

Control and Management of
Agricultural Non-point Source Pollution

农业非点源污染 控制与管理

张蔚文◎著



科学出版社

农业非点源污染 控制与管理

张蔚文◎著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍了农业非点源污染与水质之间的关系,并分三篇展开论述:第一篇是对现象的观察;第二篇是理论与国际经验,首先从经济学视角阐释农业非点源污染控制与管理政策,然后从理论和实践两个维度考察了发达国家在控制与管理农业非点源污染方面的进展;第三篇是实证,以太湖流域为研究区域,通过对农户调查数据的统计、建模和计量分析,在政策设计与模拟、农户化肥施用量影响因素、农户对测土配方施肥技术的接受意愿等方面展开实证研究,最后得出一个控制与管理农业非点源污染的综合政策框架。

本书可作为农业、环境保护、土地等学科相关人士的专业读物,也可作为环境与资源经济学领域硕士生和博士生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

农业非点源污染控制与管理 / 张蔚文著. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-032037-7

I. 农… II. 张… III. 农业污染源: 非点污染源—污染控制—研究 IV. X501

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 163006 号

责任编辑: 刘 鹏 王晓光 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 无极书装

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 华 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2011 年 8 月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1—1 000 字数: 261 000

定价: 58.00 元

如有印装质量问题, 我社负责调换

前 言

中国是世界上水资源最为匮乏的国家之一，人均水资源占有量不到世界平均水平的 1/4，水资源危机不仅表现在水量的不足上，更反映在水质的恶化上。20 世纪 70 年代以来，中国各大湖泊和重要水域的水体污染，特别是水体的氮、磷富营养化问题越来越严重。以“三河”、“三湖”为例，2009 年《中国环境状况公报》中的数据显示，淮河、海河、辽河等“三河”水质为劣 V 类的比例分别为 17.4%，42.2% 和 36.1%，而“三湖”中，太湖和滇池水质总体为劣 V 类，巢湖水质总体虽稍好，也已被列为 V 类。这些流域是中国人口最为密集、经济最为发达的区域，而水质下降造成的水质性缺水，已经对这些地区人民生活用水构成威胁，对生产和经济发展造成巨大损失，对南水北调和三峡水库等国家重大工程的作用构成影响。

水污染可以分为点源和非点源（或称为面源）两大来源，点源污染主要来自工业和生活污水的集中排放，非点源污染的来源比较广泛，其中以来自农村的非点源污染最为突出。随着点源污染控制能力的提高，非点源污染的严重性逐渐显现出来。中国农业科学院土壤肥料研究所的研究结果显示，在中国水体污染严重的流域，农田、农村畜禽养殖和城乡结合部的生活排污是造成水体氮、磷富营养化的主要原因，其贡献率大大超过来自城市的生活污水和工业的点源污染。因此，控制与管理农业非点源污染已经成为“十二五”期间乃至今后更长一段时期内农业与农村发展的重大课题，也是当前新农村建设需要着重解决的问题之一。

本书从政策角度讨论农业非点源污染的控制与管理问题。绪论主要介绍几个

基本概念，并阐明农业非点源污染与水质之间的关系，之后分三篇展开讨论，第一章、第二章为现象篇，第三章、第四章、第五章为理论及国际经验篇，第六章、第七章、第八章、第九章、第十章为实证篇。

第一章首先对农业非点源污染的成因、危害以及由此产生的环境成本进行了分析，接着，作者从技术、法律和经济三个层面回顾了我国在农业非点源污染控制与管理方面所采取的措施，针对我国农业非点源污染控制与管理上存在的问题，进一步剖析其深层次原因，由此得出初步结论。长期以来，我国在污染控制与管理体制中一直存在着重点源、轻面源，重技术、轻制度的缺陷，对污染控制政策（特别是激励型政策）的研究十分欠缺，亟待完善。第二章以太湖流域为实地调查区域，对农业非点源污染控制技术示范区，通过专业合作社推广测土配方施肥、农村生活垃圾收集与资源化利用等案例展开细致深入的调查和分析，进一步揭示现象。第三章用经济学视角分析农业非点源污染的本质及其对政策设计的特殊要求，这一分析的目的是为后续实证研究阶段的政策设计提供理论依据和指导。第四章作者按环境税、自愿计划、集体表现、可交易许可证等几方面为读者提供了一张政策工具的“地图”，以免政策设计者或决策者在大量可用的政策工具前变得无所适从，接着回顾了部分学者对各类政策工具的评价结果，有助于决策者选取最合适的工具以解决不同类别的水质问题；本章结论继续为本书的后续实证研究提供有意义的指导。第五章有选择地介绍美国、加拿大、新西兰、欧洲联盟等国家和地区在控制和管理非点源污染方面的实践，这些国家和地区的经验与教训可以为我国农业非点源污染控制与管理的综合政策设计提供借鉴。第六章以农户为切入点，通过典型区域的农户调查，用线性规划法构建了一个生物—经济家庭模型来模拟控制氮流失的四种政策情景的效力。模拟结果显示，包括氮肥税、禁令、新技术推广和补贴在内的所有备选政策都对减少氮流失起到了积极的作用。虽然本章构建的模型仅仅是针对氮流失这一特定的非点源污染现象，但这一研究方法对其他类型的农业非点源污染控制也具有重要的指导意义。第七章是对环太湖五市 798 户农户调查基本情况的描述，此调查是在前期研究的基础上

完成的,本章对调查设计过程、调查区域概况、样本基本信息等情况作了概述,为第八章、第九章的计量实证研究作铺垫。第八章采集了太湖流域农户调查中浙江省嘉兴市和湖州市 288 户水稻种植户的数据,运用单因素分析法和多元回归计量模型分析法研究影响农户化肥施用量的因素。研究结果表明,农户职业、是否参加过农业生产培训、是否为农民专业合作社成员和农业经营规模与农户化肥施用量之间存在显著正相关关系,家庭农业收入比例、是否施用有机肥和是否施用测土配方肥与农户化肥施用量之间存在显著负相关关系,而年龄、受教育水平、家庭收入和农户化肥危害认知对农户化肥施用量的影响不显著。第九章选取了太湖流域农户调查中江苏省苏、锡、常三市的 418 户农户问卷,基于双边界二分式条件价值评估法,采用 PCE 生存函数半参数模型来分析影响农户对接受测土配方施肥技术支付意愿的因素。研究结果表明,教育水平、是否参加医疗保险、技术认知、期望提供测土配方施肥服务补贴与支付意愿呈正相关关系,环境质量评价、信贷方式与支付意愿呈负相关关系。推广方案的设计可从提高农户认知、保障农户抵抗风险能力、提供测土配方补贴等方面入手。第十章综合以上研究结果,从技术、教育、立法等方面提出一个控制与管理农业非点源污染的综合政策框架。

本书是若干科研项目研究成果的结晶,感谢国家自然科学基金项目“农业非点源污染控制的农户行为及其对激励响应的机理研究——以太湖流域为例”(70873107)、国家“973”项目课题“污染物的转化、传递和积累过程及作物产地环境安全”(2005CB121104)、浙江省哲学社会科学规划课题“控制与减少农业非点源污染物排放的政策模拟与设计——以浙江省平湖市为例”(07CGYJ010YBG)以及浙江省重大科技攻关项目“村镇农业面源污染综合控制技术的研究与示范”(2005C13003)等科研项目的资助。

本书亦是在著者博士论文的基础上扩充而成的。在完稿即将付梓之际,首先要感谢我尊敬的导师黄祖辉教授的悉心指导和谆谆教诲。中国科学院虚拟经济与数据研究中心的石敏俊教授在论文构思及写作过程中给予了极大的帮助,谨此表

示感谢。

在调查研究和资料搜集过程中，得到了浙江大学环境与资源学院的吴建军教授以及三位年轻副教授刘杏梅、何艳和施加春的大力支持和热心帮助；在问卷设计与农户调查过程中，日本京都大学的王新艳博士以及浙江大学土地资源管理2008级硕士生刘飞的工作非常杰出和高效，参与问卷调查的吴丹、谢作衷、何良将、张蓉、褚彩虹等45位研究生及本科生付出了艰辛的劳动，在此一并表示感谢。

本书的顺利完稿，离不开单位同事的大力支持，这里要特别感谢吴次芳教授、吴宇哲副教授多年来对我的关心、信任和鼓励。

感谢浙江大学土地资源管理2007级本科生胡霄霄、袁静沛同学在本书写作过程中帮助查阅文献、提供资料，感谢王圣华、万琪、占雅茹等同学在文字校对过程中提供的帮助。借此机会，还要感谢科学出版社王晓光编辑在本书出版期间对我的鼓励和帮助。

最后，把感谢留给我的父母、爱人和我可爱的女儿，他们是我永远的坚强后盾和精神支柱！

由于著者水平有限，书中难免会有疏漏和不妥之处，敬请读者不吝指正。

张蔚文

2011年仲夏于杭州华家池

目 录

前言

绪论	1
第一节 基本概念	1
第二节 我国农业非点源污染与水质	2
第三节 农业非点源污染的成因与危害	7

第一篇 现 象

第一章 我国农业非点源污染控制与管理现状	15
第一节 我国对农业非点源污染的控制与管理	15
第二节 我国在控制与管理农业非点源污染方面尚存的问题	19
第三节 我国农业非点源污染难以有效控制的深层次原因	24
第二章 以太湖流域为例的农业非点源污染控制与管理个案调查	28
第一节 农业非点源污染控制技术示范区：平湖市的例子	28
第二节 通过专业合作社推广测土配方施肥：浙江省典型县市的经验	38
第三节 农村生活垃圾收集与资源化利用：以湖州市为例	41

第二篇 理论与国际经验

第三章 农业非点源污染控制与管理政策的经济学分析	49
第一节 农业非点源污染与外部性	49
第二节 控制与管理农业非点源污染的政策目标	52
第三节 影响政策设计的农业非点源污染特征	57
第四节 选择政策工具的标准	58

第五节 制定与执行政策的管理层级选择	60
第四章 控制与管理农业非点源污染的政策研究进展	64
第一节 可用于农业非点源污染控制的政策工具	64
第二节 控制农业非点源污染的政策设计	72
第三节 控制农业非点源污染的政策评估	82
第五章 控制与管理农业非点源污染的国际经验	85
第一节 美国	85
第二节 加拿大	91
第三节 新西兰	97
第四节 欧洲联盟	100
第五节 若干启示	104

第三篇 实 证

第六章 农业非点源污染控制与管理政策模拟：平湖市一个氮流失的 例子	109
第一节 政策模拟的总体设想	109
第二节 典型农户调查	112
第三节 生物—经济家庭模型的构建	113
第四节 控制氮流失的政策情景设计与模拟	122
第七章 农业非点源污染控制与管理实证研究基础：太湖流域 798 户农户 调查	128
第一节 调查设计	128
第二节 研究区域社会经济概况	133
第三节 样本数据统计性描述	134
第八章 农户化肥施用量影响因素分析：基于浙江省水稻种植户调查的 实证	148
第一节 研究总体设想	148
第二节 变量和模型选择	153

第三节	影响农户化肥施用量的因素	155
第四节	研究结论	164
第九章	农户对测土配方施肥技术的接受意愿分析：基于江苏省农户数据的 实证	166
第一节	研究总体设想	166
第二节	数据和模型	171
第三节	实证结果分析	177
第四节	研究结论	179
附录		180
第十章	控制与管理农业非点源污染的综合政策框架	185
第一节	经济、简单、可行的技术体系研发	185
第二节	宣传教育	186
第三节	技术推广以及示范工程的长效运行管理机制	187
第四节	针对具体污染源的管理政策	189
第五节	立法	193
第六节	普适性结论和建议	196
参考文献		199

绪 论

第一节 基本概念

一、点源污染与非点源污染

点源污染 (point source pollution) 和非点源污染 (non-point source pollution, NPS) 是水体污染的两大主要来源。

点源污染是指通过排放口或管道排放的污染, 点污染源包括工业废水、城市生活污水、污水处理厂与固体废弃物处理场的出水以及流域其他固定排放源。

非点源污染 (或称面源污染^①) 是相对于点源而言的。按照美国联邦水污染控制法 (1977) 所作的解释, 凡是向环境排放污染物是个不连续的分散过程, 而又不能用一般常规处理方法获得改善的排放源, 即称为非点源污染或者散在污染 (diffuse pollution), 包括农业施肥和施用农药以及大气沉降、野生动物排泄物、林场和牧场等。美国清洁水法 (Clean Water Act) 修正案 (1997) 对非点源污染的定义为: 污染物以广域的、分散的、微量^②的形式进入地表及地下水体。而 Novotny 和 Olem (1993) 则认为, 非点源污染是指溶解的和固体的污染物从非特定的地点, 在降水 (或融雪) 冲刷作用下, 通过径流过程而汇入受纳水体 (包括河流、湖泊、水库和海湾等) 并引起水体的富营养化或其他形式的污染。

非点源污染有广义和狭义两种理解, 广义包括城市非点源污染和农业非点源污染, 狭义仅仅指农业非点源污染, 本书采用后一种理解, 若不特别说明, 本文中出现的非点源污染即为农业非点源污染。

二、水体、水资源与水污染

水体是江河湖海、地下水、冰川等的总称, 是被水覆盖地段的自然综合体。

① 国内有的文献或媒体中又称之为面源污染

② 这里的微量是指污染物浓度通常较点源污染低, 但非点源污染的总负荷却非常巨大

它不仅包括水,还包括水中溶解物质、悬浮物、底泥、水生生物等。水与水体是两个紧密联系又有区别的概念。

水资源是可再生资源,但不是取之不尽的。人类能直接利用的水资源仅是全球总水储量中 2.53% 的淡水中的 0.34% 的江河湖泊及浅层地下水。我国的水资源分布具有地区、进程上的不均匀性,是水资源相对较少的国家。平均年降水深 633 毫米(全球 800 毫米,亚洲 740 毫米),多年平均年河川径流总量 26 600 多亿立方米,占世界第五位。人均占有水量只相当于世界人均占有河川年径流量的 1/4。所以,防治水污染就成为保护水资源的一个重大课题。

水体具有一定的自净能力,但是,一旦排入水体的污染物质超过了水体的自净能力,使水体恶化,达到了影响水体原有用途的程度,这时就可以说,水被污染了。

本书所指的水体污染,主要是针对地表水中的淡水污染,不包括地下水和海水,但为了说明上的方便,文中有时会出现地下水或海水。

第二节 我国农业非点源污染与水质

一、我国水质状况

原国家环境保护局^①(以下简称“国家环保局”)自 1989 年以来每年发布中国环境状况公报,《2008 年中国环境状况公报》对淡水环境的报告中指出:2008 年七大水系的 409 个水质监测断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 55.0%、24.2% 和 20.8%,珠江、长江水质总体良好,松花江为轻度污染,黄河、淮河、辽河为中度污染,海河为重度污染(表 0-1)。

表 0-1 七大水系水质类别比例 (单位:%)

水系名称	I ~ Ⅲ类	Ⅳ ~ Ⅴ类	劣Ⅴ类
长江	85.6	8.6	5.8
黄河	68.2	11.3	20.5
珠江	84.9	12.1	3.0

^① 原国家环境保护局于 1988 年正式成立,是直属国务院管理的副部级单位;1998 年升格为国家环境保护总局,成为国务院直属的正部级单位;2008 年国家环境保护总局升格为国务院组成部门中华人民共和国环境保护部。后文叙述中根据具体时期采用不同称呼

续表

水系名称	I ~ III类	IV ~ V类	劣V类
松花江	33.3	52.4	14.3
淮河	38.4	39.5	22.1
海河	28.6	20.6	50.8
辽河	35.1	32.4	32.5
总体	55.0	24.2	20.8

资料来源：环境保护部，2009

中国制定的《地面水环境质量标准 GB 3838-88》(1988)将水分为五类。水质按 I、II、III、IV、V 类而逐步下降。当水质下降到 III 类标准以下，由于所含的有害物质高出国家规定的指标，会影响人体健康，因此不能作为饮用水源。表 0-1 数据显示，2008 年七大水系 III 类以下水所占比例为 45.0%。水质遭受污染的程度之深实在令人担忧，因为 IV 类水处理之后既不能作为安全的饮用水，也不能作为渔业水域和游泳区用水，V 类水基本上丧失了功能，劣 V 类水属于毫无用处的臭水。按此推算，长江的 14.4%、黄河的 31.8%、珠江的 15.1%、松花江的 66.7%、淮河的 61.6%、海河的 71.4% 和辽河的 64.9%，已经不能作为饮用水来源了。此外，从表 0-1 还可以看出，水资源匮乏的北方河流比水资源丰沛的南方河流污染严重，七大水系按水污染严重程度排序，劣 V 类水质比例最高者为海河的 50.8%，其后是辽河的 32.5%、淮河的 22.1%、黄河的 20.5%、松花江的 14.3%、长江的 5.8% 和珠江的 3.0%。

《2008 年中国环境状况公报》(环境保护部，2008)指出，2008 年监测的 28 个重点湖库中，满足 II 类水质的湖库 4 个，占 14.3%；III 类水质的湖库 2 个，占 7.1%；IV 类水质的湖库 6 个，占 21.4%；V 类水质湖库 5 个，占 17.9%；劣 V 类水质湖库 11 个，占 39.3%。由表 0-2 可知，我国重点湖库的主要污染指标都是总氮 (total nitrogen, TN) 和总磷 (total phosphorus, TP)，区别在于氮和磷的比例，富营养化问题十分突出。其中“三湖”(太湖、巢湖、滇池)水质尤其令人担忧，均为 V 类及劣 V 类。

表 0-2 重点湖库水质类别统计

(单位：个)

水系	个数	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类	主要污染指标
三湖	3	0	0	0	0	1	2	TN、TP
大型淡水湖	10	0	2	1	3	1	3	TP、TN

续表

水系	个数	I类	II类	III类	IV类	V类	劣V类	主要污染指标
城市内湖	5	0	0	0	1	0	4	TP、TN
大型水库	10	0	2	1	2	3	2	TN、TP
总计	28	0	4	2	6	5	11	TP、TN
比例(%)		0	14.3	7.1	21.4	17.9	39.3	

资料来源：环境保护部，2009

二、富营养化是水质的核心问题

如上所述，中国水污染的核心问题是水体的氮、磷富营养化，全国主要湖泊、水系水体质量下降的主要原因基本上都是 TN、TP 浓度高。水体富营养化是指湖泊、水库、海岸等水体接纳过多的氮、磷等营养性物质，使藻类以及其他水生生物过量繁殖，水体透明度下降，溶解氧降低，造成水质恶化，从而使水体生态系统和水功能受到损害和破坏。严重的，甚至发生“水华”^①，给水资源的利用如饮用、工农业供水、水产养殖、旅游以及水上运输等带来巨大损失。根据水中营养物的浓度和（或）营养物负荷的生态学表现，湖泊和水库的营养类型大致可分为超贫营养、贫营养、中营养、富营养和超富营养五大类型。我国七大水系的水质恶化主要表现为水体的富营养化。

富营养化虽然是一个自然过程，但人类的活动会加剧这一过程，这种情况下的富营养化称为人为富营养化。人类活动导致的水体富营养化是当今世界水污染治理的难题，并已成为全球最重要的环境问题之一。我国目前有大小湖泊 4880 多个，总面积为 83 400 平方千米，约占国土总面积的 0.8%。近十几年来，随着经济的迅猛发展，湖泊的利用强度加大，加上湖泊水污染控制措施的滞后，水体富营养化程度非常严重。

中国农业科学院土壤肥料研究所（以下简称“中国农科院土肥所”）对中国重要流域，如滇池、五大湖泊（太湖、巢湖、洪泽湖、洞庭湖、鄱阳湖）、三峡库区水域的分析结果显示，20 世纪 60 年代以来，随着农田氮、磷肥料用量和畜禽养殖业的大量增加，水域氮、磷富营养化程度也逐步升级（表 0-3），发展趋势十分严重。以太湖为例，70 年代初期至今，太湖水体富营养化状态上升了二

^① 江河湖泊的富营养化称为“水华”，海洋的富营养化称为“赤潮”。湖泊发生严重“水华”时，水面上会漂浮一层蓝、绿色如油漆状的藻类

个等级，由中等富营养化为主上升至以富营养化为主。目前，全湖表现出明显的富营养化状态，藻类暴发面积扩大，并向湖心伸展，藻类种属发生变化，耐污类增加，藻类发生时间延长，春秋季节可以显见。太湖每年暴发的水藻给流域居民造成了巨大的损失。而因水质下降造成的水质性缺水，使本已严重的水资源紧缺问题雪上加霜。因此，治理太湖富营养化、防止水藻暴发是我国“九五”、“十五”期间水污染防治的重点。在“十二五”乃至今后更长的一段时期内，控制与管理农业非点源污染将继续是农业与农村发展的重大课题，也是当前新农村建设中重要解决的问题之一。

表 0-3 中国重要水域的水质等级变化

水域	1960 ~ 1969 年	1970 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1999 年	现在	主要污染物
滇池（草海）	Ⅱ	Ⅲ	V	劣 V	劣 V	TN、TP
滇池（外海）	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	劣 V	TN、TP
太湖	I ~ Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ ~ V	劣 V	TN、TP
巢湖	水质尚好	Ⅲ	Ⅳ	V	劣 V	TN、TP
洪泽湖	水质尚好	中 ~ 富营养			富营养化	TN、TP
洞庭湖	水质尚好	贫 ~ 中营养			富营养化	TN、TP
鄱阳湖	水质尚好	中营养			富营养化	TN、TP
三峡库区	水质尚好	—			富营养化	TN、TP

资料来源：张维理等，2004a

综上，中国水体污染已相当严重，部分城市的饮用水安全受到威胁，在 46 个重点城市中，有 45.6% 的城市水质较差，而农村的饮用水安全则更令人担忧，其卫生合格率仅为 62.1%。据不完全统计，中国目前大约有 3.6 亿人喝不上干净水，因此保障中国百姓喝上干净水已成为水污染防治工作中的第一要务（苗红，2005）。

三、农业非点源污染是水体富营养化的主要贡献者

随着各国政府对点源污染控制的重视，点源污染在包括我国在内的许多国家已经得到较好的控制和治理，而非点源污染，由于涉及范围广、控制难度大，已被世界上许多国家和地区的研究结果证实是导致水环境质量恶化的主要原因。可以说，农业非点源污染是目前公认的水体污染中最大的问题之一。在美国，非点源污染约占总污染量的 2/3，其中农业非点源污染占非点源污染总量的 68% ~

83%，农业非点源已经成为全美河流污染的第一污染源。在欧洲国家，非点源污染同样是造成水体（特别是地下水）硝酸盐污染的首要来源，也是造成地表水中磷富集的最主要原因。据英国环境署（Environment Agency）1998年调查，地表水中43%的磷来自农业，24%的磷来自人类排泄物和其他生活污水。在瑞典，不同流域来自农业的氮占流域总输入量的60%~87%。在荷兰，来自农田的氮、磷的负荷分别占60%和50%。在丹麦和北爱尔兰的监测湖泊中发现，减少城市点源的磷输入只能使湖水中的磷含量略有降低，这说明农业磷的输入是水体中磷含量增加的主要原因。芬兰20%的湖泊水质恶化，而农业非点源排放的磷和氮在各种污染源中所占比重最大，占总排放量的50%以上（张维理等，2004b；章明奎，2005）。

我国自1975年以来，国家和企业投资了数百亿元资金进行点源污染治理，但对湖泊水体富营养化状况的改变收效甚微，并且富营养化的形势还在日益严重，原因之一就是农业非点源污染的治理没有跟上。中国农科院土肥所的研究结果显示：在中国水体污染严重的流域，农田、农村畜禽养殖和城乡结合部地带的生活排污是造成流域水体氮、磷富营养化的主要原因，其比重大大超过来自城市地区的生活点源污染和工业点源污染（张维理等，2004b）。根据中国国家环境保护局在太湖、巢湖、滇池、三峡库区等流域的调查，工业废水对TP、TN的贡献率仅占10%~16%，而生活污水和农田的氮、磷流失是水体富营养化的主要原因。我国第一个土壤方面的“973”项目“土壤质量演变规律与持续利用”（1999~2004年）在太湖地区的研究表明，人畜粪尿和生活污水对水环境中氮负荷的贡献率分别占34%和14%，农田施肥占24%，工业生产占22%，养殖业占6%（钱秀红等，2002）。

为了促进植物生长，提高农产品产量，人们常施用较多的氮肥和磷肥，随之又引发了一系列的环境生态问题。氮、磷营养物极易在灌溉和降雨时流失，其流失方式有：①随地表径流进入地面水体中；②下渗形成亚表面流（壤中流），然后排入地表水体中；③通过土壤层下渗到地下水中。前两种是导致地表水富营养化的主要原因。

畜禽养殖会产生大量含营养物和细菌的排泄物，极易随地表径流、亚表面流进入江河、湖泊而污染水体。此外，农田中过量施用家畜粪便，也会引起粪便中的营养物随地表径流、亚表面流流失，从而污染水体。草原过度放牧产生大量的牲畜粪便滞留于草原上，当降雨产生地表径流时，加剧土壤、粪便的侵蚀，致使更多的营养物流失，加重污染（张维理等，2004a）。

污水灌溉作为农业利用的一种方式，目的是通过土壤的净化作用和农作物对营养元素的吸收来净化污水。但一些污水中含量较高的营养物往往造成对土壤和

地表水的污染。对我国 37 个污水灌区的调查发现,有 32 个灌区水质不符合要求。

随着水产养殖业的发展,人工投放的饵料以及鱼类的排泄物给水体带来了大量的氮、磷营养物。目前,国内湖库区人工养殖的饵料系数达 3.0~4.0,成为水体富营养化的又一来源。

第三节 农业非点源污染的成因与危害

一、农业非点源污染的成因

农业非点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、氮素、磷素、农药、重金属及农村畜禽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、地下渗漏和大气干湿沉降等途径进入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等)所引起的水体污染。

过去,人们普遍认为工业等点源污染是造成水体污染的主要原因,以为只要做好点源污染的治理,就能够消除水环境污染。20 世纪 70 年代初以来,美国等国为了使工业等点源污染的废水达到零排放标准,不惜投入巨资,大规模兴建污水处理厂,但结果却仍然不能消除水污染,从而引起人们对非点源污染尤其是农业非点源污染重要性的认识。农业非点源污染正在成为全球范围内水体污染的主要原因,美国环境保护局(United States Environmental Protection Agency, USEPA, 以下简称“美国环保局”)在呈送国会的报告中提到,农业非点源污染是河流和湖泊污染物的主要来源之一,阻碍了水清洁行动中水质目标的实现。对农业非点源污染的控制不但逐步成为水污染治理的重中之重,也逐步成为现代农业和社会可持续发展的重大课题。

造成农业非点源污染的原因主要有五个方面。

(1) 土壤侵蚀。土壤侵蚀是规模最大,危害程度最严重的一种农业非点源污染。土壤侵蚀在损失土壤表层有机质层的同时,有许多污染物进入水体形成非点源污染。据估计,自人类开展农业生产活动以来,全球有 4.3 亿公顷土地因遭受严重的土壤侵蚀而遗弃。现在全世界每年遭受土壤侵蚀而遗弃的土地仍达 500 万公顷。美国大陆每年因土壤侵蚀进入河流的泥沙量达 10 亿吨,造成的直接经济损失达 60 亿美元(贺缠生和付博杰,1998a)。

(2) 农业化肥、农药的不合理施用。许多研究表明,化肥和农药的不合理