986, **139**: 193 ~ 200.