

太湖流域非点源污染特征与控制*

李兆富^{1,2} 杨桂山¹

(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008; 2:中国科学院研究生院,北京 100039)

提 要 太湖流域非点源污染已经相当严重,直接威胁太湖流域的水环境安全. 本文综述了太湖流域非点源污染来源于:农业生产的化肥、农药污染;畜禽水产养殖污染;城市地表径流面源和道路线源污染;城镇、农村生活污水的非达标排放;大气的干湿沉降等. 并分析了太湖流域非点源污染的影响因素以及时空分布特点,最后从控制非点源污染源和污染物输移过程提出控制和治理非点源污染的措施.

关键词 太湖流域 非点源污染 土地利用

分类号 X832

太湖是我国第三大淡水湖泊,湖泊面积 2428km²,流域面积 36500km². 由于人口增加、经济发展迅速,产生大量污水进入流域水体使得湖泊及其流域的生态系统受到严重破坏,造成水质污染,富营养化日趋严重,导致流域的水质性水资源危机,直接影响到流域内社会经济的可持续发展. 1998 年底实行的太湖流域污染源达标排放行动(简称“零点”行动)在一定程度上对遏制水环境恶化起了一定作用,但从 1999 年和 2000 年太湖水质监测资料分析,太湖的水环境问题远没有解决^[1]. 有关研究表明,在太湖水体富营养化的总氮贡献率中,工业废水占 16%,生活污水占 25%,农业面源占 59%;总磷的贡献率中,工业废水占 10%,生活污水占 60%,农业面源占 30%. 农业生产与农村生活污水是太湖地区水体富营养化的主要因子^[2]. 由此可见,太湖流域非点源污染相当严重,已经成为威胁流域水环境健康的主要因素. 本文将对太湖流域非点源污染的特征、影响因素以及时空分布进行分析,并提出控制太湖流域非点源污染的管理措施和建议.

1 太湖流域非点源污染基本特征

非点源污染是在较大范围内,大气、地面和土壤中的污染物通过地表径流进入地表水和地下水,并在水体中大量富集从而导致水环境污染. 非点源对水环境造成的污染主要通过以营养物型和有毒害型污染物污染水体环境. 主要来源于农业生产和城镇生活污水的 N、P 流失是引起水体富营养化的重要原因. 另外,来自于农药、除草剂及其降解产物、化肥中的重金属、有毒有机物以及大气沉降物中的毒害型污染物引起的水体环境污染也很严

* 国家自然科学基金项目(编号:40371111)资助.

2004-01-12 收稿;2004-08-05 收修改稿. 李兆富,男,1977 年生,博士生. E_mail:zfli@niglas.ac.cn

重并最终影响到人类本身。

1.1 农田化肥、农药流失

太湖流域农业的特点是集约化程度高,化肥与农药的大量使用一方面促进了农业增产,另一方面也对生态环境带来了严重的负面影响。过量的氮肥施用,氮、磷、钾比例失调,加之不合理的使用方法,使得氮肥利用率只有 30%-35%,没有被利用的氮素进入大气和水环境中,造成非点源污染。据研究^[3],苏南太湖地区,1987年在施氮肥 345kg/(hm²·a),施磷 18 kg/(hm²·a)水平下,农田流入水体氮素总量为 3.37×10⁴t,净流失量为 2.55×10⁴t,年公顷总输出 54.3kg,净输出 35.6kg;农田磷总排出量为 440.4t,每年 2.39g/hm²,磷净排出量为 83.3t,每年 0.45g/hm²。农田使用的氮肥有 10%的氮素流入水体。研究表明农业面源氮的入湖量占总量的 72%-75%,目前太湖流域的农田氮肥使用量为 345kg/hm²,是科学施肥量(120-180kg/hm²)的两倍左右^[4],大量面源氮的流失最终汇入湖泊,加剧湖泊富营养化。另外,大量高毒和水溶性农药使用也对太湖流域的水环境质量带来了很大的影响。据估算,上海市郊约有 40t/a 以上的农药通过农田径流和渗漏进入水环境^[5]。

1.2 畜禽水产养殖污染

畜禽粪便流失污染地表水环境的现象已成为太湖流域最引人注目的面源污染问题之一。据测算,苏州全市的猪粪利用率为 80%,牛、羊、禽粪 90%,其余随冲圈废水和雨水流失;家畜尿液利用率在 10%左右,其余流入低洼地和河水中。上海市郊全年畜禽粪尿产生量 700 万吨左右,其中猪粪尿占 65%,耕地平均负荷量为 18t/hm²。全年进入水环境的粪尿量为 206 万吨,占总量的 29.64%。这些粪尿严重污染了水体,畜禽粪尿高负荷区的河水溶解氧几乎为零,COD_{Cr}高达 200mg/L^[6]。此外,水产围网养殖面积扩大,养殖密度增加和缺乏有效的管理,剩余饵料及水产排泄物在一定程度上加剧了水质污染和富营养化进程^[6]。

1.3 城镇地表径流面源和道路线源污染

城镇地表如商业区、街道、停车场、建筑工地等,聚集了一系列污染物,如油类、盐分、氮、磷、有毒物质及城市垃圾,在降雨过程中雨水及其形成的地表径流冲刷地面污染物,通过排水渠道或直接进入河流湖泊等水体,造成地表水污染。太湖流域快速的城市化进程可能带来的非点源污染加剧不容忽视。此外,来自于道路交通的线源污染也很严重,研究发现,交通直接贡献大约 0.7g/(km·辆)的固体颗粒物,汽车排放大约 0.2g/(km·辆)废物和 0.125 g/(km·辆)的轮胎磨损^[7]。太湖流域路网发达,对于道路径流引起的非点源污染负荷还有待于进一步研究。

1.4 城镇、农村生活污水的非达标排放

太湖流域城镇化建设发展很快,流域的中小城市、农村乡镇及农户居民点的生活污染是非点源污染不断增长的一个重要原因。生活污染包括生活污水和人粪尿。有研究表明^[8],1993年上海市郊农村人口 393.6 万人,居民人口 165.7 万人,年产生活污水 2.98×10⁸t,进入水环境的污染量 TN 为 3179t/a、TP 为 795.4t/a;COD_{Cr}为 31793t/a;人类尿 204×10⁴t,进入水环境污染量 TN 为 1574.8 t/a,TP 为 270.0 t/a,COD_{Cr}为 10198t/a。生活污染 P 值仅次于畜禽粪尿占等标排放量的 21.71%。对太湖一级保护区雪堰镇各种类型非点源氮污染研究结果显示,农村、城镇居民生活污水和人粪尿排放分别占排放总量的 18.9%和 7.2%^[9]。

1.5 大气干湿沉降污染

大气干湿沉降与大气污染及气象条件有关。干沉降仅在降雨之间才显著,其沉降率通常比湿沉降小些。重力作用是决定大气干沉降的主要机制,但表面撞击、静电吸引、吸附和化学反应等,是细小粒子(小于 $1\mu\text{m}$)沉降的重要原因。降水是大气污染物的良好载体和清除者,降水中含有的大量污染物,如酸类、有毒金属、有机物、氮磷物质等,致使地表水体受到污染。太湖流域雨量丰沛,年平均降雨量 $1010\text{--}1400\text{mm}$,酸雨出现频率很高。有研究表面,因降雨带进太湖的 TN 、 PO_4^{3-} 和 COD 分别占同期入湖 TN 、 TP 和 COD 总量的 9.8% – 15.5% 、 1.9% – 2.2% 和 3.5% – 6.0% ^[10]。由此可见,太湖流域由大气污染引起的湿沉降,特别是酸性降水引入的氮化合物污染,在太湖富营养化过程中占有很重要的位置,是重要的面源污染之一。

2 太湖流域非点源污染影响因素分析

2.1 不同土地利用类型对污染物流失量的影响

不同的土地利用类型和土地利用结构对污染物的流失有显著的影响。不同的土地利用类型具有不同的地表覆被,影响降水-产流过程,进而影响污染物的输出量,导致不同土地利用类型的非点源污染负荷差异显著。张大弟对上海市郊4种(稻田、旱田、村、镇)地表径流污染负荷调查的结果显示村径流的总磷和氨氮浓度最高分别为 1.68mg/L 、 3.28mg/L ^[5]。于兴修、梁涛等在太湖上游西苕溪流域模拟试验结果表明,在相同的降雨条件下,氮、磷的流失速率和流失量随土地利用/土地覆被类型的不同表现出明显差异,地表径流水相总氮的流失量桑林最大,水田最小。总磷的流失量也是桑林最大,高出水田和松林的5倍^[11,12,13]。对苏州河不同土地利用类型研究显示,水田、旱地、苗园、村、镇等的平均单位 TN 污染年负荷量分别为 19.19kg/hm^2 、 19.48kg/hm^2 、 6.30kg/hm^2 、 24.81kg/hm^2 、 14.96kg/hm^2 , TP 单位污染负荷量分别为 2.86kg/hm^2 、 3.19kg/hm^2 、 2.24kg/hm^2 、 9.60kg/hm^2 、 4.26kg/hm^2 ^[14]。由此分析,不同的土地利用类型对非点源污染物的流失影响较大,进入太湖的污染物中,总氮排放量最多的是太湖流域的农业非点源污染,总磷排放量最多的是城镇居民的生活污水。

另外,许多自然因素,如不同的土壤(土壤种类、土壤结构、土壤质地)、地形、坡度以及降雨强度、历时等因素影响土壤被侵蚀以及可溶性污染物流失的能力,从而对非点源污染的发生有相当的影响。

2.2 农田管理对农业非点源污染的影响

农田管理包括农田的耕作方式,化肥、农药的种类、使用量、使用时间和方式,农田灌溉方式等。张大弟等研究了农药施用量、施用期等对水溶性农药流失的影响,单位耕地面积农药用量,农药使用时期和农药在稻田水中的消解速度,直接关系到农药流失时的浓度^[15]。潘根兴等提出合理高效的施肥技术有利于控制 N 、 P 的农业非点源污染^[16]。太湖地区农田生态系统 N 、 P 等主要水污染物的迁移、淋失状况随轮作方式、作物种类及施肥状况而变化,农田与沟渠间的缓冲林带有利于截留和净化土壤径流中的 N 、 P 等物质,从而在一定程度上控制农业非点源污染^[17]。

3 非点源污染时空分布特点

降雨径流是非点源污染发生的直接动力,因此,流域内降雨的时间分布决定着非点源

污染发生的时间特征. 太湖流域全年有 3 个明显的雨季, 即: 4、5 月的春雨, 6、7 月的梅雨, 8、9 月的台风雨. 农业面源污染负荷量随年降水量的增加而增大^[3]. 苏州河流域内非点源污染是主要的污染源, 非点源污染负荷表现为梅雨>秋雨>春雨>冬雨的季节性规律^[14]. 为了减少农田氮磷的流失, 应该把握施肥的时间, 以免施肥不久就遭到冲洗流失.

因受自然和人为等多因素的影响和不同因子对污染物的贡献率大小不同, 造成了非点源污染物流失的空间差异. 浙西西苕溪流域从上游到下游水质逐渐变差, 分析表明, 非点源污染是西苕溪流域水质恶化的重要原因, 其来源主要是农田和竹林的肥料流失、城镇径流及居民生活污水等^[18]. 对杭嘉湖水网平原地区开展的农业非点源污染调查表明, 畜禽粪尿污染、乡镇生活污染和地表径流污染对水体污染的负荷贡献率分别为 43.81%、29.91% 和 22.43%^[19]. 上海市郊非点源污染负荷量大, 进入水环境的 COD_{Cr}、总氮、总磷分别为 16.73×10⁴t、2.54×10⁴t 和 0.473×10⁴t, 严重影响市郊的水环境质量^[8]. 苏南太湖地区土地利用集约, 年均施氮、磷量分别为 345kg/hm²、18kg/hm², 1987 年的农业面源氮、磷负荷总量分别为 3.37×10⁴t 和 440.4t^[20]. 对太湖一级保护区武进市雪堰镇各种类型非点源氮污染负荷研究结果表明, 在各种类型农业非点源污染中, 农田氮排放负荷占 72.7%, 农村居民氮排放占 18.9%, 城镇居民氮排放占 7.2%, 养殖业氮排放占 1.2%^[21]. 由此可见农田氮素流失施主要的非点源污染来源. 太湖流域西部的宜溧河流域的农业面源污染也日趋严重^[22], 2001 年宜兴湖滢镇农田总氮输出平均为 4.643kg/(hm²·a)^[23].

4 非点源污染的管理与控制

对非点源污染的控制与管理可以考虑从污染源头和污染物传输路径的控制着手, 同时加强污染形成机理和运移规律等的科学研究.

4.1 非点源污染源的管理和控制

对不同的非点源污染类型采取不同的控制措施. 农田非点源污染是太湖流域非点源污染最为严重的类型之一, 在改变农田耕作方式和灌溉方式以减少非点源污染发生的同时, 重点应该加强对农药、化肥使用的管理. 鼓励引导农民科学施用化肥、农药, 提倡科学测土施肥, 以最佳经济、生态效益施肥量施肥, 发展生态农业, 从源头上控制农田非点源污染. 对于城市非点源污染, 从源头上考虑应该保持城市的清洁, 减少污染物的存在, 加强城市垃圾回收管理.

4.2 非点源污染扩散的管理和控制

加强对污染物扩散途径的控制, 采取适当的措施, 减少污染物排入地下或地表水体的数量. 利用不同植被对土壤养分吸收能力的互补作用和景观因子对非点源污染物的截留和过滤能力, 通过建立适当的人工溪沟、湿地^[24]、沙层过滤带及植被缓冲带^[17]等, 可以有效地减少农田地表河地下径流带来地非点源污染. 在城镇地区, 要加快生活污水收集处理管网设施建设, 提高对生活污水处理率.

4.3 加强非点源污染科学研究和监测管理

目前对非点源污染形成的机理和非点源污染物空间运移地规律尚不清楚, 导致在控制和治理非点源污染时困难较大, 应该加强科学研究. 在不同性质和不同层次部门, 建立相应的非点源污染监测与管理机构, 随时监测研究非点源污染的起源、特点和变化. 研究非点源污染的形成特征和输移机制, 监测非点源污染的源和汇尤为重要, 成为非点源污染控制和管理的基礎.

参 考 文 献

- 1 黄文钰,杨桂山,许朋柱. 太湖流域“零点”行动的环境效果分析. 湖泊科学,2002,14(1):67-71
- 2 杨桂山,王德建等. 太湖流域经济发展、水环境、水灾害.北京:科学出版社,2003
- 3 马立珊,汪祖强,张水铭等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究. 环境科学学报,1997,17(1):39-47
- 4 孙顺才,黄漪平. 太湖.北京:海洋出版社,1993:1-271
- 5 张大弟,章家骥,汪雅谷. 上海市郊主要的非点源污染及防治对策. 上海环境科学,1997,16(3):1-3
- 6 谷孝鸿,王晓蓉,胡维平. 东太湖渔业发展对水环境的影响及其生态对策. 上海环境科学,2003,22(10):702-704
- 7 U S Environmental Protection Agency. Control of reentrained dust from paved street, EPA 905/9-77-007,USEPA,Kansas City, MO. 1977
- 8 张大弟,张晓红,章家骥等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价. 上海农业学报,1997,13(1):31-36
- 9 郭红岩,王晓蓉,朱建国等. 太湖流域非点源氮污染对水质影响的定量化研究. 农业环境科学学报,2003,22(2):150-153
- 10 杨龙元,秦伯强,吴瑞金. 酸雨对太湖水环境潜在影响的初步研究. 湖泊科学,2001,13(2):135-142
- 11 于兴修,杨桂山,梁 涛. 西苕溪流域土地利用对氮素径流流失过程的影响. 农业环境保护,2002,21(5):424-427
- 12 梁 涛,王 浩,章 申等. 西苕溪流域不同土地类型下磷素随暴雨径流的迁移特征. 环境科学,2003,24(2):35-40
- 13 梁 涛,张秀梅,章 申等. 西苕溪流域不同土地类型下氮元素输移过程. 地理学报,2002,57(4):389-396
- 14 王少平,俞立中,许世远等. 苏州河非点源污染负荷研究. 环境科学研究,2002,15(6):20-23,27
- 15 张大弟,张晓红,陈佩青. 水溶性农药流失的影响因素及污染防治. 上海环境科学,2000,19(8):388-390
- 16 潘根兴,褚清河,张 英等. 太湖地区高产水稻土经济极点施肥:一种农田 N、P 养分负荷的田间控制技术. 环境科学,2003,24(3):96-100
- 17 陈金林,潘根兴,张爱国等. 林带对太湖地区农业非点源污染地控制. 南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(6):17-20
- 18 于兴修,杨桂山,欧维新. 非点源污染对太湖上游西苕溪流域水环境的影响. 湖泊科学,2003,15(1):49-55
- 19 钱秀红,徐建民,施加春等. 杭嘉湖水网平原农业非点源污染的综合调查和评价. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2002,28(2):147-150
- 20 马立珊,汪祖强,张水铭等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究. 环境科学学报,1997,17(1):39-47
- 21 郭红岩,王晓蓉,朱建国等. 太湖流域非点源氮污染对水质影响的定量化研究. 农业环境科学学报,2003,22(2):150-153
- 22 许朋柱,秦伯强,黄文钰等. 太湖流域宜溧河地区水体水质状况及营养状态评价. 湖泊科学,2001,13(4):315-321
- 23 焦 锋,秦伯强,黄文钰. 小流域水环境管理——以宜兴湖滏镇为例. 中国环境科学,2003,23(2):220-224
- 24 姜翠玲,崔广柏. 湿地对农业非点源污染的去效应. 农业环境保护,2002,21(5):471-473,476

Research on Non-point Source Pollution in Taihu Lake Region

LI Zhaofu^{1,2} & YANG Guishan¹

(1:Nanjing Institute of Geography and Limnology Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, P.R.China;

2:Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, P.R.China)

Abstract

With pollution from point sources being dramatically reduced, non-point source pollution(NPSP) is the major cause of most water that does not meet water quality goals. Based on the studies in recent years, this paper summarizes the research results of non-point source pollution in Taihu Region. Non-point source pollution is caused by soil erosion from cropland and from pesticide and fertilizer applications, livestock industry, urban runoff and village living sewage, and wet and dry deposition. The effect factors on NPSP are discussed and the distribution of NPSP in time and space is analyzed. At last, we propose several measurements to control and management NPSP.

Keywords: Taihu Lake region; non-point source pollution; land use