

H J H X D

L

环境 化学 导论

华东师范大学出版社

· 王麟生 乐美卿 张太森 编著

· HUANJINGHUAXUE
DAOLUN

· WANGLINSHENG LEMEIQING
ZHANGTAISEN BIANZHU

· HUADONG SHIFAN
DAXUE CHUBAN
SHE

华东师范大学教材出版基金资助出版

环境化学导论

王麟生 乐美卿 张太森 编著



华东师范大学出版社

前 言

人类叩响了新世纪的大门。作为当今地球面临的重大问题之一,作为在可持续发展中迫切需要解决的难题之一,作为一门年轻的综合性科学,环境科学的发展具有十分重要的作用,而环境化学无疑在其中更是举足轻重。化学曾经为人类的生存与发展提供了能量与资源;化学曾经为社会的进步发现了或合成了成千上万种新的化合物,今天这些化合物出现在我们社会生活的每一个角落;为了消除环境的化学污染,今天化学又走上了一条寻求清洁生产,“绿色”工艺和减少以至消除化学污染物质的艰难的探索之路。

环境化学是研究化学物质在环境中存在、化学特性、行为和效应及其控制的化学原理和方法的科学,它是化学科学的一个重要分支,也是环境科学的核心组成部分。环境化学主要包括环境分析化学,大气、水体、土壤环境化学,污染生态化学和污染控制化学等。本书主要阐述对生态环境可能带来影响的化学物质在大气、水和土壤中的产生、迁移、转化、积累和毒害,主要环境污染物质及其对环境的影响;同时扼要论述了污染防治化学的一些内容,介绍了清洁生产和污染防治的基本原理;而对于环境分析化学这部分内容,因另有较多的专著和教材论及,本书限于篇幅,基本上就不涉及了。

本书共分为四章:第一章绪论,介绍自然圈层、环境生态和物质循环等基本概念,同时介绍了当今世界和我国环境污染的现状,环境中的污染源和主要污染物以及污染防治的基本对策,特别是介绍了绿色化学的概念;第二章大气环境化学,介绍大气污染物在大气中的存在和转化规律,尤其是对人体危害严重的各种烟雾和酸雨的形成过程及其危害,二氧化碳增多形成的温室效应和地球臭氧层的破坏对环境的影响,同时简单介绍了主要大气污染物的防治;第三章水环境化学,在溶液平衡理论的基础上,介绍了重金属、化学农药等污染物在水体中的存在、化学转化及其对环境的影响,同时介绍了废水处理的基本原理和一般方法;第四章土壤环境化学,介绍了化学污染物在土壤中的存在、迁移、转化和归宿以及固体废弃物的环境效应及其处理。

环境保护意识,这是现代社会公民必须具有的社会意识和科学意识。环境教育已经成为科学教育的一个重要组成部分,对在校大学生进行环境意识的教育刻不容缓。本书的主要对象是高等学校非环境专业的学生,同时也可以作为广大中学教师和从事环境科学研究的工作人员的参考用书。

环境化学虽然是一门年轻的科学,近年来却获得了长足的发展,新理论、新方法、新成果、新技术不断涌现,我们力求在本书中对此有所反映。

本书中,我们引用了近年来国内外学者在环境科学和环境化学领域里的许多研究成果,在此我们表示衷心的感谢,我们在全书的最后列出了引用的主要参考文献,并在有关图表下面尽可能标明其出处。

本书在成书过程中得到张五昌教授的热诚指导,在此谨表示衷心感谢。我们的学生赵丽萍、林月环、何苏萍、陈燕等帮助整理书稿,在此一并表示感谢。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 化学和环境	2
1.1 环境的化学污染	2
1.2 化学污染物的危害	4
1.3 绿色化学及其研究	11
第二节 环境化学研究的内容和特点	17
第三节 环境生态学基础和物质循环	22
3.1 环境的自然圈层	22
3.2 环境生态学基础	27
第二章 大气环境化学	35
第一节 大气的组成和结构	35
1.1 大气的组成	35
1.2 大气的结构	36
1.3 大气能量吸收与发射	38
第二节 大气污染物与污染源	40
2.1 大气污染源	41
2.2 大气污染物	43
第三节 大气光化学反应	43
3.1 光子的能量与分子能级	43
3.2 光化学反应原理	46
3.3 污染大气中重要的光化学反应	49
第四节 污染大气中的自由基反应	50
4.1 自由基的形成和反应	50
4.2 大气中主要自由基的来源	51
第五节 气溶胶化学	52
5.1 气溶胶的定义	52
5.2 气溶胶的分类	53
5.3 气溶胶污染的危害	53
第六节 大气硫氧化物化学	54
6.1 大气中的硫氧化物	54
6.2 二氧化硫的均相氧化	56
6.3 二氧化硫的非均相氧化	57

第七节 氮氧化物的化学	60
7.1 大气中的 N_2O	60
7.2 NO 的产生	61
7.3 NO_2 的形成和光解	64
7.4 HNO_3 和 HNO_2 的形成	65
第八节 光化学烟雾	66
8.1 大气中的碳氢化合物	66
8.2 臭氧和光化学氧化剂	67
8.3 光化学烟雾形成的化学特征	67
8.4 光化学烟雾形成的反应机制	69
8.5 光化学烟雾的控制	71
第九节 酸雨	71
9.1 降水的酸度	72
9.2 酸雨的形成	72
9.3 降水的化学组成和离子平衡	73
9.4 酸雨的危害	76
9.5 酸雨的防治	77
第十节 大气中的碳化合物	77
10.1 一氧化碳	77
10.2 二氧化碳和温室效应	80
10.3 其他温室气体和地球气候的变化	81
第十一节 平流层化学	82
11.1 卤素及其化合物	82
11.2 大气污染物对平流层臭氧层的破坏	83
11.3 南极臭氧洞的成因	85
第十二节 室内空气污染	87
第十三节 大气污染的防治	88
13.1 大气质量标准和空气污染预报	88
13.2 主要大气污染物的控制技术	90
第三章 水环境化学	98
第一节 天然水体的组成和性质	98
1.1 地球上的水资源	98
1.2 水的组成和结构	99
1.3 水的物理化学性质	100
1.4 天然水的分类和成分	102
第二节 水体污染和污染物	108
2.1 无毒污染物	109

2.2 有毒污染物	109
2.3 污染物质在天然水中的运动过程	118
第三节 水体中重金属污染	120
3.1 重金属元素在环境中的存在和影响	120
3.2 重金属污染元素在水体中的迁移和转化	121
第四节 几种重要的重金属污染元素的水环境化学	131
4.1 汞	131
4.2 镉	134
4.3 铅	135
4.4 铬	136
4.5 砷	138
第五节 水体的氮、磷污染和富营养化	141
5.1 引起富营养化的物质	141
5.2 氮和磷在水体中的存在及其形态	141
5.3 氮和磷的发生源	142
5.4 氮、磷污染的危害性	144
5.5 富营养化的防治	145
第六节 有机污染物的水环境化学	146
6.1 有机物污染程度的指标	146
6.2 有机物的化学降解反应	148
6.3 有机物的生化降解反应	152
6.4 有机物的光化降解反应	156
第七节 水污染防治	157
7.1 水质标准	157
7.2 控制水体污染	158
7.3 污水处理基本方法	159
第四章 土壤环境化学	161
第一节 土壤的形成和性质	161
1.1 土壤的形成	161
1.2 土壤的组成	162
1.3 土壤的性质	166
第二节 土壤的化学污染	169
2.1 土壤污染源和土壤污染物	169
2.2 重金属在土壤中的行为	172
2.3 化学农药在土壤中的行为	183
2.4 固体废弃物对土壤环境的影响	189
2.5 稀土元素在土壤环境中的生态效应	192

第三节 土壤污染的防治.....	193
3.1 控制和消除土壤污染源	193
3.2 增加土壤环境容量和提高土壤净化能力	194
3.3 其他防治土壤污染的措施	194
主要参考文献.....	196

第一章 绪 论

走可持续发展的道路,是 1992 年在巴西里约热内卢联合国环境与发展首脑会议上签署通过的《21 世纪议程》中正式确立的当代人类发展的主题,是中国迈向 21 世纪的、与科教兴国相并列的两大发展战略之一。

可持续发展(sustainable development)就是要努力寻求一条人口、经济、社会、环境和资源相互协调的,既能满足当代人的需求而又不对满足后代人需求的能力构成危害的可持续发展的道路。

某些国家,目前还在沿袭传统的非持续性的发展模式。这一模式也十分强调发展,但它却是以牺牲环境、掠夺资源、破坏生态平衡为代价的,其最终结果必然是人口的激增、食物的短缺、能源的紧张、资源的枯竭和环境的污染,最终导致人类赖以生存和发展之全部基础的地表自然环境和资源条件的丧失,因而是绝不可取的。

可持续发展强调发展是有条件的,即必须以清洁自然、美化环境、保护资源、维护生态平衡为前提,其基本方针是“持续发展,永久利用”。可持续发展以保护自然为基础,与资源和环境的承载能力相协调。因此,发展的同时必须保护环境,控制环境污染,改善环境质量,保持生态平衡,保证以可持续的方式利用自然环境。

长期以来,我们始终把人与自然的关系视为彼此对立、对抗和不可调和的关系,视为征服与被征服、战胜与被战胜的关系,提出了“征服自然,战胜自然,做大自然的主人”的错误指导方针。

恩格斯说,我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利,自然界都报复了我们。人类在开发自然,社会发展方面取得了伟大的胜利,但与此同时,自然界也报复了人类。由于不合理地开发和利用自然资源,由于任意排放各类废弃物造成地球生态平衡破坏,造成人类生存的地球、大气、水和土壤环境的污染。在造成人类环境污染的因素中,化学物质引起的环境污染约为 80%~90%,人类活动尤其是工业排放的废弃物急剧增加,废气、废水、固体废弃物大量地排入环境,同时各种新的化学物质在造福人类的同时,也迅速地进入人类环境,引起生态环境的破坏,给人类带来潜在的或即时的危害。而在治理环境、防治污染的过程中,化学工作者发挥着十分重要的作用。

20 世纪 60 年代以来,对化学物质在大气、水体、土壤等自然环境中引起的化学现象的研究,在环境科学和化学结合的基础上,形成了一门新的学科——环境化学。环境化学主要是运用化学的理论和方法,鉴定和测量化学污染物在大气圈、水圈、土壤—岩石圈和生物圈中的含量,研究它们在环境中存在形态及其迁移、转化和归宿的规律,研究消除化学污染物的化学技

术及原理。

目前由于汽车排放尾气中的氮氧化物和碳氢化合物在光照下发生的光化学烟雾污染,由于矿物燃料燃烧造成的大气中二氧化碳浓度增大而形成的温室效应问题,由于硫氧化物和氮氧化物大量排放造成的酸雨污染,由于喷气式飞机排放的氮氧化物和大量使用氟氯甲烷类致冷剂而造成的地球高空平流层中臭氧层的破坏,由于各种有毒有害重金属和有机农药大量排放造成的水污染问题,已经成为世界性的重大的环境污染问题,威胁着地球上人类和其他生物的存在,严重影响着人类社会的发展,成为化学家开展研究的重要领域。

环境污染是人类活动和环境相互作用而产生的,是社会生产发展的结果,决不是个别学科领域或某个产业系统单独造成的。化学在为社会提供各种物质财富的同时,也为治理环境、保护环境作出了重大贡献。化学家在从事物质变化规律的研究,在追求目标产物高产率的同时,注重改革旧工艺,设计无污染或低排放的“绿色”工艺,并积极探索各种有害有毒污染物的防治、转化、处理及综合利用的途径,变废为宝,化害为利。在解决环境问题中,化学具有举足轻重的地位,化学工作者理应也必将作出重大的贡献。

第一节 化学和环境

1.1 环境的化学污染

人类的生产活动和社会活动必然给环境带来相应的影响,如果这种影响超过了环境的承受能力,就会发生环境的污染。环境污染(environmental pollution)随着人类社会的工业革命和科学技术的发展而发展,给人类社会带来了严重的危害。从20世纪30年代开始,发生了世界有名的八大公害事件,导致人类生命财产的巨大损失。

(1) 马斯河谷烟雾事件(Meuse River Valley episode):1930年12月3~5日,比利时列日市马斯河谷大气中 SO_2 浓度高达 $25\sim 100\text{ mg/m}^3$,几千人发病,一周内死亡60余人。

(2) 洛杉矶光化学烟雾事件(Los Angeles photochemical smog episode) 20世纪40年代初期至50年代,美国洛杉矶光化学烟雾污染严重,其中1952年的一次最为严重,大批居民发生眼睛红肿、喉痛、咳嗽等症状,65岁以上老人有近400人死亡。

(3) 多诺拉烟雾事件(Donora smog episode):1948年10月26~31日,美国宾夕法尼亚州多诺拉镇 SO_2 烟雾污染,占全镇总人口43%的5911人中毒,17人死亡。

(4) 伦敦烟雾事件(London smog episode):1952年12月5~8日,伦敦大气中烟尘达 4.46 mg/m^3 ,二氧化硫达 3.8 mg/m^3 ,居民出现喉痛、咳嗽、胸闷、头痛、呼吸困难、眼睛刺激等症状,死亡人数较常年同期超过4000多人。

(5) 四日市哮喘(Yokkaichi asthma):1961年日本四日市因能源使用含硫量高的重油,大气污染严重,二氧化硫和烟尘含量很高,导致支气管哮喘发病率明显增加。1972年共确认全市哮喘病患者达817人,10多人死亡。

(6) 痛痛病事件(ita-ita disease event):1955~1972年,日本富山县神通川流域锌、铅冶炼工厂排放的含镉废水污染了神通川水体,河水及用河水灌溉的农田的稻米食用后,导致痛痛病,其症状为腰、背、膝关节疼痛,骨骼严重畸形、骨脆易折,1963~1979年期间共有患者130

人,其中 81 人死亡。

(7) 水俣病事件(minamata disease event):1956 年日本熊本县水俣市的含甲基汞的工业废水污染水体,使水俣湾和不知火海的鱼中毒,人食用后导致水俣病,中毒居民 283 人,其中 60 人死亡。

(8) 米糠油事件(yusho disease incident):1968 年 3 月,日本北九州市、爱知县一带所产米糠油中含有多氯联苯(PCB),销售后造成大量人中毒,患病者超过 5 000 人,其中 16 人死亡,实际受害者约 13 000 人。

20 世纪 80 年代以后,全球环境进一步恶化,影响广、范围大、危害严重的重大污染事件多次发生:1984 年 12 月 2 日夜,在印度中央邦博帕尔市,美国联合碳化物公司的博帕尔农药厂,由于管理混乱,地下储罐 40 吨用以制造农药的异氰酸甲酯(剧毒、低沸点、易燃液体)渗进了水,毒液变成气体,罐内压力升高而爆裂外泄,当地居民 70 万人中有 20 万受到影响,其中 5 万人可能双目失明,到 1989 年 2 月,共有 3 300 多人丧失生命。毒气泄漏使大批食品和水源遭受污染,4 000 头牲畜和其他动物死亡,生态环境受到严重破坏,这是迄今为止世界上最严重的污染事故。

1986 年 4 月 26 日,前苏联境内乌克兰基辅市郊的切尔诺贝利核电站(Chernobly Nuclear Power Plant),由于管理不善和操作失误,4 号核反应堆爆炸起火,大量放射性物质外泄,造成环境严重污染,当即造成 31 人死亡,200 多人受严重放射性伤害,数万人受到放射性影响,直接经济损失达 120 亿卢布,核污染飘尘扩散至周围国家,西欧各国乃至世界大部分地区都检测到了核电站泄漏的放射性物质。事故发生多年后,放射性污染带来的危害还在继续,不断有报道该地区受放射性伤害的人群死亡或患病、患癌症的消息,伤亡人数不断扩大,该地区的生态环境也遭到严重的破坏。类似的核事故据透露在前苏联曾发生不止一次。

1986 年 11 月 1 日,瑞士巴塞尔市桑多兹化工公司仓库爆炸起火,近 30 吨剧毒的碳化物、磷化物与含有汞的化工产品随灭火机喷出液和水流入莱茵河,其中有毒化学品达 30 多种,河内水生生物鳗鱼、鲱鱼、水鸭、鸬鹚等大量死亡,沿莱茵河而下 150 公里内大约 60 多万条鱼被毒死,500 公里内河岸两侧的井水不能饮用,许多自来水厂和啤酒厂被迫关闭。据专家们估计,由于有毒物质沉积在河流底泥中,有可能使莱茵河死亡 20 年。

大量人工制取的化合物(包括有毒物质)进入环境,在环境中经扩散、迁移、转化和累积,不断地恶化环境,可以这样说,今天的地球上已没有一块干净的土地。栖息在爱尔兰海上的海鸟,体内含有高浓度的多氯联苯;荒无人烟的南极大陆上生长的企鹅体内也测到了 DDT 存在;北极附近格陵兰冰盖层中,近几十年来铅和汞的含量在不断上升!

表 1-1 中国环境状况(1995 年)

污 染 物 名 称	数 量	与 上 年 相 比
工业废气排放		
烟尘排放量	845 万吨	+4.7%
粉尘排放量	630 万吨	+8.1%
二氧化硫排放量	1 396 万吨	+4.1%

(续表)

污 染 物 名 称	数 量	与 上 年 相 比
废水排放总量(未含乡镇工业)	356 2 亿吨	持平
工业废水	222 5 亿吨	+3.2%
外排工业废水含		
化学需氧量	770 万吨	+13%
重金属排放量	1 832 吨	+7.4%
砷排放量	1 084 吨	+4.4%
氰化物排放量	2 504 吨	-1.7%
挥发酚排放量	6 366 吨	+17%
石油类排放量	64 341 吨	+15.4%
悬浮物排放量	808 万吨	—
硫化物排放量	4 3 万吨	—
工业固体废物量		
工业固体废物产生量(未含乡镇工业)	6 5 亿吨	+0.3 亿吨
工业固体废物排放量	2 227 万吨	—
其中排放江河的工业固体废物	636 万吨	有所减少
工业固体废物历年累计堆存量	66.41 亿吨	+1 8 亿吨
占地	55 085 公顷	—

近年来,随着经济的高速增长,由于技术水平低、管理能力差以及环境保护意识薄弱,我国的环境污染十分严重,资源浪费、生态平衡破坏、重大环境污染事件时有发生,废气、废水和固体废弃物排放量仍在上升(见表 1-1),以城市为中心的环境污染仍在发展,并蔓延到农村,一些经济发达、人口稠密的地区的环境问题尤为严重。生态环境破坏的范围在扩大,程度在加剧。环境污染和生态破坏已成为制约经济发展,影响改革和社会稳定的一个重要因素。《全国环境保护纲要》,1993~1998)

1.2 化学污染物的危害

化学是研究物质化学变化规律的基础科学。人类居住的地球环境是由各类物质组成的,其演化的历程也是物质遵循化学规律变化的过程。研究环境问题不能离开化学。

造成环境污染的因素大体上可分为物理的(噪声、振动、热、光辐射及放射性等)、生物的(微生物、寄生虫等)和化学的(重金属、有机物等)三方面,而其中化学物质引起的环境污染要占到约 80%~90%。

化学曾经为社会的进步发现了或合成了成千上万种新的化合物,据 20 世纪 50 年代初的统计,当时发现和合成的化合物不过 200 万种,到了 1985 年,在美国化学文摘(Chemical Abstracts, CA)上正式登录的化合物数目已达到了 600 万种,这个数目到 1990 年就超过了

1 000 万种,如果保持这个速度增长下去的话,当人类跨进 21 世纪时,已知的化合物将增加到 3 000 万种左右!全球人工合成的化学物质,1950 年产量约为 700 万吨,到 1970 年已达 6 000 多万吨,到 1985 年更是增加到约 2.5 亿吨。值得注意的是合成有机化学品,如人造纤维、塑料、染料、化肥、农药和多氯联苯等,其产量早在 80 年代初已超过了 1 亿吨。这些人工合成的化学物质,在过去的约 100 年间,其在全球的浓度已从稍大于零增加到约 1 ppb^①,如以目前工业产量年递增 2%~3% 速度发展的话,那么不出 100 年,其在全球的浓度将会达到 ppm 级^②。大量的化学物质通过各种途径进入环境,在环境中相互反应,通过自然或生物、化学降解,又会形成许多新的化学品。它们存在于复杂的自然环境中,含量不一,变化多端,必然会对环境带来巨大的不可预见的影响,给地球生物(包括人类)带来各种即时的或潜在的危害。

1 环境优先控制污染物(environmental priority pollutant)

环境中有毒化学物质数量众多,在环境管理中,不可能对全部污染物进行控制,只能根据社会经济技术条件和环境管理的需要,有步骤地控制最具代表性的、具有较大排放量的、对人体健康和生态平衡危害大的、或潜在危险性大的有毒污染物。世界各国发展情况不同,污染状况也不同,优先控制的污染物也有所不同。

美国职业卫生研究所 1973 年登记的有毒化学物质已达 25 043 种,主要化学毒物可分为:重金属如 Hg、Pb、As、Cd、Cr 等,有机物如有机氯农药、多环芳烃、多氯联苯、氯代苯、亚硝胺类、有机汞、有机锡等。

欧洲共同体(今欧盟)在 1975 年根据物质的毒性、持久性和生物积累性列出了有害有毒物质的“黑名单”,“黑名单”中不包括那些生物学上无害的物质和易转化为生物学上无害物的物质。

表 1-2 欧洲共同体(今欧盟)公布的有毒物质“黑名单”

1 有机卤化物和可以在环境中形成卤化物的物质	5 汞及其化合物
2 有机磷化合物	6 镉及其化合物
3 有机锡化合物	7 持久性油类和来自石油的烃类
4 在水环境中或由于水环境介入而显示致癌活性的物质	8 可漂浮、悬浮或下沉和妨碍水质的任何持久性物质

王连生,《环境健康化学》,科学出版社,1994

联邦德国在 1980 年公布了 120 种水中有害物质名单,其中毒性最强的有 16 种,它们是:丙酮氰醇、丙烯腈、磷酸氢二钠、苯、四乙基铅、镉化合物、氰化物、DDT、3-氯环氧丙烷-1,2、乙酰亚胺、水合肼、林丹、硫醇、乙基对硫磷、汞化合物、银化合物。

杨友明等研究者对约 1 万种化学品经过筛选,确定了 52 种有毒化学品为我国优先控制的名单。这些有毒化学品均具有较强毒性,具有致癌(carcinogenicity)、致畸(teratogenesis)和致突变性(mutagenicity),其中国际限用或禁用的化学品达 24 种。

① ppb——非国际单位制,因历史原因,本书大量原始检测数据均涉及,故仍沿用。下同,不另注。

② ppm——非国际单位制,因历史原因,本书大量原始检测数据均涉及,故仍沿用。下同,不另注。

表 1-3 我国有毒化学品优先控制名单、排序、分类及归宿

序号	中文名称	英文名称	分 类	大气	水	底泥	生物群
1	氯乙烯*	chloroethylene	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
2	甲醛	formaldehyde	脂肪烃族类化合物	○	○		
3	环氧乙烷*	ethylene oxide	脂肪烃族类化合物	○	○		
4	丙烯腈*	acrylonitrile	脂肪烃族类化合物	○	○	○	○
5	三氯甲烷*	chloroform	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
6	苯酚*	phenol	苯酚类化合物	○	○		
7	苯*	benzene	苯酚类化合物	○	○	○	○
8	甲醇*	methanol	脂肪烃族类化合物	○	○		
9	四氯化碳*	carbon tetrachloride	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
10	乐果*	dimethoate	农药类化合物	○	○		
11	亚硝酸钠	sodiumnitrite	金属和无机物				
12	四氯乙烯*	tetrachloroethylene	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
13	西维因	carbaryl	农药类化合物	○	○	○	○
14	除草醚	nitrofen	农药类化合物				
15	石棉*	asbestos	金属和无机物	○	○		
16	汞*	mercury	金属和无机物	○	○	○	○
17	三氯乙烯*	trichloroethylene	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
18	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-trichloroethane	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
19	丙烯醛	acrolein	农药类化合物	○	○	○	○
20	1,1-二氯乙烯	1,1-dichloroethylene	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
21	甲苯	toluene	单环芳香族类化合物	○	○	○	○
22	二甲苯*	xylene	单环芳香族类化合物	○	○		
23	五氯苯酚*	pentachlorophenol	苯酚类化合物	○	○	○	○
24	砷化合物*	arsenic compounds	金属和无机物	○	○	○	○
25	苯胺	aniline	单环芳香族类化合物	○	○		
26	氰化钠	sodium cyanide	金属和无机物	○	○		
27	铅*	lead	金属和无机物			○	○
28	萘	naphthalene	多环芳香烃类化合物	○	○	○	○
29	乙酸	acetic acid	脂肪烃族类化合物	○	○		
30	镉*	cadmium	金属和无机物			○	○
31	1,2-二氯乙烷*	1,2-dichloroethane	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
32	杀虫咪*	chlordimeform	农药类化合物	○	○		
33	敌敌畏	DDV	农药类化合物	○	○		
34	2,4-二硝基苯酚	2,4-dinitrophenol	苯酚类化合物		○	○	
35	二氯甲烷	dichloromethane	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
36	乙苯	ethylbenzene	单环芳香族类化合物	○	○	○	
37	对硫磷*	parathion	农药类化合物	○	○		
38	乙醛	ethanal	脂肪烃族类化合物	○	○		
39	1,1,2,2-四氯乙烷	1,1,2,2,-tetrachoroethane	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
40	液氨	ammonia	金属和无机物	○	○		
41	丙酮	acetone	脂肪烃族类化合物	○	○		

(续表)

序号	中文名称	英文名称	分 类	大气	水	底泥	生物群
42	1,2-二氯苯	1,2-dichlorobenzene	单环芳香族类化合物	○	○	○	○
43	蒽	anthracene	多环芳香烃类化合物	○	○	○	○
44	<i>m</i> -甲酚	<i>m</i> -cresol	单环芳香族类化合物	○	○		
45	六氯苯*	hexylchlorobenzene	多环芳香烃类化合物	○		○	○
46	酞酸二丁基酯	dibutylphthalate	酞酸酯类化合物	○	○	○	○
47	酞酸二辛基酯	dioctylphthlate	酞酸酯类化合物	○	○	○	○
48	溴甲烷*	methyl bromide	卤代脂肪烃类化合物	○	○		
49	二硫化碳*	carbondisulfide	脂肪烃族类化合物	○			
50	氯苯	chlorobenzene	单环芳香族类化合物	○	○	○	○
51	4-硝基苯酚	4-nitrophenol	苯酚类化合物	○	○	○	
52	硝基苯	nitrobenzene	单环芳香族类化合物	○	○	○	

表中化学品按危害性大小降序排列。

* 国际限用或禁止的化学品。

○该化学品存在于对应的环境要素中。

王连生,《环境健康化学》,科学出版社,1994

筛选有毒物质的原则是在环境中具有一定的残留水平,稳定,不易分解;易在生物体中富集和在人体中积累;具有较大的毒性,容易致癌、致畸、致突变,因此能造成普遍的、长期的和严重的中毒事件,对生态环境和人体健康会造成严重的威胁。

许多研究证明,与某些有毒污染物接触,不仅会造成急性中毒,还可能致癌、致畸、致突变,因此在考虑毒性效应时,不仅要考虑急性毒性,还要考虑慢性毒性,以及其它特殊的毒性效应。衡量急性毒性,采用的指标是致死剂量水平,常用的参数是 LD_{50} (半数致死剂量)(median lethal dose)[指在外来化合物急性毒性试验中,引起半数实验动物死亡的剂量,以 mg/kg(体重)表示]和 LC_{50} (半数致死浓度)(median lethal concentration)(指在化学物质急性毒性试验中,能引起 50%实验生物死亡的浓度),慢性毒性参数可使用 TDL_0 (最低中毒剂量)(toxic dose lowest)和 TCL_0 (最低中毒浓度)(toxic concentration lowest)。

表 1-4 世界卫生组织推荐的急性毒性分级标准

毒性分级	大鼠一次经口 LD_{50} (mg/kg)	6 只大鼠吸入 4 小时, 死亡 2~4 只的浓度(ppm)	免经皮 LD_{50} (mg/kg)	对人可能致死的估计量 [总量(g/60kg)]
极 毒	< 1	<< 10	< 5	0.1
剧 毒	1	10	5	3
高 毒	50	100	44	30
中等毒	500	1 000	350	250
低 毒	5 000	10 000	2 180	> 1 000

环境科学大辞典编辑委员会编,《环境科学大辞典》,中国环境科学出版社,1991

对污染物毒性,还要考虑它的毒性产生的环境效应(environmental effect)和生物效应(bi-

ological effect), 考虑它的降解性(degradation)和积累性(accumulation), 难降解、残留期长的污染物, 在环境中更容易扩散, 与人接触的可能性与其在环境中存在的时间成正比关系, 更容易通过食物链进入生物或人体内。

某些生物在体内还能对重金属和一些有机物进行富集(enrichment)。如 Hg 和 Cd 的致毒浓度范围低至 0.001~0.01 ppm(1~10 ppb), 它们能在生物体内逐步地、成千上万倍地富集, 如扇贝对 Cd 的富集因数高达 22 600, 最后可以通过食物链进入人体器官中积蓄起来。

瑞典某一汞污染的水域里底生动物体内汞含量为 0.3 ppm, 吃这种底生动物的瑞典白鱼体内汞含量 3.1 ppm, 捕食瑞典白鱼的梭子鱼体内的汞含量高达 5.8 ppm, 而人长期食用含汞 5~6 ppm 的鱼就可能导致死亡。

金属排泄的难易可用生物半减期(biological halflife)来衡量。所谓生物半减期是指进入生物体内的元素, 减少到原有的一半所需要的时间, 又称代谢半减期(metabolic halflife)。生物半减期长, 元素在生物体内的残留时间长, 积累的浓度增高, 其对生物的毒性也大。Cd 在人体肾中生物半减期为 18 年, 汞蒸气在人体中的生物半减期为数年, 从而造成积累性慢性中毒。甲基汞中毒引起的水俣病和 Cd 中毒引起的骨痛病就是这种积累造成的公害病。

某些海洋生物对金属的富集见表 1-5。

表 1-5 某些海洋生物对金属的富集

元 素	海扇	蚝	蛤		蚶	
	富集因子	富集因子	含量(ppm)	富集因子	含量(ppm)	富集因子
Hg	—	—	2.85	9.5×10^4	1.55	5.2×10^4
Pb	5.2×10^3	3.3×10^3	2.43	8.1×10^4	3.31	1.1×10^5
Cl	2.36×10^6	3.2×10^4	—	—	—	—
Ti	—	—	32.7	3.3×10^4	18.5	1.9×10^4
V	4.5×10^3	1.5×10^3	1.32	6.6×10^2	0.24	1.2×10^2
Cr	2.0×10^5	6.0×10^4	3.27	6.5×10^4	1.06	2.1×10^4
Mn	5.6×10^4	4.0×10^3	24.5	1.2×10^4	36.1	1.8×10^4
Fe	2.9×10^5	6.8×10^4	—	—	—	—
Co	—	—	0.85	8.5×10^3	0.32	3.2×10^3
Cu	3.0×10^3	5.2×10^3	16.1	5.4×10^3	25.4	8.5×10^3
Zn	2.8×10^4	5.2×10^3	34.0	3.4×10^3	31.2	3.1×10^3

彭安、王文华,《环境生物无机化学》,北京大学出版社,1991

某些难降解的有机物也能在生物体内富集。

姜·威尔(W. G. M. Well)等在美国长岛沼泽地中进行了水生生物采集研究, 该地为了灭蚊, 至 1974 年止已喷撒 DDT 20 年, 他们测定该沼泽地的水中含有 0.000 05 ppm 的 DDT, 水中浮游生物含 DDT 为 0.04 ppm, 比水中增加 800 倍, 食取浮游生物的小鲈鱼体内含 DDT 为 0.94 ppm, 又增加 23 倍, 而以食取这种小鲈鱼为生的海鸥, 在它组织中含 DDT 为 75.5 ppm, 又增加了 80.3 倍, 整个食物链把 DDT 浓度提高了 1.5×10^6 倍!