

# 太湖旱地非点源污染量化研究

段亮<sup>1,2</sup>, 段增强<sup>2</sup>, 夏四清<sup>1</sup>

(1. 同济大学 环境科学与工程学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092;

2. 中国科学院 南京土壤研究所 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 采用田间试验方法, 研究了太湖地区旱地氮磷向水体排放的年负荷。结果表明, 太湖流域典型旱地氮磷向水体迁移的年负荷分别为 12.66, 4.05 kg/hm<sup>2</sup>, 分别约占年施肥量的 5.6% 和 4.1%。示范区内旱地氮磷向水体迁移的年总量为 3.86 t 和 1.24 t。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 PN 是氮流失的主要形式, 应重点控制 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 PN 的流失; 而 PP 是磷流失的主要形式, 占总磷的 76%, 是控制的重点。氮磷向水体迁移具有明显的季节特征, 夏季和秋季为氮磷高负荷季节, 6—11 月占全年氮磷输出总量的 83.4% 和 79.8%。在当前的非点源污染治理中, 应采取有力措施控制农田养分流失。

**关键词:** 太湖流域; 旱地; 非点源污染; 氮磷流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)06-0040-04

中图分类号: X833

## Quantification of Non-point Pollution from Uplands in Taihu Lake Catchment

DUAN Liang<sup>1,2</sup>, DUAN Zeng-qiang<sup>2</sup>, XIA Si-qing<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources, College of Environment

Science and Engineering Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. State Key Laboratory of Soil and

Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** The released nitrogen and phosphorus by surface runoff from uplands in the Taihu Lake catchment were investigated in a case study. Results showed that each year, about 12.66 kg/hm<sup>2</sup> of nitrogen and 4.05 kg/hm<sup>2</sup> of phosphorus from the uplands in the catchment were discharged into water body, accounting for 5.6% and 4.1% of annual fertilization, respectively. About 3.86 t of total nitrogen and 1.24 t of total phosphorus from the uplands in the demonstration area were discharged into water body per year. Nitrate —N and PN were the main component part of N loss, which indicates that controlling Nitrate —N and PN loss is the key to controlling non-point pollution. PP was the main component part of phosphorus loss, accounting for 76% of total phosphorus. Nitrogen and phosphorus loss were obviously characterized by seasonal variation. Summer and autumn were the high load seasons, in which nitrogen and phosphorus loss from June to November accounted for 83.35% and 79.79% of total loads, respectively. We should pay great attention to controlling nutrient loss during farming for non-point pollution control.

**Keywords:** Taihu Lake catchment; upland; non-point pollution; nitrogen and phosphorus loss

太湖水体污染已经进入富营养化阶段, 造成生物多样性减少, 经济损失和生态破坏严重。近年来随着我国环保事业的发展, 流域内点源污染源得到了有效治理, 但湖泊水质并没有得到根本改善, 其主要原因在于农业非点源污染。据我国对许多湖泊水体的调查, 输入湖体的污染物中约有一半以上来自非点源污染<sup>[1]</sup>, 它们主要通过降雨径流进入水体。有关资料表明<sup>[2]</sup>, 在太湖水体污染中, 非点源污染占相当重要的份额, 从全流域总氮排放负荷来看, 工业废水占 15.7%, 生活污水占 25.1%, 农业面源污染(含畜禽

养殖)占 37.5%, 水产养殖污染占 16.5%; 从总磷排放负荷来看, 工业废水占 10.4%, 生活污水占 60.0%, 农业面源污染占 15.1%, 水产养殖污染占 9.4%。生活垃圾和农业生产废弃物中的营养物质尤其是 N, P 在雨水作用下对太湖水体的贡献率也较高。太湖全湖总磷平均浓度已经达到 0.13 mg/L, 超过 0.02 mg/L 的水体富营养化阈值的 6 倍以上<sup>[3]</sup>。而且由于目前农田生态系统中普遍存在着氮磷养分的盈余现象, 因而其流失的风险也在不断增加, 以农业非点源氮磷为主的营养盐绝对量也呈快速上升趋势

收稿日期: 2005-04-21

修稿日期: 2006-03-28

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关专项“河网区面源污染控制成套技术”(2002AA601012)

作者简介: 段亮(1983—), 男(汉族), 安徽巢湖人, 同济大学环境工程专业博士研究生, 主要从事水污染控制方面的研究。E-mail: duan0205@163.com。

势。因此,充分重视对非点源污染的治理才能从根本上实现使太湖水变清的目标。为了有效控制和治理太湖非点源污染,必须对太湖流域内非点源污染的发生、迁移有比较系统的研究。尤其是对氮磷随降雨向水体迁移的总量及通量的研究。在已有的太湖流域农田氮磷地表径流流失研究多集中在水稻田<sup>[4-5]</sup>,对旱地氮磷随季节性暴雨径流流失则研究甚少。因此,有必要对旱地非点源污染负荷作出较为接近真实的估算,从而为有效控制氮磷流失及防止水体富营养化提供依据。本文通过自然降雨与模拟降雨相结合的方法,在宜兴市进行了一年的定点试验(2004年7月—2005年7月),研究了典型旱地非点源污染的负荷,以及各种形态氮磷对水体的贡献率。

表1 供试土壤理化性质

土深/cm	pH	全磷/%	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	土壤速效氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )		土壤速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤含水量/%
				NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
0—20	5.62	0.77	1.28	125.1	16.62	11.73	13

试验地建有完整的模拟降雨系统,可对没有收集到的降雨径流进行模拟补充试验,包括不同雨型,不同降雨历时条件下的降雨特征。

## 1.2 取样和数据分析

地表径流收集系统主要包括4部分,即试验小区、径流渠、沉淀池、径流溶液池。降雨开始时记录降雨时间、产流时间并收集径流,且测定各时间段径流池中径流体积。如降雨时间较长,适当的增加采样间隔时间,主要由降雨强度而定。雨水样品用APS-3型降水降尘自动采样器(武汉天虹智能仪表厂)。该装置能够24h连续自动工作,抗干扰性强,并设置了过滤装置,与传统的雨具收集器相比有其创新性,完全能够满足本试验的要求。

分析方法以《水和废水监测分析方法》为准<sup>[6]</sup>,取部分地表径液过0.45 μm滤膜,收集滤液用荷兰产SKALAR流动分析仪进行分析溶解态总氮(DN),硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N),铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N),溶解态总磷(DP)。另取部分地表径液,采用高温高压下过硫酸钾氧化径液过滤消化液。用紫外分光光度法分析消化液中总氮(TN),钼锑抗比色法分析总磷(TP)。颗粒态氮磷(PN,PP)及溶解态有机氮(DON)可通过差减法算得:PN(PP) = TN(TP) - DN(DP);

$$\text{DON} = \text{TN} - (\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N})$$

各时段径流氮磷流失量为各时段径流体积乘以各时段相应的浓度,总氮磷负荷量为各时段氮磷流失量之和。径流氮磷总负荷量为溶解态氮磷负荷量和

## 1 材料和方法

### 1.1 试验处理设计

地表径流试验选择位于太湖中下游且能代表本区类型的宜兴市大浦镇漳渎村,小区面积约为450 m<sup>2</sup>。试验地形成网络,均有排灌分流且能调控的水利系统,在进出水口处分别铺设排灌沟渠,既可对进出试验区的灌溉、径流和雨水的水量测量,也可定期(次/旬)和不定期(在降水产生径流时)采集上述水样。该区土地利用集约,撒施复合肥(N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 15 15 15)。年施氮、磷量分别为225,98 kg/hm<sup>2</sup>,肥料分3次施,分别为2月,8月及11月左右。该区土壤为黄棕壤,其理化性质见表1。

颗粒态氮磷负荷量之和。氮磷向水体迁移净负荷为径流总负荷量减去湿沉降总负荷量。

$$L_j = \sum_{t=1}^n C_{ij} \times Q_{ij}$$

式中:  $L_j$ ——一场降雨中  $j$  项污染物的流失量(mg);  
 $C_{ij}$ ——第  $t$  时段内  $j$  项污染物浓度(mg/L);  $Q_{ij}$ ——第  $t$  时段内  $j$  项污染物的径流量(L)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 年降雨量与湿沉降负荷

2004年7月—2005年7月共有38场降雨(图1),年降雨量约为821.5 mm,降雨量较其它年份少,主要是由于2004年属于旱年,其下半年降雨量较少所致。我国气象部门规定的降雨强度标准:按12 h计,小雨 5 mm,中雨 5~14.9 mm,大雨 15~29.9 mm,暴雨 30 mm。按照这一标准,在这一年期间,属于暴雨的有10次,属于大雨的有19次,一般情况下旱地小雨和中雨下很难产流<sup>[7]</sup>。再排除3次虽然降雨量超过15 mm,但由于长期干旱无降雨或由于天气炎热,土壤含水率低等原因,没有观测到产生径流或产生径流很少(2004年7月5日,2004年8月16日,2004年12月23日)的情况。所以,可以估计2004年7月—2005年7月可产生地表径流16次。

图1表明了降雨中全N浓度的变化,并无明显的规律。降水含氮量0.45~3.91 mg/L,平均为1.63 mg/L。通过降雨量和降水含氮量,计算2004年7月—2005年7月湿沉降负荷约为10.04 kg/hm<sup>2</sup>。

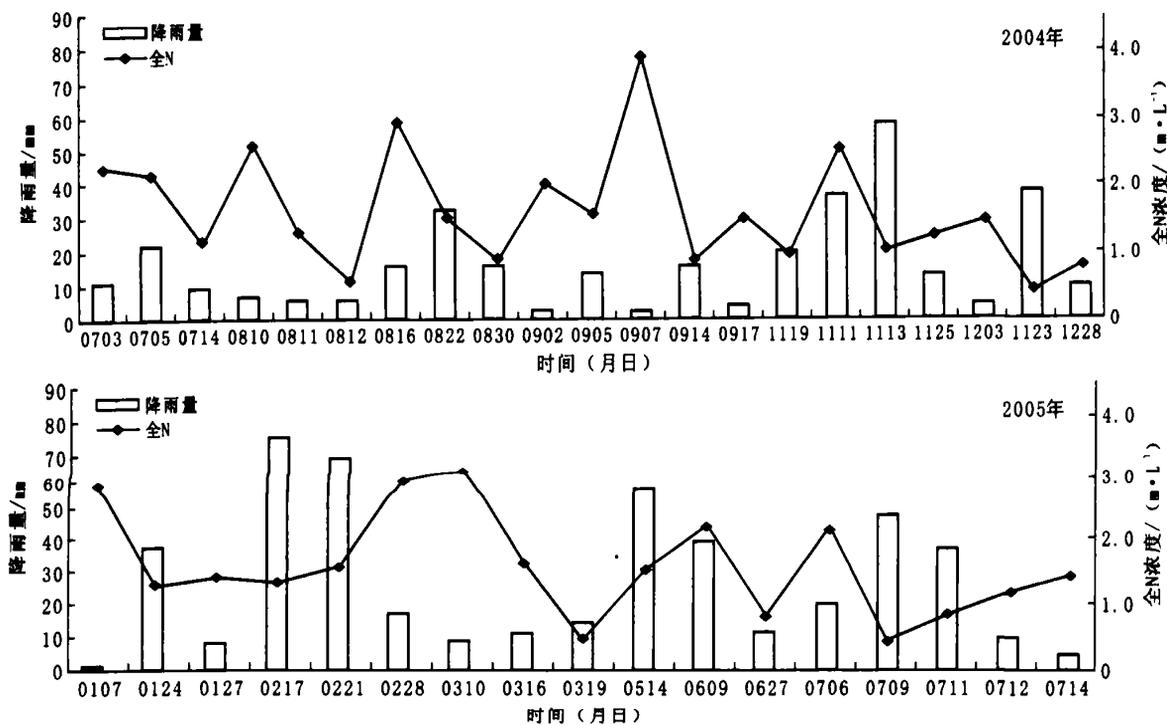


图 1 降雨量和湿沉降的年变化

## 2.2 氮磷向水体迁移年负荷量

通过所收集到的数据,以及模拟降雨的补充数据,可以估算出太湖流域典型旱地氮磷向水体迁移的年负荷量(图 2)。由图 2 可知,太湖流域典型旱地氮向水体迁移年负荷量为  $12.66 \text{ kg/hm}^2$ 。据报道日本琵琶湖流域、武汉东湖地区和安徽巢湖流域旱地氮素向水体迁移的年负荷量分别为  $6.9, 1.2, 30.5 \text{ kg/hm}^2$ ,可见该地区旱地氮素向水体迁移量居于中等水

平<sup>[8-9]</sup>。马立珊等曾利用小区和大田估算太湖流域旱地氮的排放负荷为  $11.8 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[4]</sup>,和本次试验相比,氮素负荷量相差不大。

由于湿沉降负荷约为  $10.04 \text{ kg/hm}^2$ ,可计算出旱地排放净负荷约为  $2.62 \text{ kg/hm}^2$ 。郭红岩等在太湖流域雪堰镇的研究认为,该区水稻田的氮排放净负荷为  $19.77 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[10]</sup>。和水稻田相比,旱地氮排放负荷较低。

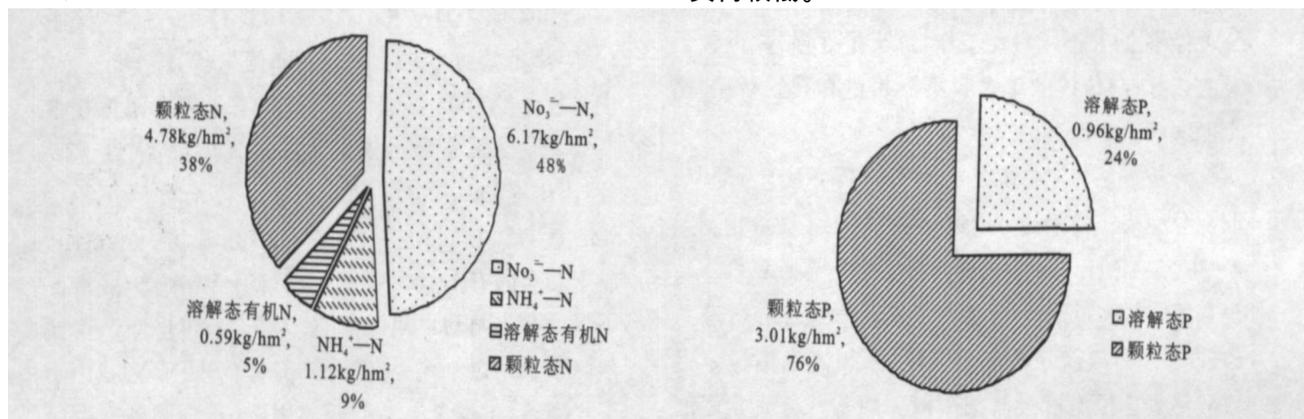


图 2 太湖典型旱地氮磷向水体迁移负荷

在氮的迁移负荷中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  年负荷为  $6.17 \text{ kg/hm}^2$ ,占总氮的  $48.74\%$ ;  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  年负荷为  $1.12 \text{ kg/hm}^2$ ,占总氮的  $8.8\%$ ; DON 年负荷为  $0.59 \text{ kg/hm}^2$ ,占总氮的  $4.68\%$ ; PN 年负荷为  $4.78 \text{ kg/hm}^2$ ,占总氮的  $38\%$ ,可见  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和 PN 是氮流失的主

要形式。应重点控制  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和 PN 的流失。太湖流域典型旱地磷向水体迁移年负荷量为  $4.05 \text{ kg/hm}^2$ ,张大弟等在上海郊区旱地研究认为该区旱地负荷为  $1.54 \sim 2.21 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[11]</sup>,郭红岩等测得水稻田磷排放负荷为  $1.71 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[12]</sup>,和其相比,太湖旱地磷

排放负荷较高。高超等认为虽然太湖地区旱地土壤对磷的固定能力高于水旱轮作的水稻土,但由于旱地土壤的有效磷水平较高,因而其被淋溶的风险和数量大大高于水稻土<sup>[13]</sup>。另外,试验区曾施过鸡粪等有机肥,可能也加大了磷的流失风险。由于雨水中含磷极少,故没有计算磷的湿沉降值。

在磷的迁移负荷中,DP年负荷为 $0.96 \text{ kg/hm}^2$ ,占总磷的24%;PP年负荷为 $3.01 \text{ kg/hm}^2$ ,占总磷的76%,可见,颗粒态磷是磷流失的主要形式,控制颗粒态磷的流失具有重要的意义。

以该地区年均施氮磷量分别为 $225.98 \text{ kg/hm}^2$ 计算,则旱地氮磷向水体排放量分别占当年施肥量的5.63%和4.13%。以示范区内共有旱地 $305 \text{ hm}^2$ 计算,则示范区内旱地氮磷向水体迁移的总量为3.86 t和1.24 t。

### 2.3 氮磷向水体迁移的季节性分布

氮磷向水体迁移负荷具有明显的季节特征(图3),秋季和夏季负荷最高,氮负荷分别占全年的55.60%和27.75%,磷负荷分别占全年的44.03%和35.75%。春季最少,氮磷负荷只占全年的1.79%和5.09%。主要是因为夏季暴雨多,有研究表明,氮磷向水体迁移负荷是由几次强的降雨引起的,秋季虽然雨水没有夏季多,但秋季是施肥季节,导致小区氮磷负荷较高。可见,控制夏秋季氮磷流失具有重要意义,应重点控制6—11月的氮磷流失。

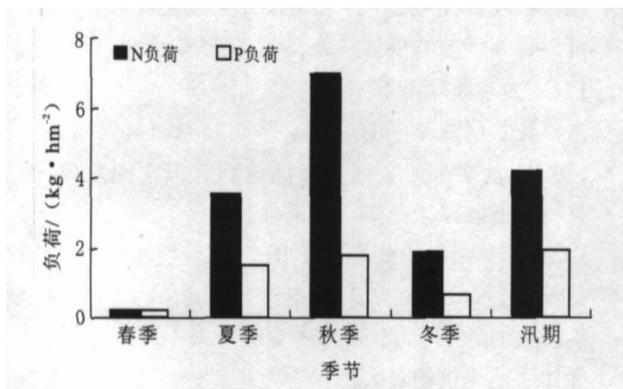


图3 氮磷负荷的季节分布

## 3 结论

(1) 太湖流域典型旱地2004年7月—2005年7月一年间可产生地表径流16次。湿沉降负荷约为

$10.04 \text{ kg/hm}^2$ 。(2) 太湖典型旱地氮磷向水体迁移的负荷分别为 $12.66, 4.05 \text{ kg/hm}^2$ ,氮净负荷为 $2.62 \text{ kg/hm}^2$ 。分别约占年施肥量的5.63%和4.13%。氮负荷没有水稻田高,而磷负荷比水稻田高。

(3)  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和PN是氮流失的主要形式,应重点控制 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和PN的流失;而颗粒态磷是磷流失的主要形式,占总磷的76%,是控制的重点。

(4) 太湖旱地氮磷向水体迁移具有明显的季节特征,夏季和秋季为氮磷高负荷季节,应重点控制6—11月的氮磷流失。

### [参考文献]

- [1] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
- [2] 杨桂山,王德建,等. 太湖流域经济发展·水环境·水灾害[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [3] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. 湖泊科学,2002,14(3):193—202.
- [4] 马立珊,王祖强,张水铭,等. 苏南太湖水系农业面源污染与控制对策研究[J]. 环境科学学报,1997,17(1):39—47.
- [5] 宋静,骆永明,乔显亮,等. 苏南典型水稻丰产施肥与地表水浓度动态变化[J]. 土壤,2002(4):210—214.
- [6] 国家环境保护总局编. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002. 243—250.
- [7] 黄沈发,陈长虹. 黄浦江流域农田地表降雨径流分析[J]. 上海环境科学,1998,17(3):21—24.
- [8] 彭近新,陈慧君. 水质富营养化与防治[M]. 北京:中国环境出版社,1988. 50—56.
- [9] 田渊俊雄,高村义亲. 集水域氮素和磷素的流失[M]. 日本东京:东京大学出版会,1985. 39—51.
- [10] 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量化研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):150—153.
- [11] 张大弟,张晓红,戴育民. 上海市郊4种地表径流污染负荷调查与评价[J]. 上海环境科学,1997,16(9):7—11.
- [12] 郭红岩,王晓蓉,朱建国,等. 太湖一级保护区非点源磷污染的量化研究[J]. 应用生态学报,2004,15(1):136—140.
- [13] 高超,张桃林. 太湖地区丘陵旱地土壤磷的吸持解持特征[J]. 湖泊科学,2001(9):255—260.