

4 种酞酸酯在龙须菜 - 篮子鱼食物链中的积累放大研究

聂湘平^{1,2}, 李桂英¹, 吴志辉², 李 潇², 杨宇峰²

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 暨南大学 水生生物研究所, 广东 广州 510632)

摘要: 在模拟受控条件下, 利用气相色谱方法研究分析了 4 种酞酸酯类化合物在龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) - 篮子鱼 (*Siganus oramin*) 食物链中的积累、分布和放大状况。结果表明, 4 种酞酸酯在龙须菜组织内的积累表现为: 邻苯二甲酸二异辛酯 (DEHP) > 邻苯二甲酸二 酯 (DBP) > 邻苯二甲酸二乙酯 (DEP) > 邻苯二甲酸二甲酯 (DMP)。侧链最长的 DEHP 在龙须菜藻体内的含量随暴露时间的延长呈增加的趋势, 30 d 体内积累量可达 2.35 mg/kg (鲜质量); 侧链最短的 DMP 在龙须菜藻体内的质量比随时间变化差异不显著, 约为 0.05 mg/kg; 在 30 d 的暴露中, 4 种酞酸酯 DMP, DEP, DBP 和 DEHP 在篮子鱼体内总质量比分别为 0.08, 0.41, 1.72, 3.11 mg/kg。其中 DBP 和 DEHP 在鱼内脏组织中有较高的积累和分布, 分别为 1.14 mg/kg 和 1.83 mg/kg, 其次为鱼残体组织, 肌肉组织中含量最低。DEHP 和 DBP 在龙须菜和篮子鱼体不同组织中均有一定程度的富集 (生物富集系数 F_{BC} 均大于 1)。其中 DEHP 和 DBP 在内脏组织中的 F_{BC} 值分别高达 9.16 和 5.68, 在龙须菜 - 篮子鱼这个简单食物链传递中 DEHP 和 DBP 在篮子鱼内脏组织中存在放大现象。

关键词: 酞酸酯; 龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*); 篮子鱼 (*Siganus oramin*); 食物链; 积累与放大
中图分类号: X171.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2008)01-0019-05

酞酸酯类化合物 (Phthalate esters, PAEs) 是一类受到广泛关注的持久性有机污染物 (persistent organic pollution substances, POPs)。目前酞酸酯的全球性污染状况严重, 已超过了滴滴涕和六六六^[1-3]。美国国家环保局 (U. S. EPA) 已将其中 6 种 PAEs 化合物列属“优控污染物”名单。由于 PAEs 在环境中稳定、持久, 通常具有生物累积效应和内分泌干扰作用, 可能通过食物链营养关系危及人体的健康与安全^[3,4]。目前中国也将 DBP 等 3 种酞酸酯列为环境优控污染物。

龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 属红藻门江蓠属, 可以作为工业原料和食用, 是一种重要大型海藻养殖品种。因其具有很高生产力, 在生长过程中可大量吸收氮和磷等元素, 在减缓近岸海域富营养化方面有很重要的作用^[5]; 黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*) 属于鲈形目, 篮子鱼科篮子鱼属, 是一种广盐、广温、植食性为主的杂食性鱼类, 主要以海藻和浮游生物为食, 常栖息于海藻床、红树林沼泽的河海交接处。在广东省的南澳岛, 每年 4 月海水水温回升时, 篮子鱼集群在养殖区域活动, 以龙须菜为食。

大型海藻作为浅海生态系统中重要的初级生产者, 处在食物链的第一营养级, 植食性鱼类处于第二营养级。因此, 研究酞酸酯类污染物在这些不同营养级生物体内的积累分布及其随营养物质流动在食物链中的迁移变化规律具有十分重要的意义。目前

国内外关于酞酸酯在环境介质中的含量和分布的报道日趋增多^[6-11], 但酞酸酯通过生物积累作用和食物链等途径进入生物体, 特别是在水生生物中污染状况的研究尚未见报道^[12,13]。作者选择了美国 EPA 优控的 4 种典型酞酸酯类, 研究该类物质在大型海藻龙须菜到篮子鱼这种简单的天然食物链中的吸收、积累和迁移变化, 以评价 PAEs 的环境行为及其生态影响。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

供试酞酸酯类包括邻苯二甲酸二甲酯 (DMP)、邻苯二甲酸二乙酯 (DEP)、邻苯二甲酸二丁酯 (DBP) 和邻苯二甲酸二异辛酯 (DEHP), 均为分析纯, 购自天津市化学试剂厂。酞酸酯标准品购自美国 AccuStandard 公司。

试验于 2005 年 5~7 月在汕头大学海洋生物实验室南澳临海试验站进行。从养殖海区采集龙须菜

收稿日期: 2006-09-29; 修回日期: 2007-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40471118; 40473046); 有机地球化学国家重点实验室开放基金资助项目 (OGL-200306)

作者简介: 聂湘平 (1966), 男, 新疆阿尔泰人, 博士, 副教授, 主要从事环境生态毒理学研究, E-mail: txpnie@jnu.edu.cn

(*Gracilaria lemaneiformis*) 运回实验站用沙滤海水暂养; 实验用黄斑篮子鱼体(*Siganus oramin*) 由当地渔民捕获, 水族箱中驯化培养 30 d 后用于实验。

1.2 实验方法

1.2.1 生物材料的处理

根据预备实验设以下 4 个处理质量浓度: 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 mg/L 和空白对照组, 每个处理组设 3 个重复; 取 50 g 处于生长期的新鲜龙须菜置于 15 L 的玻璃缸中, 用过滤海水, 在室内(2 000~3 000 lx, 光暗周期为 12 h:12 h, 温度 25~28℃) 培养 30 d, 分别在第 10 天、第 20 天和第 30 天取样分析。

取黄斑篮子鱼 120 尾放养于 4 个水族箱, 每个箱 30 尾, 鱼体质量 25~40 g。取一定量经暴露处理的龙须菜投喂篮子鱼(试验期间, 不再投喂其他饲料), 投喂 30 d 后取鱼内脏、肝脏、肌肉和全鱼样品分析。根据预备试验结果, 设计投喂龙须菜的暴露条件为混合 4 种酞酸酯 DMP, DEP, DBP 和 DEHP, 质量浓度设置为 0.2 mg/L, 暴露时间为 15 d。

上述龙须菜和篮子鱼培养所用设备和容器避免使用塑料制品, 样品取后用锡纸包好于冰箱保存待测。

1.2.2 样品预处理

准确称取 1~2 g 经冷冻干燥后的干样品以乙醚进行索氏抽提 24 h, 提取液在旋转蒸发仪上以水浴 40℃, 90 kPa 真空度和转速 30 r/min 的条件浓缩至 1 mL, 再过硅胶柱净化, 柱条件为: 10 mm × 300 mm, 柱底填一层薄玻璃纤维, 该柱以 15 g(60~100 目) 经 120℃ 烘箱过夜的硅胶(分析纯, 购自上海化学试剂厂) 填充, 上端再填以 1 cm 厚的无水硫酸钠。洗脱条件为: 先以 50 mL 二氯甲烷洗脱, 再以 30 mL 体积比为 20:80 的丙酮/正己烷混合液洗脱, 两馏分经氮气吹干后以正己烷溶解合并, 最终定容至 1 mL 进行气相色谱测定。上述所用试剂皆为分析纯, 除乙醚外都经双蒸处理; 所用玻璃仪器经超声波清洗器洗净并在 120℃ 的条件下烘干后再以正己烷冲洗。

1.2.3 GC 条件

气相色谱仪为 HP 6890, FID 检测器; 色谱柱为 HP-5 30.0m 柱; 载气为高纯氮气, 初始压力为 0.56 kPa, 载气流速为 40 mL/min; 不分流进样, 体积为 2 μL; 升温程序: 80℃(1 min) → 150℃(20℃/min) → 290℃(4℃/min, 保留 5 min), 进样口温度为 290℃。PAEs 的混合标样包括 DMP, DEP, DBP 和 DEHP 共 4 种化合物。工作标准液的浓度除 DEHP 外, 其他 3 种皆为 0.1, 0.5, 1, 5 和 10 mg/L, 其中 DEHP 工作标准液的质量浓度为 8, 10, 40, 80 和 100 mg/L。

2 结果

2.1 酞酸酯在龙须菜体内的积累特点

DMP, DEP, DBP 和 DEHP 的含量在龙须菜体内随时间的变化见图 1(结果均扣除对照)。从图 1 中可以看到, 随着酞酸酯侧链长度的增加, 它们在龙须菜体内的积累量呈增加趋势: DMP < DEP < DBP < DEHP。侧链最长的 DEHP 在龙须菜体内的含量随暴露时间的延长一直呈增加的趋势, 30 d 体内积累量可达 2.35 mg/kg; 侧链稍短的 DBP 在龙须菜暴露 20 d 后在藻体内积累可达到最高值, 为 1.32 mg/kg, 其后其质量比随时间延长而降低; DEP 第 10 天在龙须菜体内可达 0.495 mg/kg, 其后随暴露时间延长有所下降, 30 d 后龙须菜体内只有 0.23 mg/kg; 侧链最短的 DMP 在龙须菜体内的质量比为 0.04~0.10 mg/kg, 随时间变化差异不显著。

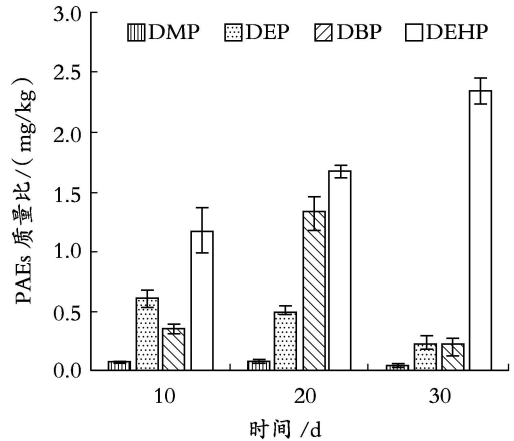


图 1 4 种酞酸酯在龙须菜组织中积累与分布

Fig. 1 The distribution and concentration of 4 PAEs in tissues of *Gracilaria lemaneiformis*

2.2 酞酸酯在篮子鱼体内不同组织间的积累与分布

4 种酞酸酯 DMP, DEP, DBP 和 DEHP 在篮子鱼体内总质量比分别为 0.08, 0.41, 1.72, 3.11 mg/kg。其中 DBP 和 DEHP 在内脏组织中有较高的积累和分布, 分别为 1.14 mg/kg 和 1.83 mg/kg (图 2), 分别占篮子鱼体内相应酞酸酯总量的 66% 和 59%; 而侧链较短的 DMP 和 DEP 则只有 0.018 mg/kg 和 0.11 mg/kg。其次为鱼残体组织, 肌肉组织含量最低。DMP 和 DEP 在肌肉组织中积累总量虽然较低, 分别只有 0.035 mg/kg 和 0.218 mg/kg, 但在 3 种不同组织间相比较, 其所占相对比例却最高, 分别占 44% 和 53%; 其次为内脏组织, 最

低为鱼残体组织; 4 种酞酸酯中只有 DEHP 在肝脏组织中有检出, 为 0.653 mg/kg, 其含量远低于内脏组织和鱼残体组织, 但高于肌肉组织。

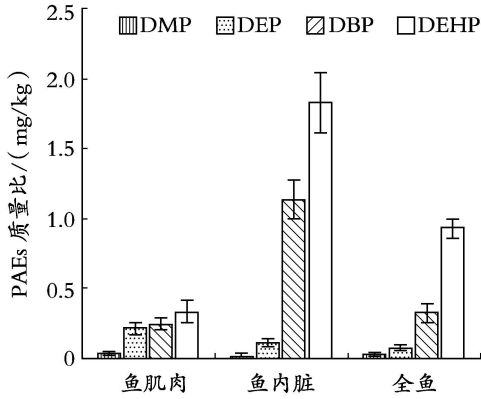


图 2 4 种酞酸酯在篮子鱼不同组织中的积累与分布

Fig. 2 The distribution and concentration of 4 PAEs in different tissues of *Siganus oramin*

2.3 酞酸酯在龙须菜-篮子鱼食物链中的传递与放大

表 1 龙须菜和篮子鱼中 4 种酞酸酯的生物富集因子比较

Tab. 1 The F_{BC} values of four PAEs in different tissues of biota in the food chain composed of *Gracilaria lemaneiformis* and *Siganus oramin*

酞酸酯种类	海水中质量浓度 (mg/L)	龙须菜中质量比 (mg/kg)	龙须菜中 F_{BC}	鱼肌肉中 F_{BC}	鱼内脏中 F_{BC}	全鱼中 F_{BC}	鱼肝脏中 F_{BC}
DMP	0.2	0.05	0.26	0.18	0.09	0.14	0.00
DEP	0.2	0.11	0.56	1.09	0.58	0.40	0.00
DBP	0.2	0.21	1.07	1.26	5.68	1.66	0.00
DEHP	0.2	0.67	3.36	1.68	9.16	4.67	3.26

3 讨论

生物富集因子 (bioconcentration factor, F_{BC}) 是衡量环境中化合物在生物体内富集趋势和程度的参数, 一般定义为平衡时化合物在生物体内与环境浓度的比值。在环境中由于食物营养关系, 一些物质如某些金属元素或有机物质, 可经不同生物体吸收后沿营养级传递, 不断积累和放大。虽然这些物质在环境中的初始浓度不是很高, 并不足以构成对人和高等生物的直接危害, 但是通过食物链的逐级传递和生物放大作用, 可使这些环境中痕量的物质, 在高营养级生物体内的含量提高几十倍甚至成千上万倍, 因而可能对人和环境造成较大的危害^[14]。如在海水中汞的质量浓度为 0.0001 mg/L 时, 浮游生物体内的汞质量比可达 0.001~0.002 mg/kg, 鱼体内可达 0.5~5 mg/kg, 鱼体内汞含量比海水中高达数万倍。所以痕量污染物, 特别是像酞酸酯这类持

久性有机污染在生物体内的积累、放大及其生物的影响是备受关注的环境问题之一。

根据投喂龙须菜和篮子鱼暴露水体中酞酸酯的浓度分别计算 4 种酞酸酯在龙须菜到篮子鱼的生物浓缩系数 F_{BC} 值见表 1 (结果均扣除对照处理组中 4 种酞酸酯的含量; F_{BC} 定义为鱼不同组织中酞酸酯的含量与水中酞酸酯暴露浓度的比值)。从表 1 可以看出, 随着酞酸酯侧链长度的增加, 其在篮子鱼体内的富集系数也越大, 无论是在龙须菜体内或在篮子鱼不同组织中。其顺序为: DEHP > DBP > DEP > DMP (表 1)。在实验周期 30 d 内, DMP 无论在龙须菜还是在篮子鱼体内基本没有富集, 其富集系数 F_{BC} 均小于 1, DEP 只在鱼肌肉组织中略有积累 (其 F_{BC} 为 1.09)。侧链基团较长的 DEHP 和 DBP 在龙须菜和篮子鱼体不同组织中均有一定程度的富集 (生物富集系数 F_{BC} 均大于 1)。其中 DEHP 和 DBP 在肝脏组织中的 F_{BC} 值分别高达 9.16 和 5.68。虽然资料报道酞酸酯在鱼体内的分解主要是通过肝脏以及肾脏器官来完成, 但 DEHP 在肝脏中仍然有一定程度的积累, 其富集系数 F_{BC} 为 3.26。

久性有机污染在生物体内的积累、放大及其生物的影响是备受关注的环境问题之一。

本试验研究结果表明, 在 30 d 的实验周期内, 4 种酞酸酯在龙须菜和篮子鱼不同组织中积累有显著不同。在龙须菜体内只有 DEHP 表现出显著富集 ($F_{BC} > 1$), 并且随暴露时间延长其体内积累不断增加, 而 DMP, DEP 和 DBP 没有明显的积累。而在鱼体内, DEHP 和 DBP 都有不同程度的积累, 尤其是在鱼内脏组织中积累特别显著。这种不同的酞酸酯在不同生物体内的积累差别一方面与酞酸酯分子结构有关。侧链烷基基团较长的酞酸酯如 DEHP, 其正辛醇-水分配系数 K_{ow} 较大, 容易在鱼内脏这种脂肪含量较高的组织中积累, 而在肌肉组织的积累相对不如内脏中明显。有文献报道动物的胃、肠、肝和肾脏代谢器官的脂肪是酞酸酯类化合物的主要贮存器官^[15]。蔡智鸣等^[8]报道 DBP, DEHP 在许多动物养殖 (猪、鸡) 内脏中都普遍检出, 而在肌肉组织中较

少检出。说明通过各种途径进入动物体内的酞酸酯,易蓄积于发生代谢作用的内脏组织中。DMP和DEP由于本身的分子结构较简单,容易被鱼代谢或排出,因而在鱼体内富集不明显。叶常明等^[16]报道PAEs的生物降解速率与其分子质量有关,短侧链的PAEs,如DMP和DBP的降解速率比长侧链的DEHP高。即降解速率随分子质量的增加而减小;另一方面,不同生物之间对PAEs积累的差别也与生物的代谢能力的大小和方式有关。有文献^[6]报道水生生物对PAEs有较强的富集作用,如虾类和螺类较容易富集DEP和DBP,而鱼类更容易富集脂溶性较强的DEHP。鱼类的生物富集系数在 $10^2 \sim 10^4$,而植物的富集系数较低;龙须菜植物一般是悬浮生长于水体中,其体内脂溶性物质含量远低于动物组织,其物质的吸收主要是通过叶片的扩散或被动转运。而鱼类吸收除了通过食物还可通过鳃或皮肤直接吸收。而且动物体内含有代谢酞酸酯类化合物的酯酶。

一般认为植物对非脂溶性物质的吸收更多地取决于物质本身的溶解性和分子结构的大小。DMP在水中的溶解度达5 000 mg/L,而侧链较长的酞酸酯如DEHP在水中质量浓度只有0.5 mg/L,远低于DMP^[11]。而且在水环境中高分子量的DEHP更多地与悬浮颗粒物缔合(约有53%是处在结合态,低分子量的酞酸酯如DMP和DBP有15%~17%处在结合态^[17])。一般认为龙须菜应该较多地吸收和积累分子量较小,溶解度较大的DMP,DEP和DBP。但本试验结果与推测的相反,实际龙须菜更多地积累了分子量较大的DEHP,其中的原因还无法解释。

一般而言,污染物在沿着食物链的传递过程中,经过不同的营养级传递后其浓度被生物放大还是稀释,取决于食物链营养级的组成以及污染物自身的理化性质。在本试验酞酸酯类化合物从海水-龙须菜-篮子鱼这个简单的食物链传递关系中,结果显示酞酸酯的分子结构对其在食物链上的传递和放大起着十分重要的作用:侧链烷基基团较长、结构较复杂的酞酸酯如DEHP在篮子鱼体内特别是内脏组织中的生物放大作用十分明显,而侧链基团较短、结构较简单的酞酸酯DMP,DEP的没有明显放大现象。另外一方面,由于植物(龙须菜)和动物(篮子鱼)对酞酸酯的代谢机制可能会存在的差别,本试验中龙须菜对DEHP积累较高;而篮子鱼内脏对DEHP和DBP有较高的积累。在肌肉中对DEHP,DBP和DEP都一定的积累。不同种类的生物对PAEs的积累差别很大,但在本试验中无论是植物龙须菜还是动物篮子鱼对4种酞酸酯的富集都远低于资料报道

的值^[7,8,13]。

本试验在受控环境条件下,模拟了酞酸酯类化合物在海水-龙须菜-篮子鱼这样一个简单的营养食物链中积累和传递状况。在自然环境条件下,生物体生活的环境复杂多变,受污染物暴露的途径也非常多样,不可能只暴露在单一的食物污染环境。食物链关系越复杂,这类污染物可利用性的变化也越大,食物链之间错综复杂的关系如何影响酞酸酯类污染物向高营养级的传递还远未了解清楚。尽管在自然海水中酞酸酯的含量不高,但由于这类物质不同结构的同系物有可能在食物链上积累和放大,一旦它们通过食物链进入了高营养级生物,就可能对人类健康造成危害^[18],因此必须警惕酞酸酯类化合物对生态环境及人类健康产生的影响。

4 结论

龙须菜植物对DEHP有较高的积累,而DMP,DEP和DBP在龙须菜体内较少积累;

4种酞酸酯在篮子鱼不同组织中具有一定程度的积累,其中DBP和DEHP在鱼内脏组织中有较高的积累和分布,其次为鱼残体组织,肌肉组织中含量最低。侧链烷基基团较长、较复杂的酞酸酯较侧链较短的酞酸酯更易在鱼体内富集;

DBP和DEHP在龙须菜体内积累并沿龙须菜-篮子鱼这个简单食物链传递中在篮子鱼内脏组织中存在放大现象。

致谢:汕头大学海洋生物实验室南澳临海试验站陈伟州老师对本研究前期试验给予了大力支持和帮助,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 张蕴晖. 邻苯二甲酸二乙基己酯对环境和生物体的危害[J]. 国外医学卫生学分册, 2002, 29: 73-77.
- [2] 刘慧杰, 舒为群. 邻苯二甲酸酯类化合物的毒理学效应及对人群健康的危害[J]. 第三军医大学学报, 2004, 10: 1 778-1 781.
- [3] 胡晓宇, 张克荣, 孙俊红, 等. 中国环境中邻苯二甲酸酯类化合物污染的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2003, 2: 9-14.
- [4] 解玮, 蒋颂辉, 屈卫东, 等. DEHP, DBP 内分泌干扰活性的实验研究[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 45-48.
- [5] 杨宇峰, 宋金明, 林小涛, 等. 大型海藻栽培及其在近海环境的生态作用[J]. 海洋环境科学, 2005, 8: 77-80.
- [6] 张蕴晖, 陈秉衡, 郑力行, 等. 环境样品中邻苯二甲酸酯类物质的测定与分析[J]. 环境与健康杂志, 2003, 9: 283-286.
- [7] 郑力行, 诸建辉, 张蕴晖, 等. 水产品中3种邻苯二甲

- 酸酯类物质的测定[J]. 复旦大学学报(医学版), 2003, 30(2): 158-163.
- [8] 蔡智鸣, 王枫华, 赵文红, 等. 畜禽内脏食品中酞酸酯类环境污染物的测定[J]. 同济大学学报(医学版), 2003, 24(5): 395-397.
- [9] Babich M A, Chen S B, Greene M A, *et al.* Risk assessment of oral exposure to diisononyl phthalate from children's products [J]. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, 2004, 40: 151-167.
- [10] Dueck T A, Van Dijk C J, David F, *et al.* Chronic effects of vapour phase di n-butyl phthalate (DBP) on six plant species [J]. **Chemosphere**, 2003, 53: 911-920.
- [11] Latini G. Monitoring phthalate exposure in humans [J]. **Clinica Chimica Acta**, 2004, 361: 20-29.
- [12] 吴志辉, 杨宇峰, 聂湘平, 等. 酞酸酯对龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 的生态毒理研究 [J]. 海洋科学, 2006, 30(5): 46-50.
- [13] 蔡全英, 莫测辉, 朱夕珍, 等. 城市污泥对通菜-水稻土中有机污染物的累积效应 [J]. 中国环境科学, 2003, 23(3): 321-326.
- [14] Gray J S. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 2002, 45, 46-52.
- [15] Tsurutara Y, Ishimitsu S, Saito I, *et al.* Eleven phthalate esters and di (2-ethylhexyl) adipate in one week duplicate diet samples obtained from hospitals and their estimated daily intake [J]. **Food Additive and Contamination**, 2001, 18: 449-460.
- [16] 叶常明, 田康. 邻苯二甲酸酯类化合物生物降解动力学 [J]. 环境科学学报, 1989, 9(1): 37.
- [17] 郑和辉, 赵立文, 刘玉敏, 等. 饮用水中邻苯二甲酸酯的气相色谱-质谱测定法 [J]. 环境与健康杂志, 2005, 22(5): 377-378.
- [18] Franco A, Prevedouros K, Alli R, *et al.* Comparison and analysis of different approaches for estimating the human exposure to phthalate esters [J]. **Environment International**, 2007, 33: 283-291.

Bioaccumulation and biomagnification of four kinds of phthalate esters in the food chain composed of *Gracilaria lemaneiformis* to *Siganus oramin*

NI Xiang-ping^{1, 2}, LI Gui-ying¹, WU Zhi-hui², LI Xiao², YANG Yu-feng²

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Institute of the Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Sep., 29, 2006

Key words: phthalate esters; *Gracilaria lemaneiformis*; *Siganus oramin*; food chain; bioaccumulation and biomagnification

Abstract: The bioaccumulation and biomagnification of four kinds of phthalate esters in the food chain composed of *Gracilaria lemaneiformis* and *Siganus oramin* were investigated under man-made microcosmos condition. The results showed that the rank of bioaccumulation for four PAEs in *G. lemaneiformis* was as follows: DEHP > DBP > DEP > DMP. DEHP exhibited an increasing trend with the extend of exposure time and was 2.35 mg/kg during a 30 d exposure period, no obvious change was observed for DMP in the same exposure period. The total contents of four kinds of phthalate esters in *S. oramin* were 0.08, 0.41, 1.72, 3.11 mg/kg, respectively. There were higher contents in fish viscera for DBP (1.14 mg/kg) and DEHP (1.83 mg/kg). There existed bioaccumulation to some extent in *G. lemaneiformis* and *S. oramin* for DEHP and DBP with 9.16 and 5.68 F_{BC} values in fish viscera. Biomagnification phenomenon was observed in fish viscera tissue in the food chain composed of *G. lemaneiformis* and *S. oramin*.

(本文编辑: 张培新)