

■ 当代环境科学技术丛书

shengtaifengxian

生态风险 评价

pingjia

■ 殷浩文 编著

华东理工大学出版社



当代环境科学技术丛书

生态风险评估

殷浩文 编著

华东理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生态风险评价/殷浩文编著. —上海:华东理工大学出版社, 2001.9

(当代环境科学技术丛书)

ISBN 7-5628-1199-7

I.生... II.殷... III.生态环境-风险分析 IV.X171.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 055520 号

生态风险评价

当代环境科学技术丛书

殷浩文 编著

出版	华东理工大学出版社出版发行	开本	850 × 1168 1/32
社址	上海市梅陇路 130 号	印张	5.125
邮编	200237 电话 (021)64250306	字数	132 千字
网址	www.hdlgpress.com.cn	版次	2001 年 9 月第 1 版
经销	新华书店上海发行所	印次	2001 年 9 月第 1 次
印刷	上海崇明晨光印刷厂印刷	印数	1 - 3000 册
ISBN 7-5628-1199-7/TQ·85		定价:8.00 元	

序 言

21 世纪中国面临着严峻的环境问题。我国主要污染物的排放总量得到了控制,但是绝对量还是很大。二氧化硫的排放量居世界第一,二氧化碳的排放量居世界第二。难降解的、有毒的有机物污染问题逐渐突出。工业污染和生活污染的比重相当,农业面污染已占 20%,导致 75% 以上的湖泊富营养化加剧。全球 10 个大气污染最严重的大城市,中国占了 7 个。垃圾包围城市现象普遍,沙漠化和水土流失严重。生态环境恶化的趋势没有得到有效的遏制。

早在 20 世纪 80 年代初,环境保护就作为一项基本国策,提出了“预防为主,谁污染谁治理和强化环境管理”的三大环境政策,制定了一系列与之配套的环保法律法规。这一切说明我国政府对环境保护是高度重视的。但是环境管理除了有健全的政策、法律、法规制度外,更重要的是要有科学的环境管理方法。上海市环境科学研究院殷浩文先生编著的《生态风险评价》为所有的环境保护工作者,包括研究者、评价者和管理者提供了如何科学地管理生态风险的理论和实例。它比我国现行的环境影响评价制度更进了一步。生态风险评价从人类依存于自然和如果环境恶化或遭受破坏,人类自身也无法生存这一事实出发,认为人类在利用公共资源时的各种行为都具有生态风险的特点。人类不同的行为有不同的生态风险。生态风险是客观存在的。国内外许多科学家经过近 20 年的艰苦探索和研究,发表了许多生态风险评价的理论和和技术方法。发达国家在此基础上已建立了许多相应的生态风险法规,而我国还是空白。

本书共分为 5 个部分。第一部分介绍了生态风险评价在环境决策和环境法律中的作用。第二部分介绍了生态风险评价的理论。第三部分是通用性的生态风险评价程序。第四部分是几种不

同的生态风险评价类型。第五部分举了四个生态风险评价的实践例子。其中第一个例子是美国对 DB 河流域生态系统的风险评价,是根据通用性程序进行的评价实践。第二个例子是单质化学品——三氯乙酸的风险评价,采用了鱼、大型蚤、藻类、原生动物、细菌的毒性试验作为试验终点进行生态风险评价。第三个例子是船码头漏油对中国长江河口生态系统风险评价,主要根据导致水质破坏的油污染事件对长江口生态脆弱带的鱼、虾、蟹的生长影响进行生态风险分析。第四个例子是比较中国某制药厂四个排放口对河流中的鱼类致死程度的风险评价,是以鱼的急性毒性试验作为试验终点,建立了混合废水浓度和生物毒性效应之间的模型,给出了该河流在不同压力条件下的风险值,这是生态风险评价以定量方式表达的尝试。这四种不同类型的生态风险评价实例为我国必须转入生态经济管理起了示范作用。

我衷心地期望每一位环境保护工作者能有机会阅读这本书。若读者能在各自担任的工作中因此书的启发而增加了哪怕是一点点儿科学的含金量,积少成多、齐心协力,那么再严峻的环境问题也是能克服的。

中国科学院院士
水生生物研究所研究员
沈韞芬



作者简介

殷浩文，1959年生，教授级高工。1982年毕业于华东师范大学生物系。研究方向生态毒理学、生态风险评价。1996年被国家环保局授予全国环境保护先进工作者称号，1997年被上海市建委聘为环境生态学学科带头人，1999年评为上海市十大建设科技精英之一。曾赴挪威、美国和日本等国合作研究或短期工作访问。近年来在国内外发表60余万字的科研论文，制定技术标准1项，专著2本。主持设计、创建了上海环科院生态毒理实验室系列。

目 录

1 引言	(1)
1.1 生态风险评价概述	(4)
1.2 生态风险评价对环境决策的作用	(6)
1.3 生态风险评价的法律基础	(7)
2 生态风险评价的理论	(9)
2.1 生态风险评价的发展史	(9)
2.2 方法学研究中的几个关键问题	(11)
2.2.1 生态风险中的系统观点	(11)
2.2.2 确定终点	(13)
2.2.3 不确定性	(17)
2.3 未来的方向	(19)
3 生态风险评价程序	(21)
3.1 生态风险评价的规划	(21)
3.1.1 建立管理目标	(23)
3.1.2 管理决策	(24)
3.1.3 风险评价的范围和复杂性	(24)
3.1.4 规划结果	(25)
3.2 问题形成	(25)
3.2.1 综合有效信息	(26)
3.2.2 选择终点	(27)
3.2.3 概念模型	(31)
3.2.4 分析计划	(34)
3.3 分析阶段	(36)
3.3.1 数据和模型研究	(38)

3.3.2	暴露表征	(41)
3.3.3	生态效应表征	(46)
3.4	生态风险表征	(56)
3.4.1	风险估计	(57)
3.4.2	风险解释	(63)
3.5	报告风险	(67)
4	生态风险评价的几种不同类型	(69)
4.1	回顾性生态风险评价	(70)
4.1.1	问题形成	(71)
4.1.2	分析阶段	(72)
4.1.3	生态风险表征	(74)
4.2	多重压力的生态系统风险评价	(77)
4.2.1	系统或区域	(78)
4.2.2	终点	(79)
4.2.3	景观生态学和生态毒理学风险	(80)
4.2.4	系统压力识别与风险评价	(81)
4.3	监视性生态风险评价	(84)
4.3.1	监视的目标和漏洞	(84)
4.3.2	为风险评价服务的监视	(85)
4.3.3	监视监测的终点	(85)
4.4	生物安全性风险评价	(87)
4.4.1	概况	(88)
4.4.2	风险评价内容	(90)
5	生态风险评价的实践	(98)
5.1	实例 1 BD 河流域生态系统风险评价计划及问题表述 (美国)	(98)
5.1.1	摘要	(98)

5.1.2	DB 河流域生态风险评价计划	(102)
5.1.3	概念模型的建立	(119)
5.1.4	分析计划的总结	(128)
5.2	实例 2 单质化学品环境风险评价(德国)	(130)
5.2.1	暴露	(130)
5.2.2	环境迁移	(130)
5.2.3	暴露估计和预测的环境浓度(PEC)计算	(131)
5.2.4	生物效应	(131)
5.2.5	水中的预测的无效应浓度(PNEC)	(133)
5.2.6	风险表征	(133)
5.3	实例 3 油码头漏油对河口生态系统的生态风险评价 (中国)	(134)
5.3.1	油码头溢油事故起因分析	(135)
5.3.2	生态风险分析	(137)
5.3.3	敏感目标环境浓度及增量预测	(138)
5.3.4	生态系统终点确定与生物效应实验模型	(139)
5.4	实例 4 工业混合物排放对河流中鱼类致死的风险评价 (中国)	(141)
5.4.1	排放估计	(141)
5.4.2	排放的毒性估计	(142)
5.4.3	环境暴露模型与结果	(144)
5.4.4	快速毒性与水体风险事件的关系	(146)
5.4.5	鱼类急性毒性风险评价	(148)
缩写索引		(151)
参考文献		(152)
后记		(156)

1 引 言

曾经有很长的时间,人们自以为是这个星球的主宰或以这种身份就可以完全按我们的需要和想法来支配、使用、开发生物和非生物的自然资源。这种状态一直持续到 20 世纪 70 年代。高速的经济增长、人口膨胀、城市工业化引发了环境危机。在各类环境危机中,人们更多的是考虑突发性的环境污染事故的严重后果,如 Exxon 公司在阿拉斯加 Valdez 的大规模漏油,切尔诺贝利核泄漏等,这些事故性风险已引起了人们高度的重视,而对生态系统中因人为因素,如污染物质不适当的排放,开发项目对生态系统进行重大改变等引发的持久、相对缓慢的生态系统水平上的危害却缺乏警惕。本书论述的是生态系统水平上的人类开发和污染引起的系统生态风险评价技术,注重其生物学风险效应。

我国的物种多样性的下降、黄河断流、北方的沙尘暴的加剧、滇池的富营养化,这些生态系统尺度上的风险一旦变为现实,要扭转其发展趋势是非常困难的。

我国生态破坏的状况相当严峻。在生物多样性方面,中国被子植物有 4000 种受到威胁。其中,珍稀濒危种 1000 种,极危种 28 种,已灭绝或可能灭绝 7 种;裸子植物濒危和受威胁 63 种,极危种 14 种,灭绝 1 种;脊椎动物受威胁 433 种,灭绝和可能灭绝 10 种。我国是生物多样性受到威胁的国家之一。在“濒危野生动植物种国际贸易公约”列出的 640 个世界性濒危物种中,我国就有 156 种,约为总数的 25%。物种消失的原因是过度开发引起的重要生境丧失、退化和萎缩,盲目引种和环境化学品污染。这三个因素只

要具备一个就足以产生危害。

在区域生态系统方面,黄河断流及流域大面积缺水已严重影响经济和社会发展。1972年黄河首次出现断流。随着时间的推移,截止到1995年,在不到24年之中,黄河断流的频率、次数、时间以及断流河道长度逐年增加,断流日期逐年提前。以黄河下游利津水文站为例,20世纪70年代累计断流78天,80年代91天,进入90年代,至1997年已累计断流714天,其中1995年断流122天,1996年断流133天,1997年断流时间高达226天。1995年黄河断流的河流的河道达672公里,占黄河总长1/10还多。1999年加强了全流域水量平衡管理,断流降为42天,人为不利因素消除了,但生态问题的实质依然存在。

黄河如此,长江也不容乐观,污染东海的主要源头是长江。长江径流6300余公里,流经多个大工业城市,携带了大量的污染物注入东海。以氮、磷为例,20世纪末长江口海域无机氮、无机磷已百分之百超标,平均含量每升分别达到1.33毫克和0.33毫克,均只有三类、四类水水质标准。对长江口地区海域营养盐状况进行监测表明,90年代该海域氮的含量比60年代增加了6倍。长江的污染加剧了东海富营养化,引起赤潮频发,生态退化明显,经济损失严重。据统计,1993~1997年间,全国共发生赤潮265次,其中东海海域发生132次,大大高于南海、黄海和渤海。目前的科学技术尚无法治理海洋赤潮。我国在内陆水域,太湖、滇池、巢湖正在大力治理富营养化,数以亿计的资金不断投入其中,收效甚微。人类将一个数十万年乃至数百万年才完成的生态演替过程缩短到十几年内并推向极点,再要恢复谈何容易。

引发生态风险的重要源头是化学品的环境危害,它是许多环境问题的根源。美国科学家Colborn等人(1996)撰写的“我们被偷走的未来”中,通过大量数据分析得出了以下结果:1940~1982年合成化学品生产增加了350倍,对人类、野生生物及生态系统的污染是前所未有的。50年来,人类用合成化学品进行了全球性试

验,以下数据可见一斑。

- 美国的碳素合成化学品(占合成化学品的一大半)的产量 1992 年为 2 亿吨,人均 726kg。全球总产量大致是美国的 4 倍。
- 目前全球流通合成化学品 10 万余种,每年 1 000 种左右的新化学品投入市场,其中大多数没有经过严格的安全性检测(全世界的最大检测能力大约是每年 500 种)。实际上其中只有一部分能通过检测。
- 美国现在使用的农药是 1945 年的 30 倍,100 万吨。人均 4kg。对消费者的食物作 200 项农药指标检测(在用农药为 600 余种),35%发现有农药残留。在埃及的牛奶抽样中,50%样品具有 15 种农药的高残留。
- 70 年代发达国家因环境和健康毒性而禁用约 15 000 种含氯化合物,而发展中国家至今为消毒和杀虫还在大量使用。
- 大量化学品中已有研究的仅几百种,而且局限于致癌、致畸方面,有关内分泌、代谢和遗传方面几乎没有。我们的无知远胜于所知。这些化学品不仅用于工、农业,而且大量、直接用于公园、学校、旅馆甚至家庭。

在事实面前人类深刻地认识到人与自然的关系不是主宰和被主宰的关系,空气、水、食物、能源等地球上的资源是人类赖以生存的基础,而且不是我们认为的“取之不尽,用之不竭”。美国生态学家 Odum 形象地称这些有限的资源为“生命支持系统”(life support system),因此有了 20 世纪 70 年代环境科学的发生和发展,有了 90 年代可持续发展的新概念。经济赤字影响我们的今天,而生态系统的赤字(生命支持系统的破坏和衰减)将影响我们的未来。揭示这种赤字的可能性,就是要进行生态风险评价。这就是生态风险评价的意义所在。

1.1 生态风险评价概述

生态风险评价的定义是研究一种或多种压力形成或可能形成的不利生态效应的可能性的过程(USEPA1992a)。有关这个定义的注解如下。

可能性:风险描述可以是定性判别或定量概率。现有科学技术手段在定量估计风险时常常力所不及。对风险管理者而言,定性地表达不确定性的数量级比由于不易估计或表述而忽视风险要好得多。

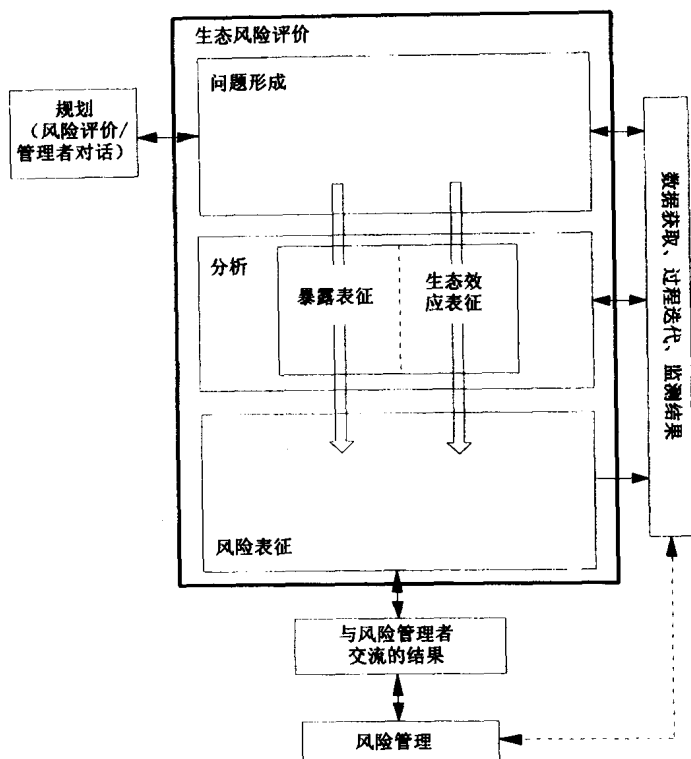
不利生态效应:生态风险评价涉及对生态系统的有价值的结构或功能特征的人为改变(或有危害趋势)。研究不利生态效应就是研究这种危害的类型、强度、效应范围和恢复的可能性。

可能形成或正在形成:生态风险评价可以预测未来风险,也可以回顾性地评价已经或正在发生的生态危害。许多生态风险评价的方法和技术既可用于预测评价,也可用于回顾评价。一个好的生态风险评价在回顾性评价中也包含了对风险源头、压力和效应的预测评价。

一种或多种压力:生态风险评价可以追溯单一或多重化学、物理、生物学压力。化学压力有毒物、营养物;物理压力有大坝、捕鱼网目或沉积物悬浮;生物学压力有外来或遗传工程生物。由于风险评价是为管理提供决策,本书强调人为活动对压力的形成或影响。

生态风险评价是一个预测污染物对生态系统或其中某些部分产生有害影响可能性的过程。利用数学手段,结合生态毒理学研究成果,预测污染物对生态系统的有害影响。除了科学的努力外,还应有一些法律、法规对污染物的产生、排放作出控制。发展有说服力的科学评价方法对法律、法规的制订者将是很有用的。

生态风险的评估需要跨学科的知识与技术,它包括环境化学、



生态风险评价框架(USEPA1992)生态风险评价三个阶段包括:问题形成,分析和风险表征。与生态风险评价关联的重要活动包括:评价者与管理者和数据获取和监测。生态风险评价经常以迭代方式进行

图 1-1 生态风险评价流程

生物学和生态毒理学。生态风险评价的目的是使用有效的毒理学与生态学信息估计有害的生态事件发生的可能性。这些事件称为生态终点,较为常见的生态终点如出现某些物种的灭绝,另一个可能的终点是某些经济价值很高的种属产生急剧的衰退如观赏和商品鱼类,也可能是某个生物种群丧失了它在维持生态系统功能完整性中的重要作用。在某种情况下也可能出现某些有害种群或物

种丰度剧烈膨胀,如有毒藻类或传染病病毒或外来物种。

从理论上分析,生态终点不限于特定的物种效应,生态系统中任何基本生态过程的不可接受的改变均可视为终点。如初级生产力、物质分解、营养元素循环等过程受到干扰,使系统的正常功能受到阻碍,在物种组成、基础生命维持能力等方面产生长期的不利结果,这些在生态风险评价中都是不可忽视的终点。

生态风险的终点不仅是种群的大小与系统内的能流物质变化,特定生境的消失也是干扰的终点。根据干扰的性质选择终点是很重要的。

风险评价与简单的生物学评价的区别在前者对环境问题中的不确定性给出了明确的解答并最终给出了所估计效应的定量解释。在一定条件下,生态风险的讨论可以归结到概率,生态效应的量化估计是重要的。同时,估计的准确性及精确性也很重要,概率基础上的效应预测强化了不确定性的识别和定量。

1.2 生态风险评价对环境决策的作用

数十年来的环境管理实践表明,一旦污染形成,消除污染的费用很高并且并不是总能奏效的。而在此之前环境管理决策所面对的不确定性(Ruckelshaus 1983, Suter 1993a)是非常大的,以致有时难以决策。生态风险评价是环境决策的基础。在进行正式的评价前,评价者与决策者交流的深入、透彻与否是进行一个成功的生态风险评价的必要前提。生态风险评价对有害物处理立法、工业化学品立法、流域管理等一系列环境决策意义重大。生态风险评价过程中的基本要素对决策的具体影响如下:

- 1) 生态效应是压力暴露改变的函数,它有助于决策者对备选方案的权衡和检验;

- 2) 不确定性给出了一个可信度范围,使决策者关注那些可以提高可信度的进一步研究;

3) 风险评价能提供风险的比较、排序和区分优先级,使管理者便于选取管理对策;

4) 风险评价强调以良好的定义和相关的终点使评价结果以管理者便于使用的方式表达。

当然,并非所有环境管理都需要事先进行生态风险评价。当面对紧急的生态风险和需要立即作出决策时,管理者可不经评价而依靠专业判断和法律要求作出决策。

管理决策或法律要求能够明显地影响生态风险评价的范围。有时评价集中在一种压力类型上,如生境的变化。法律可能要求风险管理者采取某些行动。对决策产生影响的还有其他因素:政治和社会考虑可能导致生态学上的过强或过弱保护,经济也可以是关键因素。因此,生态风险评价仅是环境决策的一个部分。

1.3 生态风险评价的法律基础

欧美的生态风险评价都有其法律基础。在欧洲,生态风险评价是欧盟(原为欧共体)法律体系中的一部分。1993年欧盟就颁布了对化学品进行生态风险评价的规定和技术指导文件(EC 1993)。次年修订了现存化学品的生态风险评价规定(EC 1994)以及相关的评价纲要(Ahlers 1994)。这些文件在两年后又作了综合修订(EC 1996)。欧盟成员国也有相应的法规,在此法律框架下,欧洲各国进行了系统的化学品生态风险评价和广泛的工业污染物排放的生态风险评价。

美国与生态风险有关的法规有:毒物控制法(TSCA),清洁空气法(CAA),清洁水法(FWPCA/CWA),联邦杀虫剂、杀真菌剂和杀鼠剂法(FIFRA)和环境责任、补偿及义务法(CERCLA/超级基金)等一系列与生态风险评价有关的法律。这些法律针对不同对象提出了进行一定范围内的生态风险评价要求。正是生态风险评价的广泛需求,使美国环保局在经过近10年准备后,于1998年正式颁布

了生态风险评价指南(63FR26845 - 26924 1998)。

我国对风险评价的关注主要在化学品的突发性事故上。因此有关法规也主要是化学危险品管理方面。有关环境保护的法规,如:中华人民共和国环境保护法、水污染控制法、大气污染控制法等法律。这些法律原则上都提及了生态保护的管理目标,但在是否进行生态风险评价的问题上没有明确条款。在国家环保局颁布的环境影响评价技术导则(NEPA 1994)中,仅有条件地要求进行建设项目生态影响的描述性评价。1997 年国家环保局发布了非污染生态影响评价技术导则(NEPA 1997)用于评价水利、矿业、农业、林业、牧业、交通运输、旅游等行业项目和海岸带开发对生态环境的影响。

由此可见,生态风险评价在我国尚未成为环境决策的基础。即便在已进行的生态影响评价中,我们在方法学、评价目标、技术程序等方面与欧美目前进行的工作也有较大不同。