

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01057

福建省东山湾生态环境中滴滴涕(DDTs)的分布特征及风险评价

姜琳琳, 余颖, 苏捷, 钟硕良

福建省水产研究所, 福建 厦门 361012

摘要: 根据 2011 年春季(5 月)和夏季(8 月)对东山湾生态环境的调查资料, 初步探讨了东山湾海水、沉积物和养殖贝类体中滴滴涕(DDTs)残留水平、分布趋势和组成特征, 并对东山湾生态环境中 DDTs 污染状况及其生态风险进行了评价。结果表明: (1)春季(5 月)和夏季(8 月)东山湾表层海水中 DDTs 质量浓度范围分别为 ND~25.7 ng/L 和 ND~36.7 ng/L, 平均值分别为(6.08±3.02) ng/L 和(16.30±4.78) ng/L; 底层海水中 DDTs 质量浓度范围分别为 ND~30.6 ng/L 和 ND~36.7 ng/L, 平均值分别为(7.75±2.07) ng/L 和(13.30±5.12) ng/L, 总体上, 东山湾海水中 DDTs 浓度分布呈夏季高于春季、近岸高于远岸、由湾内向湾外下降的格局。与国内其他海湾相比, 东山湾海水中 DDTs 污染处于低水平状态, 但邻近漳江入海口海域的 DS03 站和 DS11 站可能有新的污染源输入。(2)东山湾表层沉积物中 DDTs 含量范围 5.56~12.80 μg/kg, 平均值为(9.00±5.34) μg/kg, 总体上呈现由湾内向湾外下降之势, 东山湾表层沉积物中 DDTs 残留可能对生物产生负效应, 毒性风险为 25%~75%。(3)东山湾海域养殖贝类 DDTs 的残留量在种类间存在一定的差异, 其 DDTs 含量范围在 1.68~26.60 μg/kg, 平均值为 15.70 μg/kg, 污染指数范围在 0.007~2.660, 均值为 1.580, 超标率达到 71.4%, 超标倍数最高达 1.66 倍, 说明东山湾部分贝类受到 DDTs 的污染。

关键词: 滴滴涕; 东山湾; 生态环境; 风险评价

中图分类号: S96; X171

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-1057-09

有机氯农药(*Organochlorine Pesticides*, OCPs)中的双对氯苯基三氯乙烷, 俗名滴滴涕(DDTs), 属于氯苯类衍生物, 是环境中持久性有机污染物之一, 具有脂溶性、难降解性、生物累积和生物毒性等特点, 成为全球环境污染研究的热点问题^[1]。中国在 1983 年禁止生产 DDTs 作为 OCPs, 但 DDTs 仍可以作为其他用途使用, 如作为三氯杀螨醇制备的中间体、防污漆生产和预防疟疾等方面, 大量的 DDTs 污染物通过工业废水和生活污水的排放、农药的土壤渗漏、地表径流和大气沉降等进入水体, 水体中的悬浮颗粒物更易吸附 DDTs 污染物, 通过沉降作用长久蓄积于底质沉积物中, 这不仅长期危害水生生态系统, 而且可通过食物链的累积和放大, 对人类健康造成严重影响。

东山湾位于福建省东南部, 地处东海和南海的过渡区域, 湾内总面积为 275.6 km², 其中浅海面积为 175.6 km², 滩涂面积为 100 km。湾顶有漳江入海, 湾口朝南, 口门狭窄, 仅 5 km 宽, 其间还有塔屿等大小岛屿为屏障, 是个半封闭港湾。东山湾自然条件优越, 渔业资源较丰富, 该湾已发展成为福建省重要的渔业养殖基地。近年来, 随着海湾沿岸工农业、渔业以及旅游业的迅猛发展, 东山湾水域生态环境也受到一定的破坏。国内外对海湾中 DDTs 残留的分布特征做了较为广泛深入的研究^[2-7], 本研究重点对东山湾生态环境中 DDTs 的残留水平、分布趋势和组成特征进行了分析, 为东山湾 DDTs 污染状况评估和有机污染物的控制提供科学依据。

收稿日期: 2013-04-04; 修订日期: 2013-04-25.

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201005012).

作者简介: 姜琳琳(1981-), 女, 工程师, 主要从事水产品质量安全研究工作. E-mail: jllhzau@163.com

通信作者: 钟硕良(1953-), 教授级高工, 主要从事海洋与渔业生态环境研究. E-mail: zsl-5388@163.com

1 材料与方法

1.1 样品采集

在东山湾海域共设 12 个站位。采样站位见图 1, 其中湾外设 3 个站点, 分别为 DS06、DS07 和 DS10; 湾口设 2 个站点, 分别为 DS05 和 DS09; 湾内设 7 个站点, 分别为 DS01、DS02、DS04、DS08、DS06、DS11 和 DS12。2011 年的 5 月和 8 月, 分别采集东山湾表层和底层的海水样品; 2011 年 8 月, 采集东山湾表层沉积物样品 1 次, 共计样品 12 个, 同时采集浅海和潮间带的养殖贝类样品 1 批次, 每个站位采集 2 个贝类样品, 样品量 2~6 kg。采集的养殖贝类品种包括波纹巴非蛤 (*Paphia undulata*)、泥蚶 (*Tegillarca granosa*)、僧帽牡蛎 (*Saccostrea cucullata*)、菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、缢蛏 (*Sinonovacula constricta*)、杂色鲍 (*Haliotis diversicolor*) 和华贵栉孔扇贝 (*Chlamys nobilis*)。样品采集均参照《GB 17378.4-2007 海洋监测规范》^[8] (第 3 部分: 样品的采集、贮存与运输) 所规定的方法。

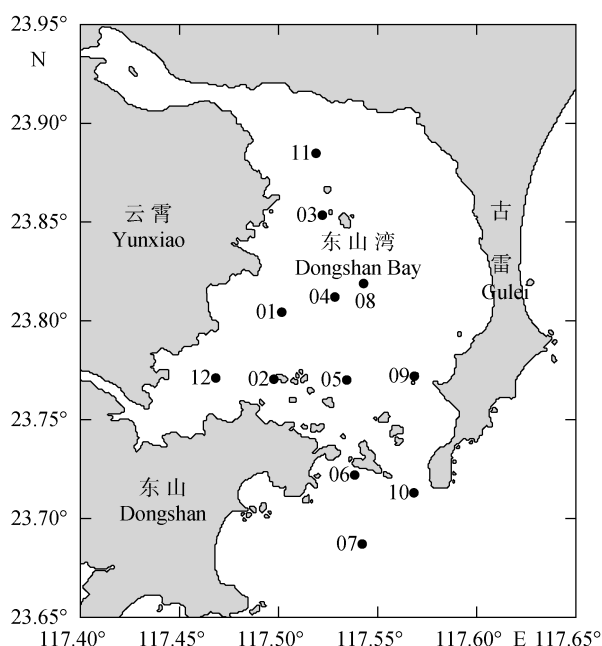


图 1 本研究采样站位

Fig.1 Sampling stations in the study

1.2 分析方法

海水中 DDTs 含量的测定: 参照《GB 17378.4-

2007 海洋监测规范》^[8]第 4 部分: 海水分析。移取 500 mL 水样置于分液漏斗中, 加入 20 mL 正己烷进行液-液萃取, 重复萃取 1 次, 收集上层液体, 向漏斗(塞上少许脱脂棉花)中加入 5 g 无水硫酸钠, 将提取液倒入漏斗并收集于鸡心瓶中, 再浓缩至近干。用正己烷溶解, 并定容至 1 mL, 经净化后上机测定。

沉积物中 DDTs 含量的测定: 参照《GB 17378.4-2007 海洋监测规范》^[8]第 5 部分: 沉积物分析。称取 5 g 自然风干试样, 用正己烷-丙酮混合液(1+1,V/V)提取; 采用铜粉去除硫化物, 超声波提取 20 min 2 次, 收集于鸡心瓶中, 减压蒸干, 经净化后上机测定。

养殖贝类样品中 DDTs 含量的测定: 参照《GB 17378.4-2007 海洋监测规范》^[8]第 6 部分: 生物样分析。称取 5 g 试样, 正己烷超声萃取, 浓硫酸净化, 减压旋转蒸发至干, 用正己烷溶解并定容至 1 mL, 气相色谱分析。

色谱分析采用美国 Agilent 公司的 6890N 气相色谱仪, 63Ni 微电子捕获检测器, 色谱柱: HP-5 毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.30 μm); 升温程序: 初始 100℃, 保留 1 min, 以 20℃/min 的速率升温至 230℃, 再以 5℃/min 的速率升至 270℃, 保留 2 min; 进样口温度 260℃; 载气: 高纯氮, 流速 1.5 mL/min, 采用恒流模式, 进样量 1 μL, 不分流进样方式; 检测器 310℃; 外标法定量。

1.3 质量控制

在分析过程中每批样品做标准曲线、试剂空白、样品平行样和加标回收实验, 并计算回收率。DDT 农药标准物质(标准值): p,p'-DDD(100 μg/mL), p,p'-DDE(80 μg/mL), p,p'-DDT(150 μg/mL), o,p'-DDT(100 μg/mL), 购于中国标准物质采购中心。水质中 DDTs 的最低检测限在 1.26 ~2.39 ng/mL, 沉积物中 DDTs 的最低检测限在 0.139 ~0.561 μg/kg, 养殖贝类中 DDTs 的最低检测限在 0.129 ~0.567 μg/kg, 加标回收率在 71.2%~102%。

采用 Excel、Surfer 软件进行数据处理分析。

1.4 养殖贝类风险评价方法

根据公式(1)和(2)估算养殖贝类的致癌风险

指数 CRI(carcinogenic risk index)和接触风险指数 ERI(exposure risk index), 当 $ERI \leq 1$, 接触风险被认为可以接受; 将 $CRI \leq 10^{-4}$ 作为可接受的潜在致癌风险^[9-10]。美国环保局(US EPA, 2000) 推荐的相关危害参考剂量 RfD(reference dose) 和可疑化学物质致癌斜率因子 $q1^*$ (cancer slope factor)如表 1 所示。

$$CRI = C_i \times CW \times q1^* \tag{1}$$

$$ERI = C_i \times CW / RfD \tag{2}$$

其中: C_i 为贝类中 DDTs 的残留量, CW 为每人每千克体质量日均水产品的消费量。

表 1 DDTs 的参考剂量和致癌斜率因子^[11]
Tab.1 Reference doses and cancer slope factors of DDTs^[11]

项目 item	化合物 compound		
	p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT
参考剂量/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) reference dose, RfD	/	/	0.5
致癌斜率因子/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) cancer slope factor, $q1^*$	0.34	0.24	0.34

2 结果与分析

2.1 海水中 DDTs 的残留及分布特征

春季(5 月)和夏季(8 月)东山湾表层海水中 DDTs 浓度范围分别为 ND~25.7 ng/L 和 ND~37.0 ng/L, 平均值分别为(6.08±3.02) ng/L 和(16.30±4.78) ng/L; 底层海水中 DDTs 浓度范围分别为 ND~30.6 ng/L 和 ND~36.7 ng/L, 平均值分别为(7.75±2.07) ng/L 和(13.30±5.12) ng/L(图 2)。春季高值区出现湾中部的 DS04 站, 低值区出现在湾口和湾外各站(DS05 站、DS09 站、DS06 站、DS07 站和 DS10 站); 夏季高值区出现在邻近漳江入海口的 DS011 站、DS03 站和湾中部的 DS08 站, 低值区出现在湾外的 DS10 站。海水中 DDTs 的残留量总体上呈现出由湾内向湾外下降、近岸高于远岸的趋势。春季表、底层海水中 DDTs 浓度分层不明显, 夏季大多数站位海水中 DDTs 浓度表层略高于底层。从季节分布看, 夏季水体中 DDTs 浓度明显高于春季, 平均值高 1.1 倍。这与夏季台风、暴雨较多有关, 暴雨将漳江沿岸果园、菜地广泛

使用的三氯杀螨醇(中间体含 DDTs)在地表中的残留冲刷, 汇入漳江径流, 最终流入东山湾, 从而使邻近漳江入海口的 DS011 站、DS03 站处于高值区。春、夏季湾中部的 DS08 站和 DS04 站 DDTs 浓度均处于高值区, 这可能由于东山湾表层水体存在一个反时针的水平余环流系统, 即由东水道(古雷头西侧水道)北上, 由中水道至西海岸一带南下, 再由南水道(沿东山岛)向东流(大潮时尤为明显)^[12-13]。DS04 站和 DS08 站刚好处于环流的中心区域, 受环流作用, 由漳江径流和鱼类网箱养殖产生的残饵、粪便等生物碎屑和胶体物质等悬浮颗粒, 较多积聚于该海域, 仅少量排出湾外, 因 DDTs 具有较高的辛醇-水分配系数, 在水环境中容易被这些悬浮颗粒吸附, 导致该区域水体中 DDTs 浓度较高。

2.2 表层沉积物中 DDTs 的残留及分布特征

海水中的 DDTs 主要被悬浮颗粒吸附, 因物理作用最终沉降为沉积物, 因此, 沉积物是环境中 DDTs 的主要归宿之一, 其中 DDTs 的含量往往高于水体含量的几百倍甚至上千倍^[14]。东山湾表层沉积物中 DDTs 含量范围 5.56~12.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 平均值为(9.00±5.34) $\mu\text{g}/\text{kg}$, 高值区出现在湾顶 DS11 站和湾西部 DS02 站(分别为 12.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 12.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 低值区出现在湾口的 DS05 站和湾外的 DS07 站(分别达 5.89 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 5.56 $\mu\text{g}/\text{kg}$)(图 3), 东山湾表层沉积物中 DDTs 含量总体上呈现近岸高于远岸, 由湾内向湾外呈下降的趋势, DS11 站和 DS02 站处于高值区, 海水中 DDTs 含量在两个站点也是处于高值区, 这主要因为受漳江径流和八尺门养殖区陆源污染物输入的影响, 而 DS05 站和 DS07 站底质沉积物多属于沙质, 不易吸附 DDTs, 因此两站位 DDTs 含量相对较低。

2.3 养殖贝类中 DDTs 的残留及分布特征

DDTs 能通过食物链在生物体(包括人体)中富集, 富集倍数可高达数万倍, 对生态系统和人类健康造成威胁。由图 4 可以看出, 东山湾海域养殖贝类 DDTs 的残留量在种类间存在一定的差异, 7 种养殖贝类 DDTs 含量范围在 1.68~26.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 平均值为 15.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其中僧帽牡蛎和缢蛏 DDTs

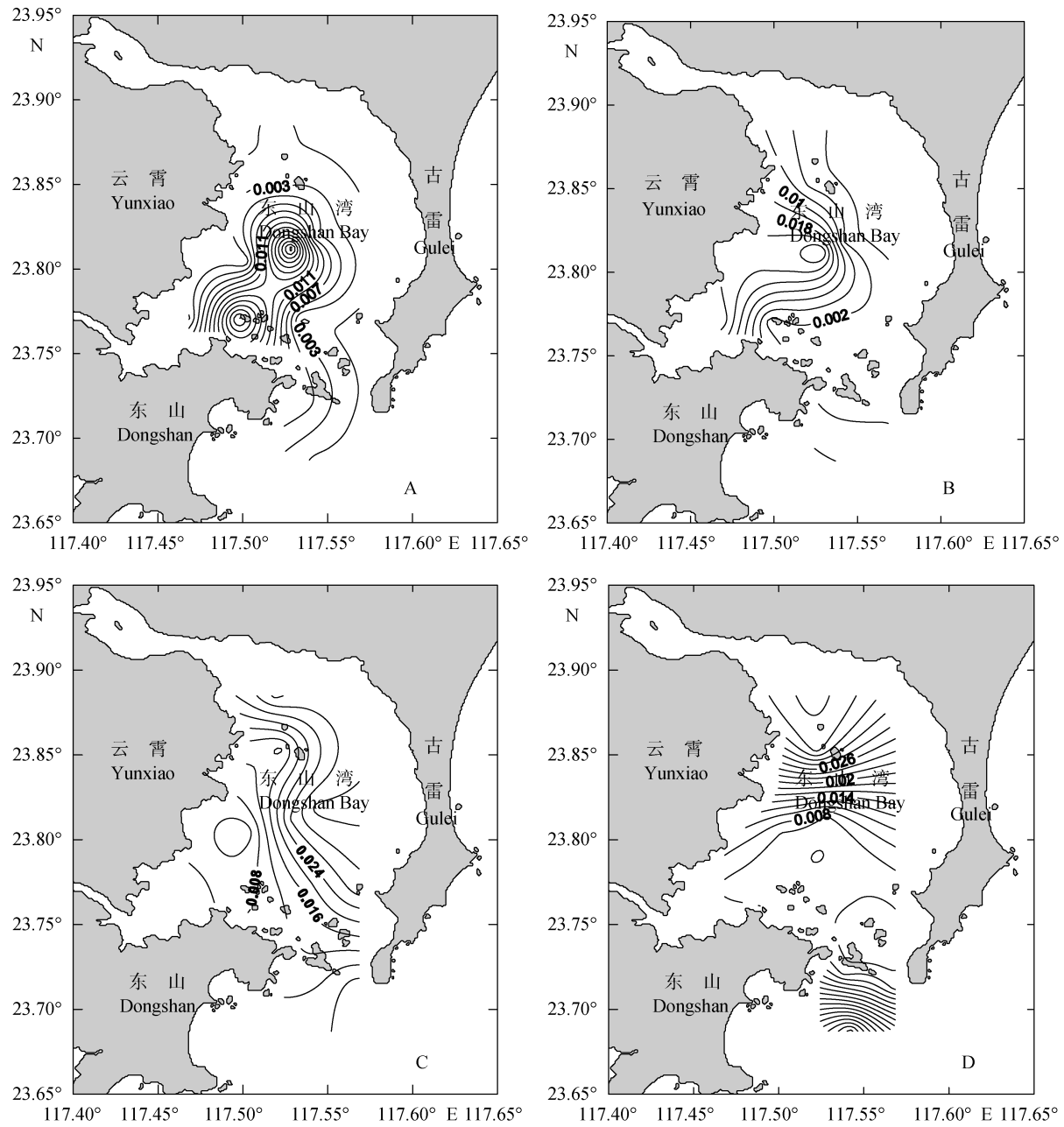


图 2 福建东山湾 5 月份和 8 月份表、底层水体 DDTs 含量平面分布图

A: 5 月水体表层 DDTs 分布; B: 5 月水体底层 DDTs 分布; C: 8 月水体表层 DDTs 分布; D: 8 月水体底层 DDTs 分布.

Fig. 2 The distribution map of DDTs in May and August in Dongshan Bay of Fujian Province

A: distribution of DDTs in surface layer in May; B: distribution of DDTs in bottom layer in May; C: distribution of DDTs in surface layer in August; D: distribution of DDTs in bottom layer in August.

含量最高, 分别达到 (26.6 ± 1.12) $\mu\text{g/kg}$ 和 (24.70 ± 3.18) $\mu\text{g/kg}$; 其次是巴非蛤和泥蚶, 残留量分别为 (21.80 ± 4.26) $\mu\text{g/kg}$ 和 (22.40 ± 3.75) $\mu\text{g/kg}$; 菲律宾蛤仔和鲍最低, 种间的分布趋势与福建省海水养殖区贝类 DDTs 残留量的监测结果相似^[15]。

本研究结果显示, 僧帽牡蛎 DDTs 的残留量

为菲律宾蛤仔的 15.8 倍。僧帽牡蛎对食料并无选择性, 其摄食的主要饵料种类为硅藻类和有机碎屑, 而 DDTs 由于亲颗粒性, 易吸附于有机碎屑等细小颗粒上, 这可能是滤水率较强的僧帽牡蛎体中 DDTs 含量高于其他贝类的原因之一。此外, 僧帽牡蛎和缢蛏的养殖方式为滩涂棚架式和滩涂

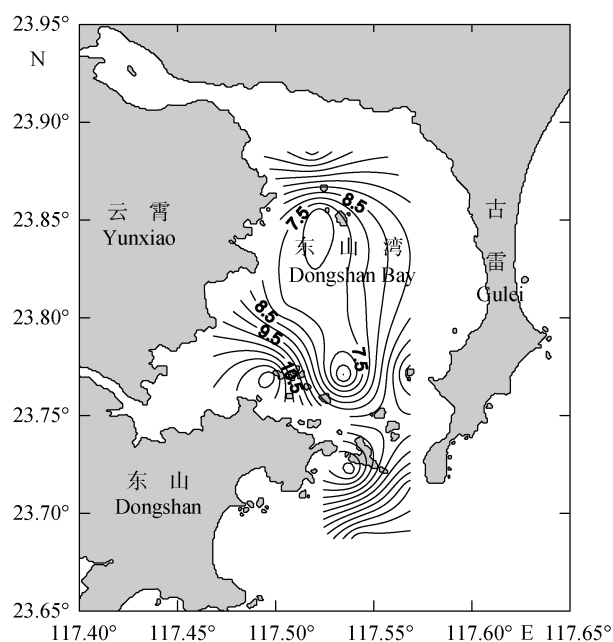


图3 福建东山湾8月沉积物中DDTs的平面分布图

Fig.3 The distribution map of DDTs in sediment in August in Dongshan Bay of Fujian Province

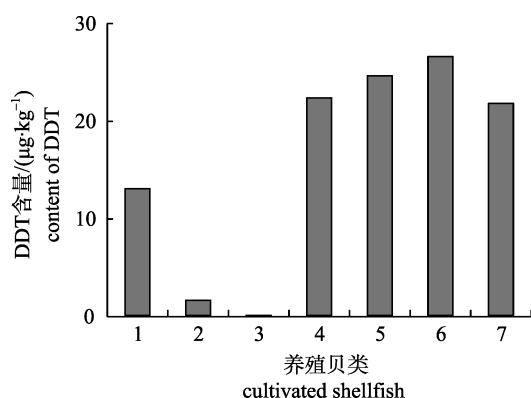


图4 东山湾养殖贝类DDTs残留

1. 扇贝; 2. 菲律宾蛤仔; 3. 鲍; 4. 泥蚶; 5. 缢蛏;
6. 僧帽牡蛎; 7. 波纹巴非蛤.

Fig.4 DDTs residual of cultured shellfish in Dongshan Bay

1. *Chlamys nobilis*; 2. *Ruditapes philippinarum*; 3. *Haliotis diversicolor*; 4. *Tegillarca granosa*; 5. *Sinonovacula constricta*; 6. *Saccostrea cucullata*; 7. *Paphia undulate*.

底播, 波纹巴非蛤、泥蚶和菲律宾蛤仔为浅海底播和滩涂底播, 都属于潮间带底栖养殖贝类, 而扇贝和鲍属于筏式养殖。潮间带是陆源污染物迁移转化的归宿地和蓄积库, 受陆源污染影响程度较大, 这可能是导致僧帽牡蛎、缢蛏、巴非蛤、泥蚶中DDTs的残留量明显高于扇贝和鲍的原因。

2.4 生态环境中DDTs的溯源分析

环境中DDTs的含量以其生物降解产物DDE和DDD为主^[16-18], DDTs及其DDE和DDD的含量比例可以用来了解DDTs的降解方式及推测是否有新的DDT污染源输入。DDTs在厌氧条件下通过水体中的微生物降解转化为DDD, 在好氧条件下转化为DDE, 因此DDD/DDE比值可指示降解条件, 若DDD/DDE>1, DDTs以厌氧分解为主; 反之则以好氧分解为主。当(DDD+DDE)/DDTs比值>0.5时, 污染物可能主要来自历史残留, 反之, 认为有新使用的DDTs输入^[19]。

图5显示, 东山湾表层沉积物中(DDD+DDE)/DDTs比值范围在0.29~0.44, 并且各个站点DDD/DDE比值范围在1.04~2.66, 表明东山湾沉积物中DDT以厌氧降解为主, 且近期可能有新的DDTs输入, 这可能与周边果树成熟前期大量使用三氯杀螨醇有关, 其残留通过雨水冲刷、地表径流进入海湾。

图6显示, 7个养殖贝类(DDD+DDE)/DDTs比值0.52~1.65, 均大于0.5, 说明贝类体中并未检出新输入的DDTs, 是否贝类体内的酶起了分解作用, 这有待于进一步探讨。

图7显示, 8月份东山湾海水中(DDD+DDE)/DDTs比值范围在0.33~1.20, DDD/DDE比值范围在0.16~1.31。表明多数站位海水中的DDTs为有氧降解。临近漳江入海口海域DS03、DS11两个

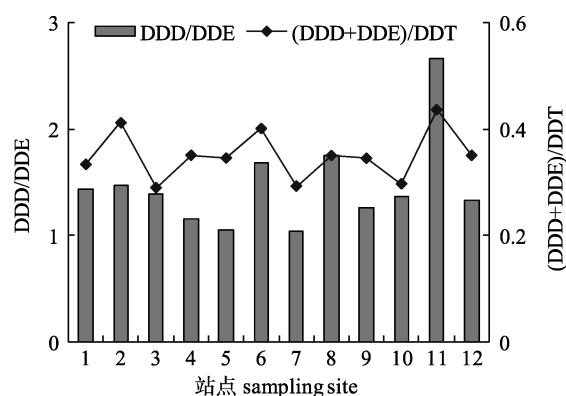


图5 8月份东山湾沉积物中各站点DDD/DDE和(DDD+DDE)/DDT比值

Fig. 5 DDD/DDE and (DDD+DDE)/DDT ratio in sediment of Dongshan Bay in August

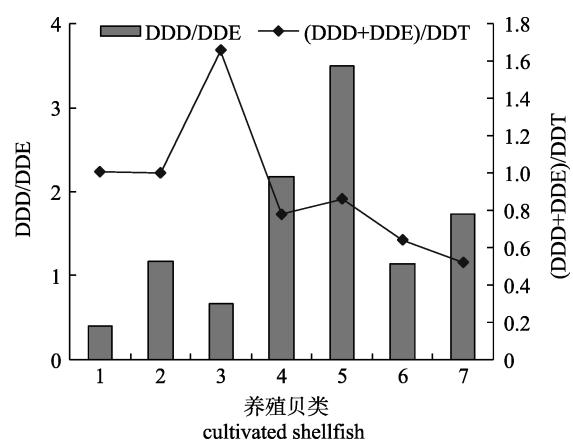


图 6 东山湾养殖贝类中 DDD/DDE 和 (DDD+DDE)/DDT 比值

1. 扇贝; 2. 菲律宾蛤仔; 3. 鲍; 4. 泥蚶; 5. 缢蛏;
6. 僧帽牡蛎; 7. 波纹巴非蛤.

Fig. 6 DDD/DDE and (DDD+DDE)/DDT ratio of cultured shellfish in Dongshan Bay

1. *Chlamys nobilis*; 2. *Ruditapes philippinarum*; 3. *Haliotis diversicolor*; 4. *Tegillarca granosa*; 5. *Sinonovacula constricta*; 6. *Saccostrea cucullata*; 7. *Paphia undulata*.

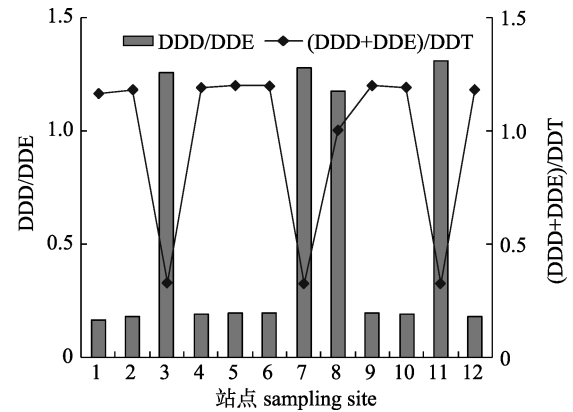


图 7 东山湾 8 月份底层水体中 DDD/DDE 和 (DDD+DDE)/DDT 比值

Fig.7 DDD/DDE and (DDD+DDE)/DDT ratio in bottom layer of Dongshan Bay in August

站点的 (DDD+DDE)/DDTs 比值最低, 分别为 0.33、0.327, 且 DDTs 同分异构体中以 o,p-DDT 为优势组分, 由此表明, 漳江径流可能有新的 DDTs 污染源输入, 应长期对该站点进行监测, 找出污染物的来源, 保护东山湾海洋生态环境。

3 讨论

3.1 生态环境中 DDTs 的污染程度

东山湾生态环境中海水、沉积物和养殖贝类

质量和污染状况分别用《海水水质标准》(GB3097-1997)第二类标准、《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002)第一类标准和《海洋生物质量》(GB 18421-2001)第一类标准进行评价。由表 2 所示, 东山湾养殖贝类污染指数均值为 1.58, 波纹巴非蛤、泥蚶、僧帽牡蛎、缢蛏和华贵栉孔扇贝超标, 超标倍数最高达 1.66 倍, 贝类中 DDTs 含量低于无公害水产品质量安全标准要求($\leq 1\text{ mg/kg}$)^[20], 远低于日本($\leq 3\text{ mg/kg}$)、美国和加拿大($\leq 5\text{ mg/kg}$)等发达国家的最大残留限量^[21], 但大部分高于海洋生物质量第一类准值($10\text{ }\mu\text{g/kg}$)^[22]。

东山湾海水 DDTs 含量和大亚湾相当, 高于厦门港, 低于兴化湾海水、珠江口和九龙江口水体, 低于海水二类标准值, 各个站点均未超标, 说明东山湾水体处于低污染水平(表 3)。

东山湾表层沉积物 DDTs 残留比同安湾和小海湾高, 远低于大连湾、锦州湾和澳门水域, 和厦门西港、泉州湾相当, 但很接近海洋沉积物质量标准第一类底质质量标准限量值, 说明东山湾底质沉积物受到一定污染, 应引起高度重视(表 3)。

3.2 沉积物和养殖贝类中 DDTs 生态风险评价

3.2.1 东山湾表层沉积物风险 DDTs 评价 不同地区沉积物物理化学性质的差异和农药使用状况

表 2 海水、沉积物和养殖贝类的污染指数及超标情况
Tab.2 Contamination index and exceeding standard situation of seawater, sediment and cultivated shellfish

项目	海水	沉积物	养殖贝类
item	seawater	sediment	cultivated shellfish
P_i 范围	P_i range	0.072~0.737	0.28~0.64
P_i 均值	P_i mean value	0.30	0.45
超标率/%	over standard rate	0	0
超标倍数	times of ultra standard	—	0.3~1.66

注: $P_i = C_i/C_s$, 其中 P_i 为 DDTs 的污染指数, C_i 为海水、沉积物和养殖贝类样品中 DDTs 的测值, C_s 为海水、沉积物和养殖贝类体中 DDTs 的标准限值。超标率(%)= ($P_i > 1$)的样品数/样品总数; 超标倍数=($C_i - C_s$)/ C_s 。

Note: $P_i = C_i/C_s$, P_i is DDTs contamination index, C_i is the content of DDTs in layer, sediment and cultivated shellfish, C_s is the set limit values of DDTs in layer, sediment and cultivated shellfish, the exceeding standard rate is the sample number of $P_i > 1$ /the total samples, the times of exceeding standard is($C_i - C_s$)/ C_s .

表 3 国内其他海湾海水和表层沉积物中 DDTs 含量
Tab.3 DDT content of layer and sediment in different bays

海水来源 source of seawater	DDTs 含量/(ng·L ⁻¹) content of DDTs	沉积物来源 source of sediment	DDTs 含量/(μg·kg ⁻¹) content of DDTs
厦门港 ^[23] Xiamen Port ^[23]	0.95–2.25	厦门西港和同安湾 ^[29] Xiamen Western Port and Tongan Bay ^[29]	1.91–16.6, 3.75–6.55
兴化湾海水 ^[24] Xinghua Bay ^[24]	2.33–144.3	泉州湾 ^[30] Quanzhou Bay ^[30]	1.17–13.95
珠江口 ^[25] Pearl River Estuary ^[25]	未检出–80(表层) not-detected–80(surface) 未检出–1220(底层) not-detected–1220(bottom)	小海湾 ^[31] Xiaohai Bay ^[31]	0.03–5.38
九龙江口 ^[26] Jiulong River Estuary ^[26]	0.16–63.2	大连湾和锦州湾 ^[32] Dalian Bay and Jinzhou Bay ^[32]	2.12–72.3, 0.97–154.87
大亚湾 ^[27] Daya Bay ^[27]	8.6–29.8	澳门水域 ^[33] Macao Seawater ^[33]	51.7–3653
海水第二类标准 ^[28] second standard of seawater ^[28]	100	海洋沉积物质量一类标准 ^[34] first standard of sediment ^[34]	20.0

不同,造成各地区沉积物受 DDTs 污染程度也不同,生物效应不同,因此沉积物中 DDTs 污染标准的确定和风险评价目前还没有统一的标准^[35]。常用的是 Long 等^[36]研究确定的沉积物中污染物的风险评价标准值,即生物影响范围低值 ERL (effects range-low)和中值 ERM(effects range- median),当含量低于风险评估低值 ERL (effects range-low)表示对生物极少产生负效应,风险几率<25%;当含量介于 ERL 值和风险评估中值 ERM(effects range-median)表示可能对生物产生负效应,风险几率为 25%~75%;当含量高于 ERM 值表示产生毒性风险几率>75%。

从表 4 可以看出,东山湾表层沉积物中除了 p,p-DDE 外,其他 DDTs 指标的残留量都介于 ERL 和 ERM 之间,尤其是 p,p-DDTs 和 DDTs 总量 100%都介于 ERL 和 ERM 之间,说明东山湾表层沉积物中 DDTs 残留可能对生物产生负效应,毒性风险为 25%~75%。

3.2.2 东山湾养殖贝类风险评价 本研究按沿海居民日均消费贝类 50 g、成年男子平均体质量 60 kg,根据公式(1)和(2)估算,本研究中东山湾养殖贝类 p,p'-DDE、p,p'-DDD 和 p,p'-DDT 的残留均值为 4.63、7.04 和 3.34 μg/kg,其中 p,p'-DDT 的接触风险指数 ERI 为 2.78×10^{-3} ,远小于 1,而 p,p'-DDE、p,p'-DDD 和 p,p'-DDT 的致癌风险指数 CRI 分别为 1.31×10^{-8} 、 1.41×10^{-8} 和 9.46×10^{-9} ,均小于 10^{-4} ,因此,东山湾养殖贝类的 DDTs 接触风险和潜在致癌风险为可接受风险。

4 结论

(1)东山湾海水中 DDTs 的含量总体上呈现由湾内向湾外下降、近岸高于远岸的趋势以及夏季高于春季的变化规律。和国内其他海湾相比,东山湾海水中 DDTs 污染处于低水平状态,但邻近漳江入海口海域的 DS03 站和 DS11 站可能有新的污染源输入。

表 4 东山湾表层沉积物 DDTs 生态风险评价
Tab. 4 Risk assessment of DDTs in sediment from Dongshang Bay

化合物 compound	ERL/(μg·kg ⁻¹)	ERM/(μg·kg ⁻¹)	DDTs 含量/(μg·kg ⁻¹) DDTs content	<ERL/%	ERL–ERM/%	>ERM/%
p,p-DDE	2.2	27	0.79–2.14	100	0	0
p,p-DDD	2	20	0.83–3.89	58.3	41.7	0
p,p-DDTs	1	7	2.69–5.45	0	100	0
DDTs	1.58	46.1	5.56–12.8	0	100	0

注: ERL 为风险评估低值,ERM 为风险评估中值。
Note: ERL represents effects range-low, and ERM represents effects range-median.

(2) 东山湾表层沉积物中 DDTs 含量总体上呈现由湾内向湾外下降的趋势, 其 DDTs 含量均低于海洋沉积物质量一类标准, DDTs 以厌氧降解为主要方式, 从 DDTs 组成推测可能有新的 DDTs 排入。表层沉积物中 DDTs 残留可能对生物产生负效应, 毒性风险为 25%~75%, 应引起高度重视。

(3) 东山湾养殖贝类中污染指数范围在 0.007~2.66, 均值为 1.58, 超标率达到 71.4%, 超标倍数最高达 1.66 倍, 说明东山湾部分贝类受到 DDTs 的污染, 应引起相关渔业管理部门重视。

参考文献:

- [1] Tieyu W, Yonglong L, Hong Z, et al. Contamination of persistent organic pollutants (POPs) and relevant management in China[J]. Environ Int, 2005, 31(6): 813-821.
- [2] Bakan G, Ariman S. Persistent organochlorine residues in sediments along the coast of mid-Black Sea region of Turkey[J]. Mar Poll Bull, 2004, 48(11): 1031-1039.
- [3] 胡雄星, 韩中豪, 周亚康, 等. 黄浦江表层沉积物中有机氯农药的分布特征及风险评价[J]. 环境科学, 2005, 26(3): 44-48.
- [4] Iwata H, Tanabe S, Sakai N, et al. Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes[J]. Environ Poll, 1994, 85(1): 15-33.
- [5] 乔敏, 王春霞, 黄圣彪, 等. 太湖梅梁湾沉积物中有机氯农药的残留现状[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 592-595.
- [6] 葛冬梅, 韩宝平, 郑曦. 微山湖水体中有机氯农药的分布及风险评价[J]. 安徽农业科学, 2010 (022): 11987-11989.
- [7] 迟杰. 有机氯农药在海河干流水体和茆草中的浓度分布[J]. 环境科学研究, 2009, 22(9): 1008-1012.
- [8] GB 17378.3-2007, 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] Barnes D G, Dourson M, Preuss P, et al. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments[J]. Reg Toxicol Pharmacol, 1988, 8(4): 471-486.
- [10] 甘居利, 林钦, 贾小平, 等. 广东近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*) 有机氯农药残留与健康风险评估 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (6): 2323-2328 .
- [11] Watanabe K H, Desimone F W, Thiyagarajah A, et al. Fish tissue quality in the lower Mississippi River and health risks from fish consumption[J]. Sci Total Environ, 2003, 302(1): 109-126.
- [12] 滕涌. 波浪对泥沙的影响研究及东山湾模拟检验[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所. 2009: 14-17.
- [13] 郑斌鑫, 廖康明, 曾志, 等. 东山湾潮流动力特征研究[J]. 台湾海峡, 2009, 28(4): 546-552.
- [14] 朱优峰, 徐晓白, 习志群. 有机氯农药在多介质环境中迁移转化的研究进展[J]. 自然科学进展, 2003, 13(9): 910-916.
- [15] 叶玫, 阮金山, 钟硕良, 等. 福建省海水贝类养殖区表层沉积物及贝类滴滴涕的残留与风险评价[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 482-490.
- [16] 安太成, 陈嘉鑫, 傅家谟, 等. 珠江三角洲地区 POPs 农药的污染现状及控制对策[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 981-986 .
- [17] Ma X, Ran Y, Gong J, et al. Concentrations and inventories of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in watershed soils in the Pearl River Delta, China[J]. Environ Monit Assess, 2008, 145(1-3): 453-464.
- [18] Guan Y F, Wang J Z, Ni H G, et al. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in riverine runoff of the Pearl River Delta, China: Assessment of mass loading, input source and environmental fate[J]. Environ Poll, 2009, 157(2): 618-624.
- [19] Zhang G, Parker A, House A, et al. Sedimentary records of DDT and HCH in the Pearl River Delta, South China[J]. Environ Sci Technol, 2002, 36(17): 3671- 3677.
- [20] GB 18406 . 4-2001, 农产品安全质量无公害水产品安全要求[s]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 25-28 .
- [21] 葛志农, 李元平, 黄冠胜, 等. 主要贸易国家和地区食品中农兽药残留限量标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 25-37.
- [22] GB 18421-2001, 海洋生物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 1-3 .
- [23] 张祖麟, 洪华生, 哈里德, 等. 厦门港表层水体中有机氯农药和多氯联苯的研究[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(3): 48-51.
- [24] 张菲娜, 祁士花, 苏秋克, 等. 福建兴化湾水体有机氯农药污染状况[J]. 地质科技情报, 2006, 25(7): 86-91.
- [25] 蔡福龙, 林志锋. 热带海洋环境中 BHC 和 DDT 的行为特征研究: I . 中国珠江口区旱季 BHC[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(2): 9-14.
- [26] 张祖麟, 陈伟琪, 哈里德, 等. 九龙江口水体中有机氯农药分布特征及归宿的初步研究[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 88-92.
- [27] Zhou J L, Maskoui K, Qiu Y W, et al. Polychlorinated biphenyl congeners and organochlorine insecticides in the wa-

- ter column and sediments of Daya Bay, China[J]. Environ Poll, 2001, 113(3): 373–384.
- [28] GB3097-1997, 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 1–3.
- [29] 张元标, 林辉. 厦门海域表层沉积物中 DDTs, HCHs 和 PCBs 的含量及其分布[J]. 台湾海峡, 2004, 23(4): 423–428.
- [30] 王伟, 祁士华, 龚香宜, 等. 泉州湾沉积物中有机氯农药含量及风险评估[J]. 环境科学研究, 2006, 19(4): 14–18.
- [31] 穆倩, 祁士华, 王君, 等. 小海湾沉积物中有机氯农药的浓度水平和分布特征[J]. 安全与环境工程, 2007, 14(2): 9–12.
- [32] 李洪, 付宇众. 大连湾和锦州湾表层沉积物中有机氯农药和多氯联苯的分布特征[J]. 海洋环境科学, 1998, 17(2): 73–76.
- [33] 杨清书, 麦碧娴, 罗孝俊, 等. 澳门水域水体有机氯农药的垂线分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 428–434.
- [34] GB 18668-2002, 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1–3.
- [35] McCauley D J, DeGraeve G M, Linton T K. Sediment quality guidelines and assessment: overview and research needs [J]. Environ Sci Policy, 2000, 3: 133–144.
- [36] Doong R A, Peng C K, Sun Y C, et al. Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Wu-Shi River estuary, Taiwan[J]. Mar Poll Bull, 2002, 45(1): 246–253.

Distribution characteristics and risk assessment of Dichloro-diphenyl-tricloroethanes in Dongshan Bay, China

JIANG Linlin, YU Ying, SU Jie, ZHONG Shuoliang

Fujian Provincial Institute of Fisheries, Xiamen 361012, China

Abstract: An investigation into the residue, distribution, and composition of Dichloro-diphenyl-tricloroethanes (DDTs) in sea water, sediment, and cultured shellfish in Dongshan Bay was carried out in spring(May) and summer(August), 2011. We also evaluated the contamination status and ecological risks. The results were as follows: First, the DDT content in the sea surface layer varied from non-detectable(ND) to 25.7 ng/L in May and from ND to 36.7 ng/L in August, the average values were (6.08 ± 3.02) ng/L and (16.30 ± 4.78) ng/L, respectively; the DDT content in the bottom layer varied from ND to 30.6 ng/L and from ND to 36.7 ng/L, the average values were (7.75 ± 2.07) ng/L and (13.30 ± 5.12) ng/L in May and August, respectively. In general, the DDT concentration distribution in Dongshan Bay declined from the inner to outer bay and from the near- to far-shore. DDT concentrations in summer were higher than those in spring. Compared with other bays in China, DDTs pollution in Dongshan Bay was at a lower level status; however, it is likely that there has been a recent pollutant input in sites DS03 and DS11. Second, the DDT content in the sediment varied from 5.56–12.8 $\mu\text{g/kg}$, the average value was (9.00 ± 5.34) $\mu\text{g/kg}$. The concentration declined from the inner to the outer bay. DDT residue in the sediment may have negative effects on organisms, the toxicity risk index varied from 25% to 75%. Third, the DDT content varied among different species of cultured shellfish from 1.68–26.60 $\mu\text{g/kg}$ and the average was 15.70 $\mu\text{g/kg}$. The pollution index varied from 0.007 to 2.660, the average was 1.580. This exceeded the standard rate by 71.4% and the highest value was 1.66 fold. These results show that some shellfish have been contaminated by DDTs. This problem requires further attention and must be resolved.

Key words: DDTs; Dichloro-diphenyl-tricloroethanes; Dongshan Bay; ecological environment; risk evaluation

Corresponding author: ZHONG Shuoliang. E-mail: zsl-5388@163.com