

[苏] S. A. 巴登 著

海洋污染和  
海洋污染和  
海洋污染和

# 海洋污染和 海洋生物资源

海洋生物资源  
海洋生物资源  
海洋生物资源

海洋出版社

# 海洋污染和海洋生物资源

[苏] S.A 巴登 著  
吴喻端 王隆发 译  
蔡阿根 张珞平  
吴宝铃 张树茂 校

海洋出版社

1991年·北京

## 内 容 简 介

本书较全面地评述了海洋污染的当前状况和今后的发展趋势，以及各种污染对海洋生物特别是对经济海产品可能的影响程度；较深入地阐述了污染物在海洋生态系统中的生物地球化学行为和生态毒理学，以及在这个领域中的各种主要研究方法。

该书可供从事海洋科学、环境科学、环境保护等方面的科技工作者及有关的大专院校师生参考。

### 海洋污染和海洋生物资源

[苏] S.A.巴登 著

吴喻端 王隆发 译  
蔡阿根 张珞平

吴宝铃 张树茂 校

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）  
新华书店北京发行所发行 昌平建华印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：15 字数：360千字

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷

印数：1-600

ISBN 7-5027-0683-6/X·8 定价：12.00元

## 译 者 的 话

海洋污染及其对海洋生物资源的影响已日益引起人们的关注。全苏海洋渔业和海洋学研究所所长S.A.巴登的《海洋污染和海洋生物资源》一书，较全面地阐述了当前海洋污染的现状和今后的发展趋势及各种污染物对海洋生物，特别是经济海产品可能的影响程度，较深入地评述了污染物在海洋生态系中的生物地球化学行为和生态毒理学以及在这个领域中的各种主要的研究方法。作者收集了1980年以前在此领域中的重要文献资料并全面介绍了作者本人的研究成果。本书的翻译出版对大专院校环境专业的师生和从事环境科学研究的广大科技人员都将是一本很有价值的参考书。

本书由厦门大学海洋系和厦门大学环境科学研究所吴瑜端、王隆发、蔡阿根、张珞平同志翻译。王隆发同志负责翻译第一至第四章；张珞平同志负责翻译第六至第九章；蔡阿根同志负责翻译第五章、第十至第十二章结束语和附录；吴瑜端副教授审阅了全文，译了序言和索引，并总串了全文。最后由国家海洋局第一海洋研究所所长吴宝铃研究员和张树茂同志校阅定稿。

本书是根据1982年英文版翻译的，翻译过程中对原文明显的错误之处，译者都加以改正，必要时还加注说明。由于译者水平有限，译文中必定仍有不少不妥和错误之处，希望读者多予指正。

译 者

1986年7月于厦门

## 引 言

显然，人类对全球海洋生物资源的影响已不再只限于工业开发，而且也通过调节生物产品的部分消耗，海洋农牧化或改变有经济价值的种群的组成和丰度。过去的几十年，人类对海洋生态系的影响已大大增强，结果造成了近海和大洋的污染。大量污染物未加控制地进入海洋环境造成了局部的、区域性的和全球性的污染，干扰了生物过程的自然趋势。由于世界大洋大尺度的环流和生物结构的完整性，任何区域性的环境异常必然反映邻近区域或整个系统的特征状态。这就是为什么近海和远洋的污染及其生物资源问题成为当前国际上一个最受关心的问题之所在。这已反映在许多国际性的科学会议，联合研究计划，政府间协议和公约以及联合国所属的各个机构的活动中。这些机构包括粮农组织（FAO），政府间海事组织（IMCO），教科文组织（UNESCO），国际原子能委员会（IAEA）和世界气象组织（WMO）等。1969年召开的第24届联合国大会（UNGA）和1972年在斯德哥尔摩召开的特别会议的代表认为，全球污染是最重要的生态问题之一。斯德哥尔摩会议之后，在联合国环境计划署内成立了长期的全球海洋环境污染研究的系统。

在苏联，海洋环境保护是自然资源合理开发的一个重要部分，是国家的重点。为保护苏联的内陆海（里海、波罗的海、亚述海和黑海等）和大陆架海域免受污染，政府已采取一系列的措施。但是，防止海洋污染的总力和效果首先取决于所采取的措施的科学基础和合理性。当前特别需要把大量分散的资料加以扼要地概括，并展望今后工作的远景。尤其是生态学的研究更应重视，可是现在还难于确立解决该问题的最合适的方法。因为人为地干扰了海洋环境的化学组成，海洋中的生物过程也将有新的特征。这些变化必然会影响到海洋生物学研究的各个方面和水生生物学作为一个独立学科的今后的发展。

紧迫而新奇的问题，课题和研究方法的特殊性质促使它们在全世界迅速增长，为探明把海洋生物学，实验生态学，毒性学和生物地球化学结合起来的一种新途径提供客观的先决条件。本书试图概括海洋污染研究的一些一般结果。所有最广泛分布的毒物（包括重金属和过渡金属、石油、有机氯化物、表面活性剂和长寿命放射性核素）作为海洋生物特殊的生态因素进行系统的研究。

本书特别强调把水生生物主要的种群和数量及其对毒物扰动效应的反应有关的实验数据，和海洋生态系中毒物的分布和含量的现场调查资料结合起来。过去的文献资料还没有把这两者结合起来。Polikapov（1964）首先把这种方法用于人工放射性核素的研究，并提供了有趣的和有希望的关于海洋环境中人为污染物的各个方面的情况。

对大量的各种各样数据的相关分析，得出某些关于在大范围干扰海洋组分的条件下水生生物特征的结论。书中根据作者本人的研究和所收集到的现有资料，得出最广泛分布的污染物对主要海洋生物种群和代表各种生活型式的生物的致毒浓度和阈值范围。用此范围的低限与海洋中现存的毒物浓度的真实水平相比较，证明了海洋生物大范围生物效应是现实的。说明海洋生物的抗毒能力与活的海洋生物种群的构成和规模是有关系的，生物体的各种组合类型对毒物影响的敏感程度也各不相同。海洋环境大范围污染的主要特点是，最普遍的毒物在海洋生态系中的分布和迁移的特征及其在经济鱼类中的积累。

这些结果和结论以及代表水生生物敏感的系统，它们的各个发育阶段和食物链，必须作为全苏海洋和渔业研究所（VNIRO）和其他海洋渔业研究所开展综合研究首先应考虑的问题，这涉及到生态毒理学控制，预测和防止近海海域（包括波罗的海，黑海，亚述海，里海以及苏联远东地区的一些内陆湖泊）污染的生态学后果。

本书特别注意到了，海水中毒物允许极限浓度的测定。类似的基本问题也存在于医学和淡水毒性学，因为它们很大程度上决定着在水污染条件下为保护生物资源和人类健康所做的所有实际努力，以及技术、法律和其他措施能否成功。

本书根据作者本人所积累的生态毒理学和生物地球化学方面的数据，以及文献中的报道提出了海水中最常见的毒物（包括石油产品、有机氯化物、洗涤剂 and 重金属）对水生生物的允许极限浓度。

在本书中污染物是作为海洋环境中污珠的生态学因素来考虑的，并从生态毒理学和生物地球化学两方面加以研究。由于人类对全球海洋及其生物资源的影响越来越明显，对其后果必须进行客观地评价，并为保护海洋环境免受污染打下生物学基础。这一课题的研究工作必须加强，其研究领域必须扩大。

书中有关作者本人的研究工作始于苏联科学院海洋水文研究所，继而在海洋研究所，现在在苏联渔业和海洋研究所放射和化学生态学实验室（1979）。这些成果是根据作者本人以及VNIRO和其他研究所的协作者们所得到的和发表的许多生物地球化学，生态学和毒性学资料。应该对他们表示衷心地感谢。作者也感谢全苏渔业部各地的实验室工作人员在样品采集和经济鱼类的分析方面所给予的帮助。

全球海洋污染和海洋生物资源是多学科的综合课题，它涉及到海洋生物学，实验生态学，毒性学，水化学，生物地球化学和物理海洋学等学科，本书力求这样做。虽然这种综合性的研究方法很困难，但是从问题本身的性质看来是必要的、正确的。

S.A.巴登

# 目 录

|   |    |
|---|----|
| <b>第一章 世界海洋污染生态学研究的主要趋向和任务</b> .....        | 1  |
| 1.1 概况 .....                                | 1  |
| 1.2 生物地球化学研究 .....                          | 4  |
| 1.3 海洋生态毒理学 .....                           | 5  |
| 1.4 污染控制的生理学原理 .....                        | 7  |
| 1.5 结论 .....                                | 8  |
| <b>第二章 世界大洋生态区系的一般污染模式</b> .....            | 9  |
| 2.1 海洋环境中放射性生态状况的特征与趋势 .....                | 9  |
| 2.2 化学污染的来源和程度 .....                        | 12 |
| 2.3 海洋环境中全球性污染区域的生态特征 .....                 | 21 |
| 2.4 结论 .....                                | 22 |
| <b>第三章 污染物在海洋生态系统中的行为和迁移的生物地球化学特征</b> ..... | 24 |
| 3.1 毒物在海水中的存在形式 .....                       | 24 |
| 3.2 毒物在海洋中的主要生物地球化学特征 .....                 | 29 |
| 3.3 结论 .....                                | 33 |
| <b>第四章 污染物在经济海洋水产品中的累积</b> .....            | 35 |
| 4.1 引言 .....                                | 35 |
| 4.2 经济鱼类的放射性污染 .....                        | 35 |
| 4.3 经济鱼类中的重金属 .....                         | 38 |
| 4.4 经济生物体中的氯代烃 .....                        | 44 |
| 4.5 结论 .....                                | 48 |
| <b>第五章 生态毒理学研究的实验方法、试验生物和测试</b> .....       | 49 |
| 5.1 试验生物和测试方法的概述 .....                      | 49 |
| 5.2 毒性效应评价的区间、效应和标准 .....                   | 50 |
| 5.3 毒性效应的定量估测 .....                         | 52 |
| 5.4 研究单细胞海洋藻类及其生产作用的生态毒理学方法和试验 .....        | 53 |
| 5.5 海洋动物区系重要物种毒理学研究的试验生物和方法 .....           | 55 |
| 5.6 结论 .....                                | 56 |
| <b>第六章 污染物对人工培养的海洋单细胞藻类的影响</b> .....        | 57 |
| 6.1 溶解石油组分的影响 .....                         | 57 |
| 6.2 有机氯毒物的效应 .....                          | 60 |
| 6.3 洗涤剂和石油乳化剂的影响 .....                      | 63 |
| 6.4 重金属和过渡金属的影响 .....                       | 64 |
| 6.5 几种因子的综合效应 .....                         | 71 |
| 6.6 结论 .....                                | 77 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>第七章 海洋初级生产作用与海洋天然浮游植物群落的生态毒理学研究</b> ..... | 78  |
| 7.1 化学毒物对波罗的海初级生产作用的影响 .....                 | 78  |
| 7.2 化学毒物对里海浮游植物和初级生产作用的影响 .....              | 79  |
| 7.3 地中海和红海中浮游植物的生态毒理学研究 .....                | 83  |
| 7.4 结论 .....                                 | 86  |
| <b>第八章 化学毒物影响海洋动物区系的生物学评价</b> .....          | 87  |
| 8.1 对海洋甲壳动物的毒理学研究 .....                      | 87  |
| 8.2 对多毛纲和软体动物门的实验 .....                      | 95  |
| 8.3 对鱼类的实验 .....                             | 96  |
| 8.4 结论 .....                                 | 97  |
| <b>第九章 分布最广的毒物对各种海洋生物群体的效应的一般特点</b> .....    | 99  |
| 9.1 基本假设 .....                               | 99  |
| 9.2 石油烃和其他有机毒物的生物学效应 .....                   | 99  |
| 9.3 重金属和过渡金属的生物学效应.....                      | 103 |
| 9.4 毒物的生物学效应与世界大洋栖居生物的尺寸结构的一般特点.....         | 105 |
| 9.5 结论.....                                  | 110 |
| <b>第十章 海洋环境全球污染的生物学后果</b> .....              | 111 |
| 10.1 污染的生物学和生态学效应的一般特征 .....                 | 111 |
| 10.2 海洋群落干扰因子的“生态靶” .....                    | 115 |
| 10.3 海洋环境化学污染的生物学后果的特性和尺度 .....              | 118 |
| 10.4 结论 .....                                | 120 |
| <b>第十一章 海洋环境中污染物的生态毒理学控制和生物学标准</b> .....     | 121 |
| 11.1 海洋生态毒理学的生物试验系统 .....                    | 121 |
| 11.2 海洋环境毒物浓度的容许含量 .....                     | 123 |
| 11.3 结论 .....                                | 126 |
| <b>第十二章 保护世界大洋不受污染的生态学研究</b> .....           | 127 |
| 12.1 污染控制的一般战略问题 .....                       | 127 |
| 12.2 应用生态学和毒理学的可能性和检测任务 .....                | 130 |
| 12.3 天然水和污水流出液生物试验的一般特征和特殊方式 .....           | 133 |
| 12.4 保护海洋环境不受污染的区域研究 .....                   | 135 |
| 12.5 结论 .....                                | 137 |
| <b>结束语</b> .....                             | 138 |
| <b>附录</b> .....                              | 139 |
| 1. 油对海洋生物的效应 .....                           | 139 |
| 2. 表面活性剂(洗涤剂)对海洋生物的效应 .....                  | 145 |
| 3. 应用于消除溢油的乳化剂和其他表面活性化合物对海洋生物的效应 .....       | 148 |
| 4. DDT、多氯联苯(PCB)和其他有机氯化物对海洋生物的效应.....        | 149 |
| 5. 汞对海洋生物的效应 .....                           | 156 |
| 6. 铜对海洋生物的效应 .....                           | 160 |



|                    |            |
|--------------------|------------|
| 7. 锌对海洋生物的效应 ..... | 165        |
| 8. 铅对海洋生物的效应 ..... | 168        |
| 9. 镉对海洋生物的效应 ..... | 170        |
| <b>参考文献</b> .....  | <b>172</b> |
| <b>题目索引</b> .....  | <b>217</b> |

# 第一章 世界海洋污染生态学研究的主要趋向和任务

## 1.1 概况

全世界每年出版的有关海洋污染的书籍和出版物约有2000种；仅油污染的文章至今总数已超过1万篇(Marine Pollution Bulletin 1974)。在一个短时间内，一门新兴的学科——海洋放射生态学诞生了。它主要研究海洋放射性沾污对生物的影响(Polikarpov, 1961)。1970年在罗马举行的海洋污染粮农组织(FAO)会议期间来自25个不同国家的学者发表了125篇论文。

在苏联，实际上每个从事海洋资源及其开发利用研究的研究所都对海洋污染的某些方面进行研究，其中较为突出的有：

(1) 在苏联国家海洋研究所技术指导下，由水文气象服务中心管理局组织的海洋污染观测和控制的全国网络。

(2) 该研究所对个别海区进行了长期的研究，以便对海区的污染状况作出评价(Simonov 1974)。

(3) 莫斯科大学开展了生物监测方面的基础理论和战略研究(Fedorov, 1975)。

(4) 乌克兰科学院南方诸海海洋生物研究所(Mironov, 1972)和海洋研究所(Nesterova et al., 1975)的油污染和防治方法的研究。

(5) Polikarpov (1964, 1967, 1970)从前领导的研究所和乌克兰科学院海洋水文研究所(Welepov, 1970), Khlopov Radium 研究所(Gedonov et al., 1966, Ivanova and Gedeonov, 1972), 苏联科学院海洋研究所(Popov, 1974; Domanov, 1977), 苏联科学院物理化学研究所(Gromov and Spitsyn, 1975), 拉脱维亚科学院生物研究所(Andrushaitis, 1976), 爱沙尼亚科学院(Aitsam and Tamsall, 1976; Yarvekyul, 1976)及其他研究所对海洋污染的放射生态学及其他领域进行了研究。

由于作为国民经济重要组成部分的渔业对环境水质的恶化特别敏感，人们对由水污染产生的理论和实际问题特别感兴趣。因此，渔业研究所全力投入这个领域的研究。特别是针对鱼类毒性的水毒理学和水中毒物允许浓度的标准化，是海洋和水产研究中心和国家研究所的重要研究课题(Lukyanenko, 1967; Lesnikov, 1973; Gusev, 1975)。全苏海洋渔业和海洋学研究所(VNIRO)以及地方的渔业和渔业资源研究所(亚述海, 里海, 太平洋和大西洋以及极海)(Moiseev and Kardashev, 1964; Fedorov, 1964; Aleksanyan, 1973; Buyanov and Petrov, 1973; Bakunov, 1974; Petrov, 1974)开展了海洋环境和水生生物的人工放射性研究。VNIRO还进行了放射生物学的研究(Shekhanova, 1968)，大西洋渔业和海洋研究所评价了离子辐射对水生物的影响。关于海洋渔业污染的研究是直接针对作为海洋生态因素的化学毒物的(Patin, 1971, 1972; Mazmanidi, 1973; Morozov, 1974; Tkachenko and Aivazova, 1974; Beschetnova et al., 1975; Dokholyan, 1975;

Prokopenko et al., 1975; Bronfman et al., 1976)。这里所列主要研究趋向和任务远非完整,最好还应包括海洋卫生保护领域(Zats, 1971; Ioranskii et al., 1975),在有机污染条件下海洋微生物群落的研究(Mironov, 1971; Toyban, 1976),世界海洋全球生态效应的预测(Barinov, 1972)以及其他课题。

除苏联外,许多国家也从事世界海洋污染的研究,特别是美国(Goldberg, 1970; Eisler, 1971; Bowen et al., 1971; Reish, 1973; Duke and Dumas, 1974; Fisher et al., 1974; Waldichule, 1974; Tarzwell, 1979),英国(Butler, 1971; Bryan, 1971; Prestan, 1973; Portmann, 1975; Nelson Smith, 1975; Coule, 1979),法国(Brisou, 1970; Fontaine, 1972; Bellan et al., 1972; Aubert and Aubert, 1973),瑞典(Fonseilius, 1972; Jensen et al., 1972),日本(Okubo and Okubo, 1962; Ui, 1971),意大利(Bernhard and Zattera, 1975),加拿大(Zitko, 1979),等等。

调查的范围遍于全世界,积累了十分丰富的资料,然而写出的论文竟然只是一些一般性的评论和方法学的研究,即使这些也只限于某海洋污染的某种具体类型,多数是放射性或油污,而且也没能反映问题的全部复杂性。对于这种情况其他专家已有过评论(NAS, 1971; GESAMP, 1975)。

考虑到这一显然不能令人满意的情况,应该创立一个独立和综合的海洋污染科学。为此曾提议把它称为“海洋污染学”(marine molysmology)和“污染学”(rupology), (希腊字分别表示污垢(dirt)和污水(Sewage)。除了研究人类对海洋资源的各种有害影响之外,这种新学科的主要目标应是采取直接行动防止这种有害的影响。这就意味着人类应该建立一个保护和合理利用海洋资源的全球战略,而不只是为了减轻这种有害的影响而已。作者认为,人类的活动将不可避免地影响自然环境,然而,人类将来也一定能够创造出一种合理的和最佳的技术。海洋保护一定会有新的特点,并将集中在解决一些实际问题,如海水中污染物允许极限浓度的测定;某些污染作用的利用(如热污染或富营养的废物)以发展沿岸的海洋耕牧;与防止溢油有关的生态学安全的材料和方法的选择等。

其他作者(包括苏联科学家在内的许多作者)也都表示了相类似的想法(Fedorov, 1972; Ananichev, 1975; Izrael, 1976)。因为环境问题的解决无疑是一个长期、复杂而且充满矛盾的过程,必然引起人和自然界(包括世界海洋)相互关系的变化。因此,环境污染的研究不应该只着眼于对生态的危害程度,而忽视其明显的好处。在这方面我们可以回顾1958—1963年迅速兴起的放射生态学。其研究结果深刻地影响世界舆论,并且为禁止核试验国际条约的签订(莫斯科1963)提供了科学依据。现在对化学污染也有类似的评价:调查了世界海洋的污染程度及其对海洋生物影响的后果,并致力于控制和防止人类的活动对海洋环境产生有害影响,这在国内和国际上已产生了强烈的反响。例如,防止海洋油污染的国际公约(1954年)和禁止船舶排污污染海洋的国际公约(1973年)以及各种区域性协定的实施都无疑地减少了油及其他污染物对海洋的污染。

随着科技的进步,各种污染问题大部分将会得到解决。此外,生态科学仍将做出重要的贡献。因此,生态调查的方法和发展的方向便成为更加迫切的问题。

让我们先回顾一下由专家组(GESAMP, 1969)对世界海洋污染所下的定义:“污染是指人类把物质投入海洋环境而产生的有害效应,如危害生物资源、损害人体健康、妨碍海上作业包括捕捞、降低海水的使用素质以及减少环境的舒适程度等。”这个定义所指的污

染，不仅包括有毒的污染物（见表1.1）（这将在本书的后续章节讨论），而且包括了热污染，病菌微生物、垃圾、悬浮质、营养物以及人为影响水环境质量的各种类型的污染。

严格地说，海洋污染也可以来自天然。例如它可能是海底油气的喷发引起的，或者由于某些微型生物急剧生长随后死亡，这就是造成人们所熟悉的损失巨大的“赤潮”的原因。然而，这个过程和影响即使人们经常仍用类似于调查人为引起的污染效应的方法加以研究，但一般不能把它看作是一种“污染”。

对海洋污染的生态研究分三大类：

- (1) 污染物的生物地球化学
- (2) 海洋生态毒理学
- (3) 防止污染措施的生物学原理

虽然这些方面都是各自独立的，但它们仍像图1.1所示的那样互相依存和补充。

表1.1 世界海洋中大尺度污染分布最广泛的有毒物质

| 污染物的种类和组分         | 毒性 <sup>(a)</sup> | 生物危险程度 <sup>(b)</sup> | 影响范围 |
|-------------------|-------------------|-----------------------|------|
| <b>放射性核素</b>      |                   |                       |      |
| <sup>90</sup> Sr  | 1                 |                       | 全球   |
| <sup>137</sup> Cs | 1                 |                       | 全球   |
| <sup>238</sup> Pu | —                 |                       | 全球   |
| <sup>3</sup> H    | —                 |                       | 全球   |
| <sup>144</sup> Ce | —                 |                       | 全球   |
| <b>有机氯毒剂</b>      |                   |                       |      |
| DDT及其代谢物          | 2                 | ++                    | 全球   |
| PCB               | 2                 | ++                    | 全球   |
| 艾氏剂               | 2                 | ++                    | 全球   |
| 狄氏剂               | 2                 | ++                    | 局部   |
| 高丙体六六六            | 2                 | ++                    | 局部   |
| <b>金属类</b>        |                   |                       |      |
| 甲基汞               | 1                 | ++                    | 全球   |
| Cd                | 3                 | (+)                   | 全球   |
| Hg                | 4                 | ++                    | 全球   |
| Pb                | 4                 | (+)                   | 全球   |
| Zn                | —                 | +                     | 局部   |
| Cu                | —                 | +                     | 区域性  |
| As                | 6                 | (+)                   | 区域性  |
| Cr                | —                 | (+)                   | 局部   |
| Fe                | —                 | —                     | 局部   |
| Mn                | —                 | —                     | 局部   |
| 石油及石油制品           | 5                 | (+)                   | 全球   |
| 去垢剂               | —                 | ?                     | 区域性  |

注：(a) 毒性系指对人体的危害程度，这与联合国环境规划署(UNEP, 1974)所推荐的相一致；

(b) 对海洋生物危害程度：++ 强；+ 该注意；(+) 弱；? 未测定；— 不重要(GESAMP, 1973)。

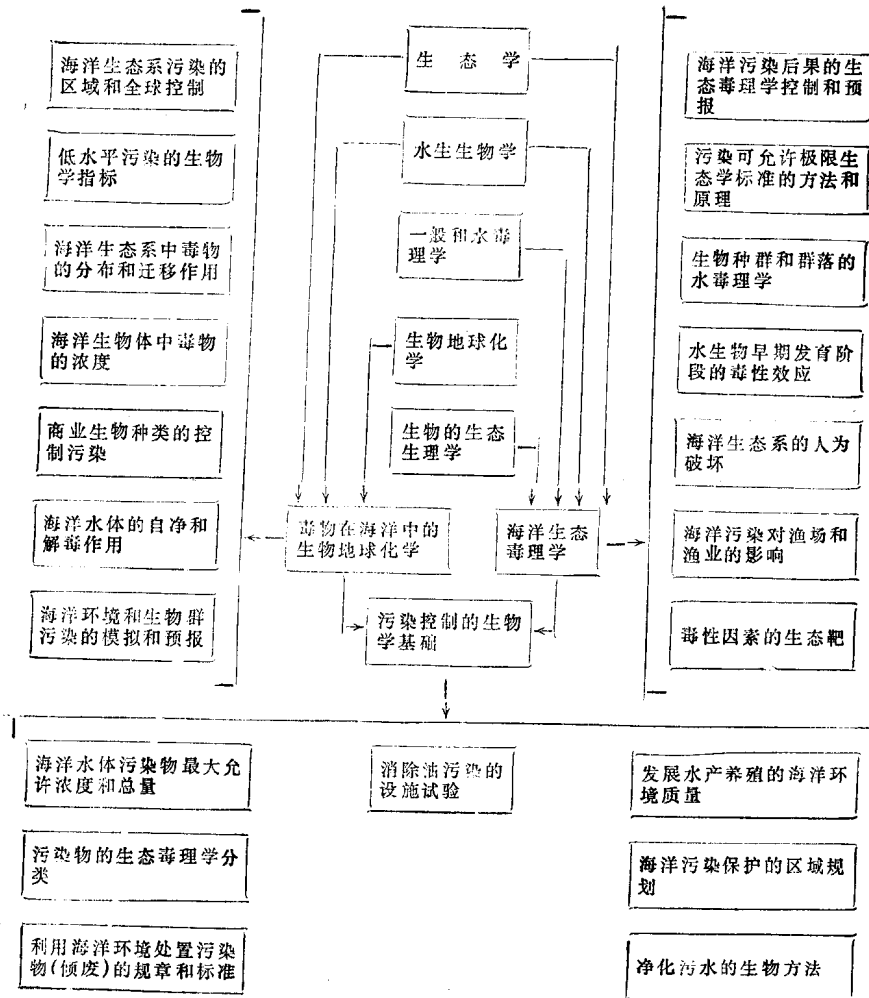


图1.1 海洋污染研究的主要趋向和互相关系的图解

## 1.2 生物地球化学研究

毒物的生物地球化学包括污染源的调查，污染物入海的途径及其在生态系统中生物和非生物组分的积累方式，污染物的迁移速率和机理以及决定毒物在海中的转移和归宿的其他过程。海洋生物体和群落中毒物含量的测定虽然不是决定性步骤，但是个重要的问题。这是个较难分析的问题，因为毒物的化学组成是复杂的，而且浓度又很低。通常采用化学海洋学的方法取样和分析，然后用生物地球化学的概念来解释。生物地球化学原理和方法的发展，包括与生命物质的功能和动力学有关的化学元素的行为和迁移的研究在这里特别适用。尤其是几种重金属（如汞、铅、镉）以天然的和在生态系中作为毒物两种状况存在。然而，生物地球化学评价也可以用于说明其他物质在海洋中的行为。例如，石油及其产品，毒性有机氯化物，表面活性剂，微量杂质在生命物质中的积累，营养物的迁移及其在水环境和生物体中的循环。

最近开始研究的海洋生物地球化学的长远问题包括海洋生态系统中微量污染物一般分布

和浓度、海水和海洋生物体中某些毒物的天然基线值，毒物在海洋环境中的行为和迁移的物理化学因素，污染物迁移中食物链的作用，污染物在生物体中选择性富集的机理，长期低浓度污染的生物学指标的应用，初级生产量对污染物分布和迁移的影响，自净和自解毒过程，污染作用在各地区的平衡和污染物在海洋生态系中分布的数学模式。显然，这几方面的研究与海洋生物学、生态学、地球化学、物理海洋学或化学海洋学的有关方面密切相关。

污染作为海水，尤其是内陆海海水新特征来研究，开始仅在卫生水生物学 (Sanitary hydrobiology) 范围内的研究 (Dolgov和Nikitinsky, 1972; Zhadin和Rodina, 1950; Frantsev, 1967)，主要目标是研究水体自净过程以及与保护人体健康有关的净化水的设备。用污水生物指标来评价水污染的程度主要用于受农业和家庭污水影响的水体。然而，有关海洋环境中稳定毒物(重金属，有机氯化物等)性质的卫生水生物学的研究是很少的。同样也应用于水毒理学，着重用于研究“毒物性质的各种反应机理和幸存种类和种群的生物反应的生物学后果。” (Stroganov, 1972)。

除了进行卫生水生物学和毒理学研究之外，已经积累了大量的海洋生态系中稳定的化学毒物和放射性核素的含量、分布和迁移的资料。这些资料和这一类研究工作的深入开展提供了可靠的基础，使人们确信把生物地球化学方法引入海洋污染的研究是现实的，有前途的。

调查研究的范围和特点可用以说明人为改变海水和海洋生物体中微量元素的天然组成。众所周知，由于各种过程，例如，矿物燃料的燃烧，采矿和冶炼过程中天然矿物的消耗以及金属构件的腐蚀等，每年有数以百万吨计的微量金属分散到生物圈里去。这些物质在世界大洋中完成其地球化学循环，在那儿转化成生物活性形式，并浓缩于海洋生物体中，因而它们能够在这样的环境中引起生物过程的特征和强度显著的变化。某些物质，如汞是很容易迁移的，而且毒性高。这些问题涉及到金属在自然界中的分布，它们在全球海洋中自然平衡的破坏以及这些金属在海洋环境中和水生生物中本底值的确定。目前它们浓缩的程度正在改变，随着人类的活动，将来还会变化，最后可能会危害生物资源，而且最终危害到人类自身。

由于有机氯化物(包括DDT和PCB等)进入海洋环境而出现了其他问题。这些物质在化学上不同于天然物。它们在海洋生态系和生物体中的行为和累积作用在海水污染的生物地球化学研究中是很重要的。

有关海水中毒物的生物地球化学文献的全面评论这对评价全球范围的观测和拟定未来监测人为活动对海洋生态系影响的方法是必需的。因此，我们的工作就集中在有用资料的编纂上；我们的实验目的在于探索支配海洋生态系的放射性和化学污染及其对水生生物的影响的相互关系。

### 1.3 海洋生态毒理学

对此问题研究的第二种类型最好称为“海洋生态毒理学”(Marine ecotoxicology)。这涉及到人类对海洋环境组成的干扰所引起的生物效应和后果的研究。当然，找到这些问题的答案也并不等于就解决了污染的问题，但能对当今世界海洋生态异常的成因找到一条线索，并且可以预测今后可能发生的类似情况。这样的研究为国内或国际上为保护海洋环境使其免受污染的努力提供科学依据。

对此有两种可能的方法可被采用，第一种方法是毒物对水生生物影响的实验性研究，包括水环境中工业污染物最高允许浓度的确定。这实际是指该污染物的量只引起生物或经济鱼

类的损害甚少或一点也不损害的“允许污染”，据此来控制、限制和防止淡水水域和淡水水源被污染是可行的 (Lesnikov, 1973; Strogonov, 1979)。海水中大多数毒物的最大允许浓度 (MPC) 至今还没有制订出标准。把淡水的MPC值外推到海洋来显然是很含糊的。

第二种方法不是直接研究毒性效应，而是研究污染物对海洋生物群落结构和功能特征的综合效应。搞清这个机理的目的在于了解生物种间动态平衡是如何被入为污染扰乱的。这项工作的成功不仅要用适当的实验方法，而且必须恰如其分地说明所获得的关于生物系统的结构、功能、自动调节，以及环境中的扰动因素，极限稳定性，生物、非生物系统和它们栖息环境之间的相互关系。许多不同领域的专家目前正在研究这方面的理论问题。无疑的，海洋生物圈的保护和自然变迁等一系列重要问题，目前仍是薄弱环节。

分析和评价海洋环境污染的生物效应的两种方法之间的不同就相当于生物个体生态和群落生态研究之间的不同，即取决于生物系统的群体水平。Braginski (1975) 指出，在淡水毒理学研究中，具有代表性的个体生物的研究占优势，即首先研究各个生物层次中的毒性效应，而超生物系统的反应基本上未予考虑。这种方法也适用于海洋环境的毒理学研究。目前所调查的种类是自游生物和大型底栖生物的代表，而不是调查发生在污染水域中的生物过程，或决定物质生产和物质循环的主要种类和种群。与此类似，目前所采用的毒性标准并非根据丰富种类的生产率和种群结构的变化来测定的，而是根据个体生物（主要是有经济价值的种类）的成活率以及在剧毒物质的作用下出现的生理生化变化，它是剂量和暴露时间的函数 (Luk Yanenko, 1967a; Metelev et al., 1971)。但其结果，最重要的生态过程和水生生物效应被忽略了。这种情况可用加强群落生态的定向研究以及把毒物作为海洋环境特殊的生态因素的综合研究来弥补。这种研究称为“水生态毒理学” (“Water ecotoxicology”) (FAO, 1972; Lacaza, 1974)。当前苏联和其他国家把它作为淡水水生生物学的一个分支积极地加以研究。在这里，水生生物对污染物的反应不是根据个体，而是根据种群甚至更高水平（包括水域生态系中生物的循环迁移） (Braginskii, 1975)。

在海洋生物学中，生态毒理学方法的使用仅局限于范围狭小的区域研究或存在于海洋环境中的个别毒物，如表面活性剂或石油烃 (Gatellier et al., 1973)。然而海洋生态毒理学能够而且也应该用于工业废污对海洋影响的研究以及毒物法定容许浓度的确定。由于污染物在海水中的大量稀释，显然，急剧的毒性效应往往比淡水来得小。因此海水的毒性标准应通过毒物在自然界中的变化和生产率的变化，变异生物种类的组成，对污染敏感的生物种类的消失，水生生物的种类及其在各个发育阶段的变化，生态系统中生化通道的闭塞以及长期的污染程度较低（低剂量长暴露）时所发生的其他生态失调来决定。

最迫切的海洋生态毒理学问题包括以下几方面：控制的原理和方法的建立，毒物容许浓度的确定，抗毒性的比较研究和最敏感生物种类的鉴别，水生生物的种类及其各发育阶段，海中初级和次级生产力由于污染而引起的异常现象的评价；为确定海水污染可容许浓度的上限提供科学依据；海洋污染的现状分析并预测由此引起的生物、生态后果以及毒物对海洋生态系统影响的数学模式。

由此可见，海洋生态毒理学的任务范围比狭义的“生态系毒理学”更广泛，并且实际上已扩展到生物体。个体生态的研究方法是不能忽视的，在制订计划、做实验和解释实验结果时可把它看作与生态状况有直接联系。这种方法在毒理学的研究实践中是很少遇到的。这项工作包括现场和污染水平的实验模拟，对不同种群产生的反应进行比较评价以及水生生物主



要种和类型在玻璃器皿中的毒性效应。这些水生生物包括单细胞藻类、甲壳浮游动物、早期发育阶段的鱼类和无脊椎动物。许多这样的生物易于培养，并用作生态毒理学研究的测试生物。

受人类影响而发生的生物过程也可根据所研究的种群的组成、结构和生产力的现场观测，其生境污染的空间和时间记录来研究。这样的观测，一方面可建立生产力和群落结构特征之间的相互关系，另一方面确立各种工业污染物或天然存在于海洋环境的微量组分的含量。某些情况下，海水的化学污染程度与初级生产力呈负相关 (Basu et al., 1970; Gopalakrishnan, 1974; Oradovskii et al., 1975)。然而，这些结果不是结论性的，因为在一个动力学的多组分体系中不同效应或因素之间所存在的相互关系未必能证明其因果关系。尤其是海洋生物种群的生产量，即使是长时间，以及从物理上大尺度水域的平均值，也受到如气候变化等自然因素波动的影响。在低污染水平时，当其效应被更大的自然变化所叠加时，人为引起的生态异常就很难以区分 (Glover et al., 1972; Isaacs, 1975)。

另外，还有方法上的改善，即综合现场观测和包括现场试验观测在内的生物试验的优点，以便确定各个污染物和污染群体在尽可能接近自然的条件下，对水生生物天然种群的效应。在所研究的条件下，可以记录到各种毒物不同含量水平下种群的功能和特征，最后可以得出一个有关水域污染作用的一种现实的或预期的图象。

一种类似的方法用于浮游植物群落生态毒理学的研究，即把已知量的毒物加入到一定体积的含有天然生物种群的水体。这已用在我们对海洋浮游植物的研究工作上 (Patin et al., 1973, 1974; Patin and Tkacheuko, 1974; Patin and Ibragim, 1975)。在一个关于现场浮游植物和浮游动物种群的毒性效应的国际研究计划中，采用聚乙烯袋划出大量表层水体 (Parsons, 1974; CEPEx, 1975; Martin, 1979)。类似的技术已成功地用于淡水水域的生物学监测。

上述不同方法的优缺点现在已十分清楚，各种不同情况下选用哪一种方法将取决于研究工作的目标和性质以及与地理区域有关的具体特点。显而易见，要使问题能够完满地解决只有综合应用各种方法才有可能。

海洋毒理学研究的一个重要阶段是对各种水生生物的海洋毒物学以及最常见的毒物的大量资料进行分析比较，从而对海洋毒理学作出总的生态学说明。

就我们所知，这样的研究实际上还不存在，但在这个领域中的研究数量却在稳步地增加，这确实使人感到意外。这种状况显然将妨碍海洋生态毒理学最后上升为一种独立的分支学科。因此，我们试图在本书中对有关文献作出有鉴别的评论。

#### 1.4 污染控制的生物学原理

该课题的第三个主要研究方向是与直接防治污染措施有关的各种生物的、技术的和工艺的研究 (见图1.1)。这种方法将在第12章作部分的讨论。必须指出，对这种自然的研究方法能否成功将直接取决于科学水平和构成实际问题的全部工作基础的生态学研究是否充分、严密。例如，天然水和废水生物学质量鉴别的方法和操作；由入海管道和近岸装置排放污染物可容许的条件和标准的确定；生态学无害的消油剂的选择；养殖水体水质标准的确定等。

海洋污染生态研究的现状和发展趋势的简要论述可以看出这个问题的复杂性以及生态毒理学和生物地球化学之间特别紧密的关系。我们再次强调，毒物的生物地球化学是涉及到水

生生物（种群、群落和群体）对毒物在海洋环境中的分布、迁移和转移的影响，而海洋生态毒理学是涉及到相反的问题，即研究和评价毒性因素对水生生物主要种类和种群的影响；对海洋生物群落结构和功能特征的影响；对生态系的稳定性和生物物质循环的影响。上述两个方面是互相补充的，因为它们都涉及到海洋生物及其受人类活动而发生变化的群落生境之间生态干扰的两个方面。

### 1.5 结论

（1）鉴于世界海洋污染生态研究的深入发展有必要对现有文献进行综合评论，并提出今后最有发展前途的调查方向、原理和方法。

（2）处于几个学科，即普通生态学、水生生物学、生物地球化学和毒理学交界处的两个分支学科是海洋污染物的生物地球化学和海洋生态毒理学。

（3）生物地球化学研究涉及到工业废物在海洋生态系统中的行为（分布、迁移和转化），以及这些污染物如何通过生物的和生理生化过程和通过这些生物在种群、群落和生态系中各生命活动环节而浓集。

（4）海洋生态毒理学涉及相反的问题。毒物对海洋中主要种类、种群和群落的影响，对生态结构、功能特征和稳定性的影响以及由于人为活动改变海洋群落生境引起的其他水生生物学过程和现象的影响。

（5）与海洋污染有关的实际问题的解决必须是生态毒理学和生物地球化学研究密切结合的结果。