

Principles and Methods of
Ecotoxicology

生态毒理学 原理与方法

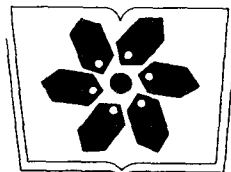
■ 孟紫强 主编



 科学出版社
www.sciencep.com

R994.6

4



中国科学院科学出版基金资助出版

生态毒理学原理与方法

孟紫强 主编

科学出版社

北京

Principles and Methods of Ecotoxicology

by

Meng Ziqiang

Science Press
Beijing

内 容 简 介

本书对生态毒理学不同领域的原理和方法进行了比较全面的论述,全书既重视对基础理论和研究方法的全面介绍,又重视对近年来国内外有关生态毒理学新成果的系统总结。主要内容有生态毒理学基本概念、基本理论及主要研究方法;从分子、细胞、个体及群体水平系统阐述了植物、动物及微生物生态毒理学的理论知识和研究方法;分别论述了与这三大类生物有关的主要污染物的毒性作用及其机理;系统论述了陆地生态系统、淡水生态系统、海洋及河口生态系统的生态毒理学,反映了当代生态学 and 生态毒理学把生态系统的研究作为中心或重点的新特色、新成果和新体系;最后介绍了生态风险评价的理论和方法。本书力求使读者不但对当代生态毒理学的理论知识有比较全面的掌握,而且可以应用书中介绍的方法进行实际工作和相关科学研究。

本书适于从事生态学、生态毒理学、环境医学及环境保护工作的专业人员以及教学、科研和管理人员阅读参考,也适于生物科学、环境科学与工程、地理、农学、预防医学及食品科学等专业的本科生和研究生作为试用教材,也可以用作相关职业学校和专业的培训试用教材。

图书在版编目(CIP)数据

生态毒理学原理与方法/孟紫强主编. —北京:科学出版社, 2006
ISBN 7-03-017339-2

I. 生… II. 孟… III. 环境毒理学 IV. R994.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 054999 号

责任编辑:韩学哲 吴伶俐/责任校对:鲁素

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2006年12月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年12月第一次印刷 印张: 33 1/2

印数: 1—2 500 字数: 653 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《生态毒理学原理与方法》编委会

主 编 孟紫强

编 委 (按姓氏笔画排序)

刘静玲 花日茂 张 峰 屈 艾

孟紫强 赵良启 解静芳 魏爱丽

前 言

环境问题是当代人类面临的重大问题之一。环境污染对包括人类在内的各类生物产生日益加剧的毒害作用，生态平衡遭到严重破坏，许多地区的生态系统正处于亚健康和非健康状态，甚至有濒临毁灭的危险。地球生物界包括动物、植物、微生物乃至人类的生存和发展正在受到严重威胁。在这种严峻的形势下，自20世纪70年代以来，我国对生态毒理学的研究和实践一直在加速度地迅猛发展，取得了大量高水平的科研成果，培养了大量优秀专业技术人才，以适应环境保护和社会发展不断增长的需求。本书就是在这种情况下，为了适应我国环境保护事业的发展 and 生态毒理学科研、教学工作的需要而撰写和出版的。

生态毒理学是毒理学、生态学和环境科学等多种学科相互交叉、融合的新兴边缘学科，是运用数学、物理学、化学、预防医学和生命科学等学科的理论和方法，研究各种有毒有害因素，特别是环境污染物对动物、植物、微生物等非人类生物的伤害作用及其规律的科学。它是研究和解决环境与生物健康、环境与生态系统、环境与生态平衡、环境与生物多样性、生物标志物与生态预警以及环境污染监测与治理等重要环境问题的基础理论和工具。与生态毒理学不同，环境毒理学是研究环境有毒有害因素，特别是化学污染物对人体和人群的伤害作用及其规律的科学。为达到此目的，环境毒理学家常常采用实验室模式生物（其中以哺乳类实验动物更为常见）进行试验研究以探讨环境毒物对人体健康的影响。因此，生态毒理学与环境毒理学都有各自的研究重心或中心，虽然二者在基本理论和基本方法上关系密切，但它们在研究目标和研究对象上是不同的。

本书共九章，构建了一个全新的生态毒理学的体系和框架。在此体系和框架内，力求从理论和实践方面对生态毒理学的各个领域进行比较系统和全面的论述，既对生态毒理学基础理论和研究方法予以高度重视，又注重吸收和总结近年来国内外有关的科研成果，介绍新知识、新方法、新体系，反映当代生态毒理学的最新成就。第一章论述生态毒理学概念、任务、历史与展望及基本研究方法；第二章介绍生态毒理学基本理论，为以后各章的学习和研究打好基础；第三至五章分别论述动物生态毒理学、植物生态毒理学、微生物生态毒理学。从分子水平、个体水平、群体水平阐述环境污染物对动物、植物和微生物的毒理学效应及机制；同时，针对这三类生物各自的主要污染物，分别介绍了不同污染物的生态毒理学作用。本书从三类生物出发，介绍各自的生态毒理学，在国内外尚属罕见。第六至八章分别论述了陆地生态系统生态毒理学、淡水生态系统生态毒理学、海洋与河口生态系统生态毒理学。第六至八章是在第三至五章个体和群体生

态毒理学的基础上对生态系统生态毒理学的详细介绍,符合把生态系统的研究作为生态学和生态毒理学的重点这一当代学科发展的新特色、新体系。此外,全书在介绍新知识的同时,还着重介绍大量新方法,可以供科研和教学人员选用。第九章介绍了生态风险评价的理论和方法,使读者读后不仅能够掌握其基本理论,而且可以利用所介绍的方法进行实地生态风险评价。生态风险评价是 20 世纪 90 年代生态毒理学研究的三大进展之一。本书通过这种新的生态毒理学体系和框架的提出和论述,以期对我国生态毒理学学科的全面发展有所裨益。

本书作者来自山西大学环境科学与工程研究中心(孟紫强、解静芳、魏爱丽)、山西大学生命科学与技术学院(张峰、赵良启)、北京师范大学环境科学研究所(刘静玲)、徐州师范大学生命科学与技术学院(屈艾)及安徽农业大学环境与资源学院(花日茂)。各章作者分别为:第一章和第二章,孟紫强;第三章,解静芳、孟紫强;第四章,魏爱丽;第五章,赵良启;第六章,花日茂、解静芳;第七章,刘静玲;第八章,屈艾;第九章,张峰。参加编著本书的作者都是有关领域的专家、学者和教授,他们以认真、严谨的态度完成了本书的编著工作。

本书的出版,得到中国科学院科学出版基金的资助,同时也得到山西大学教材出版基金的资助,在此一并致谢。

由于作者学术水平和经验有限,书中难免存在疏漏和不足之处,希望广大读者和有关专家,随时提出宝贵意见,为我国生态毒理学学科的发展共同努力。

孟紫强

2006年3月1日

目 录

前言

第一章 概论	1
一、生态毒理学概念.....	1
二、生态毒理学任务.....	6
三、生态毒理学的分支科学.....	7
四、生态毒理学发展的历史与展望.....	8
五、生态毒理学基本研究方法.....	16
第二章 生态毒理学基本概念和理论	31
第一节 生态与环境	31
一、环境与环境污染.....	31
二、生态因子及其作用特征.....	32
三、生物种、种群及群落.....	35
四、生态系统.....	35
五、生物浓缩.....	42
第二节 环境污染物的毒性作用	43
一、基本概念.....	43
二、环境污染物毒性作用的特点及类型.....	53
三、环境污染物的联合毒性作用.....	65
四、毒性作用的机制.....	68
第三节 影响毒性作用的因素	73
一、环境污染物的结构与性质.....	73
二、机体(宿主)状况.....	76
三、接触条件.....	79
四、环境因素.....	80
第三章 动物生态毒理学	81
第一节 动物对环境污染物的吸收、分布和排泄	81
一、生物膜的结构与功能.....	85
二、环境污染物通过生物膜的方式.....	85
三、吸收.....	87
四、分布与储存.....	89
五、环境污染物的排泄.....	90

第二节	毒物动力学	91
一、	基本概念	92
二、	一室模型	93
三、	二室模型	94
第三节	环境污染物在动物体内的生物转化	98
一、	生物转化的反应类型	99
二、	影响生物转化的因素	106
第四节	环境污染物对动物的生态毒理学效应及机制	109
一、	农药生态毒理学	110
二、	多氯联苯及其他卤代芳烃生态毒理学	124
三、	金属生态毒理学	130
四、	环境气体污染物生态毒理学	135
五、	人工饲养动物生态毒理学	143
第五节	环境污染物对动物毒性作用的研究及评价方法	147
一、	环境污染物引起动物中毒的病因调查与诊断	147
二、	环境污染物对动物的一般毒性及其评价	149
三、	环境污染物对动物致突变与致癌变作用及其评价	155
四、	环境污染物对动物的生殖发育毒性及其评价	166
第四章	植物生态毒理学	171
第一节	植物对环境污染物的吸收、运输与转化	172
一、	吸收	172
二、	运输	179
三、	分布与积累储藏	182
四、	转化	186
第二节	环境污染物对植物的生态毒理学效应及机制	190
一、	概述	190
二、	不同环境污染物的植物生态毒理学效应	199
第三节	植物对生态系统的影响	221
一、	植物毒素	221
二、	外来入侵植物	229
三、	植物对生态环境的净化作用	232
第四节	研究方法与技术	234
一、	有害气体对植物毒性作用的染毒研究技术	234
二、	环境污染物对植物毒性作用的形态学与解剖学研究技术	236
三、	环境污染物对植物毒性作用的生理生化研究技术	236
四、	环境污染物对植物细胞遗传毒理学作用的研究技术	238

五、重金属在植物中的残留量研究技术	241
六、农药在植物中的残留量研究技术	245
第五章 微生物生态毒理学	250
第一节 微生物在自然环境中的作用与地位	251
一、自然界中微生物的种类与分布	251
二、微生物在物质循环中的作用	252
三、微生物在生态平衡中的作用	258
四、环境污染物对微生物物质循环作用的影响	259
第二节 环境污染物对微生物的生态毒理学作用	260
一、环境污染物的种类与侵害途径	260
二、环境污染物对微生物的生态毒理学作用与机制	261
三、微生物在清除污染物与环境修复中的作用	270
第三节 微生物污染对其他生物的生态毒理学作用	273
一、微生物污染物的种类与特点	273
二、有害微生物群落对环境质量的影响	279
三、病原微生物对人与动物的生态毒理学作用	281
四、病原微生物对植物的生态毒理学作用	288
五、病毒对微生物的生态毒理学作用	295
六、微生物污染的防治对策	302
第四节 研究方法与技术	303
一、样品的采集与微生物计数	303
二、富集培养、菌种分离与微生物鉴别	305
三、环境污染物对微生物毒性作用的研究方法	307
四、环境污染物对微生物群落影响的研究方法	308
五、病原微生物对其他生物毒性作用的研究方法	312
第六章 陆地生态系统生态毒理学	313
第一节 陆地生态系统	313
一、陆地生态系统结构	313
二、陆地生态系统功能	313
三、陆地生态系统环境污染物的类型	315
第二节 环境污染物在陆地生态系统中的迁移及转化	316
一、进入途径	316
二、分布与迁移	316
三、生物的吸收	319
四、降解代谢	321
五、生态毒理学作用	323

第三节	环境污染对陆地生物的毒性作用及机制	328
一、	重金属	328
二、	农药	332
三、	其他环境污染物	335
第四节	陆地生态毒理学研究方法与技术	337
一、	陆地植物	337
二、	土壤微生物及无脊椎动物	342
三、	昆虫、蜘蛛和螨	354
四、	鸟类	360
五、	陆生哺乳动物	368
第七章	淡水生态系统生态毒理学	374
第一节	淡水生态系统	374
一、	淡水生态系统的结构	374
二、	淡水生态系统的特点	375
三、	淡水生态系统中环境污染物的类型	376
四、	环境污染对淡水生态系统的损害	377
第二节	环境污染物在水体与生物体内的迁移转化	378
一、	进入水体的途径	378
二、	在水环境中的分布与转移	378
三、	生物的吸收和富集	378
第三节	环境污染物的毒性作用及机制	380
一、	分子生物水平的毒性效应	380
二、	细胞与亚细胞水平的毒性效应	380
三、	个体水平的毒性效应	382
四、	种群、群落水平的毒性效应	383
五、	生态系统水平的毒性效应	384
六、	不同生态环境因子对环境污染物毒性的影响	385
第四节	淡水生态毒理学研究方法	386
一、	微生物试验	386
二、	淡水初级生产者试验	390
三、	无脊椎动物试验	396
四、	淡水鱼类试验	400
五、	沉积物试验	405
六、	淡水生态系统试验	409
第五节	水体环境污染对人类健康的影响	416
一、	对人体健康的直接影响	416

二、水生生物毒素对人体健康的危害	417
三、“水华”的毒性作用	418
第八章 海洋与河口生态系统生态毒理学	419
第一节 海洋环境	419
一、海洋环境的主要特征	419
二、海洋主要分区	422
三、海洋沉积物	422
第二节 海洋主要生物群落及生态系统	423
一、海洋主要生物类型	423
二、海洋主要生态系统类型	426
第三节 海洋污染与污染物暴露	427
一、海洋生态系统中污染物类型	428
二、海洋生态系统污染物吸收途径	429
三、海洋污染物的生物积累和降解	430
第四节 河口区的环境、生态系统和污染暴露	431
一、河口区环境特点	431
二、河口区生物和生态系统组成	433
三、河口污染物及其来源	435
四、赤潮污染	438
第五节 海洋与河口污染物生态毒理学效应及作用机制	446
一、分子水平的毒理效应及作用机制	446
二、细胞及亚细胞水平的毒理效应	448
三、组织及器官水平的毒理效应	449
四、个体水平的毒理效应	449
五、种群水平的毒理效应	452
六、群落与生态系统水平的毒理效应	453
第六节 海洋与河口生态毒理学研究方法	454
一、海洋初级生产者毒性研究	457
二、海洋与河口无脊椎动物毒性研究	460
三、海洋与河口鱼类早期生活阶段的毒性研究	464
四、海洋与河口沉积物毒性的生物检测	465
五、海洋和河口多物种检测系统	468
第九章 生态风险评价	471
第一节 生态风险评价的基本概念	471
一、生态风险评价所涉及的领域	472
二、生态风险发生的规模	475

三、生态风险评价的类型	475
四、生态风险评价的特点	477
第二节 生态风险评价的科学基础	477
一、生态学	478
二、分子生物学	478
三、生态毒理学	478
四、数学方法	479
五、接触表征	480
第三节 环境污染物的生态风险评价的基本要素和步骤	481
一、确定问题	482
二、获得必需的信息/数据	483
三、评价潜在的危险	484
四、接触特征	485
五、综合生态学效应的表征和接触表征(危险表征)	486
第四节 人类活动的物理干扰和外来种入侵的生态风险评价方法	488
一、确定受体和生态终点	488
二、风险源鉴定	488
三、暴露和危害分析	489
四、生态风险的综合评价	490
第五节 GMOs 生态风险评价方法	491
一、危险识别	491
二、推断危险发生的可能性	492
三、确定危害程度	492
四、估计危险概率	493
五、风险水平的评定	493
主要参考文献	495

Contents

Preface	
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Definition and scope of ecotoxicology	1
1.2 Task and role of ecotoxicology	6
1.3 Branch of ecotoxicology	7
1.4 History and prospect of ecotoxicology	8
1.5 Basic research methods of ecotoxicology	16
Chapter 2 Basic Concepts and Theory	31
2.1 Ecology and environment	31
2.2 Toxic role of environmental pollutants	43
2.3 Factors influencing toxicity	73
Chapter 3 Animal Ecotoxicology	81
3.1 Absorption, biodistribution and excretion of pollutants	84
3.2 Toxicokinetics	91
3.3 Biotransformation <i>in vivo</i>	98
3.4 Ecotoxicological effects and its mechanism of pollutants	109
3.5 Research methods and assessment of pollutant toxicity	147
Chapter 4 Plant Ecotoxicology	171
4.1 Absorption, transport and transformation of environment pollutants	172
4.2 Ecotoxicological effect and mechanism of environment pollutants	190
4.3 Affects of plants on ecosystem	221
4.4 Research methods	234
Chapter 5 Microbial Ecotoxicology	250
5.1 Role of microorganisms in the ecosystem	251
5.2 Toxicity of environmental pollutants to microorganisms	260
5.3 Microbial contamination's toxicity to other organisms	273
5.4 Research methods	303
Chapter 6 Ecotoxicology of Terrestrial Ecosystems	313
6.1 Terrestrial ecosystems	313

6.2	Transference and transformation of pollutants in terrestrial ecosystems	316
6.3	Ecotoxicological effect and mechanism of environmental pollutants	328
6.4	Research methods of terrestrial ecotoxicology	337
Chapter 7	Ecotoxicology of Freshwater Ecosystems	374
7.1	Freshwater ecosystem	374
7.2	Transport and transformation of environmental pollutants	378
7.3	Ecotoxicological effect and mechanism of environmental pollutants	380
7.4	Research methods of freshwater ecotoxicology	386
7.5	Effect of water environment contamination on human health	416
Chapter 8	Ecotoxicology of Marine and Estuarine Ecosystems	419
8.1	Marine environment	419
8.2	Main marine biological groups and ecosystem types	423
8.3	Marine pollution and exposure to pollutants	427
8.4	Estuarine environment, ecosystem and contamination	431
8.5	Ecotoxicological effect and mechanism of marine and estuarine pollutants	446
8.6	Research methods of marine and estuarine ecotoxicology	454
Chapter 9	Ecological Risk Assessment	471
9.1	Fundamental concepts about ecological risk assessment	471
9.2	Scientific disciplines of ecological risk assessment	477
9.3	Basic element and procedure of ecological risk assessment	481
9.4	Ecological risk assessment methods for human activities disturbances and ecological invasion	488
9.5	Ecological risk assessment method for GMOs	491
References	495

第一章 概 论

从 18 世纪末到 20 世纪初的工业革命，为人类社会带来了巨大的生产力，同时也引发了严重的环境问题。特别是近几十年来，随着世界人口的增加，工业生产、交通运输的增加，以及对煤炭、石油等能源利用的增长，各种固体废物、废液及废气向环境的排放量急剧增加，使环境受到严重污染。环境污染导致的生态平衡问题成为人类面临的主要问题之一。为了人类社会的可持续发展，也为了经济建设的可持续发展，环境与资源的保护、生态系统的可持续发展问题，就成为必须尽快加以解决的重大课题。在如何保护生态系统不被破坏的研究中，各国的科学家作出了极大的努力：应用毒理学理论和方法，尤其是应用环境毒理学的理论、方法和成果，去探讨生态破坏问题，从而将生态学、毒理学及环境科学交叉、融合，将其发展成为一门新的边缘学科——生态毒理学。

在环境问题日益突出、环境污染愈加严重的情况下，随着环境评价和治理标准的不断提高，各国对生态毒理学研究的需求更加迫切，从而促进了生态毒理学的发展。生态学和毒理学的发展也不断为生态毒理学注入新的内涵。此外，数学、物理、化学、生物学等相关学科日新月异的发展，也为生态毒理学的发展提供了新的理论、方法和手段。生态毒理学的研究成果在工业、农业、交通、国防、城乡规划和建设等不同领域和行业的应用和发展，不仅丰富了生态毒理学的知识，而且逐渐形成了一批新的生态毒理学分支科学。

一、生态毒理学概念

生态毒理学是研究有毒有害因素对生态环境中非人类生物的伤害作用及其机制的科学。它的主要目的和任务是揭示有毒有害因素包括潜在的有毒有害因素对生态系统伤害作用的规律，并为保护生态系统的健康提供策略和措施。由此可以看出，生态毒理学主要是研究生态系统中有毒有害因素对动物、植物及微生物，在分子、细胞、器官、个体、种群及群落等不同生命层次的伤害作用，进而达到揭示这些因素对生态系统影响规律的目的。在探讨这些伤害效应的本质和机制的过程中，从组织水平、器官水平、细胞水平、亚细胞水平，甚至分子水平和基因水平去研究有害因素对生物的作用，是必不可少的。多年来，有一些学者一直认为生态毒理学与环境毒理学、传统毒理学的区别在于生态毒理学是研究有害因素对生物群体的伤害作用，而环境毒理学、传统毒理学是研究有害因素对生物个体的伤害作用。这一认识之所以是错误的，就在于该认识把个体和群体对立起来、把生物个体与生态系统对立起来，忽略了个体与群体、个性与共性的辩证关系。

群体是由个体组成的，而个体又寓于群体之中。因此，把是研究生物个体还是研究生物群体作为环境毒理学与生态毒理学的区分界限从认识论上就是不正确的。实际上，许多生态毒理学家研究生态毒理学问题就是从研究环境污染物对生物个体，甚至对生物细胞及其基因的损伤作用开始的。因为除了进行一般的生物调查或普查之外，在研究一个很大的生态系统或研究一个很大的物种群体时，不可能把整个生态系统或该物种整个群体的每个个体均作为分析研究的对象，这不仅是因为不可能有如此多的时间和经费，而且如果对群体中的每个成员都进行分析，这对生态系统或生物群体也是一种伤害。所以，生态毒理学家们不得不采用研究该物种群体的代表性个体，如有的采用五点或多点取样的方法选择该生物群体中有代表性的个体，进行详细地分析研究。有时甚至不得不采取对少数模式实验生物的个体进行实验室研究，以达到推测对群体甚至对生态系统作用的目的。有人也可能以生物调查（如调查大面积森林受某种环境污染物的损害作用）为例，把生态毒理学界定为是进行“生物群体”研究的一门学科。其实，生物调查并不是生态毒理学研究的“专利”工具。因为传统毒理学和环境毒理学沿用多年的“流行病学调查”就是观察有毒有害因素及不利环境因子对人群健康影响的，这种“流行病学调查”是研究人类群体毒理学问题的经典方法。从上述分析可知，把是否进行生物群体研究作为区分生态毒理学与传统毒理学、环境毒理学的界限是不全面的，也是有悖于科研实践的。如今传统毒理学已经被现代毒理学或称毒理学所取代，生态毒理学和环境毒理学都是毒理学的分支科学。

生态毒理学与环境毒理学最主要的区别是在研究对象和研究目标的不同上，而不是在研究对象的数量（个体或群体）上。环境毒理学的研究目标是探讨和阐明环境中的有毒有害因素对人体和人群的生物学效应和健康损害及其规律。其主要研究对象是个人和人群。由于以人体为研究对象的局限性，常常采用非人类的实验室模式生物进行毒理学试验，如采用哺乳类实验动物、实验植物及实验微生物等；生态毒理学的研究目标是探讨和阐明有毒有害因素对动物、植物、微生物的个体和群体的生物学效应和健康损害及其规律，其主要研究对象是非人类生物，特别是野生生物，其中包括一些非人类的模式生物，如试验用的非哺乳类实验动物、实验植物及实验微生物等。我们常常看到一些科研论文和一些文献检索刊物把那些采用非人类的模式实验生物作为研究对象的环境毒理学方面的研究论文错误地归属到生态毒理学的目录之下；同样，也有的把生态毒理学方面的研究论文错误地归属到环境毒理学的范畴。作者认为，可以采用以下7条标准来判断科研项目、科研工作、论文及成果是属于环境毒理学的领域还是属于生态毒理学的领域：①观察和研究的对象是人，还是非人类生物；②研究目标是研究环境的有毒有害因素对人群和人体健康的影响，还是环境的有毒有害因素对动物、植物、微生物的个体和群体的毒害作用；③研究的环境有毒有害因素的主要直接危害对象是人体或人群，还是非人类生物；④观察或研究的生物是实验室模式生