

# Effect of HCH on the Jiaozhou Bay Waters<sup>\*</sup>

## ——The Land Transfer Process of HCH

Dongfang Yang<sup>1,2</sup>, Ziru Ding<sup>3</sup>, Qiang Shi<sup>1</sup>, Yu Chen<sup>4</sup>, Youchi Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>North China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Qingdao

<sup>2</sup>Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao

<sup>3</sup>The Fourth Branch, China Ocean Monitoring, SOA, Ningbo

<sup>4</sup>Information College, Shanghai Ocean University, Shanghai

Email: dfyang@shfu.edu.cn

Received: Jan. 25th, 2012; revised: Feb. 9th, 2012; accepted: Feb. 21st, 2012

**Abstract:** By investigation data in Jiaozhou bay waters from 1979 to 1984 (absent of 1980), the seasonal variation of HCH in Jiaozhou Bay and month rainfall variation around it are analyzed. The results showed that in the spatial and temporal distribution in the whole Jiaozhou bay, HCH content increased in spring, arrived at the high peak, and then fell to the lowest value in autumn during one year. The HCH content change in the coastal waters of Jiaozhou Bay presented the land transfer process of HCH: the HCH content change was determined by the rainfall in the basin near Jiaozhou bay. Therefore, the seasonal variation of HCH content in the waters of the bay was determined by the land transfer process, which was divided into three phases: the HCH use of human, the HCH sediment in the soil and land surface, the HCH transport of the rivers and runoffs into the coastal waters in the sea. The process was denoted by the schematic diagram, which unveiled that HCH from production to land was determined by human and that it from land into sea determined by rainfall.

**Keywords:** HCH; Seasonal Variation; Land Transfer Process; Rainfall; Jiaozhou Bay

# 有机农药六六六对胶州湾海域水质的影响<sup>\*</sup>

## ——陆地迁移过程

杨东方<sup>1,2</sup>, 丁咨汝<sup>3</sup>, 石强<sup>1</sup>, 陈豫<sup>4</sup>, 张友麓<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国家海洋局, 北海环境监测中心, 青岛

<sup>2</sup>山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 青岛

<sup>3</sup>中国海监第四支队, 宁波

<sup>4</sup>上海海洋大学信息学院, 上海

Email: dfyang@shfu.edu.cn

收稿日期: 2012年1月25日; 修回日期: 2012年2月9日; 录用日期: 2012年2月21日

**摘要:** 根据 1979~1984 年(缺少 1980 年)的胶州湾水域调查资料, 分析在胶州湾水域有机农药 HCH 的季节变化和月降水量变化。研究表明: 在时空分布上, 整个胶州湾水域, 由春季的 HCH 含量增加, 到夏季高峰, 然后到秋季降低到一年中最低值。通过胶州湾沿岸水域的 HCH 含量变化, 展示了 HCH 的陆地迁移过程: HCH 含量变化由胶州湾附近盆地的雨量大小所决定。因此, 在胶州湾水体中 HCH 含量的季节变化, 是由陆地迁移过程所决定。HCH 的陆地迁移过程范围分为三个阶段: 人类对 HCH 的施用、HCH 沉积于土壤和地表中、河流和地表径流把 HCH 输入到海洋的近岸水域。这可用模型框图来表示, 展示了: HCH 从生产到土地是由人类来决定, 然而, 从土地到海洋是由雨量来决定。

<sup>\*</sup>基金项目: 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估重点实验室基金资助—溢油鉴定技术评估(07EMC08); 中国科学院知识创新工程重要方向项目——长江口及其附近海域的营养盐的变化过程(KZCX 2-207); 国家海洋局北海监测中心主任科研基金资助——长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)。

**关键词:** HCH; 季节变化; 陆地迁移过程; 雨量; 胶州湾

## 1. 引言

六六六(HCH)作为有机氯农药最主要的品种之一,是一种高效的广谱杀虫剂。它作用于昆虫神经,兼有胃毒、触杀、熏蒸作用,50~60年代在全世界广泛生产和应用。我国于1951年进行试生产,1952年转入批量生产,在20世纪60~70年代,HCH和DDT的产量占我国杀虫剂产量的60%~70%。我国土壤大面积施用HCH、DDT等农药长达20多年,从陆地上到水体,对环境造成持久性的污染<sup>[1-7]</sup>。研究水体中HCH的季节变化,了解HCH对环境造成持久性的污染有着非常重要的意义。

根据1979~1984年(缺少1980年)的胶州湾水域调查资料如表1所示,研究有机农药HCH在胶州湾水域的存在状况<sup>[8-12]</sup>。在1979年~1984年(缺1980年)期间,在胶州湾水体中HCH的含量逐年都在减少<sup>[13]</sup>。由于我国在1983年禁止HCH的使用,胶州湾水域HCH的污染源发生了很大变化,这变化分为三种类

型:重度污染源、轻度污染源以及没有污染源,并用三个模型框图来表示,这展示了HCH污染源的变化过程<sup>[14]</sup>。本文根据1979~1984年(缺少1980年)胶州湾的调查资料,研究HCH在胶州湾海域的季节变化和月降水量变化,结果展示了HCH的陆地迁移过程,为治理HCH污染的环境提供理论依据。

## 2. 调查水域、材料与方法

### 2.1. 胶州湾自然环境

胶州湾是一个半封闭的深入内陆的天然海湾,位于黄海中部、中国山东省山东半岛南部。胶州湾位于35°55'~36°18',东经120°04'~120°23',面积为390 km<sup>2</sup>,平均水深为7 m,最大水深为50 m,是一个半封闭型海湾,周围为青岛、胶州、胶南等市区所环抱(图1)。胶州湾入海的河流十几条:其中径流量和含沙量较大的为大沽河和洋河。

Table 1. The HCH content in Jiaozhou bay from April to November  
表 1. 从 4 月到 11 月 HCH 在胶州湾水体中的含量(μg/L)

HCH 含量	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
1979 年		0.230~1.380			5.393~12.480			0.073~0.685
1981 年	0.091~1.691				0.167~4.427			
1982 年	0.065~0.301		0.473~0.790	0.171~0.409			0.136~0.211	
1983 年		0.144~0.461				0.325~0.768	0.134~0.487	
1984 年				0.086~0.255	0.089~0.132		0.097~0.156	

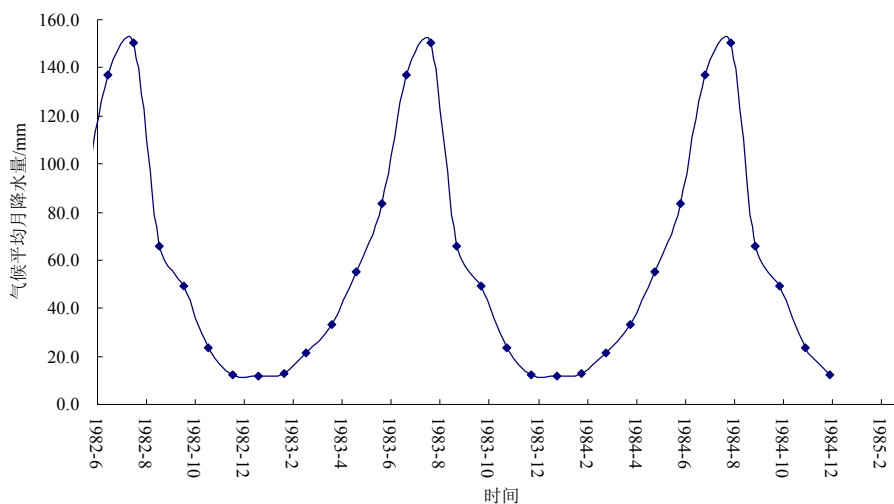


Figure 1. The rainfall of climate average month in Qingdao area/mm  
图 1. 青岛地区的气候平均月降水量/mm

## 2.2. 数据来源与方法

本文分析时所用 HCH 调查数据由国家海洋局北海监测中心提供。胶州湾水体 HCH 的调查<sup>[8-12]</sup>是按照国际标准方法,这个方法与古堂秀等<sup>[7]</sup>是一致的。本文分析时所用雨量数据来自于日本气象厅(Japan Meteorological Agency)<sup>[13]</sup>。

在 1979 年 5 月、8 月、11 月; 1981 年 4 月和 8 月; 1982 年 4 月、6 月、7 月和 10 月; 1983 年 5 月、9 月和 10 月; 1984 年 7 月、8 月和 10 月, 进行胶州湾水体 HCH 的调查<sup>[8-12]</sup>。

## 3. 结果

### 3.1. 1979 年季节分布

在春季,在整个胶州湾表层水体中, HCH 的表层含量为 0.230~1.380  $\mu\text{g/l}$ 。在夏季,表层水体中 HCH 的表层含量为 5.393~12.480  $\mu\text{g/l}$ , 达到了一年中的最高值。在秋季,表层水体中 HCH 的表层含量为 0.073~0.685  $\mu\text{g/l}$ , 达到了一年中的最低值。HCH 的季节变化形成了春、夏、秋季的一个峰值曲线。

### 3.2. 1981 年季节分布

在春季,整个胶州湾表层水体中 HCH 的表层含量为 0.091~1.691  $\mu\text{g/l}$ 。在夏季,表层水体中 HCH 的表层含量为 0.167~4.427  $\mu\text{g/l}$ , 8 月海水中的 HCH 含量明显高于 4 月。在胶州湾水域设 21 个站位 A1, A2, A3, A5, A6, A7, A8, B1, B3, B4, B5, C2, C4, C6, C7, D4, D5, D6, D7, D8 和 D9 中,以同样的站位,作 8 月与 4 月的 HCH 含量的差,得到 B4, C2, D5 站为负值 -0.533~-0.023, 其他站都为正值 0.079~2.736。这表明在夏季,胶州湾的表层水体中 HCH 的表层含量几乎都高于春季的。在 A1, A2, A3, A5, A6, A7, A8, B5, D5 站中,作 8 月与 4 月的 HCH 的底层含量的差,得到所有的站都为正值 0.158~0.974。这表明在夏季,整个胶州湾的底层水体中, HCH 的底层含量都高于春季的。而且在春、夏季, HCH 的底层含量变化小于表层的。

### 3.3. 1982 年季节分布

胶州湾西南沿岸水域的水体中,在 4 月,水体中 HCH 的表层含量 0.065~0.301  $\mu\text{g/l}$ ; 在 7 月,水体中

HCH 的表层含量 0.171~0.409  $\mu\text{g/l}$ ; 在 10 月,水体中 HCH 的表层含量 0.136~0.211  $\mu\text{g/l}$ 。7 月海水中的 HCH 含量明显高于 4 月。在表层,以同样的站位,作 7 月与 4 月的 HCH 表层含量的差,得到站位 083、084、121、122 都为正值 0.036~0.108。这表明在 7 月,胶州湾的表层水体中 HCH 的表层含量都高于 4 月的。在底层,在 083、084、122 站中,作 7 月与 4 月的 HCH 的底层含量的差,得到在 083、084 站都为正值 0.065~0.095, 在 122 站为负值 -0.047。这表明在 7 月,胶州湾的底层水体中, HCH 的底层含量几乎都高于 4 月的。

### 3.4. 1983 年季节分布

胶州湾水域的水体中,在 5 月,水体中 HCH 的表层含量 0.144~0.461  $\mu\text{g/L}$ ; 在 9 月,水体中 HCH 的表层含量 0.325~0.768  $\mu\text{g/L}$ ; 在 10 月,水体中 HCH 的表层含量 0.134~0.487  $\mu\text{g/L}$ 。9 月海水中的 HCH 含量明显高于 4 月。在表层,以同样的站位,分别作 9 月与 5 月和 10 月的 HCH 表层含量的差,得到都为正值,分别为 0~0.331 和 0.07~0.554。这表明在 9 月,胶州湾的表层水体中 HCH 的表层含量都高于 5 月和 10 月的。在底层,以同样的站位,分别作 9 月与 5 月和 10 月的 HCH 底层含量的差,得到都为正值,分别为 0.047~0.209 和 0.035~0.224。这表明在 9 月,胶州湾的底层水体中 HCH 的底层含量都高于 5 月和 10 月的。

### 3.5. 1984 年季节分布

胶州湾水域的水体中,在 7 月,水体中 HCH 的表层含量 0.086~0.255  $\mu\text{g/L}$ ; 在 8 月,水体中 HCH 的表层含量 0.089~0.132  $\mu\text{g/L}$ ; 在 10 月,水体中 HCH 的表层含量 0.097~0.156  $\mu\text{g/L}$ 。7 月海水中的 HCH 含量明显高于 10 月,对此,夏季的 HCH 含量高于秋季。

### 3.6. 年季节变化

通过 1979 年的 HCH 含量数据,使用抛物线方程用最小二乘法建立最佳近似解的方程,变量为时间  $t$ , 单位为月,每月以 30 天计算,函数为 HCH 含量,并且画出模拟曲线。通过 1979 年的 HCH 高含量,建立方程  $y = -1.2719x^2 + 20.235x - 67.998$  ( $R^2 = 1$ ), 并且带有园点的模拟曲线; 通过 1979 年的 HCH 低含量,建

立方方程  $y = -0.5824x^2 + 9.2921x - 31.671$  ( $R^2 = 1$ ), 并且带有方框的模拟曲线(图 1)。可以看到 HCH 高含量的高峰值出现在 8 月, HCH 低含量的高峰值也出现在 8 月。而且, 在 HCH 高、低含量的模拟曲线中, 只有唯一 8 月的高峰值。无论从 8 月向前到 4 月, 还是向后到 11 月, 都是从 8 月的高峰值沿着时间变化一直在降低。

1981 年的 HCH 含量数据与 1979 年的具有同样的变化。1979 年和 1981 年的 HCH 含量都具有高污染源<sup>[15]</sup>, 一年中的最高值在 8 月。

从 1979 年到 1984 年, HCH 含量一直在降低<sup>[13]</sup>。随着 HCH 含量的降低, 一年中的最高值也从 8 月逐渐向 4 月或者 11 月方向移动。1982 年 HCH 含量的高峰值出现在 6 月, 1983 年 HCH 含量的高峰值出现在 9 月, 1984 年 HCH 含量的高峰值出现在 7 月。

### 3.7. 月降水量变化

在 1982 年 6 月~2007 年之间, 青岛地区的气候平均月降水量的季节变化趋势非常明显。以夏季为最高, 与春、秋、冬季相比, 每年只有一个夏季的高峰值。以冬季为最低, 与春、夏、秋季相比, 每年只有一个冬季的低谷值。在 1 月, 降水量是一年中最低的, 最低值 11.8(mm)。从 1 月开始缓慢上升, 在 5 月, 降水量增加加快, 一直到 8 月, 经过 7 个月的上升。在 8 月, 降水量增长到高峰值 150.3(mm)。然后开始迅速下降, 在 11 月, 降水量减少放慢, 一直到 1 月, 经过 5 个月的下降, 达到低谷值(图 2)。接着又周而复始。在 11 月, 降水量为 23.4(mm), 在 4 月, 降水量为 33.4(mm)。这表明从 11 月一直到第二年的 4 月, 这 5 个月的降水量都低于 33.4(mm)。

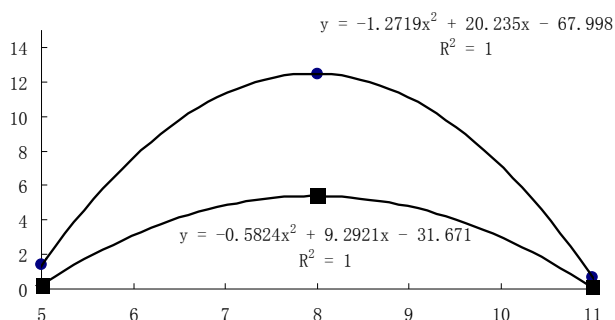


Figure 2. The dot stands for the curve of the high content of HCH in 1979; the pane stands for that of the low in 1979  
图 2. 图中的圆点代表 1979 年 HCH 高含量的曲线; 图中的方框代表 1979 年 HCH 低含量的曲线

## 4. 讨论

### 4.1. 施用量

通过 1970 到 1980 年的山东省烟台地区<sup>[16]</sup>, 了解农药的施用状况。当时, 历年使用的农药种类, 以有机氯农药为主, 用量最多的是 6% 和 6% 以下的 HCH 粉剂, 甲六及乙六粉剂。而且, HCH 施用量从 1970 到 1980 年, 每年有成万吨 HCH、粘虫散等农药倾倒在粮田里, 大片农田在继续遭受污染。在山东省烟台地区全面实行小麦、玉米连作套种栽培制<sup>[16]</sup>, HCH 施用的时间是麦收季节正值二代粘虫发生期, 为了保证玉米全苗, 麦收前必须连续施药防治粘虫。也就是麦田套种玉米, 麦收前, 为防治粘虫, 大量使用有机氯农药, 主要有 HCH 粉剂等。

对此, 在农田里, 在 6~8 月期间, 大量施用农药 HCH, 也是害虫最猖獗的时期。同时, 在林地、菜园和果园等土地上, 也都施用了大量的 HCH。

### 4.2. 河流输送

HCH 是长期以来用以防治害虫的农药, 它们具有药效好、成木低、残效长、对人畜急性毒性等许多优点<sup>[17]</sup>。

在 1980 年, 调查检测结果证实, 烟台地区各县, 由于长期连续使用大量粘虫散、HCH 粉剂和 DDT 粉剂等有机氯农药, 致使其农田土壤和灌溉水以及在这些农田上种植的小麦都已普遍遭受到严重的污染。在小麦和土壤中, HCH 和 DDT 残留量检出率均达 100%, 灌溉用水无论是地面水和地下水, HCH 的检出率也是 100%<sup>[16]</sup>。

1983 年禁止使用, 到 1992 年还在农业区域环境中存在。例如, 从 1992 年开始对宁波市农业区域环境污染状况进行调查、监测和评价<sup>[3]</sup>, 对菜地、果园、茶园土壤监测, HCH、滴滴涕总量检出率达 100%; 蔬菜中 HCH 检出率为 86.8%、DDT 为 72.4%; 茶叶中 HCH、滴滴涕检出率达 100%。

由此, 认为在农田、菜地、果园、茶园等等土壤中都有 HCH 的残留量。而且在地面水和地下水都有 HCH 的残留量, 这说明 HCH 从土壤中迁移到水中。

HCH 属于有机氯农药, 它们的化学性质十分稳定, 在酸、碱、高温环境下不易被分解破坏, 也不易为微生物所分解, 也很难溶于水, 施于土壤后消失一

半需数年至数十年的时间<sup>[17]</sup>。这说明 HCH 在水里迁移过程中，一直保持其稳定化学性质。

在 1982 年 6 月~2007 年之间，青岛地区的气候平均月降水量是在 8 月，降水量增长到高峰值。而且，在 1979 年和 1980 年的 HCH 含量都具有高污染源，一年中的最高值在 8 月。因此，这表明降水量的增长，雨水的冲刷将地面上和土壤中的 HCH 带到河流中。然后，通过河流的输送，将 HCH 带到胶州湾。这样，在胶州湾的 HCH 含量是随着降水量在变化。

### 4.3. 陆地迁移过程

在胶州湾水域，HCH 的含量随着季节的变化进行迁移。

#### 1) 在春季

在春季，海泊河、李村河和娄山河均从湾的东北部入海，这些河流从陆地带来大量农业污水，里面含有土壤中残留得有机氯农药 HCH。这样展示了：湾的东北部水域 HCH 的含量较高，往西南方向递减。其西南水域包括湾中心、湾口和湾外 HCH 的含量较低。

在春季，天气才开始转暖，农业害虫还没有大量出现。农业也才开始春耕，没有大量的 HCH 等杀虫剂的施用。因此，在春季，输入胶州湾水域 HCH 的含量与夏季相比，相对较低。

#### 2) 在夏季

在夏季，8 月份处于雨季，降雨量显著增加，沉积于土壤和地表中的农药残留物经过雨水的冲刷汇入江河。河流处于汛期时，胶州湾地区最大的河流大沽河从即墨盆地和胶莱平原带来了大量的农药残留入海，导致胶州湾海域水体中 HCH 的含量大量增加。这样展示了：在夏季，HCH 的含量达到最高，比其他季节高出几十倍，并且靠近即墨盆地和胶莱平原农业区的近岸水域含量更高。同样，河流处于汛期时，通过海泊河、李村河和娄山河均从湾的东北部入海，带来了大量的农药残留入海，导致胶州湾海域水体中 HCH 的含量大量增加。这样展示了：在夏季，湾的东北部水域 HCH 的含量相对较高，往西南方向递减。其西南水域包括湾中心、湾口和湾外 HCH 的含量较低。

胶州湾地区的主要农业区，位于西北地区的即墨盆地和胶莱平原以砂姜土壤为主，适合种植业的发展。进入夏季以后，各种农作物、植物进入生长的旺盛期，农业害虫开始增多，HCH 等杀虫剂的施用大量

增加。这样，从春季到夏季，输入的胶州湾水域 HCH 的含量也在增加。因此，在夏季，输入的胶州湾水域 HCH 的含量与春季相比，相对较高。

#### 3) 在秋季

在秋季，雨季结束了。在 11 月，降雨量也显著减少，输送 HCH 的河流流量也大大降低。这样展示了：在秋季，整个胶州湾水域的 HCH 的含量在一年中都非常低。

在秋季，气候寒冷，昆虫的活动几乎绝迹。同时，农作物也收割了，农民不必施用农药驱赶农业害虫，没有了人类对陆源污染。因此，在秋季，输入的胶州湾水域 HCH 的含量与春季相比，相对较低，与夏季相比，相对更低。在整个胶州湾水域，秋季的 HCH 含量是一年中最低的。

#### 4) 模型框图

在 1979 年~1984 年(缺 1980 年)期间，在胶州湾水体中 HCH 的含量的季节分布，是由陆地迁移过程所决定，HCH 的陆地迁移过程出现三个阶段：人类对 HCH 的施用、HCH 沉积于土壤和地表中、河流和地表径流把 HCH 输入到海洋的近岸水域。这可用模型框图来表示(图 3)。HCH 的陆地迁移过程通过模型框图来确定，就能分析知道 HCH 经过的路径和留下的轨迹。对此，三个模型框图展示了：HCH 从生产到土地是由人类来决定，然而，从土地到海洋是由雨量来决定。

### 4.4. 年变化的证实

从 1979 年到 1984 年，HCH 含量一直在降低<sup>[14]</sup>。在春季，整个胶州湾表层水体中 HCH 的表层含量达到了一年中与秋季相比，相对较高。在夏季，表层水体中 HCH 的表层含量达到了一年中的最高值。在秋季，表层水体中 HCH 的表层含量达到了一年中的最低值。HCH 的季节变化形成了春、夏、秋季的一个峰值曲线。尤其在 1979 年和 1981 年的 HCH 含量都具有高污染源<sup>[15]</sup>，一年中的最高值在 8 月。

从春季雨季开始，在夏季雨量比较大，到秋季

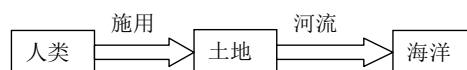


Figure 3. The Schematic diagram of the Land transfer process of HCH

图 3. HCH 的陆地迁移过程模型框图

雨季结束。于是向近岸水域输入 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。这样展示了: HCH 含量从春季到夏季增加,在夏季达到峰值,从夏季到秋季下降。通过胶州湾沿岸水域,季节的 HCH 含量变化,证明了 HCH 的陆地迁移过程。

## 5. 结论

在 1979 年~1984 年(缺 1980 年)期间,在时间尺度上,在胶州湾,夏季的表层水体中 HCH 的表层含量几乎都高于春季的,而春季的表层水体中 HCH 的表层含量都高于秋季的。这样,整个胶州湾水域,从春季到夏季, HCH 含量是增加的;从夏季到秋季, HCH 含量是减少的。在空间尺度上,胶州湾的西北部水域有大沽河的入海口,为湾的西北部近岸水域提供了河流的输送;胶州湾的东北部水域有海泊河、李村河和娄山河的入海口,为湾的东北部近岸水域提供了河流的输送。这都展示了 HCH 的含量变化有梯度形成:从大到小呈下降趋势。因此,通过 HCH 在胶州湾水域的分布、来源和季节变化以及该地区的雨量大小变化,作者认为向近岸水域输入 HCH 的含量是随着河流或地表径流的大小而变化,也就是随着雨量的大小而变化。HCH 含量变化由胶州湾附近盆地的雨量大小所决定。

通过胶州湾沿岸水域的 HCH 含量变化,展示了 HCH 的陆地迁移过程。在时空分布上,整个胶州湾水域,由春季的 HCH 含量增加,到夏季高峰,然后到秋季降低到低值,与胶州湾的入湾河流的流量变化相一致。这表明,在七十年代末,非常泛滥的使用 HCH,造成大量的土壤中的残留通过地表径流等方式汇入胶州湾水域。在陆地迁移过程中,随着夏季的 HCH 等杀虫剂的施用大量增加和降雨量显著增加,沉积于土壤和地表中的农药残留物经过雨水的冲刷汇入江河。因此,在胶州湾,通过大沽河、海泊河、李村河和娄山河均从湾的北部入海,都带来了大量的农药残留入海。在夏季,胶州湾北部海域水体中 HCH 的含量大量增加,输入胶州湾水域的 HCH 含量与春季相比,相对较高。随着昆虫的绝迹、农作物的收割,农药的使用停止了,陆源污染没有了,输送 HCH 的河流流量的降低。在秋季,整个胶州湾水域的 HCH 的浓度都非常低。

我国于 1983 年开始禁用 HCH,这样,农民就不能用含有 HCH 的农药了,就没有向农田里输入 HCH,那么向海洋输入的只有土壤中残留的 HCH 通过地表径流方式汇入近岸水域。于是,在胶州湾沿岸水域,展示了:输入胶州湾海域水体中的 HCH 含量很低,而且表层 HCH 的含量由北部的近岸向南部的湾口方向递减。

在 1979 年~1984 年(缺 1980 年)期间,在胶州湾水体中 HCH 的含量的季节变化,是由陆地迁移过程所决定。HCH 的陆地迁移过程出现三个阶段:人类对 HCH 的施用、HCH 沉积于土壤和地表中、河流和地表径流把 HCH 输入到海洋的近岸水域。这可用模型框图展示了: HCH 从生产到土地是由人类来决定,然而,从土地到海洋是由雨量来决定。

## 参考文献 (References)

- [1] 华小梅, 单正军. 我国农药的生产、使用状况及其污染环境因子分析[J]. 环境科学进展, 1996, 4(2): 33-45.
- [2] T. Colborn, M. G. Smolen and R. Rollland. Environmental neurotoxic effects: The search for new protocols in functional teratology. *Toxicology and Health*, 1998, 14(1-2): 9-13.
- [3] 赵玲, 马永军, 董爱平. 宁波农业生态环境污染现状研究[J]. 农业环境与发展, 2002, 19(4): 15-17.
- [4] 杨科壁, 王建中, 张平等. 六六六在自然界中的环境行为及其危害消除研究现状[J]. 河南农业科学, 2006, 35(10): 67-70.
- [5] 张玉廷, 肖彦春, 刘艳. 辽东湾鲅鱼圈水域螺类水产品中六六六农药污染调查[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2006, 8(4): 10-12.
- [6] V. M. Savinov, T. N. Savinova, G. G. Matlshov, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorines (OCs) in bottom sediments of the Guba Pechenga, Barents Sea, Russia. *Science of the Total Environment*, 2003, 306(1): 39-56.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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, 2009, 28(2): 69-77.
- [10] 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, 2009, 28(4): 69-79.
- [11] 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, 2010, 29(1): 59-66.
- [12] 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, 2010, 29(2): 72-76.
- [13] 日本气象厅[URL]. <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
- [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] 胡庆永. 山东省烟台地区有机氯农药污染状况调查研究[J]. 山东农学院学报, 1981, 2: 59-72.
- [17] 杨海峰. 蔬菜上为何禁用六六六、滴滴涕[J]. 新疆农业科学, 1979, 3: 38-39.