



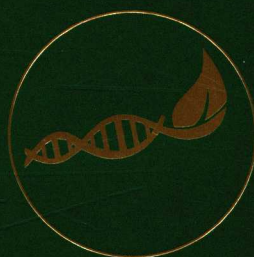
“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

中国农药研究与应用全书
Books of Pesticide Research and Application in China

农药生态环境 风险评估

Pesticide Environmental
Risk Assessment

林荣华 姜辉 主编



化学工业出版社

中国农药研究与应用全书
Books of Pesticide Research and Application in China



农药生态环境 风险评估

Pesticide Environmental
Risk Assessment



销售分类建议: 农业/农药; 化工/农药



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

中国农药研究与应用全书

Books of Pesticide Research and Application in China

农药生态环境 风险评估

Pesticide Environmental
Risk Assessment

林荣华 姜辉 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要系统介绍了农药生态环境风险评估的相关概念及基本框架。对比美国、欧洲及中国的研究和应用情况,重点介绍了水生生态环境下,风险评价、农药的暴露评估、水生动物和水生植物效应评估。另外,还介绍了农药对鸟类、蜜蜂、家蚕、非靶标节肢动物、蚯蚓、土壤微生物等代表性陆生生物物种影响的问题阐述、暴露评估、效应分析及风险表征,简要描述了农药对于生物多样性的影响作用。

本书可为从事农药研究、开发、应用的农林科技人员进行实际风险评估提供指导和参考,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国农药研究与应用全书·农药生态环境风险评估/林荣华,姜辉主编. —北京:化学工业出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-122-33830-3

I. ①中… II. ①林… ②姜… III. ①农药-环境生态评价-研究-中国 IV. ①S48

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第021775号

责任编辑:刘军 冉海滢 张艳
责任校对:边涛

文字编辑:向东
装帧设计:王晓宇

责任印制:薛维

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:中煤(北京)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张24¼ 字数521千字 2019年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:128.00元

版权所有 违者必究

《中国农药研究与应用全书》

编辑委员会

顾问： 罗锡文 华南农业大学，中国工程院院士
李 玉 吉林农业大学，中国工程院院士
吴孔明 中国农业科学院，中国工程院院士
陈剑平 宁波大学，中国工程院院士
朱有勇 云南农业大学，中国工程院院士
康振生 西北农林科技大学，中国工程院院士
郑裕国 浙江工业大学，中国工程院院士

主任： 宋宝安 贵州大学，中国工程院院士
钱旭红 华东师范大学，中国工程院院士

委员：（按姓名汉语拼音排序）

陈 卓 贵州大学，教授
董丰收 中国农业科学院植物保护研究所，研究员
高希武 中国农业大学，教授
何雄奎 中国农业大学，教授
金林红 贵州大学，教授
李 忠 华东理工大学，教授
李钟华 中国农药工业协会，研究员
林荣华 农业农村部农药检定所，研究员
刘绍仁 农业农村部农药检定所，研究员
欧晓明 湖南化工研究院，研究员
钱旭红 华东师范大学，中国工程院院士
任天瑞 上海师范大学，教授
单炜力 农业农村部农药检定所，研究员
邵旭升 华东理工大学，教授
宋宝安 贵州大学，中国工程院院士
魏启文 全国农业技术推广服务中心，研究员
吴 剑 贵州大学，教授
杨 松 贵州大学，教授
叶贵标 农业农村部农药检定所，研究员
郑永权 中国农业科学院植物保护研究所，研究员
周国庆 化学工业出版社，编审
周普国 农业农村部农药检定所，研究员
周伟斌 化学工业出版社，编审

本书编写人员名单

主 编： 林荣华 姜 辉

副 主 编： 于彩虹 尹晓辉 宗伏霖 袁善奎 蔡磊明

编写人员：（按姓名汉语拼音排序）

艾 东	卜元卿	蔡磊明	陈 朗	程沈航
何 丹	何明远	黄 健	姜 辉	李 敏
李兆强	梁慧芯	林荣华	朴秀英	曲薷薷
任晓东	单正军	王金花	王寿山	王晓军
吴 迟	夏晓明	谢 昀	薛超彬	尹晓辉
于彩虹	袁善奎	张宏涛	张 晶	张 燕
张艺夕	赵学平	周欣欣	周艳明	宗伏霖

序

农药作为不可或缺的农业生产资料和重要的化工产品组成部分，对于我国农业和大化工实现可持续发展的健康发展具有举足轻重的意义，在我国农业向现代化迈进的进程中，农药的作用不可替代。

我国的农药工业 60 多年来飞速地发展，我国现已成为世界农药使用与制造大国，农药创新能力大幅提高。近年来，特别是近十五年来，通过实施国家自然科学基金、公益性行业科研专项、“973”计划和国家科技支撑计划等数百个项目，我国新农药研究与创制取得了丰硕的成果，农药工业获得了长足的发展。“十二五”期间，针对我国农业生产过程中重大病虫害防治需要，先后创制出四氯虫酰胺、氯氟醚菊酯、噻唑锌、毒氟磷等 15 个具有自主知识产权的农药（小分子）品种，并已实现工业化生产。5 年累计销售收入 9.1 亿元，累计推广使用面积 7800 万亩。目前，我国农药科技创新平台已初具规模，农药创制体系形成并稳步发展，我国已经成为世界上第五个具有新农药创制能力的国家。

为加快我国农药行业创新，发展更高效、更环保和更安全的农药，保障粮食安全，进一步促进农药行业和学科之间的交叉融合与协调发展，提升行业原始创新能力，树立绿色农药在保障粮食丰产和作物健康发展中的权威性，加强正能量科普宣传，彰显农药对国民经济发展的贡献和作用，推动农药可持续发展，通过系统总结中国农药工业 60 多年来新农药研究、创制与应用的新技术、新成果、新方向和新思路，更好解读国务院通过的《农药管理条例（修订草案）》；围绕在全国全面推进实施农药使用量零增长行动方案，加快绿色农药创制，推进绿色防控、科学用药和统防统治，开发出贯彻国家意志和政策导向的农药科学应用技术，不断增加绿色安全农药的生产比例，推动行业的良性发展，真正让公众对农药施用放心，受化学工业出版社的委托，我们组织目前国内农药、植保领域的一线专家学者，编写了本套《中国农药研究与应用全书》（以下简称《全书》）。

《全书》分为八个分册，在强调历史性、阶段性、引领性、创新性，特别是在反映农药研究影响、水平与贡献的前提下，全面系统地介绍了近年来我国农药研究与应用领域，包括新农药创制、农药产业、农药加工、农药残留与分析、农药生态环境风险评估、农药科学使用、农药使用装备与施用、农药管理以及国际贸易等领域所取得的成果与方法，充分反映了当前国际、国内新农药创制与农药使用技术的最新进展。《全书》通过成功案例分析和经验总结，结合国际研究前沿分析对比，详细分析国家“十三五”农药领域的研究趋势和对策，针对解决重大病虫害问题和行业绿色发展需要，对中国农药替代技术和品种深入思考，提出合理化建议。

《全书》以独特的论述体系、编排方式和新颖丰富的内容，进一步开阔教师、学生和产业领域研究人员的视野，提高研究人员理性思考的水平和创新能力，助其高效率地设计与开发出具有自主知识产权的高活性、低残留、对环境友好的新农药品种，创新性地开展绿色、清洁、可持续发展的农药生产工艺，有利于高效率地发挥现有品种的特长，尽量避免和延缓抗性和交互抗性的产生，提高现有农药的应用效率，这将为我国新农药的创制与科学使用农药提供重要的参考价值。

《全书》在顺利入选“十三五”国家重点出版物出版规划项目的同时，获得了国家出版基金项目重点资助。另外，《全书》还得到了中国工程院绿色农药发展战略咨询项目（2018-XY-32）及国家重点研发计划项目（2018YFD0200100）的支持，这些是对本书系的最大肯定与鼓励。

《全书》的编写得到了农业农村部农药检定所、全国农业技术推广服务中心、中国农药工业协会、中国农业科学院植物保护研究所、贵州大学、华东理工大学、华东师范大学、中国农业大学、上海师范大学、湖南化工研究院等单位的鼎力支持，这里表示衷心的感谢。

宋宝安，钱旭红
2019年2月

前言

本书系是在宋宝安院士、钱旭红院士的大力倡议和化学工业出版社的帮助下完成的，旨在总结中国农药工业 60 多年新农药研究、创制与应用的高新技术、新成果、新方向和新思路，进一步促进农药行业和学科之间的交融与协调发展，提升行业原始创新能力，推动农药可持续发展。

本书的编写，是基于国家粮食生产基本满足需求、人们越来越重视食品安全和环境安全的大背景。编写时主要把握了几方面原则：一是体现学术性，相关材料跟踪了国际国内研究和管理的的前沿；二是体现创新性，对于农药生态环境风险研究，国内在 20 世纪 80 年代就开始了相关工作，但是一直未见相关专著出版，本书填补了该领域空白；三是体现系统性，本书覆盖了整个生态系统所要保护的主要非靶标生物，也涉及评估各领域；四是体现先进性，本书紧跟农药管理政策变化，按照农药登记要求，服务于农药的教学、科研、应用、管理各方面。编写团队几十年的积累和经验，笔者在荷兰访学期间收集的水生生态环境风险评估方面的论文、书籍，以及开展的具体实验，都组成了本书相关部分内容。

本书内容基本上按照总分结构来组织，第 1 章绪论和第 2 章环境风险评估基本框架，从概念和框架上对于环境生态风险评估进行了阐述；其后各章则按照具体保护的靶标生物进行阐述。第 3~6 章重点关注水生生态环境，因为水生生物的水生生态暴露环境及评估方法具有一致性，因此集中在第 3 章和第 4 章统一阐述，水生动物和水生植物的效应评估分别第 5、6 章阐述。第 7~12 章重点关注陆生生态环境，对鸟类、蜜蜂、家蚕、非靶标节肢动物、蚯蚓、土壤微生物等代表性陆生生物按照问题阐述、暴露评估、效应分析等几个步骤来编写。第 13 章简要阐述了农药对于生物多样性的影响、作用。

在本书编写过程中，特别要感谢化学工业出版社的编辑，他们付出了大量的心血和时间。其事无巨细、事必躬亲的认真精神，督促我们按期交稿和修改完善。

生态环境动态发展，人们对它的认识也在不断更新和深入，加上本书编写团队学识有限，书中难免存在疏漏之处，还请读者给予指正；希望本书能够为科研、教学、农药管理提供些许支持作用，能作为工具书一用。

林荣华
2019 年 4 月

目录

第 1 章 绪论	001
1.1 农药风险评估概述	002
1.1.1 相关概念	003
1.1.2 保护目标	006
1.1.3 农药风险评估的基本步骤	008
1.2 农药风险评估的发展方向	010
参考文献	010
第 2 章 环境风险评估基本框架	011
2.1 生态风险评估概述	012
2.1.1 生态风险和生态风险评估的概念	012
2.1.2 生态风险评估的方法	012
2.1.3 生态风险评估研究进展	013
2.2 环境危害性评价	014
2.2.1 生态毒理学	014
2.2.2 生态毒理学试验	014
2.2.3 生态毒理学数据在环境风险评估中的应用	016
2.2.4 模型在生态环境评估中的应用	017
2.3 农药环境风险评估	022
2.3.1 水环境风险评估	023
2.3.2 陆生生态系统风险评估	024
2.3.3 农药风险评估近期发展趋势	024
2.4 生态系统服务	025
2.4.1 生态系统服务的定义	025
2.4.2 生态系统服务的价值	026
2.4.3 生态系统服务的国内外研究进展	027
参考文献	027
第 3 章 水生生物风险评价	029
3.1 问题阐述	030
3.1.1 风险评价原则	030
3.1.2 数据收集	031

3.1.3 计划简述	031
3.2 暴露评估	031
3.2.1 暴露描述的总则	031
3.2.2 欧盟农药风险评估原则与方法	034
3.2.3 美国水生生态风险评价的原则和方法	035
3.2.4 中国水生生态风险评价的原则和方法	037
附录 A 地下水风险评估流程	043
附录 B 地下水暴露模型的输入参数和输出值	043
附录 C 风险降低措施	050
参考文献	050

第 4 章 水生生态暴露评估 052

4.1 暴露评估的一般方法	052
4.1.1 暴露评估模型运用	053
4.1.2 初级暴露评估	053
4.1.3 高级暴露评估	053
4.2 欧盟农药暴露评估	054
4.2.1 现场暴露类型	055
4.2.2 暴露评估中的步骤	058
4.2.3 暴露评估关键特征的识别方法	060
4.3 美国水生生态暴露评估模型	063
4.3.1 GENEEC 模型	064
4.3.2 PRZM 模型	064
4.3.3 EXAMS 模型	065
4.3.4 PRZM/EXAMS 模型	065
4.4 中国水生生态暴露评估	066
4.4.1 暴露评估的一般方法	066
4.4.2 暴露评估模型运用	066
4.4.3 初级暴露评估	067
4.4.4 高级暴露评估	067
4.5 暴露评估模型实例	068
4.5.1 集中地表水体的暴露值和实现方式	068
4.5.2 特殊的暴露情景	070
4.5.3 时间加权浓度的应用	070
4.6 暴露评估的生态学意义	070
4.6.1 风险表征	071
4.6.2 对高富集性农药的评估方法	071
4.6.3 对代谢物的评估方法	071
4.7 风险降低措施	071

附录 A 水生生态系统环境风险评价流程图	072
附录 B TOP-RICE 模型输入参数	074
附录 C 水生生态系统风险降低措施	077
参考文献	077
第 5 章 水生动物效应评估	079
5.1 急性和慢性效应评估	080
5.1.1 鱼的急性毒性试验	080
5.1.2 鱼的长期/慢性毒性试验	082
5.1.3 鱼的生物浓缩和二次毒害	085
5.1.4 水生无脊椎动物的急性和慢性效应评估	088
5.2 水生动物的高级效应风险评估	092
5.2.1 SSD 方法	092
5.2.2 水生微宇宙	094
参考文献	102
第 6 章 水生植物效应评估	104
6.1 问题阐述	104
6.1.1 水生植物的分类	104
6.1.2 影响水生植物分布的因素	105
6.1.3 水生植物在生态系统中的作用	105
6.2 农药对水生植物的风险评价	106
6.2.1 农药对水生植物风险评价的重要性和必要性	106
6.2.2 水生植物风险评价的指示物种	107
6.2.3 水生植物风险评价程序	109
6.2.4 水生植物的高级风险评价	111
6.3 暴露评估	112
6.3.1 农药在水生生态系统中的暴露途径	112
6.3.2 时间加权浓度 PEC_{TWA}	113
6.3.3 植物保护产品代谢物暴露评估	113
6.3.4 FOCUS 模型	114
6.4 各国水生植物风险评价工作研究进展	119
6.4.1 美国	119
6.4.2 日本	120
6.4.3 中国	120
附录 水生植物相关试验方法	121
参考文献	127
第 7 章 鸟类环境风险评价	131
7.1 问题阐述	131

7.2 暴露评估	133
7.2.1 美国 EPA 主要模型	133
7.2.2 欧盟模型	139
7.2.3 我国暴露评估模型	140
7.3 效应分析	140
7.3.1 急性经口法	141
7.3.2 急性饲喂法	146
7.3.3 鸟繁殖试验	149
7.3.4 蓄积试验	153
7.3.5 田间试验	153
7.4 风险表征	155
7.5 我国鸟类风险评价	157
7.5.1 基本原则	157
7.5.2 评估程序和方法	157
7.5.3 风险降低措施	163
附录 A 农药对鸟类的风险评价总流程	164
附录 B 农药喷雾暴露场景指示物种及其相关信息	164
附录 C 多次施药因子 MAF 值	165
附录 D 撒施颗粒剂对鸟类的暴露评估流程	166
附录 E 颗粒剂作为沙砾有意摄取时计算预测暴露量的参数	166
附录 F 颗粒剂作为土壤构成无意摄取时计算预测暴露量的参数	166
附录 G 投放毒饵对鸟类的暴露评估流程	167
附录 H 限度试验的外推系数	167
附录 I 初级效应评估采用的毒性试验终点和不确定性因子	167
参考文献	168

第 8 章 蜜蜂环境风险评价 169

8.1 问题阐述	169
8.1.1 蜜蜂的经济价值	169
8.1.2 蜜蜂与农药间的关系	171
8.1.3 选取蜜蜂作为指示生物的原因	172
8.1.4 评估终点的选择	173
8.2 暴露评估	173
8.2.1 基本原则	173
8.2.2 直接暴露途径	173
8.2.3 土壤处理或种子处理	174
8.2.4 其他暴露途径	174
8.3 效应分析	174
8.3.1 急性毒性	175

8.3.2	慢性毒性	177
8.3.3	半田间试验	178
8.3.4	田间试验	179
8.4	风险表征	179
8.5	风险管理	181
	参考文献	184
第 9 章	家蚕环境风险评价	185
9.1	问题阐述	185
9.1.1	家蚕的经济价值	185
9.1.2	农药对家蚕的影响	187
9.2	暴露评估	188
9.2.1	初级暴露分析	189
9.2.2	高级暴露分析	192
9.3	效应分析	192
9.3.1	急性毒性	192
9.3.2	慢性毒性	205
9.3.3	日本家蚕毒性试验方法	206
9.4	风险表征	206
9.5	实例分析	207
9.5.1	初级暴露评估	207
9.5.2	初级效应分析	208
9.5.3	风险表征情况	209
	参考文献	209
第 10 章	非靶标节肢动物环境风险评价	210
10.1	概述	210
10.2	问题阐述	214
10.2.1	瓢虫、赤眼蜂和草蛉的经济价值	214
10.2.2	瓢虫、赤眼蜂和草蛉与农药间的关系	216
10.2.3	选取瓢虫、赤眼蜂和草蛉作为指示生物的原因	217
10.3	暴露评估	218
10.3.1	暴露途径	218
10.3.2	暴露模型	219
10.4	效应分析	224
10.4.1	初级效应分析	224
10.4.2	高级效应分析	230
10.5	风险表征	232
10.5.1	初级风险表征	232

10.5.2	高级风险表征	232
10.6	实例分析	233
10.6.1	农药对瓢虫的影响	233
10.6.2	农药对赤眼蜂的影响	238
10.6.3	农药对草蛉的急性毒性	250
	参考文献	266
第 11 章	蚯蚓环境风险评价	267
11.1	问题阐述	267
11.1.1	蚯蚓的经济价值	267
11.1.2	选取蚯蚓作为指示生物的原因	268
11.2	暴露评估	269
11.3	效应分析	271
11.3.1	急性毒性	271
11.3.2	慢性毒性	271
11.3.3	田间试验	309
	参考文献	309
第 12 章	土壤微生物环境风险评价	312
12.1	问题阐述	312
12.1.1	土壤微生物的重要性	312
12.1.2	土壤微生物与农药间的关系	313
12.1.3	选取土壤微生物作为指示生物的原因	314
12.2	暴露评估	315
12.3	效应分析	315
12.3.1	土质要求	316
12.3.2	土样采集	316
12.3.3	筛分和贮存	316
12.3.4	底物含量	316
12.3.5	培养容器	317
12.3.6	加药方式	317
12.3.7	剂量设置	317
12.3.8	培养条件	318
12.3.9	取样规划	318
12.3.10	检测方法	318
12.4	评价方法	320
12.4.1	联合国粮农组织指定标准	320
12.4.2	德国联邦农林生物研究中心方法	320
12.4.3	欧洲和地中海植物保护组织方法	320

12.4.4 我国标准	321
参考文献	322
第13章 生物多样性	323
13.1 总述	323
13.1.1 生物多样性的概念	323
13.1.2 我国生物多样性概况	323
13.1.3 我国农药的使用概况	324
13.2 农药对生物多样性作用的主要方式	325
13.2.1 农药对生物多样性的直接影响	325
13.2.2 农药对生物多样性的间接影响	325
13.2.3 农药对外来生物和其他有害生物多样性的影响	326
13.3 农药对生物多样性影响评价方法进展	326
13.3.1 基因和遗传多样性研究方法	326
13.3.2 物种多样性研究方法	327
13.3.3 生态系统多样性研究方法	327
13.4 农药对农田土壤生物多样性的影响	327
13.4.1 农药对土壤的污染	327
13.4.2 农药与土壤微生物多样性	335
13.4.3 农药与土壤动物多样性	340
13.5 农药对水体的污染及对水生生物多样性的影响	343
13.5.1 农药对水体的污染	343
13.5.2 农药对水生生物多样性的影响	345
13.6 农药对林区生物多样性的影响	355
13.6.1 农药在林区病虫害防治中的应用	355
13.6.2 农药对林区中生物多样性的影响	356
13.7 农药对生物多样性影响控制对策	357
13.7.1 禁止和限制使用高毒高风险农药品种	357
13.7.2 合理和科学使用农药, 鼓励综合防控	358
13.7.3 鼓励绿色综合防控, 减少农药用量	358
13.7.4 加强生态监测, 定期开展农药再评价	359
参考文献	359
索引	368

第 1 章

绪论

为满足人类对粮食日益增长的需求，现代农业必须采用各种技术以保护作物不受病、虫（包括昆虫、蝉、螨）、草、鼠、软体动物和其他有害生物的侵害或将这些危害降低到最低水平。农药使用已经成为现代农业中一项不可或缺的技术。但是，近百年的实践经验表明，多数农药对人类和非靶标物种存在着潜在伤害，其对靶标物种的作用也可能引起环境生态平衡的改变。农药的这些不良作用在 20 世纪中叶已受到人们的关注。针对农药存在的危害，欧美等国家和组织逐步制定了相关的法规和管理政策。同时，科学研究的发展和检测技术的提高使人们更加深刻地认识到农药对人类健康和环境生态的影响作用。在此基础上，农药科学管理的方法也在不断完善和改进。从 20 世纪 60 年代依据毒性的评判方法（hazard based approach）的提出和使用，到 70 年代风险评估的概念被提出和用于对一些农药不良效应（如致癌性）的评估^[1,2]，风险评估方法（risk-based approach）采用了更为严谨的量化方法来描述农药对人类健康和环境生态系统的影响。在 20 世纪 80 年代，这一概念进一步得到应用。1983 年美国国家科学院（National Academy of Science, NAS）发表了所谓的“红书”《联邦政府中的风险评估：管理过程》，系统阐述了风险评估的原理^[3]。美国环境保护署（United States Environmental Protection Agency, US EPA）将这一原理应用到其工作中，次年 US EPA 发表了《风险评估和管理：决策框架》^[4]。20 世纪 90 年代农药风险评估方法逐渐得到系统化和标准化。1991 年，欧盟在关于植物保护产品投放市场的农药管理指令（Council Directive 91/414/EEC concerning the placing of plant protection products on the market, 91/414/EEC）中明确了农药风险评估的要求^[5]。1995 年 US EPA 又发布了风险表征政策^[6]。这标志着欧美的农药管理体系中正式引入风险评估的概念。由此，农药风险评估被广泛应用于发达国家的农药登记和再评价管理中。农药的登记决策不再依据单一的毒性评估，而是同时包括了暴露评估和不确定性评估。农药的登记管理水平得到了显著提高。与此同时，它使农药登记管理和农药风险管理及风险降低基于同一个概