



彭春瑞 等 编

NONGYE
MIANYUAN

农业面源污染 防控理论与技术

WURAN
FANGKONG
LILUN
YU
JISHU

农业面源污染防治 理论与技术

彭春瑞 等 编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业面源污染防控理论与技术/彭春瑞等编. —北
京: 中国农业出版社, 2012. 12
ISBN 978 - 7 - 109 - 17245 - 6

I. ①农… II. ①彭… III. ①农业污染源—污染防治
—研究 IV. ①X501

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 236127 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100125)
策划编辑 舒薇 贺志清
文字编辑 廖 宁

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 29

字数: 656 千字

定价: 80.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 彭春瑞

副主编 刘光荣 徐昌旭

编 委 (按姓氏音序排列)

陈文静 陈先茂 郭 焱 冀建华 雷宝坤

廖江林 林洪鑫 刘光荣 刘秀梅 罗晓燕

彭春瑞 钱银飞 邱才飞 邵彩虹 王海华

吴 劼 徐昌旭 张继宗 朱再昱 邹宽生



随着中国人口增加和社会经济的高速发展，保障粮食安全、资源安全、生态安全的压力剧增。尽管中国用全球 6% 的淡水、9% 的耕地资源养活了全球 21% 人口，为世界农业做出了重大贡献，但也付出了巨大的资源和环境代价。2010 年 2 月公布的《第一次全国污染源普查公报》显示，2007 年中国农业源（不包括典型地区农村生活源）中化学需氧量、总氮和总磷排放量分别占污染物总排放量的 43.7%、57.2% 和 67.3%。

为保障食物的刚性需求和发展农村经济，我国的农用化学品投入量不断增加，规模化畜禽养殖迅猛发展。过量或不合理应用农用化学品导致肥料和农药对水环境污染、农田地膜残留对土壤污染等问题突出，规模化畜禽养殖废弃物未经处理直接排放也带来了严重的环境问题。农业面源污染已严重威胁到人体健康和环境质量，成为中国最受关注的环境问题之一。

重视农业面源污染是国际大趋势。尽管发达国家农业生产压力小，可以通过牺牲农业产量、减少农用化学品的投入，通过总量控制畜禽养殖规模等来减轻农业面源污染压力，但也没有从根本上解决农业面源污染问题。中国是世界上人口最多的发展中国家，为保障食物的有效供给，农作物不能不施化肥、农药，畜禽、水产也不能减少养殖数量，我们不能为了保护农业环境而不发展农业生产；况且中国农业环境保护政策的制定涉及千家万户，因此摆在中国政府和科学家面前的控制农业面源污染的任务要比发达国家艰巨得多。我们既要发展农业生产并力争高产，又不能破坏环境，必须双赢，难度很大。农业面源污染防控是一项复杂的系统工程，不仅存在法律、宏观经济政策和管理层面的问题，也存在技术层面的问题。

由于农业面源污染问题在中国被引起重视相对较晚、重视程度也不够；在农业面源污染治理制度上也有所缺失，法律法规中涉及农业面源污染防治的条款少且力度有限，在农业生产政策的制定上关注较少，环境友好型农业物资缺少激励机制、农业面源污染监测评估体系不够健全。与发达国家比较，中国的农业面源污染研究起步晚、投入少、创新能力弱，在重大关键技术上的突破不多，没有形成符合中国国情的农业面源污染防治技术体系。目前中

国的化肥利用率、水资源利用效率、养殖废弃物及秸秆资源的资源化利用率都低于发达国家水平，难以为中国的农业面源污染防治提供强有力的科技支撑。

针对中国农业面源污染问题，江西省农业科学院组织有关方面的专家，编撰了《农业面源污染防治理论与技术》一书，从农业面源污染防治现状、农业面源污染对生物与生态环境的影响、农业面源污染防治技术途径、农业面源污染与防控评价技术和农业面源污染防治政策制定等理论方面系统综述了国内外最新研究成果，并按不同土地利用方式对不同污染源的污染控制技术进行了全面总结，运用大量翔实的研究数据和技术资料，对农业面源污染防治的理论与技术进行了概述，对促进中国农业面源污染控制技术研究和技术进步有很强的借鉴和引导作用，对中国农业面源污染的综合防控与治理、保护生态环境、促进环境友好型农业的发展有重要的推动作用。

中国科学院院士
中国科学院南京土壤研究所研究员



2012年4月



农业面源污染是指在农业生产活动中，氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质，通过农田的地表径流、渗漏或土壤残留，形成的水环境污染、大气污染、土壤污染等，主要包括化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染、农用地膜污染、秸秆污染等。主要污染物是重金属、硝酸盐、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、有机磷、有机氯、COD、病原微生物、寄生虫和塑料制品等。具有排放分散、隐蔽，排污随机、不确定，污染广泛和不易监测等特点。因此，其控制方法与点源污染不同、治理难度较点源污染更大。

随着农业生产的发展和对点源污染控制的加强，农业面源污染的严重性开始凸显。全世界不同程度退化的 12 亿 hm^2 耕地中，约 12% 是由于农业面源污染引起的，农业面源污染影响了全球陆地面积的 30%~50%。据相关统计，美国 80% 的河流与湖泊受到面源污染，60% 以上的地表水环境影响问题是由农业生产引起的；丹麦的 270 条河流中 94% 的氮负荷和 52% 的磷负荷是由农业面源污染造成的；瑞典西海岸的拉霍尔姆湾，来自农业的氮负荷占流域总输入量的 84%~87%；荷兰来自于农业非点源污染的总氮、总磷分别占水环境污染总量的 60%、40%；芬兰 20% 的湖泊水质恶化，而农业面源排放的磷素和氮素在各种污染源中所占比重最大，占总排放量的 50% 以上。

我国的农业面源污染形势更是不容乐观。第一次全国污染源普查公报表明，2007 年中国农业源（不包括典型地区农村生活源）中化学需氧量、总氮和总磷排放量分别占污染物总排放量的 43.7%、57.2% 和 67.3%。2009 年我国的化肥用量为 5 404.4 万 t，较 1980 年增加了 3.26 倍，年均增长 11.23%，单位耕地面积的施用强度超过 $440\text{kg}/\text{hm}^2$ ，是发达国家的 2~3 倍；2008 年我国的农药施用量为 167.2 万 t，较 1990 年增加了 1.28 倍，年均增长 7.11%，每公顷耕地的农药投入量达 13.74kg ，被农药污染的耕地超过 1 000 万 hm^2 ；2008 年全国的农膜用量达 200.7 万 t，较 1990 年增加了 3.16 倍，年均增长 17.57%，每公顷耕地的农膜用量 16.49kg ，全国约有 670 万 hm^2 覆盖地膜的农田污染状况日趋严重；随着规模化养殖的发展，大多养殖废弃物没有处理

就直接排放,已成为一个重要的农业污染源。

国外发达国家对农业面源污染的研究较早,在理论上和技术上都取得了较大进展。而且通过法律、管理、技术、经济等综合措施,在农业面源污染防治与治理方面取得了明显成效。西欧国家自 20 世纪 80 年代以来,氮(N)、磷(P_2O_5)化肥用量分别下降了大约 30%和 50%,如德国的氮、磷化肥用量由 $180\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $94\text{kg}/\text{hm}^2$ 分别降至 $110\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $30\text{kg}/\text{hm}^2$,法国由 $148\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $83\text{kg}/\text{hm}^2$ 分别降至 $125\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $43\text{kg}/\text{hm}^2$ 。我国的农业面源污染防治技术研究起步相对较晚,20 世纪 80 年代才开始相关调查工作,“十五”以来农业面源污染治理技术的研究开始受到重视,在污染控制技术方面也取得了一些进展,提出了一些生态模式,并在缓控释肥、化肥有机替代、平衡施肥、农药绿色替代、有害生物无害化控制技术、保护性耕作等方面的研究也取得了较大进展。但是面对日趋严重的农业面源污染形势,我国农业面源污染控制技术与推广还任重道远。

本书是在“十一五”国家科技支撑计划课题“沿鄱阳湖地区农业面源污染防治与综合治理技术研究”(2007BAD87B08)和“十二五”国家科技支撑计划课题“南方平原稻作农区农业面源污染防治技术集成与示范”(2012BAD15B03)资助下完成的。在总结国内外相关研究成果和分析相关资料的基础上,全面概述了农业面源污染防治的理论与技术,对农业面源污染防治技术的研究有重要的参考价值,对农业面源污染的防控与治理也有重要的指导意义。

本书由彭春瑞、刘光荣、徐昌旭负责总体策划。全书共分为 17 章,各章撰写分工如下:第一章由彭春瑞、罗晓燕编写,第二章由冀建华、刘秀梅编写,第三章由廖江林编写,第四章由刘光荣、徐昌旭编写,第五章由徐昌旭、雷宝坤编写,第六章由朱再昱编写,第七章由郭焱、吴劼编写,第八章由陈先茂、彭春瑞编写,第九章由邱才飞、彭春瑞编写,第十章、十一章由张继宗编写,第十二章由邵彩虹、彭春瑞编写,第十三章由邹宽生编写,第十四章由冀建华、刘秀梅编写,第十五章由徐昌旭编写,第十六章由王海华、陈文静编写,第十七章由钱银飞、林洪鑫、彭春瑞、邵彩虹编写。由彭春瑞、徐昌旭、廖江林、罗晓燕负责统稿,最后由彭春瑞、徐昌旭负责审稿、定稿。

前 言

在本书出版之际，谨向为本书出版提供支持和帮助的上级部门和各级领导表示衷心的感谢，也向参与本书编写的各位作者所在单位的支持表示衷心的感谢。由于编写时间和编者水平有限，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2012年4月于南昌



序
前言

第一章 农业面源污染概述	1
第一节 农业面源污染概念与特征	1
一、农业面源污染概念	1
二、农业面源污染特征	2
三、农业面源污染物主要来源	2
第二节 农业面源污染成因	3
一、农业面源污染主要驱动因素	3
二、农业面源污染形成机理	5
三、农业面源污染形成条件	7
第三节 农业面源污染的控制	8
一、农业面源污染控制途径	8
二、农业面源污染控制难点和重点	9
三、农业面源污染控制措施	10
第四节 国外农业面源污染现状与防控	11
一、国外农业面源污染现状	11
二、国外农业面源污染防控	12
第五节 中国农业面源污染的现状与防控	15
一、中国农业面源污染的现状	15
二、中国农业面源污染控制的对策	19
主要参考文献	21
第二章 农业面源污染对生态环境的影响	22
第一节 农业面源污染对水环境的影响	23
一、种植业污染对水环境的影响	24
二、畜禽养殖污染对水环境的影响	28
三、水产养殖污染对水环境的影响	32
四、其他农业生产与农村生活对水环境的影响	34
第二节 农业面源污染对土壤环境质量的影响	35
一、种植业污染对土壤环境质量的影响	36
二、畜禽养殖污染对土壤环境质量的影响	43

第三节 农业面源污染对大气环境质量的影响	44
一、种植业污染对大气环境质量的影响	44
二、畜禽养殖污染对大气环境质量的影响	46
主要参考文献	48
第三章 农业面源污染对生物的影响	52
第一节 农业面源污染对土壤微生物的影响	52
一、化肥对土壤微生物的影响	52
二、农药对土壤微生物的影响	53
三、其他农田污染对土壤微生物的影响	55
第二节 农业面源污染对植物的影响	55
一、化肥对植物生长发育的影响	55
二、农药对植物生长发育的影响	58
三、农膜残留对植物生长发育的影响	58
第三节 农业面源污染对动物的影响	59
一、农药污染对动物的影响	59
二、化学肥料污染对土壤动物的影响	62
三、农膜残留对土壤动物的影响	63
四、其他农业污染对动物的影响	63
第四节 农业面源污染对人类健康的危害	63
一、化肥过量使用影响人类健康	63
二、农药不合理使用危害人类健康	64
主要参考文献	66
第四章 农业面源污染防控技术途径	68
第一节 农田肥料污染控制技术途径	68
一、农田肥料养分利用与流失	69
二、农田肥料污染生态调控技术	71
三、肥料污染源减量控制技术	74
四、农田肥料养分流失控制技术	79
第二节 农药污染控制技术途径	81
一、农药污染源减量技术	81
二、污染防控型农药施用技术	85
三、农药废弃物处理措施	89
四、农药污染土壤修复技术	90
第三节 农田地膜残留控制技术途径	92
一、农田地膜残留及成因	92
二、农田地膜残留控制技术途径	93

第四节 秸秆污染控制技术途径	96
一、秸秆资源利用与污染	96
二、秸秆污染控制技术	97
第五节 畜禽养殖污染控制技术途径	101
一、畜禽分散养殖污染控制技术	102
二、规模化畜禽养殖污染控制技术	103
第六节 水产养殖污染控制技术途径	110
一、水产养殖方式及其污染物排放	111
二、水产养殖污染源头控制技术途径	113
三、水产养殖污染水体生态修复技术	114
第七节 农田重金属污染控制技术途径	115
一、农田土壤重金属污染及成因	115
二、土壤重金属污染防控技术途径	118
三、土壤重金属污染治理技术	119
四、土壤重金属污染农业调控技术	121
主要参考文献	122
第五章 农业面源污染与防控评价技术体系	126
第一节 农业环境现状调查	126
一、自然环境与社会环境调查	127
二、地面水环境现状调查	128
第二节 农业面源污染源强解析	135
一、农业污染源调查	135
二、农业面源污染物流失监测	136
三、农业面源污染源强核算	149
第三节 农业面源污染评价指标	158
一、农业 N 污染评价指标	158
二、农业 P 污染评价指标	162
第四节 农业面源污染与防控评价方法	165
一、关键污染源区识别	165
二、基于“压力—响应”模型的农业面源污染评价	167
三、系统聚类法在农业面源污染评价中的应用	169
四、损益评价在农业面源污染评价中的应用	169
五、库兹涅兹曲线在农业面源污染评价中的应用	171
主要参考文献	171
第六章 农业面源污染防控政策建议	174
第一节 国外关于防控农业面源污染的主要做法	174

一、国外防控农业面源污染的成功经验·····	174
二、国外防控农业面源污染政策措施的共同特点与比较·····	179
三、启示与借鉴·····	182
第二节 中国农业面源污染防控措施评价·····	183
一、中国农业面源污染防控措施·····	183
二、中国农业面源污染防控措施中存在的问题·····	185
三、中国农业面源污染防控措施中问题的制度根源·····	188
第三节 中国农业面源污染防控政策建议·····	190
一、构建中国农业面源污染防控体系的主要理论依据和原则·····	190
二、中国农业面源污染防控体系构建的政策建议·····	194
主要参考文献·····	199
第七章 基于 GIS 的分布式模型在农业面源污染防控中的应用 ·····	200
第一节 SWAT 模型概述·····	200
一、SWAT 的发展历史·····	200
二、SWAT 模型原理和功能·····	201
三、SWAT 的不同修正版及其界面和工具·····	203
第二节 SWAT 模型的应用·····	204
一、SWAT 模型在水文评价方面的应用·····	205
二、SWAT 模型在农业面源污染防控中的应用·····	206
第三节 SWAT 模型的参数敏感性分析、校正和不确定性分析·····	207
一、模型参数的敏感性分析·····	208
二、基于 SWAT-CUP 的校正及不确定性分析·····	208
第四节 SWAT 模型在鄱阳湖流域农业面源污染防控中的应用·····	215
一、基于 ArcSWAT 模型的输入数据的获取和准备·····	215
二、鄱阳湖流域的信江流域径流量的校正和验证·····	218
三、鄱阳湖流域面源污染来源量化·····	222
四、讨论·····	225
第五节 模型评估植被过滤带对农业面源污染的控制效果·····	225
一、信江流域输入数据的获取和准备·····	226
二、Hillslope Scheme 划分方法·····	228
三、不同气象情景下过滤带位置和面积对硝态氮流失的影响·····	231
四、河滨缓冲区和等高带及两者组合对硝态氮的调控效果·····	233
五、配置过滤带对信江流域面源污染调控效果的模拟·····	234
主要参考文献·····	235
第八章 水田污染防控技术 ·····	239
第一节 水田农药污染控制技术·····	239

一、水稻有害生物无害化控制技术·····	239
二、景观多样性调控有害生物技术·····	246
第二节 化学农药绿色替代与减量高效施用技术·····	248
一、农药精准高效使用技术·····	248
二、化学农药减量增效施用技术·····	250
三、化学农药绿色替代技术·····	252
第三节 水田肥料污染控制技术·····	254
一、水田化肥有机替代技术·····	254
二、化肥增效施用技术·····	256
三、精准平衡施肥技术·····	258
第四节 水田废弃物循环利用技术·····	260
一、稻草还田技术·····	260
二、水稻废弃物资源化利用技术·····	262
主要参考文献·····	263
第九章 旱地污染防控技术·····	266
第一节 旱坡地侵蚀控制技术·····	266
一、工程技术·····	266
二、保护性耕作技术·····	269
第二节 旱作物减污施肥技术·····	273
一、精准平衡施肥技术·····	273
二、改进施肥技术·····	276
三、应用新型肥料或助剂·····	278
四、合理间作·····	279
第三节 农药减量控污技术·····	279
一、农业措施·····	279
二、生物措施·····	283
三、物理技术·····	284
四、农药高效低污使用技术·····	285
第四节 废弃物综合利用技术·····	286
一、旱地废弃物综合利用技术·····	286
二、秸秆肥料化利用技术·····	287
三、秸秆饲料化利用技术·····	288
主要参考文献·····	289
第十章 菜地污染防控技术·····	291
第一节 中国菜地种植与分区·····	291
一、中国菜地种植概况·····	291

二、中国菜地种植分区·····	291
三、菜地种植中存在的问题·····	292
第二节 菜地污染现状与特点·····	292
一、菜地污染的主要类型·····	292
二、菜地污染的特点与危害·····	293
三、菜地污染成因·····	295
四、菜地污染发展趋势·····	296
第三节 菜地污染防治技术·····	297
一、国外菜地污染防治技术研究与应用进展·····	297
二、国内菜地污染防治技术研究与应用进展·····	300
三、菜地污染防治技术的发展趋势·····	302
主要参考文献·····	305
第十一章 设施栽培污染防治技术 ·····	307
第一节 中国设施栽培现状概述·····	307
一、中国设施栽培概况·····	307
二、中国设施栽培特点·····	307
第二节 设施栽培污染现状与特点·····	308
一、污染的主要类型·····	308
二、设施栽培污染的特点与危害·····	310
三、设施栽培污染成因·····	312
四、设施栽培污染发展趋势·····	314
第三节 设施栽培污染防治技术·····	315
一、国外设施栽培污染防治技术研究与应用进展·····	315
二、国内设施栽培污染防治技术研究与应用进展·····	316
三、设施栽培污染防治技术的发展趋势·····	316
主要参考文献·····	318
第十二章 果园污染防治技术 ·····	321
第一节 中国果树种植与果园污染·····	321
一、中国果树种植·····	321
二、果园面源污染·····	323
第二节 果园污染防治技术·····	324
一、生态果园建设·····	324
二、果园土壤侵蚀控制技术·····	327
三、果园农药污染控制技术·····	328
四、果园肥料污染控制技术·····	330
五、果园土壤重金属治理·····	332

主要参考文献	332
第十三章 林地污染防控技术	334
第一节 林地及林地污染	334
一、林地及林地污染基本概况	
二、林地面源污染成因	334
第二节 林地污染防控技术	337
一、森林植被恢复与重建技术	337
二、林木平衡施肥技术	345
三、林地病虫无公害防治技术	346
主要参考文献	348
第十四章 畜牧养殖污染防控技术	349
第一节 畜牧养殖污染源头控制技术	349
一、畜牧生态养殖控污技术	349
二、生态养殖饲料控污技术	354
第二节 畜牧养殖污染控制技术	357
一、畜牧粪便污染控制技术	357
二、粪便中重金属污染控制技术	358
三、臭气污染控制技术	359
四、养殖污水污染控制技术	360
五、发酵床养殖控制畜牧养殖污染技术	362
六、畜牧养殖污染综合控制技术	363
主要参考文献	363
第十五章 禽类养殖污染防控技术	365
第一节 禽类养殖与污染排放	365
一、中国禽类养殖现状	365
二、禽类养殖污染	365
第二节 规模化禽类养殖源头减污技术	367
一、合理选址与规划	367
二、水禽生态养殖与旱养	367
三、饲料营养调控减污染	368
第三节 禽类养殖污染过程控制技术	370
一、粪便收集与资源化利用技术	370
二、养殖废弃物无害化处理技术	376
三、禽类养殖中药物残留控制	377
主要参考文献	378

第十六章 水产养殖污染防控技术	380
第一节 水产养殖污染的成因、途径及其主要类型	380
一、水产养殖污染的产生	380
二、水产养殖污染的成因分析	381
三、水产养殖污染的途径与主要类型	383
第二节 水产养殖污染危害与评估方法	385
一、水产养殖污染危害	385
二、水产养殖污染负荷的评估方法	385
第三节 水产养殖污染防控技术	389
一、水产养殖清洁生产技术	389
二、防控水产养殖污染的主要技术措施	391
主要参考文献	400
第十七章 主要作物清洁生产技术	402
第一节 水稻清洁生产技术	402
一、产地与品种选择	402
二、培养壮秧与秧田控污技术	402
三、移（抛）栽技术	403
四、大田施肥与肥料污染控制技术	403
五、大田有害生物防治与农药污染控制技术	404
六、大田灌溉与水体净化技术	405
七、产后污染控制与土壤培育技术	406
第二节 小麦清洁生产技术	407
一、产地选择	407
二、品种选择及处理	407
三、精量播种技术	407
四、大田施肥与肥料污染控制技术	408
五、大田有害生物防治与农药污染控制技术	408
六、产后污染控制及土壤培育技术	409
第三节 玉米清洁生产技术	410
一、产地选择	410
二、品种选择及种子处理	410
三、精量播种技术	410
四、大田清洁生产关键技术	411
五、病虫草害防治技术	412
六、产后污染控制及秸秆废弃物综合利用技术	414
第四节 大豆清洁生产技术	414