

## 双酚A和壬基酚对隆线溞和微型裸腹溞的毒性

郭匿春 谢平

(中国科学院水生生物研究所东湖生态站, 武汉 430072)

**摘要:** 我们以隆线溞和微型裸腹溞为实验动物, 进行了两种酚类内分泌干扰物双酚A(BPA)和壬基酚(NP)的毒性效应研究。急性实验测出双酚A对隆线溞的24h和48h半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)为: 12.02mg/L和11.64mg/L, 对微型裸腹溞24h和48h半数致死浓度LC<sub>50</sub>为: 13.70mg/L和9.63mg/L。而壬基酚对隆线溞的24h和48h半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别为: 0.221mg/L和0.159mg/L, 对微型裸腹溞的24h和48h半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别为: 0.334mg/L和0.126mg/L。实验表明微型裸腹溞对双酚A和壬基酚的敏感度高于隆线溞, 能够很好的指示水环境的污染。慢性毒性实验发现双酚A对微型裸腹溞后代的雌雄比例有明显的影响, 影响类似于homesis现象。而壬基酚对隆线溞的慢性毒性研究发现, 隆线溞的生活史、后代成活率均受到暴露的壬基酚浓度升高的不利影响。这些研究表明低浓度双酚A长期暴露的潜在毒性与高浓度壬基酚的急性毒性在这两种内分泌干扰物污染环境的研究中有重要意义。

**关键词:** 双酚A; 壬基酚; 隆线溞; 微型裸腹溞; LC<sub>50</sub>; homesis现象

**中图分类号:** X171.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3207(2009)03-0492-06

环境雌激素是指能够模拟或干扰机体内天然雌激素的合成、分泌、转运、结合、排泄、生理作用等的一类外源性化学物质, 双酚A(BPA)和壬基酚(NP)均具有环境雌激素的效应。

双酚A(BPA)化学名称为2,2-(4,4-dihydroxydiphenyl)propane, 是一种具有生殖毒性的化合物, 广泛用于生产碳酸聚酯、环氧树脂、聚苯乙烯树脂以及杀真菌剂、抗氧化剂、染料等, 这些材料的最终产品包括饮料瓶罐、婴儿奶瓶、餐具、微波炉用具、食品和饮料包装内衬等。EPA(U. S. Environmental Protection Agency)评估全球每年要制造约64万吨的双酚A, 而其中仅有482吨(0.075%)能够被回收利用, 大部分在生产过程中以及产品的使用过程中释放后进入水体、空气等生态环境中而造成污染<sup>[1]</sup>。BPA对不同物种的急慢性毒性实验国外已有不少研究, 特别是对水生生物的研究较多, 如微生物、绿藻、大型溞、虾、鱼等<sup>[1]</sup>。与藻类、无脊椎动物和鱼类相比, BPA对微生物的毒性小, BPA对哺乳动物的急慢性毒性也较小。目前的研究没有发现BPA具有致癌性, 活体和离体的研究证实BPA也没有基因毒性<sup>[2]</sup>。但研究表明

BPA具有较弱的雌激素效应, 能够与雌激素受体结合并激活受体, 从而导致相应的雌激素效应。欧盟(European Commission 2002)认为BPA的活体暴露造成受试动物子宫重量变化, 阴道角质化和阴道细胞的增殖、发情期延长、乳腺增殖、孕酮受体和泌乳激素的水平增加等<sup>[3]</sup>。这种雌激素效应并不强, BPA与雌激素受体的结合能力和表现出的雌激素效应均比雌二醇低3-5个数量级<sup>[3]</sup>。

壬基酚(NP)是非离子表面活性剂壬基酚聚氧乙烯醚(NPnEO)主要的生物代谢产物, 它是一种化学性质非常稳定的物质, 广泛存在于各种环境介质中。国外就壬基酚对水生鱼类、两栖动物、哺乳动物的毒害作过大量的研究, 壬基酚在相关浓度范围内(1-10μg/L)可诱导鱼类受精卵孵化率下降; 两栖动物性别分化, 并通过其雌性化作用增加雌性个体的比例; 哺乳动物的睾丸、附睾、前列腺缩小, 精子计数减少, Sertoli细胞功能变化及其他一些相应的形态结构改变<sup>[4-8]</sup>。Baldwin<sup>[4]</sup>等研究过壬基酚对大型溞的毒害作用, 认为壬基酚可通过抑制葡萄糖结合睾酮, 从而提高睾酮的水平, 导致其生殖能力的下

收稿日期: 2007-04-06; 修订日期: 2009-01-15

基金项目: 中国科学院知识创新工程方向项目(KZCX2-SW-129)资助

作者简介: 郭匿春(1980—), 男, 汉族, 湖北浠水人; 博士研究生; 主要从事浮游动物方面的研究

通讯作者: 谢平, E-mail: xieping@ihb.ac.cn

降。这些研究主要集中在对大型溞 *Daphnia magna* 毒性效应<sup>[8-12]</sup>,而 NP对其他溞类如隆线溞 (*Daphnia carinata*)和微型裸腹溞 (*Moina micrura*)的毒性效应研究相对较少。

溞类在生态毒理学研究上具有重要作用。溞类繁殖快,生活周期短,培养简便,对许多毒物敏感,所以溞类被广泛用于水毒理学研究<sup>[13-15]</sup>。其中大型溞是最常用的实验材料<sup>[3]</sup>。大型溞虽是广温性浮游动物,但在我国主要分布在北方,长江以南很少见到。隆线溞 (*Daphnia carinata*)是一种广温性浮游动物,广泛分布于我国的大江南北,是一种极优良的环境污染的生物指示种,常用于对农药污染的水体监测中。微型裸腹溞 (*Moina micrura*)属甲壳动物纲双甲目枝角亚目溞科裸腹溞属的一种,分布于我国各地,尤其是南方各省<sup>[14]</sup>。以微型裸腹溞作为毒性实验的研究材料,国内外虽有报道,但目前在国内较少<sup>[14]</sup>。本实验选用隆线溞和微型裸腹溞为实验材料,比较了两者对雌激素物质毒害的不同敏感程度,有利于开发新的指示浮游动物来评估雌激素毒物对环境的影响。慢性实验对了解环境雌激素对生物生理的干扰作用以及对繁殖的影响也有积极的意义。

## 1 材料与方法

隆线溞采自安徽巢湖,室内培养培养长达一年,以单个体扩大繁殖和培养,所有实验用溞均取自该个体的后代。实验开始时幼溞溞龄 12h。慢性毒性实验中以斜生栅藻为食。斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*)以水生 6号培养基培养。双酚 A 购自 Fluka, Neu-Ulm, Germany 公司, 纯度 97%; 壬基酚由德国环境与健康研究中心生态化学所 Schramm 教授惠赠。

**1.1 急性毒性实验** 急性毒性实验在 25 下,光照约 2400lx 的条件下进行。根据预实验结果以二

甲基亚砜 (DMSO) 为载体溶剂设置 6 种双酚 A 浓度 (5、8、10、12、14、18mg/L) 及 7 种壬基酚浓度 (0.01、0.03、0.05、0.1、0.2、0.3、0.4mg/L), 并设置培养液和溶剂 DMSO 对照组 (DMSO 的浓度小于 0.1%)。每个浓度设置三组平行, 每个平行为 150mL 烧杯一个, 内置培养液 100mL (参照水质物质对溞类 (大型溞) 急性毒性测定方法 GB/T13266-91)。每杯中放入溞 10 只, 然后将烧杯放入恒温培养箱, 毒性试验时间为 24h 和 48h, 观察受试溞心脏停止跳动为其死亡标志。试验结果用一元线性回归方程法求得  $LC_{50}$  值。

**1.2 慢性毒性实验** 实验在 25 , 光照约 2400lx,  $L:D = 14:10$  的条件下进行, 实验容器为 250mL 烧杯, 内置 200mL 培养液,  $10^5$  个细胞/mL 斜生栅藻作为食物, 添加的双酚 A 和壬基酚的浓度分别为 0.2、4.8mg/L 和 0.025、0.05、0.1mg/L 几个浓度。每两天更换培养液一次 (培养液为灭菌的 0.45m 的膜滤过的东湖湖水) BPA 浓度小于 1 $\mu$ g/L, NP 浓度小于 0.6 $\mu$ g/L)。记数体长和产仔数 (存活和死亡)。实验进行 20d。

内禀增长率的计算参照梁彦龄的计算方法。净

$$\text{增殖率 } R_0 = \frac{1}{0} \ln m_x - x$$

$$\text{内禀增长能力 } (r_m) = \frac{1}{0} \ln m_x = 1$$

$$\text{世代平均周期 } T = \log R_0 \text{ 周限速率} = e^{r_m}.$$

## 2 结果

### 2.1 急性实验

双酚 A 对隆线溞和微型裸腹溞的急性实验结果如下表:

由表 1 和表 2 可以看出, 实验测得的壬基酚对隆线溞的 24h 和 48h 半数致死浓度分别为

表 1 BPA 对隆线溞和微型裸腹溞的急性实验结果 (95% 可信限)

Tab. 1 Acute toxicity of BPA to *D. carinata* and *M. m. micrura*

实验动物	实验次数	24h 半致死浓度	24h $LC_{50}$ (mg/L)	48h 半致死浓度	48h $LC_{50}$ (mg/L)
		(95% 可信限 C.I.)	(95% 可信限 C.I.)	(95% 可信限 C.I.)	(95% 可信限 C.I.)
隆线溞	1	10.45 (10.06—10.86)		10.05 (9.47—10.38)	
<i>D. carinata</i>	2	13.58 (12.94—14.27)		13.22 (12.68—13.78)	
平均值 Average		12.02		11.64	
微型	1	13.25 (12.73—13.79)		10.04 (9.65—10.45)	
裸腹溞	2	13.81 (13.37—14.48)		9.43 (8.67—10.11)	
<i>M. m. micrura</i>	3	14.03 (13.00—15.15)		9.43 (8.73—10.18)	
平均值 Average		13.70		9.63	

表 2 NP对隆线蚤和微型裸腹蚤的急性实验结果

Tab. 2 Acute toxicity of NP to *D. carinata* and *M. micnura*

实验动物 Animal	实验次数 Test	24h半数致死浓度	24h LC <sub>50</sub> (mg/L)	48h半数致死浓度	48h LC <sub>50</sub> (mg/L)
		(95%可信限 C. I.)	(95%可信限 C. I.)	(95%可信限 C. I.)	(95%可信限 C. I.)
隆线蚤 <i>D. carinata</i>	1	0.210 (0.190—0.230)		0.162 (0.152—0.177)	
	2	0.234 (0.229—0.240)		0.203 (0.197—0.209)	
	3	0.218 (0.211—0.224)		0.165 (0.154—0.176)	
平均 Average		0.221		0.159	
微型裸腹蚤 <i>M. micnura</i>		0.334 (0.289—0.386)		0.126 (0.106—0.150)	

0.221mg/L 和 0.159 mg/L, 双酚 A 对隆线蚤的 24h 和 48h 半数致死浓度分别为 12.02 mg/L 和 11.64 mg/L。实验结果与壬基酚对大型蚤的 24h 和 48h 半数致死浓度分别为 0.30 mg/L (0.26—0.35) 和 0.19 mg/L (0.17—0.21), 双酚 A 的 48h 半数致死浓度为 10 mg/L (9.2—11 mg/L) 的研究结果比较接近。对实验中隆线蚤和微型裸腹蚤的半数致死浓度的比较发现, 隆线蚤和微型裸腹蚤对双酚 A 和壬基酚的毒性有相似的敏感性。而微型裸腹蚤 48h 半数致死浓度比隆线蚤更低, 可见其对毒素的敏感度更高。

## 2.2 慢性毒性实验

BPA 对隆线蚤和微型裸腹蚤的慢性毒性实验结果 (表 3), BPA 对隆线蚤和微型裸腹蚤的成体体长 (自隆线蚤顶端至壳刺基部的长度) 均没有明显影响。隆线蚤的存活率在高浓度的 BPA (8mg/L) 影响下略有下降, 在双酚 A 2—8mg/L 暴露组及对照组中, 30 个隆线蚤产仔总数在 2200—3200 个

之间, 每日增殖率经方差分析, 组间不存在显著差异 ( $F = 1.04$ ,  $p > 0.05$ )。双酚 A 2—8mg/L 暴露组及对照组中, 第 20 天的平均体长在 2.36—2.64mm 之间, 方差分析发现, 各浓度组之间的差异也不显著 ( $p > 0.05$ )。微型裸腹蚤的存活率在高浓度的 BPA (10mg/L) 影响下则有明显的下降。BPA 对隆线蚤和微型裸腹蚤每个雌体产幼量的影响趋势有些相似, 低浓度时略有下降, 而在中间浓度时有所上升, 高浓度时明显下降, 即 BPA 对隆线蚤和微型裸腹蚤总生殖量的影响表现为双效应曲线关系。BPA 对隆线蚤后代死亡率的影响是低浓度 (2 mg/L) 使其死亡率升高, 而中等浓度 (4—8 mg/L) 使其死亡率下降, 实验的 BPA 浓度没有造成微型裸腹蚤后代的死亡。隆线蚤的 BPA 处理组和对照组没有观察到产生雄性后代, 但微型裸腹蚤的对照组和低浓度 BPA 处理组分别有 8.1% 和 1.9% 的雄性后代出生, 中等和高浓度的 BPA 处理组则没有出现雄性后代。

表 3 BPA 对隆线蚤和微型裸腹蚤的慢性毒性作用

Tab. 3 Chronic toxicity of BPA to *D. carinata* and *M. micnura*

实验动物 Animal	BPA 浓度 Concentration of BPA (mg/L)	存活率 Survival Rate (%)	每雌产幼量 Total offspring (ind.)	后代死亡率 Mortality of offspring (%)	雄性后代比率 Percent of male (%)	成体体长 Body length of adult (mm)
隆线蚤 <i>D. carinata</i>	0	96.7	81.9	20.0	0	2.51
	2	100	70.6	23.0	0	2.51
	4	96.7	98.6	15.0	0	2.52
	8	93.3	123.7	14.1	0	2.50
	0	86.4	30.8	0	8.1	1.07
微型裸腹蚤 <i>M. micnura</i>	1	70	24.7	0	1.9	1.07
	5	90	31.0	0	0	0
	10	26.7	17.4	0	1.04	1.09

慢性毒性实验中, 壬基酚对隆线蚤的存活率、后代死亡率、成体体长都有影响 (表 4)。在壬基酚 0.025—0.1mg/L 暴露组及对照组中, 第 20 天的平均体长在 2.38—2.76mm 之间, 方差分析发现, 各浓

度组之间的差异不显著 ( $p > 0.05$ )。在壬基酚 0.025—0.1mg/L 及对照组中, 每日增殖率在 0—18.1 个之间, 经方差分析表明组间差异显著 ( $F = 4.49$ ,  $p < 0.05$ )。

表 4 壬基酚对隆线溞的慢性毒性作用

Tab. 4 Chronic toxicity of nonylphenol to *Daphnia carinata*

浓度 Concentration (mg/L)	成体存活率 Survival rate of adult (%)	总生殖量 Total number of offspring ( ind. )	后代死亡数 Number of offspring Died ( ind. )	后代死亡率 Mortality of offspring (%)	每雌产幼量 Total number of offspring per adult ( ind. )	均存活后代数 Survival offspring ( ind. )	成体体长 Body length of adult (mm)
空白 Control	83.3	2268	123	5.4	75.7	73.6	2.54
0.025	80.0	1675	322	19.2	55.8	45.1	2.49
0.05	26.7	1366	416	30.5	45.5	31.7	2.50
0.1	40.0	1128	452	40.0	37.6	22.5	2.52

各浓度组中的产后代总数随浓度的升高而下降 (图 1)。各浓度组与产仔总数 (个) 的关系为:  $y = -10.734x + 2078.630$  ( $r = -0.9290$ ,  $p < 0.01$ )

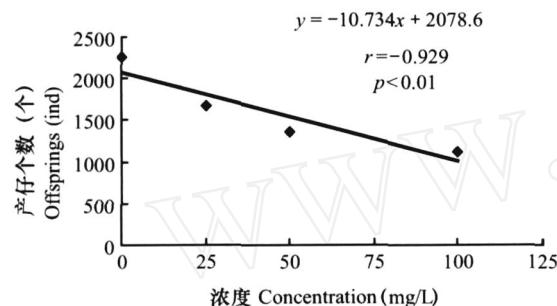


图 1 隆线溞在壬基酚不同浓度中 30 个成体的后代总数及其回归线

Fig. 1 Relationship between NP concentration and total number of offspring produced by 30 adult *D. carinata*

各浓度组中的幼体死亡比例随浓度的升高而升高 (图 2)。幼体死亡比例与浓度组的关系为  $y = 0.0034x + 0.0902$  ( $r = 0.9657$ ,  $p < 0.01$ )

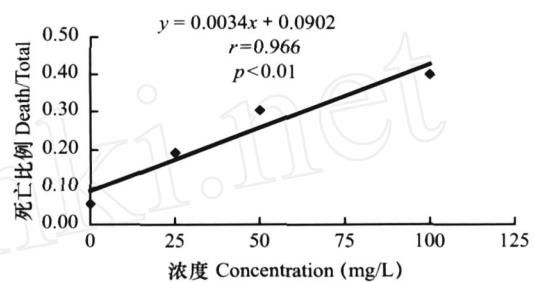


图 2 隆线溞在壬基酚不同浓度中每 30 个成体的后代死亡率及其回归线

Fig. 2 Relationship between NP concentration and ratio of dead offspring produced by 30 adult *D. carinata*

对生活史的影响: 隆线溞在壬基酚不同浓度中的内禀增长能力 ( $r_m$ ) 及有关参数 (表 5): 实验发现隆线溞内禀增长率 ( $r_m$ ), 净增殖率  $R_0$ , 周限速率均随着暴露的壬基酚的浓度上升而下降, 说明隆线溞的生活史由于壬基酚的暴露而有显著的改变。

表 5 隆线溞在壬基酚不同浓度中的内禀增长能力 ( $r_m$ ) 及有关参数Tab. 5 The innate capacity for increase ( $r_m$ ) and some relevant rates of *D. carinata* at different NP concentration

浓度 Concentration	内禀增长率 (个/天) $r_m$ (ind./d)	周限速率 (个/天) (ind./d)	世代时间 (天) $T$ (d)	净增殖率 (代) $R_0$ (generation)
空白 Control	0.3773	1.4578	11.83	86.3
0.025	0.2844	1.3289	14.02	53.9
0.05	0.2844	1.3289	12.68	36.8
0.1	0.2757	1.3174	12.64	32.6

### 3 讨 论

溞类的幼溞对水中的毒素物质非常敏感, 是检测水质污染的好材料<sup>[15]</sup>。而且溞类的寿命都很短, 比较容易完成一个生命周期, 用它们研究生物体质衰老的机理比长寿命的大动物具有更有利的条件。相对于标准的指示生物 大型溞, 隆线溞和微型裸腹溞对水中的雌激素毒物的毒害有相似的敏感性。BPA 对两种溞的 24h 急性毒性效应没有明显差别,

但对微型裸腹溞的 48h 急性毒性效应要强于隆线溞。这说明, 微型裸腹溞对于 BPA 的毒性效应敏感于隆线溞, 同样的现象也发生在 NP 的急性毒性实验中。而在慢性实验中, 这种敏感性更多体现在对溞类的繁殖上, 而对其体型影响不大。隆线溞没有表现出性别比例的变化, 而微型裸腹溞体内的生物代谢可能受了 BPA 的影响, 微型裸腹溞的后代中出现了性别比例的变化, 这表明微型裸腹溞体内的生物代谢过程对雌激素毒物的刺激更加敏感。微型裸

腹蚤的体长比隆线蚤小一倍,生命周期比隆线蚤短得多,一次实验的时间比隆线蚤实验可以大大缩短。因此,进一步实验开发裸腹蚤作为监测内分泌干扰物的指示生物具有重要的意义。

酚类化合物能干扰雄激素的合成与代谢,引起机体内激素水平的改变<sup>[16, 17]</sup>。BPA暴露的慢性毒性实验中,中高浓度BPA(8—10 mg/L)暴露下,隆线蚤的致死率与对照相比,没有显著的差别,而微型裸腹的致死率明显提高。以前的实验没有发现双酚A作为雌激素物质对蚤类的后代的雌雄比例构成影响<sup>[18]</sup>。而在本实验的培养条件下,隆线蚤的后代中没有雄性后代的存在,但微型裸腹蚤能够产生一定数量的雄性后代,而且随着BPA暴露浓度的增加,雄性后代的产生比率下降,在中和高浓度的BPA影响下,没有雄性后代出现。这种影响类似于homesis现象,homesis现象是动态平衡受到干扰的情况下的一种过度补偿,这种反应对生物适应低水平、暂时的胁迫具有重要意义。在这种过度补偿完成后,有机体可以适应更高强度的胁迫<sup>[19, 20]</sup>。在环境胁迫下,有机体对胁迫所引起的损伤进行修复以确保生存不受影响,而产生homesis现象的双曲线或倒“U型”的剂量效应关系<sup>[19, 21]</sup>。越来越多的研究开始关注到这种低剂量下的刺激作用。在水生态环境的污染中,双酚A由于极易被环境中的生物和光所降解<sup>[22]</sup>,因而在水环境中的实际浓度很小。如EPA机构归纳世界水环境中的双酚A浓度时指出,大多数湖泊及河流中BPA浓度小于1 μg/L。而作为一种对毒素敏感的实验生物,大型蚤对BPA的无效应浓度NOEC浓度>3.146 mg/L<sup>[11]</sup>,远远高于水环境中的双酚A实际浓度,但由于homesis现象的存在,一些内分泌干扰物在无观察影响浓度(NOEC)下也可以对生物体造成不良影响<sup>[19]</sup>。尽管BPA几乎不能在生物体内聚集<sup>[23]</sup>,BCF系数小于1000。本实验中低浓度BPA(1—2 mg/L)仍可降低微型裸腹蚤的后代出生率和增加后代的死亡率,即在低于NOEC浓度值的BPA已经表现出对水蚤,尤其是对其后代的不利影响。鉴于微型裸腹蚤的慢性毒性实验中这种homesis现象的出现,我们认为BPA低剂量长期暴露的潜在毒性在水生态毒理的研究中有重要意义,对于这种长期暴露的潜在毒性需要深入研究。

壬基酚也易被环境中的生物和光所降解,因而在水环境中的实际浓度不高,大多数湖泊及河流中NP浓度小于0.6 μg/L<sup>[24]</sup>。大型蚤对NP的无效应浓度(NOEC浓度)为0.013 mg/L<sup>[11]</sup>。壬基酚没有

对隆线蚤后代的雌雄比例构成影响,但对后代的数量有强烈的影响:1)隆线蚤后代的总数随壬基酚的浓度上升而下降,2)隆线蚤幼体的死亡率随壬基酚的浓度上升而上升。进一步的分析发现,隆线蚤的生活史受壬基酚的暴露而改变,生活史的数据如内禀增长率、世代时间都由于壬基酚的暴露而发生了改变,这种改变与加入的壬基酚的浓度有关。以前的实验表明NP具有干扰Daphnia体内的生物代谢,产生雌激素干扰作用<sup>[25]</sup>。暴露在NP亚致死浓度下的Daphnia其体内代谢产物的清除速率发生变化,引起上游代谢产物的积累<sup>[4]</sup>。这些生理的变化可能是蚤类生活史发生改变的主要原因。另外部分环境系统中高浓度的NP被发现在生物体内有轻弱的聚集,而本实验中显示了这种高浓度的NP的含量对生物体的毒害作用。因而与BPA的污染不同,环境中高浓度的NP毒害研究对这种环境内分泌干扰物的研究有重要意义,高浓度NP的急性毒性效应需要深入研究。

在慢性毒性实验中,由于毒素自身的降解及加入栅藻的影响,溶液中的双酚A和壬基酚的实际浓度应低于加入物质的浓度<sup>[11]</sup>。这些作用对评估双酚A和壬基酚对隆线蚤的毒害作用有不利的影响。

## 参考文献:

- [1] Staples C A, Dom P D, Klecka GM, et al A review of the environmental fate, effects, and exposure of bisphenol A [J]. *Chemosphere*, 1998, **40**: 521—525
- [2] European Union, Risk assessment of 2, 2-bis(4-hydroxyphenol) propane (Bisphenol A): Human Health Effects Document prepared by the UK health and Safety Executive on behalf of the European Union under the existing substances regulation (Council Regulation EEC/793/93). Draft report, July, 2001
- [3] European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General Opinion of the Scientific Committee on Food on bisphenol A. Brussels Belgium. 2002
- [4] Baldwin W S, Graham S E, Shea D, et al Metabolic androgenization of female *Daphnia magna* by the Xenoestrogen 4-nonylphenol [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, **16**: 1905—1911
- [5] Hense BA, Jütner I, Welzl G, et al Effects of 4-nonylphenol on phytoplankton and periphyton in aquatic microcosms [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, **22**: 2727—2732
- [6] Höss S, Jütner I, Traunspurger W, et al Enhanced growth and reproduction of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda) in the presence of 4-Nonylphenol [J]. *Environmental Pollution*, 2002, **120**: 169—172
- [7] Jobling S, Sheahan D, Osborne J A, et al Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals [J]. *Environmental Toxicology and*

- Chemistry*, 1996, **15**: 194—202
- [8] Schmude K L, Liber K, Corry T D, et al. Effects of 4-nonylphenol on benthic macroinvertebrates and insect emergence in littoral enclosures [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, **18**: 386—393
- [9] Hüs A G. Acute and chronic toxicity of nonylphenol to *Daphnia magna*. Final Study Report Numbers DK-522, DL-143, Marl, 1992, Germany
- [10] Brooke L T. Acute and chronic toxicity of nonylphenol to ten species of aquatic organisms. Report to the US Environmental Protection Agency, Duluth, MN (contract No 68-C1-0034). Lake Superior institute, University of Wisconsin-Superior, Superior, WI 1993
- [11] Comber M. H. I, Williams T D, Stewart K M. The effects of nonylphenol on *Daphnia magna* [J]. *Water Research*, 1993, **27**: 273—276
- [12] Zhang L, Gibble R, Baer K N. The effects of 4-nonylphenol and ethanol on acute toxicity, embryo development, and reproduction in *Daphnia magna* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, **55**: 330—337
- [13] Liang Y L, Zhang G X. The intrinsic rate of *Daphnia carinata King* [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1964, **5**: 31—35 [梁彦龄, 张国馨. 隆线蚤的内禀增长能力. 水生生物学集刊. 1964, 5: 31—35]
- [14] Jiang X Z and Du N S. *Fauna Sinica Crustacea Freshwater Cladocera*. Beijing: Science Press 1979 [蒋燮治, 堵南山. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类. 北京: 科学出版社. 1979]
- [15] Shi X B. *Daphnia carinata* and its cultivation [J]. *Bulletin of Biology*, 2000, **35**: 14—17 [史新柏. 隆线蚤及其培养. 生物学通报, 2000, 35: 14—17]
- [16] Majdic G, Sharpe R M, Oshaughnessy P J, et al. Expression of cytochrome P450 17 alpha-hydroxylase/C17-20 lyase in the fetal rat testis is reduced by maternal exposure to exogenous estrogens [J]. *Endocrinology*, 1996, **137**: 1063—1070
- [17] Muñoz E P, Derk R C, de Leon J H. Biphasic effects of octylphenol on testosterone biosynthesis by cultured Leydig cells from neonatal rats [J]. *Reproductive Toxicology*, 1999, **13**: 451—462
- [18] Alexander H C, Dill D C, Smith L W, et al. Bisphenol A: acute aquatic toxicity [J]. *Environmental Toxicology*, 1988, **7**: 19—26
- [19] Calabrese E. Evidence that homeosis represents an "overcompensation" response to a disruption in homeostasis [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1999, **42**: 135—137
- [20] Stebbing A R D. A theory for growth homeosis [J]. *BelleNews Letter*, 1997, **6**(1)
- [21] Calabrese E. Estrogen and related compounds: biphasic dose responses [J]. *Toxicology*, 2001, **31**: 503—515
- [22] Yang H, Zhang K R, Wu D S. The research of BPA detoxification catalyze by light [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2002, **12**: 521—522 [杨红, 张克荣, 吴德生. 双酚 A 光催化降解研究. 中国卫生检验杂志, 2002, 12: 521—522]
- [23] Gibble R, Baer K N. Effects of 4-Nonylphenol on sexual maturation in *Daphnia magna* [J]. *Environmental Contamination and Toxicology*, 2003, **70**: 315—321
- [24] Li Z Y. The pollution of BPA and NP in Shihwa Lake [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, **33**: 847—853 [李正炎. 西瓦湖中壬基酚和双酚 A 的污染特征. 青岛海洋大学学报, 2003, 33: 847—853]
- [25] LeBlanc G A, Rider C, Kast-Hutcheson K, et al. Development toxicity of testosterone and chemicals that inhibit steroid clearance in Daphnids: the elusive mechanism. In: SETAC 20<sup>th</sup> Annual Meeting, Philadelphia, PA, November 14—18. Abstract 1999

## THE TOXIC EFFECTS OF BPA AND NP ON *D. CARINATA* AND *M. M ICUR*

GUO Ni-Chun and XIE Ping

(Donghu Experimental Station of Lake Ecosystems, State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology of China, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

**Abstract:** In our experiments, *Daphnia carinata* and *M. micura* were used as material to evaluate the toxicity of BPA and NP. From acute experiments, the 24h and 48h LC<sub>50</sub> of *D. carinata* to BPA were 12.02mg/L and 11.64mg/L, the 24h and 48h LC<sub>50</sub> of *M. micura* to BPA were 13.70mg/L and 9.63mg/L, respectively. The 24h and 48h LC<sub>50</sub> of *D. carinata* to NP were 0.221mg/L and 0.159mg/L, the 24h and 48h LC<sub>50</sub> of *M. micura* to NP were 0.334mg/L and 0.126mg/L, respectively. It indicated that *M. micura* was more sensitive to the toxicity of BPA and NP than *D. carinata*, which offers a good tool to evaluate the pollution of water environment. In chronic experiments, there is a significant relationship between the ratio of male offspring in total offspring and the exposed concentration of BPA and the effects looks like a homeosis phenomenon. The life history and the survive rate of offspring exhibited a negative correlation to the exposed concentration of NP, our results suggested that the chronic toxicity of BPA and the acute toxicity of NP were very important to evaluate the pollution of water environment by the two compounds.

**Key words:** BPA; NP; *D. carinata*; *M. micura*; LC<sub>50</sub>; Homeosis