

胶州湾水域有机农药六六六的分布及环境本底值^{*}

杨东方^{1,2}, 白红妍¹, 张饮江¹, 常彦祥³, 曲完成¹

(1. 上海海洋大学生命学院 上海 201306; 2. 国家海洋局北海环境监测中心 青岛 266033;

3. 温州医科大学信息与工程学院 温州 325035)

摘 要: 根据 1988 年 4 月、7 月和 10 月的胶州湾水域调查资料, 通过有机农药 HCH 在胶州湾水域的分布、来源和季节变化的分析, 研究结果表明: HCH 含量在这一年中都非常低 $0.018\ 8\sim 0.209\ 5\ \mu\text{g/L}$, 水质在 HCH 含量方面更加清洁。而且, 水体中 HCH 已经没有季节的变化了。HCH 的水平分布表明: 胶州湾水体中的 HCH 既有地表径流直接输入又有河流输入, HCH 来源是面来源, 来源于陆地。HCH 的垂直分布表明: HCH 的表、底层含量相接近。而且 HCH 表层含量几乎都是低于其对应的底层, 同时, 水体中表层与底层 HCH 的水平分布趋势一致。在 HCH 水域迁移过程中, 整个海湾的 HCH 含量最大值大于或者小于 $0.100\ \mu\text{g/L}$ 决定着表、底层 HCH 的含量变化及水平分布的一致性。通过环境本底值的结构模型, 计算得到胶州湾水域 HCH 的基础本底值为 $0.018\ 8\ \mu\text{g/L}$, 陆地径流的输入量为 $0.00\sim 0.190\ 7\ \mu\text{g/L}$, 海流的输入量为 $0.000\ \mu\text{g/L}$, 环境本底值为 $0.018\ 8\sim 0.209\ 5\ \mu\text{g/L}$ 。揭示了 HCH 从陆地到海底的过程要经过漫长的时间, 虽然 HCH 含量已经变化得越来越低, 可是 HCH 含量却一直存在着。HCH 从陆地到海底一直存在于水体中, 可以随时沿着食物链在迁移和富集, 时刻对人类身体和生活环境造成了威胁和危害。

关 键 词: HCH; 分布; 存在; 环境本底值; 胶州湾

持久性有机污染物六六六 (HCH) 是亲脂憎水性化合物, 具有低水溶性、高脂溶性特征, 在环境中不易降解, 且具有潜在的高毒性、致癌性及致畸致诱变作用等特点。HCH 在水体中通过食物链逐级浓缩, 营养级越高积累的倍数也愈大, 能够在脂肪组织中发生生物蓄积^[1-4]。而且引起代谢缓慢, 且可在食物链中蓄积并逐级放大, 影响人类的身体健康和生活环境。我国于 1983 年禁止使用 HCH, 由于 HCH 经过了陆地迁移过程、水域迁移过程和沉降过程^[5-19], 那么禁用以后, 水体中的 HCH 的分布和含量是否依然存在, HCH 环境本底值结构是如何, 这需要进行认真的研究和探讨。

本文根据 1988 年胶州湾的调查资料, 分析 HCH 在胶州湾海域的来源、分布以及迁移状况, 研究胶州湾水体 HCH 的环境本底值结构,

计算得到胶州湾水域 HCH 的基础本底值、陆地径流的输入量和环境本底值, 揭示了 HCH 从陆地到海底的过程要经过漫长的时间, 虽然 HCH 含量已经变化得越来越低, 可是 HCH 含量却一直存在着, 这为防止 HCH 对人类身体和生活环境造成威胁和危害的研究提供了理论依据。

1 调查水域、材料与方法

1.1 胶州湾自然环境

胶州湾地理位置为 $120^{\circ}04'\text{E}-120^{\circ}23'\text{E}$, $35^{\circ}58'\text{N}-36^{\circ}18'\text{N}$ 之间, 在山东半岛南部, 面积约为 $446\ \text{km}^2$, 平均水深约 $7\ \text{m}$, 是一个典型的半封闭型海湾。在胶州湾西北和西部的入海河流有大沽河和洋河。沿青岛市区的近岸, 有海泊河、李村河、娄山河等河流。在胶州湾位

^{*} 基金项目: 海洋公益性行业科研专项——海洋溢油污染风险评估及应急响应关键技术集成及应用示范 (201205012); 海洋公益性行业科研专项——浙江近岸海域海洋生态环境动态监测与服务平台技术研究及应用示范 (201305012); 国家海洋局北海监测中心主任科研基金资助——长江口和胶州湾及其附近海域的生态变化过程 (05EMC16)。

于西部、北部地区有即墨盆地和胶莱平原, 这是胶州湾地区的主要农业区。

1.2 材料与方法

本研究所使用的 1988 年 4 月、7 月和 10 月胶州湾水体 HCH 的调查资料由国家海洋局北海环境监测中心提供。在 4 月和 7 月, 在胶州湾水域设 13 个站位取水样, 分别为 31、32、33、34、35、36、84、85、86、87、88、89 和 90 站; 在 10 月, 在胶州湾水域设 6 个站位取水样, 分别为 84、85、86、87、88 和 89 站 (图 1)。分别于 1988 年 4 月、7 月和 10 月进行 3 次取样, 根据水深取水样 (水深大于 10 m 时取表层和底层, 水深小于 10 m 时只取表层), 现场过滤, 装入聚乙烯瓶中保存, 放入冰桶带回实验室冷冻保存。用气相色谱分析测定, 这个方法与古堂秀等^[4]所研究的方法是一致的。

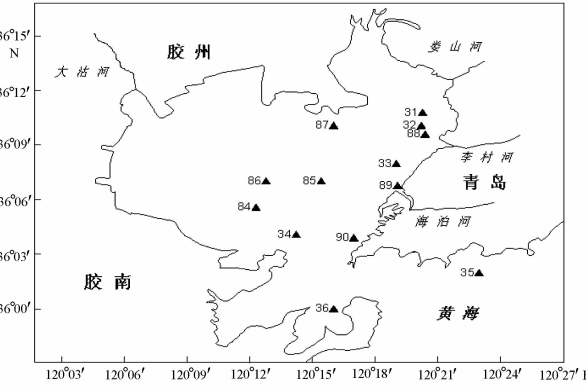


图 1 胶州湾调查站位

时间	4 月	7 月	10 月
海水中 HCH 含量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.022 4~0.209 5	0.029 6~0.068 0	0.018 8~0.114 4
国家海水标准	一类海水	一类海水	一类海水

2 结果

2.1 含量大小

在胶州湾整个水域, HCH 含量在 4 月、7 月和 10 月都非常低, 其含量范围为: 0.018 8~0.209 5 $\mu\text{g/L}$ 。这表明在 4 月、7 月和 10 月, 在整个胶州湾表层水域, 水质在 HCH 含量方面符合国家一类海水水质标准 (1.00 $\mu\text{g/L}$) (表

1)。由于 HCH 含量在胶州湾整个水域都远远小于 0.100 0 $\mu\text{g/L}$, 说明在 HCH 含量方面, 在胶州湾整个水域, 水质更加清洁。

2.2 水平分布

在 4 月, 在胶州湾水域, 水体中表层 HCH 的水平分布状况是表层 HCH 含量的等值线 (图 2), 展示了在楼山河、李村河和海泊河之间的近岸水域, 有一个相对高值区域, 其 HCH 含量大于 0.170 9 $\mu\text{g/L}$ 。而且在楼山河的河口以及东北部近岸水域, 形成了一系列不同梯度的平行线, 其含量大小由东北部的近岸向南部的湾口方向递减, 从 0.209 5 $\mu\text{g/L}$ 降低到 0.022 4 $\mu\text{g/L}$ (图 2)。并且在海泊河的河口近岸水域, 还有一个小的扰动, 展示了海泊河有一定 HCH 含量 0.174 0 $\mu\text{g/L}$ 的输送。

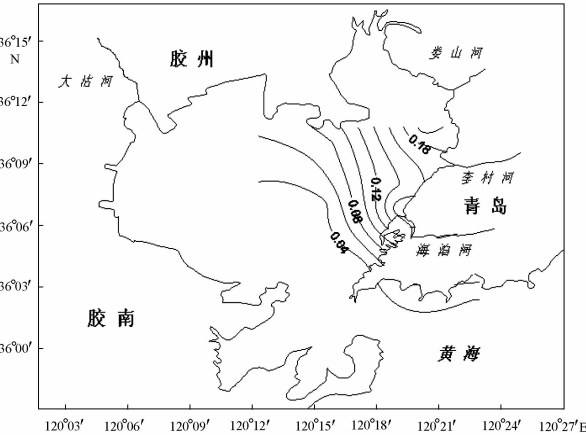


图 2 4 月表层 HCH 质量浓度的分布 ($\mu\text{g/L}$)

在 7 月, 在胶州湾水域, 水体中表层 HCH 含量的等值线, 展示了以海泊河入海口处为中心, 形成了一系列不同梯度的半个同心圆, HCH 含量从中心相对较高含量 0.068 0 $\mu\text{g/L}$ 沿梯度降低到 0.029 6 $\mu\text{g/L}$ (图 3)。

在 10 月, 在胶州湾水域, 水体中表层 HCH 的水平分布状况是表层 HCH 含量的等值线 (图 4), 展示了以海泊河入海口处为中心, 形成了一系列不同梯度的半个同心圆, HCH 含量从中心相对较高含量 0.114 4 $\mu\text{g/L}$ 沿梯度降低到 0.018 8 $\mu\text{g/L}$ 。

在 4 月、7 月和 10 月, 在胶州湾水域, HCH 的含量是非常低的, 而形成相对较高的中心主要是受到河流和地表径流的微量输送, 也

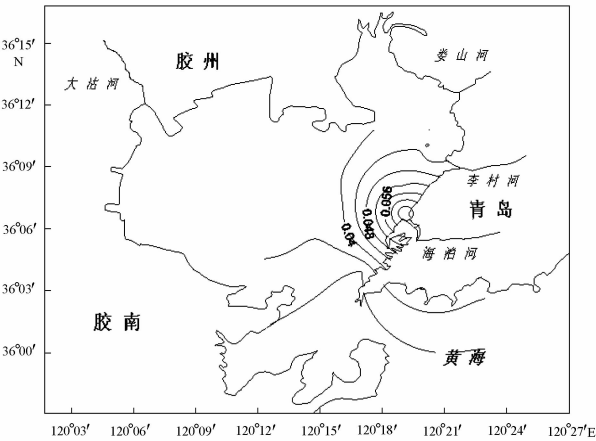


图3 7月表层 HCH 质量浓度的分布 ($\mu\text{g/L}$)

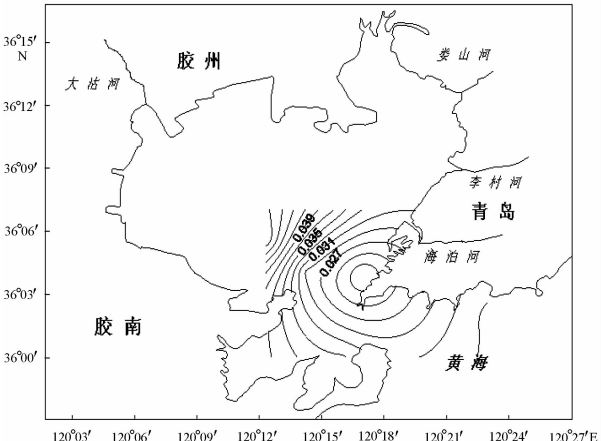


图5 4月底层 HCH 质量浓度的分布 ($\mu\text{g/L}$)

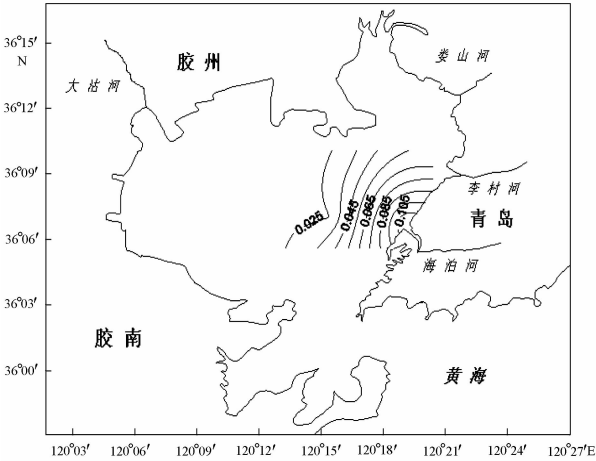


图4 10月表层 HCH 质量浓度的分布 ($\mu\text{g/L}$)

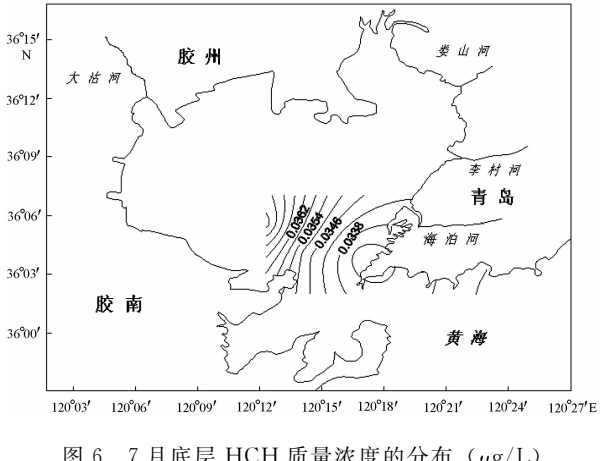


图6 7月底层 HCH 质量浓度的分布 ($\mu\text{g/L}$)

是对胶州湾水域的轻微扰动。

在胶州湾的湾口水域，分为湾口内、湾口和湾口外。在4月和7月，底层 HCH 的含量大小形成了一系列不同的梯度，由湾口内向湾口方向递减，在4月，从 $0.0488\ \mu\text{g/L}$ 降低到 $0.0209\ \mu\text{g/L}$ (图5)；在7月，从 $0.0380\ \mu\text{g/L}$ 降低到 $0.0331\ \mu\text{g/L}$ (图6)。

在4月和7月，在胶州湾的湾口水体中，底层 HCH 的含量范围为： $0.0209\sim0.0488\ \mu\text{g/L}$ 。

2.3 垂直分布

在胶州湾湾口水域，在站点 33、34、35、84、85 和 90 进行了 HCH 的表、底层的调查。

在4月，除了站点 90 外，HCH 表层含量都低于其对应的底层，HCH 的表、底层含量值绝对相差 $-0.0108\sim0.0015\ \mu\text{g/L}$ ，其相差范围为 $0\sim0.0123\ \mu\text{g/L}$ ，只有站点 90

的绝对相差值为正，其余站位的绝对相差值都为负。在7月，除了站点 85 外，HCH 表层含量都低于其对应的底层，HCH 的表、底层含量值绝对相差 $-0.0014\sim0.0009\ \mu\text{g/L}$ ，其相差范围为 $0\sim0.0023\ \mu\text{g/L}$ ，只有站点 85 的绝对相差值为正，其余站位的绝对相差值都为负。

在4月和7月，在胶州湾的湾口水体中，表层 HCH 的水平分布由湾口内向湾口和湾口外方向递减，而底层 HCH 的水平分布也是由湾口内向湾口和湾口外方向递减，HCH 的表、底层水平分布和变化趋势一致。

因此，在4月和7月，从湾口内、湾口到湾口外，HCH 表层含量几乎都是低于其对应的底层。而且 HCH 的表、底层含量都很接近，7月的 HCH 的表、底层含量要比4月的更接近。同时，HCH 的表、底层水平分布和变化趋势一致。

2.4 季节分布

胶州湾水域的水体中, 在 4 月, 水体中 HCH 的表层含量 $0.022\ 4\sim0.209\ 5\ \mu\text{g/L}$; 在 7 月, 水体中 HCH 的表层含量 $0.029\ 6\sim0.068\ 0\ \mu\text{g/L}$; 在 10 月, 水体中 HCH 的表层含量 $0.018\ 8\sim0.114\ 4\ \mu\text{g/L}$ 。在一年的变化中, HCH 表层含量在 4 月有最高值, 而在 10 月有最低值。因此, 在 4 月、7 月和 10 月, 水体中 HCH 的表层含量范围都非常接近, 水体中 HCH 的季节分布已经没有了。

3 讨论

3.1 水质

在整个胶州湾水域, HCH 含量在 4 月、7 月和 10 月都非常低 $0.018\ 8\sim0.209\ 5\ \mu\text{g/L}$ 。不仅胶州湾整体水域 HCH 含量都符合一类海水水质标准 ($1.00\ \mu\text{g/L}$), 而且, HCH 含量在整个胶州湾水域都小于 $0.300\ \mu\text{g/L}$ 。这与 1985 年^[10]、1986 年^[11]、1987 年^[12]在 HCH 含量方面的海水水质一样, 完全优于国家一类海水水质标准。在整个胶州湾水域, 水质在 HCH 含量方面都非常清洁。随着 HCH 的含量非常低, 小于 $0.300\ \mu\text{g/L}$, 在海洋具有均匀性^[10]的作用下, 水体中 HCH 的表层含量已经没有季节变化了, 这与 1985 年^[10]、1986 年^[11]、1987 年^[12]的研究结果一样。这样, 在 4 月、7 月和 10 月, 水体中 HCH 的表层含量范围都非常接近, HCH 的季节分布在水体中已经没有了。

3.2 来源

在 4 月, 在胶州湾水域, 表层 HCH 含量的等值线 (图 4) 在楼山河的河口以及东北部近岸水域, 形成了一系列不同梯度的平行线, 其含量大小由东北部的近岸向南部的湾口方向递减, 这与 1983 年~1987 年的水体中表层 HCH 含量的变化相一致^[8-12]。同时, 在海泊河的河口近岸水域, 有 HCH 含量输送的扰动。因此, 河流和地表径流将 HCH 输入到近岸水域, 其含量非常低。

在 7 月和 10 月, 在胶州湾水域, 水体中表层 HCH 含量的等值线, 展示了以海泊河入海口处为中心, 形成了一系列不同梯度的半个同心

圆, 其含量大小由海泊河入海口的近岸向南部的湾口方向递减。可见, 由于水体中表层 HCH 含量非常小, 有河流的输入在水体中稍微有扰动, 就有水平分布的明显变化。因此, HCH 通过河流输入近岸水域的, 其含量非常低。

3.3 陆地迁移

在胶州湾东北部沿岸水域, 表层 HCH 的含量由东北部近岸向南部湾口方向递减, 等值线形成了一系列不同梯度的平行线。或者在东部的近岸, 形成了一系列不同梯度的半圆等值线, 其含量大小由东部的近岸向外部方向递减。前者表示河流与地表径流直接输入近岸水域, 后者表示河流输入。因此, HCH 来源是面来源, 而且来源于陆地。

我国于 1983 年开始禁用 HCH, 胶州湾水域 HCH 的含量仅仅是来自土壤中残留的 HCH, 陆地 HCH 残留量在大幅减少^[9]。1988 年输入胶州湾海域水体中的 HCH 含量很低, 这个结果与 1983 年~1987 年的变化^[8-12]是一致的。从 1979 年到 1984 年, 通过胶州湾沿岸水域 HCH 含量变化, 证明了 HCH 的陆地迁移过程^[5-9]: 向近岸水域输入 HCH 的含量是随着地表径流的大小而变化, 也就是随着雨量的大小而变化。而且, 在胶州湾水域, HCH 的含量有季节变化。可是, 在 1988 年, HCH 表层含量在 4 月的最高值 $0.209\ 5\ \mu\text{g/L}$ 是一年中的最高值, 在 7 月的最高值 $0.068\ 0\ \mu\text{g/L}$ 甚至比 11 月的最高值 $0.114\ 4\ \mu\text{g/L}$ 都低。4 月是雨季还没有开始的月份, 而 7 月是雨季正是旺盛的月份, 11 月是雨季结束的月份, HCH 表层含量的变化表明, 没有雨季时, HCH 表层含量是一年中的最高, 而雨季旺盛时, HCH 表层含量却不是一年中的最高, 甚至低于雨季的结束时。因此, 从 1985 年到 1987 年, 在整个胶州湾水域, HCH 含量一年中都低于 $0.300\ \mu\text{g/L}$, 得到结果: 水体中 HCH 含量的季节变化已经没有了。这表明随着陆地 HCH 残留量的衰减很快, 胶州湾海域水体中的 HCH 含量也逐年降低。在胶州湾周围, 雨量、地表径流和河流的大小变化对胶州湾水域 HCH 含量变化没有重要影响。

3.4 水域迁移

在胶州湾湾口水域, 在 4 月、7 月和 10 月,

HCH 的表、底层含量都相近。这个结果与 1979~1987 年（缺少 1980 年）的数据分析结果^[5-12]是一样的；在 4 月、7 月和 10 月，胶州湾的湾口水域，表层含量与其对应的底层含量变化一致，而且水体中表、底层 HCH 的水平分布一致（图 2-6）。这个结果与 1979~1985 年（缺少 1980 年）的数据分析结果是一样的^[5-10]。而与 1986 年和 1987 年的数据分析结果不是一样的^[11-12]。于是，产生这个差别的原因，作者认为：在作者提出的 HCH 水域迁移过程^[6,7]中，当整个海湾的 HCH 含量最大值大于 $0.100 \mu\text{g/L}$ 时，表、底层 HCH 的含量变化一致和表、底层的水平分布一致^[11-12]。当整个海湾的 HCH 含量最大值小于 $0.100 \mu\text{g/L}$ 时，表、底层 HCH 的含量变化不一致和表、底层的水平分布也不一致^[11-12]。同时，不论海湾的 HCH 含量最大值是如何的小，HCH 的表、底层含量相近的结果是不会变化的。

3.5 环境本底值的结构

根据杨东方提出的重金属在水域的环境本底值结构^[20,21]，建立了重金属环境本底值的结构模型：

$$H = B + L + M$$

其中， B ：基础本底值（the basic background value）表示此水域本身所具有的重金属含量， L ：陆地径流的输入量（the input amount in runoff）表示通过陆地径流输入此水域的重金属含量， M ：海洋水流的输入量（the input amount in marine current）表示通过海洋水流输入此水域的重金属含量， H ：重金属在此水域的环境本底值（the environmental background value）。

将此模型应用到六六六（HCH）环境本底值的结构上，于是有， B ：基础本底值表示此水域本身所具有的 HCH 含量， L ：陆地径流的输入量表示通过陆地径流输入此水域的 HCH 含量， M ：海洋水流的输入量表示通过海洋水流输入此水域的 HCH 含量， H ：HCH 在此水域的环境本底值。

由于 HCH 是人工合成的，在自然界是不存在的，这样，胶州湾水域 HCH 的含量仅仅

是来自土壤中残留的 HCH。在胶州湾水域，只有河流和地表径流将 HCH 输入到近岸水域，其含量非常低。因此，海洋水流向胶州湾水域的 HCH 输入量为 $0.000 \mu\text{g/L}$ 。当没有河流和地表径流时，在胶州湾水域，HCH 的含量达到最低值 $0.0188 \mu\text{g/L}$ ，于是，HCH 含量的基础本底值为 $0.0188 \mu\text{g/L}$ 。当有河流和地表径流时，在胶州湾水域，HCH 的含量达到最高值 $0.2095 \mu\text{g/L}$ 。于是，陆地径流的 HCH 输入量为 $0.2095 - 0.0188 = 0.1907 (\mu\text{g/L})$ 。

通过环境本底值的结构模型，计算得到 HCH 在胶州湾水域的环境本底值。胶州湾水域 HCH 的基础本底值为 $0.0188 \mu\text{g/L}$ ，胶州湾水域 HCH 的陆地径流输入量为 $0.00 \sim 0.1907 \mu\text{g/L}$ ，海流输入的 HCH 含量为 $0.000 \mu\text{g/L}$ ，于是，胶州湾水域 HCH 的环境本底值为 $0.0188 \sim 0.2095 \mu\text{g/L}$ 。

通过胶州湾水体 HCH 的环境本底值结构，明确了胶州湾水域 HCH 的基础本底值、陆地径流的输入量和环境本底值。虽然在 1983 年我国开始禁用了 HCH，可是一直到 1988 年，胶州湾水域 HCH 的基础本底值表明在胶州湾水体中，HCH 是一直存在的。而且，胶州湾水域 HCH 的陆地径流输入量也是存在的，当然含量已经非常的低。HCH 经过了陆地迁移过程、水域迁移过程和沉降过程^[5-19]，沉降到海底，使得陆地和水体的 HCH 含量很低^[12]。HCH 的环境本底值结构揭示了 HCH 从陆地到海底的过程要经过漫长的时间，虽然 HCH 含量已经变化得越来越低，可是 HCH 含量却一直存在着。由于浮游植物、浮游动物和鱼类等沿着食物链将水体的 HCH 在不断地富集，那么 HCH 沿着食物链一直在迁移，时刻对人类身体和生活环境造成威胁和危害。

4 结论

根据 1988 年 4 月、7 月和 10 月的胶州湾水域调查资料，分析有机农药 HCH 在胶州湾水域的分布、来源和季节变化。研究结果表明：

（1）在 4 月、7 月和 10 月，HCH 含量在这一年中都小于 $0.300 \mu\text{g/L}$ ，在整个胶州湾水

域都非常低。在胶州湾水域 HCH 含量都优于国家一类海水水质标准, 水质在 HCH 含量方面更加清洁。水体中 HCH 已经没有季节的变化了, 胶州湾水域 HCH 含量变化几乎没有受到胶州湾周围, 雨量、地表径流和河流的大小变化的影响。

(2) 在 4 月、7 月和 10 月, HCH 的水平分布表明: 胶州湾水体中的 HCH 既有地表径流直接输入又有河流输入, HCH 来源是面来源, 而且来源于陆地。在 4 月和 7 月, HCH 的垂直分布表明: HCH 的表、底层含量相接近。而且 HCH 表层含量几乎都是低于其对应的底层, 同时, 水体中表层与底层 HCH 的水平分布趋势一致。

(3) 在 HCH 水域迁移过程中, 当整个海湾的 HCH 含量最大值大于 $0.100 \mu\text{g/L}$ 时, 表、底层 HCH 的含量变化一致, 表、底层的水平分布一致。当整个海湾的 HCH 含量最大值小于 $0.100 \mu\text{g/L}$ 时, 表、底层 HCH 的含量变化不一致, 表、底层的水平分布也不一致。同时, 不论海湾的 HCH 含量最大值是如何的小, HCH 的表、底层含量相近的结果是不会变化的。

(4) 通过环境本底值的结构模型, 计算得到胶州湾水域 HCH 的基础本底值为 $0.0188 \mu\text{g/L}$, 胶州湾水域 HCH 的陆地径流输入量为 $0.00 \sim 0.1907 \mu\text{g/L}$, 海流输入的 HCH 含量为 $0.000 \mu\text{g/L}$, 于是, 胶州湾水域 HCH 的环境本底值为 $0.0188 \sim 0.2095 \mu\text{g/L}$ 。揭示了 HCH 从陆地到海底的过程要经过漫长的时间, 虽然 HCH 含量已经变化得越来越低, 可是 HCH 含量却一直存在着。

HCH 从陆地到海底一直存在于水体中, 可以随时沿着食物链在迁移和富集, 时刻对人类身体和生活环境造成威胁和危害。人类合成的自然界无法降解的物质六六六 (HCH), 不仅危害了自然界其他生命, 包括植物和动物, 最后也危害了人类自己。随着陆地迁移过程、水域迁移过程和沉降过程, 不断地把六六六 (HCH) 这种物质从陆地迁移到大海, 最终, 将这种物质深埋于海底。

参考文献

- [1] 李明华. 山区社会学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 80.
- [2] 窦薇, 赵忠宪. 白洋淀水生食物链 BHC、DDT 生物浓缩分析[J]. 环境科学, 1997, 18(5): 41—43.
- [3] 施国涵. 农药的一生[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 1992. 85—90.
- [4] 古堂秀, 徐贤义, 张添佛. 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.
- [5] 杨东方, 高振会, 曹海荣, 等. 胶州湾水域有机农药六六六分布及迁移[J]. 海岸工程, 2008, 27(2): 65—71.
- [6] 杨东方, 高振会, 孙培艳, 等. 胶州湾水域有机农药六六六春、夏季的含量及分布[J]. 海岸工程, 2009a, 28(2): 69—77.
- [7] 杨东方, 高振会, 黄宏, 等. 胶州湾水域有机农药六六六污染源及分布[J]. 海岸工程, 2009b, 28(4): 69—79.
- [8] 杨东方, 石强, 郭军辉, 等. 胶州湾水域有机农药六六六分布及稀释过程[J]. 海岸工程, 2010a, 29(1): 59—66.
- [9] 杨东方, 郭军辉, 丁咨汝, 等. 胶州湾水域有机农药六六六分布及残留量[J]. 海岸工程, 2010b, 29(2): 72—76.
- [10] 杨东方, 丁咨汝, 郑琳, 等. 胶州湾水域有机农药六六六的分布及均匀性[J]. 海岸工程, 2011a, 30(2): 66—74.
- [11] 杨东方, 郑琳, 姜欢欢, 等. 胶州湾水域有机农药六六六的分布及水质标准[J]. 海岸工程, 2011b, 30(4): 56—65.
- [12] Yang Dongfang, Ding Zirui, Miao Zhenqing, et al. Input Quantity and Distribution of hexachlorocyclohexane (HCH) in the Jiaozhou Bay Water[J]. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4(3): 140—148.
- [13] 杨东方, 王凡, 高振会, 等. 胶州湾浮游藻类生态现象[J]. 海洋科学, 2004, 28(6): 71—74.
- [14] 杨东方, 陈豫, 吴绍渊, 等. 有机农药六六六对胶州湾海域水质的影响 I. 含量的年份变化[J]. 海洋科学, 2010, 34(12): 52—56.
- [15] 杨东方, 苗振清, 丁咨汝, 等. 有机农药六六六对胶州湾海域水质的影响 II. 污染源变化过程[J]. 海洋科学, 2011, 35(5): 112—116.
- [16] 杨东方, 丁咨汝, 石强, 等. 有机农药六六六对胶

州湾海域水质的影响—陆地迁移过程[J]. 地球科学前沿,2012, 2(1): 31—36.

[17] Yu Chen, Ziru Ding, Lin Zheng, Yinjiang Zhang, Dongfang Yang. Effect of HCH on the Jiaozhou Bay Waters—The transfer laws of HCH[J]. Procedia Environmental Sciences. 2012, 16: 271 — 278.

[18] 杨东方,苗振清,宋爱云,等. 有机农药六六六对胶州湾海域水质的影响—沉降过程[J]. 海岸工程,2012, 31(2): 62—75.

[19] 杨东方,苗振清,徐焕志,等. 有机农药六六六对胶州湾海域水质的影响—水域迁移过程[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(1): 46—50.

[20] 杨东方,陈豫,王虹,等. 胶州湾水体镉的迁移过程和本底值结构[J]. 海岸工程,2010,29(4): 73—82.

[21] 杨东方,陈豫,常彦祥,等. 胶州湾水体镉的分布及来源[J]. 海岸工程, 2013,32(3):68—78..