

中国工程院重大咨询项目

中国区域农业

资源合理配置、环境综合治理和 农业区域协调发展战略研究

农业环境污染的 系统分析和综合治理

钱 易 陈吉宁 主编

 中国农业出版社

中国工程院重大咨询项目

中国区域农业资源合理配置、
环境综合治理和农业区域协调发展战略研究

农业环境污染的 系统分析和综合治理

钱 易 陈吉宁 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业环境污染的系统分析和综合治理 / 钱易, 陈吉宁
主编. —北京: 中国农业出版社, 2008.5
(中国区域农业资源合理配置、环境综合治理和农业区
域协调发展战略研究)
ISBN 978-7-109-12618-3

I. 农… II. ①钱… ②陈… ③农业环境—环境污染—
污染防治—研究—中国 IV. X322.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060434 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)
责任编辑 刘爱芳 宋会兵

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 14.75

字数: 270 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 88.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

《中国区域农业资源合理配置、
环境综合治理和农业区域协调发展战略研究》丛书

编辑委员会

主 编 沈国舫 石玉林

副主编 张宝文

顾 问 钱正英 卢良恕 石元春 孙 颔

李振生 孙鸿烈 徐乾清 任继周

管华诗 金鉴明

成 员 卢良恕 李文华 钱 易 戴景瑞

王 浩 程 序 谢俊奇 唐华俊

柯柄生 陈 皋 王立新 闵庆文

吴文良 陈吉宁 胡跃高 许世卫

编 务 刘彦随 梁晓捷 宗玉生 张红旗

刘传义

本书编委会

主 编 钱 易 陈吉宁

副主编 陈敏鹏

成 员 郑向群 孔德洋 师荣光

高怀友 单正军

前言

农业作为第一产业，是国民经济发展的基础，为经济发展提供产品、市场和生产要素。我国的经济体制改革从农村开始，经过近30年的发展，摆脱了农产品短缺的长期困扰，用占世界8%左右的耕地养活了世界1/5以上的人口，取得了非凡的成就。

看到成绩的同时也必须看到，随着农业日益集约化、专业化和区域化的发展，传统农业的物质和能量循环被打破，农业日益依赖于外部投入，农业生产对水、大气、土壤和生态环境的影响也日益深刻和显著。化肥、种植养殖废物、农药农膜等农业投入和农业副产品大量流失进入各类环境介质，造成了植被破坏、水土流失、水体富营养化、地下水硝酸盐污染、土壤污染、土壤性状破坏、温室气体等各种问题，不仅破坏了农业赖以生存和发展的资源环境基础，也极大地威胁着中国的饮用水安全、粮食安全、食品安全和农村公共卫生安全。

在中国，对农业和农村污染的环境管理存在3方面的挑战。首先，由于污染者众多，排污口不确定、污染过程影响因素随机性强，农村环境问题呈现典型的非点源（面源）污染特征。从发生机理来看，土壤类型、地形、植被及气候等自然因素及农业政策、农户行为影响着农业污染的发生、形成和传输，此类污染具有成片发生、成片传输、无固定排放源强、污染物环境归属复杂和不确定等特点，这就给识别和监测单个非点源污染源带来很大困难。因此农村环境污染的防治也不可能通过采取单一控制工程、处理设施或政策来实现，这给经济有效地控制农业环境问题带来了相当大的困难。其次，20世纪70年代发展起来的中国现有的环境监测、政策和管理体系主要是针对工业和城市点源污染而构架的，环境保护部门对农业和农村地区的控制能力十分有限，农业和农村污染的政策和管理目前仍处于相对“真空”状态。第三，由于农业环境保护与“农业、农村、农民”问题联系密切，农业和农村地区的环境管理在政治经济上十分敏感，面临众多政治经济条件的制约。因此，如何在增加农民收入、提高农民生活质量的同时

时,保护农业生态环境,实现农业的可持续发展,已经成为需要迫切得到解决的关键问题。

另一方面,近20年中国城市化和工业经济的飞速发展不仅占用了大量土地和水资源,还大大加速了各类废气、废水和废渣的排放,污染由城市大面积向农村扩散,造成农村地区水和土壤环境污染严重,并导致农作物减产、品质下降,严重威胁着中国的农产品质量安全。但是,在现有管理条件下,这种影响并未纳入到相关管理部门的决策之中,因此,对这种影响进行评估和管理,对保护农村环境、强化工业和城市环境管理都有着非常积极的意义。

党的十六届五中全会通过的《中共中央关于制定“十一五”规划的建议》提出了建设社会主义新农村的重大历史任务。环境建设作为新农村建设的一个重要内容,也引起了全国广泛的关注和讨论。如何减轻城镇化和工业化发展过程中给农村地区带来的诸多不利影响,减缓农村生态和环境的总体恶化,改善村风乡貌,提升农村居民健康和生活品质,已经成为我国实现新农村建设目标的重要瓶颈问题。

本书由中国工程院重大咨询项目“中国区域农业资源合理配置、环境综合治理和农业区域协调发展战略研究”之课题四“农业环境污染的系统分析和综合治理”的3个分报告组成,全面阐述了中国农业和农村的环境状况,农业生产和农村生活对环境的影响,工业和城市污染对农业和农村的影响,以及新农村建设过程中面对的环境问题,并提出了相应的对策和建议。其中农药和农膜污染部分由国家环境保护总局完成,污水灌溉对农业的影响由农业部天津环境保护科研监测所完成,其余部分由清华大学环境科学与工程系完成。本书分为总论和分论两部分,总论是在分论各章基础上提炼而成;分论共分五章,第一章评述农业和农村自身的污染及其对环境的影响;第二章评述工业和城市外源污染对农业和农村的污染和影响;第三章讨论如何加强新农村建设过程中的环境保护;第四章总结美国和欧盟农业环境管理的经验,并阐述了不同经验对中国的借鉴意义;第五章提出区域农业环境污染治理的对策和建议。

编者

2008年2月

目 录

前言

总论

农业环境污染的系统分析和综合治理	2
一、我国农业和农村污染现状及其影响	2
(一) 化肥污染及其影响	3
(二) 畜禽养殖污染及其影响	5
(三) 作物秸秆的污染和影响	8
(四) 农药的污染和影响	11
(五) 农膜污染和影响	12
(六) 农村生活污染	13
(七) 农业和农村污染分区与预测	15
(八) 我国农业环境污染管理和控制存在的问题	23
二、我国工业和城市对农业环境的影响	25
(一) 酸沉降对农业和农村环境的影响	25
(二) 污水灌溉对农业环境的影响	26
(三) 工业和城市固体废物对农业和农村环境的影响	30
三、对我国区域农业污染综合治理的对策建议	32
主要参考文献	35

分论	39
----------	----

第一章 我国农业和农村污染现状及其影响	40
---------------------------	----

一、化肥污染及其影响	41
(一) 我国化肥施用现状及存在问题	42

(二) 化肥污染的现状	50
(三) 化肥污染的影响	50
二、畜禽养殖污染及其影响	59
(一) 我国畜禽养殖业发展现状	59
(二) 畜禽养殖污染现状	66
(三) 畜禽养殖污染的影响	67
三、作物秸秆的污染和影响	75
(一) 我国作物秸秆产生现状	75
(二) 作物秸秆污染现状	80
(三) 作物秸秆的利用与影响	84
四、农药的污染和影响	87
(一) 我国农药生产和施用现状	87
(二) 农药施用的区域分布	91
(三) 农药的环境影响	95
五、农膜污染和影响	103
(一) 我国农膜使用现状	103
(二) 农膜污染的影响	105
六、农村生活污染	106
(一) 我国农村生活污水产生现状	107
(二) 农村生活污染现状	108
(三) 农村生活污染对环境的影响	116
七、农业和农村污染分区与预测	117
(一) 农业和农村污染现状	117
(二) 农业和农村污染分区	118
(三) 农业和农村污染预测	127
八、我国农业环境污染管理和控制存在的问题	135
第二章 我国工业和城市对农业环境的影响	137
一、酸沉降对农业和农村环境的影响	137

(一) 我国酸沉降的现状	137
(二) 酸沉降对农业和农村环境的影响	138
二、污水灌溉对农业环境的影响	139
(一) 我国污水灌溉的基本概况	139
(二) 我国典型污水灌区农业环境质量状况分析	150
(三) 典型污灌区土壤环境质量分析	151
(四) 污水灌溉对农业及农村环境的影响	158
三、工业和城市固体废物对农业和农村环境的影响	161
(一) 我国工业废物的产生现状	161
(二) 我国城市垃圾的产生现状	163
(三) 工业和城市固体废物对农业和农村环境的影响	165
第三章 新农村建设与环境保护	168
一、促进农村安全饮用水工程建设	168
(一) 我国农村安全饮用水的现状	169
(二) 农村安全饮用水工程建设的模式	170
(三) 农村安全饮用水工程建设的案例	171
二、促进村镇生活污水的收集和处理	175
(一) 我国村镇生活污水收集和处理的现状	175
(二) 村镇生活污水收集和处理的模式选择	176
(三) 村镇生活污水收集和处理的案例	177
三、促进农村固体废物的处理处置	178
(一) 我国农村固体废物处理处置的现状	178
(二) 农村固体废物处理处置的模式	179
(三) 农村固体废物处理处置的案例	179
四、促进农村沼气建设	182
(一) 我国农村沼气建设的现状	183
(二) 农村沼气技术的案例分析	183
五、新农村建设的案例	185

(一) 新农村建设的“赣州模式”	185
(二) 贵州遵义市的新农村建设	186
(三) 浙江: 新农村建设从整治环境入手	186
第四章 农业和农村环境污染治理的国际经验	188
一、国外主要的农业环境污染问题	188
(一) 动物圈养	188
(二) 畜禽放养	189
(三) 营养物的施用	189
(四) 杀虫剂的施用	189
(五) 灌溉	189
(六) 土壤侵蚀	189
二、国外农业和农村环境污染治理的主要手段	190
(一) 强制性手段	191
(二) 自愿性手段	195
(三) 信息手段	199
(四) 基于市场的手段(经济手段)	201
三、农业污染的监测和评估	207
(一) 农业污染影响的监测	207
(二) 农业—环境指数	210
四、美国和欧盟的管理经验对中国的借鉴意义	211
第五章 对我国区域农业污染综合治理的对策建议	213
主要参考文献	216
课题组成员名单	226

总 论

ZONG LUN

农业环境污染的系统分析和 综合治理

一、我国农业和农村污染现状及其影响

改革开放以来,中国农业飞速发展,农民的生活水平大幅度提高,中国的农业生产和农村生活方式都发生了深刻变革。但在自给自足的传统农业向集约化、专业化和规模化现代农业转变的过程中,农业和农村的物质和能量的循环路径逐渐被破坏,农业投入和农业废弃物产生量显著增加。同时,农民生活方式也日益“城镇化”,工业制成品消费日益增加,现代卫浴设施日益普及,农村生活垃圾和生活污水排放量明显增加。农业生产和农村生活对大气、水和土壤环境的影响日渐加重。

农业和农村污染具有非点源污染的特征,识别和防治十分困难,随着对工业废水和城市生活污水等点源污染的有效控制,它们已经成为我国水环境污染的重要来源和实现水质控制目标的难点和关键。

本报告评估了中国6类农业和农村污染的现状和影响,包括化肥污染、畜禽养殖污染、作物秸秆污染、农业生活污染、农药污染和农膜污染。评估污染物主要为营养物(氮、磷)、有机物和杀虫剂。

（一）化肥污染及其影响

新中国成立以来，我国化肥产量和施用量飞速增加。这一方面促进了粮食增产，保障了中国粮食安全和农产品供给，另一方面也带来了严重的环境问题。

1. 我国化肥施用现状及存在问题

改革开放以来，中国化肥消费量的增长非常迅猛。1978—2004年，中国化肥消费量由884.0万吨增加到4 636.6万吨，增长了4.2倍；单位耕地面积上的化肥施用量由88.9千克/公顷增加到375.8千克/公顷。

化肥投入是增加粮食单产，缓解人地矛盾，保障粮食安全的有力措施之一。研究表明，化肥施用对我国农作物增产的贡献率为52%^[1]。对新中国成立以来相关数据分析表明，虽然上述相关性正在变弱，我国粮食产量和化肥施用量仍呈强烈的正相关关系。目前，中国每千克纯养分仅可增产粮食6.5千克，常规养分投入（氮、磷）已经不是制约中国粮食产量和农作物生产的主要因素^[2]。由于现阶段化肥投入远远超过作物的适宜施肥量（氮肥一般为150~200千克/公顷），多施的肥料不但对增产无益，还造成了资源浪费，导致土壤中氮、磷富集，增加了营养物向水环境流失的风险。

目前，我国单位耕地面积化肥施用量已接近发达国家的平均水平，但是由于化肥施用结构不合理和施用技术不当，我国化肥利用率低于发达国家，流失和淋失异常严重。这些问题主要体现在如下几个方面：

首先，中国各地区化肥投入不平衡，农业发达地区化肥施用总量大、强度高；西部地区施用总量小、强度低，农业发达地区的化肥施用量远远超过了作物需要的水平。2003年化肥施用总量超过200万吨的9个省（河南、山东、江苏、河北、湖北、安徽、四川、湖南和广东）的化肥施用总量占全国化肥施用总量的59.2%。从单位耕地面积的化肥投入量来看，东南地区远远高于西北地区。

其次，化肥施用在作物间分布不均衡，不同作物肥料投入量差别很大。经济作物和设施农业施肥量远远高于粮食作物，保护地高于露地^{[3][4][5]}。

第三，有机肥施用量减少，有机无机养分施用比例失调。20世纪50年代中

期,我国农业有机肥氮占肥料氮的比例还在90%以上。到1980年我国有机肥氮在氮养分投入中的比例下降到31%,1995年进一步降低为21%^[6]。

第四,氮、磷、钾配比不合理,重追肥轻基肥。2003年我国化肥施用 $N:P_2O_5:K_2O$ 为1:0.33:0.21,而较合适的比例为1:(0.40~0.45):0.30,氮肥施用过量而磷、钾肥不足加剧了土壤磷、钾元素的耗竭,氮肥利用不充分导致农田氮素大量流失。

第五,施肥技术落后,雨前和灌溉前施肥现象普遍,农田排水携带着大量氮、磷等污染物质进入地表和地下水体。目前中国化肥的平均利用率仅有30%~35%,氮肥和磷肥的当季平均利用率仅分别为35%和10%~25%,低于发达国家平均水平^{[7][8][9][10][11][12]}。

2. 化肥污染的现状

估算表明,2003年我国因化肥施用向水体排放的总氮(Total Nitrogen, TN)和总磷(Total Phosphorus, TP)分别为290万吨和27万吨。TN排放量最高的地区主要是安徽、广东、福建等省,其中安徽有6个地市(黄山、淮南、马鞍山、铜陵、淮北、池州)、广东有8个地市(深圳、揭阳、茂名、肇庆、梅州、汕头、潮州、广州)、福建有3个地市(漳州、泉州、厦门)TN排放量居全国344个地市的前列。TP排放量最高的地区主要是安徽、湖北、广东、福建、广西、浙江等省、自治区的部分地区,其中安徽有7个地市(淮南、马鞍山、黄山、淮北、池州、铜陵、蚌埠),湖北有5个地市(鄂州、襄樊、黄冈、宜昌、荆门),广东有3个地市(深圳、茂名、广州)的TP排放量居全国344个地市的前列。

分析发现,TN和TP排放量高的地区主要位于东部沿海或者农业发达的中部地区,这些地区的农业集约化程度较高,单位面积化肥施用量也处于较高的水平。

3. 化肥污染的影响

中国化肥投入量大,利用率低,未被利用的养分,一部分通过挥发和反硝化作用以气态形式逃逸农业系统;一部分储存于土壤中被土壤吸附,影响土壤物理性状;一部分通过地表径流、淋失进入地表和地下水体,是水环境重要的农业非点源污染源之一。此外,由于我国肥料总体质量不高,化肥中重金属等有害物质含量过高,也带来了不容忽视的重金属污染。

（二）畜禽养殖污染及其影响

随着我国畜牧业的迅猛发展,畜禽养殖,特别是规模化畜禽养殖已经成为我国农村污染的主要来源之一。

1. 我国畜禽养殖业发展现状

改革开放以来,中国畜禽养殖业发展十分迅速,肉蛋奶产量均以每年 10% 以上的速度递增,尤其是奶类产量自 2001 年以来年递增速度超过 20%。1986 年我国的禽蛋产量首次超过美国;1991 年肉类产量首次超过美国,成为世界肉类产量最高的国家;牧业产值占农林牧渔业总产值的比重也由 1978 年的 15% 增加到 2004 年的 33.6%。到 2004 年底,中国大牲畜存栏 15 737.7 万头,猪存栏 48 189.1 万头,羊存栏 36 639.1 万只,分别是 1978 年的 1.7、1.6 和 2.2 倍,庞大的养殖量对环境造成了巨大的压力。

中国的畜禽养殖业分布呈现明显的区域性,各类畜禽养殖区的分布都较为集中,不同地区畜禽养殖业的结构相差较大。例如,大牲畜养殖主要集中在东北(主要是吉林和内蒙古)、山东、河南以及四川、新疆和西藏的部分地区,全国大牲畜存栏量超过 100 万头的 35 个地市的存栏总量占全国大牲畜存栏总量的近 1/3。其中河南省大牲畜存栏量占到了全国大牲畜存栏总量的 9.5%,其次是四川和山东,分别占 7.6% 和 7.4%。而东北地属世界第二大“玉米带”,又拥有大量天然草场资源,大牲畜的养殖量也比较大。

生猪养殖主要集中于四川、重庆、湖南、河北、河南、山东、吉林等省、直辖市,其中四川省和湖南省的生猪出栏量分别位于全国第一位和第二位,两省生猪出栏量占全国生猪出栏总量的近 20%。西部地区的养殖量较小。

羊养殖集中在内蒙古、新疆、西藏、青海、宁夏等西部牧区以及河南、山东等地区,中部和东部的羊养殖量较小。内蒙古羊存栏量最高,占全国存栏总量的 13%,其次是新疆、河南和山东,分别占 12%、10% 和 9%。

禽类养殖分布更加集中,存栏量 1 亿只以上的 32 地市的禽类存栏总量占全国存栏总量的 41%,这些地市主要分布在东北、山东、河南、四川以及东部沿海的部分地区,且集约化和专业化程度都相对较高。

从规模化养殖来看,中国规模化养殖的比重并不高,2004年出栏500头以上的养殖场生猪出栏量仅占全国生猪出栏量的13.3%,年出栏50头以上的养殖场肉牛出栏量占全国肉牛出栏量的13.7%,年存栏20头以上的养殖场奶牛存栏量占全国奶牛存栏量的25.9%,年出栏200只以上的养殖场羊出栏量占全国羊出栏量的4.4%。禽类规模化养殖比重较高,出栏量超过万只的肉鸡养殖场的肉鸡出栏量占全国肉鸡出栏量的30.1%。

然而,我国规模化养殖的区域分布则比较集中。生猪规模化养殖,尤其是大中型养殖场多分布在东南沿海、华北和中部地区。2004年中国出栏万头以上的养猪场共1092家,其中172家位于广东省,102家位于福建省,两省万头以上猪场出栏数占万头以上的养猪场总出栏数的23%。肉牛的大规模养殖主要集中在吉林省。2004年全国260家千头以上的养牛场中有123家位于吉林省,其千头以上养牛场的牛存栏量占全国千头以上养牛场存栏量的33%。羊的大规模养殖则主要分布在新疆、青海、内蒙古和北京,分别有403,224,163和120家千只以上的养羊场,占全国千只以上养羊场的76%,存栏量占全国千只以上养羊场存栏量的75%。

2. 畜禽养殖污染现状

估算表明,2003年中国畜禽粪便产生总量约为33亿吨,而同期中国工业固体废弃物产生量为7.8亿吨,畜禽粪便产生量是工业固体废弃物的4.2倍。全国有10个省(自治区),包括甘肃、广西、海南、河南、湖南、吉林、青海、四川、西藏和云南,其畜禽粪便产生量与工业固体废弃物的比值超过4。从畜禽粪便的土地负荷来看,1999年中国总体的土地负荷警戒值*已经达到0.49,超过家畜粪便最大适宜施肥量的比值0.40,体现出一定的环境胁迫水平,部分地区如北京、上海、山东、河南、湖南、广东、广西等地已经呈现出严重或接近严重的环境压力

* 家禽粪便负荷警戒值分级标准由1994年上海农业科学研究院提出。其内容为:用家畜粪便猪粪当量负荷(Q),同当地农田以猪粪当量计算的有机肥理论最大适宜施肥量(P)的比值(R)($R = Q/P$)来间接表达各地区畜禽粪便负荷的承受程度。其中, $R < 0.4$ 表示畜禽养殖活动对环境无明显影响, $0.4 \leq R < 0.7$ 表示畜禽养殖活动对环境稍有影响, $0.7 \leq R < 1.0$ 表示畜禽养殖活动对环境有明显影响, $1.0 \leq R < 1.5$ 表示畜禽养殖活动对环境有较严重的影响, $1.5 \leq R < 2.5$ 表示畜禽养殖活动对环境有严重的影响, $R \geq 2.5$ 表示畜禽养殖活动对环境有很严重的影响。