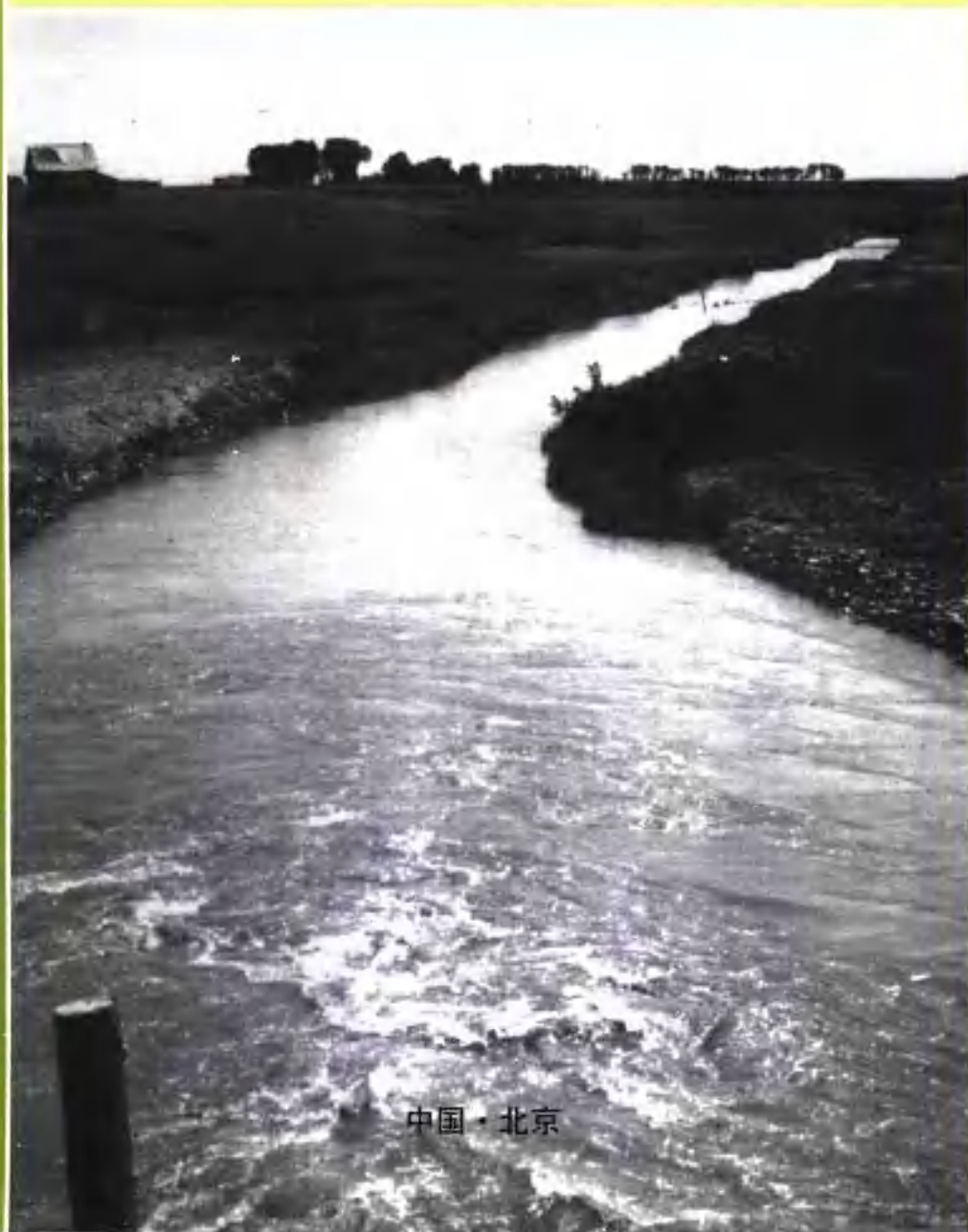


ISSN 0254-5284

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

## 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 博士和藹地审阅了草稿,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。

## 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	欧洲经济共同湾
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	南里奥格朗德联邦大学
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

# 目 录

<b>第一章 农业水污染概论</b> .....	( 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 )
<b>第二章 沉积物污染</b> .....	( 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 )
<b>第三章 化肥作为水污染物</b> .....	( 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)
<b>第四章 农药作为水污染物 .....</b>	<b>(42)</b>
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)
<b>第五章 概要和建议 .....</b>	<b>(54)</b>
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)
<b>参考书目</b> .....	(67)
<b>附件 1 农药目录</b> .....	(77)



# 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重要组成部分。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,以致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们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果的关系。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。

原有的含氟农药涉及多种人体健康问题,因其对生物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 <sup>1</sup> 、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进入承受水域,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 <sup>3</sup> )、重金属、农药、营养物、沉积、盐、生物耗氧量、化学需量 <sup>4</sup> 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<sup>①</sup>,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

<sup>①</sup> 这些术语系指水中营养物质丰富的程度;第 3 章对这些术语作了说明。

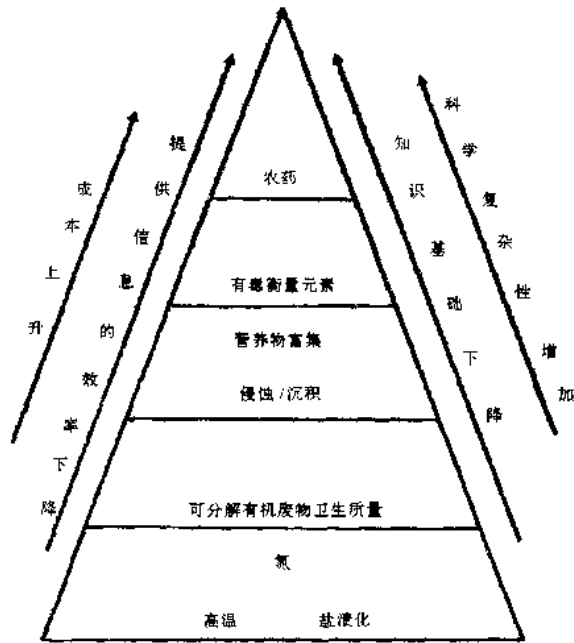


图 1 与农业有关的水质问题的复杂性等级图(Rickert,1993)

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来源。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洲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。

美国环境保护局在 1986 年向国会提交的报告中指出,美国所评价的河流长度中 65% 受非点源的影响。环保局在最近的一项研究(1994)中再次查明农业为美国河流和湖泊水质恶化的主要原因(表 3),在河口污染中占第三位。农业在表 3 所说明的污染物种类中也占突出地位。沉积、营养物和农药占前四类,都与农业有重大关系。虽然这些结论表明农业在美国水污染中的重要性,但在点源控制较少的国家中排位将发生变化。然而,排位的变化仅仅表明点源控制效率较低,而不是农业污染源的污染程度较低。

表 2 美国水质恶化的主要来源(US-EPA, 1994)

位次	河流	湖泊	河口
1	农业	农业	城市点源
2	城市点源	城市径流/暴雨排水道	城市径流/暴雨排水道
3	城市径流/暴雨	水文/生境改变	农业
4	资源开采	城市点源	工业点源
5	工业点源	现场废水	资源开采

表 3 所评价的河流长度和湖泊面积受影响的百分比(US-EPA, 1994)

污染源	河流		污染物的性质	湖泊	
	(%)	(%)		(%)	(%)
农业	72	56	淤泥(沉积)	45	22
城市点源	15	21	营养物	37	40
城市径流/暴雨排水道	11	24	病原体	27	
资源开采	11		农药	26	
工业点源	7		有机物富集	24	24
造林	7		金属	19	47
水文/生境改变	7	23	前有机物		20
现场污水处理			化学物品		
流量改变		13			

表 4 报告地下水污染的州的数量(最大数量为 50)(US-EPA, 1994)

污染物	州数	污染物	州数
氮	49	挥发性有机物质	48
石油产品	46	金属	45
农药	43	盐水/盐分	37
人造有机物质	36	砷	28
其他物质	26	其他有机化学物	23
放射性材料	23	氟化物	20
其他无机物质	15		

农业作为重要污染源的排位在表 3 的统计资料中得到强调。整整 72% 的评价河流长度和 56% 的评价湖泊受到农业影响。这些结论使美国环保局宣布:“农业是全国河流和湖泊恶化的主要来源……”。

20 世纪 70 年代以来,欧洲也日益关注地表水和地下水中氮、磷和农药残留物的增加。集约化栽培和“工厂”牲畜养殖导致人们得出法国人早在 20 世纪 80 年代就已得出的结论,即农业构成了地表水和地下水污染的重要非点源(Ignazi, 1993)。最近在比较地中海国家沿海地区家庭、工业和农业污染源时,联合国开发计划署(UNEP, 1996)发现,农业是磷化合物和沉积物的主要来源。

欧洲共同体作出了响应,发出了关于“保护水体免遭农业氮污染”的指令(91/676/EEC)。

法国的情形导致在农业部和环境部主管下成立了一个“减少农业氮和磷对水的污染的咨询委员会” (Ignazi, 1993)。

农业也被称为美国地下水污染的主要来源。1992年, 50个州中足足有49个州查明氮为地下水的主要污染物, 紧接其后是农药类别(表4)。美国环保局(US-EPA, 1994)得出结论, “75%以上的洲报告, 农业活动对地下水质量产生了重大威胁。”

在对湿地的分析中, 美国环保局(US-EPA, 1994)报告, “农业是造成湿地退化的最重要土地用途”。

在其他国家中难以获得类似的数据, 或者没有系统收集和报告类似的数据, 然而, 众多报告和研究表明许多其他发达国家和发展中国家都表示类似的关注。

## 农业对水质的影响

### 影响种类

如表5所示, 农业对水质产生多种影响。下文各章将详细讨论主要影响。

### 灌溉对地表水质的影响

根据联合国对到2025年全球人口增长的预测, 粮食产量需要增加40-45%左右。灌溉农业目前占有所有农田的17%, 但占世界粮食产量的36%。灌溉农业将成为增加全球粮食供应量的任何战略的一个重要部分。目前, 75%的灌溉土地位于发展中国家; 到2000年, 估计90%将位于发展中国家。

除了水涝、荒漠化、盐渍化、土壤侵蚀等影响灌溉面积的问题之外, 盐分、农业化学物和有毒沥出物造成下游水质退化的问题已成为严重的环境问题。“人们直到最近才认识到, 水资源盐渍化是一种重要而广泛的现象, 与土壤盐渍化本身相比, 人们甚至可能更加关注灌溉的可持续性。实际上, 仅仅在过去几年中人们才了解, 农业排泄水中的微量有毒成分如硒、镉、砷等, 可能产生污染问题, 威胁某些项目中的灌溉的继续”(Letey et al, 在Rhoades中引述, 1993)。

表5 农业对水质的作用

农业活动	作用	
	地表水	地下水
翻耕	沉积/混浊; 沉积物携带沉积微粒所吸收的磷和化肥; 河床淤积和生境、产卵地等丧失。	
施肥	营养物质、尤其是磷的径流, 导致富营养化, 造成公共供应的水变味, 藻类生长过多, 导致水脱氧, 杀死鱼类。	硝酸盐淋洗进入地下水; 含量过高构成对公共健康的威胁。
施用粪肥	作为一项施肥活动进行; 在冻土上施放人工肥, 导致接受水体受到病原体、金属、磷和氮的严重污染, 导致富营养化和潜在的污染。	地下水污染, 尤其受到氮的污染。

表 5 农业对水质的作用

农业活动	作用	
	地表水	地下水
农药	农药径流导致地表水和生物群受到污染;由于生长抑制和繁殖失败,地表水失去表层噬食者,使生态系统失调;食用受到污染鱼类对公共健康产生影响。农药象层土那样随风远距离飘扬,污染几千英里以外的水生系统(如北极哺乳动物中发现了热带/亚热带的农药)。	有些农药可能淋洗到地下水中,造成水井污染,产生人体健康问题。
饲料田/畜栏	地表水受到许多病原体(细菌、病毒等)的污染,产生长期的公共健康问题。也受到粪便中含有的金属的污染。	氮、金属等可能淋洗到地下水中。
灌溉	盐径流导致地表水盐渍化;化肥和农药径流进入地表水,造成生态破坏和食用鱼类品种体内大量积累化肥和农药等。微量元素如铊等的含量高,可能造成严重的生态破坏和人体健康影响。	地下水中盐、营养物质(尤其是硝酸盐)丰富。
森林皆伐	土地侵蚀,导致河流混浊度高,河床底部生境淤塞,影响和改变水文体系,往往失去常年溪流;因失去饮用水而引起公共健康问题。	水文系统受到干扰,往往使地表径流增加,地下水补给量减少;因干旱时期流量减少而影响地表水,以及地表水中营养物质和污染物浓度高。
造林	影响广泛:农药径流和地表水及鱼类受到污染;土壤侵蚀和沉积问题。	
水产养殖	通过饲料和粪便向地表水和地下水释放农药(如 TBT <sup>1</sup> )和大量营养物质,引起严重的富营养化。	

<sup>1</sup> TBT = 汀锡氮

### 公共健康影响

污染水是人体疾病、苦难和死亡的一个主要原因。据世界卫生组织称,每年多达 400 万儿童因水体传染的感染所造成的痢疾而死亡。污染水中最常见的细菌是人体排放的大肠菌。地表径流和因而非点源污染是造成地表水水体中病原体浓度高的主要原因。设计不当的乡村卫生设施也造成地下水污染。

农业污染既是人体健康影响的直接根源,也是其间接根源。世界卫生组织报告,世界许多地区地下水中的氮含量因“耕作方法集约化”而增加(WHO, 1993)。这种现象在欧洲部分地区众所周知。在一些国家中,硝酸盐含量增加,10%以上人口的饮水的硝酸盐含量高于 10mg/l 的指标。虽然世界卫生组织并未发现硝酸盐与人体癌症之间有任何重大联系,但确定饮用水指标的目的是为了预防婴儿特别容易受害的高铁血红蛋白贫血症(WHO, 1993)。

虽然文献记录不太充分,但地下水受到氮污染看来也成为发展中国家的一个问题。

Lawrence 和 Kumppnarachi(1986)报告,集约化栽培的灌溉稻田附近的灌溉水中硝酸盐浓度接近 40-45mg N/l。图 3 说明了 NO<sub>3</sub>-N 的变化,表明斯里兰卡稻谷种植活动最多的主要耕作季节中出现高峰。

Reiff(1987)在讨论灌溉农业时指出,水污染在农业与人体健康之间的关系方面既为因也为果。Reiff 指出了发展中国家特有的以下健康影响(按健康重要性递降次序排列):

不利的环境改造造成传病媒介(如蚊虫)的繁殖场地得到改善,在拉丁美洲的一些国家中





图2 加拿大阿尔塔省南部大面积灌溉区回流的混浊灌溉水

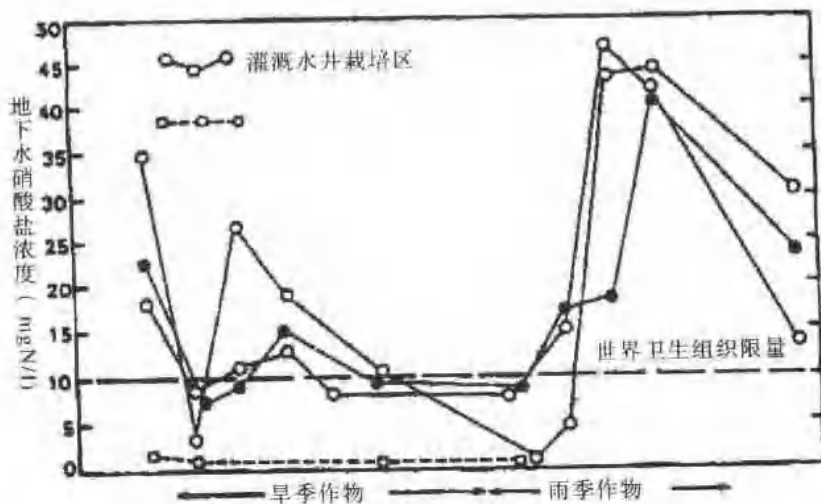


图3 斯里兰卡大量使用化肥灌溉地区浅含水沙层中硝酸盐的季节性变化

疟疾发病率增加与水库建造之间存在联系。血吸虫病(裂体吸虫病),即影响70个热带和亚热带国家2亿多人的一种寄生虫病,表明在为灌溉和水力发电建造水库之后,人口中血吸虫病的