

艾氏剂对连续三个世代多刺裸腹溞生命表 统计学参数的影响

陈 艳, 席贻龙*, 何忠文

(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: 利用生命表技术对连续 3 个世代暴露于不同浓度 (20、40、80、160、320 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$) 艾氏剂 (aldrin) 溶液中的多刺裸腹溞 (*Moina macrocopa*) 生命表统计学参数进行了研究。结果表明: 艾氏剂对 3 个世代多刺裸腹溞所有生命表统计学参数均有显著性影响 ($P < 0.05$)。与空白对照组相比, 浓度高于 80 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使多刺裸腹溞母代的生命期望和净生殖率显著降低; 浓度高于 160 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使母代的世代时间显著缩短, 种群内禀增长率显著降低。浓度高于 40 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使多刺裸腹溞 F1 代的生命期望显著缩短, 20 $\mu\text{g/L}$ 和 80 ~ 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使 F1 代的净生殖率显著降低, 320 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使 F1 代的世代时间显著缩短, 所有浓度的艾氏剂均使 F1 代的种群内禀增长率显著降低。160 ~ 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使多刺裸腹溞 F2 代的生命期望和世代时间显著缩短, 160 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂使 F2 代的净生殖率显著降低; 除 40 和 320 $\mu\text{g/L}$ 外, 所有浓度的艾氏剂均显著提高了 F2 代的种群内禀增长率。在实验设置的艾氏剂浓度范围内, 除 F2 代种群内禀增长率外, 3 个世代多刺裸腹溞的所有生命表统计学参数均与艾氏剂浓度呈曲线相关。在慢性毒性试验中, 污染物对多刺裸腹溞生命表统计学参数的影响因其暴露时所处发育时期和持续暴露世代数的不同而存在着重要的差异。

关键词: 艾氏剂; 多刺裸腹溞; 连续世代; 生命表统计学参数

文章编号: 1000-0933(2009)10-5358-08 中图分类号: Q141, Q178.1, X171 文献标识码: A

Effect of aldrin on the life table demography of three successive generations of cladoceran *Moina macrocopa*

CHEN Yan, XI Yi-Long*, HE Zhong-Wen

Provincial Key Laboratory of Biotic Environment & Ecological Safety in Anhui, Life Science College, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China
Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5358 ~ 5365.

Abstract: The effects of different concentrations (20, 40, 80, 160, 320 $\mu\text{g/L}$ and 640 $\mu\text{g/L}$) of aldrin on the life table demography of three successive generations of *Moina macrocopa* were studied, and the results showed that the aldrin affected significantly all the life table demographic parameters of three successive generations of *M. macrocopa*. Compared with the blank controls, aldrin at concentrations higher than 80 $\mu\text{g/L}$ decreased life expectancy at birth and net reproduction rate of maternal generation of the cladoceran, and that at concentrations higher than 160 $\mu\text{g/L}$ shortened generation time and decreased intrinsic rate of population growth. Aldrin at concentrations higher than 40 $\mu\text{g/L}$ decreased life expectancy at birth of F1 generation of the cladoceran, that at 20 $\mu\text{g/L}$ and 80 – 640 $\mu\text{g/L}$ decreased net reproduction rate, that at 320 and 640 $\mu\text{g/L}$ shortened generation time, and that at all the concentrations decreased intrinsic rate of population increase. Aldrin at 160 – 640 $\mu\text{g/L}$ shortened life expectancy at birth and generation time of F2 generation of the cladoceran, that at 160 and 640 $\mu\text{g/L}$ decreased net reproduction rate, but that at all the concentrations except for 40 and 320 $\mu\text{g/L}$ increased intrinsic rate of population increase. In the rang of experimentally designed aldrin concentrations, all the life table

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30470323); 国家教育部科学技术研究重点项目基金 (051286); 安徽省优秀青年基金资助项目 (08040106904); 安徽省教育厅自然科学基金重点资助项目 (2003kj032zd); 安徽省重要生物资源的保护和利用研究重点实验室专项基金资助项目

收稿日期: 2008-07-07; 修订日期: 2009-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ylx1965@yahoo.com.cn

demography of three successive generations of *M. macrocopa* except for the intrinsic rate of population increase of F2 were curvilinearly correlated with aldrin concentrations. In chronic toxicity tests, the effect of aldrin on the life table demography of *M. macrocopa* differed with developmental stages and exposed generations of the test animal.

Key Words: aldrin; *Moina macrocopa*; successive generation; life table demography

艾氏剂(aldrin)属于高毒性有机氯杀虫剂,20世纪50年代开始被用于植保和卫生杀虫并取得非常好的效果;但由于其具有高生物积累和高生物残留作用,且在环境或者生物体内能够较快地降解为毒性更强的狄氏剂(diieldrin),从而给环境造成了难以修复的危害。2001年联合国环境规划署签定了《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》,规定12种持久性有机氯杀虫剂在世界各地禁止使用,其中就包括艾氏剂。20世纪80年代,我国禁止生产持久性有机化学品^[1];2002年,我国明令禁止使用艾氏剂等高毒农药^[2]。

尽管艾氏剂已经在世界范围内停止使用多年,但在动植物、农业土壤、水体沉积物及水生生物体内均被检测到^[3~8]。进入水环境中的艾氏剂会对水生生物造成一定的影响,并沿水生食物链进一步富集,从而影响到人类的生活和健康。因此,研究艾氏剂对水生动物的影响具有重要意义。但有关艾氏剂对水生生物尤其是枝角类的毒性研究较少,对多个世代连续暴露于其中的枝角类毒性作用的研究尚未见报道。

多刺裸腹蚤(*Moina macrocopa*)属于浮游甲壳动物,主要分布于东南亚的水稻田和池塘中,是鱼类的优质饵料和水生食物链的重要环节^[9]。由于分布范围广,生命周期短,对污染物敏感性强,能通过孤雌生殖获得纯系,多刺裸腹蚤已成为生态毒理学实验中常用的模式物种^[10]。

本文研究了艾氏剂对多刺裸腹蚤连续3个世代的生命表统计学参数的影响,旨在揭示幼体和胚胎时期暴露于污染物中的各世代受试动物对毒物可能存在的敏感性差异,弥补国内外在此方面研究之不足。

1 材料与方法

1.1 多刺裸腹蚤的来源和培养

实验用多刺裸腹蚤由日本长崎大学提供,在实验室内(25 ± 1)℃、自然光照(光暗比为12h:12h)条件下进行克隆培养,培养时间在5个月以上,用曝气2d的自来水为培养液。所用的饵料是由HB-4培养基^[11]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 cells/ml^[9]。

1.2 测试液的配制和生命表实验

实验用艾氏剂由德国Sigma-Aldrich公司生产,纯度>99.7%。测试液的配制采用母液稀释的方法,实验前用丙酮配制成1.28 g/L的原液,再用蒸馏水稀释成10 mg/L的母液,母液每周更换1次;实验时用曝气的自来水将其配制成所需浓度的溶液。实验时艾氏剂共设置6个浓度梯度,分别是20、40、80、160、320 μg/L和640 μg/L,另设一个空白对照和一个丙酮(助溶剂)对照(丙酮含量与640 μg/L浓度组中的含量相同,为0.5‰)。实验所使用的多刺裸腹蚤为在标准实验条件下经过3代孤雌生殖后所产的幼体。实验在50 ml的烧杯中进行,每个烧杯中放入10个龄长<12h、个体健壮、大小一致的幼蚤和50 ml测试液(内含密度为 1.0×10^6 cells/mL的蛋白核小球藻)。实验开始后,每天定时观察、记录每个烧杯中多次裸腹蚤的存活数及所产幼体数,将存活的母体转移至干净的烧杯中并更换50%新鲜配制的测试液(内含密度为 1.0×10^6 cells/mL的蛋白核小球藻)。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。按照此方法先进行母代(P代)实验;当母代开始产第一窝卵时,挑出幼体按照同样方法继续暴露,进行子一代(F1代)生命表实验;当F1代产第一窝卵时再依照上述方法挑出幼体继续暴露,进行子二代(F2代)生命表实验。

1.3 生命表统计学参数的定义和计算

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Xi等^[9]相同。

特定年龄存活率(l_x): X 年龄组开始时存活个体的百分数;

特定年龄繁殖率(m_x): X 年龄组平均每个个体所产的雌性后代数;

净生殖率(R_0):种群经过一个世代后的净增长率;

世代时间(T):从亲代出生到子代出生所经历的时间;

生命期望值(e_0):进入 X 龄期的个体平均地能活多长时间的估计值;

内禀增长率(r_m):种群在特定实验条件下的最大增长率。 r_m 的精确计算是在粗略计算的基础上根据方程 $\sum l_x m_x e^{-rx} = 1$, 在 Excel 中通过试算求得。

1.4 数据的统计学分析

使用 SPSS 分析软件,采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检测艾氏剂对 3 个世代多刺裸腹蚤各生命表统计学参数的影响,采用多重比较(LSD 检验)分析各浓度组与对照组间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 3 个世代多刺裸腹蚤的存活率和繁殖率

不同浓度的艾氏剂对 3 个世代多刺裸腹蚤的存活率和繁殖率的影响如图 1 所示。由图中可见,在 3 个世代中,当艾氏剂浓度为 320 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 时,多刺裸腹蚤的最长存活时间最短,母代仅为 9d 和 8d, F1 代为 14d 和 6d, F2 代为 12d 和 8d。多刺裸腹蚤母代在 80 $\mu\text{g/L}$ 浓度下的最长存活时间最长,为 24d,与空白对照相同;但出现死亡时间也最早,为第 4 天。F1 代在 20 $\mu\text{g/L}$ 和 40 $\mu\text{g/L}$ 下的最长存活时间相同,为 19d;而在 80 $\mu\text{g/L}$ 下的最长存活时间较短,为 15d。F2 代在 40 $\mu\text{g/L}$ 下的最长存活时间最长,为 23d,与丙酮对照组相同;在 20 $\mu\text{g/L}$ 和 80 $\mu\text{g/L}$ 下的最长存活时间相同,为 21d;而在 80 $\mu\text{g/L}$ 下开始出现死亡的时间是所有浓度下最迟的,为第 13 天。

与空白对照组和丙酮对照组相比,各浓度组中的多刺裸腹蚤母代第一个繁殖率高峰出现的时间相对较晚;而 F1 代第一个繁殖率高峰出现的时间仅在艾试剂浓度为 320 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 时才明显延迟。320 $\mu\text{g/L}$ 组中的多刺裸腹蚤 F2 代第一个繁殖率高峰出现的时间和空白对照组相同,其它各浓度组和助溶剂组中多刺裸腹蚤 F2 代第一个繁殖率高峰出现的时间均早于这两组。

2.2 3 个世代多刺裸腹蚤的生命表统计学参数

单因素方差分析结果显示,艾试剂浓度对 3 个世代多刺裸腹蚤的生命期望、净生殖率、世代时间和种群内禀增长率均有显著影响($P < 0.05$)。

与空白对照组相比,0.5‰的丙酮对多刺裸腹蚤母代的各生命表统计学参数均没有显著的影响($P > 0.05$);浓度高于 80 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤母代的生命期望和净生殖率($P < 0.05$),浓度高于 160 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著缩短了多刺裸腹蚤母代的世代时间($P < 0.05$),降低了种群内禀增长率($P < 0.05$)(表 1)。

与空白对照相比,0.5‰的丙酮和各浓度的艾试剂显著降低了多刺裸腹蚤 F1 代的种群内禀增长率($P < 0.05$),浓度高于 40 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著降低了 F1 代的生命期望($P < 0.05$),20 $\mu\text{g/L}$ 和 80 ~ 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾试剂显著降低了 F1 代的净生殖率($P < 0.05$),320 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著缩短了 F1 代的世代时间($P < 0.05$)(表 1)。

与空白对照组相比,0.5‰的丙酮以及除 40 $\mu\text{g/L}$ 和 320 $\mu\text{g/L}$ 外所有浓度的艾试剂显著提高了多刺裸腹蚤 F2 代的种群内禀增长率($P < 0.05$),160 ~ 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著缩短了 F2 代的生命期望和世代时间($P < 0.05$),160 $\mu\text{g/L}$ 和 640 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著降低了 F2 代的净生殖率($P < 0.05$)(表 1)。

回归分析结果表明,在实验设置的艾试剂浓度范围内,除 F2 代种群内禀增长率(r_m)($P > 0.05$)外,3 个世代多刺裸腹蚤的其它所有生命表参数均与艾试剂浓度呈曲线相关($P < 0.01$)(图 2)。

3 讨论

在毒理学试验中,丙酮是一种常用的有机溶剂。已有的研究表明丙酮的毒性在各种有机溶剂中是最

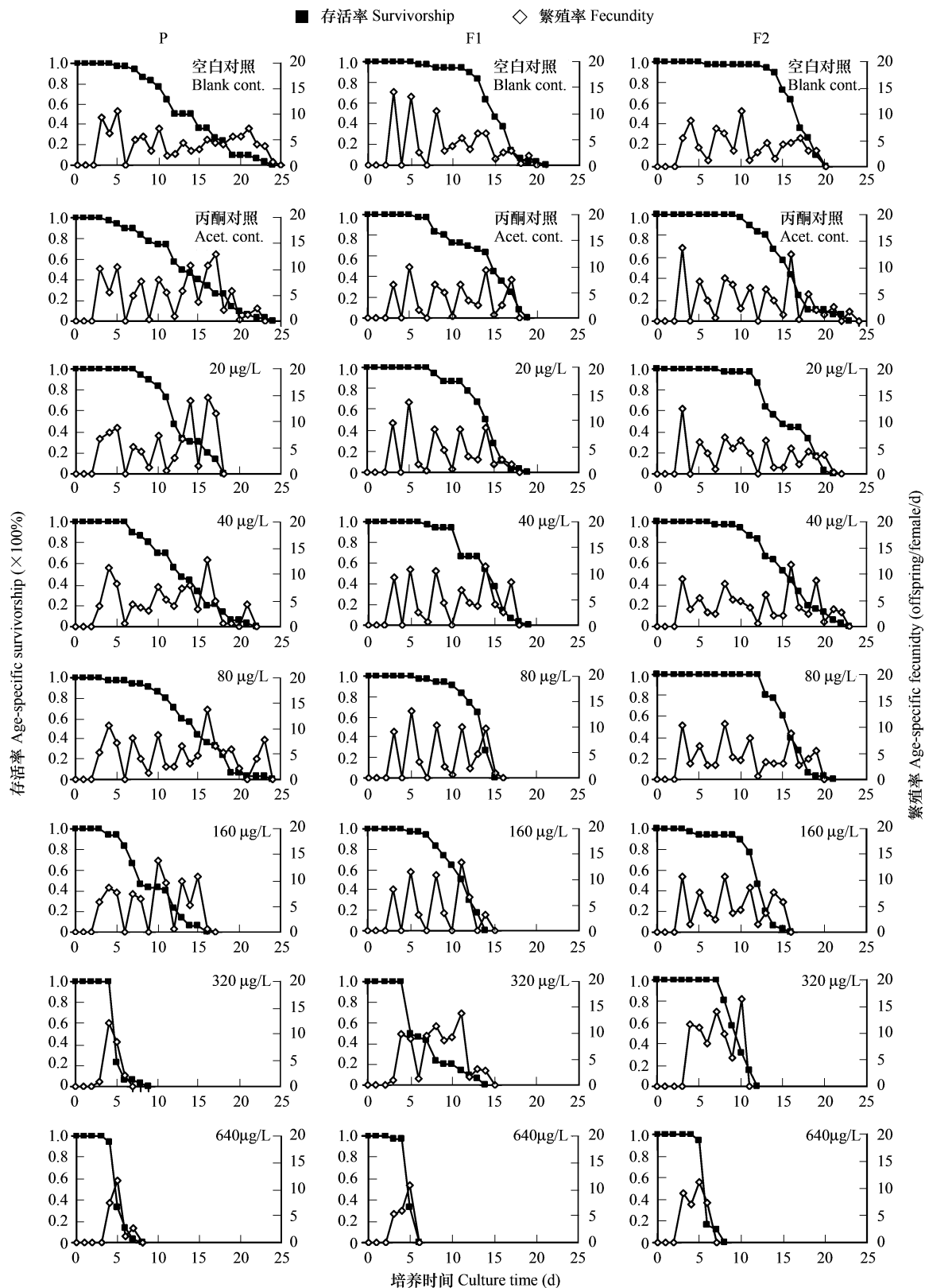


图1 暴露于不同浓度(µg/L)艾氏剂溶液中连续3个世代多刺裸腹蚤的存活率和繁殖率

Fig. 1 Age-specific survivorship and fecundity of three successive generations of *M. macrocopa* exposed to different concentrations (µg/L) of aldrin

低的^[12,13],但丙酮的作用并非可以完全忽视。Sánchez 等^[14]研究暴露于不同浓度二噁农中的几代大型蚤时发现,与空白对照组相比,10⁻⁴µg/L的丙酮对母代和F1代第1窝个体所有生活史参数均无显著差异,但却提高

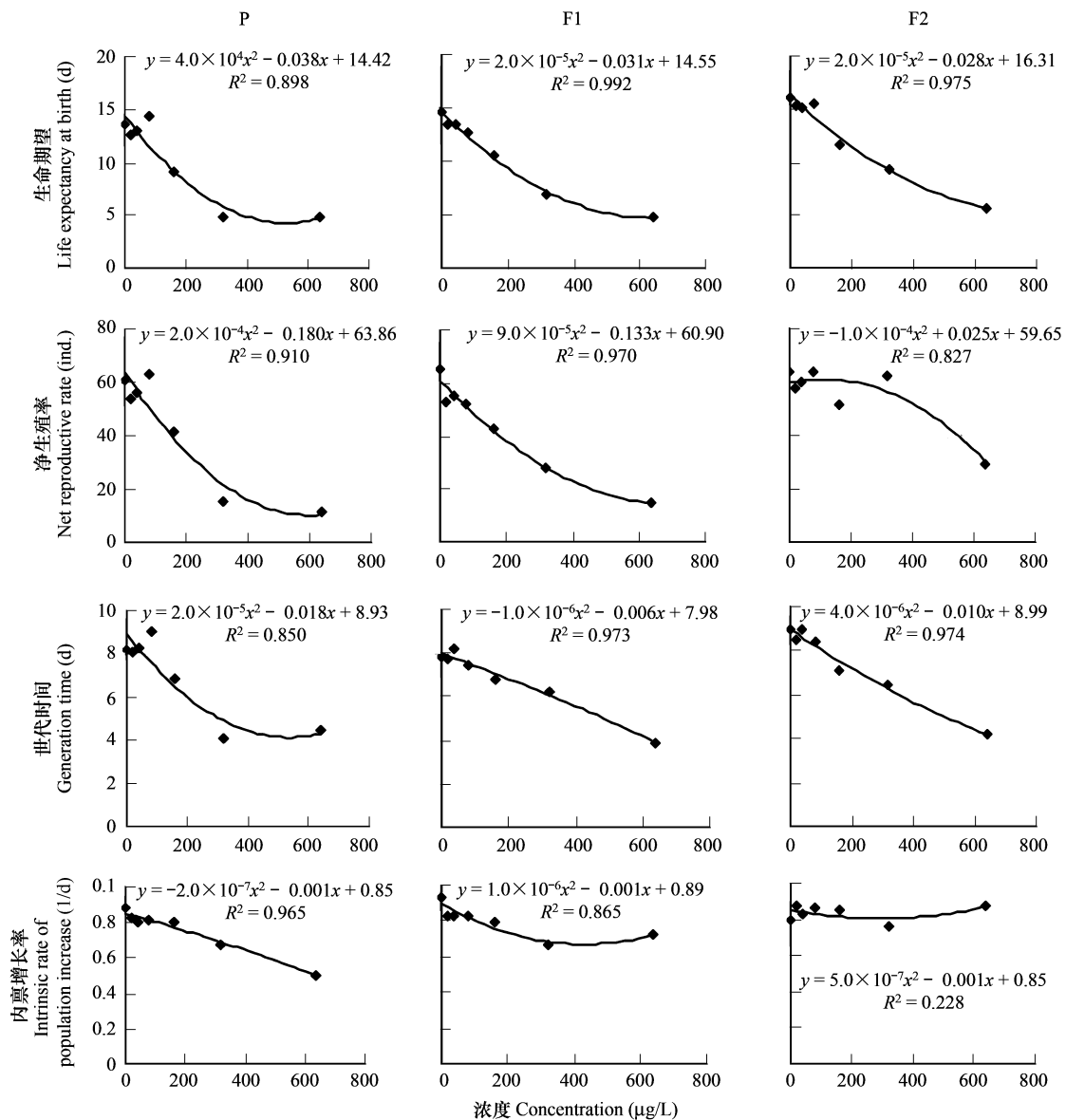


图2 3个世代多刺裸腹蚤的生命期望(e_0)、净生殖率(R_0)、世代时间(T)和种群内禀增长率(r_m)与艾氏剂浓度(x , $\mu\text{g/L}$)间的关系

Fig. 2 The relationships between life expectancy at birth (e_0), net reproductive rate (R_0), generation time (T) and intrinsic rate of population increase (r_m) of three successive generations of *Moina macrocopa* and aldrin concentrations (x , $\mu\text{g/L}$)

了F1代第3窝个体的平均体长、平均产幼体数和卵的大小;Chu等^[15]也发现丙酮对多刺裸腹蚤的繁殖具有刺激作用,其原因可能是细菌以丙酮为补充营养源,进而为枝角类提供食物。本研究发现,与空白对照组相比,0.5‰的丙酮对多刺裸腹蚤母代的生命表参数均无显著的影响,但却显著降低了多刺裸腹蚤F1代的种群内禀增长率,提高了多刺裸腹蚤F2代的种群内禀增长率。

迄今为止,绝大多数的生态毒理学研究均以实验前未曾暴露于污染物中的受试生物为对象;研究结果表明大多数水体污染物对多刺裸腹蚤的存活、生殖和种群增长具有显著的抑制作用。Wong^[16]研究发现,浓度为1.0 $\mu\text{g/L}$ 的二噁农使多刺裸腹蚤的存活率、平均寿命和平均产幼体数显著降低,10 $\mu\text{g/L}$ 的二噁农使多刺裸腹蚤停止繁殖;Chuah等^[17]研究表明,0.002 mg/L的硫丹显著降低了多刺裸腹蚤的平均寿命、首次生殖年龄和种群内禀增长率。与此相似的是,本研究中,浓度高于80 $\mu\text{g/L}$ 的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤母代的生命期望和净生殖率,降低了多刺裸腹蚤母代的种群内禀增长率;然而,杨冬青等^[18]和刘晓波等^[19]的研究发

现,0.1 μg/L 和 1 μg/L 的 β-六六六以及 8、16 μg/L 和 40 μg/L 的 DDT 都显著地提高了多刺裸腹蚤母代的种群内禀增长率。艾氏剂和 β-六六六、DDT 同属有机氯杀虫剂,三者对多刺裸腹蚤母代种群内禀增长率所具有的不同的影响是否与它们的浓度有关值得进一步研究。

表 1 暴露于不同浓度艾氏剂溶液中连续 3 个世代多刺裸腹蚤的生命期望(e_0)、净生殖率(R_0)、世代时间(T)和种群内禀增长率(r_m) (平均值 ± 标准误)

Table 1 Life expectancy at birth (e_0), net reproductive rate (R_0), generation time (T) and intrinsic rate of population increase (r_m) of three successive generations of *Moina macrocopa* exposed to different concentrations (μg/L) of aldrin (M ± SE)

世代 Generation	浓度 (μg/L) Concentration	生命期望 e_0 (d)	净生殖率 R_0 (ind.)	世代时间 T (d)	种群内禀增长率 r_m (1/d)
P	空白 Blank	13.60 ± 1.89	61.03 ± 9.79	8.24 ± 1.24	0.8809 ± 0.0148
	丙酮 Acetone	13.43 ± 1.17	64.31 ± 6.23	8.66 ± 0.65	0.8884 ± 0.0155
	20	12.63 ± 0.15	54.14 ± 2.88	8.13 ± 0.38	0.8306 ± 0.0286
	40	12.97 ± 0.12	56.22 ± 6.44	8.28 ± 0.83	0.7973 ± 0.0071
	80	14.30 ± 1.02	62.71 ± 5.94	9.01 ± 0.58	0.8094 ± 0.0365
	160	9.10 ± 0.55 *	41.63 ± 2.40 *	6.84 ± 0.25	0.8072 ± 0.0094
	320	4.90 ± 0.00 *	15.39 ± 1.97 *	4.08 ± 0.07 *	0.6758 ± 0.0225 *
	640	4.93 ± 0.34 *	11.81 ± 5.56 *	4.49 ± 0.12 *	0.4958 ± 0.1366 *
F1	空白 Blank	14.63 ± 0.49	65.37 ± 3.05	7.86 ± 0.29	0.9342 ± 0.0042
	丙酮 Acetone	13.60 ± 0.53	66.91 ± 4.83	8.83 ± 0.14	0.8447 ± 0.0074 *
	20	13.40 ± 0.76	52.55 ± 2.30 *	7.71 ± 0.46	0.8318 ± 0.0148 *
	40	13.40 ± 0.06	55.22 ± 0.92	8.25 ± 0.16	0.8222 ± 0.0180 *
	80	12.67 ± 0.35 *	52.39 ± 2.29 *	7.46 ± 0.23	0.8283 ± 0.0126 *
	160	10.53 ± 0.45 *	42.54 ± 2.96 *	6.83 ± 0.10	0.7924 ± 0.0135 *
	320	6.83 ± 0.96 *	27.85 ± 6.22 *	6.20 ± 0.75 *	0.6663 ± 0.0572 *
	640	4.77 ± 0.07 *	14.48 ± 0.76 *	3.90 ± 0.06 *	0.7223 ± 0.0121 *
F2	空白 Blank	16.20 ± 0.86	63.96 ± 2.01	8.96 ± 0.45	0.7907 ± 0.0059
	丙酮 Acetone	15.33 ± 1.01	62.12 ± 3.08	8.34 ± 1.24	0.9116 ± 0.0170 *
	20	15.30 ± 1.31	57.88 ± 4.20	8.52 ± 1.19	0.8792 ± 0.0031 *
	40	15.23 ± 1.24	59.99 ± 5.10	9.00 ± 1.32	0.8322 ± 0.0101
	80	15.47 ± 0.35	63.51 ± 2.15	8.43 ± 0.29	0.8591 ± 0.0035 *
	160	11.57 ± 0.57 *	51.38 ± 0.91 *	7.09 ± 0.13 *	0.8578 ± 0.0070 *
	320	9.33 ± 0.44 *	62.66 ± 7.91	6.41 ± 0.53 *	0.7561 ± 0.0006
	640	5.72 ± 0.31 *	29.06 ± 1.68 *	4.18 ± 0.45 *	0.8784 ± 0.0399 *

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

Sánchez 等^[14]将大型蚤的亲代、F1 代第 1 窝和 F1 代第 3 窝连续暴露于二嗪农中;21d 后,F1 代第 3 窝比亲代和 F1 代第 1 窝受影响更大;亲代和 F1 第 1 窝的种群内禀增长率在二嗪农浓度大于 0.75 ng/L 时显著降低,而 F1 代第 3 窝的种群内禀增长率在浓度达 0.1ng/L 时便显著降低。本研究中,320 ~ 640 μg/L 的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤母代的种群内禀增长率,所有浓度的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤 F1 代的种群内禀增长率,而除了 40 μg/L 和 320 μg/L 外其余浓度的艾氏剂显著提高了多刺裸腹蚤 F2 代的种群内禀增长率;此外,浓度高于 40μg/L 的艾氏剂显著缩短了多刺裸腹蚤 F1 代的生命期望,20 μg/L 和 80 ~ 640 μg/L 的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤 F1 代的净生殖率,而 160 ~ 640 μg/L 的艾氏剂显著缩短了多刺裸腹蚤 F2 代的生命期望,160 μg/L 和 640 μg/L 的艾氏剂显著降低了多刺裸腹蚤 F2 代的净生殖率。因此,本研究结果丰富了 Sánchez 等^[14]有关大型蚤的研究结论,即暴露于污染物中的多刺裸腹蚤和大型蚤一样,随着世代的延续,污染物对其后代的影响更为明显。Marcial 等^[20]认为在自然界中,桡足类等浮游动物是持续暴露于环境污染物中的,因此仅仅研究预先没有暴露于污染物中的母体可能会低估污染物的毒性作用。本研究结果证实了

Marcial 等^[20]的推论。此外,当以种群内禀增长率为指标时,多刺裸腹蚤 F1 代对艾试剂的敏感性高于母代。

Fernández 等^[21]与 Ferrando 等^[22]研究认为种群内禀增长率的降低是杀虫剂对大型蚤的慢性毒性导致的,Münzinger^[23]认为镍使大型蚤种群内禀增长率的提高是大型蚤对镍污染的一种适应。本研究中,一定浓度的艾试剂显著降低了多刺裸腹蚤母代和 F1 代的种群内禀增长率,这或许与艾试剂的毒性作用有关;而一定浓度的艾试剂显著提高了多刺裸腹蚤 F2 代的种群内禀增长率的原因仍有待进一步研究。

References:

- [1] Yi A H, Huang Q F, Zhang Z Q, Zhao N N, Wang Q. Research on the management countermeasure of contaminated sites by POPs in China. *Environment and Sustainable Development*, 2008, 34(1):57—60.
- [2] Bulletin of Ministry of Agriculture of People's Republic of China: No.199. 2002.
- [3] Peris E, Requena S, Guardia M, Pastor A, Carrasco J M. Organochlorinated pesticides in sediments from the Lake Albufera of Valencia (Spain). *Chemosphere*, 2005, 60(11):1542—1549.
- [4] Guan H, Yang G Y, Li P X, Wan H F, Wang X M. Investigation on organochlorine pesticides pollution in soil of typical area in Leizhou Peninsula. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2):323—326.
- [5] Fabricio D C, Rosa I A, Enrique C V. Organochlorine pesticide contamination in three bird species of the Embalse La Florida water reservoir in the semiarid midwest of Argentina. *Science of the Total Environment*, 2007, 385(1-3):86—96.
- [6] Xue J, Hao L L, Peng F. Residues of 18 organochlorine pesticides in 30 traditional Chinese medicines. *Chemosphere*. DOI:10.1016/j.chemosphere./2007.11.014.
- [7] Zhou R B, Zhu L Z, Kong Q X. Persistent chlorinated pesticides in fish species from Qiantang River in East China. *Chemosphere*, 2007, 68(5):838—847.
- [8] Sallam K I, Morshedy A E M A. Organochlorine pesticide residues in camel, cattle and sheep carcasses slaughtered in Sharkia Province, Egypt. *Food Chemistry*, 2008, 108(1):154—164.
- [9] 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.
- [10] Zhou Y X. Toxicity test with cladocera. In: Zhou Y X, Zhang Z S. *Methods for toxicity test of aquatic organisms*. Beijing: Agriculture Press, 1987. 157—169.
- [11] Zhang Z S. Culture medium for algae. In: Zhang Z S, Huang X F, *Methods for studies on freshwater planktons*. Beijing: Science Press, 1991. 410—411.
- [12] Gao W, Zhang H. On determination and assessment of acute toxicity of *scenedesmus obliquus* by organic acid. *Journal of University of Science and Technology of Suzhou (Engineering and Technology)*, 2005, 18(3):61—63.
- [13] Wei H F, Liu C F, Liu H M. Studies on the toxicity of 4 organic solvents to the *Moina Mongolica*. *Progress in Modern Biomedicine*, 2007, 7(10):1481—1493.
- [14] Sánchez M, Ferrando M D, Sancho E, Andreu E. Physiological perturbations in several generations of *Daphnia magna* Straus exposed to diazinon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2000, 46(1):87—94.
- [15] Chu K H, Wong C K, Chiu K C. Effects of the insect growth regulator (s)-methoprene on survival and reproduction of the freshwater cladoceran *Moina macrocopa*. *Environmental Pollution*, 1997, 96(2):173—178.
- [16] 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.
- [17] Chuah T S, Loh J Y and Hii Y S. Acute and chronic effects of the insecticide-endosulfan on freshwater cladoceran, *Moina macrocopa* Straus. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007, 79(5):557—561.
- [18] Yang D Q, Xi Y L, Yao S, Liu L. Effect of β -BHC on the life table demography of cladoceran *Moina macrocopa*. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(5):157—160.
- [19] Liu X B, Xi Y L, Wang J X, Hu K. Acute toxicity and effect of DDT on life table demography of cladoceran *Moina macrocopa*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6):1343—1348.
- [20] Marcial H S, Hagiwara A, Snell T W. Estrogenic compounds affect development of harpacticoid copepod *Trigriopus Japonicus*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22(12):3025—3030.
- [21] Fernández A, Ferrando, M D, Andreu E. Chronic toxicity of diazinon to *Daphnia magna*: effects on survival, reproduction and growth.

Toxicological and Environmental Chemistry, 1995, 49(1-2):25-32.

- [22] Ferrando M D, Sancho E, Andreu-Moliner E. Effects of lindane on *Daphnia magna* during chronic exposure. Environmental Science and Health, Part B, 1995, 30(6):815-825.
- [23] Münzinger A. Effects of nickel on *Daphnia magna* during chronic exposure and alterations in the toxicity to generations pre-exposed to nickel. Water Research, 1990, 24(7):845-852.

参考文献:

- [1] 易爱华, 黄启飞, 张增强, 赵娜娜, 王琪. 我国杀虫剂类 POPs 污染场地的类型与污染控制对策分析. 环境保护科学, 2008, 34(1):57~60.
- [2] 中华人民共和国农业部公告. 第199号. 2002.
- [4] 关卉, 杨国义, 李丕学, 万洪富, 王洗民. 雷州半岛典型区域土壤有机氯农药污染探查研究. 生态环境, 2006, 15(2):323~326.
- [10] 周永欣. 蚤类毒性实验. 见:周永欣, 章宗涉主编, 水生生物毒性实验方法. 北京: 农业出版社, 1987. 157~169.
- [11] 章宗涉. 藻类培养基. 见:章宗涉, 黄祥飞主编, 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991. 410~411.
- [12] 高为, 张华. 酮类化合物急性毒性的测定与评价. 苏州科技学院学报(工程科技版), 2005, 18(3):61~63.
- [13] 魏海峰, 刘长发, 刘恒明. 4种有机溶剂对蒙古裸腹蚤急性和慢性毒性研究. 现代医学进展, 2007, 7(10):1481~1493.
- [18] 杨冬青, 席贻龙, 姚胜, 刘罗. β -六六六对多刺裸腹蚤生命表统计学参数的影响. 动物学杂志, 2007, 42(5):157~160.
- [19] 刘晓波, 席贻龙, 王金霞, 胡柯. DDT对多刺裸腹蚤的急性毒性和生命表统计学参数的影响. 应用生态学报, 2008, 19(6):1343~1348.