

NONGYE MIANYUAN WURAN
ZONGHE FANGZHI JISHU

主编 祁俊生

农业面源污染

综合防治技术



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

农业面源污染综合防治技术

主 编 祁俊生

副主编 付 川 傅杨武

潘 杰 陈书红

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

农业面源污染综合防治技术 / 祁俊生主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.6
ISBN 978-7-5643-0273-3

I. 农… II. 祁… III. 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 (2009) 第 096904 号

农业面源污染综合防治技术

主编 祁俊生

责任编辑	刘 立
特邀编辑	刘 恒
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	146 mm×208 mm
印 张	5.25 插页: 1
字 数	136 千字
版 次	2009 年 6 月第 1 版
印 次	2009 年 6 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-0273-3
定 价	18.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: (028) 87600562

序 言

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和农田渗漏，造成的水环境的污染，主要包括化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染、生活污水垃圾污染。农业面源污染主要有两种表现形式：一是以氮、磷等富营养形式污染水体，它主要来自农用化肥、畜禽鱼粪尿和生活污水；二是有有机磷、有机氯、重金属等毒害形式污染水体，它主要来自农药、除草剂和部分化肥。

目前，我国农业面源的污染越来越严重，造成水体水质显著下降，为此本书对我国农业面源污染的成因进行了分析，并提出了控制面源污染的综合技术路线与政策建议。同时以长江支流——重庆万州区的苎溪河——流域农业面源污染的研究为例，提供了农业面源污染的分析方法。

全书分为 14 章：农业面源污染概述；欧美国家农业面源污染状况及控制；我国农业面源污染现状与防治对策；农业面源污染对水体的影响；农村面源污染及治理办法；三峡库区农业面源污染现状及防治对策；人工湿地在农业面源污染控制方面的应用；MCR 技术在农业面源污染防治中的应用；采取综合措施有效控制农业面源污染；GIS 在农业面源污染中的应用；积极发展生态农业，努力防治面源污染；三峡库区水污染现状及控制途径；苎溪河流域农业面源污染的研究；苎溪河流域土壤中有机质及重金属含量的测定。

现阶段我们对农业面源污染情况的了解程度远远不如点源污染，还缺乏整治的相关理论基础和实践经验，减少污染物尤其是氮、磷营养的排放具有相当大的难度。因此，研究农业面源污染

的特点，减少农业面源污染物的排放，改善和优化环境质量，保持我国农业可持续发展，实现资源、环境和农业协调发展已成为环境保护的重要任务。

三峡库区生态环境的保护，特别是水环境的保护，除了点源污染之外，更重要的是农业面源污染，其治理的难度更大。本书以苎溪河流域为例来研究三峡库区的农业面源污染问题，从而为库区农业面源污染治理的推广提供研究模式。本书的成果由重庆市科委攻关项目资助。

编 者

2009 年 6 月

目 录

1 农业面源污染概述	1
1.1 农业面源污染的概念及危害	1
1.2 农业面源污染对人体健康的影响	8
参考文献	10
2 欧美国家农业面源污染状况及控制	13
2.1 国际范围内面源污染是水体污染的主要原因	13
2.2 对农业面源污染的控制已经成为现代农业的重大主题	14
2.3 主要控制对策与技术	15
2.4 控制成效	23
参考文献	24
3 我国农业面源污染现状与防治对策	27
3.1 我国农业面源污染的现状	28
3.2 农业面源污染的原因分析	31
3.3 农业面源污染防治的对策与建议	33
参考文献	35
4 农业面源污染对水体的影响	36
4.1 我国水污染的核心问题是水体的氮、磷富营养化	36
4.2 集约化农区面源污染造成地下水硝酸盐污染十分严重	38
4.3 菜果花农业面源成为流域水体富营养化最大潜在 威胁之一	39
4.4 农村畜禽养殖是农业面源污染的主要来源	42
4.5 城乡结合部地带的生活、生产排污是流域水体污染 的主要原因之一	44

4.6	21 世纪初期我国农业面源污染对水体富营养化的影响将进一步加剧	45
	参考文献	47
5	农村面源污染及治理方法	49
5.1	中国农村面源污染现状	51
5.2	农村面源污染的经济影响	55
5.3	农村面源污染的发展趋势	56
5.4	农村面源污染治理办法	58
	参考文献	63
6	三峡库区农业面源污染现状及防治对策	64
6.1	三峡库区农业面源污染现状及成因分析	64
6.2	三峡库区农业面源污染防治对策	71
	参考文献	72
7	人工湿地在农业面源污染控制方面的应用	73
7.1	引 言	73
7.2	人工湿地的类型	73
7.3	人工湿地中植物的选择及作用	74
7.4	人工湿地营养物的去除机理	75
7.5	其他问题	77
7.6	结 论	78
	参考文献	78
8	MCR 技术在农业面源污染防治中的应用	80
8.1	引 言	80
8.2	膜控制释放的作用机理	81
8.3	膜控制释放技术用于农业的方式、方法和实例	82
8.4	结 论	84
	参考文献	84

9 采取综合措施有效控制农业面源污染	85
9.1 环境污染对农业及农村经济发展的影响	85
9.2 有效控制农业面源污染的综合治理措施	86
9.3 发展农村循环经济有效解决农村面源污染问题	88
9.4 建 议	89
参考文献	90
10 GIS 在农业面源污染中的应用	91
10.1 GIS 的发展现状与应用前景	91
10.2 GIS 在农业面源污染研究中应用的必要性	93
10.3 GIS 在农业面源污染研究中应用的基本方法和形式	95
10.4 GIS 在农业面源污染研究中的应用现状	97
10.5 GIS 在农业面源污染研究中应用的未来趋势	98
10.6 国外 GIS 在面源污染控制中的应用实例分析	100
参考文献	101
11 积极发展生态农业, 努力防治面源污染	105
11.1 生态农业是实现农业可持续发展的必然选择	105
11.2 农业面源污染不容忽视	107
11.3 积极努力, 切实推进生态农业建设和面源污染防治	109
参考文献	113
12 三峡库区水污染现状及其控制途径	114
12.1 三峡库区水环境质量现状及预测	114
12.2 三峡库区主要污染物总量控制	118
12.3 结 论	124
参考文献	124
13 芒溪河流域农业面源污染的研究	126
13.1 引 言	126
13.2 材料与方法	127

13.3 结果与讨论	135
13.4 结 论	145
参考文献	146
14 芒溪河流域土壤中有机质及重金属含量的测定	148
14.1 芒溪河流域土壤样中有机质及 pH 测定	148
14.2 芒溪河流域土壤中重金属污染物	155
参考文献	158

1 农业面源污染概述

1.1 农业面源污染的概念及危害

1.1.1 农业面源污染的概念

近 20 年来,随着我国城市工业和乡镇企业的迅速发展,工业“三废”的排放量不断增加,化肥、农药的使用量也大量增加,我国的环境污染日趋加剧,河流、湖泊富营养化严重,水质明显下降,严重影响蔬菜、畜、禽、鱼等产品的质量,直接威胁人民的身体健康。因此,怎样合理利用资源和保护我们的生存环境已成为我国现阶段全社会关注的焦点问题,政府和企业已开始投入大量资金治理由厂矿企业等引发的点源污染,成效显著。但与此同时,由氮、磷、农药等引起的农业面源污染则越来越严重,已成为我国河流、湖泊、海洋、水库等水体富营养化的主要原因,直接制约着我国经济的可持续发展和人民生活水平的提高。

农业面源污染,亦即面源污染,主要是指农业生产活动中,溶解的或固体的污染物(农田中的土粒、氮、磷、农药、重金属及农村家畜粪便与生活垃圾等有机或无机污染物质)从非特定的地域,在降水和径流冲刷作用下,通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏进入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等)所引起的水体污染^[1, 2]。点源污染是指工业生产过程与部分城市生活中所产生的污染,具有排污点集中、排污途径明确等特征^[3, 4]。

面源污染相对于点源污染而言，一般被理解为是由分散的污染源造成的，其污染物来自大面积或大范围。它的显著特点是量大面广，向环境排放污染物质是一个不连续的分散过程；受自然条件突发性、偶然性和随机性制约；污染负荷的时空差异性大、形成机理模糊、潜伏性强。它是在不确定的时间内，通过不确定的途径，排放不确定的污染物。

由于农业面源污染具有上述特点，现阶段我们对农业面源污染情况的了解程度远远不如点源污染，还缺乏整治的相关理论基础和实践经验，减少污染物，尤其是氮、磷营养的排放具有相当大的难度。因此，研究农业面源污染的特点，减少农业面源污染物的排放，改善和优化环境质量，保持我国农业可持续发展，实现资源、环境和农业协调发展已成为新世纪我国刻不容缓的任务。

1.1.2 农业面源污染的成因

许多研究表明，化肥和农药的超量或不合理使用是造成水体污染和富营养化的一个重要原因，这些农用化学品可以随地表径流、入渗水、土壤侵蚀等途径进入地表水或地下水^[10, 11]。近 20 年来，我国化肥的施用量超过世界平均水平 1 倍之多^[4]。根据中国农业年鉴，我国化肥施用量（折纯，以下同）从 1980 年的 1.27×10^7 t 增加到了 1999 年的 4.12×10^7 t，每公顷耕地化肥施用量相应从 130.8 kg 增加到 425.05 kg，其中 1999 年氮肥和磷肥的用量分别为 2.18×10^7 t 和 6.97×10^6 t^[12]。浙江省耕地化肥施用量 1990 年已达 550.0 kg/hm^2 ，1997 增加到 614.0 kg/hm^2 ，远远超过发达国家为防止化肥污染而设置的 225 kg/hm^2 的安全上限，1999 年氮肥和磷肥的用量分别为 6.19×10^5 t 和 1.27×10^5 t。一般而言，作物对氮肥的利用率为 30%~40%，磷肥的利用率仅为 10%~25%，其余的进入水体、大气或在土壤中积累。据浙江嘉兴市土肥站调查，该地区氮肥用量在太湖地区位居前列，而利用率仅约

28.5%，土壤盈余量达施肥量的 25.5%；磷肥施用量 20 世纪 90 年代中期比 10 年前增长了 62.2%，土壤磷盈余相当于施入磷总量的 39.19%。大量盈余氮、磷养分随地表径流和淋溶排放流入河流。同时化肥施用的结构很不合理，氮肥用量过多，磷、钾肥用量较少，N, P, K 比例严重失调。传统施有机肥的习惯正在逐步消失。1999 年全国农药施用量达 1.32×10^6 t。1990 年浙江省农药施用量已达 5.53×10^4 t，1999 年增加到 6.70×10^4 t，每公顷耕地农药施用量从 32.1 kg 增加到 40.3 kg^[12, 13]。近年来，随着我国养殖业生产的迅猛发展，畜禽粪便的排泄量急剧增加，我国畜禽粪便年排放量达 1.84×10^9 t，2000 年已超过 2.70×10^9 t，已超过全国工业废渣和城市生活废弃物排放量总和^[9]。据调查，我国相当一部分地区的畜禽粪便不经过任何处理直接排入河流或湖泊，严重污染了地表水^[14]。粪便中的氮、磷也不断渗入地下，使地下水中的硝态氮、硬度和细菌总数超标。在这些地区畜禽粪便的排放已成为农业面源污染的主导因素。

近 20 年来，虽然我国污水的处理率在不断提高，但污水的年排放量仍在大幅度增加。据 1999 年国家环保总局统计，全国工业和城市生活废水排放总量为 4.01×10^{10} t，其中工业废水排放量为 1.97×10^{10} t，生活污水排放量高达 2.04×10^{10} t，首次超过工业废水排放量^[13, 15]。

此外，农用塑料薄膜所造成的白色污染也不容忽视，1999 年全国农用塑料薄膜用量为 1.26×10^6 t^[12]。大量塑料薄膜残存在土壤、沟渠或河道中，直接污染水土环境，对农作物生长也极为不利。目前使用的塑料膜大多是不可降解的，它们在土壤中的半衰期长达 100 年，自然分解约需 200 年。每公顷土地中残留塑料膜达 58.5 kg，可使水稻减产 9%~14%，小麦减产 9%~16%，蔬菜减产 14%~59%。

土壤侵蚀是规模最大、对生态环境破坏最为严重的一种面源污染^[12]，不仅发生在山区，而且在平原地区也很严重。土壤

表层中大量的有机质、氮、磷等养分因土壤的侵蚀大量进入水体。据报道,我国年均土壤流失量约 $5 \times 10^9 \text{ t}$,而且呈逐年加快的趋势。1999 年黄河全流域总面积 $7.5 \times 10^7 \text{ hm}^2$,而水土流失严重的面积高达 $4.54 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。浙江省 1998 年水土流失总面积达 $2.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[13]。

近年来,我国的水产养殖业也发展迅速,1997 年水产养殖面积已达 $5.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中内陆养殖面积为 $4.95 \times 10^6 \text{ hm}^2$,海水养殖面积为 $9.34 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[16]。因水产养殖而将大量饵料带入水域也是造成当地水体富营养化的重要原因。

农作物秸秆过剩也是我国近几年出现的环保问题,大量秸秆在田间焚烧,直接造成大气污染,或丢入水域直接造成水体污染。据估计,我国每年至少有 4 亿多吨秸秆被丢弃或焚烧^[17, 18]。

大气干沉降与湿沉降将大气中的有毒物质降落在土壤或水体表面,这也是一种面源污染,能直接造成地表水的污染。国外一些研究表明,大气干湿沉降的 PCB 是大量河流、湖泊面源污染的主要来源^[2, 19]。酸雨在我国也相当严重。年平均降水 pH 低于 5.6 的酸雨覆盖面积约占国土面积的 30%^[20]。

此外,农田污水灌溉量过大或灌溉时间不恰当也同样会造成土壤、地表水和地下水的污染。据统计,1976 年全国污灌面积为 $1.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$,2000 年大约已超过 $4.27 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[10]。

1.1.3 农业面源污染的危害

农业面源污染直接对水体环境产生危害,进而影响人畜健康。近年来我国河流、湖泊、近海等水体质量急剧下降,人们才逐步认识到由于人为活动而引起的农业面源污染是水质变坏的重要因素之一。据报道,1986—1990 年间,我国污染湖泊中,农村面源污染负荷占总负荷的比例均在 50%以上,国外报道农村面源污染对河流、湖泊的负荷在 60%~70%^[33]。农业面源污染对水体质量

的影响主要由营养型和毒害型两大类污染物质所致,但以营养型污染物质为主。

营养型污染物主要指氮和磷,氮、磷在水体中大量积累导致水体富营养化,后果是蓝藻大量繁殖,将水中氧气消耗殆尽,水体功能急剧降低。据观测,20世纪80年代初期至90年代中期,太湖流域的水质下降了一个等级,全湖平均由以Ⅱ类水质为主变为以Ⅲ类水为主,水体富营养状态上升了两个等级,以富营养型为主^[6]。根据中国环境状况公报,太湖流域每年氮的排放量从1990年的 2.80×10^4 t增加到2000年的 7.96×10^4 t,磷的排放量从1990年的2 000 t增加到2000年的5 660 t, COD的排放量从1990年的 5.00×10^4 t增加到2000年的 2.82×10^5 t^[13]。据统计,1994年太湖因农业面源污染产生的氮、磷分别占总负荷的55.1%和27.8%,生活废水产生的氮、磷分别占25.1%和60%,工业废水产生的氮、磷分别占15.8%和10.4%。近年来,由于在太湖流域对工厂、企业等引起的点源污染进行了整顿和治理,并实行禁磷计划,因此农业面源污染在总污染中所占的比例更大。滇池的富营养化状况更加严重,每年因化肥流失而带入滇池的氮、磷高达1 600 t以上,农业面源污染的总氮、总磷分别占总负荷的46%和53%。根据中国环境状况公报2000年的报道,滇池湖体的13个监测点位水质均属于劣Ⅴ类水质^[13];巢湖湖体12个监测点位中,54.0%的点位为Ⅴ类水质,46.0%的点位属劣Ⅴ类水质^[13],总氮、总磷严重超标,泥沙淤积严重,巢湖已变成了“死湖”。我国水库的富营养化程度低于湖泊,但目前也呈加快趋势。化肥、农药和水土流失等农业面源污染也是水库富营养化的主导因子^[7]。据报道,福建省5座水库的富营养化趋势明显^[7],北京市的主要饮用水源密云水库现已属中营养型水库,并向富营养化演变^[8, 9]。

根据2001年4月10日《光明日报》的报道,我国10%的城市地下水水质日趋恶化,在接受调查的118座大城市中,97%的城市浅层地下水受到污染,其中40%的城市受到严重污染,硝酸

盐、亚硝酸盐、氨超标是地下水污染的主要特征，农业生产活动和生活污水的排放是导致地下水污染的主要原因。据报道，1984—1994 年这 10 年间，氮肥用量增加了 1 倍，地下水硝酸盐浓度增加了近 2 倍^[10]。1987 年，马立珊等通过对太湖流域 16 个县的 76 口饮用水井的调查发现，水井中硝态氮和亚硝态氮的超标率分别达 38.2%和 57.9%^[11]。

我国的赤潮现象日益增多，而且发生面积越来越大。据不完全统计，20 世纪 60 年代以前，仅记录 4 次赤潮，70 年代记录了 20 次，80 年代 75 次，进入 90 年代，赤潮更是频繁发生，仅 2000 年我国近海就发现了 28 次赤潮，面积累计 1 万多平方千米，仅辽宁、浙江两次较大规模的赤潮就造成了近 3 亿元的渔业损失。2001 年浙江中部、北部海域又发生大面积赤潮。赤潮发生的频率和面积显著增加的原因除了与工业废水、生活污水大量向海域排放以外，还与农业面源污染密切相关，近海的农业面源污染主要包括化肥、农药的流失，土壤侵蚀，近海养殖等。赤潮不仅对海洋生态、渔业生产造成严重影响，赤潮毒素还通过海洋食物链危及人体健康。

毒害型污染物主要包括农药、除草剂及其降解产物以及化肥中夹带的重金属、有毒有机物等。有机磷、有机氯农药等污染物可直接引起水体生物中毒，也可以在水体食物链中富集，并通过食物链最终影响人体健康。

此外，由于水土流失，大量泥沙进入水体，河床抬高，蓄水容量减少，水体功能降低。目前东太湖的淤泥厚度达 1 m 以上，而且还在以每年 10 mm 的速度增加。滇池由于泥沙的大量涌入，湖面已从原来 $5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 减少到目前的 $3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。同时，由于径流携带的大量泥沙含有大量的有机质和氮、磷等养分，氮磷在水-沉积物界面处于动态平衡，也对水体氮、磷产生显著影响^[12]。据估算，杭嘉湖平原河泥贮积量达 $5.6 \times 10^8 \text{ t}$ ，折合 N, P, K $4.4 \times 10^6 \text{ t}$ 。

家畜粪便中常常含有大量的病原菌，尤其是大肠杆菌，可以

随着径流或入渗进入地表水和地下水^[9]，因此面源污染也可导致疾病的发生和传播。

1.1.4 国内外农业面源污染模型化研究

1) 国外农业面源污染模型化研究

20 世纪 70 年代：通用土壤侵蚀方程式 (USLE) 广泛用于各类面源污染负荷定量计算^[29]。

70 年代中期：面源污染负荷量化模型研究有农药转移和径流模型 (PTR)，城市地表径流数学模型 (STORM) 和城市暴雨水管理模型 (SWMM)。

70 年代后期至 80 年代：在原有模型基础上，重点加强了 3S (RS, GPS, GIS) 在面源污染定量负荷计算、管理和规划中的应用研究。这一时期提出了著名的农业管理系统中的化学污染物径流负荷和流失模型 (CREAM)、农业面源管理和政策制定的农业面源污染模型 (AGNPS)、农田尺度的水侵蚀预测预报模型 (WEPP)、流域面源污染模拟模型 (ANSWERS)^[5]。同时以陆地卫星数据库、航空摄影、GIS 和陆地资源信息系统为代表的 3S 技术与面源污染模型结合广泛用于面源污染预测、管理措施改变对农业面源污染的影响评价。这一时期 GIS 研究与应用的突出成果是专业 GIS 软件开发并用于潜在面源污染的三维图形输出。

90 年代：这一时期与面源污染负荷估算相关的流域开发方向、面源污染管理模型和面源污染风险评价成为应用模型研究的最新突破点。GRASS, GIS, ARC/INFO 与 WEPP, AGNPS, USLE 结合进一步用于面源污染危险区域识别、显示多种面源污染输出结果、绘制水源防护区范围和设计地表水监测网等方面。面源污染专业 GIS、专家系统及面源污染模型软件的开发应用已经起步，计算机软件开发混合，多语种面源污染模型软件开始出现^[21]。

2) 国内农业面源污染模型化研究

我国的农业面源污染模型研究始于 20 世纪 80 年代的北京城市径流污染研究^[22]。1980—1990 年我国的面源污染研究仅是农业面源和城区径流污染的宏观特征与污染负荷定量计算模型的初步研究。基于受纳水体水质分析, 计算汇水区农业面源污染输出量的经验统计模型这一时期发展较快并广泛应用, 通用土壤流失方程首次在我国用于面源污染的危险区域识别研究。进入 90 年代, 我国的面源污染研究更加活跃。农药、化肥污染的宏观特征, 影响因素研究和黑箱经验统计模式继续在农业面源污染研究中占重要地位。将农业面源污染负荷模型与 3S 技术结合, 与水质模型对接用于流域水质管理成为农业面源污染研究的新增长点。90 年代首要成就当推李怀恩等的机理型流域暴雨径流响应模型。它要求参数少、应用范围广, 适合我国目前资料短缺的面源污染研究现状, 但其应用、推广有待接受后期检验。当前又有了一些新模型: 张水龙、庄季屏等提出农业面源污染的流域单元划分方法; 李怀恩提出估算面源污染负荷的平均浓度法^[21]; 透水性流域面源产污模型; 暴雨径流污染负荷计算的响应函数模型^[3]; 流域暴雨产沙产污量过程的计算; 农田面源污染研究中的降雨径流关系(SCS 法的修正)^[22]; 城市水环境面源污染总量控制研究与应用^[23]。但有关面源污染的计算机软件开发应用研究在国内还没有开始, 同时具有应用性广、推广性好且融入 3S 技术的面源污染模型在国内的研究明显不足。

1.2 农业面源污染对人体健康的影响

根据农业面源污染调查, 农业面源污染已超过工业企业的污染, 农用化肥、农药及畜禽水产养殖业是引起环境污染的主要原因。污染物有营养物(氮、磷、碳水化合物等引起水体富营养化的物质)、