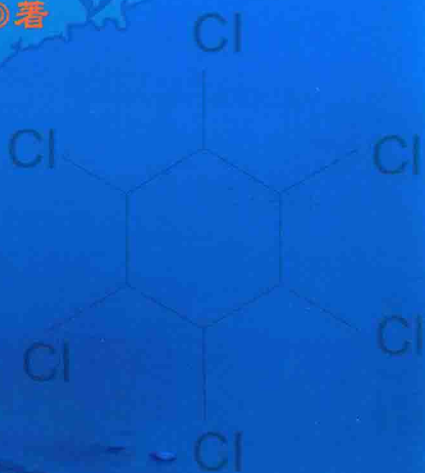


胶州湾主要污染物及其生态过程丛书 (1)

# 胶州湾六六六的 迁移过程及变化趋势

Transferring Process and Changing Trend of  
Hexachlorocyclohexane( $C_6H_6Cl_6$ ) in Jiaozhou Bay, China

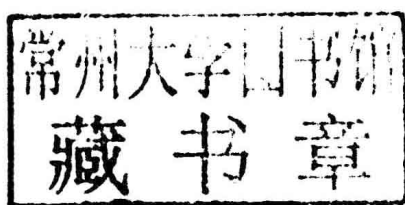
杨东方 杨丹枫◎著



科学出版社

# 胶州湾六六六的迁移过程 及变化趋势

杨东方 杨丹枫 著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书创新地从时空变化来研究六六六(HCH)在胶州湾水域的分布和迁移过程。在空间尺度上,通过每年六六六的数据分析,从含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布的角度,研究六六六在胶州湾水域的来源、水质、分布及迁移状况,揭示了六六六的迁移规律。在时间尺度上,通过10年六六六的数据探讨,研究有机农药六六六在胶州湾水域的变化过程,展示了六六六的迁移过程 and 变化趋势:①含量的年份变化;②污染源变化过程;③陆地迁移过程;④水域迁移过程;⑤沉降过程。这些规律和变化过程为研究六六六在水体中的迁移提供了扎实的理论基础,也为其他有机化合物在水体中的迁移研究给予启迪。

本书共分为21章。主要内容为六六六在胶州湾水域的来源、水质、分布和迁移状况,以及六六六的迁移规律、迁移过程 and 变化趋势等。

本书适合海洋地质学、环境学、化学、物理海洋学、生物学、生物地球化学、生态学、海湾生态学和河口生态学的有关科学工作者和相关学科的专家参阅,适合高等院校师生作为教学和科研参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

胶州湾六六六的迁移过程及变化趋势/杨东方,杨丹枫著. —北京:科学出版社, 2015. 6

(胶州湾主要污染物及其生态过程)

ISBN 978-7-03-044637-4

I. ①胶… II. ①杨… ②杨… III. ①黄海—海水分析化学 ②黄海—水质监测 IV. ①P734.4 ②X832

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124621号

责任编辑:马俊/责任校对:郑金红

责任印制:徐晓晨/封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年6月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015年6月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:292 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

六六六(HCH)的含量在海域水体中分布的均匀性,揭示了在海洋中的潮汐、海流的作用下,使海洋具有均匀性的特征。就像容器中的液体,加入物质,不断的摇晃、搅动。潮汐就像垂直摇晃,而海流就像水平搅动。随着时间的推移,使其物质的含量在液体中渐渐地均匀分布。这样,海洋的潮汐、海流对海洋中所有物质的含量都进行搅动、输送,使海洋中的所有物质在海洋的水体中都是非常均匀地分布。在近岸浅海主要靠潮汐的作用,在深海主要靠海流的作用,当然还有其他辅助作用,如风暴潮、海底地震等。所以,随着时间的推移,海洋尽可能使海洋中所有物质的含量都分布均匀,故海洋具有均匀性。

可爱的大海如此伟大,我却如此渺小。

杨东方

摘自《胶州湾水域有机农药六六六的分布及均匀性》。

海岸工程, 2011, 30(2): 66-74.

人类很聪明,为了自己的利益,就发明了杀虫力极强的杀虫剂 HCH。这种有机氯杀虫剂对于农业上几种主要害虫,如蝗虫、稻螟、棉蚜、玉米螟及地下害虫等,都可以起到防治作用。这样,食物链就会在昆虫类这里断开,沿着食物链向上的鸟类等动物都遭遇了食物的缺乏。即使在食物链的昆虫类位置上没有断开, HCH 在昆虫类生物体内累积,通过食物链的传递,连人类自身都受到杀虫剂 HCH 毒性的危害。另外,农药 HCH 的大量使用,经过河流和地表径流输送,污染了陆地、江、河、湖泊和海洋,最后污染了人类生活的环境,危害了人类的健康。人类不应既危害了地球上其他生命,反过来又危害到自己的生命。人类要适应赖以生存的地球,要顺应大自然规律,才能够健康可持续地生活。

陈 豫

摘自 Effect of HCH on the Jiaozhou Bay Waters-The transfer laws of HCH.

*Procedia Environmental Sciences*. 2012, 16: 271-278.

## 主 编 简 介



**杨东方** 1984年毕业于延安大学数学系(学士)。1989年毕业于大连理工大学应用数学研究所(硕士),研究方向:Lenard 方程唯  $n$  极限环的充分条件、微分方程在经济管理生物方面的应用。1999年毕业于中国科学院青岛海洋研究所(博士),研究方向:营养盐硅、光和水温对浮游植物生长的影响,专业为海洋生物学和生态学。同年在青岛海洋大学化学化工学院和环境科学与工程研究院做博士后研究工作,研究方向:胶州湾浮游植物的生长过程的定量化初步研究。2001年出站后到上海水产大学工作,主要从事海洋生态学、生物学和数学等学科教学,以及海洋生态学和生物地球化学领域的研究。2001年被国家海洋局北海分局监测中心聘为教授级高级工程师。2002年被青岛海洋局一所聘为研究员。

2004年6月被核心期刊《海洋科学》聘为编委。2005年7月被核心期刊《海岸工程》聘为编委。2006年2月被核心期刊《山地学报》聘为编委。2006年11月被温州医学院聘为教授。2007年11月被中国科学院生态环境研究中心聘为研究员。2008年4月被浙江海洋学院聘为教授。2009年8月被中国地理学会聘为环境变化专业委员会委员。2011年12月被核心期刊《林业世界》聘为编委。在2011年12月被浙江海洋学院聘为生物地球化学研究所的所长。2012年11月被国家海洋局闽东海洋环境监测中心站聘为项目办主任。2013年3月被陕西理工学院聘为汉江学者。2013年11月被贵州民族大学聘为教授。曾参加了国际 GLOBEC(全球海洋生态系统研究)研究计划中的由18个国家和地区联合进行的南海考察(在海上历时3个月),以及国际 LOICZ(沿岸带陆海相互作用研究)研究计划中在黄海、东海的考察及国际 JGOFS(全球海洋通量联合研究)研究计划中在黄海、东海的考察。并且多次参加了青岛胶州湾、烟台近海的海上调查及数据获取工作。曾参加了胶州湾等水域的生态系统动态过程和持续发展等课题的研究。

发表第一作者的论文165篇,出版第一作者的专著和编著47部;非第一作者论文45篇。截至2014年2月9日,在中国知网数据库查到其为第一作者的论文58篇,共被引用695次。目前,其正在进行西南喀斯特地区、胶州湾、浮山湾和长江口及浙江近岸水域的生态、环境、生物地球化学过程的研究。

## 作者发表的本书主要相关文章

1. 杨东方, 高振会, 曹海荣, 温国义, 孙莉莉. 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.
2. 杨东方, 高振会, 孙培艳, 王磊磊, 谢利. 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.
3. 杨东方, 高振会, 黄宏, 郭军辉, 张友簏. 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.
4. 杨东方, 石强, 郭军辉, 唐伟, 丁咨汝. 胶州湾水域有机农药六六六的分布和稀释过程[J]. 海岸工程, 2010, 29(1): 59-66.
5. 杨东方, 郭军辉, 丁咨汝, 吴绍渊, 石强. 胶州湾水域有机农药六六六的分布和残留量[J]. 海岸工程, 2010, 29(2): 62-69.
6. 杨东方, 陈豫, 吴绍渊, 丁咨汝, 石强. 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
7. 杨东方, 苗振清, 丁咨汝, 徐焕志, 曹根庭. 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
8. 杨东方, 丁咨汝, 郑琳, 卜志国, 石强. 胶州湾水域有机农药六六六的分布及均匀性[J]. 海岸工程, 2011, 30(2): 66-74.
9. 杨东方, 郑琳, 姜欢欢, 石强, 丁咨汝. 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, 2011, 30(4): 56-65.
10. 杨东方, 丁咨汝, 石强, 陈豫, 张友簏. 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.
11. 杨东方, 苗振清, 徐焕志, 丁咨汝, 胡海燕. 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.
12. 杨东方, 苗振清, 宋爱云, 孙静亚, 高鹏. 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.
13. 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.
14. Yang Dongfang, Ding Ziru, Miao Zhenqing, Xu Huanzhi, Bai Hongyan. Input Quantity and Distribution of hexachlorocyclohexane(HCH) in the Jiaozhou Bay

Water[J]. Journal of Water Resource and Protection. 2012, 4 (3): 140-148.

15. 杨东方, 白红妍, 张饮江, 常彦祥, 曲宪成. 胶州湾水域有机农药六六六的分布及环境本底值[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31 (7): 112-118.

16. Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, Wang Yi, Yang Xiuqin. Persistence of Organic Pesticide HCH in waters[J]. Meterological and Environmental Research, 2014, 5 (3): 37-41.

17. Yang Dongfang, Song Wenpeng, Xu Zijun, Geng Xiao, Yang Danfeng. Distribution of Organic Pesticide HCH in Jiaozhou Bay[J]. Meterological and Environmental Research, 2014, 5 (4): 36-37.

18. 杨东方, 王凤友, 贺华中, 朱四喜, 吴云杰. 有机农药六六六的垂直水体效应[J]. 2014. (接受)

19. 杨东方, 王凤友, 赵孝梨, 吴云杰, 朱四喜. 有机农药六六六的水平水体效应[J]. 2014. (接受)

20. 杨东方, 朱四喜, 王凤友, 贺华中, 杨秀琴. 有机农药六六六的水体效应[J]. 2014. (接受)

21. 陈豫, 艾鸿, 赵慧娟, 杨丹枫, 杨东方. 禁用后有机农药六六六含量的年份变化[J]. 2014. (投稿)

22. 杨东方, 艾鸿, 杨丹枫, 赵慧娟, 陈豫. 禁用后有机农药六六六含量的来源变化[J]. 2014. (投稿)

# 自序

人类很聪明,为了自己的利益,就发明了杀虫力极强的杀虫剂六六六(HCH)。这种有机氯杀虫剂对于农业上几种主要害虫,如蝗虫、稻螟、棉蚜、玉米螟及地下害虫等,都可以起到防治作用。然而,其毒性大,难分解,分布广,危害重,在大量使用的同时也给环境造成难以修复的危害。而且,其化学性质稳定,在环境中残留持久,不易降解,在生物体内累积,通过食物链传递构成了对人类和生态系统潜在的危害。从20世纪60年代开始,我国土壤大面积施用HCH、DDT等农药长达20多年。由于其用量大,已对环境造成极其严重的污染,威胁着人类的健康。而且在1983年禁用HCH后,水体中HCH的含量也一直在不断地变化着,长期对环境进行干扰和对人类造成损害。因此,本书揭示了六六六(HCH)在水体中的迁移规律、迁移过程和变化趋势等,为六六六(HCH)等有机化合物的研究提供了结实的理论基础,也为消除六六六(HCH)等有机化合物在环境中的残留、治理六六六(HCH)等有机化合物的环境污染提供理论依据。

本书获得贵州民族大学博士点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究”(TZJF-2011年-44号)项目、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室”(黔教合KY字[2012]003号)项目、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0659)项目、“西南喀斯特地区人工湿地植物形态与生理的响应机制研究”(黔省专合字[2012]71号)项目、“复合垂直流人工湿地处理医药工业废水的关键技术研究”(筑科合同[2012205]号)项目、水库水面漂浮物智能监控系统开发(黔教科[2011]039号)项目、水面污染智能监控系统的研发(TZJF-2011年-46号)项目、贵阳市水面污染智能监控系统的研发项目、基于信息融合的贵州水资源质量智能监控平台研究项目、贵州民族大学引进人才科研项目([2014]02)、土地利用和气候变化对乌江径流的影响研究(黔教合KY字[2014]266号)、威宁草海浮游植物功能群与环境因子关系(黔科合LH字[2014]7376号)以及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、浮山湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

在书中,有许多阐述、方法、规律、过程、机制和原理,它们要反复应用,解决不同的实际问题和阐述不同的现象和过程。于是,出现许多次相同的段落。同时,有些段落作为不同的条件,来推出不同的结果;有些段落来自于结果,又作为条件来推出新的结果。这样,就会出现有些段落的重复。如果只能第一次用,

以后不再用, 这样在以后的解决和说明中就不完善, 无法有充分的依据来证明结论, 而且方法、规律、过程、机制和原理就变得无关紧要了。在书中, 每一章都是独立地解决一个重要的问题, 也许其中有些段落与其他章节中有重复。如果将重复的删除, 内容显得苍白无力、层次错乱。因此, 从读者角度出发, 本书尽可能地保留了完整内容, 以保证每章内容的逻辑性、条理性、独立性、完整性和系统性。

作者通过对胶州湾水域的研究(2001~2015 年)得到以下主要结论。

(1) 根据 HCH 的含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布, 研究发现, 在一年中, HCH 含量在胶州湾水域, 春季、夏季和秋季相比, 春季含量较低, 夏季相对较高, 秋季含量较低; HCH 的表层、底层含量都相近, 水体的垂直断面也分布均匀; HCH 的底层含量变化范围小于表层。

(2) 研究发现, 污染源是面污染源。在有污染源的情况下, 在春季、夏季, 近岸高, 远离岸线, 浓度逐渐降低。在 1983 年我国禁止 HCH 的使用, 胶州湾水域 HCH 的污染源发生了很大变化, 这些变化分为 3 种类型: 重度污染源、轻度污染源以及没有污染源, 并用 3 个模型框图来表示, 这展示了 HCH 污染源的变化过程。在没有污染源的情况下, 在 HCH 来源的迁移过程中, 有陆地来源迁移和海洋水流来源迁移。

(3) 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 3 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。

(4) 根据 HCH 的表层、底层的垂直分布和水平分布, 提出了春季、夏季的 HCH 在胶州湾水域迁移过程的模型框图, 表明了 HCH 的运动轨迹, 清楚地展现了 HCH 含量在春季、夏季的表层、底层的分布规律。在胶州湾, HCH 的垂直分布按照时空分布来划分区域。通过不同的时空区域 HCH 的垂直分布, 提出了 HCH 的水域迁移机制, 阐明了 HCH 垂直分布的规律及原因。

(5) 研究发现, 在禁止 HCH 农药的使用后, HCH 主要来源于土壤中的残留; 通过海水中 HCH 含量的变化认为陆地残留量在衰减, 并且衰减很快。这样, HCH 的变化趋势展现了在胶州湾水体中 HCH 的含量逐年都在减少。

(6) 研究发现, 在胶州湾水域, HCH 底层分布具有 3 个特征, 使我们通过 HCH 表层含量变化就知道其底层含量变化及分布状况。尤其在输入胶州湾水域中, HCH 含量的前锋内, 表层与底层 HCH 的水平分布状况是一致的, 而在 HCH 的前锋外, 表层与底层 HCH 的水平分布状况是不一致的。对此, 本书提出了 HCH 含

量的沉降过程,这展示了 HCH 在时空变化中的迁移路径。在空间和时间的变化尺度上,在胶州湾,HCH 含量的变化证明了沉降过程的作用。

(7)研究认为,HCH 的含量在表层的减少完全依赖胶州湾潮流的稀释,不仅在水体表层中 HCH 含量就会形成低值区域,而且在水体底层中 HCH 含量也会形成低值区域。于是,根据 HCH 的表层、底层的含量变化,提出了 HCH 的水体效应、稀释效应和累积效应,并用模型框图,表明了 HCH 穿过水体的含量变化,定量描述水体对 HCH 的作用。

(8)研究发现,胶州湾水域水体中 HCH 含量的水平分布和垂直分布表明:HCH 的含量在胶州湾水域水体中分布都是非常均匀的。HCH 的含量在海域水体中分布的均匀性,揭示了海洋中的潮汐、海流的作用,使海洋具有均匀性的特征。研究认为,随着时间的推移,海洋通过潮汐和海流尽可能使海洋中所有物质都分布均匀,故海洋具有均匀性。

(9)研究发现,自从 1983 年禁用 HCH 后,水体中 HCH 的含量全部达到一类海水的水质标准,在 1985 年以后,水体中 HCH 的含量都是优于一类海水的水质标准。因此,研究认为,国家制定的海水水质标准在 HCH 含量方面需要修改,以适应新的环境变化。

(10)从含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布的角度,在空间尺度上,阐明了 HCH 在胶州湾海域的来源、水质、分布以及迁移状况等许多迁移规律;在时间尺度上,展示了有机农药 HCH 在胶州湾水域的变化过程 and 变化趋势。据此,提出了 1 个变化趋势:含量的年份变化趋势;4 个变化过程:①污染源变化过程,②陆地迁移过程,③水域迁移过程,④沉降过程。这些规律和变化过程为研究 HCH 在水体中的迁移奠定了基础。

(11)通过 HCH 的水域迁移过程,作者提出了垂直水体的效应、垂直水体的稀释效应和垂直水体的累积效应,给出了其定义和功能,并且用模型框图进行展示。进一步阐述了垂直水体效应的原理。以 1982 年胶州湾水域的 HCH 为例,量化地展示了 HCH 含量在水体中进行垂直迁移的过程。因此,应用作者提出的垂直水体的效应理论,阐明了 HCH 垂直穿过水体的含量变化,清楚地揭示了 HCH 在垂直水体作用下的变化规律。

(12)通过 HCH 的水域水平迁移过程,作者提出了水平水体的效应、水平水体的稀释效应和水平水体的累积效应,给出了其定义和功能,并且用模型框图进行展示。进一步阐述了水平水体效应的原理。以 1983 年的 HCH 为例,量化地展示了 HCH 含量在水体中进行水平迁移的过程。因此,应用作者提出的水平水体的效应理论,阐明了 HCH 水平穿过水体的含量变化,清楚地揭示了 HCH 在水平水体作用下的变化规律。

(13)通过 HCH 的水域迁移过程,作者提出了水体效应理论:水体效应、垂直水体的效应和水平水体的效应。给出了其定义和过程,并且用模型框图进行展示。通过这 3 个定义,就可以定量描述水体对 HCH 的作用。同时,提出了 HCH 水体效应的模型框图,表明了 HCH 穿过水体的含量变化,清楚地展现了 HCH 在水体作用下的变化规律:HCH 的垂直迁移,表层高含量的 HCH 一定在降低,而表层低含量的 HCH 一定在上升。HCH 沿着水平迁移,无论表层含量高低的 HCH 都一定在降低。

(14)研究发现,自从 1983 年禁用 HCH 后,HCH 含量在这一年中都小于  $0.100\mu\text{g/L}$ ,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。而且,水体中 HCH 已经没有季节的变化了。因此,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。

(15)根据 HCH 的表层、底层的垂直分布和水平分布,在 1983 年禁用 HCH 后,HCH 的迁移过程表明: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。而且,表层含量与其对应的底层含量的变化不一致,水体中表层与底层 HCH 的水平分布趋势不一致。只有 HCH 的表层、底层含量相接近。

(16)研究发现,通过禁用前 4 年(1979 年)、禁用年(1983 年)以及禁用后 4 年(1987 年)的胶州湾水体 HCH 的输入量变化,展示了从禁用 4 年前,陆地 HCH 的严重污染,到禁用 4 年后,水域 HCH 的含量很低。这个过程揭示了:人类对地球的破坏过程与地球的自然恢复过程。因此,作者认为:人类不仅应该为自己的利益考虑,也要为环境的持续发展考虑。

(17)通过作者提出的胶州湾水体 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,这揭示了 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。

(18)作者首次提出了 HCH 的生物迁移循环过程,作者认为: HCH 从陆地到海底的缓慢过程中,HCH 经历了陆地迁移过程、水域迁移过程、沉降过程和生物迁移循环过程,尤其是 HCH 要经过一系列的生物迁移的循环。因此,在这些迁移的过程中,HCH 是持久性的存在,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。

(19)研究发现,在 1983 年我国禁止 HCH 的使用后,1985~1989 年,水体中 HCH 含量迅速地减少,没有了季节变化。由于 HCH 在胶州湾水体中的含量是很低的,就出现了胶州湾水体中 HCH 含量在年份的变化是振荡的变化。但是,水

体中低含量的 HCH 却是长期存在的, 很难从环境中消失。

(20) 研究发现, 1984~1989 年, HCH 来源有 3 种类型: 河流来源、地表径流来源和外海来源。河流来源的 HCH 水平分布为半圆式, 地表径流和外海海流来源的 HCH 水平分布为平行式, 输入胶州湾的 HCH 含量的最大来源是外海海流, 其次是地表径流, 最小的是河流。影响到胶州湾 HCH 含量变化的是外海海流对 HCH 的输入, 这展示了 HCH 含量已经在海洋中普遍存在, 证实了杨东方提出的六六六分布的均匀性以及海洋具有均匀性的理论。因此, 即使在胶州湾的含量降低时, 外海还不断的输入, 以保持整体海洋的均匀性, 甚至到海洋的每个角落。

(21) 研究发现, 1979~1989 年(缺 1980 年), HCH 来源一直是面来源。1979~1984 年(缺 1980 年), 无论在 1983 年我国对 HCH 的禁用前后, HCH 的污染源唯一的不变是 HCH 的污染源是面污染源。甚至是在没有污染源的情况下, 进入胶州湾水域的 HCH 来源也是面来源。1985~1989 年, 进入胶州湾水域的 HCH 来源依然是面来源。因此, 1979~1989 年(缺 1980 年), HCH 来源没有受到 1983 年我国对 HCH 禁用的影响, 也没有受到 HCH 含量大幅度变化的影响, 一直是面来源。

有关这方面的研究还在进行中, 本书权为阶段性成果的总结, 欠妥之处在所难免, 恳请读者多多指正。希望读者与作者共同努力, 使祖国海洋环境学研究、世界海洋环境学研究以及地球环境学研究有飞跃发展, 作者将甚感欣慰。

在各位同仁和老师的鼓励和帮助下, 此书出版。作者铭感在心, 谨致衷心感谢。

杨东方 杨丹枫

2015 年 6 月 7 日

# 目 录

## 自序

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 胶州湾水域有机农药六六六分布及迁移 | 1  |
| 1.1 背景                  | 1  |
| 1.1.1 胶州湾自然环境           | 1  |
| 1.1.2 材料与方法             | 1  |
| 1.2 六六六的分布              | 2  |
| 1.2.1 含量大小              | 2  |
| 1.2.2 水平分布              | 3  |
| 1.2.3 垂直分布              | 5  |
| 1.2.4 季节分布              | 5  |
| 1.3 六六六的迁移              | 6  |
| 1.3.1 水质                | 6  |
| 1.3.2 污染源               | 6  |
| 1.3.3 迁移状况              | 6  |
| 1.4 结论                  | 7  |
| 参考文献                    | 8  |
| 第 2 章 胶州湾水域有机农药六六六分布及含量 | 9  |
| 2.1 背景                  | 9  |
| 2.1.1 胶州湾自然环境           | 9  |
| 2.1.2 材料与方法             | 9  |
| 2.2 六六六的分布              | 10 |
| 2.2.1 含量大小              | 10 |
| 2.2.2 水平分布              | 11 |
| 2.2.3 垂直分布              | 12 |
| 2.2.4 季节分布              | 14 |
| 2.3 六六六的迁移              | 14 |
| 2.3.1 水质                | 14 |
| 2.3.2 污染源               | 14 |
| 2.3.3 陆地迁移过程            | 15 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 2.3.4 水域迁移过程 .....                    | 15        |
| 2.4 结论 .....                          | 17        |
| 参考文献 .....                            | 18        |
| <b>第3章 胶州湾水域有机农药六六六的分布及污染源</b> .....  | <b>19</b> |
| 3.1 背景 .....                          | 19        |
| 3.1.1 胶州湾自然环境 .....                   | 19        |
| 3.1.2 材料与方法 .....                     | 19        |
| 3.2 六六六的分布 .....                      | 20        |
| 3.2.1 含量大小 .....                      | 20        |
| 3.2.2 水平分布 .....                      | 21        |
| 3.2.3 垂直分布 .....                      | 24        |
| 3.2.4 季节分布 .....                      | 25        |
| 3.3 六六六的污染源 .....                     | 26        |
| 3.3.1 水质 .....                        | 26        |
| 3.3.2 污染源 .....                       | 26        |
| 3.3.3 表层、底层变化 .....                   | 26        |
| 3.3.4 水体效应 .....                      | 27        |
| 3.4 结论 .....                          | 28        |
| 参考文献 .....                            | 29        |
| <b>第4章 胶州湾水域有机农药六六六的分布和稀释过程</b> ..... | <b>30</b> |
| 4.1 背景 .....                          | 30        |
| 4.1.1 胶州湾自然环境 .....                   | 30        |
| 4.1.2 材料与方法 .....                     | 30        |
| 4.2 六六六的分布 .....                      | 31        |
| 4.2.1 含量大小 .....                      | 31        |
| 4.2.2 水平分布 .....                      | 32        |
| 4.2.3 垂直分布 .....                      | 34        |
| 4.2.4 季节分布 .....                      | 36        |
| 4.3 六六六的稀释过程 .....                    | 36        |
| 4.3.1 水质 .....                        | 36        |
| 4.3.2 污染源 .....                       | 36        |
| 4.3.3 陆地迁移 .....                      | 37        |
| 4.3.4 表层、底层变化 .....                   | 37        |
| 4.3.5 潮汐作用 .....                      | 38        |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 4.4 结论                    | 39 |
| 参考文献                      | 40 |
| 第 5 章 胶州湾水域有机农药六六六的分布和残留量 | 41 |
| 5.1 背景                    | 41 |
| 5.1.1 胶州湾自然环境             | 41 |
| 5.1.2 材料与方法               | 41 |
| 5.2 六六六的分布                | 42 |
| 5.2.1 含量大小                | 42 |
| 5.2.2 水平分布                | 43 |
| 5.2.3 垂直分布                | 45 |
| 5.2.4 季节分布                | 45 |
| 5.3 六六六的残留量               | 45 |
| 5.3.1 水质                  | 45 |
| 5.3.2 来源                  | 45 |
| 5.3.3 陆地迁移与海流输送           | 46 |
| 5.3.4 表层、底层变化             | 46 |
| 5.3.5 潮汐作用                | 47 |
| 5.3.6 残留量作用               | 47 |
| 5.4 结论                    | 47 |
| 参考文献                      | 48 |
| 第 6 章 胶州湾水域有机农药六六六含量的年份变化 | 50 |
| 6.1 背景                    | 50 |
| 6.1.1 胶州湾自然环境             | 50 |
| 6.1.2 数据来源与方法             | 50 |
| 6.2 六六六的含量                | 54 |
| 6.2.1 含量大小                | 54 |
| 6.2.2 变化趋势                | 55 |
| 6.2.3 季节变化                | 55 |
| 6.3 六六六的年份变化              | 55 |
| 6.3.1 水质                  | 55 |
| 6.3.2 含量变化                | 56 |
| 6.4 结论                    | 57 |
| 参考文献                      | 57 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 7 章 胶州湾水域有机农药六六六污染源变化过程  | 58 |
| 7.1 背景                     | 58 |
| 7.1.1 胶州湾自然环境              | 58 |
| 7.1.2 数据来源与方法              | 58 |
| 7.2 六六六的水平分布               | 59 |
| 7.2.1 1979 年 8 月水平分布       | 59 |
| 7.2.2 1981 年 8 月水平分布       | 59 |
| 7.2.3 1982 年 6 月水平分布       | 60 |
| 7.2.4 1983 年 5 月和 9 月水平分布  | 60 |
| 7.2.5 1984 年 7 月和 10 月水平分布 | 61 |
| 7.3 六六六的污染源                | 64 |
| 7.3.1 污染源的变化               | 64 |
| 7.3.2 污染源的变化特征             | 65 |
| 7.3.3 污染源的变化过程             | 65 |
| 7.4 结论                     | 67 |
| 参考文献                       | 67 |
| 第 8 章 胶州湾水域有机农药六六六陆地迁移过程   | 68 |
| 8.1 背景                     | 68 |
| 8.1.1 胶州湾自然环境              | 68 |
| 8.1.2 数据来源与方法              | 68 |
| 8.2 六六六的季节分布               | 69 |
| 8.2.1 1979 年季节分布           | 69 |
| 8.2.2 1981 年季节分布           | 69 |
| 8.2.3 1982 年季节分布           | 69 |
| 8.2.4 1983 年季节分布           | 70 |
| 8.2.5 1984 年季节分布           | 70 |
| 8.2.6 年季节变化                | 70 |
| 8.2.7 月降水量变化               | 72 |
| 8.3 六六六的陆地迁移               | 72 |
| 8.3.1 施用量                  | 72 |
| 8.3.2 河流输送                 | 73 |
| 8.3.3 陆地迁移过程               | 73 |
| 8.3.4 年变化的证实               | 75 |
| 8.4 结论                     | 75 |
| 参考文献                       | 76 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第 9 章 胶州湾水域有机农药六六六水域迁移过程 .....  | 78  |
| 9.1 背景 .....                    | 78  |
| 9.1.1 胶州湾自然环境 .....             | 78  |
| 9.1.2 数据来源与方法 .....             | 78  |
| 9.2 六六六的季节垂直分布 .....            | 79  |
| 9.2.1 1979 年季节垂直分布 .....        | 79  |
| 9.2.2 1981 年垂直分布 .....          | 79  |
| 9.2.3 1982 年垂直分布 .....          | 79  |
| 9.2.4 1983 年垂直分布 .....          | 80  |
| 9.2.5 1984 年垂直分布 .....          | 80  |
| 9.3 六六六的水域迁移 .....              | 80  |
| 9.3.1 污染源 .....                 | 80  |
| 9.3.2 水域迁移过程 .....              | 81  |
| 9.3.3 水域迁移机制 .....              | 83  |
| 9.4 结论 .....                    | 85  |
| 参考文献 .....                      | 85  |
| 第 10 章 胶州湾水域有机农药六六六水域沉降过程 ..... | 87  |
| 10.1 背景 .....                   | 87  |
| 10.1.1 胶州湾自然环境 .....            | 87  |
| 10.1.2 数据来源与方法 .....            | 88  |
| 10.2 六六六的底层分布 .....             | 88  |
| 10.2.1 1979 年底层分布 .....         | 88  |
| 10.2.2 1981 年底层分布 .....         | 90  |
| 10.2.3 1982 年底层分布 .....         | 92  |
| 10.2.4 1983 年底层分布 .....         | 94  |
| 10.2.5 1984 年底层分布 .....         | 96  |
| 10.3 六六六的沉降分布及过程 .....          | 97  |
| 10.3.1 沉降分布 .....               | 97  |
| 10.3.2 水域沉降过程 .....             | 99  |
| 10.4 结论 .....                   | 99  |
| 参考文献 .....                      | 100 |
| 第 11 章 胶州湾水域有机农药六六六水域迁移规律 ..... | 101 |
| 11.1 背景 .....                   | 101 |
| 11.1.1 胶州湾自然环境 .....            | 101 |