

# 莱州湾及东营近岸海域生物体中有机氯农药 和多氯联苯污染状况与风险评价\*

刘慧慧<sup>1,2</sup> 徐英江<sup>1,2</sup> 邓旭修<sup>3</sup> 张华威<sup>3</sup>  
孙岩<sup>1,2</sup> 田秀慧<sup>1,2</sup> 宫向红<sup>1,2</sup>

(1. 山东省海洋水产研究所 烟台 264006; 2. 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006;  
3. 烟台山水海产有限公司 烟台 264006)

**摘要** 2011 年 5 月采集莱州湾及东营近岸海域鱼、贝、甲壳(蟹、虾)、头足四类 235 个生物体样品, 用气相色谱法测定其中六六六(HCHs)、滴滴涕(DDTs)及多氯联苯(PCBs)含量, 对其残留水平、分布、组成特征及污染源进行分析, 对污染现状及人体健康风险进行了评价。结果表明, 研究海域生物体中 HCHs 含量(湿重) N.D.—5.73 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; DDTs 含量(湿重) 0.122—304 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; PCBs 含量(湿重) N.D.—6.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。根据各同分异构体百分比组成分析, 莱州湾及东营近岸海域近期无新的大面积 HCHs、DDTs 污染输入。与同类研究相比, 莱州湾及东营近岸海域生物体 PCBs 含量处于较低水平, 而 HCHs 和 DDTs 含量处于中间水平。通过污染指数分析得出: 所有生物体 HCHs、PCBs 均未受到污染; 55% 生物体 DDTs 受到不同程度污染。研究海域生物体 HCHs、DDTs、PCBs 含量低于各国食品安全限量; 以美国环保局推荐方法评价本海域生物体 HCHs、PCBs 食用致癌风险为可接受风险, 但是 DDTs 含量存在一定的致癌风险。

**关键词** 莱州湾及东营近岸海域; 生物体; 有机氯; 多氯联苯; 污染现状; 风险评价  
**中图分类号** X511

有机氯农药(OCPs)是用于防治植物病、虫害的含有有机氯元素的一系列化合物, 其中尤以六六六(HCHs)、滴滴涕(DDTs)的使用最早、应用最为广泛; 多氯联苯(PCBs)则是一系列氯化联苯化合物组成的合成工业品, 在工业上曾被广泛使用。有机氯农药和多氯联苯的共同特征是在环境中具有强持留性, 在生物体中有高度积累性并且对人体健康有显著危害作用(叶玫等, 2010; 黄宏等, 2011)。因此, 这两种物质自 20 世纪 70 年代起开始受到限用或禁用, 而 PCBs 还被列入《斯德哥尔摩公约》优先控制的持久性有机污染物(POPs)之一。环境中残留的持久性有机污染物最终汇集到海洋, 经过水生生物的富集最终通过食

物链到达人体, 危害人体健康(Dougherty *et al*, 2000; 赵云峰等, 2003)。由于这些物质的强持留性及“三致”毒性, 已引起了极大关注并成为环境和食品安全领域研究的焦点(方展强等, 2001; Yang *et al*, 2004; Liu *et al*, 2008)。

莱州湾及东营近岸海域, 面积约占渤海的 10%。十几年来, 经历了由鱼虾满仓到环境破坏资源衰退的重大变迁。在一系列海洋保护措施下, 目前该海域状况正日益改善, 但缺乏对该海域系统、全面的调查研究。本文对该海域四大类、235 个水生动物样品中六六六、滴滴涕及多氯联苯含量进行测定, 全方位、多层次调查、分析其在该海域生物体残留水平, 并对

\* 国家海洋公益性行业科研专项资助, 201105013 号; 水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位资助; 山东省科学技术发展计划项目资助, 2012GHY11517 号; 烟台市科技发展计划项目资助, 2012134 号。刘慧慧, 硕士, 助理研究员, E-mail: liuhh615@163.com

通讯作者: 宫向红, 研究员, E-mail: ggxxhh123@163.com

收稿日期: 2012-12-27, 收修稿日期: 2013-03-19

污染现状、食用安全和人体健康风险进行初步评价,为该海域海洋环境保护和水产品质量安全管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集和预处理

2011年5月,在莱州湾及东营近岸海域以均匀布设原则,设置了36个站位(图1)。采用单船底拖网方式取得生物样品21种,共计235个,其中甲壳类5种(包括虾、蟹)50个,贝类3种12个,鱼类10种136个,软体动物3种37个。

鱼、虾类样品单采样点采样量1—2kg,贝、蟹类样品单采样点2—5kg,采集后贮存于冷藏箱,上岸后立即将各生物品种分类,取样品可食部分,匀浆后-18℃冷藏保存。

### 1.2 分析方法

以气相色谱法测定样品中有机氯和多氯联苯残留量。取20g(准确至0.02g,湿重)试样,加入30mL丙酮,超声提取20min,静置30min,上清液经滤纸过滤到250mL分液漏斗中,残渣加入20mL丙酮重复提取一次,提取液合并至分液漏斗中,加入20g/L硫酸钠溶液100mL、正己烷30mL,振摇1min,静置分层,弃去水相,收集正己烷层。减压旋转蒸发至干,环己烷乙酸乙酯溶液(1:1)10mL复溶后,用凝胶色谱净化,收集适当时间段流出液,减压旋转蒸发至干,用正

己烷4mL复溶后再用浓硫酸净化,正己烷层经去酸处理后氮气吹干,正己烷定容至1mL,气相色谱分析。

气相色谱条件:美国Agilent公司6890N气相色谱仪、HP-5毛细管柱(30m×0.25mm,0.25μm)、微池电子捕获检测器。

## 2 结果与讨论

### 2.1 生物体中有机氯农药和多氯联苯污染状况分析

莱州湾及东营近岸海域235个生物体样品中HCHs、DDTs、PCBs检出率分别为81.4%、92.6%和69.4%。含量和均值按照生物种类统计见表1,贝类、甲壳类(包括虾、蟹)、头足类、鱼类HCHs残留范围分别为N.D.—1.93μg/kg、N.D.—5.71μg/kg、N.D.—4.46μg/kg、N.D.—4.67μg/kg(湿重);DDTs残留范围分别为0.720—24.0μg/kg、0.435—304.4μg/kg、N.D.—12.2μg/kg、0.405—59.6μg/kg(湿重);PCBs残留范围分别为N.D.—0.876μg/kg、N.D.—4.67μg/kg、N.D.—6.51μg/kg、N.D.—5.46μg/kg(湿重)。依据《海洋生物质量》(国家质量监督检验检疫总局,2001)进行评价,HCHs和PCBs均低于《海洋生物质量》第一类标准;65.3%的DDTs含量低于第一类标准,34.3%介于第一类与第二类标准之间,仅1个样品(占0.4%,三疣梭子蟹)DDTs含量超过第三类标准。

莱州湾及东营近岸海域生物体污染以DDTs为主,其残留水平比HCHs和PCBs高1—2个数量级,这反映了环境中污染物的浓度差异,

同时DDTs疏水性强,更易在生物体内富集(金相灿,1989),而且HCHs比DDTs更易降解(叶玫等,2010),从而造成此种现象。本研究发现蟹类(三疣梭子蟹、日本蛸)DDTs含量(28.7μg/kg)明显高于其它品种,可能因为蟹类的活动范围比较小,更能体现所处环境中DDTs的浓度。因此,应以蟹类为标志生物,加强对莱州湾及东营近岸海域DDTs污染的监控。

### 2.2 生物体中有机氯农药和多氯联苯残留的区域分布特征及污染源分析

选取三疣梭子蟹、日本蛸、鲷、长蛸、斑尾刺虾虎鱼等13

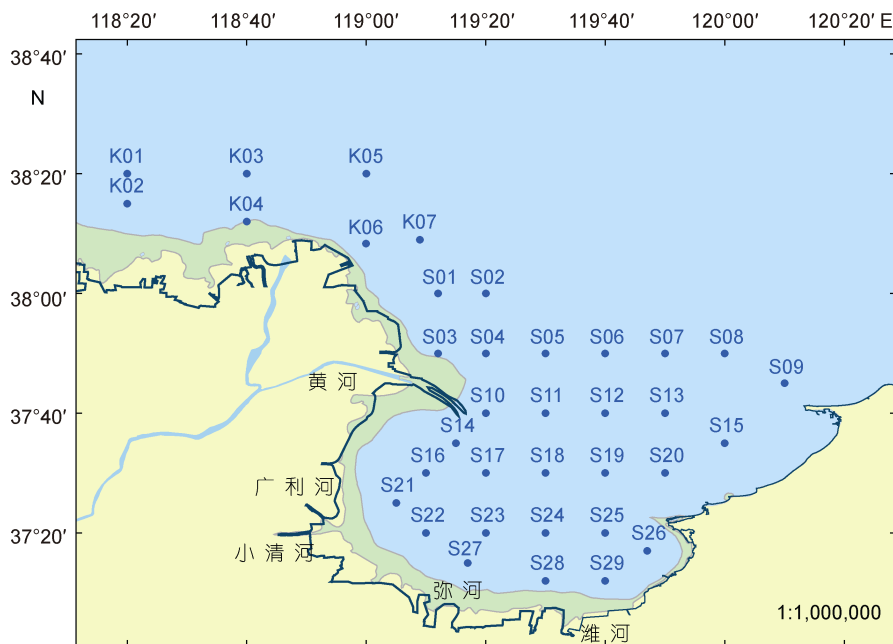


图1 取样站位  
Fig.1 Sampling sites

表 1 莱州湾及东营近岸海域生物体中有机氯农药和多氯联苯残留量  
Tab.1 OCPs and PCBs residues in different species from Laizhou Bay and offshore sea areas of Dongying City

| 种类     | 样品名     | 样品数 | HCHs ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) |       | PCBs ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) |       | DDTs ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) |       |
|--------|---------|-----|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
|        |         |     | 范围                               | 均值    | 范围                               | 均值    | 范围                               | 均值    |
| 贝类     | 魁蚶(双壳)  | 2   | 0.536—0.728                      | 0.632 | 0.238—0.876                      | 0.557 | 2.38—3.03                        | 2.70  |
|        | 扁玉螺(单壳) | 3   | 0.311—0.406                      | 0.354 | 0.191—0.798                      | 0.449 | 2.63—14.6                        | 8.78  |
|        | 脉红螺(单壳) | 7   | N.D.—1.93                        | 0.547 | N.D.—0.740                       | 0.409 | 0.720—19.9                       | 12.7  |
|        | 合计      | 12  | N.D.—1.93                        | 0.513 | N.D.—0.876                       | 0.443 | 0.720—24.0                       | 9.99  |
| 甲壳类(蟹) | 三疣梭子蟹   | 15  | N.D.—5.71                        | 1.07  | N.D.—3.71                        | 0.692 | 2.19—304                         | 39.0  |
|        | 日本鲟     | 20  | N.D.—2.10                        | 1.05  | 0.11—1.46                        | 0.794 | 6.10—43.0                        | 20.9  |
|        | 隆线强蟹    | 1   | 1.65                             | 1.65  | 4.67                             | 4.67  | 8.40                             | 8.40  |
|        | 合计      | 36  | N.D.—5.71                        | 1.08  | N.D.—4.67                        | 0.860 | 2.19—304                         | 28.1  |
| 甲壳类(虾) | 葛氏长臂虾   | 3   | 0.279—0.418                      | 0.334 | N.D.—1.00                        | 0.468 | 0.435—5.38                       | 2.31  |
|        | 口虾姑     | 11  | 0.351—4.59                       | 1.29  | 0.131—1.54                       | 0.617 | 1.44—12.7                        | 3.97  |
|        | 合计      | 14  | 0.279—4.59                       | 1.09  | N.D.—1.54                        | 0.585 | 0.435—12.7                       | 3.62  |
| 头足类    | 短蛸      | 12  | N.D.—0.414                       | 0.186 | N.D.—0.676                       | 0.225 | 0.122—1.19                       | 0.424 |
|        | 长蛸      | 2   | 3.13—4.46                        | 3.79  | 0.243—0.681                      | 0.462 | 1.61—1.84                        | 1.73  |
|        | 枪乌贼     | 23  | N.D.—2.72                        | 0.429 | N.D.—6.51                        | 0.742 | 1.27—12.2                        | 3.42  |
|        | 合计      | 37  | N.D.—4.46                        | 0.803 | N.D.—6.51                        | 0.560 | 0.122—12.2                       | 2.36  |
| 鱼类     | 斑鱚      | 16  | 0.067—4.04                       | 1.40  | N.D.—3.49                        | 0.617 | 1.86—23.8                        | 11.9  |
|        | 虾虎鱼     | 46  | N.D.—4.67                        | 0.674 | N.D.—4.37                        | 0.485 | 0.487—7.46                       | 2.27  |
|        | 赤鼻棱鲉    | 8   | 0.160—1.89                       | 0.667 | N.D.—4.59                        | 0.710 | 1.55—20.3                        | 8.92  |
|        | 青鳞小沙丁   | 21  | 0.316—3.99                       | 0.898 | 0.148—5.46                       | 0.648 | 5.12—59.6                        | 14.0  |
|        | 鲮       | 4   | 0.200—0.362                      | 0.247 | N.D.—0.446                       | 0.285 | 9.43—15.4                        | 12.6  |
|        | 小黄鱼     | 5   | 0.509—1.66                       | 0.852 | 0.117—0.848                      | 0.353 | 11.7—16.2                        | 14.0  |
|        | 鲮       | 16  | N.D.—2.18                        | 0.638 | 0.130—2.49                       | 0.679 | 1.14—24.3                        | 7.99  |
|        | 鲮       | 12  | 0.253—2.58                       | 0.802 | 0.307—1.80                       | 0.707 | 7.46—18.1                        | 12.0  |
|        | 黄鲫      | 5   | 0.298—0.641                      | 0.436 | 0.142—0.602                      | 0.350 | 6.93—12.04                       | 8.99  |
|        | 假睛东方鲀   | 3   | 0.126—1.65                       | 0.656 | 0.141—0.903                      | 0.407 | 0.405—1.08                       | 0.657 |
|        | 合计      | 136 | N.D.—4.67                        | 0.860 | N.D.—5.46                        | 0.620 | 0.405—59.6                       | 10.1  |

注: 表中斜体部分为 S20 站位数据

种活动范围较小、有环境代表性的生物品种进行污染区域分布分析,各站位 HCHs、DDTs、PCBs 含量柱状图见图 2、图 3、图 4。

东营近岸海域生物体中 HCHs、PCBs 含量[均值分别为:  $(1.56 \pm 1.51)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(0.726 \pm 0.930)\mu\text{g}/\text{kg}$ ]明显高于莱州湾海域[均值分别为:  $(0.641 \pm 0.815)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(0.573 \pm 0.640)\mu\text{g}/\text{kg}$ ]。DDTs 含量[均值 $(5.40 \pm 6.33)\mu\text{g}/\text{kg}$ ]低于莱州湾海域[均值 $(11.9 \pm 29.0)\mu\text{g}/\text{kg}$ ]。

东营近岸海域生物体中 HCHs 含量以 K02、K04、K06、K07 站位尤为突出,分别为 $(1.76 \pm 1.24)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $2.38\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(2.12 \pm 1.80)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(2.47 \pm 1.69)\mu\text{g}/\text{kg}$ ; PCBs 含量以 K04、K07 站位比较突出,分别为  $2.89\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(1.31 \pm 1.52)\mu\text{g}/\text{kg}$ , K02、K04、K06、K07 站位均为近岸,可以推测该区域 HCHs、PCBs 污染系陆源排放引起。该区域生物体 DDTs 含量以 K06、K07

站位较高,分别为 $(8.97 \pm 9.78)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(9.53 \pm 7.96)\mu\text{g}/\text{kg}$ ,可能与附近东营黄河海港有关。

莱州湾海域生物体中 DDTs 污染较高,均值为 $(11.9 \pm 29.0)\mu\text{g}/\text{kg}$ ,以 S04、S15、S20 站位突出,分别为  $34.7\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(18.6 \pm 22.8)\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $(49.7 \pm 103.8)\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其中邻近莱州港的 S20 站位中三疣梭子蟹样品 DDTs 含量高达  $304.4\mu\text{g}/\text{kg}$ ,同时该站位的扁玉螺、短蛸、脉红螺、日本鲟 DDTs 含量(表 1 斜体部分)分别在各自种类中位居第一,含量分别为 14.6、1.19、19.9、43.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,可见莱州港已成为莱州湾海域 DDTs 的重要污染源。

### 2.3 研究海域生物体中有机氯农药和多氯联苯同分异构体组成特征及原因分析

HCHs 进入环境的时间越长,  $\alpha(\gamma)$ -HCH/HCHs 的比值越低。渤海东营近岸和莱州湾海域生物体中 HCHs

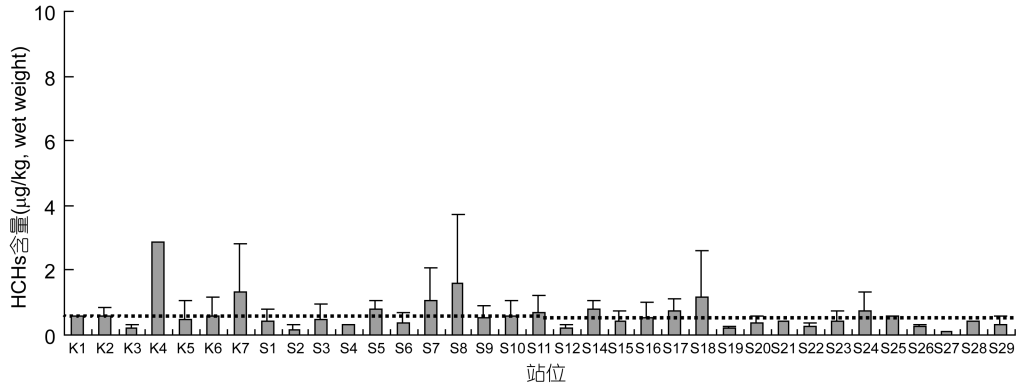


图 2 各站点生物体中 HCHs 含量(虚线为平均值)

Fig.2 HCHs concentrations in organisms from the different sites (the dotted lines means average)

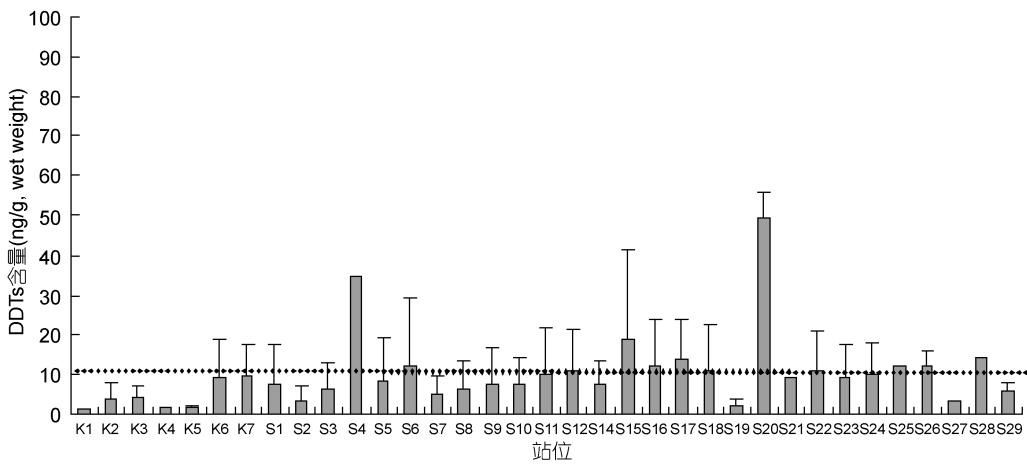


图 3 各站点生物体中 DDTs 含量(虚线为平均值)

Fig.3 DDTs concentrations in organisms from the different sites (the dotted lines means average)

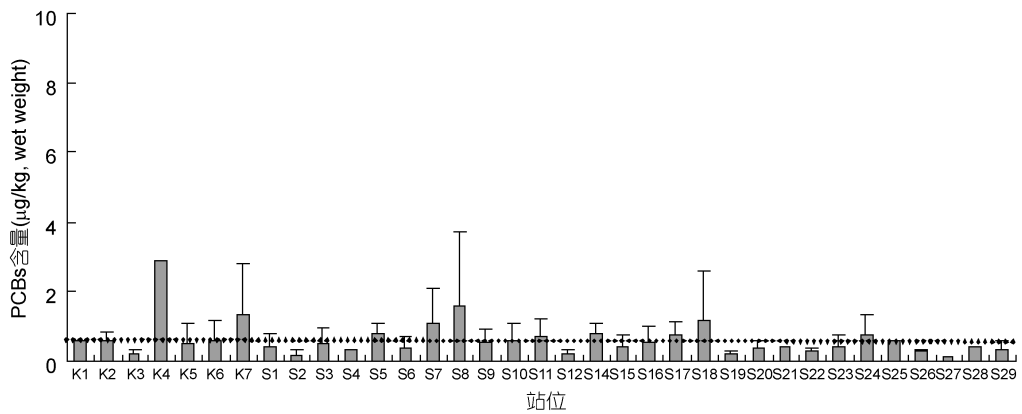


图 4 各站点生物体中 PCBs 含量(虚线为平均值)

Fig.4 PCBs concentrations in organisms from the different sites (the dotted lines means average)

均以 $\beta$ -HCH 为主, ( $\beta$ : $\alpha$ : $\gamma$ : $\delta$ )-HCH 依次为 69.6% : 14.9% : 10.6% : 4.88%和 49.9% : 30.4% : 3.8% : 5.89%, 说明两海域近期均无新的 HCHs 污染源输入, 高的  $\beta$ -HCH 百分比也证实了其易在生物体内富集, 抗生

物降解能力较强(赵中华等, 2008)。

介质中高的 PP'-DDT/DDTs 比值标志较多新的 DDTs 存在的可能(Aguilar, 1984)。本研究海域生物体中 DDTs 以 PP'-DDE 为主, 其中莱州湾海域 PP'-DDE :

PP'-DDT : PP'-DDD : OP'-DDT 为 49.6% : 24.6% : 23.7% : 2.10%。但 DDTs 含量最高的 S20 站位 PP'-DDT 占 52.0%，说明本站位附近可能有新的 DDTs 污染输入；S4 站位 DDTs 含量也较高，但其中 PP'-DDE 含量高达 82.9%，可判断无新的污染输入。东营近岸海域 PP'-DDE : PP'-DDT : PP'-DDD : OP'-DDT 为 37.3% : 33.0% : 30.6% : 2.09%，但 K04 站位生物体中 PP'-DDT 占总 DDTs 含量的 50.6%，说明本站位可能有新的 DDTs 污染输入。总体而言，研究海域无大面积新的 DDTs 污染输入。HCHs 和 DDTs 同分异构体百分比见图 5、图 6。

本研究海域 10 种多氯联苯检出率依次为 PCB101 69.4%、PCB138 57.0%、PCB153 47.9%、PCB155 28.5%、PCB112 15.7%、PCB118 13.2%、PCB198

4.13%、PCB52 2.89%、PCB180 2.07%、PCB28 0%，五氯联苯(PCB101、112、118)，六氯联苯(PCB138、153、155)检出率高于三氯联苯(PCB28)、四氯联苯(PCB52)、七氯联苯(PCB180)和八氯联苯(PCB198)。主要是因为工业中使用的多氯联苯主要为三氯至六氯联苯，三、四氯联苯主要用于电容器浸渍剂，一般为密封保存，流入环境的较少(施家威等, 2010)，导致环境中五氯、六氯联苯含量最高。相同原子数的 PCB 检出率的差异，与污染源中 PCBs 间的比例有关，另外，PCB 的分子结构也能影响其在生物体中的累积效果。

#### 2.4 研究海域与国内外其它海域有机氯农药和多氯联苯残留水平比较

本研究海域生物体受 HCHs 污染程度与闽东沿

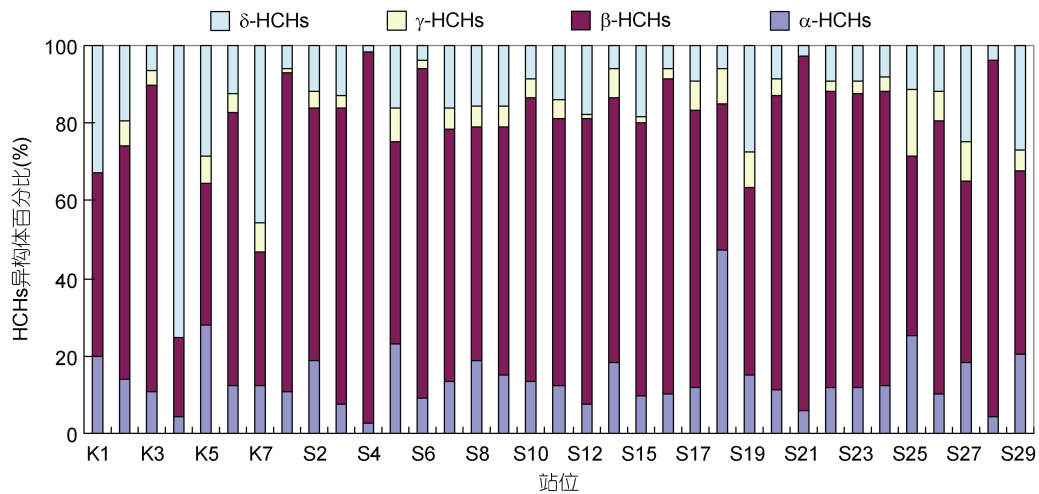


图 5 各站位 HCHs 同分异构体百分比  
Fig.5 Averaged fractions of HCHs at different sites

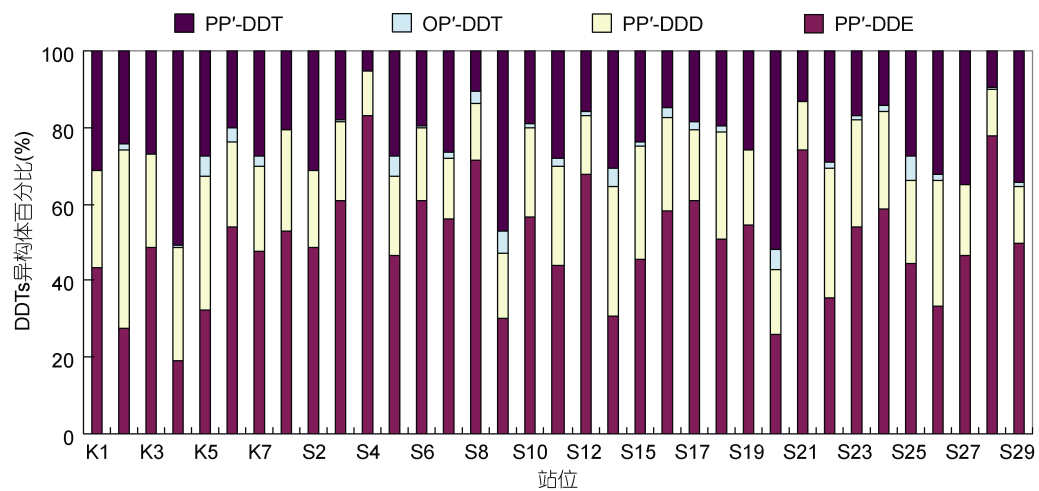


图 6 各站位 DDTs 平均组分比例  
Fig.6 Averaged fractions of DDTs at different sites

岸、南海基本持平, 高于大亚湾, 但低于辽东湾(刘文新等, 2011), 处于中间水平; 也远低于 2005—2008 年莱州湾底栖贝类(刘文新等, 2011)数据, 反映出近几年莱州湾海域水质已有很大改善, 见表 2。

本研究海域生物体受 DDTs 污染程度与南海同类生物体基本持平, 好于大亚湾、北黄海、福建连江县东南部海域同类生物品种。与闽东沿岸同类生物体比较, 只有虾类污染水平略高, 鱼、蟹、贝均好于闽东沿岸。因此, 本研究海域生物体受 DDTs 污染程度与同类研究相比处于中间水平, 见表 3。

本研究海域生物体 PCBs 污染较 2007 年(Liu *et al.*, 2007)有较大改善, 比南海北部沿岸稍高, 远远低于其它海域, 处于同类研究较低水平。PCBs 被用作工业电容器浸渍剂, 本研究海域沿岸电器相关工业少, 该海域生物体中微量的 PCBs 可能主要与其高残留性

及远距离迁移性有关(甘居利等, 2011), 但不排除个别站位存在点污染源, 如 K04、K07 站位, 见表 4。

## 2.5 食品安全风险评价

按现行的国内外限量标准进行符合性评价, 本研究海域 235 个生物体中 HCHs、DDTs、PCBs 残留量符合我国无公害水产品质量安全标准, 也低于其它国家和地区的最高残留限量值(葛志农等, 2004; 中华人民共和国商务部, 2007); 按单因子污染指数法(国家海洋局, 2002)对研究海域生物体进行污染现状评价(表 5), 所有生物体 HCHs、PCBs 及 45%生物体中 DDTs 污染指数小于 0.5, 表示未受到 HCHs、PCBs、DDTs 污染; 55%生物体受到 DDTs 不同程度的污染。食用致癌风险评价[CRI =  $C_i \times CW \times q_i$ ,  $C_i$  为样品中污染物残留量,  $CW$  为每人每千克体重日均水产品消费量, 本研究以  $0.1\text{kg}/(60\text{kg}\cdot\text{d})$  计,  $q_i$  为污染物致癌

表 2 不同海域间生物体 HCHs 含量比较  
Tab.2 HCHs concentrations in organisms from different sea areas

| 海域              | 鱼                | 虾                | 蟹                | 贝                |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 本研究海域           | N.D.—4.67(0.860) | 0.279—4.59(1.09) | N.D.—5.71(1.08)  | N.D.—1.93(0.513) |
| 闽东沿岸(叶玫等, 2010) | N.D.—4.02(0.800) | N.D.—0.83(0.084) | N.D.—1.21(0.359) | N.D.—1.53(0.298) |
| 南海(曾凡刚, 2010)   | 0.310—3.40       | —                | —                | —                |
| 大亚湾(丘耀文等, 2007) | 0.30 ± 0.18      | 0.07             | 0.160 ± 0.07     | —                |
| 辽东湾(刘文新等, 2011) | —                | —                | —                | N.D.—40(约)       |
| 莱州湾(刘文新等, 2011) | —                | —                | —                | N.D.—20(约)       |

表 3 不同海域间生物体中 DDTs 含量比较  
Tab.3 DDTs concentrations in organisms from different sea areas

| 海域              | 鱼                 | 虾                | 蟹              | 贝                |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------|------------------|
| 本研究海域           | 0.405—59.6(10.1)  | 0.435—12.7(3.62) | 2.19—304(28.1) | 0.720—24.0(9.99) |
| 闽东沿岸(叶玫等, 2010) | 0.891—310(104)    | ND—2.87(1.22)    | 8.04—126(45.4) | 0.184—66.9(14.8) |
| 大亚湾(丘耀文等, 2007) | 57.1 ± 52.9       | 10.2             | 56.6 ± 24.9    | —                |
| 北黄海(刘文新等, 2008) | —                 | —                | —              | N.D.—40(约)       |
| 福建(阮金山等, 2011)  | —                 | —                | —              | 77.0             |
| 南海(曾凡刚, 2010)   | 0.740—26.73(9.48) | —                | —              | —                |

表 4 不同海域间生物体中 PCBs 含量比较  
Tab.4 PCBs concentrations in organisms from different sea areas

| 海域                             | 鱼                | 虾                | 蟹                | 贝                 |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 本研究海域                          | N.D.—5.46(0.620) | N.D.—1.54(0.585) | N.D.—4.67(0.860) | N.D.—0.876(0.443) |
| 南海北部沿岸(甘居利等, 2011)             | —                | —                | —                | N.D.—0.727(0.13)  |
| 宁波地区(施家威等, 2010)               | N.D.—224.5       | N.D.—10.2        | N.D.—28.6        | N.D.—30.5         |
| 渤海沿岸(Liu <i>et al.</i> , 2007) | —                | —                | —                | 15                |
| 南黄海(刘文新等, 2008)                | —                | —                | —                | N.D.—7(约)         |
| 福建(阮金山等, 2011)                 | —                | —                | —                | 23.0              |
| 黄海北部(刘文新等, 2011)               | —                | —                | —                | N.D.—80(约)        |

斜率因子], 见表 6, CRI  $10^{-4}$  为可接受的潜在致癌风险(Karen *et al*, 2003; 杜世勇等, 2013)。研究海域水产品中 $\alpha$ -HCHs、 $\beta$ -HCHs、 $\gamma$ -HCHs、DDTs、PCBs 的致癌风险指数介于  $0-1.73 \times 10^{-4}$ , 仅 S20 站位的一个三疣梭子蟹样品高于可接受的潜在致癌风险, 其余样品为可接受风险。

水产品是人类接触 DDTs 的主要来源之一, 2000

年中国膳食农药残留研究表明, 中国居民从水产类摄入 DDTs 的比例最高。虽然我国从 1983 年禁止使用 DDTs 以来, 水产品中 DDTs 含量逐年下降, 但从本次调查发现, 某些海域有反弹迹象, 有新污染源输入的迹象, 建议海洋行政主管部门加强对重点海域 DDTs 的监测, 同时查找污染源, 减少 DDTs 的污染, 保护人们的身体健康。

表 5 莱州湾及东营近岸海域生物体中 HCHs、DDTs 和 PCBs 的污染指数

Tab.5 HCHs, DDTs and PCBs' pollution indexes of organisms from Laizhou Bay and offshore sea areas of Dongying City

| 项目   | 第一类标准值<br>( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) | Pi<0.5      |      | 0.5 Pi 1.0  |       | Pi>1.0    |       |
|------|---------------------------------------|-------------|------|-------------|-------|-----------|-------|
|      |                                       | Pi          | %    | Pi          | %     | Pi        | %     |
| HCHs | 20                                    | 0—0.23      | 100% | —           | —     | —         | —     |
| DDTs | 10                                    | 0.012—0.472 | 45%  | 0.512—0.987 | 20.4% | 1.02—30.4 | 34.6% |
| PCBs | 100                                   | 0—0.065     | 100% | —           | —     | —         | —     |

表 6 莱州湾及东营近岸海域生物体中 HCHs 和 DDTs 的致癌风险指数

Tab.6 HCHs and DDTs' carcinogenic risk index of organisms from Laizhou Bay and offshore sea areas of Dongying City

| 化合物                     | $\alpha$ -HCHs  | $\beta$ -HCHs   | $\gamma$ -HCHs   | DDTs                               | PCBs            |
|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|
|                         | 范围( $\bar{x}$ ) | 范围( $\bar{x}$ ) | 范围( $\bar{x}$ )  | 范围( $\bar{x}$ )                    | 范围( $\bar{x}$ ) |
| qI[(kg·d)/mg]           | 6.3             | 1.8             | 1.3              | 0.34                               | 2.0             |
| CRI( $\times 10^{-4}$ ) | 0—0.15(0.013)   | 0—0.099(0.016)  | 0—0.012(0.00093) | $6.92 \times 10^{-4}$ —1.73(0.058) | 0—0.22(0.02)    |

### 3 小结

(1) 目前所调查区域生物体 HCHs、PCBs 污染情况较以前已有较大改善, 生物体 HCHs、PCBs 污染现状评价结果及食用致癌风险评价结果均处于安全范围; DDTs 污染存在一定的致癌风险。

(2) 根据污染状况结合 HCHs、DDTs 各同分异构体组成特征分析, 近期无大面积新的 HCHs、DDTs 污染输入, 但是小部分海域有新的 DDTs 污染排入(港口附近海域), 建议加强对港口邻近海域的 DDTs 监控。

(3) 蟹类对 DDTs 的富集能力较强, 且活动范围比较小, 能较好的反映所在海域的污染状况, 建议以蟹类作为监测 DDTs 污染的生物标志物。

### 参 考 文 献

中华人民共和国商务部, 2007. 水海产品出口商品技术指南. 北京: 中华人民共和国商务部, 25—27

方展强, 张润兴, 黄铭洪, 2001. 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. 环境科学学报, 21(1): 113—116

叶 玫, 阮金山, 钟硕良等, 2010. 闽东沿岸生态监控区经济水产品中六六六、滴滴涕残留与风险评价. 水产学报,

34(8): 1260—1269

丘耀文, 张 干, 郭玲利等, 2007. 大亚湾海域典型有机氯农药生物积累特征及变化因素研究. 海洋学报, 29(2): 51—58

刘文新, 邱伟珣, 陈江麟, 2011. 近年渤海与黄海北部沿岸底栖贝类体内微污染物的分布特征. 环境科学, 32(2): 445—451

刘文新, 陈江麟, 范永胜, 2008. 黄海近岸底栖贝类体内典型有机污染物分布. 环境科学, 29(5): 1336—1341

阮金山, 钟硕良, 林后祥等, 2011. 福建连江县东南部海域养殖贝类质量安全评估. 福建水产, 33(2): 10—17

杜世勇, 崔兆杰, 韩道汶等, 2013. 多环境介质中持久性有机污染物的特征及环境行为. 北京: 科学出版社, 299

国家质量监督检验检疫总局, 2001. 中华人民共和国国家标准. 海洋生物质量. GB18421-2001. 北京: 中国标准出版社, 1—3

国家海洋局, 2002. 海洋生物质量监测技术规程. 北京: 国家海洋局, 5—8

金相灿, 1989. 有机化合物污染化学——有毒有机物污染化学. 北京: 清华大学出版社, 53—58

赵云峰, 吴永宁, 王绪卿等, 2003. 中国居民膳食中农药残留的研究. 中华流行病学杂志, 24(3): 661—664

赵中华, 张 露, 于 鑫等, 2008. 太湖表层沉积物中有机氯农药残留与遗传毒性初步研究. 湖泊科学, 20(5): 579—584

- 施家威, 李和生, 王玉飞, 2010. 2007—2008 年宁波地区海产品中多氯联苯污染状况分析. 中国预防医学杂志, 11(1): 62—65
- 黄 宏, 尹 方, 吴 莹等, 2011. 长江口表层沉积物中多氯联苯残留和风险评估. 同济大学学报(自然科学版), 39(10): 1500—1505
- 葛志农, 李元平, 黄冠胜等, 2004. 主要贸易国家和地区食品中农药残留限量标准. 北京: 中国标准出版社, 1—1824
- 曾凡刚, 2010. 我国南海海鱼中有机氯农药残留分析. 岩矿测试, 29(3): 241—244
- Aguilar A, 1984. Relationship of DDE/DDT in marine Mammals to the Chronology of DDT input into the ecosystem. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 41(6): 840—844
- Dougherty C, Holtz S, Reinert J *et al*, 2000. Dietary exposures to food contaminants across the United States. Environmental Research, 84: 170—185
- Karen H, Frank W, Aruthavarani T *et al*, 2003. Fish tissue quality in the lower Mississippi River and healthy risks from fish consumption. The Science of the Total Environment, 302: 109—126
- Liu W X, Chen J L, Fan Y S *et al*, 2007. Residual concentrations of micropollutants in benthic mussels in the coastal areas of Bohai Sea, North China. Environmental Pollution, 146(2): 470—477
- Liu W X, Chen J L, Hu J *et al*, 2008. Distribution of persistent toxic substances in benthic bivalves from the inshore areas of the Yellow Sea. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(1): 57—66
- Yang R Q, Yao Z W, Jiang G B *et al*, 2004. HCH and DDT residues in molluscs from Chinese Bohai coastal sites. Marine Pollution Bulletin, 48: 795—805

## RISK ASSESSMENT OF OCPs AND PCBs IN ORGANISMS IN LAIZHOU BAY OFFSHORE AREAS, BOHAI SEA

LIU Hui-Hui<sup>1,2</sup>, XU Ying-Jiang<sup>1,2</sup>, DENG Xu-Xiu<sup>3</sup>, ZHANG Hua-Wei<sup>3</sup>,  
SUN Yan<sup>1,2</sup>, TIAN Xiu-Hui<sup>1,2</sup>, GONG Xiang-Hong<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai, 264006; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai, 264006; 3. Yantai Shanshui Seafood Co. Ltd., Yantai, 264006)

**Abstract** In May 2011, some 235 organisms (including fish, mollusk, crustacean, and octopus) were collected from the Laizhou Bay off Dongying City, Bohai Sea, North China. Residues of hexachlorocyclohexane (HCHs), dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDTs), and polychlorinated biphenyls (PCBs) were detected in gas chromatography. The residue levels, distribution characteristics and composition of HCHs, DDTs, and PCBs were scored; and the risk to human health were assessed. The results show that, concentrations of HCHs, DDTs, and PCBs in the organisms ranged from ND (not detectable)—5.73, 0.122—304, and ND—6.51 μg/kg in wet weight, respectively. Deduced by the component rations of isomers, there was no new HCHs pollution in the study area, but new DDTs in two sites. Compared with the other studies, the PCBs levels in the organisms in the areas were the lowest, while the HCHs and DDTs were in the middle levels. The pollution indexes of HCHs and PCBs were below 0.5, indicating that the organisms in this area had not been polluted by HCHs and PCBs. Fifty-five percent of the pollution indexes of DDTs ranged from 0.512—30.4, which means that 55% of the organisms from the studied area had been more or less polluted by DDTs. The residue levels of HCHs, DDTs, PCBs were below the maximum residual limits that adopted internationally. Assessed with the method suggested by EPA, in the case of the study areas, the carcinogenic potential arising from the exposure to HCHs and DDTs by intake of these organisms was within the acceptable range.

**Key words** Laizhou Bay and offshore sea areas of Dongying City; organisms; OCPs; PCBs; risk assessment; contamination status