

大连湾养殖海域有机氯农药污染研究

赵元凤¹, 吕景才¹, 徐恒振², 周传光², 李洪²,
张启华¹, 齐红莉¹, 郭郁¹, 腾跃¹, 钱小明¹

(1. 大连水产学院; 2. 国家海洋环境监测中心)

摘要: 采用毛细管 GC/ECD 法测定了大连湾海域表层沉积物及表层、微表层海水中 16 种有机氯农药 (OCP₁₆) 的含量。结果表明, 毛细管 GC/ECD 测定 OCPs 回收率高, 响应因子变异系数小, 检出限低, 适合于海洋环境样品中 OCPs 测定。在大连湾海域沉积物和水体中对 OCPs 均有检出, 但污染水平相对较低。表层海水中 OCPs 平均含量为 4.52 ng/L, 表层沉积物中 OCPs 平均含量为 6.17 ng/g。大连湾各站位微表层海水 OCPs 含量显著高于表层水, 显示微表层海水对 OCPs 有较强的富集作用, 平均富集系数在 5.1~15.4 之间。

关键词: 有机氯农药污染; 养殖海域; 大连湾; 富集系数

中图分类号: X592

文献标识码: A

文章编号: 1002-26819(2002)04-0108-05

目前, 通过各种途径进入海洋的污染物, 大部分集中在近岸海区域, 而这些海区通常又是海珍品或海产生物养殖集中区域, 所以, 近海污染给海产生物养殖业带来严重危害。近年来, 大连湾多次发生海参、扇贝、海带大批死亡事件及赤潮, 引起环境工作者的极大关注^[1,2]。但较少有该海域有机氯农药 (Organochlorine pesticides) OCPs 污染状况报道。OCPs 是海洋环境中一类难降解、毒性大的有机化合物。进入表层水体的 OCPs, 除少数被吸附沉淀外, 大部分在这一水层内被浮游生物吸收富集, 富集系数最高达 10⁴。从而引起生物慢性中毒, 再通过食物链的传递危害人类健康^[3]。国内有关 OCPs 的测定种类和方法, 多针对 4 个 666 单体或 4 个 DDT 单体求和表征总量^[4,5]。总量表征尽管能在一定程度上反映海洋环境的污染程度, 但难以表明某一种单体毒性大小^[6]。为此, 本文研究了海洋环境样品中 16 种有机氯农药的分离分析方法, 采用 Florisil 层析柱淋洗法对 OCP₁₆ 和 PCB₁₀ 混标进行了分类分离, 用毛细管 GC/MS 法和 GC/ECD 法对 16 种 OCPs 单体进行定性和定量分析, 得出了该方法的回收率和检出限。并用此法测定了大连湾海域表层海水及表层沉积物中 OCPs 含量, 以及大连湾微表层海水中 OCPs 含量。为建立适合我国海洋环境样品中 OCPs 单体的测定方法及大连湾海域渔业环境综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

HP2598A 质谱仪, HP25890° 气相色谱仪, A POOLO 400T 计算机数据系统; GC214B (岛津) 气相色谱仪, 配 Ni63ECD 检测器, CBM 2101 通信接口 CLASS2GC210 工作站; 旋转蒸发器; 超声波萃取仪; 玻璃层析柱 400mm × 10mm; 正己烷、丙酮和二氯甲烷均为分析纯 (用前重蒸); Na₂SO₄ (A. R., 400 烘 4 h); 中性氧化铝 (层析纯, 100~200 目, 400 烘 4 h, 加 4% 水去活化); Florisil (层析纯, 60~100 目, 140 烘 4 h); 高纯 Cu 粉。OCP₁₆ 和 PCB₁₀ 为标准物质, 其纯度均大于 99%, 购于美国 CHEM SERVICE 公司。

1.2 仪器条件

GC/MS 操作条件: 30m × 0.25mm (i.d.), 膜厚 0.25 μm, SEK-54 石英毛细管柱; 柱温 80~285, 初温保持 3 min, 升温速率 5 °C/min, 终温保持 20 min; 载气 He 1 mL/min; 进样温度 285; GC/MS 界面温度 275; 电子源轰击 (EI) 温度 250; MS 四极杆温度 100; 电离电压 70 eV; 光电倍增管电压 2200 V。

GC/ECD 操作条件: 30m × 0.25mm (i.d.), 膜厚 0.25 μm, EC25 石英毛细管柱; 柱温 150~270 (保持 20 min); 升温速率 4 °C/min; 载气 (高纯 N₂); 柱流速 1 mL/min; 补偿气 50 mL/min; 分流比 1:2; 注射口温度 290; 鉴定器温度 290; 脉冲电流 1.0 nA。

1.3 样品的采集

样品的采集时间为 1999 年 7 月, 样品采集地点

收稿日期: 2001207216 修订日期: 2002205210

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目 (962922201202); 国家自然科学基金资助项目 (29777004)

作者简介: 赵元凤 (1955-), 副教授, 大连市黑石礁 大连水产学院养殖系, 116023

见图1(其中1号站位西南临近大连港、大连染料厂及市政排污口、西面临近大连化工厂;6号站位临近氯酸钾厂、造纸厂及大连湾煤码头航道)。微表层海水选用平板玻璃采样器,其它样品采集方法参见《海洋监测规范》。

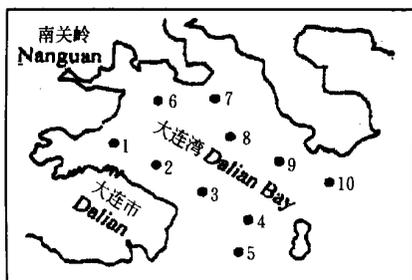


图1 采样位置图

Fig 1 Sampling sites in the Dalian Bay

1.4 样品前处理

1.4.1 海洋沉积物样品的前处理

称取20.0 g样品与20.0 g Na_2SO_4 混匀,置于100 mL具塞比色管内,加入60 mL正己烷/丙酮(1:1)浸泡24 h。超声萃取20 min,静置,将上清液转移至旋转蒸发瓶内,重复超声萃取3次。合并上清液,浓缩至1 mL,全量移入装有10.0 g氧化铝的玻璃层析柱(上层装有1.0 g Na_2SO_4)上。用60 mL正己烷/二氯甲烷(1:1)以1.0 mL/min速度淋洗层析柱,淋洗液收集于蒸发瓶内,于旋转蒸发器上浓缩近干,用正己烷溶解定容1.0 mL,加1.0 g高纯铜粉,超声萃取5 min除硫。再转移至5.0 g Florisil柱上,用150 mL正己烷淋洗,此淋洗液主要为PCBs,再依次用180 mL 20%正己烷/二氯甲烷和50 mL二氯甲烷淋洗,可将OCPs全部洗下,淋洗液浓缩近干,用正己烷溶解定容1.00 mL,用GC/ECD测定OCPs含量。

1.4.2 表层、微表层海水样品的前处理

取1000 mL海水样品于分液漏斗中,加10 mL正己烷萃取,上层提取液装入100 mL比色管中,加入60 mL正己烷/二氯甲烷(1:1)浸泡24 h。超声萃取20 min,静置,将上清液转移至旋转蒸发瓶内,重复超声萃取3次。合并上清液,浓缩至1 mL,全量移入装有10.0 g氧化铝的玻璃层析柱(上层装有1.0 g Na_2SO_4)上。用60 mL正己烷/二氯甲烷(1:1)以1.0 mL/min速度淋洗层析柱,淋洗液收集于蒸发瓶内,于旋转蒸发器上浓缩近干,用正己烷溶解定容1.0 mL。再转移至5.0 g Florisil柱上,用150 mL正己烷淋洗,此淋洗液主要为PCBs,再依次用180 mL 20%正己烷/二氯甲烷和50 mL二氯甲烷淋洗,可将OCPs全部洗下,淋洗液浓缩近干,用

正己烷溶解定容1.00 mL,用GC/ECD测定OCPs含量。

2 结果与讨论

2.1 OCPs 定性定量

OCP₁₆各组分是通过GC/MS特征离子选择法和GC/ECD标准添加法定性的,图2为标准物质OCP₁₆的毛细管柱GC/ECD色谱图。由图2可见,OCP₁₆各组分在毛细管柱GC/ECD法中得到较好的分离,在同一根毛细管柱上GC/ECD法6次重复测定中,其保留值重复性好,定性可靠,响应值变异系数在10%以下,符合定量分析的要求。

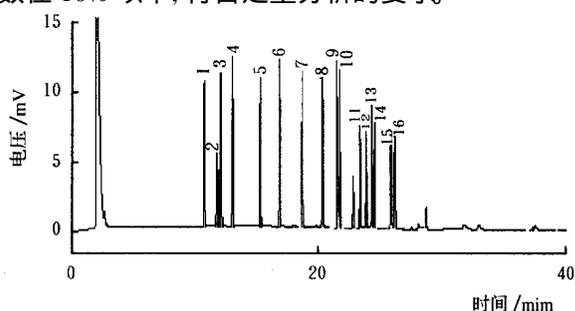


图2 OCP₁₆的GC/ECD色谱图

Fig 2 Chromatogram of OCP₁₆ with GC/ECD

2.2 方法回收率与检出限

OCP₁₆在10 g氧化铝玻璃层析柱上,用60 mL 50%二氯甲烷/正己烷的淋洗回收率在83.9%~113.0%之间。说明,氧化铝柱净化海洋沉积物样品可行。OCPs、PCBs和酞酸酯在海洋环境样品提取液中属共萃物,在毛细管柱GC/ECD测定时,OCPs中某些组分与PCBs中某些组分的色谱峰相重叠,因此,净化后的环境样品提取液,在进行GC/ECD测定之前,应将PCBs和PCBs两族组分进行预分离,再分类分析。本文在Florisil柱上依次用150 mL正己烷,180 mL 20%二氯甲烷,50 mL二氯甲烷淋洗可知,分离OCP₁₆和PCBs所需正己烷的最小体积为150 mL。此时PCBs回收率在88.7%~108.9%之间,此正己烷的体积数称为OCP₁₆和PCBs相互分离的切割点。再依次用20%二氯甲烷/正己烷180 mL和二氯甲烷50 mL淋洗,可洗下剩余的OCPs,回收率在54.0%~108.7%之间。本方法对有机氯农药检出限:海水0.03~0.11 ng/L;沉积物样品0.02~0.05 ng/g。适合海洋环境样品中OCPs单体测定。

2.3 表层海水中有有机氯农药(OCPs)含量分布

对大连湾表层海水中有有机氯农药16种组分进行了分析,结果见表1。大连湾海区表层海水中OCPs总量1.77~5.69 ng/L,平均含量4.52 ng/L,

其中 HCHs 含量 0.96~4.90 ng/L, 均值 3.34 ng/L。DDTs 含量 0.35~2.02 ng/L, 均值 1.01 ng/L。大连湾海区各站位 OCPs 总量相差不大。据报道, 珠江口表层海水 HCHs 含量在 0.057~0.156 Lg/L 之间, 均值为 0.087 Lg/L。DDTs: 0~0.236 Lg/L, 均值 0.080 Lg/L^[4]。与珠江口海域相比较, 大连湾海区有机氯农药污染水平是比较低的。根据国家海水水质标准 BG309721997^[7], 一类海水水质标

准要求有机氯农药污染水平 HCHs < 1 000 ng/L、DDTs < 50 ng/L。大连湾海区表层水中 HCHs 和 DDTs 含量均低于标准值。因此, 该海域在有机氯农药污染方面属一类水质。

2.4 表层沉积物中有机氯农药的分布特征

大连湾表层沉积物中有机氯农药分析结果见表 2。

表 1 大连湾表层海水 OCPs 含量

Table 1 Concentration of OCPs in surface seawater in Dalian Bay ng · L⁻¹

样品	A六六六	B六六六	C二六六六	D六六六	PP2滴滴E	PP2滴滴滴	PP2滴滴涕	六氯苯	七氯	艾氏剂	六六六总量	滴滴涕总量	总量
2	0.04	0.65	0.24	0.03	0.06	0.11	0.48	ND	0.16	ND	0.96	0.65	1.77
4	0.13	1.72	1.81	0.20	0.81	0.15	0.22	ND	0.19	ND	3.86	1.18	5.23
6	0.19	1.24	1.79	0.21	0.15	0.23	0.29	ND	0.23	ND	3.43	0.67	4.33
8	0.26	1.81	2.66	0.17	0.06	0.22	0.25	ND	0.26	ND	4.90	0.53	5.69
10	0.16	1.41	1.83	0.14	0.21	1.01	0.80	ND	0.04	ND	3.54	2.02	5.60
平均值	0.16	1.37	1.67	0.15	0.26	0.34	0.41	ND	0.18	ND	3.34	1.01	4.52

注: ND: 未检出。

表 2 大连湾表层沉积物 OCPs 含量

Table 2 Concentration of OCPs in sediments from surface seawater in Dalian Bay ng · g⁻¹

样品	A六六六	B六六六	C二六六六	D六六六	PP2滴滴E	PP2滴滴滴	PP2滴滴涕	七氯	艾氏剂	狄氏剂	六氯苯	硫丹	六六六总量	滴滴涕总量	总量
1	0.79	4.52	1.05	0.15	1.11	1.94	1.04	1.52	0.86	0.46	ND	0.13	6.51	4.09	13.57
2	0.18	1.89	1.11	0.03	0.48	0.73	0.26	0.37	0.13	0.04	ND	ND	3.21	1.47	5.22
3	0.04	1.11	0.07	ND	0.29	0.61	1.01	ND	ND	0.14	0.11	ND	1.22	1.91	3.38
4	0.10	1.59	0.09	0.07	0.48	0.42	0.15	0.17	ND	ND	ND	ND	1.85	1.05	3.07
5	0.10	1.52	0.13	0.04	0.29	0.32	0.12	ND	ND	0.08	ND	0.04	1.79	0.73	2.64
6	0.82	5.78	1.28	0.08	1.25	2.24	3.23	1.12	ND	ND	ND	0.12	7.96	6.72	15.92
7	0.12	2.03	0.21	0.04	0.42	0.55	0.82	0.34	0.11	ND	ND	ND	2.40	1.79	4.53
8	0.21	2.56	0.17	0.07	0.79	0.63	0.25	0.36	0.29	0.23	0.37	ND	3.01	1.67	5.93
9	0.03	1.08	ND	ND	0.19	0.87	0.37	ND	ND	ND	ND	ND	1.11	1.43	2.54
10	0.09	2.14	0.22	0.09	0.50	0.91	0.79	0.20	ND	ND	ND	ND	2.54	2.20	4.94
平均值	0.25	2.42	0.48	0.07	0.58	0.92	0.81	0.58	0.34	0.19	0.24	0.10	3.16	2.31	6.17

注: ND: 未检出。

表 3 几个海域表层沉积物中有机氯农药的含量^[4,7-9]

Table 3 Concentration of OCPs of sediment from surface seawater in several sea bays ng · g⁻¹

海区	BCHs 含量范围	平均值	DDTs 含量范围	平均值	取样时间
珠江口	4.98~20.27	11.15	17.79~51.71	33.46	1994
渤海湾	55.3~328.3	152.2	1.28~6.17	2.19	1980
北太平洋	0.6~1.83	1.2	0.1~0.3	0.15	1983
厦门港	ND~0.14	0.056	ND~0.06	0.06	1998
大连湾	1.11~7.96	3.16	0.73~6.72	2.31	1999

大连湾海区表层沉积物中 OCPs 总量 OCPs 总含量 2.54~15.92 ng/g, 均值 6.17 ng/g, 其中 HCHs 含量 1.11~7.96 ng/g, 均值 3.16 ng/g。DDTs 含量 0.73~6.72 ng/g, 均值 2.31 ng/g。与其它海域相比^[4,7-9] (见表 3), 明显低于珠江口 (HCHs: 4.98~20.27 ng/g, 均值 11.15 ng/g;

DDTs: 17.79~51.71 ng/g, 均值 33.46 ng/g)^[4], 其中 HCHs 含量也明显低渤海湾^[7] (HCHs: 55.3~328.3 ng/g, 均值 152.2 ng/g;), DDTs 含量与渤海湾 (DDTs: 1.28~6.17 ng/g, 均值 2.19 ng/g) 相当。HCHs 含量、DDTs 含量均高于北太平洋 (HCHs: 0.6~1.83 ng/g, 均值 1.2 ng/g; DDTs: 0.1~0.3

ngög, 均值 0.15 ngög)^[8]、厦门港 (HCHs: ND ~ 0.14 ngög, 均值 0.056 ngög; DDTs: ND ~ 0.06 ngög, 均值 0.025 ngög)^[9], 比较可见, 大连湾海区表层沉积物中有机氯农药含量处于相对较低水平, 其含量未超过海岸带沉积物评价标准。

大连湾海区表层沉积物中所检出的 OCPs 以 HCHs 为主, 这与表层海水检测结果相一致。海区表层沉积物中 HCHs 含量次序均为 B> C> A> D 表明该海区沉积物中六六六均以毒性较强的 B-HCH 和 C-HCH 为主。海区表层沉积物中 DDTs 含量次序均为 DDD> DDT> DDE。这是由于残留在沉积物中的 DDT 在厌氧条件下主要降解为 DDD 所致。大连湾海区沉积物中 OCPs 分布特征为: 临近氯酸钾厂、造纸厂及大连湾煤码头主航道的 6 号站位最高, 含量 15.92 ngög; 临近大连港、大连染料厂及市政排污口、大连化工厂的 1 号站位其次, 含量 13.57 ngög; 位于湾口的 5 号站位最低, 含量 2.64 ngög, 表明大连湾海区沉积物中有机氯农药污染主要由陆源排放所致, 污染除来自沿岸工业废水排放外, 污染源还有

农业用药和城乡居民的生活废水。入海后直接受近岸潮流的控制, 在近岸海域迁移沉淀, 形成由近岸向远岸、湾里向湾口递减分布。

2.5 微表层海水的富集效应

由表 4 可见, 大连湾海区各站点微表层海水中 OCPs 各种单体含量都显著高于表层水。微表层海水 OCPs 总量为 9.47~109.07 ngdL, 平均含量 37.19 ngdL, 其中 HCHs (六六六) 含量 7.87~92.61 ngdL, 均值 30.38 ngdL; DDTs 含量 0.80~7.77 ngdL, 均值 4.16 ngdL 也明显高于表层水。显示出微表层海水对 OCPs 的较强富集作用。各组分的平均富集系数 EF 值虽有所不同, 但一般都在 5.1~15.4 之间 (见表 5)。其中 C-HCH (六六六) 和环氧七氯富集系数最高, 分别为 45.3 和 47.7。大连湾海区各站点微表层海水中 OCPs 含量虽然显著高于表层水, 但未超出渔业水质标准 (HCHs<0.02 mgdL, DDTs<0.001 mgdL)。对生活在海洋微表层的浮游生物及鱼虾类的卵和幼体不会产生致毒威胁。

表 4 大连湾海区微表层、表层海水 OCPs 含量

Table 4 Concentration of OCPs in micro layer and surface seawater in Dalian Bay ng · L⁻¹

样品	A六六六	B六六六	C六六六	D六六六	七氯	PP2滴滴E	PP2滴滴滴	PP2滴滴涕	六六六总量	滴滴涕总量	总量
2A	1.02	18.46	6.29	1.00	1.50	1.36	1.61	4.80	26.77	7.77	36.04
2B	0.04	0.65	0.24	0.03	0.16	0.06	0.11	0.18	0.96	0.35	1.47
4A	0.72	12.50	2.31	0.68	0.54	2.43	0.45	0.48	16.21	3.36	20.11
4B	0.13	1.72	1.81	0.20	0.19	0.81	0.15	0.22	3.86	1.18	5.23
6A	0.82	10.15	81.11	0.53	10.97	1.08	1.76	2.65	92.61	5.49	109.07
6B	0.19	1.24	1.79	0.21	0.23	0.15	0.23	0.29	3.43	0.67	4.33
8A	0.41	2.62	5.28	0.13	0.23	0.14	0.24	0.42	8.44	0.80	9.47
8B	0.26	1.81	2.66	0.17	0.26	0.06	0.22	0.25	4.90	0.53	5.69
10A	0.25	3.39	4.10	0.13	0.04	0.49	1.51	1.36	7.87	3.36	11.27
10B	0.16	1.41	1.83	0.14	0.04	0.21	1.01	0.80	3.54	2.02	5.60

注: 表中数据为三次测定平均值; A—微表层海水; B—表层海水。

表 5 大连湾海区各站位微表层海水对 OCPs 富集系数 (EF)

Table 5 Enrichment factor of OCPs in the sea surface micro layer in Dalian Bay

样品	A六六六	B六六六	C六六六	D六六六	七氯	PP2滴滴E	PP2滴滴滴	PP2滴滴涕
2	25.5	28.4	26.2	33.3	9.4	22.7	14.6	11.0
4	5.5	7.3	1.3	3.4	2.8	3.0	3.0	2.2
6	4.3	8.1	45.3	2.5	47.7	7.2	7.6	9.1
8	1.5	1.4	1.9	0.8	0.9	2.3	1.1	1.7
10	1.6	2.4	2.2	0.9	1.0	2.3	1.5	1.7
EF平均值	7.7	9.5	15.4	8.2	12.4	7.5	5.6	5.1

注: 表中数据为 3 次测定平均值; 富集系数 EF= X_A/X_B。

海洋微表层是具有独特物理化学性质的薄层, 其厚度从几十微米到几百微米, 本文用平板玻璃采样器所采微表层海水厚度约为 80~100 Lm。国际关于海洋微表层研究已开展多年, 国内海洋微表层研

究刚刚起步。黄西能^[10]报道了西太平洋赤道微表层对营养盐、微量金属的富集特征。得出平均富集因子一般在 1 以上, 西太平洋赤道海区微表层对 Pb 和 Zn 富集系数可达 22.4 和 60.6。据 Hardy 报道^[11]微

表层对芳香烃富集系数达 100。

3 结 论

1) 环境样品经提取、浓缩、氧化铝柱净化及 Florisil 柱分类分离后, 能避免 PCBs 和 OCPs 在 GC/ECD 毛细管柱上的相互干扰。方法回收率高, 检测限低, 适合海洋环境样品中 OCPs 的测定。

2) 与珠江口相比, 大连湾养殖海域表层海水及沉积物中有机氯农药总体污染水平均较低。大连湾沉积物中 HCHs 含量顺序为 B> C> A> DDDTs 含量顺序为 DDD> DDT> DDE。

3) 大连湾微表层海水对有机氯农药有较强的富集作用, 平均富集系数在 5.1~15.4 之间。

[参 考 文 献]

[1] 王惠卿, 张永波. 大连湾赤潮及其规律的探讨[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(2): 28~33
 [2] 吴国功. 大连湾海域水质污染变化趋势分析[J]. 海洋环境科学, 1993, 12(3~4): 53~58
 [3] 傅家谟. 珠江三角洲及澳门内港沉积物中毒害有机化合物初步研究[A]. 第一届澳门环境与城市发展研讨会科学论文集[C]. 澳门基金会出版, 1999. 93~102

[4] 蔡福龙, 林志锋, 陈英等. 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 和 DDT 的含量与分布[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(2): 9~13
 [5] Stephen A W. Preparation and analysis of a frozen mussel tissue reference material for the determination of trace organic constituents [J]. Environ Sci Technol, 1991, 25(10): 1695~1703
 [6] GB 309721997, 海水水质标准[S].
 [7] 古堂秀, 徐贤仪, 张天佛. 渤海湾的有机氯农药和多氯联苯[J]. 海洋科学集刊, 1988, 29: 77~85
 [8] 张守法, 刘彬昌. 北太平洋海水及沉积物中有机氯农药的含量分布[J]. 黄渤海海洋, 1986, 4(1): 78~82
 [9] 张祖麟, 洪华生, 哈里德等. 厦门西港表层沉积物中有机氯化物的污染特征及变化趋势[J]. 环境科学学报, 2000, 20(6): 731~735
 [10] 黄西能, 韩舞鹰, 容荣贵等. 西太平洋赤道海区海洋微表层化学的初步观测[J]. 热带海洋, 1990, 9(4): 93~97
 [11] Hardy J T, Crecelius E A, Antrim L D, et al. Aquatic surface contamination in Chesapeake Bay [J]. Mar Chem, 1990, 28: 333~351.

Contamination of Organochlorine Pesticides (OCPs) of Aquaculture Sea Area in Dalian Bay

Zhao Yuanfeng¹, Lü Jingcai¹, Xu Hengzhen², Zhou Chuanguang², Li Hong²,
Zhang Qihua¹, Qi Hongli¹, Guo Yu¹, Teng Yue¹, Qian Xiaoming¹

(1. Department of Aquaculture, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: The contents of sixteen organochlorine pesticides (OCP16) in surface sediments of seawater, surface seawater and microlayer seawater, respectively, in Dalian Bay were determined by capillary GC/ECD method. The results show that recovery rate of OCPs determination by capillary GC/ECD is high, coefficient of variation of response factor small and detection limit low, and the method is fit for the determination of OCPs in marine environment samples. OCPs in both sediment and seawater in Dalian Bay are detected, but pollution level is relatively low. The average concentration of OCPs in surface seawater is 4.52 ng/L, and OCPs in surface seawater sediment is 6.17 ng/g. The contents of OCPs in microlayer seawater are much higher than those in surface seawater, which indicates that there is strong enrichment of OCPs into microlayer seawater and the average enrichment factor is among 5.1~15.4.

Key words: contamination of organochlorine pesticides; aquaculture sea area; Dalian Bay; enrichment factor