

多氯联苯在两种海洋微藻中毒性效应及富集效应的研究

吴越, 陈星星, 潘齐存, 郑伊诺, 胡园, 王瑶华, 陆荣茂, 黄振华

(浙江省海洋水产养殖研究所 浙江省近岸水域开发与保护重点实验室, 浙江 温州 325005)

摘要: 通过分析 2, 2', 3, 4, 4', 5'-六氯联苯(PCB₁₃₈)对牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)生长的影响, 以及 PCB₁₃₈ 对两种微藻超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性的影响, 研究多氯联苯对海洋微藻的毒性效应, 并采用气相色谱法研究了两种微藻对 PCB₁₃₈ 的生物富集效应。结果表明, PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻和亚心形扁藻均有明显的毒性效应作用, 对 2 种藻类的 96 h 半抑制质量浓度(96hEC₅₀)分别为 0.057 mg/和 0.354 mg/L, 与亚心形扁藻相比, 牟氏角毛藻对 PCB₁₃₈ 更敏感, 耐受性更差; 低浓度的 PCB₁₃₈ 对两种微藻 SOD 酶活性有诱导作用, 但当 PCB₁₃₈ 浓度过高时, SOD 酶活性下降; 两种微藻对 PCB₁₃₈ 均有明显的富集作用, 随着培养时间的延长, 牟氏角毛藻中富集的 PCB₁₃₈ 含量呈上升趋势, 而亚心形扁藻中 PCB₁₃₈ 含量呈现先上升后下降趋势。

关键词: 多氯联苯; 海洋微藻; 毒性效应; 生物富集

中图分类号: X171.5 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)03-0061-07

DOI: 10.11759/hyxx20160302004

多氯联苯是一种典型的持久性有机污染物, 由联苯 1-10 位的氢原子被一个或多个氯原子取代后形成的一大类氯代烃类化合物的总称, 其同分异构体多达 209 种, 简称为 PCBs(polychlorinated biphenyls)。多氯联苯具有低水溶性、高脂溶性的特征, 通过食物链的传递、富集及放大, 环境中被植物和水生生物吸收的 PCBs 的富集系数会达到数百万倍^[1]。人类是食物链中的最高级消费者, PCBs 的富集效应会导致人体受到最高浓度的毒害。已有研究表明, 多氯联苯可干扰生物体内分泌系统, 对神经系统、免疫系统和生殖系统等产生生理毒性^[2-4]。2001 年联合国在瑞典召开了环境大会并通过了《持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》, PCBs 被列为首批消除的 12 种持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)之一^[5]。

微藻是一种单细胞生物, 具有繁殖快、对毒物敏感等特点, 被广泛应用于水域环境污染的毒理研究^[6-9]。在水域生态系统中, 微藻是 PCBs 进入食物链的起点, PCBs 通过食物链被生物体吸收并在体内富集, 影响生物个体的健康水平, 进而对水域生态系统的健康构成威胁。藻类的种类、生物量及生长速率等因素均能影响 PCBs 的富集和迁移^[10]。通过分析 PCBs 胁迫下藻类的生长、理化情况以及微藻对 PCBs 的富集能力, 可了解 PCBs 对藻类的毒性效应, 并为水域中多氯联苯污染的风险监测评估与生物防治提供实验

基础。已经有有关该方面的报道, 聂湘平等探讨了多氯联苯对两种淡水藻类的生长的研究^[11]; 方浩等^[12]研究了多氯联苯对珠江口两种赤潮优势种的毒性效应。但对海洋微藻对多氯联苯的毒性胁迫应答和生物富集方面的研究和数据积累仍然不是很多。

本试验以两种常见的海洋饵料微藻牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)为材料, 研究多氯联苯对其毒性效应以及其在藻体中的生物富集作用, 以期对多氯联苯对水生生态系统造成的生态风险评估及其控制治理提供数据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料

藻种牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)和亚心形

收稿日期: 2016-03-02; 修回日期: 2016-05-12

基金项目: 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室开放基金项目(J2013010); 浙江省公益技术研究农业项目(2014C32079); 浙江省科技计划项目(2015F30021)

[Foundation: Opening fund of Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-Resource, NO. (J2013010); Public technology research and agricultural project of Zhejiang Province, NO. (2014C32079); Scientific technology project of Zhejiang Province, NO. (2015F30021)]

作者简介: 吴越(1984-), 女, 浙江温州人, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向为渔业生理生化, 电话: 0577-88231983, E-mail: wuy198412@aliyun.com; 黄振华, 通信作者, E-mail: huangzhenhua0112@163.com

扁藻(*Platymonas subcordiformis*)均为浙江省海洋水产养殖研究所实验室保存种;培养微藻所用的海水采自浙江省温州市洞头县,经醋酸纤维薄膜抽滤,在 121℃灭菌 20 min 待用;试验所用多氯联苯为 PCB₁₃₈,购买于上海百灵威化学技术有限公司,纯度为 99.5%;实验时先用丙酮助溶配成母液待用;SOD 酶活检测试剂盒购于南京建成生物科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 微藻培养方法

微藻用 f/2 培养基在光照培养箱中培养,温度为 25℃±0.5℃,光照强度为 2 500 lx,光暗周期比为

12 h : 12 h, 每日定时摇动 3 次并随机更换锥形瓶位置。

1.2.2 急性毒性试验

两种微藻培养至指数生长期,按表 1 设置试验,每个浓度设置 3 个平行,并各设置对照组。在暴露于 PCB₁₃₈ 下 0、24、48、72、96 h 后,每组取 1 mL 藻液,在波长 680 nm 下测定微藻吸光度 A , 对照组微藻吸光值为参比 A_0 , 计算微藻生长相对抑制率 $I = (A_0 - A) / A_0$ 。96 h 半效应浓度 96hEC₅₀ 计算参考李卓娜的概率单位-浓度对数法,通过直线回归得到浓度效应方程,当概率单位为 5 时,计算 96hEC₅₀^[13]。

表 1 两种微藻急性毒性试验

Tab.1 Acute toxicity test of PCB₁₃₈ in *C. muelleri* and *P. subcordiformi*

微藻	接种密度(个/L)	接种体积(mL)	PCB ₁₃₈ 浓度(mg/L)
牟氏角毛藻	2.6×10^6	100	0.01、0.05、0.075、0.10、0.12
亚心形扁藻	1.1×10^6	100	0.1、0.2、0.3、0.4、0.5

1.2.3 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定

PCB₁₃₈ 各浓度组和对照组的两种微藻分别在处理 0、24、48、72、96 h 后取样,用试剂盒测定 SOD 酶活性。

1.2.4 两种微藻对 PCB₁₃₈ 富集作用

根据急性毒性试验结果设置低、中、高三组处理浓度和对照组,在 PCB₁₃₈ 处理 24、48、72、96、120 h 后取藻液用 0.45 μm 滤膜过滤,滤膜烘干至恒重,按照国家标准 GB 5009.190-2014^[14]用气相色谱法测定微藻中 PCB₁₃₈ 的含量。

1.2.5 数据分析

试验结果用 SPSS19.0 和 Excel 进行数据分析和绘图。

2 结果与讨论

2.1 PCB₁₃₈ 对两种微藻生长的影响

PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻和亚心形扁藻的生长均有一定程度的影响。试验开始 24 h 后,0.01 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下的牟氏角毛藻已开始出现显著生长抑制作用($P < 0.05$),0.1 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下的亚心形扁藻细胞生长相对于对照组也出现明显差异($P < 0.05$);随着培养时间的延长和处理浓度的升高,PCB₁₃₈ 对两种微藻的抑制作用显著加强,PCB₁₃₈ 与 2 种藻细胞增殖呈现出明显的剂量效应关系(图 1)。细胞膜脂质过氧化引起的膜损伤是环境污染物抑制微藻生长的重要原因^[15-16]。在本研究中,在高浓度

PCB₁₃₈ 处理下,观察发现两种藻液在后期沉淀增多,扁藻藻液颜色发黄,显微镜下观察发现两种微藻细胞碎片增多,扁藻细胞聚集成团状,细胞活动停滞,说明随着 PCB₁₃₈ 处理浓度的升高和处理时间的延长,微藻细胞的耐受能力达到极限,细胞膜和叶绿体膜结构受损,细胞生长增殖受到抑制(图 2)。

由 SPSS19.0 进行分析计算得到 PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻的 96hEC₅₀ 为 0.057mg/L,对亚心形扁藻的 96hEC₅₀ 为 0.354mg/L。根据《新化学物质危害评估准则(HJ/T154-2004)》^[17]提出的评判标准(极高毒性物质:EC₅₀(mg/L)<1;高毒性物质:1<EC₅₀(mg/L)<10;中毒性物质:10<EC₅₀(mg/L)<100),PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻和亚心形扁藻均有极高毒性。在相同的培养条件下,2 种微藻对 PCB₁₃₈ 的毒性敏感度存在差异,牟氏角毛藻对 PCB₁₃₈ 的耐受性较亚心形扁藻要低。这可能是因不同藻类细胞大小与形态、细胞活动性及细胞壁和细胞膜等结构存在差异,影响藻细胞对有毒物质的亲和性,从而导致毒性的差异。

2.2 PCB₁₃₈ 对微藻 SOD 酶活性的影响

PCB₁₃₈ 暴露 24 h 和 48 h 后,0.10 mg/L 和 0.12 mg/L 浓度处理组牟氏角毛藻 SOD 酶活性极显著上升($P < 0.01$),而 0.01、0.05 和 0.075 mg/L 组未出现诱导升高效应;PCB₁₃₈ 暴露 72 h 后,0.01 mg/L 组牟氏角毛藻与对照组相比 SOD 酶活性没有明显提高,而 0.05 mg/L 组 SOD 酶活性出现极显著的诱导效应($P < 0.01$),且

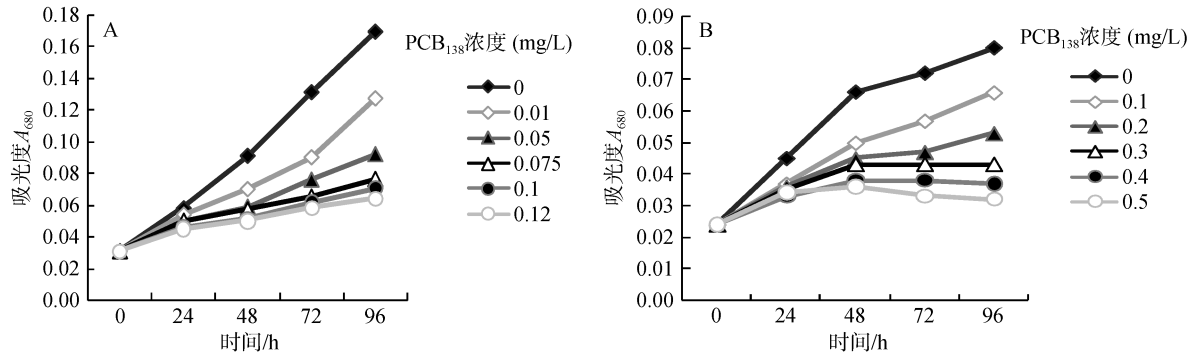


图 1 PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻(A)和亚心形扁藻(B)生长的影响
Fig. 1 Effects of PCB₁₃₈ on the growth of *C. muelleri* (A) and *P. subcordiformi* (B)

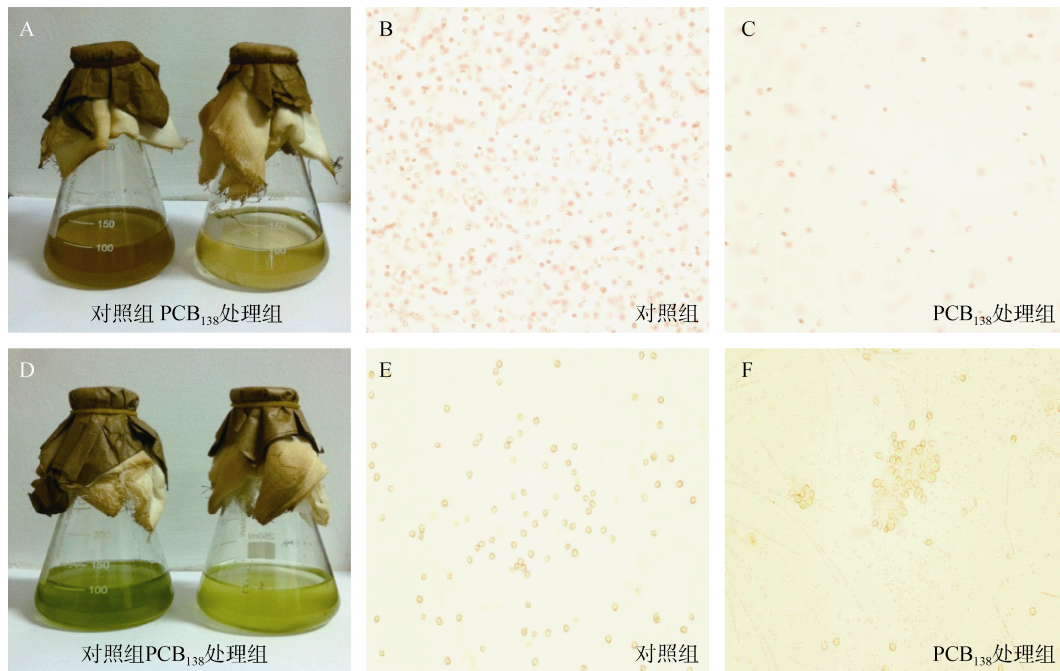


图 2 PCB₁₃₈ 对牟氏角毛藻(A-C)和亚心形扁藻(D-F)状态的影响
Fig. 2 Effects of PCB₁₃₈ on the status of *C. muelleri* (A-C) and *P. subcordiformi* (D-F)

随着 PCB₁₃₈ 浓度的继续升高 SOD 酶活性上升, 在 0.75 mg/L 时达到最高, 之后开始下降。PCB₁₃₈ 暴露 96 h 后 SOD 酶活性随 PCB₁₃₈ 浓度变化趋势与 72 h 情况相似。在整个试验过程中, 0.01、0.05 和 0.075 mg/L 组牟氏角毛藻的 SOD 活性随着暴露时间的延长逐渐上升, 而 0.10 mg/L 和 0.12 mg/L 组牟氏角毛藻 SOD 活力随着时间的延长先升高, 在处理后期则有所下降(图 3A)。

PCB₁₃₈ 暴露 24 h 后, 各浓度处理组的亚心形扁藻与对照组相比未出现显著差异($P>0.05$)。PCB₁₃₈ 暴露 48 h 后, 0.1 mg/L 和 0.2 mg/L 浓度组 SOD 酶活性有所升高, 但与对照组差异不显著($P>0.05$), 而 0.3、0.4 和 0.5 mg/L 浓度组 SOD 酶活性均有极明显升高

($P<0.01$)。PCB₁₃₈ 暴露 72 h 后, 各处理组亚心形扁藻与对照组相比 SOD 酶活性均有升高, 整体上随着 PCB₁₃₈ 浓度的升高 SOD 酶活性上升, 在 0.3 mg/L 时达到最高, 之后开始下降。其中 0.1mg/L、0.1mg/L 和 0.3mg/L 浓度组呈现极显著诱导效应($P<0.01$), 0.4 mg/L 浓度组酶活力显著上升($P<0.05$), 0.5 mg/L 浓度组酶活力也有升高但与对照组差异不显著($P>0.05$)。PCB₁₃₈ 暴露 96 h 后 0.1 mg/L 浓度组亚心形扁藻 SOD 酶活性极显著上升($P<0.01$), 但随着 PCB₁₃₈ 浓度的继续升高, SOD 酶活性开始下降, 0.4 mg/L 和 0.5 mg/L 浓度组 SOD 酶活受到抑制。整个试验过程中, 0.1、0.2 mg/L 组牟氏角毛藻的 SOD 活性随着暴露时间的延长逐渐上升, 而 0.3、0.4 和 0.5 mg/L 组牟氏角毛藻 SOD

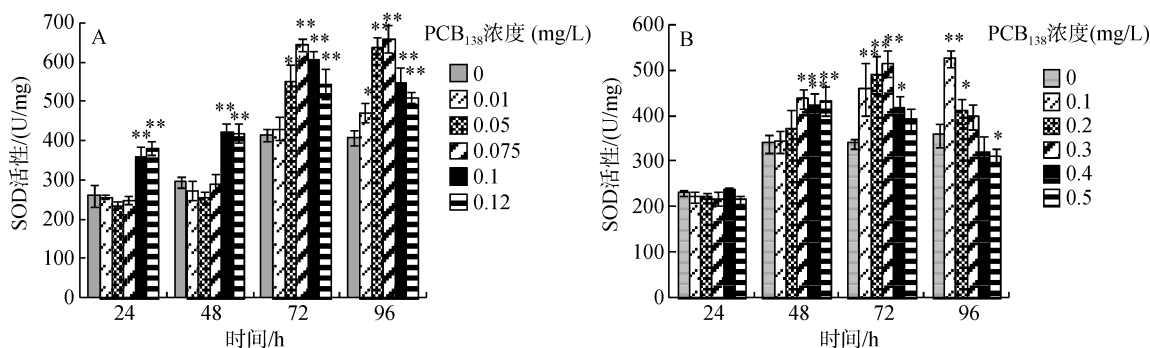


图3 PCB₁₃₈对牟氏角毛藻(A)和亚心形扁藻(B)SOD酶活力的影响

Fig. 3 Effects of PCB₁₃₈ on the SOD activities of *C. muelleri* (A) and *P. subcordiformi* (B)

*和**分别表示在0.05和0.01水平上差异显著

* and ** indicate differences at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

活力随着处理时间的延长先升高, 在处理后期则受到抑制(图3B)。

在低浓度 PCB₁₃₈ 作用下, 牟氏角毛藻和亚心形扁藻 SOD 酶力均呈现一定的应激活性, 当 PCB₁₃₈ 浓度过高时, 微藻的 SOD 酶活性开始下降, 甚至受到抑制作用。这与聂湘平等^[11]研究 PCB₁₂₅₄ 对蛋白核小球藻和斜生栅藻 SOD 活性影响、李娜等^[18]研究了 PCB₁₆₉ 对蛋白核小球藻和斜生栅藻, 孟范平等^[20]研究 BDE-47 对 4 种海洋微藻抗氧化酶活性的影响得到的结果相类似, 即低浓度的 PCB₁₃₈ 可诱导微藻 SOD 酶活性, 当 PCB₁₃₈ 浓度过高时, 微藻 SOD 酶活性受到抑制。在低浓度多氯联苯的作用下, 微藻细胞产生的活性氧自由基增加, 微藻细胞在这种逆境胁迫下产生更多的 SOD 酶清除自由基以抵御多氯联苯对细胞的毒性作用。当多氯联苯浓度超过微藻耐受极限时, 微藻细胞受到损伤, 其体内的活性氧防御系统遭到破坏, 则 SOD 酶活性受抑制。

2.3 两种微藻对 PCB₁₃₈ 的富集作用

在 0.01 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下, 牟氏角毛藻中 PCB₁₃₈ 含量随培养时间的延长略有上升, 而 0.05 mg/L 和 0.12 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下牟氏角毛藻中 PCB₁₃₈ 含量随培养时间的延长显著升高。三组浓度的牟氏角毛藻均在 120 h 时达到最大值, 分别为 0.026、0.172、0.187 mg/g(图4A)。在 0.1、0.3 和 0.5 mg/L 三组浓度 PCB₁₃₈ 处理下, 亚心形扁藻中 PCB₁₃₈ 含量均呈现先上升后下降的趋势。0.1 mg/L 和 0.3 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下的亚心形扁藻在 72 h 藻体中 PCB₁₃₈ 含量达到最高值, 分别为 0.206 mg/g 和 0.395 mg/g。0.5 mg/L 浓度 PCB₁₃₈ 处理下的亚心形扁藻在 48h 藻体中 PCB₁₃₈ 含量达到最高值 0.354 mg/g(图4B)。两

种微藻对 PCB₁₃₈ 都有明显的生物富集作用。

微藻对有机物的富集是一个复杂的生化过程, 在短期内以生物吸附为主^[21]。生物吸附可以分为两个阶段: 第一阶段以物理吸附为主, 吸附过程进行得较快, 主要发生在细胞壁表面; 第二阶段以化学吸附为主, 在这一阶段被吸附物质可以通过主动运输进入细胞内部, 这个过程中需要消耗细胞新陈代谢所产生的能量, 进行得较慢^[22]。牟氏角毛藻在 PCB₁₃₈ 处理下, 其富集作用随着 PCB₁₃₈ 质量浓度升高而增强, 且随着实验时间的延长, 各组牟氏角毛藻中 PCB₁₃₈ 含量均有所升高, 其升高速率呈现先快后慢的趋势。这与石瑛等^[23]研究角毛藻对有机污染物 1, 4-二氯苯富集作用的结果类似。而亚心形扁藻在 0.1 mg/L 浓度和 0.3 mg/L 浓度的 PCB₁₃₈ 处理下, 其藻体中 PCB₁₃₈ 含量均呈现先上升后下降的趋势, 在 0.5 mg/L 浓度的 PCB₁₃₈ 处理下, 其藻体中 PCB₁₃₈ 含量随着实验时间的延长呈现下降的趋势, 这可能是与其吸附的 PCB₁₃₈ 量增多有关^[19]。本实验结果表明, 牟氏角毛藻和亚心形扁藻对 PCB₁₃₈ 均有明显的富集作用, 这为两种微藻用于检测海水中多氯联苯环境污染提供了依据。

3 结论

PCB₁₃₈ 对两种海洋微藻的生长均有明显的影响。随着处理浓度的增加和处理时间的延长, 两种微藻的生长抑制率升高。PCB₁₃₈ 对两种藻类的生长作用呈现显著的剂量-效应关系。PCB₁₃₈ 对两种微藻均有极高毒性, 亚心形扁藻对 PCB₁₃₈ 的毒性耐受性比牟氏角毛藻较高。

在 PCB₁₃₈ 作用下, 两种微藻的 SOD 酶活性有较

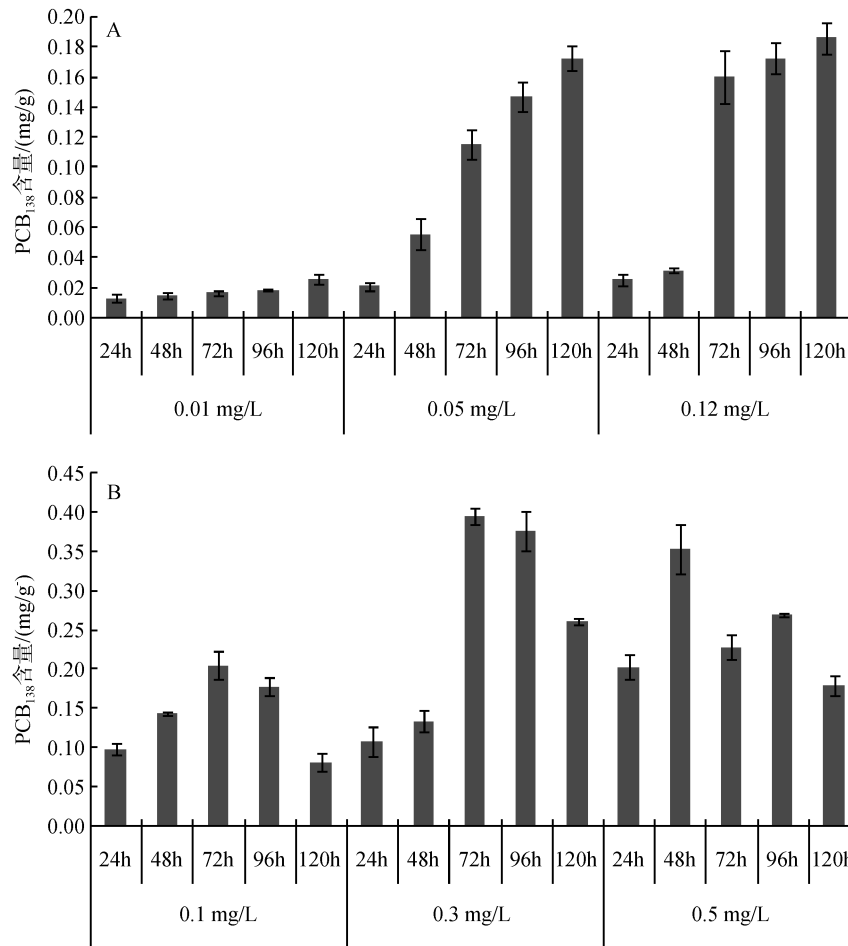


图 4 牟氏角毛藻(A)和亚心形扁藻(B)对 PCB₁₃₈ 吸附作用
Fig. 4 The adsorabilities of *C. muelleri* (A) and *P. subcordiformi* (B) to PCB₁₃₈

明显的变化。低浓度的 PCB₁₃₈ 对两种微藻 SOD 酶活性有诱导作用, 但当 PCB₁₃₈ 浓度过高时, 两种微藻 SOD 酶活性均受到抑制。

两种微藻对 PCB₁₃₈ 都有明显的富集作用。随着 PCB₁₃₈ 浓度升高, 牟氏角毛藻对 PCB₁₃₈ 的富集增强, 而亚心形扁藻对 PCB₁₃₈ 的富集作用则呈现先上升后下降的趋势。

参考文献:

- [1] 张微, 杨天雄, 柯跃建, 等. 环境中 PCBs 的污染现状和风险评估[J]. 能源环境保护, 2013, 27(5): 1-7.
Zhang Wei, Yang Tanxiong, He Yuejian, et al. The pollution and risk assessment of (PCBs)[J]. Energy Environmental Protection, 2013, 27(5): 1-7.
- [2] Zhou J M, Qin Z F, Cong L, et al. Research progress of the endocrine disrupting activities of polychlorinated biphenyls[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(3): 215-219.
- [3] Ferguson K K, Hauser R, Altshul L, et al. Serum concentrations of p, p'-DDE, HCB, PCBs and reproductive hormones among men of reproductive age[J]. Reprod Toxicol, 2012, 34(3): 429-435.
- [4] 黄云燕, 康颖. 多氯联苯对神经干细胞 DNA 甲基转移酶活性的影响[J]. 广东药学院学报, 2014, 30(1): 92-95.
Huang Yunyan, Kang Ying. Effect of polychlorinated biphenyls on the activity of DNA methylation transferases in neural stem cells[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2014, 30(1): 92-95.
- [5] 余刚, 黄俊, 张彭义. 持久性有机污染物: 倍受关注的全球性环境问题[J]. 环境保护, 2001, 29(1): 37-39.
Yu Gang, Huang Jun, Zhang Pengyi. Persistent organic pollutants: one of the important global environmental problems[J]. Environmental Protection, 2001, 29(1): 37-39.
- [6] 袁萍, 吕振波, 周革非, 等. 石油烃胁迫下 3 种微藻的生长动力学研究[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 46-51.
Yuan Ping, Lü Zhenbo, Zhou Gefei, et al. Growth kinetics of 3 species of microalgae treated with petroleum hydrocarbon[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 46-51.

- [7] 董丹, 钱鹏, 王洪斌, 等. 水环境中草甘膦对海州湾典型优势微藻的毒性效应[J]. 科技通报, 2014, 30(5): 187-191.
Dong Dan, Qian Peng, Wang Hongbin, et al. Toxicological effects of glyphosate in water environment on dominant micro algae in Haizhou Bay[J]. Bulletin of Science and Technology, 2014, 30(5): 187-191.
- [8] 顾云兰, 刘漫, 陈文靖, 等. 氯酚类化合物对海洋微藻毒性的 QSAR 研究[J]. 科技通报, 2015, 31(5): 1-5.
Gu Yunlan, Liu Man, Che Wenjing, et al. Study on QSAR of the Toxicity of chlorophenols to microalgae (Dunaliellatertiolecta)[J]. Bulletin of Science and Technology, 2015, 31(5): 1-5.
- [9] 王洪斌, 花文凤, 李信书, 等. 硝基苯和间苯二酚对 3 种海洋微藻的毒理效应[J]. 海洋科学, 2013, 37(5): 39-44.
Wang Hongbin, Hua Wenfeng, Li Xinshu, et al. The toxicological effects of nitrobenzene and dihydroxy-benzene on three kinds of marine microalgae[J]. Marine Sciences, 2013, 37(5): 39-44.
- [10] Dachs J, Eisenreich S, Baker J, et al. Coupling of phytoplankton uptake and air-water exchange of persistent organic pollutants [J]. Environ. Sci. Technol., 1999, 33(20): 3653-3660.
- [11] 聂湘平, 蓝崇钰, 林里, 等. 多氯联苯对蛋白核小球藻和斜生栅藻生长影响的研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(1): 68-71.
Nie Xiangping, Lan Chongyu, Lin Li, et al. The toxicological effects of nitrobenzene and dihydroxy-benzene on three kinds of marine microalgae[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2002, 41(1): 68-71.
- [12] 方浩, 吕颂辉, 马方方, 等. 多氯联苯对 2 种微藻的急性毒性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9147-9150.
Fang Hao, Lü Songhui, Ma Fangfang, et al. Study on the acute toxicity of PCBs to two species of microalgae[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(15): 9147-9150.
- [13] 李卓娜, 孟范平, 赵顺顺, 等. 2, 2', 4, 4'-四溴联苯醚 (BDE-47) 对 4 种海洋微藻的急性毒性[J]. 生态毒理学, 2009, 4(3): 435-439.
Li Zhuona, Meng Fanping, Zhao Shunshuan, et al. Acute toxic effects of 2, 2', 4, 4'-tetrabromodiphenyl ether (BDE-47) on four marine microalgae[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2009, 4(3): 435-439.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中指示性多氯联苯含量的测定: GB5009.190-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
National Health and Family Planning Commission. Determination of indicator polychlorinated biphenyls in foods: GB 5009.190-2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [15] 岳文洁, 王朝晖, 王桥军, 等. 氯氰菊酯对海洋卡盾藻的毒性效应[J]. 生态毒理学报, 2009, 39(15): 251-257.
Yue Wenjie, Wang Zhaohui, Wang Qiaojun, et al. Toxic effects of cypermethrin on *Chattonella marina*[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2009, 39(15): 251-257.
- [16] 付梅, 宋秀贤, 俞志明, 等. 伪矮海链藻抗氧化酶活性对磷化氢的响应特征[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(6): 809-813.
Fu Mei, Song Xiuxian, Yu Zhiming, et al. Responses of activity of antioxidant enzyme in *Thalassiosira*[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(6): 809-813.
- [17] 国家环境保护总局. 新化学物质危害评估导则: HJ/T 154-2004[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
State Environmental Protection Administration of China. The guidelines for the hazard evaluation of new chemical substances: HJ/T 154-2004[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.
- [18] 窦俊辉, 喻树迅, 范术丽, 等. SOD 与植物胁迫抗性[J]. 分子植物育种, 2013, 8(2): 359-364.
Dou Junhui, Yu Shuxun, Fan Shuli, et al. SOD and plant stress resistance[J]. Molecular Plant Breeding, 2013, 8(2): 359-364.
- [19] 李娜. 多氯联苯在水生食物链中的生物毒性及富集效应研究[D]. 广州: 暨南大学, 2012.
Li Na. Toxicity effects and enrichment Effects of PCBs in the aquatic food chain[D]. Guangzhou: Jina University, 2012.
- [20] 孟范平, 李卓娜, 赵顺顺, 等. BDE-47 对 4 种海洋微藻抗氧化酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1659-1664.
Meng Fanping, Li Zhuona, Zhao Shunshun, et al. Effects of BDE-47 on the antioxidase activities of four species of marine microalgae[J]. Ecology and Environment Sciences, 2009, 18(5): 1659-1664.
- [21] 方堃. 海洋微藻对多氯联苯的吸附作用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2006.
Fang Kun. Studies on the adsorption of PCBs to marine microalgae[D]. Dalian: Dalin maritime university, 2006.
- [22] 王建龙, 文湘华. 现代环境生物技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
Wang Jianlong, Wen Xianghua. Environmental biotechnology[M]. Beijing: Tsinghua university press, 2001.
- [23] 石瑛, 杜青平. 1, 4-二氯苯的细胞毒性效应及在角毛藻中的富集[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2023-2026.
Shi Ying, Du Qingping. The cellular toxic effects of 1, 4-dichlorobenzene and concentration in *Chaetoceros-mulleri*[J]. Ecology and Environment Sciences, 2009, 18(6): 2023-2026.

A study of toxicity and bioaccumulation of PCBs in two species of marine microalgae

WU Yue, CHEN Xing-xing, PAN Qi-cun, ZHENG Yi-nuo, HU Yuan, WANG Yao-hua, LU Rong-mao, HUANG Zhen-hua

(Zhejiang Mariculture Research Institute, Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bioresource, Wenzhou 325005, China)

Received: Mar. 2, 2016

Key words: polychlorinated biphenyls (PCBs); marine microalgae; toxicity effect; bioaccumulation

Abstract: In order to investigate the toxicity effects of PCBs on marine microalgae, two algae species, *Chaetoceros muelleri* and *Platymonas subcordiformis*, were selected to study the effects of PCB₁₃₈ on growth and SOD enzyme activities. Meanwhile, the enrichment effects of PCB₁₃₈ on *C. muelleri* and *P. subcordiformis* were analyzed by gas chromatography. The results showed that PCB₁₃₈ had obvious toxicity effects on the growth of *C. muelleri* and *P. subcordiformis*. The 96-h EC₅₀ of PCB₁₃₈ on *C. muelleri* and *P. subcordiformis* were 0.057 mg·L⁻¹ and 0.354 mg·L⁻¹, respectively, which indicated that *C. muelleri* showed more sensitivity and poorer tolerance to PCB₁₃₈ than *P. subcordiformis*. SOD activities in two microalgae cells were greatly induced by low levels of PCB₁₃₈, and reduced as the PCB₁₃₈ concentrations increased above threshold values. Both of the algae species had strong capabilities to accumulate PCB₁₃₈. The adsorption amount of PCB₁₃₈ in *C. muelleri* increased with increasing cultivation time, while the amount of PCB₁₃₈ adsorbed in *P. subcordiformis* first increased, then decreased.

(本文编辑: 康亦兼)