



高等学校教材

环境毒理学

李建政 主 编
于秀娟 刘章现 副主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

环境毒理学

李建政 主编

于秀娟 刘章现 副主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境毒理学/李建政主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 10
高等学校教材
ISBN 7-5025-7712-2

I. 环… II. 李… III. 环境毒理学-高等学校-教材
IV. R12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 115465 号

高等学校教材

环境毒理学

李建政 主编

于秀娟 刘章现 副主编

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 周 侗

责任校对: 王素芹

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社

出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 438 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7712-2

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

伴随着社会经济的发展,环境污染日趋严重,生态平衡遭到破坏,人类的健康受到威胁,这是全世界不得不面对且必须着力解决的严峻课题。人类和生物的健康发展,和谐社会的建设,需要更多的环境毒理学知识和方法。针对这一需求,许多高等院校相关专业设立了环境毒理学课程。作为毒理学的一个分支学科,环境毒理学涉及广泛的学科领域,这些领域相互交叉,相互渗透,其内容非常丰富。尽管有关环境毒理研究的文献资料可以大量查阅,但要对环境毒理学有一个比较全面和较为深入的了解,一本好的教材是非常有帮助的。作者在认真总结和整理近几年教案内容、重新查阅和研习环境毒理学相关内容的基础上,针对环境科学、环境工程、环境微生物、生命科学、生物技术等专业人才培养的需要,编写了本教材。教材在介绍环境毒理学概貌的基础上,不求面面俱到,而是根据学科人才培养目标的需要,有侧重地详细介绍了环境毒理学的基本概念、机理,并重点介绍了土壤环境毒理学、水环境毒理学、大气污染毒理学等环境毒理学的分支学科,以及毒理学研究常用的一些实验方法。

本教材共分9章。第一章主要介绍了环境毒理学的概念、环境毒理学的任务和主要研究内容;第二章主要介绍了污染物在环境中的迁移与转化、外源化学物在生物体内的转运和转化、外源化学物的生物蓄积与放大以及外源化学物代谢动力学等内容;第三章在介绍毒物和毒性、危险性与危害性、剂量、效应和反应等基本概念的基础上,详细介绍了环境污染物的毒性效应及其评定、外源化学物的毒性作用机理、化学污染物的三致作用和影响毒性作用的因素;第四章阐述了紫外辐射、红外辐射、电离辐射、电磁辐射、超声波及噪声的生物效应;第五章~第七章分别介绍了土壤环境毒理学、水环境毒理学和大气污染毒理学等3个环境毒理学分支学科的主要内容;第八章主要介绍了常用染毒技术、毒理学实验的设计方法、急性毒性实验、毒物蓄积的研究方法、亚慢性和慢性毒性实验、致癌性实验、致突变性实验以及致畸性实验;第九章在阐明生态风险评价的内涵和意义的基础上,主要介绍了生态风险评价的内容和程序。

本教材力求做到理论与实际、教学与科研、学习与应用的相互结合,尽量做到深入浅出,便于自学。本书不仅可以作为环境科学各专业本科生和研究生的教材,也可供从事环境毒理、安全工程 and 环境保护工作专业人员以及科研和管理人员阅读参考。

本教材由哈尔滨工业大学的李建政、黑龙江大学的于秀娟和平顶山工学院的刘章现合作完成,由李建政任主编并负责统稿。在撰写过程中,得到了许多学者和专家的大力支持和帮助,在此再次表示真诚的感谢。另外,朱葛夫、李南、张妮、郭小宇、赵炎、刘莹、刘乾亮、郭丽莉等研究生,在资料收集、书稿校对以及教材试用等方面也对本教材的最终出版做出了贡献,在此一并致谢。

限于作者水平,不足之处在所难免,希望读者对本教材中存在的不足之处提出批评指正。

编者

2005年7月

目 录

第一章 绪论	1
一、环境污染及其危害	1
二、环境毒理学的概念	3
三、环境毒理学的任务和主要内容	4
四、环境毒理学的发展	4
第二章 污染物的环境生态行为	6
第一节 污染物与优先污染物	6
一、污染物	6
二、优先污染物	6
第二节 污染物在环境中的迁移和转化	7
一、污染物在环境中的迁移	7
二、污染物在环境中的形态和分布	8
三、污染物在环境中的转化	10
第三节 外源化学物在生物体内的转运和转化	13
一、生物膜的基本结构和物质的跨膜转运	13
二、环境化学物的吸收	17
三、环境化学物在生物体内的分布	22
四、生物转化	24
五、排泄	38
第四节 外源化学物的生物蓄积与放大	42
一、生物蓄积和生物浓缩	42
二、超量蓄积现象	43
三、生物放大	43
四、生物浓缩系数	44
第五节 外源化学物代谢动力学	45
一、概述	45
二、基本概念和基本参数	45
三、外源化学物代谢动力学模型	47
第三章 化学污染物的毒性作用	54
第一节 基本概念	54
一、毒物和毒性	54
二、危险性与危害性	55
三、剂量	55
四、效应和反应	57
第二节 环境污染物的毒性效应及其评定	57
一、外源化学物对生物体的直接毒性效应	57

二、毒性作用的类型	58
三、毒性分级与危险性分级	59
四、剂量与毒性	61
五、环境污染物的联合毒性作用	63
第三节 外源化学物的毒性作用机理	66
一、对细胞的损伤	66
二、与生物大分子的共价结合	69
三、脂质过氧化	71
四、对受体的作用	72
五、对酶作用的影响	73
六、细胞钙稳态紊乱	73
七、干扰细胞能量的产生与供给	74
第四节 化学污染物的三致作用	74
一、化学污染物的致突变作用	74
二、化学污染物的致癌作用	81
三、化学污染物对生物生殖和发育的影响	87
第五节 影响毒性作用的因素	95
一、外源化学物的结构与性质	96
二、生物机体状况	98
三、接触条件	100
四、环境因素	101
第四章 物理性污染的毒性效应	102
第一节 紫外辐射的生物效应	102
一、紫外线及其生物吸收	102
二、紫外辐射对躯体的损伤	102
三、紫外辐射对生物大分子的损伤	103
第二节 红外辐射的生物效应	105
一、对眼睛的损伤	105
二、对皮肤的损伤	105
三、其他伤害作用	105
第三节 电离辐射的生物效应	106
一、对躯体的影响	106
二、对细胞的损伤	108
三、生物化学效应	108
四、生物辐射敏感性的影响因素	110
第四节 电磁辐射的生物效应	110
一、生物体对电磁能量的吸收	110
二、热效应和非热效应	111
三、电磁辐射对机体结构和功能的影响	113
四、电磁辐射的三致作用	116
第五节 超声波的生物效应	118

一、生物组织中超声波传播与吸收	118
二、超声波对生物体的影响	118
三、超声波对生物细胞的影响	119
四、超声波对生物分子的影响	119
第六节 噪声的生物效应	119
一、听力损伤	120
二、视力损伤	120
三、其他生理效应	120
四、对生长发育的影响	121
五、对行为的影响	121
第五章 土壤环境毒理学	123
第一节 土壤环境与土壤污染	123
一、土壤环境及其在生态系统中的重要作用	123
二、土壤污染及其危害	124
三、土壤的主要污染物	124
四、土壤污染的主要途径	125
第二节 土壤污染物的环境行为	125
一、有机污染物在环境介质中的分布	126
二、土壤表面挥发与地表径流	126
三、在土壤中的迁移	127
四、生物吸收与蓄积	127
五、有机污染物在土壤中的转化与降解	128
第三节 土壤污染对生物的影响	128
一、对土壤微生物的影响	128
二、对植物的影响	130
三、对动物的影响	131
四、影响土壤污染物毒性的环境因素	133
第四节 土壤典型污染物的危害	134
一、土壤重金属污染的危害	134
二、土壤农药和化肥污染的危害	138
三、土壤石油污染的危害	139
四、含氯有机物的危害	141
五、土壤氟污染的危害	141
六、微量元素污染对植物的影响	142
第五节 土壤污染治理	142
一、土壤自净作用	142
二、污染土壤的生物修复	143
第六章 水环境毒理学	147
第一节 水体污染	147
一、水体污染的概念	147
二、水体污染源	148

第二节 污染物在水环境中的分布	150
一、污染物在水中的分布	150
二、污染物在水底沉淀物中的分布	151
第三节 污染物在水环境中的生物迁移与富集	152
一、水生生物对污染物的吸收	152
二、污染物的富集	153
第四节 污染物在水环境中的生物转化与降解	156
一、合成化学物的生物降解	157
二、重金属的生物转化	159
第五节 水体污染对生物及人体的危害	161
一、对植物的影响	161
二、对水生动物的影响	163
三、对人体健康的影响	165
第六节 水环境的主要污染物及其危害	166
一、无机无毒物	166
二、无机有毒物	168
三、有机无毒物	169
四、有机有毒物	169
五、放射性物质	171
第七节 水体污染的防治	171
一、废水处理	171
二、水系及流域水污染防治	175
第七章 大气污染毒理学	177
第一节 大气污染及其危害	177
一、大气污染和大气毒理学的概念	177
二、大气的自净作用与大气污染	177
三、大气污染的主要特点	178
四、大气污染对人体健康的危害特性	178
五、大气污染的危害	179
第二节 主要大气污染物及其污染源	183
一、主要大气污染物	183
二、大气污染物的来源	184
第三节 大气污染物的迁移	186
一、污染物的排放状况	186
二、气象条件	187
三、地形地物	190
第四节 大气污染的化学过程	191
一、大气的光化学过程	191
二、光化学烟雾	194
三、酸雨	197
四、大气臭氧层的破坏	199

第五节 典型大气污染物的毒性	201
一、颗粒物	202
二、二氧化硫	203
三、氮氧化物	206
四、一氧化碳	208
五、臭氧	210
六、氯气	213
七、碳氢化合物	214
八、氯乙烯与氯化氢	214
第六节 室内空气污染及其危害	214
一、室内空气污染物	215
二、室内空气污染的危害	218
三、室内空气污染的影响因素	219
四、室内空气污染的防治措施	220
第七节 大气污染的综合防治	223
一、大气污染综合防治的重要意义	223
二、大气污染综合防治的原则	224
三、大气污染综合防治的对策与措施	224
第八章 环境毒理学常用研究方法	226
第一节 实验准备	226
一、动物的准备	226
二、毒物的准备	228
三、生物材料的采集和制备	229
四、预备试验	232
第二节 常用染毒技术	232
一、染毒途径的选择	232
二、经口染毒法	233
三、注射染毒法	233
四、吸入染毒法	234
五、气管注入法	235
六、经皮（黏膜）染毒法	236
第三节 毒理学实验的设计方法	237
一、实验设计	237
二、动物分组	237
第四节 急性毒性实验	238
一、急性毒性实验的内容	238
二、哺乳动物的急性毒性实验	238
三、水生动物毒性实验	242
第五节 毒物蓄积的研究方法	243
一、物质蓄积的研究方法	244
二、功能蓄积的研究方法	244

三、蓄积率的测定方法	245
第六节 亚慢性和慢性毒性实验	246
一、亚慢性毒性实验	246
二、慢性毒性实验	247
第七节 致癌性实验	248
一、长期动物实验	248
二、短期筛检方法	250
第八节 致突变性实验	252
一、哺乳动物细胞突变试验	253
二、染色体畸变试验	253
三、微核试验	254
四、致死试验	256
五、非常规 DNA 合成试验	258
第九节 致畸性实验	259
一、动物选择	260
二、剂量分组与动物交配处理	260
三、染毒方式	260
四、实验动物的剖检	261
第九章 环境化学物的生态风险评价	264
第一节 生态风险评价的内涵和意义	264
一、风险	264
二、环境风险与生态风险	265
三、生态风险评价的内涵	265
四、生态风险评价的意义	265
第二节 生态风险评价的内容	266
一、环境化学物的风险评价策略	266
二、评价系统的结构	267
三、生态风险评价的主要内容	268
第三节 生态风险评价的程序	270
一、危害识别	270
二、剂量-反应评价	271
三、暴露评价	271
四、风险表征	272
第四节 化学品生态风险评价信息系统简介	272
一、综合风险信息系统	272
二、潜在有毒化学品国际登记数据库	272
三、化学品信息网	273
参考文献	274

第一章 绪 论

一、环境污染及其危害

(一) 环境污染及其环境效应

1. 环境污染的概念

环境 (environment) 是指特定主体周围的所有生物因子和非生物因子的总和。一定空间内生存的所有生物和环境相互作用的, 具有能量转换、物质循环代谢和信息传递功能的统一体就是生态系统 (ecosystem)。生态系统都有接纳、转化和分解外来污染物的自净能力, 但这一自净能力是有限的, 其极限值就是该环境的自净容量。当物理的、化学的和生物的因素进入大气、水体和土壤环境, 且其数量、浓度和持续时间超过了环境的自净能力, 以致影响生态平衡和人体健康, 这时的环境状态就称为环境污染 (environmental pollution)。

环境污染按环境要素可分为大气污染、水体污染和土壤污染等; 按污染物的性质可分为化学污染、物理污染和生物污染; 按污染物的形态可分为废气污染、废水污染、固体废物污染以及噪声污染、辐射污染等; 按污染产生的原因可分为工业污染、农业污染、交通污染和生活污染等; 按污染涉及范围又可分为全球性污染、区域性污染和局部污染等。

环境污染可以是自然的, 如地震、风暴、洪水、森林火灾、火山爆发, 以及在某种地质、地理及气候条件下某些化学物质大量积累等原因引起的污染。当前, 环境污染主要是人为污染。人为污染是由人类的生产和生活活动所引起的, 如工业废气、废 (污) 水未经处理就任意排放, 废渣、垃圾的随意丢弃和堆放, 地下矿藏与地下水的乱挖乱采, 森林树木的乱砍滥伐, 不适当的围湖造田、开荒等。在人为污染中, 工业废气、废水、废渣等三废的污染最为严重, 其中又以化学性污染最为突出, 其次是诸如噪声、电磁波、电离辐射等物理性污染, 还有病原微生物造成的生物性污染等。在化学污染物中, 有的化学性质十分稳定, 在自然条件下降解缓慢, 可以在环境中长期存留; 有的污染物可以被生物吸收富集, 并通过食物链在生物体中放大; 有的污染物还可转化成危害更大的二次污染物。因此, 化学污染物对人和其他生物造成的危害是非常严重的。

2. 污染的环境效应

环境污染不仅指有害物质或因子进入环境系统, 导致其结构和功能发生不利于人类及生物正常生存和发展的变化, 而且也包含各种变化所衍生的环境效应。环境效应按环境变化的性质可分为环境物理效应、环境化学效应和环境生物效应。

环境物理效应是物理作用引起的环境效果, 如热岛效应、温室效应、噪声、地面沉降等。环境化学效应是在多种环境条件的影 响下, 物质之间的化学反应所引起的环境效果, 如环境的酸化、土壤的盐碱化、地下水硬度的升高、光化学烟雾的发生等。环境生物效应是指各种环境因素变化而导致生态系统变异的效果。如现代大型水利工程的建设, 切断了鱼、虾、蟹的洄游途径, 使这些水生生物的繁殖受到影响; 又如森林的砍伐, 一方面引起水土流失, 降低土地的肥力, 产生干旱、风沙等灾害使农业减产, 另一方面使鸟类栖息场所缩减, 鸟类减少, 虫害增多; 再如致畸、致癌物质的污染导致畸形和癌症患者增多等。环境生物效应关系到人类和生物的生存和发展, 因此, 人们高度重视这种效应的机理及其反应过程的研究。

究,如进行各种污染物的毒性、毒理、吸收和蓄积的研究,多种污染物的拮抗作用和协同作用的研究,生物解毒酶的种类、数量以及各种污染物的解毒机理研究等,而这些均属环境毒理学研究范畴。

(二) 环境污染对人类造成的危害

1. 公害与公害病

公害是严重的环境污染引起的对生态和人体健康的损害,由公害而导致发生的某种地区性疾病称为公害病。由环境污染引发的公害事件不断发生,给环境和人们的生命财产造成了重大损失,成为当今严重的社会问题。20世纪震惊世界的八大公害事件已经向人们敲响了警钟。

1930年的比利时马斯河谷烟雾事件造成60人死亡,为平时同时期死亡人数的10.5倍。1936年在洛杉矶开发石油以后,工业发展和人口剧增,由于汽车漏油、汽油挥发、不完全燃烧和汽车尾气排放,造成了严重的大气污染,并多次发生光化学烟雾事件,不仅引发多种人畜疾病,同时还给工农业生产造成了严重损失,城市面貌遭到了严重损坏。1948年,由 SO_2 及其氧化作用的产物引发了美国多诺拉烟雾事件,致使多诺拉这一拥有14000人口的工业小镇有43%的人患病,死亡17人,而平时同期的平均死亡人数只有2人。1952年的英国伦敦烟雾事件造成死亡人数达到4000多人,约为平时的3倍,之后,在1956年、1957年和1962年,伦敦又多次发生烟雾事件。1950年以来发生在日本水俣湾的水俣事件,是由于大量含汞废水的排放,致使许多人中毒、死亡,据1972年日本环境厅的统计,水俣镇的患者180多人,50多人死亡。1955年以来的日本富山县骨痛病事件,是由含镉废水排放造成的公害事件,到1972年3月,日本骨痛病患者超过280人,死亡34人。由于工业废气排放,1956年以来,在日本四日市还引发了“四日气喘病”,到1970年,四日气喘病患者达到500多人,10多人死亡,四日市实际受害人数超过2千人。1968年,日本九州大牟田市一家粮食加工公司食用油工厂,在生产米糠油时,使用多氯联苯液体作为载热体,因生产管理不善,使这种毒物混进米糠油和作为家禽饲料的副产品黑油中,致使5千多人中毒,16人死亡,这就是日本米糠油事件。

公害病具有以下特点:①它是人类活动造成的环境污染所引起的疾患;②其流行特点一般是长期陆续发病,可长达数十年,还可能累及胎儿和后代,也可能出现急性暴发型的疾病,使大量人群在短期内发病;③公害病是新的病种,有的发病机理尚不清楚,故无特效治疗方法。此外,公害病不仅是一个医学概念,而且具有法律意义,需经国家法律正式承认和严格鉴定方能认可。

世界八大公害事件向人们警示,环境污染对人体健康和环境的威胁是很大的,发展社会经济的同时必须注重公害的防治,并建立健全的预防环境污染的监测体制。

2. 环境污染对人体健康的主要危害

环境污染可通过多种途径和方式对人体健康产生影响,其主要特点是:①环境污染的涉及面广,接触污染的人口多,包括老、弱、病、幼,甚至胎儿等敏感人群;②污染物在环境中得到稀释,浓度往往较低,但受污染环境的人群可长时间接触,甚至终生接触;③环境污染物可通过呼吸道、消化道、皮肤等多种途径进入人体并产生危害;④环境中物理的、化学的和生物性的污染因素可同时存在,并共同对生命系统产生作用,如各种化学污染物对生物体的作用是不同的,当它们同时存在于环境中时,可表现出多种联合作用——相加作用、协同作用、促进作用、拮抗作用或独立作用等;⑤有些环境污染物还会进一步转化成新的污

染物，即二次污染物，可能产生更大的危害。环境污染的这些特点使环境毒理学研究形成了与其他毒理学分支学科明显不同的特色。

环境污染除了引发公害病以外，对人体健康的危害是多方面的，主要有如下几点。①急性和慢性中毒。短时间一次性大量的有害化学物污染环境并进入人体可引起急性中毒，甚至引起死亡；低浓度环境污染物长时间反复对机体作用能引起慢性中毒，影响机体的生理生化 and 免疫功能，使机体抵抗力降低，人群中慢性疾病的发病率和死亡率增高。②致癌作用。目前多数学者认为 80%~90% 的癌症与环境因素有关，在环境病因中，物理因素占 5%，生物因素占 5%，而化学因素占 90%。因此，保护环境是预防肿瘤的重要措施。③致畸作用。某些环境污染物，可通过怀孕母体的胎盘进入胎儿，引起胚胎中毒，导致死胎或流产，或者影响胎儿生长发育而发生畸形。这类环境污染物被称为环境致畸原。④致突变作用。某些环境污染物进入机体后，可使细胞中的遗传物质发生改变，引起细胞突变。体细胞的突变可引起癌症，而生殖细胞的突变可引起胎儿流产或使后代畸形。⑤间接危害。环境污染物可导致环境恶化，破坏生态平衡，使农产品的质量和产量降低，并间接危害人体健康和寿命。

二、环境毒理学的概念

环境毒理学 (environmental toxicology) 是环境科学的重要组成部分，也是目前毒理学中一个发展迅速的分支学科。毒理学 (toxicology) 一词是由希腊文 “toxikon” 和 “logos” 两个词组合演变而来，原意为 “描述毒物的科学”。毒理学经过几百年的发展，形成了现代毒理学。现代毒理学是研究外源化学物对生物体的毒性作用、作用性质与特征和中毒机理的科学。而环境毒理学是研究环境污染物，特别是化学污染物对生物有机体，尤其是对人体损害作用及其机理的科学。现代环境毒理学的任务不仅要研究环境污染物对生物个体的损害作用，而且要研究对生物群体、生态系统，甚至特定环境下的整个生物社会的损害作用及其防治对策。

环境化学污染物是由于人类的生产和生活活动人为地进入环境的化学物质，它们大多不是正常人体所需要的组成成分，也不是维持正常生命、生理功能所需要的营养物质，但可由人类生活环境通过一定环节和途径与人体接触并进入人体，且产生一定的生物学作用。它们是一类 “外来生物活性物质”，因此称为外源化学物或外来化学物，以区别于机体内代谢过程中形成的产物和中间产物——内源化学物。但需指出，人类维持正常生理所必需的化学物，如各种维生素、必需微量元素，甚至脂肪、蛋白质和糖等的过量摄取也可以引发某些疾病甚至毒性效应，尤其是一些微量元素，如锌、硒、锰等。因此，在毒理学领域，研究外源化学物虽为主要任务，但也应研究必需化学物过量摄入所引起的毒性效应。此外，近些年来，物理性污染大量增加，已对环境和环境中的生命体产生了显著影响，也需利用毒理学的原理与方法进行其对机体损伤的研究。物理因素与外源化学物因素联合作用于机体的毒理学也在日益受到重视与发展。

环境毒理学发展至今，其研究范围已不仅仅包括外源化学物直接对人类健康的损害，还包括外源化学物对人类健康的间接损害，也就是外源化学物对人类生存环境的影响。例如，含氯氟烃对臭氧层的破坏，形成臭氧空洞，致使长波紫外线透过同温层射向地表，使人类皮肤癌患者增加。再者，外源化学物对整个生物圈的影响与破坏，会影响人类的食物链和疾病谱，其相关研究也应包含在环境毒理学的研究范畴中。

环境污染物的种类很多，包括化学的、生物的和物理的等多种污染物。化学污染物是当前最为严重的环境污染物。随着工业化社会的发展，人类在生活和生产过程中可能接触到的

外源化学物日益增多，现今估计已达 500 多万种，其中已进入社会的约有 6 万~7 万种。这些外源化学物包括工业化学品及工业使用的原材料、食品色素与添加剂、农药、化妆品以及医用药品等。研究环境污染物对生物有机体损害作用的规律及其防治措施，对保护生态平衡、保障人类健康，使地球上各种生物种类，特别是人类社会可持续健康发展是非常重要的。

从以上阐述中可以看出，外源化学物、环境污染物以及毒物这 3 个不同的术语之间，在内涵上虽然存在差异，但有一个共同点，就是在一定条件下，对于生物体及人类都显示有害作用。因此在本书中，将根据论述的需要而使用。

三、环境毒理学的任务和主要研究内容

1. 环境毒理学的主要任务

环境毒理学以对各种生物特别是对人体产生危害的各种环境污染物 (environment pollutant) 为研究对象，包括物理性污染物、化学性污染物及生物性污染物，其中环境化学污染物是主要研究对象。环境毒理学的任务是：①研究环境污染物对人体健康的可能危害及其剂量-反应关系，进行毒性和安全性评价；②阐明环境污染物毒理作用机理及影响其毒性作用的各种因素，探索环境污染物对人体健康损害的早期检测指标；③为制订环境标准、环境卫生标准和防治环境污染物对人体健康的危害提供科学依据和措施；④现代环境毒理学还研究环境污染物对动物、植物、微生物及其他生物个体、种群以及生态系统等不同生命形式和不同层次的生命系统的危害，研究其损害作用及其机理、早期损害指标及防治理论和措施。

2. 环境毒理学研究的主要内容

环境毒理学的研究内容广泛，概括起来有如下主要方面：①环境毒理学的概念、理论和方法；②污染物的环境生态行为，包括环境污染物在环境中的分布、迁移和贮留，在生命体内的吸收、分布、转化和排泄，以及对人体和其他生物的一般毒性作用与机理；③环境污染物的化学结构和毒性作用之间的关系，影响环境污染物毒性作用的各种有关因素；④环境污染物及其转化产物对人体的致突变、致癌变、致畸变等的特殊毒性作用与机理；⑤环境污染物的毒性评定方法，包括急性、亚急性和慢性毒性试验，代谢试验，蓄积试验，繁殖试验，迟发神经毒试验，以及各项致突变试验、致癌试验、致畸变试验等；⑥各种污染物对人体和其他生物毒性作用的早发现、早防治的理论和措施等。

四、环境毒理学的发展

任何一个学科体系的形成、建立与发展，均依托于人类社会生产活动的发展和进步，环境毒理学也不例外。从中国、古埃及、古巴比伦、古印度几个文明古国的历史看，人们都在识别食物的同时鉴别出药物和有毒的动植物，甚至利用有毒物质制备了武器，如在弓箭镞上使用箭毒。但直至欧洲文艺复兴时期，瑞士人 Paracelsus (1493~1541) 才奠定了毒理学的基础。他明确提出了剂量概念，并指出所有物质都是有毒的，只是依剂量不同以区别是药物还是毒物。此后，随着欧洲资本主义工业生产的发展，工人生产劳动环境的恶化，发生了各种职业中毒。毒理学就在研究职业中毒过程中逐步发展起来。

毒理学摆脱以描述为主并发展形成多学科交叉的现代毒理学是 20 世纪中叶以后的事。自 20 世纪 60 年代，关于外源化学物的遗传毒性、致畸毒性的研究方法发展很快，使毒理学研究有了长足进步。此后，化学物中毒机理的研究也伴随着生物学、化学与物理学的发展而迅速发展，以至目前毒理学从不同领域、不同角度、不同深度形成了众多的、交叉的毒理学分支学科。从研究的学科领域看，目前已形成了昆虫毒理学、动物毒理学、植物毒理学、环

境毒理学、生态毒理学、地理毒理学、工业毒理学、食品毒理学、药物毒理学、军事毒理学、临床毒理学、人群毒理学、分析毒理学、比较毒理学、法医毒理学、管理毒理学等分支学科。作为毒理学的一个分支学科，环境毒理学既在毒理学领域之内形成交叉，又与生命科学领域相关学科有交叉，涉及广泛的学科领域，且相互渗透。当今毒理学的发展已与诸如生物化学、生物物理学、遗传学和分子生物学等生命科学的发展紧密相连，且相互促进发展。

环境污染日趋严重，生态平衡遭到破坏，人类的健康受到威胁，生物和人类社会持续健康的发展需要更多的环境毒理学知识和方法，这正是环境毒理学迅猛发展的原动力。此外，生命科学、物理学及化学的新概念、新方法的不断涌现和渗透，对环境毒理学的发展也起到了巨大的促进作用。环境毒理学的发展和其他学科一样，经历了由宏观到微观、整体到细部、分析到综合，又至整体和群体、试验到理论、理论到实践的发展过程，同时又沿着相反的方向，螺旋上升式地发展。在社会和经济发展的推动下，随着生命科学、物理学、化学及其他基础学科的发展和渗透，环境毒理学的理论和方法也在不断向前发展。

外源化学物对人类的危害和对环境的污染已引起社会与各国政府的重视。一些国家政府与民间组织为控制外源化学物对人类的危害，相应地成立了有关外源化学物毒理学研究的管理机构，不少国家还制订了有关的法律与法规以控制外源化学物对环境的污染，保护人类生存环境和人体健康。例如，美国在 1976 年颁布了《有毒物质管理法》，中国自 20 世纪 80 年代以来也制订并颁布了一些相关的法律以保护环境和人民健康，如《环境保护法》、《食品卫生法》、《新药药理、毒理研究的技术要求》、《食品安全性毒理学评价程序》、《化学农药环境安全评价试验准则》、《农药登记毒理学测试方法》、《化学品测试准则》、《化妆品安全性评价程序和方法》等。可见对外源化学物的毒理学研究和对外源化学物的使用控制与管理已不单纯为科学行为，也已成为政府部门的行政行为。

目前，除毒理学者和药理学者参与研究之外，在生物化学、生物物理学、遗传学、临床医学、生物学、动物学、植物学、生态学以及环境科学等学科之中均有越来越多的学者介入到环境毒理学研究领域。环境毒理学工作者必将担负起保护生态平衡、保障人类健康的使命，为保护和建设人类的地球家园做出贡献。

第二章 污染物的环境生态行为

污染物在环境中的迁移与转化、在生物体内的生物转运与生物转化，以及在生物体内的蓄积与放大，称为污染物的环境生态行为（environmental behavior）。污染物进入环境以后，由其自身的物理化学性质所决定，以及在各种环境因素的影响下，会在空间位置和形态特征等方面发生一系列复杂的变化。在这些变化过程中，污染物的状态、浓度、结构等都可能发生变化，并直接或间接地作用于人体或其他生物。环境污染物通过各种途径和方式与生物机体接触，通过某种方式被机体吸收，然后经循环系统或输导组织被输送到机体的器官、组织及细胞，并发生导致化学结构和性质改变的生物转化。进入生物体的外源化学物经过生物转运和生物转化，以原有的形态或代谢产物的形式通过一定的途径被排出生物体。由于外源化学物自身具有一些特殊的性质，如很强的脂溶性或与生物体内某些成分有很强的亲和性等，某些外源化学物可能在相当长的时间内蓄积在机体内而不排出体外，并经食物链被较高营养级的生物逐级放大。

第一节 污染物与优先污染物

一、污染物

污染物（pollutant）是进入环境后使环境的正常组成结构、性质和功能发生直接或间接有害于生物生长、发育和繁殖的变化的物质。这类物质有的是自然界释放的，有的是人类活动产生的。由人类生产、生活及娱乐等活动过程排放的污染物，是环境污染物的最主要来源。

在人类的社会活动中，环境污染物的产生大体来自两个方面。①生产活动。人类在生产活动过程中，产生大量的废气、废渣和废水并排入环境，其中也包括了许多自然界原来不存在的人工合成的各种有机化合物，严重影响了生态系统中各自然要素之间的物质和能量的正常交换过程。②生活活动。主要是生活污水的排放和垃圾的堆积等。据计算，一个人在一生中（按 60 年计算）要从外界环境吸收 324t 空气、54t 水和 32.4t 食物，同时也向环境排放数量大致相同的废物。

环境污染物可分为气态、液态、固态及胶态 4 种状态，被污染的对象则为大气、水体、土壤以及包括人类在内的各种生物。

二、优先污染物

随着现代工业的发展和片面追求经济增长战略的实施，人类通过生产和生活活动向环境排放的污染物与日俱增，其中大多数是化学污染物。以农药为例，全球使用量正以每年 12.4% 的速度递增。而且，世界上每年约有 1000 多种新的化学品进入市场。科学研究表明，这类化学污染物大多数是有毒有害的。然而，这些化学污染物，特别是有毒有机化学污染物在环境中的行为（光解、水解、微生物降解、挥发、生物富集、吸附、淋溶等）及其可能产生的潜在危害迄今尚无所知或知之甚微。有一些有毒污染物往往难以被自然生态系统中的分解者降解，并具有生物积累性和三致（致癌、致畸、致突变）作用或慢性毒性作用。有的污

染物可以被生物体富集，并通过食物网络逐步转移、蓄积和放大，其浓度可以得到数倍甚至上百倍的提高，对环境和人体健康造成直接伤害或潜在威胁。所以，由化学污染物引起的污染及其生态效应正日益受到人们的高度重视。但是由于有毒有害物质种类繁多，对每一种污染物都制订控制标准是不现实的，因此人们提出了在众多污染物中筛选出潜在危害大的作为优先研究和控制对象的策略，这些被筛选出的潜在危害性较大的污染物被称为优先污染物（priority pollution）或称为优先控制污染物。美国是最早开展优先污染物监测的国家，早在20世纪70年代中期，就在“清洁水法”中明确规定了129种优先污染物，其中有114种是有毒有害的有机污染物。联邦德国于1980年公布了120种水中有毒污染物名单，并按毒性大小分类。日本1986年底，环境厅公布了1974~1985年间对600种优先有毒化学品的环境安全性综合调查，其中检出率高的有毒污染物为189种。欧洲经济共同体在“关于水质项目的排放标准”的技术报告中，也列出了“黑名单”和“灰名单”。环境保护是中国的的基本国策之一，对有毒有害化学物质污染防治工作已经列入国家环境保护科技计划，并开展了大量研究工作。为了更好地控制有毒污染物排放，近几十年来中国也开展了水中优先污染物筛选工作，通过多次专家研讨会，于1988年初步提出了中国的水中优先控制污染物黑名单，共14类68种（见表2-1），可为中国优先污染物控制和监测提供依据。

表 2-1 中国水中优先控制污染物

序号	类 别	优 先 控 制 污 染 物
1	挥发性卤代烃	10种：二氯甲烷，三氯甲烷，四氯化碳，1,2-二氯乙烷，1,1,1-三氯乙烷，1,1,2-三氯乙烷，1,1,2,2-四氯乙烷，三氯乙烯，四氯乙烯，三溴甲烷
2	苯系物	6种：苯，甲苯，乙苯，邻二甲苯，间二甲苯，对二甲苯
3	氯代苯类	4种：氯苯，邻二氯苯，对二氯苯，六氯苯
4	多氯联苯	1种：包括PCB-1242,PCB-1254,PCB-1221,PCB-1232,PCB-1248,PCB-1260,PCB-1016
5	酚类	5种：苯酚，2,4-二甲基苯酚，2,4-二硝基苯酚，2,4-二氯苯酚，2,4,6-三氯苯酚
6	硝基苯类	6种：硝基苯，对硝基甲苯，2,4-二硝基甲苯，三硝基甲苯，对硝基氯苯，2,4-硝基氯苯
7	苯胺类	4种：苯胺，二硝基苯胺，对硝基苯胺，2,6-二氯硝基苯胺
8	多环芳烃类	7种：萘，荧蒽，苯并[<i>b</i>]荧蒽，苯并[<i>k</i>]荧蒽，苯并[<i>a</i>]芘，蒽苯并[<i>g,h,i</i>]芘，茚并[1,2,3- <i>c,d</i>]芘
9	酞酸酯类	4种：酞酸二甲酯，酞酸二乙酯，酞酸二丁酯，酞酸二辛酯
10	农药	8种：六六六，4,4'-DDT，敌敌畏，乐果，对硫磷，甲基对硫磷，除草醚，敌百虫
11	丙烯醛	1种：丙烯醛
12	亚硝胺类	2种：N-亚硝基二甲胺，N-亚硝基二正丙胺
13	氰化物	1种：氰化物
14	重金属及其化合物	9种：砷及其化合物，铍及其化合物，镉及其化合物，铬及其化合物，汞及其化合物，镍及其化合物，铊及其化合物，铜及其化合物，铅及其化合物

注：根据孙铁珩等主编，污染生态学，2001；孔繁翔主编，环境生物学，2000。

第二节 污染物在环境中的迁移和转化

一、污染物在环境中的迁移

环境污染物的迁移（transport）是指污染物在环境中发生的空间位置的相对移动过程。迁移的结果导致局部环境中污染物的种类、数量和综合毒性强度降低或增高，污染物所处的局部条件重新发生或大或小的变化。由于污染物的迁移作用，使得污染物可以传送到很远的地方，由局部性污染引起区域性污染，甚至造成全球性的影响。例如，有机氯农药二氯二苯三氯乙烷（DDT）在扩散作用下进入环境，通过风、洋流和水生生物等的一系列作用，迁