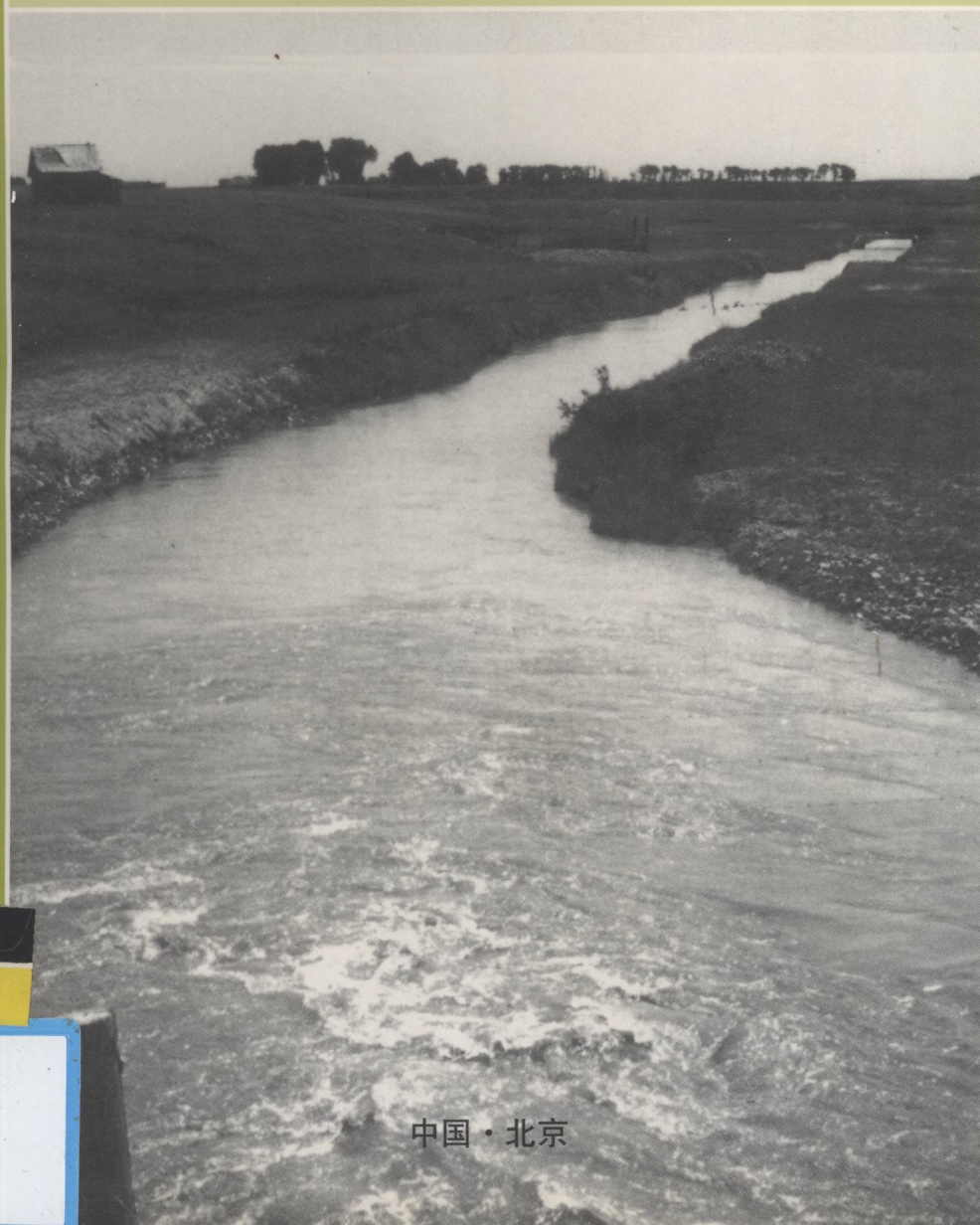


粮农组织
灌溉和排水
文集
55

治理农业污水



联合国
粮食及农业
组织



中国·北京

治理农业水污染

Edwin D. Ongley

全球环境监测系统/水资源合作中心

加拿大内陆水资源中心

加拿大伯灵顿

中国·北京

粮农组织
灌溉和排水
文集

55



联合国
粮食及农业
组织

1996 年罗马

本出版物中使用的名称和介绍的材料,并不意味着联合国粮食及农业组织对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律地位,或对其边界或国界的划分表示任何意见。

CPP/03/14

ISBN 92 - 5 - 503875 - 3

版权所有。未经版权所有者事先许可,不得以电子、机械、复印或其它任何形式和方法将本出版物任何部分加以翻印,存入检索系统或传播。申请这种许可应致函意大利罗马 Viale delle Terme di Caracalla, 00100 联合国粮农组织新闻司司长,并说明翻印的目的和份数。

© 粮农组织 1996 年

中国农业科学院科技文献信息中心
根据其同联合国粮农组织协议印刷

前 言

环境污染已成为全球的一项重大关注。在列举造成水污染的来源时,农业日益成为一种主要原因。随着各国努力解决其水资源滥用问题,有必要确定水质退化的根源,量化众多来源造成的污染。在通过研究获得确定根源和来源的充分事实之前,将继续存在大量相互矛盾的意见,使利用有限资源控制和减轻污染的计划的效率下降。

现有知识表明,农业活动可能向水中释放若干物质、沉积物、农药、畜粪、肥料和其他无机和有机质造成水质退化。其中许多污染物通过普遍径流和渗透作用进入地表水和地下水资源,因此称作“非点”污染源。查明、量化和控制非点源污染的工作,与“点源”污染相比仍然比较困难。

粮农组织的任务是提高人民营养水平和生活水准,为了履行这项使命,粮农组织促进农业发展和国家粮食安全。粮农组织同样致力于可持续发展,因而十分优先重视可持续农业发展。为此,本组织承认水在农业发展方面的关键作用,实施有关水资源开发和管理的一项全面的正常计划。这项计划的主题领域之一就是水质管理,其中尤其包括控制农业活动造成的水污染,特别提及非点源污染。

正是在本组织这些正常计划活动的框架内开始了编写有关农业水污染治理的一份“准则”文件的工作。目的是分清农业对水质的作用的性质和后果,为有关专业人员和决策者为治理水污染采取实际措施奠定框架。

本组织认识到,准则的编写仅仅是帮助成员国增强农业水污染治理的国家能力和实施有关计划的长期过程的开端。本出版物将在成员国以及有关区域和国家组织之间广泛传播。预期此后将组织区域和国家研讨会,并为此筹集预算外资金来源。

本组织赞赏加拿大环境部加拿大内陆水资源中心对编写本文件所作的贡献及 E. Ongley 博士提供了有关专业知识。

鸣 谢

本出版物是为了履行粮农组织在可持续发展和粮食安全框架内开展水资源综合治理的承诺而编写的。1992 年联合国环境与发展会议之后,这一框架得到加强,并与联合国各专门机构如联合国环境规划署、世界卫生组织和全球环境监测系统/水资源计划的其他水资源计划相联系。

作者希望对粮农组织许多专业人员给予的协助表示感谢,他们在确定框架和查找参考资料方面给予了鼓舞和合作。尤其是我非常感谢土地及水资源开发司的 Arumugam Kandiah、Hans Wolter 和 Robert Brinkman 几位博士的明智建议。埃克塞特大学的 Desmond Walling 博士和葛地审阅了草稿,并提出了有益的改进意见和建议。我十分感谢也审阅了草稿的粮农组织和其他机构的许多人员。还感谢 J.G. Kamphuis 先生审阅编辑本书和 C. Redfern 女士为正式印刷进行排版准备。

关于数据问题和一体化流域管理的章节,主要依据作者本人参加联合国环境规划署/世界卫生组织在许多发展中国家执行的全球环境监测系统/水资源计划时取得的经验。关于环境信息系统的材料反映了作者与加拿大内陆水资源中心 David Lam 博士及其工作人员和圭尔夫大学的 Davi Swain 博士的长期联系。

目 录

第一章 农业水污染概论	(1)
水质作为一项全球性问题	(2)
非点源污染定义	(3)
非点源的类别	(4)
预防和改变土地利用方法	(4)
问题的范围	(4)
农业对水质的影响	(7)
影响种类	(7)
灌溉对地表水质的影响	(7)
公共健康影响	(8)
发展中世界农业水污染数据	(12)
农业治理非点源污染的决定种类	(13)
数据问题	(13)
第二章 沉积物污染	(15)
沉积物作为物理污染物	(15)
沉积物作为化学污染物	(16)
主要过程:降雨和径流	(17)
主要概念	(19)
沉积物输移率	(19)
沉积物富营养率	(20)
泥沙流失的测量和预测	(21)
预测模型	(21)
第三章 化肥作为水污染物	(29)
地表水富营养化	(29)
农业在富营养化中的作用	(30)
有机肥料	(34)
环境化学	(34)
点源相对非点源的困境	(36)

治理肥料对水质的影响	(36)
无机肥料	(37)
有机肥料	(38)
污泥管理	(38)
肥料径流防治经济学	(39)
水产养殖	(40)
富营养湖泊的恢复问题	(40)
第四章 农药作为水污染物	(42)
农药发展史	(43)
农药经济学的北方—南方困境	(43)
农药的命运和作用	(44)
影响水系农药毒性的因素	(44)
农药对人体健康的影响	(44)
农药的生态影响	(45)
降解农药的自然因素	(46)
监测地表水农药	(47)
农药管理和控制	(49)
欧洲的经历	(49)
农药登记	(49)
丹麦的事例	(50)
发展中国家的农药与水质	(52)
第五章 概要和建议	(54)
农场一级使成本内在化的必要性	(54)
国家水质综合管理	(55)
评价方法	(56)
环境能力	(56)
水质数据问题	(57)
适用于农业水质问题的水质指标	(58)
农业水污染成本的经济分析	(59)
信息技术与决策	(59)
建议	(61)
水质目标的利用	(65)

粮农组织与持久有机污染物议程	(65)
发展中国家中的农药	(66)
参考书目	(67)
附件 1 农药目录	(77)

表格清单

1. 非点源污染分类	(3)
2. 美国水质恶化的主要来源	(6)
3. 所评价的河流长度和湖泊面积受影响的百分比	(6)
4. 报告地下水污染的州的数量	(6)
5. 农业对水质的作用	(7)
6. 泰国 32 条河流的污染状况	(12)
7. 农业非点源模型	(20)
8. 泥沙流失量的若干数值	(23)
9. 土地利用变化造成泥沙产量增加	(24)
10. 空间因素对流域评价的影响	(26)
11. 美国若干侵蚀治理方法的年度化费用估计数	(28)
12. 营养程度与湖泊特点之间的关系	(30)
13. 测量和监测富营养化的参数	(30)
14. 养分流失的若干数值	(32)
15. 氮和磷的相对淋洗损失	(32)
16. 农药发展史	(42)
17. 发现与沉积物有关的若干农药的比例	(46)
18. 拟议的国际持久有机污染物议定书候选农药	(64)

插图清单

1. 与农业有关的水质问题的复杂性等级图	(5)
2. 加拿大阿尔伯塔省南部大面积灌溉区回流的混浊灌溉水	(9)
3. 斯里兰卡大量使用化肥灌溉地区浅含水沙层中硝酸盐的季节性变化	(9)
4. 使降雨与径流相联系的主要过程图解	(18)
5. 巴西南部农区严重的沟壑侵蚀	(19)
6. 排水区与沉积物输移率之间的关系	(19)
7. 以色列内格夫沙漠侵蚀测量点	(23)
8. 农业径流产生主要影响的加拿大大草原湖泊中的藻花。海岸上形成的物体为 海藻	(31)
9. 亚洲、欧洲和拉丁美洲国家及美国肥料用量的变化和作物单产的演变	(33)
10. 土壤氮循环	(35)
11. 氮和磷损失示意图。箭头与损失成比例	(35)
12. 智利南部湖区以水体为基础的水产养殖业	(39)
13. 地表水中出现普遍使用的一种除草剂阿特拉津局限于该农药使用后不久的 时期内	(47)
14. 肥料向导的头两个“屏幕”	(61)
15. EXPRES 地区评价顾问可处理不同的地理比例	(63)

插文清单

1. 粮农组织关于可持续农业发展的定义	(1)
2. 农业与咸海灾难	(10)
3. 典型决策方案	(14)
4. 泥沙及其对珊瑚礁的破坏	(16)
5. 区分农业与工业对南美洲 La Plata 流域水质的影响	(37)
6. 区域生态作用事例	(45)
7. 农药信息	(50)
8. 国际农药供销和使用行为守则	(52)
9. 关于保护海洋环境免受陆基活动影响的华盛顿声明中包括的持久有机污染物 声明	(65)

机构和计划缩略语

CCREM	加拿大资源和环境部长理事会
ECE	联合国欧洲经济委员会
EEA	欧洲环境署
EEC	欧洲经济共同体
ESCAP	亚洲及太平洋经济及社会委员会
FAO	联合国粮食及农业组织
GEMS	全球环境监测系统
GESAMP	海洋污染科学问题联合专家组
IAEA	国际原子能机构
ICWE	国际水与环境会议
OECD	经济合作与发展组织
OMAF	安大略省农业和粮食部
PLUARG	关于土地利用活动造成的污染的参考小组
RIVM	荷兰国家公共卫生研究所
RIZA	荷兰内陆水管理和废水处理研究所
UFRGS	南里奥格兰德联邦大学
UNCED	联合国环境与发展会议
UNEP	联合国环境规划署
US-EPA	美国环境保护局
USDA	美国农业部
WB	世界银行
WHO	世界卫生组织
WWF	世界野生动物基金会

第一章 农业水污染概论

粮食供应是最受人们重视的一项重点,仅次于饮用水供应。因此,农业成为全球经济的主要组成部分。许多国家农业机械化导致农业从业人口比例大幅度下降,但生产足够粮食的压力在世界范围内对农作方法产生了影响。在许多国家中,这种压力导致耕种贫瘠土地,并通常与自给农业有关。在其他国家中,为了满足粮食需求,需要扩大灌溉面积,不断增加化肥和农药使用量,以实现和维持更高的单产。粮农组织在其水资源促进可持续农业发展的战略(FAO,1990a)和联合国环境与发展会议在《21 世纪议程》第 10 章、第 14 章和第 18 章(UNCED,1992)中强调了保障 21 世纪粮食供应所面临的挑战。

可持续农业为最大的挑战之一。可持续性意味着农业不仅保障持续的粮食供应,而且在国家发展计划中承认并考虑农业的环境、社会经济和人体健康影响。粮农组织对可持续农业发展的定义见插文 1。

插文 1 粮农组织关于可持续农业发展的定义

可持续发展是管理和保存自然资源基础,并调整技术和机构改革方向,以确保实现和持续满足当代和今后世代代人的需要。(农业、林业和渔业部门的)这种可持续发展保存土地、水、植物和动物遗传资源,不造成环境退化,技术上适当、经济上可行和社会能够接受。

众所周知,农业是淡水资源的最大用户,总量平均占有所有地表水供应量的 70%。除了蒸发蒸腾损失之外,农用水经过循环返回地表水和/或地下水。然而,农业既是水污染的根源又是其受害者。农业向地表水和/或地下水排放污染物和沉积物,农作方法不当造成土壤流失,灌溉造成土地盐渍化和水涝等等,都使农业成为水污染的根源。同时,农业使用废水和污染的地表水和地下水,使作物受到污染,并向消费者和农业工人传染疾病,又成为水污染的受害者。农业处于水土共生关系之中,正如粮农组织十分清楚的指出,

“……必须采取适当步骤,确保农业活动对水质不产生不利影响,从而不至于损害为不同目的而对水的利用。”(FAO,1990a)

Sagardoy (FAO,1993a) 概括了水质领域的农业行动如下:

- 为农业用水建立并操作有效的水质监测系统。
- 预防农业活动对其他社会和经济活动所需的水质和对湿地的不利影响,尤其是通过优化农业投入物的使用和尽量减少外部投入物在农业活动中的使用量。
- 为农业水用户和海洋及河流生态系统建立生物、物理和化学水质标准。
- 防止土壤径流和沉积。

- 适当处置人类住区的污水和集约化牲畜饲养产生的粪便。
- 利用病虫害综合防治,尽量减少农业活动的不利影响。
- 教育社区了解使用肥料和化学物对水质和粮食安全的污染影响。

本出版物专门论述农业对淡水质量的作用,确定了非点污染源—具体为沉积、农药、营养物和病原体—的作用类别及其生态和公共健康影响,并酌情包括其法律后果,提出了有关评价方法和防治措施的建议。有关农业对地表水和地下水质量影响的大量科学文献来自发达国家,反映了 20 世纪 70 年代以来科学界广泛关注和在某些情形下管理上给予的重视。然而,科学结论和管理原则在世界范围内普遍适用。本出版物并未论述食品加工业对水质的影响,因为人们认为这些加工业是点污染源,通常通过管理污水和执法加以治理。

水质作为一项全球性问题

农业作为全球最大的淡水用户和作为通过侵蚀和化学径流造成地表水和地下水资源退化的主要根源,有理由担心其对水质的总体影响。相关的农产食品加工业也是大多数国家有机污染的重要来源。人们现已认识到水产养殖也是淡水、河口和沿海环境的一个主要问题,导致富营养化和破坏生态系统。下文强调了全球淡水质量问题的主要环境和公共健康方面:

- ☐ 每年 500 万人死于水传染的疾病。
- ☐ 生态系统失调,生物多样性丧失。
- ☐ 陆地活动造成海洋生态系统污染。
- ☐ 地下水资源污染。
- ☐ 永久性有机污染物造成全球污染。

专家预测,在许多国家中,由于污染已经无法再通过稀释法(即充分利用水流体系)来加以治理,因而在下一世纪初,淡水质量将成为这些国家可持续发展的主要制约因素。预计这种“危机”将产生以下全球影响:

- ☐ 污染造成可持续粮食资源(如淡水和沿海渔业)减少。
- ☐ 许多国家水质数据不足,致使水资源管理决策不当而产生累积效应。
- ☐ 许多国家无法在通过稀释法治理污染,导致水污染程度提高。
- ☐ 治理成本逐步上升,可能失去“信贷价值”。

许多国家注意到因资金转用于水污染治理而实际和可能丧失发展机遇。在 1994 年亚洲及太平洋经济及社会委员会召开的水质和质量管理专家会议上,亚洲代表通过了一项声明,呼吁采取国家和国际行动,评估因水污染而丧失的经济机遇,查明“预期出现的水危机”可能产生的经济影响。有趣的是,参加亚太经社理事会会议的代表的关注表明了水污染对可持续发展的经济作用而不是环境作用。信贷价值(Matthews, 1993)令人关注是因为贷款机构现注重治理成本与经济效益的关系。人们担心,如果治理成本超过经济效益,发展项目可能不再具有资信度。可持续农业势必需要将跨越经济部门的较大的可持续发展问题纳入其水资源规划。世界银行(1993)在有关水资源发展政策中强调了这种全面的水资源管理方针。

原有的含氯农药涉及多种人体健康问题,因其对生物的有害影响而造成重大普遍的生态系统失调。发达国家普遍禁止使用这些农药,国际上正在一致努力在世界范围内禁止使用作为永久有机污染物议定书的一部分。此类活动的一个事例是 1995 年在华盛顿哥伦比亚特区

与联合国环境规划署联合召开的政府间保护海洋环境免受陆基活动影响会议(第 5 章提供了更多的情况)。

表 1 非点源污染分类(黑体类别涉及农业活动)(资料来源:国际联合委员会,1974 年和其他)

农 业 牲畜饲养场 灌 溉 栽 培 牧 场 奶牛场 果 园 水产养殖	各类农业的径流现象造成地表和地下水污染。在北方天气条件下,冻土径流是个大问题,尤其是在冬季施用粪肥的地方。在许多发展中国家中,蔬菜处理,尤其是在污染地表水中洗菜,导致食物供应污染。水产养殖业的发展也成为许多国家的一项重大污染活动。灌溉回流水携带盐、养分和农药。瓦管排水使氮等沥出物迅速进入地表水。	磷、氮、金属、病原体、沉积物、农药、盐、生物耗氧量 ¹ 、痕量元素(如硒)。
林 业	受干扰土地的径流量增加,破坏最大的是为城市化而砍伐森林。	沉积、农药。
液态废物处置	处置城市废水污水、污水污泥、工业污水和污泥、家庭排污系统的废水等产生的液态废物;尤其是在农田上的处置,合法和非法注入河流。	病原体、金属、有机化合物。
城市地区 住宅区 商业区 工业区	屋顶、街道、停车场等产生的城市径流,导致综合污水处理厂超负荷,或者污染的径流直接送入承受水域,地方工业和商业可能向街沟和雨水道排放废物;街道清扫;道路撒盐造成地表水和地下水污染。	化肥、油籽和油、粪便以及病原体,有机污染物(如多合芳香烃和多氯联苯 ³)、重金属、农药、营养物、沉积、盐、生物耗氧量、化学需量 ⁴ 等。
农村排污系统	排污系统超负荷和运转失灵,导致地表径流和/或直接进入地下水。	磷、氮、病原体(粪便)。
运 输	道路、铁路、管道、水电通道等等	营养物、沉积物、金属、有机污染物、农药(尤其是除草剂)。
矿物开采	矿场、矿场废物、采石场和井场径流。	沉积物、酸、金属、油、有机污染物和盐(盐水)。
娱乐性土地利用	娱乐性土地用途种类繁多,包括滑雪地、划船和游艇、宿营地、公园;游船废物和“灰”水是一种重要污染物,小湖泊和河流中尤其如此。打猎(水禽铅污染)	营养物、杀虫药、沉积物、病原体、重金属。
固体废物处置	沥出物和气体污染地表水和地下水。有害废物可通过埋放加以处理。	营养物、金属、病原体、有机污染物。
疏 浚	污染的沉积物流散、封存区泄漏。	金属、有机污染物。
深井处置	深井注射液态废物,尤其是油田盐水和液态工业废物而造成地下水污染。	盐、重金属、有机污染物。
大气沉积	远距离输移大气污染物并沉积于土地和水表面。被认为是农药(来自农业等)、营养物、金属等的主要来源,原始环境中尤其如此。	营养物、金属、有机污染物。

- 1 BOD
- 2 PAH
- 3 PCB
- 4 CDD

非点源污染定义

非点源水污染曾被称作“漫散”源污染,产生于一大类人类活动,这种污染的污染物质进入承受水域时无明确进入点。相反,点源污染指其废水通过例如排水管直接进入承受水域的那些活动,因而易于测量和治理。显然,确定、测量和治理非点源污染要比点源污染难得多。“漫

散”源一词应加以避免,因为在美国该词具有法律内涵,现可能包括点源的某些种类。

美国环境保护局建立了广泛允许向水域点排放污染物质的系统。因此,在美国,非点源污染的定义为《美国 1987 年清洁水法(水质法)》第 502(14) 节所定义的“点源”法律定义未涉及的任何来源:

“点源一词意味着任何可察觉的、有限制的和离散的输送包括但不局限于排放或可能排放污染物质的任何管道、沟、渠、隧道、通道、井、离散装置、储水器、车辆、集约化家畜饲养活动或船舶或其他浮动器具。本术语不包括农业暴雨水排放或灌溉农业的回流水。”

“农业暴雨水排放”意指农业污染物径流主要发生在暴雨水流状况下。然而,即使在美国,点源和非点源之间的区分可能也清楚,正如 Novotny 和 Olem(1994)指出,这些术语往往具有假定的法律而不是技术含义。

在大多数国家中,按照惯例,所有种类的农作方法和土地利用,包括家畜饲养活动(饲料田),都被当作非点源处理。非点源的主要特征是它们符合水文状况,不宜直接衡量或控制(因而难以管理),并以土地和有关管理办法为重点。在制定有效控制计划的那些国家中对点源的控制依靠污水处理信息,通常在排放量许可制度下按照条例进行。相比较而言,非点源污染的控制,尤其是在农业中依靠教育、促进适当的管理办法和改变土地用途进行。

非点源的类别

预防和改变土地利用方法

表 1 概述了非点源的类别及其造成的相对污染负荷量。农业仅仅为多种非点源污染源之一,然而普遍认为农业是所有类别中最大的污染物质源。

问题的范围

非点源污染物质无论其来源如何,都通过地面输移或通过雨水和融雪经土壤输移。这些污染物质最后抵达地下水、湿地、河流和湖泊以及最后以河流携带的沉积物和化学复合物形式进入海洋。正如下文所论述的那样,这些污染物质的生态影响范围广泛,从简单的公害物质至涉及鱼类、鸟类和哺乳类以及人体健康的严重的生态影响。农业非点源污染的范围和相对复杂性如图 1 所示。

20 世纪 70 年代,加拿大和美国对整个大湖区流域进行了一项辨别和控制点源和非点源污染的重大计划,无疑成为最早和仍然最为广泛的非点源污染研究。这项活动是由公众对水质退化的关注,包括藻花和水草增加的明显证据促发的(如新闻报道“伊利湖已成为死湖!”)。从科学角度来看,这种情况属于伊利湖超营养状况和安大略湖富营养状况之一^①,因过量的硫从点源和非点源进入下游大湖所致。两国在双边国际联合委员会中设立了土地利用活动污染参考组(“简称 PLUARG”),作为对整个大湖流域的污染来源进行 10 年研究的科学机构,最终使点源和非点源治理发生重大变化。研究还导致关于土地利用活动对水质影响的科学认识

^① 这些术语系指水中营养物丰富的程度;第 3 章对这些术语作了说明。

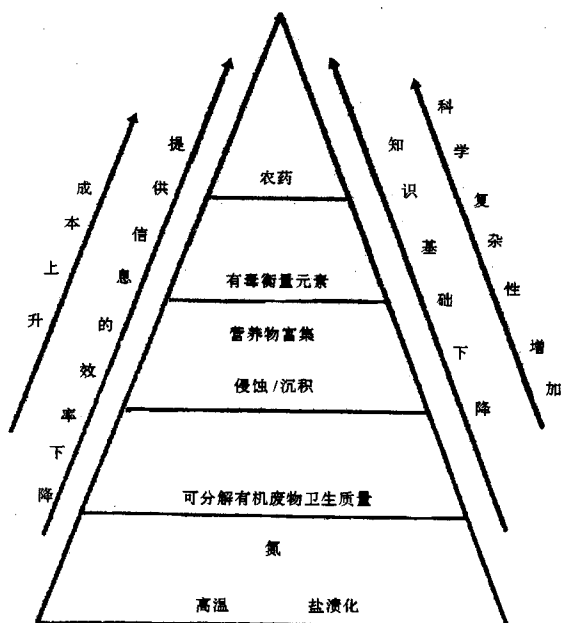


图1 与农业有关的水质问题的复杂性等级图(Rickert,1993)

空前大量增加。这项工作主要于20世纪70年代和80年代初期完成,对世界其他地方目前所关注的非点源问题仍然具有重大相关性。

PLUARG研究通过分析大湖内河流的监测数据,从对实验性和代表性支流集水区的详细研究以及从实地和试验田的农作方法的研究中发现,一般来说非点源和尤其是农业为大湖区的主要污染源。通过评价点源和非点源促使大湖污染负荷量增加的相对程度,PLUARG研究建议采取点源控制和土地利用调整的综合计划。两国联邦政府以及湖滨州和省政府实施了这些建议,结果在过去10年中,受影响最严重的下游两个大湖(伊利湖和安大略湖)的水质及有关生态系统得到大大改善。农业部门的一项重要因素是公众参与和教育程度高。在许多情形下,农作方法的变化是通过向农民示范改变土地管理方法将取得经济收益来实现的。

在大多数工业化国家中,防止水污染的重点历来是点源管理。在美国,进一步增加点源管理的经济学受到挑战,考虑到非点源的已知影响时尤其如此,其中农业产生的影响最大、全面而普遍,在其他工业化国家中,美国很可能具有适当的典型性。人们日益认为,尽管在点源防治措施方面开支了几十亿美元,但如果不对非点源实行重大控制,进一步开展点源管理无法实现额外的重大利益。在这种情况下,值得指出,人们认为农业是主要的非点源问题。表2提出了由美国环保局(US—EPA,1994)对河流、湖泊和河口水质恶化来源评级研究的结果。

美国属于系统收集按点源和非点源分类的水质恶化国家统计资料的少数几个国家之一。