

# 马拉硫磷和甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响

陆正和, 吴建新, 罗 刚

(淮海工学院海洋学院海洋生物技术重点实验室, 江苏 连云港 222005)

**摘要:**研究了不同浓度马拉硫磷(malathion)(0.03、0.3、3.0、30.0、300.0、3 000.0  $\mu\text{g/L}$ )和甲氰菊酯(fenprothrin)(0.004、0.04、0.4、4.0、40.0、400.0  $\mu\text{g/L}$ )对萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)3 d种群增长率、携卵雌体数/非携卵雌体数、混交雌体百分率、混交雌体受精率及7 d休眠卵产量影响。结果表明,马拉硫磷、甲氰菊酯对种群增长率、混交雌体百分率、混交雌体受精率及7d休眠卵产量有显著影响;马拉硫磷对携卵雌体数/非携卵雌体数无显著影响,但甲氰菊酯有显著影响。马拉硫磷对轮虫休眠卵产量最低效应浓度(LOEC)为0.3  $\mu\text{g/L}$ ,对混交雌体百分率LOEC为30.0  $\mu\text{g/L}$ ,对种群增长率和混交雌体受精率LOEC为300.0  $\mu\text{g/L}$ ;甲氰菊酯对轮虫休眠卵产量最低效应浓度0.04  $\mu\text{g/L}$ ,对混交雌体百分率和携卵雌体数/非携卵雌体数LOEC为4.0  $\mu\text{g/L}$ ,对种群增长率和混交雌体受精率LOEC为40.0  $\mu\text{g/L}$ 。试验显示,马拉硫磷和甲氰菊酯对轮虫生殖存在差异,轮虫休眠卵产量可以用来监测和评价2种杀虫剂潜在的影响。

**关键词:**马拉硫磷;甲氰菊酯;萼花臂尾轮虫;生殖

**中图分类号:**X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)03-0122-06

有机磷杀虫剂和拟除虫菊酯类杀虫剂因具有高效、低残留等特点,因而在农业生产中应用广泛。近年来,随着使用次数和剂量的增加,这类杀虫剂对水体污染日益严重,以致影响水生动物的安全,特别是一些敏感的无脊椎动物。马拉硫磷(malathion)和甲氰菊酯(fenprothrin)为这两类杀虫剂中的常用种类,大量使用后会通过漂移和地表径流途径进入水体环境中,对水生动物的生长、繁殖以及生存造成威胁(Wirth et al, 2001; Nguyen & Janssen, 2002; Ren et al, 2007; Kashiwada et al, 2008);此外,研究显示马拉硫磷和甲氰菊酯还具有拟环境雌激素特性,能够干扰动物的生殖(薛南冬等,2005; 邴欣和汝少国,2009);而马拉硫磷和甲氰菊酯对浮游动物轮虫生殖影响的报道较少(Snell & Persoone, 1989)。

轮虫为淡水浮游动物的重要组成部分,在水生生态系统物质转换和能量传递中起着重要作用;同时,轮虫由于分布广、世代周期短、繁殖快、易培养,且对大多数污染物敏感性较强,因而在生态毒理学中引起关注(Snell & Janssen, 1995),但这些研究大多集中在对无性生殖影响方面,而有性生殖方面涉及较

少。已有研究表明,轮虫的有性生殖较无性生殖对污染物更敏感,因此利用轮虫的有性生殖能够较好地评价水体污染程度(Preston et al, 2000; Preston & Snell, 2001; Sarma et al, 2001; Huang et al, 2007; Zha et al, 2007)。本文以水体中常见的萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)为受试对象,研究低浓度马拉硫磷和甲氰菊酯对轮虫3 d种群增长率、携卵和非携卵雌体比例、混交雌体百分率、混交雌体受精率和7d休眠卵产量影响,筛选轮虫对马拉硫磷和甲氰菊酯敏感性指标,为利用轮虫评价有机磷杀虫剂和拟除虫菊酯类杀虫剂对水生动物潜在影响提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

萼花臂尾轮虫由休眠卵孵化而来。该轮虫品系采自淮海工学院校园池塘,挑选一携非混交卵雌体,在实验室进行多代培养,达到较高密度时,采用降温 and 减少食物方法诱导轮虫两性生殖,产生大量休眠卵,收集休眠卵并保存,作为起始试验材料。休眠卵使用EPA培养液(96 mg  $\text{NaHCO}_3$ , 60 mg  $\text{CaSO}_4$ , 60 mg  $\text{MgSO}_4$ , 4 mg  $\text{KCl}$ , 1 L去离子水)进行孵化,孵化温度( $25 \pm 1$ ) $^\circ\text{C}$ ,光照强度200 lx,光照周期(L:D)为12:12。轮虫培养饵料为蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoides*),该藻由HB<sub>4</sub>培养液培养,达到指数增长后期后离心、收集,使用时由EPA配制成

收稿日期:2012-01-17

基金项目:江苏海洋生物技术重点实验室开放课题(2009HS15)。

作者简介:陆正和,1968年生,男,博士研究生,主要从事浮游动物生态学研究。E-mail:luzhh@sina.com

悬液投喂 (Zhang & Huang, 1991)。

试验所用马拉硫磷和甲氰菊酯 (AR 级) 购自德国 Sigma - Aldrich 公司, 先溶解于二甲基亚砜 (DMSO), 然后用去离子水稀释成 100.0 mg/L 浓度贮备液, 贮存在 0 ~ 4℃ 冰箱中, 试验时稀释成所需浓度。

### 1.2 急性毒性

在预试验的基础上, 设置马拉硫磷为 4.0、8.0、12.0、16.0、20.0、24.0 mg/L, 甲氰菊酯浓度为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mg/L, 同时设对照组, 随机挑选 10 个刚孵出的轮虫幼体 (龄长 < 2h) 分别投入到以上测试液中, 测试液体积为 10 mL; 24 h 后在解剖镜下统计轮虫死亡数, 以轮虫纤毛停止摆动为死亡标准, 每组设 4 个平行, 试验在 (25 ± 1)℃、无光下条件进行, 试验轮虫不喂食。试验结束后, 利用几率单位法求得 24 h LC<sub>50</sub> 值 (Finley, 1971)。

### 1.3 生殖影响

在 24 h 的 LC<sub>50</sub> 值基础上, 用 EPA 培养液设定马拉硫磷测试液浓度分别为 0.03、0.3、3.0、30.0、300.0、3 000.0 μg/L, 甲氰菊酯浓度分别为 0.004、0.04、0.4、4.0、40.0、400.0 μg/L, 其中各测试液中 DMSO 含量低于 1.0%, 因 1.0% 或更低 DMSO 对试验对萼花臂尾轮虫无性生殖和有性生殖无影响 (Snell & Cramona, 1995); 试验设空白对照组, 每组浓度设 5 个重复。试验开始时, 取刚孵出的轮虫幼体 (< 2 h) 4 个接入到容有 8 mL 测试液的 (内含 3.0 × 10<sup>6</sup> 个/mL 小球藻) 120 mm × 16 mm 玻璃试管中, 第 2 天向各试管中加入 1.0 × 10<sup>6</sup> 个/mL 小球藻补充轮虫消耗食物。第 3 天统计轮虫个数, 包括非携卵雌体、携雄卵雌体、携休眠卵雌体和携夏卵雌体, 统计完成后, 将所有轮虫及休眠卵放入到原来的试管中继续培养。第 7 天统计各试管中休眠卵数量及混交体携带休眠卵数量。轮虫培养过程中, 各试管每隔 3 h 振荡 5 min, 以确保藻液和轮虫悬浮, 试验温度为 (25 ± 1)℃, 黑暗中进行。

### 1.4 轮虫雌体类型和划分

参照 Snell & DesRosiers (2008) 的方法进行轮虫雌体类型鉴定与划分。

### 1.5 参数定义和计算方法

种群增长率 (population growth rate,  $r$ ):  $r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$ , 式中:  $N_t$  和  $N_0$  分别为试验结束和试验开始时的种群密度,  $t = 3$  d。OF/NOF 为种群中携卵雌体数 (ovigerous females) 与不携卵雌体数 (non-

ovigerous females) 的比值。混交率 (mixis rate, MR) 指种群中携卵混交雌体数占雌体总数的百分数。混交雌体受精率 (fertilization rate, FR) 简称受精率, 指种群中受精的混交雌体数占携卵混交雌体总数的比率。休眠卵产量 (resting egg production, RE) 为轮虫在 7 d 内所产休眠卵数量。

所有试验结果以平均值 ± 标准差 (Means ± SE) 表示, 并使用 SPSS16.0 软件进行单因子方差分析 (One-Way ANOVA), 对有显著差异的与对照组相比进行 Dunnett's 分析, 确定各参数的最高无效应浓度 (NOEC) 和最低效应浓度 (LOEC), 即在设定浓度范围里, 其最低限对各参数不产生影响的最高浓度和和产生影响的最低浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 急性毒性试验

马拉硫磷对萼花臂尾轮虫 24 h LC<sub>50</sub> 值为 28.34 mg/L, 95% 的置信限为 21.43 ~ 39.15 mg/L; 甲氰菊酯 24 h LC<sub>50</sub> 值为 3.38 mg/L, 95% 的置信限为 2.28 ~ 5.28 mg/L。

### 2.2 对轮虫种群生殖的影响

暴露于不同浓度马拉硫磷和甲氰菊酯溶液中的萼花臂尾轮虫 3 d 生殖参数如表 1 所示。

方差分析结果显示, 除 OF/NOF 外, 马拉硫磷对轮虫种群增长率、混交雌体百分率、混交雌体受精率显著影响 ( $P < 0.05$ )。相对对照组比, 3 000.0 μg/L 浓度组显著降低了轮虫种群增长率 ( $P < 0.05$ ), 而其它浓度与对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 与对照组相比, 浓度在 0.03、0.3、3.0 μg/L 浓度组对轮虫种群中混交雌体百分率无影响 ( $P > 0.05$ ), 但 30.0、300.0、3 000.0 μg/L 浓度组显著降低了轮虫种群中混交雌体百分率 ( $P < 0.05$ ); 试验浓度在 0.03、0.3、3.0、30.0、300.0 μg/L, 混交雌体受精率为 24.38% ~ 32.32%, 但与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 3 000.0 μg/L 组显著降低了混交雌体受精率 ( $P < 0.05$ )。

甲氰菊酯浓度对轮虫种群增长率、携卵/非携卵雌体、混交雌体百分率、混交雌体受精率也有显著影响 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比, 40.0、400.0 μg/L 浓度组显著降低了轮虫种群增长率 ( $P < 0.05$ ); 4.0、40.0、400.0 μg/L 浓度组显著降低了 OF/NOF 和 MR ( $P < 0.05$ ); 40.0、400.0 μg/L 浓度组显著降低了 FR ( $P < 0.05$ )。

表1 马拉硫磷和甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫3 d 生殖参数影响

Tab.1 Effects of malathion and fenpropathrin on the reproduction of *B. calyciflorus* after 3-day exposure

药品名称	浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	种群增长率 $r$	携卵/非携卵雌体 OF/NOF	混交百分率 MR/%	混交雌体受率 FR/%
马拉硫磷	0	$1.03 \pm 0.02$	$0.82 \pm 0.06$	$15.29 \pm 1.05$	$30.80 \pm 3.40$
	0.03	$1.05 \pm 0.01$	$0.93 \pm 0.05$	$14.70 \pm 1.63$	$32.32 \pm 2.71$
	0.3	$1.08 \pm 0.01$	$0.78 \pm 0.06$	$15.01 \pm 1.24$	$30.03 \pm 4.09$
	3.0	$1.05 \pm 0.01$	$0.66 \pm 0.07$	$12.02 \pm 0.86$	$24.61 \pm 1.58$
	30.0	$1.01 \pm 0.01$	$0.64 \pm 0.04$	$7.20 \pm 1.01^*$	$18.21 \pm 5.93$
	300.0	$0.99 \pm 0.01$	$0.64 \pm 0.08$	$6.24 \pm 0.91^*$	$24.38 \pm 6.91$
	3 000.0	$0.85 \pm 0.02^*$	$0.72 \pm 0.10$	$2.33 \pm 1.13^*$	$6.67 \pm 6.67^*$
甲氰菊酯	0	$1.03 \pm 0.02$	$0.82 \pm 0.06$	$15.29 \pm 1.05$	$30.80 \pm 3.40$
	0.004	$1.05 \pm 0.02$	$0.84 \pm 0.06$	$14.04 \pm 1.32$	$35.25 \pm 6.11$
	0.04	$1.03 \pm 0.01$	$0.60 \pm 0.09$	$12.62 \pm 0.89$	$25.06 \pm 7.29$
	0.4	$1.00 \pm 0.01$	$0.77 \pm 0.03$	$10.93 \pm 1.06$	$19.50 \pm 3.93$
	4.0	$0.99 \pm 0.02$	$0.48 \pm 0.06^*$	$7.98 \pm 1.23^*$	$20.28 \pm 4.25$
	40.0	$0.90 \pm 0.02^*$	$0.48 \pm 0.04^*$	$7.07 \pm 1.42^*$	$7.86 \pm 3.50^*$
	400.0	$0.79 \pm 0.02^*$	$0.44 \pm 0.05^*$	$2.73 \pm 0.90^*$	$0^*$

注: \* 表示不同浓度组数据与对照组数据相比有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

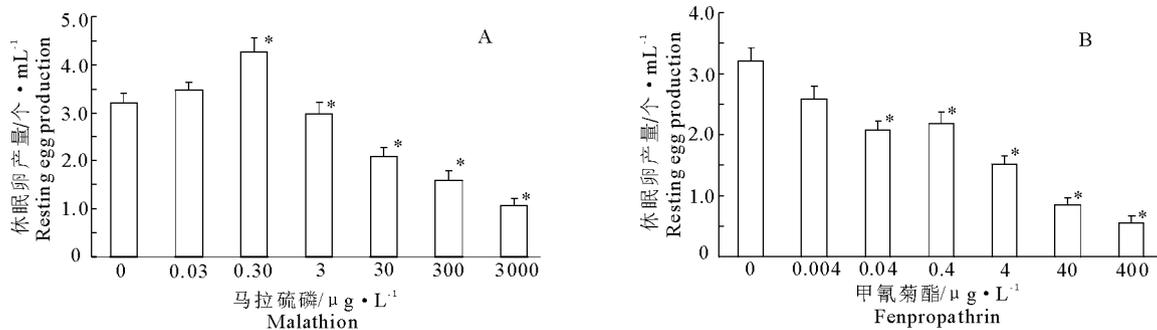
Note: \* indicates significant difference from control ( $P < 0.05$ ) by dunnett's test.

### 2.3 对萼花臂尾轮虫7 d 休眠卵产量的影响

图1A可见,马拉硫磷和甲氰菊酯对轮虫7 d 休眠卵产量有显著影响 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,0.03  $\mu\text{g/L}$  组马拉硫磷对休眠卵产量无显著影响 ( $P > 0.05$ ),但0.3  $\mu\text{g/L}$  组则显著增加了休眠卵产量 ( $P < 0.05$ ),3.0、30.0、300.0、3 000  $\mu\text{g/L}$  组显著降低了休眠卵产量 ( $P < 0.05$ )。图1B可见,甲氰菊酯浓度在0.004  $\mu\text{g/L}$  与对照组相比无显著影响 ( $P > 0.05$ ),但0.04、0.4、4.0、40.0、400.0  $\mu\text{g/L}$  组显著降低了休眠卵产量 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 对萼花臂尾轮虫的毒性影响比较

从表2中各参数的NOEC和LOEC值比较可以看出,轮虫的MR与RE这2个试验终点对马拉硫磷比较敏感,而OF/NOF对马拉硫磷不敏感,FR的敏感性低于MR与RE,而高于r;RE、OF/NOF及MR对甲氰菊酯比较敏感,r与FR的敏感性相当;由此可以得出马拉硫磷对轮虫生殖毒性低于甲氰菊酯,而且这2种药物对轮虫的休眠卵产量影响最为显著,最低效应浓度LOEC分别为0.3  $\mu\text{g/L}$  和0.04  $\mu\text{g/L}$ 。



注: \* 表示不同浓度组与对照组相比有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

图1 马拉硫磷和甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫7 d 休眠卵产量的影响

Note: \* indicates significant difference from control ( $P < 0.05$ ) by dunnett's test

Fig.1 Effects of malathion and fenpropathrin on the resting egg production of *B. calyciflorus* at 7 d

## 3 讨论

### 3.1 马拉硫磷和甲氰菊酯对轮虫的急性毒性

有关杀虫剂对轮虫的急慢性毒性影响已有报道 (Snell & Janssen 1995),但涉及有机磷和菊酯类杀虫剂对轮虫毒性影响报道较少 (Marcial et al,

2005)。Fernandez-Casalderry 等 (1992) 研究发现马拉硫磷对萼花臂尾轮虫 24 h  $\text{LC}_{50}$  为 33.72 mg/L;而本研究中,马拉硫磷对萼花臂尾轮虫 24 h  $\text{LC}_{50}$  为 28.34 mg/L,导致半致死浓度不同可能与轮虫品系、培养条件及所用药物有关;此外,徐晓平等 (2005) 研究显示甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫 24 h  $\text{LC}_{50}$

表2 马拉硫磷和甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫毒性的影响

Tab.2 Effects of malathion and fenpropathrin on the toxicity of *B. calyciflorus* at 3 d  $\mu\text{g/L}$ 

参数	马拉硫磷		甲氰菊酯	
	NOEC	LOEC	NOEC	LOEC
r	300.0	3000.0	4.0	40.0
OF/NOF	-	-	0.40	4.0
MR	3.0	30.0	0.40	4.0
FR	300.0	3000.0	4.0	40.0
RE	0.03	0.3	0.004	0.04

为 3.38 mg/L, 而溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫 24 h  $LC_{50}$  为 4.18 mg/L, 表明菊酯类杀虫剂对轮虫的毒性大小与药物种类有关。

### 3.2 马拉硫磷和甲氰菊酯对轮虫生殖影响

有研究表明, 利用轮虫种群增长率能够敏感评估污染物的毒性 (Radix et al, 2002; Xi & Feng, 2004)。Sarma 等 (2001) 研究了不同藻类浓度下甲基对硫磷对角突臂尾轮虫 (*B. angularis*) 和十指臂尾轮虫 (*B. patulus*) 种群增长影响, 发现甲基对硫磷浓度高于 0.3125 mg/L 和 0.16 mg/L 分别降低了角突臂尾轮虫和十指臂尾轮虫的种群增长率; Day (1989) 发现拟除虫菊酯类农药扑灭司林 (permethrin)、氯氰菊酯 (cypermethrin)、溴氰菊酯 (deltamethrin) 和氰戊菊酯 (fenvalerate) 浓度大于 10.0  $\mu\text{g/L}$  时显著降低了轮虫种群数量。本研究显示, 马拉硫磷在 0.03 ~ 300.0  $\mu\text{g/L}$  对轮虫种群 3 d 增长率无显著影响, 但浓度在 3 000.0  $\mu\text{g/L}$  降低了种群增长率; 而 0.004 ~ 4.0  $\mu\text{g/L}$  甲氰菊酯对萼花臂尾轮虫种群增长率无显著影响, 但浓度在 40.0 ~ 400.0  $\mu\text{g/L}$  则显著降低了种群增长率。Radix 等 (2002) 研究发现轮虫 3 d 种群增长率为评估雌二醇、壬基酚和睾酮较好的试验终点; 此外, Gallardo 等 (1997) 研究激素对褶皱臂尾轮虫影响时发现 0.05 ~ 50.0 mg/L 的 17 $\beta$ -雌二醇、保幼激素三碘、甲腺原氨酸 ( $T_3$ ) 和 20-羟基蜕皮酮 (20-HE) 对轮虫的种群增长率均无显著影响, 但 50 mg/L 的  $\gamma$ -氨基丁酸 (GABA)、0.0025 IU/mL 和 0.025 IU/mL 的生长激素 (GH)、0.25 IU/mL 和 2.5 IU/mL 的人绒毛促性腺激素 (HCG) 以及 5 mg/L 的 5-羟色胺 (5-HT) 却显著促进褶皱臂尾轮虫的种群增长, 原因可能与测试药物种类、轮虫种类及密度等有关。

### 3.3 轮虫的敏感性指标分析

3.3.1 生殖方式 研究表明轮虫的有性生殖比无性生殖 (种群增长率) 对污染物更敏感。Snell & Carmona (1995) 研究发现, 0.2 mg/L PCP、0.3 mg/L

毒死蜱 (chlorpyrifos) 对萼花臂尾轮虫 2 d 种群增长率无显著影响, 但对有性生殖有显著影响; Xi & Liu (2004) 发现甲基托布津和草甘膦溶液对轮虫 3 d 种群增长率敏感性低于混交率, 表明轮虫有性生殖较无性生殖敏感。本研究发现, 30.0、300.0  $\mu\text{g/L}$  马拉硫磷显著降低了轮虫 3 d 种群混交率, 但却对轮虫种群增长率无显著影响; 4.0  $\mu\text{g/L}$  甲氰菊酯显著降低了轮虫 3 d 种群混交率, 而该浓度对轮虫种群增长率无显著影响。

3.3.2 携卵雌体与非携卵雌体比例 Radix 等 (2002) 应用轮虫 3 d 种群增长试验评估雌二醇、壬基酚和睾酮对萼花臂尾轮虫生殖影响, 发现携卵雌体与非携卵雌体比例 (OF/NOF) 为较敏感指标。本试验研究发现马拉硫磷浓度对 OF/NOF 无影响, 而甲氰菊酯对 OF/NOF 却有显著影响, 这表明利用 OF/NOF 值评估污染物效应时, 应根据污染物的种类和浓度, 选定合适的指标。

3.3.3 混交雌体受精率 Preston 等 (2000) 应用萼花臂尾轮虫评价 11 种内分泌干扰物对轮虫混交雌体受精率影响时, 发现 4 d 种群的混交雌体受精率比其它试验终点更容易受到睾酮、氟它胺、萘酚影响, 而其它 8 种内分泌干扰物对混交雌体受精率影响不显著。本研究发现, 轮虫 3 d 的混交雌体受精率对马拉硫磷和甲氰菊酯敏感性低于混交雌体百分率, 而与种群增长率相当; 表明轮虫混交雌体受精率对不同污染物的敏感性与所测试污染物种类、浓度以及测试时间有很大关系。

3.3.4 休眠卵产量 休眠卵是轮虫有性生殖的产物, 利用轮虫休眠卵产量能够较敏感地评价污染物, 而且较其它指标敏感。Preston & Snell (2001) 研究发现 PCP 和  $\text{Cu}^{2+}$  浓度为 25.0  $\mu\text{g/L}$  和 5.0  $\mu\text{g/L}$  时显著增加萼花臂尾轮虫 4 d 休眠卵产量, 而该浓度对轮虫的种群增长率无显著影响; Marcial 等 (2005) 研究杀虫剂对褶皱臂尾轮虫毒性影响时发现, 轮虫 7 d 休眠卵产量为较敏感指标。本研究表明, 马拉硫磷浓度在 0.03  $\mu\text{g/L}$  对轮虫休眠卵产量无影响, 0.3  $\mu\text{g/L}$  显著增加了轮虫休眠卵产量, 这可能是该浓度对轮虫的种群增长具有刺激作用, 而种群增长又诱导了轮虫有性雌体的增加, 最终导致雌雄轮虫个体交配机会增加, 引起休眠卵数量增加; 3.0 ~ 3 000.0  $\mu\text{g/L}$  显著降低了休眠卵产量; 甲氰菊酯浓度在 0.004、0.04  $\mu\text{g/L}$  对萼花臂尾轮虫轮虫休眠卵产量无显著, 但浓度 0.4 ~ 400.0  $\mu\text{g/L}$  显著降低了轮虫休眠卵产量, 推测产生的原因与马拉硫磷类似。

3.3.5 最敏感指标 本研究结果显示, 蓼花臂尾轮虫有性生殖较无性生殖对马拉硫磷和甲氰菊酯敏感, 其中轮虫休眠卵产量为各指标中最敏感的指标(表2)。马拉硫磷对轮虫7 d 休眠卵产量最高非效应浓度为  $0.03 \mu\text{g/L}$ , 最低效应浓度为  $0.3 \mu\text{g/L}$ , 而甲氰菊酯最高非效应浓度为  $0.04 \mu\text{g/L}$ , 最低效应浓度为  $0.4 \mu\text{g/L}$ 。马拉硫磷和甲氰菊酯由于广泛使用, 已在国内外一些水体中被检测出来, Sujatha 等(1999)在 Indian 河口测得马拉硫磷含量为  $1.373 \sim 13.013 \mu\text{g/L}$ ; 帅琴等(2003)应用气相色谱方法测得武汉东磨山附近地下水马拉硫磷浓度为  $0.04 \mu\text{g/L}$ , 而东磨山附近灌溉水为  $1.54 \mu\text{g/L}$ ; 此外, 陈明等(2007)分析了北京市高碑店、北小河两个城市污水处理厂进水与出水中菊酯类农药的浓度, 发现废水中存在联苯菊酯、甲氰菊酯、氰戊菊酯和溴氰菊酯, 浓度在  $0.013 \sim 0.920 \mu\text{g/L}$ 。水体中的这些浓度可能低于本试验中影响轮虫 r、OF/NOF、MR、FR 的马拉硫磷和甲氰菊酯浓度, 但水体中以上农药的浓度对轮虫休眠卵产量影响显著, 因此轮虫7 d 休眠卵产量为轮虫生殖中最敏感的指标, 可以用来作为监测水体中马拉硫磷和甲氰菊酯生态毒理学参数。

#### 参考文献

陈明, 任仁, 王子健, 等. 2007. 城市污水处理厂水样中菊酯类农药残留分析[J]. 中国环境监测, (1): 27 - 30.

邴欣, 汝少国. 2009. 四种拟除虫菊酯类农药的环境雌激素活性研究[J]. 中国环境科学, 29(2): 152 - 156.

徐晓平, 席貽龙, 储昭霞, 等. 2005. 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, 51(1): 251 - 256.

帅琴, 杨薇, 郑岳君, 等. 2003. 固相微萃取与气相色谱质谱联用测定有机磷杀虫剂的残留量[J]. 色谱, 21(3): 273 - 276.

薛南冬, 王洪波, 徐晓白. 2005. 水环境中农药类内分泌干扰物的研究进展[J]. 科学通报, 50(2): 2441 - 2449.

Day K E. 1989. Acute, chronic and sublethal effects of synthetic pyrethroids on freshwater zooplankton [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 8(5): 411 - 416.

Fernández - Casalderry A, Ferrando M D, Andreu-Moliner E. 1992. Acute toxicity of several pesticides to rotifer (*Brachionus calyciflorus*) [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 48(1): 14 - 17.

Finley D J. 1971. Probit analysis. 3rd ed [M]. Cambridge Univ. Press, London.

Gallardo W G, Hagiwara A, Tomita Y, et al. 1997. Effect of

some vertebrate and invertebrate hormones on the population growth, mictic female production, and body size of the marine rotifer *Brachionus plicatilis* Müller [J]. Hydrobiologia, 358(1): 113 - 120.

Huang L, Xi Y L, Zha W C, et al. 2007. Effect of Aldrin on Life History Characteristics of Rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 79(5): 524 - 528.

Kashiwada S, Tatsuta H, Kameshiro M, et al. 2008. Stage - Dependent Differences in Effects of Carbaryl on Population Growth Rate in Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(11): 2397 - 2402.

Marcial H S, Hagiwara A, Snell T W. 2005. Effect of some pesticides on reproduction of rotifer *Brachionus plicatilis* Muller [J]. Hydrobiologia, 546: 569 - 575.

Nguyen L T H, Janssen C R. 2002. Embryo-larval toxicity tests with the African catfish (*Clarias gariepinus*): Comparative sensitivity of endpoints [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 42(2): 256 - 262.

Preston B L, Snell T W. 2001. Full life-cycle toxicity assessment using rotifer resting egg production: implications for ecological risk assessment [J]. Environmental Pollution, 114(3): 399 - 406.

Preston B L, Snell T W, Roberston T L, et al. 2000. Use of freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* in screening assay for potential endocrine disruptors [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 19(12): 2923 - 2928.

Radix P, Severin G, Schramm A K. 2002. Reproduction disturbances of *Brachionus calyciflorus* (rotifer) for the screening of environmental endocrine disruptors [J]. Chemosphere, 47(10): 1097 - 1101.

Ren Z M, Zha J M, Ma M, et al. 2007. The early warning of aquatic organophosphorus pesticide contamination by on-line monitoring behavioral changes of *Daphnia magna* [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 134(1 - 3): 373 - 383.

Sarma S S S, Nandini S, José Luis Gama Flores. 2001. Effect of Methyl Parathion on the Population Growth of the Rotifer *Brachionus patulus* (O. F. Müller) under Different Algal Food (*Chlorella vulgaris*) Densities [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 48(2): 190 - 195.

Snell T W, Carmona M J. 1995. Comparative toxicant sensitivity of sexual and asexual reproduction in the rotifer *Brachionus calyciflorus* [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 14(3): 415 - 420.

Snell T W, DesRosiers N J D. 2008. Effect of progesterone on sexual reproduction of *Brachionus manjavacas* (Rotifera)

- [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 363(1-2): 104-109.
- Snell T W, Janssen C R. 1995. Rotifers in ecotoxicology: a review[J]. *Hydrobiologia*, 313/314(1): 231-247.
- Snell T W, Persoone G. 1989. Acute toxicity bioassays using rotifers. I. A test for brackish and marine environments with *Brachionus plicatilis*[J]. *Aquatic Toxicology*, 14(1): 65-80.
- Sujatha C H, Chacko J, Nair S M. 1999. Determination and distribution of endosulfan and malathion in an indian estuary [J]. *Water Research*, 33(1): 109-114.
- Wirth E F, Lund S A, Fulton M H et al. 2001. Determination of acute mortality in adults and sublethal embryo responses of *Palaemonetes pugio* to endosulfan and methoprene exposure [J]. *Aquatic Toxicology*, 53(1): 9-18.
- Xi Y L, L K Feng. 2004. Effects of thiophanate-methyl and glyphosate on asexual and sexual reproduction in the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73(4): 644-651.
- Zha C W, Xi Y L, Huang L, et al. 2007. Effect of Sublethal Exposure to Chlordecone on Life History Characteristics of Freshwater Rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(1): 79-83.
- Zhang Z S, Huang X F. 1991. *Method for Study on Freshwater Plankton*[M]. Beijing: Science Press.

(责任编辑 万月华)

## Effects of Malathion and Fenpropathrin on the Reproduction of *Brachionus calyciflorus*

LU Zheng-he, WU Jian-xin, LUO Gang

(Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Huaihai Institute of Technology,  
Lianyungang 222005, P. R. China)

**Abstract:** Reproduction of *Brachionus calyciflorus* was studied under different concentrations of malathion and fenpropathrin, including the parameters of 3-d population growth rate ( $r$ ), ovigerous females/non-ovigerous females (OF/NOF), mixis rate (MR), fertilization rate (FR), and 7-d resting egg production (RE). The results showed that malathion and fenpropathrin significantly affected  $r$ , MR and FR of *B. calyciflorus*. Malathion had no significant effect on OF/NOF, while fenpropathrin significantly affected OF/NOF. The lowest observed effect concentration (LOEC) of malathion affected RE, MR,  $r$  and FR was 0.3, 30.0, 300.0 and 300.0  $\mu\text{g/L}$  respectively. LOEC of fenpropathrin affected RE, MR, OF/NOF,  $r$  and FR was 0.04, 4.0, 4.0, 40.0 and 40.0  $\mu\text{g/L}$  respectively. This study indicated that there were different effects between malathion and fenpropathrin on the reproduction of rotifer, and the RE could be used as an indicator to assess the potential effect of these two pesticides in water.

**Key words:** malathion; fenpropathrin; *Brachionus calyciflorus*; reproduction