

环境激素乐果对萼花臂尾轮虫生殖的影响

吕林兰, 朱丹丹, 董学兴

(盐城工学院化学与生物工程学院, 江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 江苏 盐城 224051)

摘要:采用2 d种群增长和生命表参数实验评价了乐果对萼花臂尾轮虫的毒性效应,结果表明萼花臂尾轮虫的种群增长率和净生殖率均随乐果浓度的升高显著下降,净生殖率与乐果浓度显著相关。以3 d种群动态参数(种群增长率、混交率、携卵雌体/非携卵雌体)、7 d休眠卵产量、孵化率及孵化后增长率为指标研究了低剂量乐果($0.000\ 5\sim 1.562\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)对萼花臂尾轮虫繁殖的影响,结果表明,乐果对种群增长率、休眠卵产量和孵化率均有显著影响; $0.000\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度组种群增长率显著上升了10.81%; $0.012\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.562\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的试验组休眠卵产量比对照组分别升高了64.71%和76.47%; $0.062\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.562\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 乐果试验组休眠卵孵化率比对照分别下降了36.84%和21.05%。母体暴露于乐果中,对其后代恢复生长的3 d种群参数无显著影响。实验结果表明萼花臂尾轮虫净生殖率是检测乐果毒性的敏感指标,实验未发现乐果对萼花臂尾轮虫产生明显的传代效应。

关键词:萼花臂尾轮虫;乐果;种群增长率;生命表;休眠卵

中图分类号:Q178.1 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)01-0057-06 doi:10.11654/jaes.2014.01.007

Effects of Environment Hormone Dimethoate on the Reproduction of *Brachionus calyciflorus*

LÜ Lin-lan, ZHU Dan-dan, DONG Xue-xing

(1.College of Chemistry and Biology Engineering, Yancheng Institute of Technology, Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal pool of Jiangsu Province, Yancheng 224051, China)

Abstract: Toxic effects of dimethoate on *Brachionous calyciflorus* were examined in laboratory using 2 d population growth test and life-table techniques. Increasing dimethoate concentrations significantly decreased the population growth rate and net reproductive rate (R_0) of *B. calyciflorus*. There was a significant negative relationship between dimethoate concentrations and R_0 . However, treatment with $0.000\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dimethoate increased the population growth rate by 10.81%. Compared with the control group, the resting eggs production increased by 64.71% and 76.47% at $0.012\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $1.562\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dimethoate, and the resting egg hatching rate decreased by 36.84% and 21.05% at $0.062\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $1.562\ 5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dimethoate, respectively. In 3 d test, the population parameters of offsprings of *B. calyciflorus* exposed to dimethoate were not significantly different from their parent. The results indicate that the net reproductive rate of *B. calyciflorus* might be used as a sensitive indicator of dimethoate and dimethoate might not have significant transgenerational reproductive impacts.

Keywords: *Brachionus calyciflorus*; dimethoate; population growth rate; life-table; resting egg

有机氯农药如六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)由于化学性质稳定、残留时间长、脂溶性强,给环境带来了严重的污染,我国在1983年已禁止使用,而代之以有机磷农药。目前一些高效、低毒和低残留的有机磷农

药如乐果、杀螟松、敌百虫等广泛地应用在农业生产中,而大量使用的有机磷农药可通过土壤淋溶、地表径流、喷洒漂移、土壤侵蚀以及挥发等方式进入自然水体^[1]。近年来的研究表明,一些有机磷农药被认定为环境激素,它们在很低剂量也会干扰动物的生长发育、繁殖或激素的合成代谢。对脊椎动物的实验表明,乐果引起雄鼠体重下降,睾丸和附睾及脏器系数极显著增加,影响羊、鼠等脊椎动物激素代谢,具有环境雌激素作用^[2-4]。

收稿日期:2013-06-05

基金项目:江苏省自然基金(BK2012675);江苏省滩涂生物资源与环境保护重点建设实验室开放基金(JLCBE10003)

作者简介:吕林兰(1976—),女,重庆人,博士,副教授,主要从事水域生态学和水产养殖教学与研究。E-mail:lvlinlan@ycit.cn

许多研究表明低剂量环境激素也会干扰水生生物生长发育和繁殖,如安全浓度及以下的雌激素化合物苯并芘、壬基苯酚、邻苯二甲酸和阿特拉津会延迟或完全抑制近亲真宽水蚤(*Eurytemora affinis*)幼体发育^[5];低浓度的壬基苯酚($0.01 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)对新糠虾(*Neomysis integer*)卵黄磷蛋白具有诱导作用,而高浓度则没有影响^[6];人工合成雌激素17 α -己烯雌酚会影响桡足类性比^[7]。轮虫是水生态系统中重要组成部分,其中蓴花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)具有分布广泛、个体小、生命周期和世代时间短、繁殖速度快、生活史特殊和休眠卵商业可得的优点,是生态毒理学研究的良好受试生物^[8]。柯丽霞等^[9]研究了有机磷农药甲胺磷和乙酰甲胺磷对蓴花臂尾轮虫3 d种群动态参数的影响;陈建秋等^[10]从个体水平上,采用了总产卵量、总产后代量以及生活史各时期历时评价了亚致死剂量的乐果对蓴花臂尾轮虫无性繁殖的影响。近年来的研究表明激素或低剂量环境激素同样会干扰蓴花臂尾轮虫的繁殖,尤其是有性生殖指标,如混交率、休眠卵产量等^[11-13]。然而乐果对蓴花臂尾轮虫有性生殖的影响及是否有后代效应还未见相应的研究。

本实验以蓴花臂尾轮虫为受试生物,研究了从低至 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 到高至 $25.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度乐果对其无性繁殖、生活史特征参数以及有性生殖的影响,尤其是低剂量暴露下形成休眠卵的数量、孵化率及孵化后生长能力,同时探讨了母体暴露低剂量乐果中产生的后代数及其恢复生长的能力(后代培养不加药物)。以为环境激素对水生生物的繁殖干扰提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及药品

实验用蓴花臂尾轮虫为乔治亚理工大学 Snell 教授赠送的佛罗里达品系休眠卵孵化得到,并进行实验室预培养,光照强度约4000 lx,光暗比16:8,温度(25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 。乐果(CAS NO.60-51-5,99.6%),购于Sigma-Aldrich公司,用丙酮溶液(分析纯)作为溶剂将其配置成 $10 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 母液,实验时再用EPA推荐蓴花臂尾轮虫培养液(含 $96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$, $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{MgSO}_4$, $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{KCl}$,pH 7.5)稀释成所需药物浓度,现配现用。根据预试验结果,设置2 d种群增长率实验乐果浓度梯度为1.6、3.2、12.6、25.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,生命表参数实验浓度梯度设定为0.02、0.063、0.20、0.63、2.00 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。7 d群体参数实验和母体暴露于乐果中对后代的影响实验的乐果浓度梯度设定为

0.0005、0.0025、0.0125、0.0625、0.3125、1.5625 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,分别以最大药物浓度组的溶剂浓度设置溶剂对照。

1.2 2 d 种群增长急性毒性试验

挑取预培养蓴花臂尾轮虫龄期<4 h的幼体,实验在12孔培养板中进行,每孔4个幼体,4 mL测试液,各浓度梯度均为5个平行。测试液中普通小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)浓度为 $2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$,投喂前需在4000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下离心冲洗。实验期间不换液,48 h时计数,计算2 d种群增长率。实验在光照培养箱中进行,条件同1.1节。

1.3 乐果对生命表参数影响试验

挑取龄期<4 h的幼体,实验在12孔培养板中进行,每孔10个幼体,新鲜培养液4 mL,各浓度梯度均为3个平行,培养条件同1.1节。每8 h观察一次,记录每孔轮虫的存活数、死亡数、新幼体数,并移去幼体及死亡个体,每24 h更换测试液1次,实验至轮虫个体全部死亡。

1.4 7 d 低剂量乐果慢性毒性试验

挑取龄期<4 h的幼体,实验在6孔培养板中进行,每孔4个幼体,8 mL测试液,各浓度梯度4个平行。测试液中普通小球藻浓度为 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。实验条件同1.1节。第3 d时分别对携非混交卵雌体、携雄卵雌体、非携卵雌体和携休眠卵雌体进行计数。计数后需进行换液并继续培养。培养至第7 d时对携带的休眠卵和底部休眠卵进行计数,并收集放入盛有1 mL养殖水的离心管中,置于4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存。

20 d后,将收集的休眠卵分别放于盛有1 mL养殖水的24孔板中,每孔10个,每组3个平行,于光照培养箱中孵化(温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,光暗比16:8)。连续观察3 d后统计孵化幼体数,计算孵化率,将各组同一时间段孵化的幼体(<4 h)收集放入盛有3 mL养殖水(加入小球藻)的12孔板中,每孔3个,每组3个平行,48 h后计数,计算2 d的种群增长率。实验条件同1.2节。

1.5 母体暴露于乐果其后代3 d种群增长试验

挑取龄期<4 h的幼体放入盛有6 mL含各药物浓度测试液的6孔培养板中,每孔6个幼体,每组4个平行。24 h后挑取3个龄期在2 h左右的幼体于无药的3 mL养殖水(加入小球藻),每组6个平行,第3 d时分别对携非混交卵雌体、携雄卵雌体、非携卵雌体和携休眠卵雌体进行计数。实验条件同1.2节。

1.6 有关参数的定义和计算方法^[14]

(1)净生殖率(R_0)——个体一生中所产雌性后代

的数量: $R_0 = \sum l_x m_x$

(2)世代时间(T)——亲代出生到子代出生所经历

的时间: $T = \sum x l_x m_x / R_0$

(3)内禀增长率(R_m)——种群在特定实验条件下的最大增长率: $R_m = \ln(R_0/T)$

上式中: l_x (特定年龄存活率) 为 x 年龄组开始时存活个体的百分数; m_x (特定年龄繁殖率) 特定年龄出生率, 是各年龄组 (8 h) 平均每个雌体的产幼数; R_m 的精确值是在粗略计算的基础上, 根据方程 $\sum l_x m_x e^{-rx} = 1$, 通过设置程序用试算法在 Excel 中求得。

(4)种群增长率 r : $r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$

式中: N_t 指种群在 t 天的种群数量; N_0 为起始数量; t 为实验时间。

(5)混交雌体百分率 = $MF / (MF + AF) \times 100\%$

式中: MF 为混交雌体; AF 为非混交雌体。

实际观察值均采用平均值 $\pm$ 标准误表示。通过统计软件 SPSS 16.0 对数据进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和 Dunnett 多重比较。

2 结果与分析

2.1 乐果对蓼花臂尾轮虫 2 d 种群增长率的影响

试验结果表明: 随着乐果浓度的升高, 蓼花臂尾轮虫的种群增长率显著下降。与对照相比, 浓度为 $1.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度组种群增长率下降了 0.99%, 差异不显著 ($P > 0.05$), 而浓度为 3.2 、 12.6 、 $25.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乐果试验组的增长率分别显著下降了 16.37%、22.51% 和 33.87% ($P < 0.05$)。

2.2 乐果对蓼花臂尾轮虫生命表参数的影响

试验结果 (表 1) 表明: 乐果对蓼花臂尾轮虫的净生殖率 R_0 、内禀增长率 R_m 和生命期望 e_0 有显著的影响 ($P < 0.05$), 对世代时间 T 无显著影响 ($P > 0.05$), 溶剂试验组与对照无显著差异。随着乐果浓度的升高, 试验组的净生殖率与对照组相比分别下降了 4.94%、10.35%、16.14%、20.15% 和 25.65% ($P < 0.05$), R_0 与乐果浓度显著相关 ($y = 10.19 - 3.856x + 1.378x^2$, $R^2 = 0.86$, $P < 0.05$) (图 1)。2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的试验组内禀增长率与对照组相比下降了 13.39% ($P < 0.05$), 而其生命期望比对照组升高了 10.72% ($P < 0.05$)。

2.3 低剂量乐果对蓼花臂尾轮虫 7 d 群体参数的影响

试验结果 (表 2) 表明: 乐果对蓼花臂尾轮虫的种群增长率和休眠卵产量具有显著影响, 浓度 0.000 5

表 1 乐果对蓼花臂尾轮虫净生殖率、内禀增长率、世代时间和生命期望的影响 (平均值 $\pm$ 标准误)

Table 1 Effects of dimethoate on net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (R_m), generation time (T) and life expectancy (e_0) of *B. calyciflorus* (mean $\pm$ S.E)

浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	R_0/ind	R_m/h^{-1}	T/h	e_0/h
0	10.72 $\pm$ 0.08	0.050 8 $\pm$ 0.00	46.69 $\pm$ 0.86	98.27 $\pm$ 2.00
溶剂对照	10.83 $\pm$ 0.05	0.049 7 $\pm$ 0.00	45.90 $\pm$ 1.38	102.97 $\pm$ 1.88
0.02	10.19 $\pm$ 0.04*	0.050 6 $\pm$ 0.00	44.86 $\pm$ 1.04	97.87 $\pm$ 1.41
0.063	9.61 $\pm$ 0.07*	0.050 5 $\pm$ 0.00	44.30 $\pm$ 1.11	99.47 $\pm$ 0.96
0.2	8.99 $\pm$ 0.03*	0.049 6 $\pm$ 0.00	45.01 $\pm$ 1.33	103.20 $\pm$ 2.81
0.63	8.56 $\pm$ 0.08*	0.047 7 $\pm$ 0.00	47.21 $\pm$ 1.33	96.80 $\pm$ 0.46
2	7.97 $\pm$ 0.08*	0.044 0 $\pm$ 0.00*	47.97 $\pm$ 0.39	108.80 $\pm$ 3.61*

注: * 表示与对照相比差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的试验组种群增长率显著上升了 10.81% ($P < 0.05$), $0.012 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.562 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的试验组休眠卵产量相较对照组分别升高了 64.71% 和 76.47% ($P < 0.05$)。乐果对 OF/NOF (携卵雌体/非携卵雌体) 和混交率无显著影响 ($P > 0.05$)。

乐果对蓼花臂尾轮虫的休眠卵的孵化率具有显著影响 ($P < 0.05$), $0.012 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度组休眠卵孵化率下降了 15.79%, 但差异不显著 (Sig=0.074)。0.062 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.562 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乐果试验组休眠卵孵化率比对照分别下降了 36.84%、21.05% ($P < 0.05$)。

在乐果中形成的休眠卵孵化后对 2 d 种群增长率无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.4 蓼花臂尾轮虫母体暴露于乐果对其后代 3 d 种群参数影响

试验结果表明 (表 3): 母体暴露在乐果中后, 对其子代种群增长率, OF/NOF 和混交率无显著影响 ($P > 0.05$)。0.062 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 试验组种群增长率比对照组

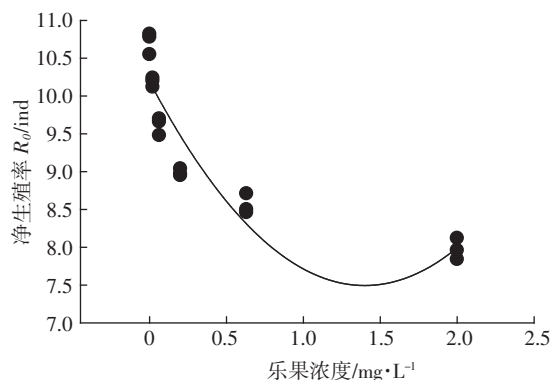


图 1 乐果对蓼花臂尾轮虫净生殖率的影响

Figure 1 The effect of dimethoate on net reproductive rate (R_0) of *B. calyciflorus*

表2 乐果对蓼花臂尾轮虫3 d种群增长率、携卵/非携卵雌体、混交率、休眠卵产量、孵化率及孵化后种群增长率的影响(平均值±标准误)
Table 2 3 d population growth rate, ovigerous females /non-ovigerous females (OF/NOF), mictic rate, and 7 d production, hatching rate, post hatching population growth rate of resting eggs of *B. calyciflorus* exposed to dimethoate (mean±S.E)

浓度/mg·L ⁻¹	种群增长率	OF/NOF	混交率/%	7 d 休眠卵产量/ind	休眠卵孵化率/%	孵化后种群增长率
空白对照	0.74±0.02	0.61±0.06	8.17±3.90	12.75±1.75	63.33±3.33	0.85±0.01
溶剂对照	0.74±0.02	0.78±0.07	2.78±1.60	12.50±1.55	56.67±3.33	0.83±0.02
0.000 5	0.82±0.02*	0.86±0.04	8.49±1.30	7.50±0.87	56.67±3.33	0.85±0.01
0.002 5	0.80±0.00	0.78±0.07	3.84±1.30	8.75±0.85	53.33±3.33	0.80±0.03
0.012 5	0.71±0.00	0.66±0.05	8.99±1.81	21.00±1.87*	46.67±3.33	0.81±0.04
0.062 5	0.74±0.01	0.74±0.17	6.65±2.44	8.25±1.38	40.00±0.00*	0.81±0.04
0.312 5	0.76±0.02	0.70±0.08	12.27±4.23	14.50±2.10	53.33±3.33	0.85±0.01
1.562 5	0.77±0.04	0.77±0.06	7.73±0.53	22.50±2.60*	50.00±0.00*	0.78±0.04

表3 蓼花臂尾轮虫母体暴露乐果对后代3 d种群增长率、携卵/非携卵雌体、混交率的影响(平均值±标准误)

Table 3 Three d population growth rate, ovigerous females /non-ovigerous females (OF/NOF) and mictic rate of offsprings of *B. calyciflorus* exposed to dimethoate (mean±S.E)

浓度/mg·L ⁻¹	种群增长率	OF/NOF	混交率/%
0	0.87±0.04	0.59±0.04	17.88±5.25
0.000 5	0.84±0.05	0.69±0.22	16.12±4.46
0.002 5	0.84±0.05	0.69±0.17	10.75±5.01
0.012 5	0.85±0.04	0.64±0.15	11.68±4.21
0.062 5	0.79±0.05	0.68±0.23	14.24±6.11
0.312 5	0.81±0.04	0.68±0.21	17.84±6.62
1.562 5	0.84±0.02	0.71±0.12	12.31±5.19

下降了9.46%, 0.002 5 mg·L⁻¹ 试验组混交率比对照组下降了39.86%, 但差异都不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 乐果对蓼花臂尾轮虫毒性影响

各种水生生物对有机磷的敏感度不一样。乐果对新糠虾(*Neomysis integer*) 96 h LC₅₀ 是 540 μg·L⁻¹^[15], 对大型蚤(*Daphnia magna*) 20 d 繁殖的 EC₅₀ 是 0.31 mg·L⁻¹^[16], 对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) 的 96 h LC₅₀ 是 7.35 mg·L⁻¹^[17]。本实验结果表明:随着乐果浓度的升高, 蓼花臂尾轮虫的 2 d 种群增长率显著下降, 种群增长率的下降可能与药物延长幼体发育的时间及释放幼体的时间间隔有关^[18]。陈建秋等^[10]在个体水平上研究表明, 浓度为 1.0 mg·L⁻¹ 以上时, 蓼花臂尾轮虫幼年期延长而生殖期历时则大大缩短, 其总产卵量也显著下降, 而本研究中, 在群体水平上, 当乐果浓度组高达 3.2 mg·L⁻¹ 及其以上时, 轮虫种群增长率才显著性下降。这可能与乐果对轮虫作用时间有关, 前者研

究了乐果对轮虫全部生命周期的影响, 本实验评价了乐果对轮虫 2 d 的影响, 只包括了轮虫幼年期和部分生殖期。相对 2 d 种群增长率指标, 轮虫生命表参数 R_0 对乐果更为敏感, 在生命表实验设置的最低浓度 (0.02 mg·L⁻¹), R_0 就显著降低, 而且随着乐果浓度的增加而下降, 两者显著相关。相对于群体实验, 轮虫生命表反应了毒物对种群的各个时期的动态变化, 不仅可以得到特定年龄的存活率和繁殖率, 而且可以推导出内禀增长率 (R_m)、净生殖率 (R_0)、世代时间 (T) 和生命期望 (e_0) 等。研究表明各参数的敏感性常因污染物的种类等不同而存在着差异^[19-21]。本研究中这四个生命表参数以 R_0 对乐果最敏感, 其次是 R_m 和 e_0 , 而 T 最不敏感。

3.2 低剂量乐果对轮虫群体及后代繁殖的影响

环境激素对动物的影响往往在低浓度即可产生效应, 而且具有长期性。在环境激素的剂量—效应关系研究中发现, 某些环境激素在低剂量和高剂量时对实验动物的不同组织产生不同的效应, 而产生低剂量效应的剂量范围低于或相当于常规的繁殖和发育毒理学检测规程产生的无作用剂量水平 (NOEC) 范围^[5]。低剂量群体试验中, 本试验浓度设置在乐果 2 d 种群增长率 NOEC (1.6 mg·L⁻¹) 相当浓度及其以下。Radix 等^[22]研究表明雌激素乙炔雌二醇高于 0.68 μmol·L⁻¹ 时, 蓼花臂尾轮虫携卵/非携卵非混交雌体显著下降。本试验研究表明, 低剂量乐果对蓼花臂尾轮虫携卵/非携卵非混交雌体和混交率无显著影响, 而对种群增长率和休眠卵产量具有显著影响, 最低浓度组乐果 (0.000 5 mg·L⁻¹) 刺激轮虫的生殖, 而最大浓度 1.562 5 mg·L⁻¹ 乐果种群增长率与对照组并无显著差异, 与急性毒性实验的结果一致。低浓度刺激了轮虫繁殖的“毒物兴奋”现象与我们之前研究的有机磷农

药杀螟松对轮虫繁殖的影响相似^[12]。

轮虫有性繁殖的内分泌调控比无性繁殖更复杂,目前虽然对轮虫有性生殖的转换机制还不十分清楚,但是已有的研究表明类固醇激素可能参与了这一调节作用^[23]。孕酮受体已在轮虫(*B.manjavacas*)中得到证实^[24]。休眠卵作为有性生殖的一个指标近年来被广泛用于激素或环境激素的评价^[11,12,25],已有研究表明不同的环境激素对休眠卵的影响不一。赵兰兰等^[11]研究了三种环境激素邻苯二甲酸酯类物质对萼花臂尾轮虫种群增长和有性生殖的影响,研究结果表明,只有邻苯二甲酸二己酯与轮虫休眠卵产量浓度间具有显著的剂量-效应关系。Snell等^[25]研究孕酮对轮虫(*B.manjavacas*)的影响得到:低浓度提高轮虫休眠卵产量,高浓度下休眠卵产量却下降。低剂量氯氰菊酯对萼花臂尾轮虫休眠卵产量影响表明,只有 $0.0316\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度引起休眠卵数量显著下降^[26]。而本实验结果表明 $0.0125\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.5625\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的试验组休眠卵产量较对照组分别升高了64.71%和76.47%($P<0.05$),休眠卵产量与药物浓度之间未发现剂量关系。这可能与不同物质对轮虫的作用机制不一有关。通常休眠卵的产量由四个主要因素决定:混交雌体的数量、雄体的活力和生育力、雌体对受精的敏感性、受精雌体的生殖力^[27]。研究表明氟他胺和烯菌酮群体实验降低休眠卵产量可能是单个受精雌体的休眠卵产量下降引起的^[28]。由此也可看出休眠卵产量是反映有性生殖的一个综合指标,具体药物作用的环节还需进一步研究。

研究表明农药二嗪农、氯氰菊酯中形成的休眠卵其孵化率下降^[26,29]。本试验结果表明,在 $0.0625\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.5625\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 乐果中形成的休眠卵其孵化率显著降低,但不会降低孵化后种群的增长率。母体暴露于乐果中产生的后代恢复生长后,对其3d的种群增长参数没有影响,说明亲代暴露于乐果中,对其后代没有产生明显的传代效应。

4 结论

(1)试验表明萼花臂尾轮虫的种群增长率和净生殖率随乐果浓度的升高显著下降,萼花臂尾轮虫净生殖率是检测乐果毒性的敏感指标。

(2)低剂量的乐果对萼花臂尾轮虫的种群增长率具有“毒物兴奋”作用;乐果对轮虫休眠卵产量具有显著影响,但未表现出剂量效应;轮虫休眠卵孵化率与导致形成休眠卵的药物浓度有关。

(3)母体暴露于乐果中,对其后代恢复生长的3d种群参数无显著影响,本实验未发现乐果对萼花臂尾轮虫产生明显的传代效应。

参考文献:

- [1] 李永玉,洪华生,王新红,等. 厦门海域有机磷农药污染现状与来源分析[J]. 环境科学学报, 2005, 25(8): 1071-1077.
LI Yong-yu, HONG Hua-sheng, WANG Xin-hong, et al. Estimation of the sources of organophosphorus pesticides in Xiamen sea area[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(8): 1071-1077.
- [2] Rawlings N C, Cook S J, Waldbillig D. Effects of the pesticides carbofuran, chlorpyrifos, dimethoate, lindane, triallate, trifluralin, 2, 4-D, and pentachlorophenol on the metabolic endocrine and reproductive endocrine system in ewes[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*: 1998, 54: 21-36.
- [3] Walsh L P, Webster D R, Stocco D M. Dimethoate inhibits steroidogenesis by disrupting transcription of the steroidogenic acute regulatory (StAR) gene[J]. *J Endocrinol*, 2000, 167: 253-263.
- [4] Abdallah F B, Slima A B, Dammak I, et al. Comparative effects of dimethoate and deltamethrin on reproductive system in male mice[J]. *Andrologia*, 2010, 42: 182-186.
- [5] Forget-Leray J, Landriau I, Minier C, et al. Impact of endocrine toxicants on survival, development, and reproduction of the estuarine copepod *Eurytemora affinis*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60: 288-294.
- [6] Ghekiere A, Verslycke T, Janssen C R. Effects of methoprene, nonylphenol and estrone on the vitellogenesis of the mysid *Neomysis integer*[J]. *Gen Comp Endocrinol*, 2006, 147: 190-195.
- [7] Breitholtz M, Bengtsson B E. Oestrogens have no hormonal effect on the development and reproduction of the harpacticoid copepod *Nitocra spinipes*[J]. *Mar Pollut Bull*, 2001, 42: 879-886.
- [8] Snell T W, Janssen C R. Rotifers in ecotoxicology: A review[J]. *Hydrobiologia*, 1995, 313: 231-247.
- [9] Ke L X, Xi Y L, Zha C W, et al. Effects of methamidophos idophos and acephate on experimental population dynamics of rotifer *Brachionus calyciflorus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33: 189-194.
- [10] 陈建秋,王志良,李国平,等. 有机磷农药乐果对萼花臂尾轮虫生殖的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21: 1731-1736.
CHEN Jian-qiu, WANG Zhi-liang, LI Guo-ping, et al. The effect of dimethoate on the reproduction of freshwater rotifer[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21: 1731-1736.
- [11] 赵兰兰,席贻龙,黄林,等. 邻苯二甲酸酯类物质对萼花臂尾轮虫种群增长和有性生殖的影响[J]. 动物学报, 2007, 53: 250-256.
ZHAO Lan-lan, XI Yi-long, HUANG Lin, et al. Effects of phthalate acid esters on population growth and sexual reproduction of rotifers *Brachionus calyciflorus*[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53: 250-256.
- [12] Lü L L, Snell T W, Yang J X, et al. Effects of fenitrothion on life history parameters of the rotifer *Brachionus calyciflorus*[J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2010, 25: 589-598.
- [13] Lü L L, Jiang Q C, Chen X J, et al. Effects of juvenile hormone and pre-

- cocene on the reproduction of *Brachionus calyciflorus* [J]. *Internat Rev Hydrobiol*, 2012, 97:435–444.
- [14] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 第3版. 北京:北京师范大学出版社, 2001.
- SUN Ru-yong. Principles of animal ecology[M]. Third edition, Beijing: Beijing Normal University Press, 2001.
- [15] Roast S D, Thompson R S, Donkin P, et al. Toxicity of the organophosphate pesticides chlorpyrifos and dimethoate to *Neomysis integer* (Crustacea: Mysidacea)[J]. *Water Research*, 1999, 33:319–326.
- [16] Canton J H, Wegman R C C, Van Oers A, et al. Environmental toxicological research with dimethoate and omethoate[R]. National Institute of Public Health and Environmental Hygiene, Washington, DC. 1980.
- [17] Johnson W W, Finley M T, Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates[M]. Washington, DC: U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service Resource Publication 137, 1980:4–17.
- [18] Snell T W, Moffat B D. A two-day life-cycle test with *Brachionus calyciflorus*[J]. *Envir Toxicol Chem*, 1992, 11:1249–1257.
- [19] Day K, Kaushik N K. An assessment of the chronic toxicity of the synthetic pyrethroid, fenvalerate, to *Daphnia galeata mendotae*, using life tables[J]. *Environ Pollut*, 1987, 44:13–26.
- [20] 徐晓平, 席贻龙, 储昭霞, 等. 溴氰菊酯对蓼花臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 动物学报, 2005, 51(2):251–256.
- XU Xiao-ping, XI Yi-long, CHU Zhao-xia, et al. Effect of deltamethrin on experimental population dynamics of freshwater rotifers *Brachionus calyciflorus*[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51:251–256.
- [21] Ramírez-Pérez T, Sarma S S S, Nandini S. Effects of mercury on the life table demography of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera)[J]. *Ecotoxicology*, 2004, 13:535–544.
- [22] Radix P, Severin G, Schramm K W, et al. Reproduction disturbances of *Brachionus calyciflorus* (Rotifer) for the screening of environmental endocrine disruptors[J]. *Chemosphere*, 2002, 47:1097–1101.
- [23] Snell T W, Kubanek J M, Carter W E, et al. A protein signal triggers sexual reproduction in *Brachionus plicatilis* (Rotifera)[J]. *Marine Biol.*, 2006, 149:763–773.
- [24] Stout E P, La Clair J J, Snell T W, et al. Conservation of progesterone hormone function in invertebrate reproduction[J]. *PNAS*, 2010, 107:11859–11864.
- [25] Snell T W, DesRosiers N J D. Effect of progesterone on sexual reproduction of *Brachionus manjavacas* (Rotifera)[J]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2008, 363:104–109.
- [26] 董学兴, 杨家新, 吕林兰, 等. 环境激素氯氰菊酯对蓼花臂尾轮虫繁殖的影响[J]. 环境科学, 2012, 33:3266–3271.
- DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, et al. Effects of the environmental hormone cypermethrin on the reproduction of *Brachionus calyciflorus*[J]. *Environmental Science*, 2012, 33:3266–3271.
- [27] Pourriot R, Snell T W. Resting eggs in rotifers[J]. *Hydrobiologia*, 1983, 104:213–224.
- [28] 吕林兰. 环境内分泌干扰物对蓼花臂尾轮虫繁殖生物学的影响[D]. 南京, 南京师范大学, 2010.
- LÜ Lin-lan. Effects of environmental endocrine disruptors on reproductive biology of *Brachionus calyciflorus*[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2010.
- [29] Marcial H S, Hagiwara A. Effect of diazinon on life stages and resting egg hatchability of rotifer *Brachionus plicatilis*[J]. *Hydrobiologia*, 2007, 593:219–225.