

三峡库区典型小流域 非点源污染研究

——基于GIS与AnnAGNPS模型

黄志霖 田耀武 肖文发 著
曾立雄 郭明春

中国环境科学出版社

“十二五”国家科技支撑计划项目“长江流域防护林体系整体优化及调控技术研究”
(2011BAD38B04)资助

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFRIFEEP200902)资助

三峡库区典型小流域非点源污染研究

——基于 GIS 与 AnnAGNPS 模型

黄志霖 田耀武 肖文发 著
曾立雄 郭明春

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

三峡库区典型小流域非点源污染研究: 基于 GIS 与 AnnAGNPS 模型/黄志霖等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.12

ISBN 978-7-5111-0708-4

I. ①三… II. ①黄… III. ①三峡水利工程—生态环境—环境保护—防护林—研究 IV. ①S727.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 184877 号

责任编辑 刘 璐
责任校对 扣志红
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 15.25
字 数 270 千字
定 价 48.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

随着人们对环境问题的认识 and 研究的深入, 非点源污染 (Non-point Source Pollution, NSP) 逐渐得到各国政府的高度重视。20 世纪 60 年代, 美、英、日等国率先开展非点源污染研究, 70 年代后世界各国逐渐重视非点源污染, 80 年代非点源污染研究得到进一步发展, 从 90 年代起非点源污染已成为国际研究的热点问题。

非点源污染研究方法主要有野外实地监测、人工降雨模拟和计算机模型模拟等。最为有效和直接的方法是建立相关的数学模型, 进行时间序列和空间序列的模拟, 进而为流域管理和生态调控提供有力的理论依据和技术方法。

美国非点源污染的计算机模型模拟研究一直处于领先地位。20 世纪 70 年代以来, 美国农业部 (USDA) 先后研发了 USLE (Universal Soil Loss Equation)、RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)、WEPP (Water Erosion Prediction Project) 等土壤侵蚀预报模型和 ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)、SWAT (Soil and Water Assessment Tools)、AGNPS (AGricultural Non-Point Source) 等非点源污染模型等, 这些模型在全世界不同国家和地区得到一定程度的应用。

AnnAGNPS (Annualized AGricultural Non-Point Source) 模型是 USDA-ARS (美国农业部研究局) 与 NRCS (自然资源保护局) 共同研发的一个高级的流域评价工具, 是 AGNPS 模型的升级版本。它是针对农业流域对管理措施的响应而设计的基于连续事件的分布式模型。科研工作者相继在美国、印度尼西亚、马来西亚、土耳其、尼泊尔、印度等国家和地区进行校正和适应性检验。中国利用数学模型对流域非点源污染研究与管理起步比较晚, 目前尚处于对非点源污染模型输入参数修正和验证阶段, 还没有上升到理论和管理层次。

从非点源污染物来源和输移过程上看, 非点源污染实质包含线源和非点源 (国内惯称为“面源污染”) 两个层面的内涵, 美国有学者认为用污染径流 (Polluted runoff) 的提法更为确切。非点源污染产生的污染物主要包括土壤侵蚀后流失的泥沙、氮、磷、农药及其它有机或无机污染物质, 它是导致受纳水体水质下降和土地生产力退化的主要原因。

农业非点源污染也是三峡库区水质下降和泥沙淤积的主导因素, 库区农业流域输出的泥沙和氮磷等养分是水库产生污染的主要污染物。非点源污染不但造成库区土壤生产力下降, 而且还导致坝体水质恶化、水体功能下降及富营养化等一系列生

态问题。在三峡库区应用与 GIS 耦合的、基于水文、泥沙和养分输出的连续分布式非点源污染模型,定量分析泥沙和养分输出及其时空分布规律,探索农业管理措施对非点源污染的控制效果,对三峡库区生态安全格局的构建具有重要战略意义。

本书以三峡库区典型农林复合的兰陵溪黑沟小流域为研究对象,依托国家林业局三峡库区秭归县森林生态定位站对流域长期实地监测的资料数据和地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 工作平台,全面阐述 AnnAGNPS 模型数据库构建方法,分析论证模型的不确定性因素,评价模型在库区条件下的应用偏差,估算流域退耕还林情景模式的生态效益变化,分析模型应用于秭归县域范围内的非点源污染与生态服务计量研究,形成 AnnAGNPS 模型在三峡库区特定气象和地理条件下的应用与方法。

河南科技大学邵卫才、王春红、候继涛、魏晓慧等在秭归县土壤外业调查和理化性质测定中做了大量的工作,秭归县林业局马德举工程师、谭本旺工程师等在资料搜集和书稿校正工作中做了大量的工作,在此向他们表示感谢!本书在编写过程中参考了国内外相关著作和学术期刊文献,特向这些作者致谢!

本书基于“十一五”国家科技支撑项目“三峡库区景观生态防护林体系构建技术试验示范”(2006BAD03A13)研究基础,在“十二五”国家科技支撑计划项目“长江流域防护林体系整体优化及调控技术研究”(2011BAD38B04)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFRIFEEP200902)资助下完成,由黄志霖、田耀武、肖文发、曾立雄和郭明春等编著。全书分为九章,从非点源污染及其研究发展过程入手,对非点源污染模型(AnnAGNPS)的结构、应用及使用等进行系统介绍,并在三峡库区小流域,对模型的数据库构建、地形及参数空间聚合等问题进行探索,并基于实地监测数据,对模型模拟进行校正、验证和模型应用效果评价。基于小流域的农业管理措施及农林复合系统特征,对典型流域的污染物输出进行评估。结合三峡库区退耕还林工程并进行情景分析,在流域、县域尺度应用模型评估生态效益及生态服务价值变化。基于研究结果,指出模型的局限性、适用性及其发展趋势。

全书从 AnnAGNPS 模型的科学性和实用性出发,立足于三峡库区特定的自然地理气候条件和编者对模型的理解、应用,全面阐述模型在库区典型农林复合小流域应用的理论与技术方法,为广大从事环境科学、污染生态学等研究者提供借鉴和帮助。由于时间仓促,编者水平有限,敬请广大读者和科研工作者不吝赐教!

编 者

2012 年 5 月于北京

目 录

第一章 非点源污染及其研究概述.....	1
第一节 非点源污染概述.....	1
第二节 国内外非点源污染状况.....	5
第三节 非点源污染研究的内容和方法.....	14
第四节 非点源污染模型.....	19
参考文献.....	28
第二章 AnnAGNPS 模型.....	35
第一节 AnnAGNPS 模型结构.....	35
第二节 模型使用.....	41
第三节 模型应用.....	58
第四节 AGNPS 模型影响因素.....	62
参考文献.....	68
第三章 AnnAGNPS 模型在三峡库区典型小流域的应用.....	72
第一节 三峡库区及黑沟小流域概况.....	72
第二节 数据库的构建.....	77
第三节 不同 DEM 格网下的模型输出.....	96
第四节 参数空间聚合对模型输出的影响.....	113
参考文献.....	127
第四章 AnnAGNPS 模型的应用评价.....	134
第一节 AnnAGNPS 模型的校正.....	135
第二节 AnnAGNPS 模型的验证.....	138
参考文献.....	144
第五章 农业管理措施应用的污染输出评价.....	148
第一节 污染物输出等级.....	149



第二节 作物与污染物输出.....	151
第三节 施肥与污染物输出.....	153
第四节 空间离散单元的输出.....	157
第五节 流域污染物输出.....	163
第六节 管理措施的应用评价.....	165
参考文献.....	166
第六章 典型农林复合流域污染物的动态输出	170
第一节 耕作措施与降雨模式.....	170
第二节 污染物的年动态变化.....	171
第三节 动态的输出评价.....	174
参考文献.....	175
第七章 基于模型模拟结果的生态效益计量	177
第一节 退耕还林的生态环境效应.....	177
第二节 退耕还林情景.....	180
第三节 土地利用格局的变化.....	182
第四节 物质输出的变化.....	184
第五节 生态效益的变化.....	187
第六节 应用评价.....	189
参考文献.....	190
第八章 AnnAGNPS 模型在秭归县域的应用	192
第一节 模型数据准备.....	193
第二节 秭归县非点源污染输出.....	196
第三节 基于 AnnAGNPS 模型的秭归县生态服务价值变化.....	202
第四节 模型输出结果评价.....	208
参考文献.....	209
第九章 AnnAGNPS 模型研究的综合评价	213
第一节 模型研究的综合评价.....	213
第二节 模型研究的发展趋势.....	218
附表.....	220
附图.....	226

第一章 非点源污染及其研究概述

第一节 非点源污染概述

一、概念

点源污染主要包括工业废水和城市生活污水污染，其污染物通常通过固定的排污口排放。非点源污染（Non-point Source Pollution, NSP）是相对于点源污染而言。美国 1987 年《清洁水法》（Clean Water Act）502（14）条款中对点源进行了明确的规定，即任何可识别的、限定的和不连续的输送途径，包括但不限于管道、沟渠、集中养殖场、汽车或其它流动交通工具等，不包括农业暴雨径流及农业灌溉回水。并认为不符合以上点源定义的污染源，便是非点污染源。

1993 年，美国环保局（USEPA）定义非点源污染为污染物来源分散，常伴随降雨进入地表水体或地下水体。1997 年，《美国清洁水法修正案》（The US Clean Water Act Amendments）对非点源污染的定义为污染物以广域的、分散的、微量的形式进入地表水体或地下水体。现在通常认为非点源污染是指溶解态或固态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河流、湖泊、水库、海湾等受纳水体并引起水体的富营养化或其它形式的污染。

中国学术界通常把非点源污染称为面源污染。美国学术界又提出扩散污染（Diffuse pollution）和污染径流（Polluted runoff）概念。扩散污染既包括非点源，还包括一部分特定点源和体积源。从实质上看，用污染径流的提法来定义和描述非点源污染的生态过程可能更为准确，即指溶解的或固体污染物，从非特定的地点使地面径流受到污染，而污染径流又影响到受纳水体。

二、非点源污染特点

从实质上看，非点源污染来源主要为地面上各种污染物质，如城市垃圾、农村家畜粪便、农田中的化肥、农药、重金属及其他有毒有机物等。非点源污染物

特别是其所含有的氮磷元素已对受纳水体造成了严重的环境生态问题，成为继点源污染后的又一国际研究热点问题。

一般认为，水体中的氮磷元素来源有外源性和内源性两种，外源性氮磷主要来自非点源污染和点源污染，内源性氮磷主要来自水体沉积物中的释放、水生动植物新陈代谢、衰老和死亡的动植物分解等。点源污染物主要来源于生活污水和工业废水，非点源污染主要来源于传统的农事活动，常规传统的耕作、施肥、喷药等农事活动是水体中氮磷等非点源污染物的主要来源。

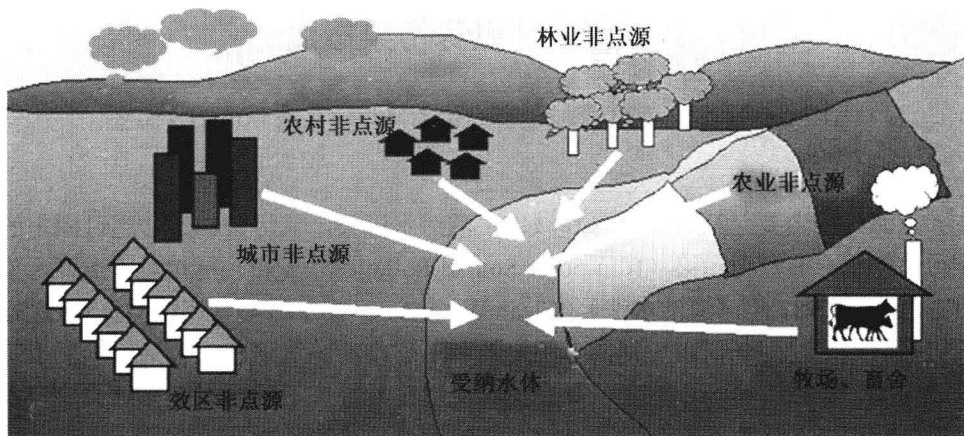


图 1-1 非点源污染来源及分类

按污染物来源，非点源污染可分为农业非点源污染 (agricultural non-point source pollution)、城市非点源污染 (urban non-point source pollution)、矿山非点源污染 (mine non-point source pollution)、大气沉降非点源污染 (atmospheric deposition non-point source pollution) 等几类。农业非点源污染是最普通和常见的非点源污染，指常规的农事生产活动中，农田中的土粒、氮、磷、农药及其它有机或无机污染物质，在降雨或灌溉过程中，通过地表径流、农田灌溉和地下渗漏等形式进入受纳水体而造成的污染。

农业非点源污染物来源主要有土壤侵蚀、化肥农药的施用、农村和草牧场的家畜粪便、垃圾、农田污水灌溉、林区非点源污染源等。产生的污染物主要包括氮磷营养盐、泥沙、有机物、重金属、农药和其他有毒物质等。农业非点源对水体的污染主要包括两个方面：

一是对受纳地表水体（江、河、湖、坝等）的污染，主要表现为水体富营养化趋势加重。自然界中的水体富营养化是地质年代史上湖泊的老化过程，但人为

因素引起的外源性营养物的大量输入,会造成这一过程加速进行并使得硅藻和甲藻优势种类地位在较短的时间内被蓝藻取代,同时蓝藻在数量上大量繁殖,产生严重的环境问题。

二是灌区及其更大范围的地下水污染,如目前表现较为突出的地下水硝酸盐污染等。

城市非点源污染是指在大气降雨过程中,雨水及所形成的径流流经城镇商业区、街道、停车场等地面,聚集原油、盐分、氮、磷、有毒物质、杂物等污染物,进入受纳水体而产生的污染。

矿山非点源污染主要是指矿区大面积的露天开采活动破坏了原来的土壤结构和植被,散落在矿区地表的泥沙、盐类、酸类物质和残留矿渣等污染物,随着地表径流进入水体而形成的非点源污染。

大气沉降非点源污染主要是指弥散在大气中的营养物质和有毒物质直接或随同大气降雨降落在地面、土壤或水面,进而引起的非点源污染,如酸雨引起的植被和水体污染等。

与点源污染相比,非点源污染具有以下几个显著的特点:

(1) 随机性

非点源污染主要受大气降雨和地表径流产生的水文循环过程的影响和支配,大气降雨具有很强的随机性,由此产生的非点源污染也具有较强的随机性。

(2) 不确定性

影响非点源污染的因子复杂多样,从而使污染物的产生及其排放途径也具有很大的不确定性。如农业非点源污染,农业活动中施用的农药和化肥是氮磷等非点源污染的主要来源,但是农药和化肥施用量、施用季节、施用方式、农作物类型、土壤性质和降雨等条件不同时,所产生污染物的排放量、排放时间、排放途径等排放机理也不尽相同。

(3) 复杂性

主要包括非点源污染监测、控制和处理的困难性和复杂性。非点源污染具有的分散性、随机性、不易监测和难以量化等特征,使研究和管理难度很大。

三、非点源污染危害

人为外源性营养物输入的主要途径是农业非点源污染携带的氮、磷等营养元素,特别是磷,造成的危害最大,地表水体中磷元素含量的增加是导致水体富营养化的主要影响因子。如1988—1989年西湖流域非点污染源调查结果认为,占流域面积仅有3.9%的水田每年产生的入湖氮负荷量为 59.4 kg/hm^2 ,占入湖总氮量的



16%，磷负荷量为 $4.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ，占入湖总量的 17.5%。

水体富营养化是许多湖泊、水库的主要环境问题，被称之为“生态癌”，它的存在已经严重妨碍了对这些水体作为资源的利用，造成了环境和经济的重大损失。

水体富营养化主要表现在：

①藻种减少，蓝藻和绿藻大量繁殖，浮游生物个体数剧增。

②水体透明度降低。在富营养水体中，生长着以蓝藻、绿藻为优势种类的大量水藻。这些水藻浮在湖水表面，形成一层“绿色浮渣”，使水质变得浑浊，透明度明显降低，富营养严重的水体透明度仅有 0.2m ，湖水感官性状大大下降。

③产生有异味的有机物质。在富营养状态的水体中生长着很多藻类，其中有一些藻类能够散发出腥味异臭。藻类散发出的这种腥臭，向湖泊四周的空气扩散，直接影响人们的正常生活，给人不舒适的感觉，同时，这种腥臭味也使水味难闻，大大降低了水体质量。

④死亡的藻类残体分解释放使水体维持较高的 TN、TP，水体 pH 值上升。

⑤水体的氧平衡被破坏。在富营养化水体中，白天水体表层水可以因藻类的光合作用而获得超过正常水体几倍的氧。但因表层藻类的遮盖隔离，阳光很难投射到下层水体，因此，下层水体中的光合作用很弱，水体中的氧源很不充足，只能由表层水体中的氧经过对流扩散作用，得到一部分补充，其量有限。当夜晚表层水体的光合作用停止后，水体中生物的呼吸及分解仍在进行，导致水体中的溶解氧大幅度下降，甚至呈厌氧状态。当底层水的溶解氧降低到零时，底部沉积物附近形成还原状态，会引起一系列不良后果，如有机物质无机化不完全，产生甲烷气体；硝酸盐还原，发生脱氮反应。硫酸盐还原，产生 H_2S 气体，底泥中铁、锰、磷等溶出等。

⑥向水体释放有毒物质。富营养化对水质的另一个影响是某些藻类能够分泌、释放有毒性的物质，有毒物质进入水体后，若被牲畜饮入体内，可引起牲畜肠胃道疾病。研究表明，2000 多种蓝绿藻中有 40 余种可产生毒素，主要产毒藻有微囊藻、鱼腥藻、颤藻及束丝藻。不同的藻株可能产生相同的毒素，而同一藻株也可产生多肚肝毒素、生物碱类神经毒素、脂多糖内毒素、叶碟吟类毒多种不同的毒素。

⑦水体中的氮、磷等非点源污染物不仅对水体而且还对人类造成严重的危害。据报道，硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 浓度超过 $10\text{mg}/\text{L}$ 的地表径流渗入地下水后就能影响婴儿、孕妇、牲畜的健康；地表水体中磷浓度超过 $0.02\text{mg}/\text{L}$ 时，水体富营养化过程加快，水体藻类等水生生物量迅速增加，氧含量急剧减少，严重阻碍了渔业、旅游业、工业的发展。

业已证明水体富营养化过程主要是由受污染的地表水产生。另外,农药、除草剂及其降解产物,化肥中夹带的重金属、有毒有机物等毒害型污染物,如有机磷、有机氯农药对受纳水体产生毒害,引起水体生物的急性中毒。磷肥中的重金属镉等有毒物还能在水体食物链中产生积累效应和富集效应,而这种毒害型污染物对水体环境的负荷作用最终将影响到人类本身。

第二节 国内外非点源污染状况

一、国外非点源污染

目前全球有 30%~50%的地表水体受到非点源污染的影响,在不同程度退化的 12 亿 hm^2 的耕地中有 12%是由农业非点源污染引起的。

美国 1990 年调查报告显示:美国的非点源污染约占污染总量的 66%,其中农业非点源污染占非点源污染总量的 68%~83%,农业非点源污染影响和威胁到 50%~70%的地表水体;1998 年,美国全国地表水质量调查概要中显示,约 35%的河水溪流,45%的湖泊水库水塘,44%的河口水质下降,并把这种水质下降的原因直接归因于非点源污染。水体中 80%~90%的氮,70%~90%的磷,60%的悬浮物质来源于农业非点源污染;2006 年美国水质监测报告认为农业非点源污染已成为影响监测水域的最主要的来源,是污染河口水质的第三大污染源,并且在地下水污染和沼泽退化中起主要作用。

在欧洲,农业非点源污染也被认为是影响水质的主要因素,尤其是农用化肥造成的硝酸盐积累对地下水和饮用水的污染程度还维持在一个较高的水平。欧洲地表水体中农业生态系统磷输出量占污染总量的 40%~71%,农业生态系统中养分输出还是水体硝酸盐的主要来源。

荷兰农业造成了当地地下水中 60%的总氮和 40%~50%总磷流失。

1994 年, Sweeten 报道某养殖场在一次降雨产生的地表径流中, COD、氮、磷浓度分别高达 3 202 mg/L 、93 mg/L 、31 mg/L 。

2000 年, Yang 和 Lorimor 也报道面积为 22 720 m^2 , 380 头牛的养殖场产生氮、磷浓度也达到了 109 mg/L 和 34 mg/L 。

据法国诺曼底塞纳河水管理局 2006 年的一项研究结果显示,塞纳河及其支流流域的地下水有近 255 个采样点的硝酸盐浓度超过 40 mg/L 。

日本稻田产生的非点源污染物已经成为 Biswa 湖的最大污染源。



在丹麦的 270 条河流中有 94% 的氮负荷、52% 的磷负荷由非点源污染引起。

二、中国农业非点源污染

中国非点源污染现象也十分严重，其污染物的来源主要是土壤侵蚀和化肥农药的施用。

1. 中国化肥施用量增长迅猛

1978 年中国化肥施用量平均为 88.5 kg/hm^2 ，1993 年已增加到 193.5 kg/hm^2 ，增加了 1.2 倍。但化肥的有效利用率比较低，平均每年农田氮肥流失率为 33.3%~73.6%；田间试验表明，喷洒的农药仅有 20%~30% 附着在目标作物上，30%~50% 落到地面，其余进入大气中。大量的化肥、农药通过雨水冲淋、农田灌溉、土壤渗透等途径进入江、河、湖、库等水域。东部湖泊的污染负荷输入量中，农业非点源污染负荷入湖量已超过 50%，大理洱海流域非点源氮、磷污染负荷分别占流域污染负荷的 97.1% 和 92.5%。

在中国环境与发展国际合作委员会的 2004 年度会议上，多位中外著名专家、学者认为中国由于过量施用化肥、农药而导致的农村非点源污染已成为中国水环境污染的主要因素。

加拿大马尼托巴大学教授斯谬尔认为中国不到世界 1/10 的耕地，但是近来氮肥的使用量却占全世界的近 30%，中国农业生产中使用化肥的强度是独一无二的。

研究中国环境问题 30 多年的斯谬尔教授对中国农业氮肥的依赖和管理极为关注。斯谬尔教授认为，由于氮肥施用过量、利用率过低，中国每年有超过 1500 万 t 的废氮流失到了农田之外，使湖泊、池塘、河流和浅海水域生态系统富营养化，水藻生长过盛、水体缺氧、水生生物死亡等一系列环境问题；同时还约有 50% 氮肥以 NO_2 气体形式逸散到空气中，形成影响全球气候变化的温室气体之一，过量的氮肥施用已形成了“从地下到空中”的立体污染。

2. 中国不但是世界上最大的化肥使用国，也是最大的农药使用国

农药对于农业是十分重要的。由于病、虫、草害，全世界每年损失的粮食约占总产量的一半，使用农药可以挽回粮食总产量的 15% 左右。世界上化学农药年产量已达数百万吨，品种超过 1000 种，常用的有 250 种左右。最早使用的农药为无机化合物。在 1940 年前后开始使用 DDT 和六六六等有机氯化物农药，由于它们价格便宜，并具有长效杀虫能力，因而很快得到推广，成为最主要的农药品种。有机氯农药有积累性，不易降解，从 20 世纪 60 年代起许多国家开始禁止或限制使用，逐渐为 50 年代出现的有机磷农药所取代。但有些学者认为有机氯农

药的毒性尚不能定论,有机氯除草剂还有应用。

由于农药的大量、大面积使用,不当滥用,以及农药的不可降解性,已对地球造成严重的污染,并由此威胁着人类的安全。1962—1971年,在越南战争中,美国向越南喷洒了 6 434 L 落叶剂: 2,4-D (2,4-二氯苯氧基乙酸) 和 2,4,5-T (2,4,5-三氯苯氧基乙酸)。在 2,4-D 和 2,4,5-T 中还含有剧毒的副产物二噁英类化合物,其结果是造成大批越南人患肝癌、孕妇流产和新生儿畸形。这证明了有机氯农药有严重的毒害作用。此后,美国和其他西方国家便陆续禁止在本国使用有机氯农药,中国也在 1983 年禁止有机氯农药的生产和使用。

据统计,中国每年农药使用面积达 1.8 亿 hm^2 /次,20 世纪 50 年代以来使用的六六六达到 400 万 t、DDT 50 多万 t,受污染的农田 1 330 万 hm^2 。农田耕作层中六六六、DDT 的残留量分别为 0.72×10^{-6} 和 0.42×10^{-6} ; 土壤中累积的 DDT 总量约为 8 万 t。粮食中有机氯的检出率为 100%,小麦中六六六含量超标率为 95%。

自 20 世纪 80 年代禁止生产和使用有机氯农药后,代之以有机磷、氨基甲酸酯类农药,但其中一些品种比有机氯的毒性大 10 倍甚至 100 倍,农药对环境的排毒系数比 1983 年还高,而且这些农药虽然低残留,但有一部分与土壤形成结合残留物,虽然可暂时避免分解或矿化,但一旦由于微生物或土壤动物活动而释放,将产生难以估计的祸害。

在大量和高浓度使用杀虫剂、杀菌剂的同时,杀伤了许多害虫天敌,破坏了自然界的生态平衡,使过去未构成严重危害的病虫害大量发生,如红蜘蛛、介壳虫、叶蝉及各种土传病害。此外,农药也可以直接造成害虫迅速繁殖,80 年代后期,湖北使用甲胺磷、三唑磷治稻飞虱,结果刺激稻飞虱产卵量增加 50% 以上,用药 7~10 天即引起稻飞虱再次猖獗。

许多被禁用的农药在某些地区依然在使用,这不仅对环境造成损害,而且还导致了在人类某些食品中有残留。

3. 中国非点源污染的产生有其深刻的根源

长期的城乡分割和传统的农耕模式使得农村人口过多,加上农业的深度开发和经济发展的多元化更加加剧了农村人口与农业资源之间的紧张关系。随着城市化进程的发展,农村人口已向非农产业和城镇流域转移,与发达国家相比,中国农村人口的现有比例仍然过大,庞大的农村人口在客观上扩大了农业非点源污染的产生效应,已对环境资源构成了巨大压力。

农村中的中青年劳力走向城市,农村从业人员的素质低,环境保护能力较低,环境保护意识较差。国家现行的环保政策、已建立的环保机构、环保从业人员均以城市、工业环保为主体,农村的环境保护工作长期受到忽视。中国政府针对城



市环境问题制定和实施了一系列相关的法律法规政策,如现行的《大气污染防治法》、《水污染防治法》等都是以城市为中心而设计的,而有关农村、农业的环境政策和法律法规却不健全,环保基础设施供给不足,这是农业非点源污染极易发生且有逐年增加的一个重要背景;更为重要的是,在环境治理的基础设施方面,农村也远远落后于城市。

落后的基础设施与日益加大的污染负荷之间的矛盾日益突出,直接导致了农业非点源污染的加剧;中国广大农村耕地的承包期为30年,这种产权的不完全化使得农民不愿意长期投资,当前的土地承包制度已造成了农业“掠夺式”生产模式。广大群众重产出、轻投入,重无机肥、轻有机肥,重用地、轻养地。在这种“掠夺式”的生产模式下,农民为了生产出更多的农产品,无形中便加大了化肥、农药、除草剂等化学物质的使用,不注重各种生态要素关系的综合利用,将人凌驾于自然之上,从而使得农业非点源污染更加严重。

三、三峡库区非点源污染

三峡库区包括从湖北宜昌至重庆江津的沿江22个区、县(市)。库区总人口1600万,人口密度 $260\text{人}/\text{km}^2$,超过全国平均人口密度的一倍多,农业人口占81%,人均耕地仅 0.06hm^2 ,地理分布不合理现象突出。

在三峡水库蓄水前的1996—2003年,库区农业生产中化肥施用量逐年增加。库区19个县市8年共施用化肥总量(纯量)为 $9.2\times 10^8\text{kg}$,其中氮肥 $6.8\times 10^8\text{kg}$,磷肥 $1.9\times 10^8\text{kg}$,钾肥 $5.1\times 10^7\text{kg}$ 。2003年化肥施用量达到最大值,为 $1.4\times 10^8\text{kg}$,比1996年净增 $3.1\times 10^7\text{kg}$ 。其中氮肥施用量从1996年的 $6.9\times 10^7\text{kg}$ 增至2003年的 $9.5\times 10^7\text{kg}$,年递增率为4.5%;磷肥施用量也逐年增加,从1996年的 $1.9\times 10^7\text{kg}$ 上升到2003年的 $2.9\times 10^7\text{kg}$,增幅超过50%,年递增率达6.2%。

三峡工程建设和投入使用使库区人地矛盾更加突出,加上农业种植结构的调整,粮食生产压力增大,从客观上推动了农田化肥施用量的进一步增加,农业非点源污染现象更加严重,以至于对库区水质和生态系统造成更大的威胁。

1. 三峡水库水质状况

三峡工程是一项规模宏大的多目标水资源开发利用工程,在防洪、发电、航运等方面发挥着重要的作用,产生了巨大的效益。但三峡工程的兴建,已对三峡库区的生态环境产生了深远影响。据《长江三峡水利枢纽工程环境影响报告书》指出,三峡工程成库后水环境的主要问题是库区水土流失、坝体泥沙淤积、水质污染、人群健康、水生生物影响等,特别是出现在库湾、滞水区的泥沙淤积和富营养化问题关系到三峡工程的形象和成效。

三峡水库 2003 年 6 月蓄水后,大部分库湾即出现富营养化态势,第二年春季暴发了数次以甲藻(拟多甲藻)和硅藻(小环藻)为主的水华现象。除冬季外,香溪河库湾 2004—2005 年两年内多数月份处于富营养化状态,春季则处于重富营养状态。三峡水库 22 条入库支流库湾有 5 条支流库湾为中营养,17 条支流库湾为富营养,其中重富营养化支流库湾有 10 条,占 45.5%;统计分析表明,入库支流流域的年均流量和流域面积与支流库湾叶绿素 a 存在显著负相关关系,支流库湾越小或年均流量越小,藻类叶绿素 a 浓度就越高,即越容易在春季形成水华。

据长江三峡工程生态与环境监测中心 2006 年 9 月监测,长江三峡库区 23 条一级支流 46 个断面中水质达到或优于Ⅲ类的仅有 38 个,占断面总数的 82.6%,氨氮、高锰酸盐指数、五日生化需氧量和溶解氧存在超标现象。其中,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类水质断面分别为 7 个、24 个和 7 个,占监测断面的 15.2%、52.2%和 15.2%;Ⅳ、Ⅴ、劣Ⅴ类水质断面分别为 3 个、1 个和 4 个,占监测断面的 6.5%、2.2%和 8.7%。46 个监测断面中,回水区和上游非回水区断面分别为 24 个和 22 个,达到或优于Ⅲ类水质标准的断面比例分别为 79.2%和 86.3%,超Ⅲ类水质断面比例分别为 20.8%和 13.7%。

2006 年 10 月份的水质监测中,46 个监测断面水质达到或优于Ⅲ类的有 43 个,占断面总数的 93.5%,比 9 月份上升 10.9 个百分点,氨氮、高锰酸盐指数、五日生化需氧量和溶解氧存在超标现象。其中,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类水质断面分别为 10 个、21 个和 12 个,比例为 21.7%、45.7%和 26.1%;无Ⅳ、Ⅴ类水质断面,劣Ⅴ类水质断面 3 个,比例为 6.5%。46 个监测断面中,回水区、上游非回水区监测断面分别为 24 个和 22 个,达到或优于Ⅲ类水质标准的断面比例为 91.7%和 95.4%,超Ⅲ类水质断面比例为 8.3%和 4.6%(表 1-1)。

表 1-1 2006 年 9—10 月三峡库区一级支流水质质量监测表

水质类别	2006 年 9 月		2006 年 10 月	
	断面/个	比例/%	断面/个	比例/%
Ⅰ	7	15.2	10	21.7
Ⅱ	24	52.2	21	45.7
Ⅲ	7	15.2	12	26.1
Ⅳ	3	6.5		
Ⅴ	1	2.2		
劣Ⅴ	4	8.7	3	6.5
合计	46	100	46	100

资料来源:三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心。

2006年9—10月,中国环境监测总站开展了三峡库区“水华”预警和应急监测,采用总磷、总氮、高锰酸盐指数、叶绿素a和透明度5项指标对上述46个断面水体综合营养状态进行了评价。

9月份,三峡库区46个断面中水体处于富营养状态的断面11个,所占比例为23.9%,综合营养状态指数范围为50.20~74.00,其中重度、中度和轻度富营养断面分别为2个、2个和7个,比例为4.3%、4.3%和15.2%;水体处于中营养、贫营养状态的断面分别为34个和1个,比例为73.9%和2.2%。回水区水体处于富营养状态的断面比例比上游非回水区高出24.6个百分点(表1-2)。

表 1-2 2006 年 9 月三峡库区水体综合营养状况

综合营养状态	断面/个	比例/%	综合营养状态指数	回水区		上游非回水区	
				断面/个	比例/%	断面/个	比例/%
贫营养	1	2.2	28.75			1	5.0
中营养	34	73.9	39.4~49.13	17	65.4	17	85.0
轻度富营养	7	15.2	50.20~56.31	5	19.2	2	10.0
中度富营养	2	4.3	66.58~69.16	2	7.7		
重度富营养	2	4.3	71.38~74.00	2	7.7		
合计	46	100.0	28.75~74.00	26	100.0	20	100.0

资料来源:三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心。

10月份,46个断面水体处于富营养状态的断面9个,所占比例为19.6%,综合营养状态指数范围为50.31~68.39,中度和轻度富营养断面分别为3个和6个,比例为6.9%和13.0%;水体处于中营养、贫营养状态的断面分别为32个和5个,比例为69.6%和13.0%。回水区水体处于富营养状态的断面比例比上游非回水区高出16.9个百分点(表1-3)。

表 1-3 2006 年 10 月三峡库区水体综合营养状况

综合营养状态	断面/个	比例/%	综合营养状态指数	回水区		上游非回水区	
				断面/个	比例/%	断面/个	比例/%
贫营养	5	10.9	23.01~28.65			5	25
中营养	32	69.6	34.22~49.29	19	73.1	13	65
轻度富营养	6	13	50.31~55.24	4	15.4	2	10
中度富营养	3	6.5	61.41~68.39	3	11.5		
合计	46	100	23.01~68.39	26	100	20	100

资料来源:三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心。