

# 翡翠贻贝对多氯联苯吸收 不同途径的比较研究\*

方展强

(华南师范大学生命科学学院 广东 广州 510631)

**摘要:**定量分析和比较翡翠贻贝 *Perna viridis* 对多氯联苯(PCBs)吸收的4种不同途径。结果表明,翡翠贻贝通过食物途径富集 PCBs 比从海水吸收的途径具更高效率;而通过底泥或悬浮颗粒积累 PCBs 的途径较为次要。翡翠贻贝对5—7个氯原子数的 PCBs 异构体富集率高,分别占 PCBs 总量的53.25%—77.41%。结果还表明,贻贝经沉积物途径和经滤食悬浮颗粒途径比经水途径和食物途径对含2—4个氯原子数和8—10个氯原子数的 PCBs 异构体富集率较高。

**关键词:**吸收途径;生物积累;多氯联苯;翡翠贻贝

**中图分类号:** X835

**文献标识码:** A

多氯联苯(Polychlorinated biphenyls, 简称 PCBs)对人体健康及生态环境的影响已引起世界范围的普遍关注。世界上许多河口区受 PCBs 的污染,在我国近年对珠江口海域翡翠贻贝中有机氯农药和多氯联苯含量和分布的调查发现,各采样点中贻贝积累的 PCBs 平均含量在  $82.8\text{—}615.1\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  干重范围,表明该地区已受到 PCBs 不同程度的污染<sup>[1]</sup>。

翡翠贻贝 *Perna viridis* 为滤食性的双壳类动物,因对环境污染物有特殊的积累能力而被推荐为海洋环境污染的指示生物。有关翡翠贻贝对 PCBs 的生物积累规律的研究已见报道<sup>[2]</sup>。贻贝对 PCBs 的生物积累主要经两种途径:直接从海水中吸收或通过食物链过程将其从低级生物转移到体内。双壳类对 PCBs 吸收的这两种途径哪一种重要一直存在不同看法。一些研究<sup>[3]</sup>认为双壳类对 PCBs 的富集并非从食物链而是直接从水中吸收的结果;这两种不同吸收途径的比较实验还表明,双壳类从水中吸收 PCBs 的数量更多<sup>[4]</sup>。相反的结论则认为,最主要的途径是经过食物链而非从海水中吸收<sup>[5]</sup>。也有少数报道双壳类对 PCBs 的吸收也通过对受污染的悬浮颗粒或沉积物的途径而获得<sup>[6]</sup>。

对受到 PCBs 污染的地区开展对 PCBs 如何进入生物体的途径研究及其在环境中的行为研究,对于环境污染监测和环境治理具有重要意义。因此本课题用定量分析方法,对

收稿日期:2002-03-08;修订日期:2002-07-16

基金项目:本研究课题资金由香港城市大学资助

作者简介:方展强(1953—),男,广东普宁人,教授,从事生态环境科学方面的研究工作。E-mail: fangzhq@scnu.edu.cn

\* 本研究课题得到香港城市大学生物及化学系张润兴博士和香港浸会大学生物系黄铭洪教授的指导,PCBs 的测定工作得到周海云小姐的技术帮助,一并衷心感谢。

翡翠贻贝吸收 PCBs 的不同途径与积累进行了研究。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验动物

翡翠贻贝采自香港吐露港落禾沙,平均体长 60mm。小心清除翡翠贻贝外壳附生生物,在水族箱内暂养 3d,选择骨条藻 *Skeletonema costatum* 作为贻贝的饵料。将原种培养达一定数量后转入 12L 规格的 A、B 培养瓶中继续培养。A 瓶培养的骨条藻为受 PCBs 污染,加入 PCBs 混合物(Aroclors 1221:1254:1260 = 1:1:1),使培养液中 PCBs 浓度保持  $13.9\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ;B 瓶的骨条藻为未受 PCBs 污染,经 12d 培养细胞达到  $3\times 10^6$  个 $\cdot\text{ml}^{-1}$ ,离心获骨条藻。底泥采自香港南部海域,筛除杂物,加入 PCBs 混合物(Aroclors 1221:1254:1260=1:1:1)再配制成泥浆水(每升海水含 40g 湿重底泥)。同时,对实验用的骨条藻、底泥和贻贝作污染前 PCBs 含量检测。

### 1.2 实验设计

实验分组见表 1。选择 7d 短期实验于 1998 年 1 月 16—23 日进行,每组(2 次重复)实验动物 20 只,保持在装有 16L 海水的玻璃培养缸(规格 20L)中,水温 18—19℃,分别在实验的 0、1、3、5 及 7d 对不同实验组进行采样,每组每次取样 4 只。实验水质理化参数为:人工海水(Instant Ocean)盐度 33;pH 为  $8.08\pm 0.3$ ;溶解氧  $6.1\text{—}6.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。实验期间不换水,但保持人工充气,及时清除死亡动物并作记录。

表 1 翡翠贻贝对 PCBs 吸收不同途径的比较实验设计

Tab.1 Comparative experiments on uptake ways of PCBs by green-lipped mussels (*Perna viridis*)

空白组	控制组	实验组	目的
A <sub>参</sub> :实验动物保持在水族箱内,不喂食	A <sub>对</sub> :实验动物保持在海水培养缸;不喂食	A <sub>处</sub> :实验动物暴露于受 PCBs ( $13.9\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )污染的海水培养缸;不喂食	观察贻贝通过海水对 PCBs 的吸收与积累
B <sub>参</sub> :实验动物保持在水族箱内,不喂食	B <sub>对</sub> :实验动物保持在海水培养缸;投喂骨条藻	B <sub>处</sub> :实验动物保持在海水培养缸;投喂受 PCBs 污染的骨条藻	观察贻贝通过食物链对 PCBs 的吸收与积累
C <sub>参</sub> :实验动物保持在水族箱内,不喂食	C <sub>对</sub> :实验动物保持在加入未受污染底泥的海水培养缸;不喂食	C <sub>处</sub> :实验动物保持在加入受 PCBs ( $13.9\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )污染底泥的海水培养缸;不喂食	观察贻贝通过底泥对 PCBs 的吸收与积累
D <sub>参</sub> :实验动物保持在水族箱内,不喂食	D <sub>对</sub> :实验动物保持在加入未污染悬浮颗粒的海水(保持混浊状态)培养缸;不喂食	D <sub>处</sub> :实验动物保持在加入受 PCBs ( $13.9\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )污染悬浮颗粒的海水(保持混浊状态)培养缸;不喂食	观察贻贝通过悬浮颗粒对 PCBs 的吸收与积累

### 1.3 样品处理和分析

取贻贝整个软体部分搅拌成匀浆,置冷冻干燥机干燥至恒重。而骨条藻则直接进行冷冻干燥。底泥样品经冷冻干燥至恒重,用 2mm 筛网去掉粗颗粒物和生物残体。样品的萃取参照 AOAC<sup>[7]</sup>的方法进行。样品净化程序包括 2 个步骤:浓硫酸净化和佛罗里(florsil)柱净化。样品分析采用 HP6890 气相色谱(GC)仪,配以<sup>63</sup>Ni 电子捕获检测器(ECD)。色谱柱为 DB-5 毛细管柱。利用多氯联苯标准物定性,内标法定量,分析由计算机自动完成,标准物质 PCBs 为美国 SUPELCO 公司产品。PCBs 包含 209 种 PCBs 同类物通过 DB-5 毛细管柱不能完全分离,形成 96 组同族体。八氯萘(Octachloronaphtha-

lene,OCN)作为内标,以校正样品净化处理过程中的损失和样品分析时进样量变化带来的误差。在与样品分析流程相同条件下作空白分析,未出现其它被鉴定的化学物质的峰值,表明分析过程没有受到人为污染。多氯联苯标样在样品中的回收率达 85%以上,其平均变异系数低于 10%,表明本实验对样品的分析方法是可靠的。所有数据都在 95%置信度的水平下,用 Student's *t*-test 检验法进行分析并比较了各数据之间的差异。

## 2 结 果

### 2.1 底泥、骨条藻和贻贝软体组织 PCBs 本底值的测定

对骨条藻、翡翠贻贝和实验用的底泥均进行 PCBs 本底值的检测,结果表明骨条藻未受 PCBs 的污染,但采自香港南部海域的底泥及贻贝软体组织中 PCBs 含量分别为 23.0 和 150.7  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  干重,其 PCBs 异构体组成见表 2。

表 2 底泥和翡翠贻贝的 PCBs 本底值  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  干重  
Tab. 2 Background concentrations of PCBs in sediments and *Perna viridis*  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , dry weight

组别	Tri-	Tetra-	Pentra-	Hexa-	Hepta-	Octa-	$\Sigma$ PCBs
底泥	3.43	4.80	5.74	2.02	5.95	1.09	23.03
	14.89%	20.84%	24.92%	8.77%	25.84%	4.74%	100%
翡翠贻贝	17.03	18.31	60.3	39.8	15.26	—	150.7
	11.30%	12.15%	40.01%	26.41%	10.13%	0%	100%

### 2.2 各实验组贻贝软体组织 PCBs 的含量

贻贝暴露在 PCBs 水中(A组),其正常滤食活动无明显影响,但暴露在底泥(C组)及悬浮颗粒中(D组)的贻贝,贝体外表出现大量白色粘液分泌物。实验期间未发现动物死亡,对照组 B 组分别发现一只雌及两只雄的个体有产卵和排精现象。各实验组贻贝对 PCBs 的净吸收量见表 3,平均脂含量(Lipid content) 4.1%—4.6%。

表 3 各实验组贻贝经 4 种不同途径积累 PCBs 的净吸收量及相应的 IUPAC 异构体  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 干重

Tab. 3 Net uptake concentrations of PCBs accumulated by different groups of mussels in 4 different ways and corresponding IUPAC isomers  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , dry weight

组别	天数	Mono-	Di-	Tri-	Tetra-	Pentra-	Hexa-	Hepta-	Octa-	Nona-	Deca-	$\Sigma$ PCBs
A	1	—	23.6	67.0	161.4	156.0	202.9	95.6	5.1	2.4	—	714.0
	3	—	54.4	64.4	223.0	528.0	774.7	343.8	19.2	7.9	—	2 024.4
	5	—	77.2	114.0	370.0	694.0	878.5	347.6	20.2	8.2	—	2 509.7
	7	+	87.4	116.6	374.8	777.1	934.3	382.5	24.3	8.1	—	2 705.1
	%	0	3.23	4.30	13.86	28.73	34.54	14.14	0.90	0.30	0	100%
B	1	—	35.1	51.5	143.6	260.4	304.2	5.9	9.8	—	—	810.5
	3	—	70.4	93.3	464.7	536.6	919.8	288.5	17.2	—	—	2 390.5
	5	—	123.1	134.0	533.1	660.9	950.1	405.7	40.2	11.7	—	2 390.5
	7	—	130.2	153.8	543.3	727.9	1 130.7	461.1	51.1	21.5	—	3 219.6
	%	0	4.04	4.78	16.87	22.61	35.12	14.32	1.59	0.67	0	100%

续表 3  
Tab. 3 (continued)

组别	天数	Mono-	Di-	Tri-	Tetra-	Pentra-	Hexa-	Hepta-	Octa-	Nona-	Deca-	∑PCBs
C	1	—	42.1	23.4	46.5	11.3	56.7	40.6	8.5	5.1	—	206.3
	3	—	49.6	25.6	92.3	63.1	125.3	91.6	12.2	13.2	1.6	502.3
	5	—	53.7	29.1	106.7	65.7	125.9	90.0	13.1	9.2	1.5	502.8
	7	—	57.0	30.1	120.8	70.5	126.7	71.5	15.2	11.2	1.5	504.5
	%	0	11.31	5.97	23.94	13.97	25.11	14.17	3.01	2.22	0.30	100%
D	1	—	30.3	15.3	60.6	10.9	87.3	42.3	12.6	11.3	—	244.0
	3	—	31.5	20.5	112.5	107.2	168.6	100.4	22.4	27.6	—	596.6
	5	—	45.8	21.6	127.6	121.3	167.2	112.2	34.8	29.1	—	662.4
	7	—	44.4	26.2	144.6	124.4	166.1	113.9	35.5	31.2	—	686.3
	%	0	6.47	3.82	21.06	18.13	24.20	16.60	5.17	4.55	0	100%

### 3 讨 论

#### 3.1 翡翠贻贝对 PCBs 的吸收、积累及净化能力

对翡翠贻贝体内 PCBs 本底值的分析结果表明,实验动物从环境中积累的 PCBs 含量达  $150\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  干重,体内含 3—7 个氯原子数的异构体,其中各占贝体总含量的 11.30%、12.15%、40.01%、26.41% 和 10.13%,以五氯化合物的积累量为最高。由于体内已积累一定量的 PCBs 本底值,将可能使贻贝对 PCBs 的敏感性有所降低。但实验结果表明,贻贝通过 4 种不同途径对 PCBs 的吸收和积累在第 7 天仍达到较高的水平,与控制组比较差异显著 ( $p < 0.001$ ),其净吸收量最高为其本底值的 21 倍,日均增长  $460\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (表 3)。由于我们的实验正处于冬季,环境水温较低,转移到实验室所处水温条件比较适合贻贝的生长,另外所采集的贻贝已适应了该地区 PCBs 的污染,虽有较高的 PCBs 的本底值,并不影响其正常的代谢活动。翡翠贻贝对 PCBs 的净化能力较弱,空白组和对照组的贻贝在 7d 的净化过程,体内排出的 PCBs 总量平均仅为  $8.45\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (干重) 左右,显示对 PCBs 生物富集能力高但对其净化能力极低。许多研究已表明,环境因素如水中的盐度和温度会影响双壳类动物对 PCBs 的吸收与积累,此外,动物的生理状态,如年龄、个体的大小、体重、性别与性周期的变化以及体内的脂含量等,都会直接影响 PCBs 在其体内的保留与积累<sup>[8]</sup>。因此,选择 7d 短期实验,旨在排除翡翠贻贝若在较长时间内对 PCBs 的吸收和积累将会造成体内其它生理因素的影响。

#### 3.2 翡翠贻贝通过不同途径对 PCBs 的吸收和积累结果比较

##### 3.2.1 生物浓缩途径

A 实验组贻贝对 PCBs 的净吸收在第 1 天体内含量已达  $714.0\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,在第 7 天其净吸收量达  $2705.1\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,表明翡翠贻贝能直接从水中吸收和积累 PCBs,并具有相当强的浓集能力,相似结果也见于其他的报道<sup>[9]</sup>。Bergen 等<sup>[10]</sup>发现紫贻贝 *Mytilus edulis* 在 28d 后体内积累的 PCBs 达到稳定的最高水平为  $3000\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,而另一些观察者<sup>[11]</sup>则发现,紫贻贝在 28d 后体内对 PCBs 的积累达到稳定水平,但其含量却高达  $30000\mu\text{g}\cdot$

$L^{-1}$ 。贻贝迅速和有效地从水中吸收积累 PCBs, 与其周围水环境中污染物的分布量有关。但 PCBs 这类脂溶性污染物溶解在自然水环境中的浓度相当低, 有报道<sup>[12]</sup>在美国马萨诸塞州新贝德福特港水域的紫贻贝在 180d 后体内的 PCBs 含量才进入动态稳定平衡阶段, 因而需要经较长时间积累体内才达到一定水平。贻贝通过鳃和外套膜直接从水环境吸收和积累 PCBs, PCBs 分布和积累在鳃和外套膜等组织的所谓“隔离仓”中, 当水环境中 PCBs 分布的浓度高时, 贻贝对其的吸收和积累速度较快, 一直达到水体/动物组织间的分配平衡。

贻贝从水中有选择性吸收和积累含 5—7 个氯原子数的 PCBs 异构体占体内积累的 PCBs 总量的 77.41%; 含 2—4 个氯原子数的异构体占 21.39%; 然而 8—9 个氯原子数的异构体仅占 1.2%; 未发现 1、10 个氯原子数的异构体。含 8 个氯原子数以上的 PCBs 异构体其分子量在 357 以上, 它们较难通过细胞膜, 故吸收率低<sup>[9]</sup>。含 3 个氯原子数以下的 PCBs 异构体则具有最低的  $P_{\text{pct/water}}$  值, 相对在水中的溶解度较高, 较易被细胞吸收, 如贻贝对 IUPAC 序号 5/8 的净吸收量在第 7 天达到  $82.3 \mu\text{g} \cdot L^{-1}$ 。低氯取代的 PCBs 容易为水生动物所代谢排出, 而富集于生物体内的高氯取代的 PCBs 可能较为稳定。贻贝对含 4—7 个氯原子数的 PCBs 异构体如 IUPAC 序号 66/93/95、77/110、106/118/149、153、138/163/160/164 和 180 的净吸收和积累量在 7d 后达  $79—315 \mu\text{g} \cdot L^{-1}$  的范围, 表明贻贝对不同异构体的积累是不一样的, 这是由于不同异构体在体内的代谢水平不同所造成, 如某些对双苯基环的取代方式其结果有利于抑制其降解, 相反有些则加速其降解<sup>[9]</sup>。贻贝不仅能将 PCBs 高度富集于体内, 而且对毒性强的 PCBs 同类物更易积累, 在贻贝体内检出的 IUPAC 序号 118、138 这类被认为毒性较强的同类物<sup>[13]</sup>其净吸收量较高, 似可说明贻贝对潜在毒性强的 PCBs 具更大的富集特性。

### 3.2.2 生物放大途径

B 实验组数据显示, 贻贝通过滤食受污染的骨条藻, 在第 7 天体内 PCBs 净积累量为  $3222 \mu\text{g} \cdot L^{-1}$ , 高于贻贝通过水途径对 PCBs 的吸收积累。对体内积累的 PCBs 异构体组成进行比较分析, 发现 5—7 个氯原子数的异构体占 PCBs 总量的 72.05%; 而含 2—4 个氯原子数的异构体较低, 占 25.69%; 8—9 个氯原子数的异构体约占 2.26%; 同样未发现 1、10 个氯原子数的 PCBs 异构体。与 A 组比较, 贻贝通过食物链积累较多含高氯原子数的 PCBs 异构体。贻贝对 6 个氯的异构体 153、138/163/160/164 以及 5 个氯的异构体 106/118/149、90/101、77/110 等积累的数量较高, 与对受污染的骨条藻体内检测到的 PCBs 组成一致, 这些异构体在骨条藻体内的含量也较高。

Van der Oost 等<sup>[14]</sup>已经证实, 软体动物通过摄食受污染的食物对 PCBs 的积累效率十分明显。虽然对斑马贻贝 (zebra mussel) 的观察出现相反的结果, 发现斑马贻贝从水中吸收 PCBs 的途径比从食物链的途径显得更为重要和明显<sup>[15]</sup>, 但本实验的结果表明翡翠贻贝通过摄食受污染的骨条藻对 PCBs 的积累量比通过直接从受污染的水中吸收和积累的 PCBs 量要高。在自然水域中, 骨条藻是贻贝的饵料之一。贻贝通过对骨条藻的消化, PCBs 污染物从骨条藻转入贻贝循环系统, 并贮存在体内含脂组织内。天然水域中可溶性的亲脂性污染物在水体中的存在浓度非常低, 远比不上水体中藻类体内的含量, 因此贻贝通过食物链对污染物的吸收和积累途径比从水环境吸收途径显得更为明显和重要。此

外,各实验组贻贝的脂含量在 4.1% 的范围内,但 B 组略高些,平均为 4.6%。一些研究已经证明贻贝体内的脂含量与 PCBs 的积累呈明显的正相关关系。

### 3.2.3 经沉积物途径

C 组贻贝生活在受 PCBs 污染的底泥的水环境中,结果显示,贻贝在第 3 天的净吸收量为  $502.3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,在第 5、7 天后其吸收量基本达平衡。对贻贝个体的生活状况观察发现,实验组的贻贝在第 3 天体表出现大量的分泌物,覆盖了整个贝体表面,其滤食、呼吸活动明显减弱,代谢功能受到影响,因而 PCBs 的积累也减少。从异构体组成来看,2—4 个氯原子数的 PCBs 异构体占 41.2%,含 5—6 个氯原子数的异构体占 39.08%,7—9 个氯原子数的 PCBs 异构体约占 19.40%;含 10 个氯原子数的异构体占 0.3%。Wood<sup>[16]</sup>研究了水体底泥中 PCBs 解吸附过程及生物吸收过程,认为不同 PCBs 的清除是与辛醇/水分配系统(Kow)呈负相关的,而生物吸收最多为 2—4 个氯原子数的 PCBs 异构体,这些发现与本实验的观察结果是一致的。贻贝对 IUPAC 序号 84/92/155/89、90/101、86/97/152、81/87/111/115、85/116、77/110、106/118/149、141/179 和 138/163/160/164 等异构体积累的水平较高,这与对受污染底泥的 PCBs 含量和异构体组成的测定分析结果相一致。此外,在自然水体中,沉积物作为水环境污染物的蓄积库,束缚在底泥中的 PCBs 可被释放出来而造成二次污染。贻贝通过吸收其释放出来并溶解在水中的污染物 PCBs,但相对前两种途径来说,其积累的数量较少,7d 的积累量仅为其 1/5 左右。自然水域中的附着型贝类,它用足丝附着在附着物上生活,通过不断地滤食摄取藻类或有机和无机颗粒物,一旦这些作为食物颗粒的来源减少,贻贝通过沉积物途径对 PCBs 的富集量也较少。

### 3.2.4 经滤食悬浮颗粒途径

D 组贻贝生活在水质一直保持混浊状态的水环境中,贻贝通过滤食受污染的悬浮颗粒物而积累 PCBs。在第 7 天其净积累量达  $686.3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,高于 C 组实验组。但从贻贝积累的 PCBs 组成来看,与 C 组相似,2—4 个氯原子数的 PCBs 异构体占 31.35%,含 5—6 个氯原子数的异构体占 42.33%,7—9 个氯原子数的 PCBs 异构体约占 26.32;未发现含 1 和 10 个氯原子数的异构体。已有报道<sup>[6]</sup>,贻贝能有效地滤食有机或无机颗粒物,当水质混浊时,受污染的底泥颗粒在水中变成悬浮状态,对贻贝的滤食有明显的影响。长期生活在水质混浊的水环境中(尤其在河口区)的双壳贝类,通过滤食悬浮颗粒积累污染物可能比从水中吸收更具有重要生物学意义,但是与滤食藻类途径比较,被摄食的藻类在贝类肠管显然比悬浮颗粒更易被消化而对污染物的积累量将更高些,因而通过食物链传递作用吸收和积累的 PCBs 更多。

## 4 结 论

(1)翡翠贻贝通过水途径、食物途径、受污染底泥及直接对悬浮颗粒的滤食等 4 种途径吸收和富集 PCBs。对贻贝不同吸收途径的吸收积累的 PCBs 进行定量比较,结果表明:翡翠贻贝通过食物链积累 PCBs 比直接从海水富集的途径更重要;而通过受污染的底泥或悬浮颗粒积累 PCBs 数量较少。

(2)翡翠贻贝经不同吸收途径所吸收的 PCBs 富集率较高的是 5—7 个氯原子数的

PCBs 异构体,分别占 PCBs 总量的 53.25%—77.41%;经滤食底泥及悬浮颗粒积累的含 2—4 个氯原子数的 PCBs 异构体(分别占 41.22%和 31.35%)和 8—10 个氯原子数的 PCBs 异构体(分别占 5.53%和 9.72%)的含量较经水途径和食物链途径的要高。

### 参考文献:

- [1] 方展强,张润兴,黄铭洪. 珠江河口区翡翠贻贝中有机氯农药和多氯联苯含量及分布[J]. 环境科学学报,2001, 21(1):145—148.
- [2] Tanabe S, Tatsukawa R, Phillips DJ H. Mussels as bioindicators of PCB pollution: A case study of uptake and release of PCB isomers and congeners in green-lipped mussels (*Perna viridis*) in Hong Kong waters[J]. Environmental Pollution,1987,47:41—62.
- [3] Scura E D, Theilacker G H. Transfer of the chlorinated hydrocarbon PCB in a laboratory marine food chain[J]. Marine Biology,1977,40: 317—325.
- [4] Muncaster B W, Hebert P D N, Lazar R. Biological and physical factors affecting the body burden of organic contaminants in freshwater mussels[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1990,19: 25—34.
- [5] Ekelund R, Granmo A, Berggren M, et al. Influence of suspended solids on bioavailability of hexachlorobenzene and lindane to the deposit-feeding marine bivalve, *Abra nitida* (Muller)[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,1987,38: 500—508.
- [6] Pruell R J, Quinn J G, Lake J L, et al. Availability of PCBs and PAHs to *Mytilus edulis* from artificially resuspended sediments[A]. Oceanic Processes in Marine Pollution (Volume 1) Biological Processes and Waters in the Ocean[M]. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA. 1987.97—108 .
- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC) . Official methods of analysis, fifteenth edition [M]. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Virginia, USA. 1990. 274.
- [8] Phillips DJ H. Use of biological indicator organisms to quantitate organochlorine pollutants in aquatic environments-A review[J]. Environ Pollut., 1978,(16): 167—209.
- [9] Eertman R H M, Wagenvoort A J, Hummel H, et al. "Survival in air" of the blue mussel *Mytilus edulis* L. As a sensitive response to pollution-induced environmental stress[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1993,170: 179—195.
- [10] Bergen B J, Nelson W G, Pruell R J. Bioaccumulation of PCB congeners by blue mussels (*Mytilus edulis*) deployed in New Bedford Harbor, Massachusetts[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1993, 12: 1671—1681.
- [11] Nelson W G, Bergen B J, Cobb D J. Comparison of PCB and trace metal bioaccumulation in the blue mussel, *Mytilus edulis*, and the ribbed mussel, *Modiolus demissus*, in New Bedford Harbor, Massachusetts[J]. Environmental Toxicology and Chemistry,1995,14(3): 513—521.
- [12] 贾晓平. 多氯联苯(PCBs)在紫贻贝 *Mytilus edulis* 体内积累的动力学研究[J]. 南海水产研究,1990,(2):75—82.
- [13] Safe S, Parkinson A, Robertson L, et al. PCBs as AHH inducers[A]. Chlorinated dioxins and related compounds: Impact on the environment[M]. Pergamon Press, NY,1982, 383.
- [14] Van der Oost R, Heida H, Opperhuizen A. Polychlorinated biphenyl congeners in sediments, plankton, molluscs, crustaceans, and eel in a freshwater lake: implications of using reference chemicals and indicator organisms in bioaccumulation study[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology,1988,17: 721—729.
- [15] Fisher S W, Gossiaux D C, Bruner K A, et al. Preliminary investigations of the toxicokinetics of hydrophobic contaminants in the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* Pallas[A]. Zebra Mussels: Biology, Impacts, and

Control[M]. Mich, Lewis Publishers, 1993, 465—490.

- [16] Wood L W. Sediment desorption of PCB congeners and their bio-uptake by dipteran larvae[J]. Water Res. , 1987, **21**(8):875—884.

## COMPARATIVE STUDIES ON UPTAKE WAY OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS BY GREEN-LIPPED MUSSELS (*PERNA VIRIDIS*)

FANG Zhan-qiang

(College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Experiments were designed to expose green-lipped mussels, *Perna viridis* to different PCB-contaminated ambient in a short term in order to determine quantitatively the uptake of PCBs by different ways. The results showed that PCBs uptake from food was more important and efficient than that from seawater, while the uptake directly from contaminated particles or sediments ingested by mussels was considered to be less important. In this bioaccumulation study, PCBs congeners in mussels were mainly penta-, tetra- and hepta-chlorobiphenyls, accounting for 53.25%—77.41% of the total mussel PCBs load. The results also indicated that the uptake rates of di-, tri-, hexa-chlorobiphenyls and octa-, nona-, deca-chlorobiphenyls in mussels from sediments and suspended particulates were relatively higher than that from dissolved solutions and algae.

**Key words:** uptake pathway; bioaccumulation; polychlorinated biphenyl; *Perna viridis*