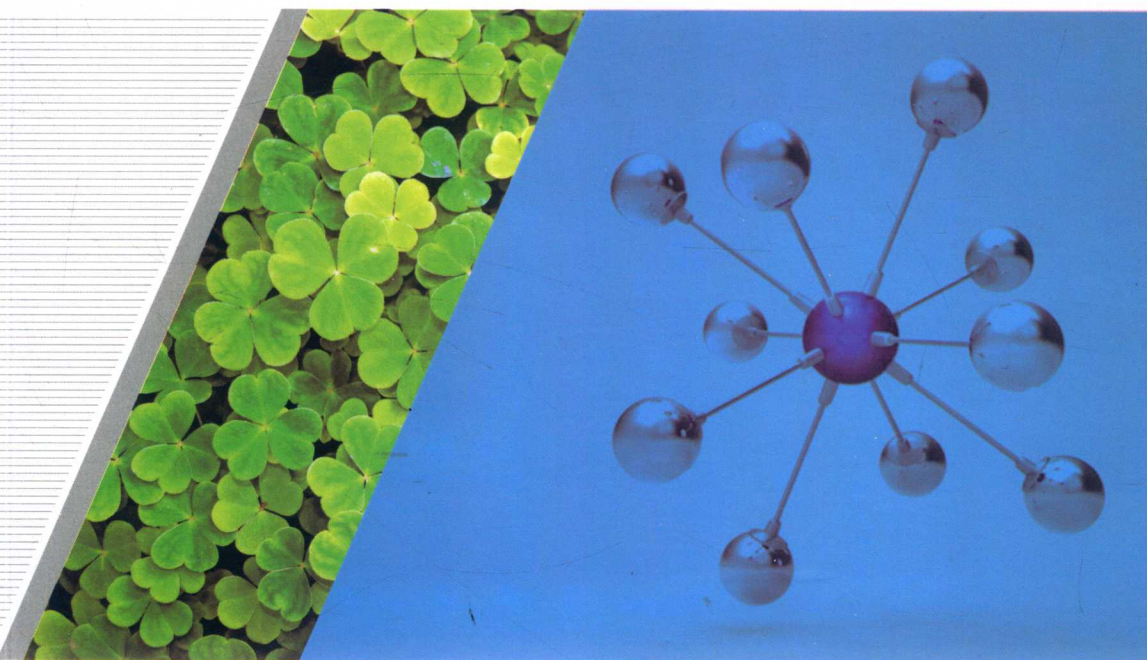




植物富集效应与 污染土壤植物修复技术

任秀娟 杨文平 程亚南 主编

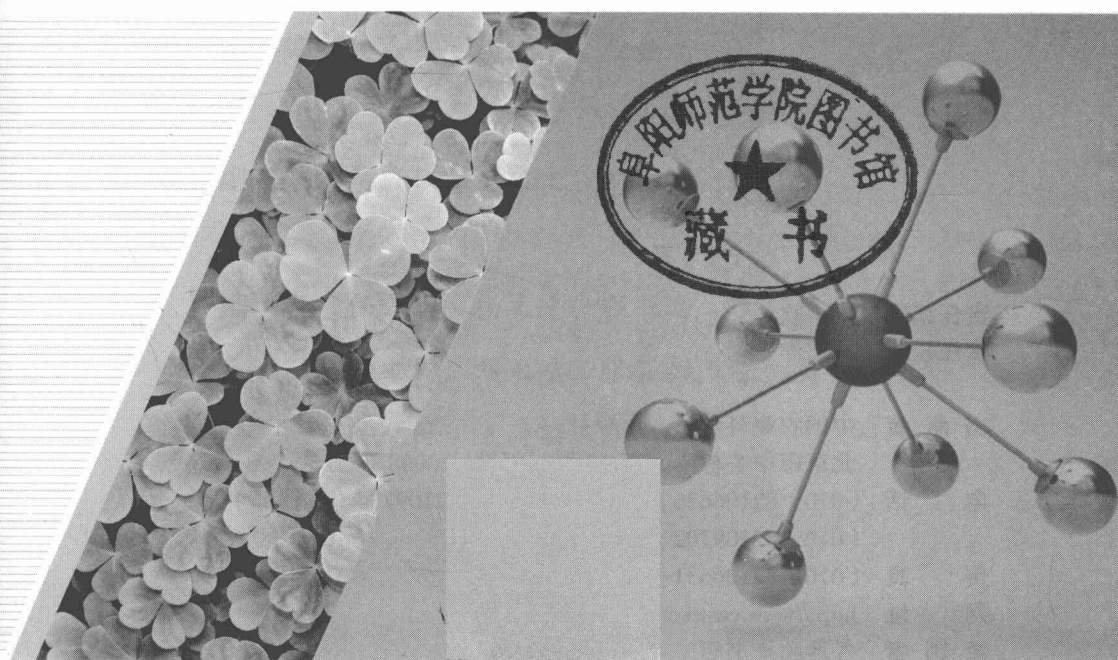


中国农业科学技术出版社



植物富集效应与 污染土壤植物修复技术

任秀娟 杨文平 程亚南 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

植物富集效应与污染土壤植物修复技术 / 任秀娟, 杨文平, 程亚南主编. —
北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.4
ISBN 978-7-5116-2029-3

I. ①植… II. ①任… ②杨… ③程… III. ①植物-生物富集-研究
②植物-应用-污染土壤-生态恢复-研究 IV. ①Q948 ②X173 ③X53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第064750号

责任编辑 姚欢
责任校对 马广洋

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街12号 邮编: 100081
电话 (010) 82106636 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109702 (读者服务部)
传真 (010) 82106631
网址 <http://www.castp.cn>
经销者 各地新华书店
印刷者 北京富泰印刷有限责任公司
开本 710mm × 1 000mm 1/16
印张 14.75
字数 250千字
版次 2015年4月第1版 2015年4月第1次印刷
定 价 36.00元

— 版权所有 · 侵权必究 —

《植物富集效应与污染土壤植物修复技术》

编 委 会

主 编：任秀娟 杨文平 程亚南

副主编：李广领 黄文文 刘永卓 张 影

编 者：任秀娟 杨文平 程亚南 李广领

黄文文 刘永卓 张 影 崔 英

吴大付 王丙丽 李新安

前 言

根据我国土壤污染状况调查报告结果,从点位监测看,全国土壤总的超标率达到16.1%,总体不容乐观。耕地土壤环境质量堪忧,耕地点位超标率(土壤超标点位的数量占调查点位总数量的比例)高达19.4%。此外,重金属镉污染加重,全国土地镉含量增幅最多超过50%,其中,部分地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量堪忧,工矿业废弃地土壤环境问题突出。目前,我国重金属污染的耕地面积近1000万公顷,其中,近20%的耕地受到严重污染。全国粮食每年因此减产1000多万吨,重度年份达1200万吨;我国每年水污染带来的经济损失2400亿元;另外大气污染在加剧,雾霾天数和程度都在增加。我国癌症村和镉米图在网络上传播,给我们敲响了警钟,警示我们一定要加强环境保护。

重金属环境污染治理与修复的技术与方法主要有物理的、化学的和生物的,其中,生物修复与治理方法最好。在生物学方法中以植物修复方法为热点。植物修复方法始于20世纪80年代,植物修复以低成本、易操作、无二次污染、易被公众接受而受到青睐。

植物修复的关键取决于植物生物量和重金属含量,一般用超富集植物来修复重金属污染的土壤和水体环境。但是超富集植物一般生物学产量低,生长速度慢等不利的限制性因素,同时,我国境内发现的超富集植物种类有限。为此,本书从超富集植物的发现、超富集植物的驯化与栽培管理、环保育种以及通过调节环境因素和农艺措施来强化植物富集效果等方面总结和讨论,以提高植物修复能力。

本书内容围绕着上述几个方面进行展开,主要包括:第一章生

态环境的主要问题、第二章污染环境修复技术体系、第三章生物富集与(超)富集植物、第四章重金属污染对植物的毒害作用、第五章植物对重金属污染的响应、第六章植物对重金属的吸收和积累、第七章重金属污染土壤的植物修复、第八章环保育种和农艺措施对重金属污染植物修复的强化作用。2013年就着手准备,编著人员多次讨论、修改、完善提纲,数易其稿,终于完成了,是编者集体智慧的结晶。

本书可供从事农业环境保护与可持续发展、污染生态、环境监测与保护、管理等工作的人员阅读,也可以供高等院校环境科学、生态学、土壤学、农业资源与环境保护等相关专业师生参考。

在本书编写过程中,参考了大量的文献,有的已详细注明、有的因编写人员的疏忽可能没能注明列出,请多多原谅。

因编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年3月

目 录

第一章 生态环境的主要问题	1
第一节 世界环境问题	1
一、全球环境问题的由来	1
二、世界八大公害事件	2
三、当代环境问题	5
第二节 我国面临的主要生态环境问题	7
一、工业三废排放量居高不下	7
二、农业面源污染形势依然严峻	8
第二章 污染环境修复技术体系	33
第一节 污染环境修复的技术	33
一、污染环境治理与修复技术分类	33
二、污染环境治理与修复的技术类型	34
第二节 生物修复	35
一、生物修复的概念	35
二、生物修复分类	36
三、生物修复的特点	37
四、生物修复的四原则及其局限性	38
五、生物修复的应用前景	39
第三节 微生物修复技术	39
一、微生物修复技术涉及的微生物	39
二、微生物污染修复原理	41

三、微生物降解有机污染物的基本反应类型·····	43
四、微生物修复方法·····	46
五、影响微生物修复的因素·····	50
第三节 植物修复技术·····	52
一、植物修复重金属污染的原理·····	52
二、植物修复有机污染的原理·····	56
三、植物修复的特点·····	57
第三章 生物富集与（超）富集植物·····	60
第一节 生物富集·····	60
一、生物富集的概念·····	62
二、生物富集的生态学意义·····	63
第二节 超富集植物·····	64
一、超富集植物的概念·····	64
二、超富集植物的特点·····	65
三、超富集植物的种质资源·····	66
四、超富集植物在环境污染中的应用·····	70
五、超富集植物在修复应用中存在的问题·····	74
第三节 重金属超富集植物·····	75
一、重金属超富集植物与植物富集的效应·····	75
二、重金属超富集天然栽培植物·····	76
第四章 重金属污染对植物的毒害·····	81
第一节 重金属污染对植物生长的影响·····	81
一、重金属污染对植物吸收的影响·····	81
二、重金属污染对植物发育的影响·····	82
三、重金属污染对植物生理生化影响·····	84
第二节 重金属污染对植物的毒害作用与条件·····	89
一、重金属污染对植物的毒害作用·····	89
二、重金属污染对植物毒害的条件·····	97
第三节 重金属污染对植物毒害的机制·····	105

第五章 植物对重金属污染的响应	108
第一节 植物对重金属污染的抗性	108
一、植物对重金属污染抗性的概念	108
二、植物对重金属污染抗性的机制	109
三、植物对重金属污染抗性的途径	110
第二节 植物对重金属污染的耐性	115
一、植物对重金属污染耐性的概念	115
二、植物对重金属污染耐性的机制	116
三、植物对重金属污染耐性的途径	117
第三节 植物对重金属污染的避性	122
一、植物对重金属污染避性的概念	122
二、植物对重金属污染避性的机制	122
三、植物对重金属污染避性的途径	123
第六章 植物对重金属的吸收积累及其机制与影响因素	128
第一节 植物对重金属的吸收与积累	128
一、重金属污染对植物的特殊性	128
二、植物对重金属元素的吸收与积累	129
第二节 植物吸收和积累重金属的机制及其影响因素	135
一、植物吸收和积累重金属的机制	135
二、影响植物吸收和积累重金属的环境因素	137
第七章 重金属污染土壤修复技术	153
第一节 土壤重金属污染的危害与现状	153
一、土壤污染的内涵	153
二、土壤污染分类	153
三、土壤污染的特点	154
四、我国土壤污染现状	155
五、土壤污染的成因	156
六、土壤污染的危害	157
七、土壤修复现状	159

第二节 重金属污染土壤修复技术	161
一、工程措施	162
二、物理化学修复	162
三、化学修复	163
四、农业生态修复	164
五、生物修复	164
第三节 重金属污染土壤的联合修复技术	170
一、土壤污染治理与修复技术的比较	171
二、污染土壤联合修复技术	174
三、污染土壤修复技术的发展趋势	176
 第八章 环保育种和农艺措施对重金属污染植物修复的 强化作用	 180
第一节 环保育种	180
一、“环保育种”的内涵	180
二、我国植物育种工作得天独厚的优势	181
第二节 农艺措施强化植物修复能力	187
一、增施化肥增强植物修复能力	188
二、超富集植物与农作物间作增强植物修复能力	190
三、水旱轮作增强植物修复能力	193
四、增施有机肥和加强作物秸秆还田增强植物修复能力	194
五、农林复合系统强化植物修复能力	194
六、土壤耕作	195
 参考文献	 197

第一章

生态环境的主要问题

第一节 世界环境问题

一、全球环境问题的由来

环境问题的产生和发展是伴随着人类的出现和发展同步进行的，尤其是随着人类社会的发展，环境问题也就同时发展升级。

人类自诞生以后的漫长岁月内，对环境的影响不大，主要是以利用环境为主，而很少有意识地去改造环境。而当人类开始了农业和畜牧业以后，才有意识地改造环境，并伴随着农业和畜牧业的发展，对环境的改造才进一步深入。

18 世纪从英国发起的工业革命以来，它开创了以机器代替手工工具的时代，这不仅是一次技术改革，更是一场深刻的社会变革。因此，发达国家率先兴起产业革命，世界以前所未有的速度发生了极大的变革。一方面，因机械化、电气化所带来的高效率使人类从繁重的体力劳动解脱出来，物质文明得到了长足的发展；另一方面，依靠石油等化石能源支撑起来的现代农业与现代工业生产方式，其弊端也日益凸显。尤其是工业三废的排放和城市化的扩张，化肥、农药和塑料制品的大量使用，加之人口的持续增加，生态环境呈现出每况愈下的趋势。伦敦烟雾事件、日本水俣病事件、日本米糠油事件和日本富山县神通川流域骨痛病事件等八大公害事件的先后发生，随之发生的还有臭氧层破坏、温室效应、酸雨、水体富营养化、水土流失、水土污染、荒漠化、资源衰竭、生物多样性丧失等接踵而至的生态环境问题。

因早期对环境污染问题的控制力不足,往往造成恶性污染事件——公害事件的发生。其特点是影响范围广,持续时间长、伤亡人数多。在人类进入 20 世纪 50 年代以后,环境问题更加突出,震惊世界的公害事件接连发生,其中,最有名的八大公害事件就发生在这期间。

二、世界八大公害事件

八大公害事件是指在世界范围内,由于环境污染而造成的八次较大的轰动世界的公害事件。

(一) 马斯河谷事件

马斯河谷事件发生于比利时马斯河谷工业区。由于该工业区处于狭窄的河谷中,许多重型工厂分布在那里,包括炼焦、炼钢、电力、玻璃、炼锌、硫酸、化肥等工厂,还有石灰窑炉。1930 年 12 月 1 日开始,整个比利时由于气候反常变化被大雾覆盖。在马斯河谷还出现逆温层,雾层尤其浓厚。在这种气候反常变化的第 3 天,这一河谷地段的居民有几千人呼吸道发病,有 63 人死亡,为同期正常死亡人数的 10.5 倍。发病者包括不同年龄的男女,症状是:流泪、喉痛、声嘶、咳嗽、呼吸短促、胸口室闷、恶心、呕吐。咳嗽与呼吸短促是主要发病症状。死者大多是年老和有慢性心脏病与肺病的患者。尸体解剖结果证实:刺激性化学物质损害呼吸道内壁是致死的原因,其他组织与器官没有毒物效应。据推测,事件发生期间,大气中的二氧化硫浓度竟高达 25~100 毫克/立方米,空气中还含有有害的氟化物。此次污染事件,有害气体与煤烟、粉尘同时对人体产生了毒害。同时空气中存在的氧化氮和金属氧化物微粒等污染物会加速二氧化硫向三氧化硫转化,加剧对人体的刺激作用。而且一般认为是具有生理惰性的烟雾,通过把刺激性气体带进肺部深处,也起了一定的致病作用。

在马斯河谷烟雾事件中,地形和气候扮演了重要角色。从地形上看,该地区是一狭窄的盆地;气候反常出现的持续逆温和大雾,使得工业排放的污染物在河谷地区的大气中积累到有毒级的浓度。该地区过去有过类似的气候反常变化,但时间都很短,后果不严重。如 1911 年的发病情况与这次相似,但没有造成死亡事件的发生。

(二) 多诺拉事件

多诺拉事件发生于 1948 年 10 月 26~31 日美国宾夕法尼亚州多诺拉镇。该镇处于河谷,10 月最后一周大部分地区受反气旋和逆温控制,加上 26~30 日持续有雾,使大气污染物在近地层积累。二氧化硫及其氧化作用的产物与大气中尘

粒结合是致害因素，发病者 5911 人，占全镇人口 43%。症状是眼痛、喉痛、流鼻涕、干咳、头痛、肢体酸乏、呕吐、腹泻，死亡 17 人。

（三）光化学烟雾事件

光化学烟雾的成分非常复杂，具有强氧化性，刺激人们眼睛和呼吸道黏膜，伤害植物叶子，加速橡胶老化，并使大气能见度降低。对人类、动植物和材料有害的主要是臭氧、过氧乙酰硝酸酯和丙烯醛、甲醛等二次污染物。臭氧、过氧乙酰硝酸酯等还能造成橡胶制品的老化、脆裂，使染料褪色，并损害油漆涂料、纺织纤维和塑料制品等。

最著名的光化学烟雾事件发生于 1943 年美国洛杉矶市，全市 250 多万辆汽车每天消耗汽油约 1600 万升，向大气排放大量碳氢化合物、氮氧化物、一氧化碳。该市临海依山，处于 50 千米长的盆地中。大气中的氮氧化物与碳氢化合物经过紫外线照射发生反应就形成了光化学烟雾，因此，光化学烟雾被认为是现代工业化的难题。而大气中的氮氧化物主要来源于化石燃料的燃烧和植物体的焚烧，以及农田土壤和动物排泄物中的转化。此后，在北美、日本、澳大利亚和欧洲部分地区也先后出现这种烟雾。

（四）伦敦烟雾事件

1952 年 12 月 5 日开始，逆温层笼罩伦敦，城市处于高压中心位置，垂直和水平的空气流动均停止，连续数日空气寂静无风。当时伦敦冬季多使用燃煤采暖，市区内还分布有许多以煤为主要能源的火力发电站。由于逆温层的作用，煤炭燃烧产生的二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、粉尘等气体与污染物在城市上空蓄积，引发了连续数日的大雾天气。期间由于毒雾的影响，不仅大批航班取消，甚至白天汽车在公路上行驶都必须打开大灯。

当时，伦敦正在举办一场牛展览会，参展的牛首先对烟雾产生了反应，350 头牛有 52 头严重中毒，14 头奄奄一息，1 头当场死亡。不久伦敦市民也对毒雾产生了反应，许多人感到呼吸困难、眼睛刺痛，发生哮喘、咳嗽等呼吸道症状的病人明显增多，进而死亡率陡增，据史料记载从 12 月 5~8 日的 4 天里，伦敦市死亡人数达 4000 人。根据事后统计，在发生烟雾事件的一周中，48 岁以上人群死亡率为平时的 3 倍；1 岁以下人群的死亡率为平时的 2 倍，在这一周内，伦敦市因支气管炎死亡 704 人，冠心病死亡 281 人，心脏衰竭死亡 244 人，结核病死亡 77 人，分别为前一周的 9.5、2.4、2.8 和 5.5 倍，此外，肺炎、肺癌、流行性感等呼吸系统疾病的发病率也有显著性增加。

12 月 9 日之后，由于天气变化，毒雾逐渐消散，但在此之后两个月内，又

有近 8000 人因为烟雾事件而死于呼吸系统疾病。事后, 据英国环境污染负责人厄尔斯特·威廉金斯博士统计, 在雾灾发生的前一周, 伦敦死亡人数为 945 人; 而在大雾期间, 伦敦地区死亡人数激增到 5000 人, 而大雾所造成的慢性死亡人数达 8000 人, 与历年同期相比, 多死亡 3000~4000 人。此后的 1956 年、1957 年和 1962 年又连续发生了多达 12 次严重的烟雾事件。直到 1965 年后, 有毒烟雾才从伦敦销声匿迹。

1952 年的事件引起了民众和政府当局的注意, 使人们意识到控制大气污染的重要意义, 并且直接推动了 1956 年英国洁净空气法案的通过。1952 年伦敦烟雾事件被环保主义者看做 20 世纪重大环境灾害事件之一, 并且作为煤烟型空气污染的典型案例出现在多部环境科学教科书中。

(五) 四日市哮喘事件

四日市位于日本东部海湾。1955 年这里相继兴建了十多家石油化工厂, 化工厂终日排放的含二氧化硫 (SO_2) 的气体 and 粉尘, 使昔日晴朗的天空变得污浊不堪。1955 年以来, 日本四日市石油冶炼和工业燃油产生的废气, 严重污染城市空气。重金属微粒与二氧化硫形成硫酸烟雾。1961 年哮喘病发作, 1967 年一些患者不堪忍受而自杀。1972 年该市共确认哮喘病患者达 817 人, 死亡十多人。因日本各大城市普遍使用高硫重油, 致使四日市哮喘病蔓延全国。据日本环境厅统计, 到 1972 年为止, 日本全国患四日市哮喘病的患者多达 6376 人。

(六) 米糠油事件

1968 年 3 月, 日本的九州、四国等地区的几十万只鸡突然死亡。经调查, 发现是饲料中毒, 但因当时没有弄清毒物的来源, 也就没有对此进行追究。然而, 事情并没有就此完结, 当年 6~10 月, 有 4 个家庭因患原因不明的皮肤病到九州大学附属医院就诊, 患者初期症状为痤疮样皮疹、指甲发黑、皮肤色素沉着、眼结膜充血等。此后 3 个月内, 又确诊了 112 个家庭的 325 名患者, 之后在全国各地仍不断出现。至 1977 年, 因此病死亡人数达 30 余人, 1978 年, 确诊患者累计达 1684 人。

(七) 水俣病事件

1953~1956 年日本熊本县水俣市, 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, 人食用毒鱼后受害。1972 年日本环境厅公布: 水俣湾和新县阿贺野川下游有汞中毒者 283 人, 其中, 60 人死亡。原来从 1949 年起, 位于日本熊本县水俣镇的日本氮肥公司开始制造氯乙烯和醋酸乙烯。由于制造过程要使用含汞的催化剂, 大量的汞便随着工厂未经处理的废水被排放到了水俣

湾。1954 年,水俣湾开始出现一种病因不明的怪病,叫“水俣病”,患病的是猫和人,症状是步态不稳、抽搐、手足变形、精神失常、身体弯弓高叫,直至死亡。经过近十年的分析,科学家才确认,工厂排放的废水中的汞是引发“水俣病”的元凶。汞被水生生物食用后在体内被转化成甲基汞,这种物质通过鱼虾进入人体和动物体内后,会侵害脑部和身体的其他部位,引起脑萎缩、小脑平衡系统被破坏等多种危害,毒性极大。在日本,食用了水俣湾中被甲基汞污染的鱼虾人数达数十万。

(八) 骨痛病事件

骨痛病事件是指 1931 年于日本富士县神通川流域发现的一种土壤污染公害事件。在日本富川平原上有一条河叫神东川,多年来,两岸人民用河水灌溉农田,使万亩稻田飘香。19 世纪 80 年代,日本富山县平原神通川上游的神冈矿山成为从事铅、锌矿的开采、精炼及硫酸生产的大型矿山企业。然而在采矿过程及堆积的矿渣中产生的含有镉等重金属的废水却直接长期流入周围的环境中,在当地的水田土壤、河流底泥中产生了镉等重金属的沉淀堆积。农民引河水灌溉,便把废水中的镉转到土壤和稻谷中,两岸农民饮用含镉之水,镉通过稻米进入人体,食用含镉之米,便使镉在体内积存。进入体内的镉主要通过肾脏经尿排出,但也有相当数量由肝脏经胆汁随粪便排出。镉的排出速度很慢,人体中镉的生物学半衰期是 10~30 年。镉污染最终导致骨痛病,重者全身多处骨折,在痛苦中死亡。从 1931~1968 年,神通川平原地区被确诊患此病的人数为 258 人,其中,死亡 128 人,至 1977 年 12 月又死亡 79 人。第二次世界大战后,日本大规模发展炼锌工业,1960 年以前骨痛病患者就开始出现,直到 1961 年,富山县成立了“富山县地方特殊病对策委员会”,开始了国家级的调查研究。1967 年研究小组发表联合报告,表明“骨痛病”主要是重金属尤其是镉中毒引起的。

三、当代环境问题

自 20 世纪 80 年代以来,伴随着环境污染和大范围的生态环境破坏,人们开始共同关注在全球范围内出现的环境问题。由于化肥特别是氮肥的大量使用,全球范围内使用量在 1960~1990 年的 30 年间增加了 4 倍多,导致不同水体呈现不同程度的富营养化 (Colin Woodard, 1968); 在欧美等发达国家硝酸盐污染的范围是相当大的,硝酸盐也是水体主要污染物 (世界资源所等, 2001)。表 1-1 显示出近年来发生的重大公害事件 (李训贵, 2004)。因人口爆炸和经济的快速发展,导致生态恶化、环境污染事件不断发生。水资源短缺和地下水位下降

(Brown *et al.*, 1998 ; Brown, 2005)、森林面积缩小、土壤侵蚀、牧场退化和物种消失、气候变化、臭氧层耗减、冰川融化、海平面上升、河流干涸等生态环境问题(布朗 2002),由此导致粮食危机、资源危机、能源危机等使得地球处于崩溃的边缘(Brown, 2011)。世界银行环境事务副总裁兼世界水资源委员会主席伊斯梅尔·塞拉戈丁直言不讳地预言:“21 世纪的战争将是为了水”(马克·德维利耶, 2001)。

世界上多国发生的这些公害事件,再次向我们敲起了环境保护的警钟,环境保护意识一定要加强,人类一定要与自然和谐相处。我们不要过分陶醉于人类对自然界的胜利,对于每一次这样的胜利,自然界都对我们进行报复。

表 1-1 近年来发生的重大公害事件

事件	时间	地点	危害	原因
维素化学污染	1976 年 7 月 10 日	意大利北部	多人中毒,居民搬迁,若干年后婴儿畸形	农药厂爆炸,二噁英污染
阿摩柯卡的斯油轮泄油	1978 年 10 月	法国西北部	藻类、湖间带动物、海鸟灭绝,工农业生产,旅游业损失大	油轮触礁,22 万吨原油泄漏
三哩岛核电站泄漏	1979 年 3 月 28 日	美国宾夕法尼亚州	周围 50 英里 200 万人极度不安,直接损失 10 亿多美元	核电站反应堆严重失水
威尔士饮水污染	1985 年 1 月	英国威尔士	200 万居民饮水污染,44% 的人中毒	化工公司将酚排入河中
墨西哥气体爆炸	1984 年 11 月 9 日	墨西哥	伤 4200 人,死亡 200 人,10 万人疏散	石油公司一个油罐爆炸
博帕尔农药泄漏	1984 年 12 月 1~2 日	印度博帕尔	死亡 1408 人,2 万人严重中毒,15 万人接受治疗,20 万人逃离	45 吨异氰酸甲酯泄漏
切尔诺贝利核电站泄漏	1986 年 4 月 26 日	乌克兰	死亡 31 人,伤 203 人,13 万人疏散,直接损失 30 多亿美元	核反应堆机房爆炸
莱茵河污染	1986 年 11 月 1 日	瑞士巴塞市	事故段生物绝迹,100 英里鱼类死亡,300 英里不能饮用	化学公司仓库爆炸,装有 1250 吨剧毒农药的钢罐爆炸

(续表)

事件	时间	地点	危害	原因
莫农格希拉河污染	1988年11月1日	美国	沿岸100万居民生活受到影响	350万加仑原油入河
埃克森·瓦尔迪兹油轮漏油	1989年3月24日	美国阿拉斯加	海域严重污染	漏油26.2万桶
北美死湖	20世纪70年代开始	美国东北部和加拿大东南部	美国受酸雨影响水面达3.6万平方千米,9400个湖泊酸化变质。加拿大受酸雨影响水面5.2万平方千米,5000多个湖泊酸化	排放2500多万吨二氧化硫
黄岛油库爆炸	1989年8月12日	中国青岛	19人死亡,100多人受伤,直接经济损失3540万元	胜利输油公司黄岛油库发生特大火灾爆炸
海湾战争油污染	1990年8月至1991年2月	伊拉克	海湾战争期间,先后泄入海湾的石油达150万吨	石油燃烧黑烟导致伊朗南部下“黑雨”
美国墨西哥湾原油泄漏	2010年4月22日	美国墨西哥湾	11人失踪,17人受伤。浮油威胁至少600种动物安全。恐导致美国经济二次衰退	美国一座石油钻井平台爆炸起火,随后沉入墨西哥湾
世界沿海赤潮	1950年以来	40多个沿海国家	带来不同程度的人员死伤和经济损失	发生数百起赤潮灾害
福岛核电站	2011年3月14日	日本福岛	爆炸后,放射性物质通过风传播到中国 and 俄罗斯等国,严重威胁民众健康	大量放射性物质泄漏到外部
中海油漏油事件	2011年7月11日	中国烟台	造成840平方千米的海域严重污染,周边3400平方千米海域水质严重下降	油田溢油

第二节 我国面临的主要生态环境问题

一、工业三废排放量居高不下

伴随着我国人口的剧增,经济以年递增8%的高速发展,世界制造工厂地