

山地农业小流域非点源氮磷输出特征及来源

徐丽贤¹, 梁新强^{1,2}, 周柯锦³, 林丽敏¹,
王知博¹, 华桂芬², 王欣煜¹, 王志荣⁴, 黄武⁴

(1. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江省水体污染控制与环境安全技术重点实验室, 浙江 杭州 310058; 3. 浙江省环境检测中心, 浙江 杭州 310015; 4. 浙江省农业生态与能源办公室, 浙江 杭州 310012)

摘要: [目的] 分析非点源污染物输出特征及来源, 为相似农业小流域水质研究以及非点源污染控制提供参照基础。[方法] 通过 ArcGIS 软件对集水流域划分, 监测 2014 年断面及降雨水质, 结合平均浓度法及输出系数法, 建立考虑降雨携带输出的流域非点源负荷输出系数法计算模型, 并进一步采用最优化数学方法对流域内污染物的来源进行分析。[结果] 核算得到耕地、林地、城镇村及工矿用地、农村生活和畜禽养殖的总氮输出系数分别为 15.87, 6.33, 6.27 kg/(hm²·a), 0.20 kg/(人·a), 0.83 kg/(头·a), 总磷输出系数分别为 0.46, 0.39, 0.67 kg/(hm²·a), 0.10 kg/(人·a), 0.16 kg/(头·a)。该研究区域径流中 NO₃⁻-N 是氮流失的主要形式, 降雨高峰期径流中颗粒态磷流失严重, NH₄⁺-N 及溶解态磷是该流域雨水中氮磷的主要存在形态。[结论] 该流域非点源污染输出以降雨、林地、农村生活输出为主。

关键词: 非点源污染; 降雨输出; 系数核算; 氮磷流失特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0030-08

中图分类号: X131.2

文献参数: 徐丽贤, 梁新强, 周柯锦, 等. 山地农业小流域非点源氮磷输出特征及来源[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 30-37. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.007

Export Characteristics and Source Analysis of Non-point Source Nitrogen and Phosphorus in Mountain Agricultural Small Catchment

XU Lixian¹, LIANG Xinqiang^{1,2}, ZHOU Kejin³, LIN Limin¹,
WANG Zhibo¹, HUA Guifen², WANG Xinyu¹, WANG Zhirong⁴, HUANG Wu⁴

(1. College of Environment and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang

310058, China; 2. Key Laboratory for Water Pollution Control and Environment Safety of Zhejiang Province,

Hangzhou, Zhejiang 310058, China; 3. Environmental Monitoring Center of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang

310015, China; 4. Office of Agricultural Ecology and Energy of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310012, China)

Abstract: [Objective] To analyze the export characteristics and source of non-point source in order to provide reference basis for the study of the similar agricultural watershed water quality and non-point source pollution control. [Methods] This area was firstly divided into certain catchments with ArcGIS software. The water quality and precipitation was monitored across sections in 2014. Combined with the mean concentration method and export coefficient model, a calculation model was set up to estimate non-point source pollution export, and the sources for various non-point pollutants was analyzed with optimized mathematic method. [Results] The total nitrogen export coefficients of agricultural land, woodland, residential land, domestics and livestock was 15.87 kg/(hm²·a), 6.33 kg/(hm²·a), 6.27 kg/(hm²·a), 0.20 kg/(person·a), 0.83 kg/(animal·a), respectively, while the total phosphorus export coefficients was 0.46 kg/(hm²·a), 0.39 kg/(hm²·a), 0.67 kg/(hm²·a), 0.10 kg/(person·a), 0.16 kg/(animal·a), respectively. Nitrate nitrogen was the main form of nitrogen loss in the runoff and a large amount of particulate phosphorus run off in the

收稿日期: 2015-05-14

修回日期: 2015-07-13

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“苕溪流域农村污染治理技术集成与规模化工程示范”(2014ZX07101-012); 国家自然科学基金项目“有机肥施用对稻田土壤胶体磷赋存及运移的影响机理”(41271314)

第一作者: 徐丽贤(1991—), 女(汉族), 浙江省湖州市人, 硕士研究生, 研究方向为农业面源污染控制与治理。E-mail: 21314073@zju.edu.cn.

通讯作者: 梁新强(1979—), 男(汉族), 浙江省杭州市人, 博士, 副教授, 主要从事农业面源污染控制与水质评估研究。E-mail: liang410@zju.edu.cn.

periods of peak rainfall. In the precipitation, ammonia nitrogen and dissolved phosphorus was main loss form. [Conclusion] In this small catchment, precipitation, woodland and domestic waste are the main pollution sources.

Keywords: non-point source pollution; precipitation; coefficient estimation; nitrogen and phosphorus losses characteristics

农业非点源污染是影响水质的关键因素,对其输出特征及来源进行分析是控制污染的前提。自 2001 年出台畜禽饲养相关规定后,非点源污染受到人们的关注越来越大,其中,农业非点源污染被认为是水生态环境的重要影响因素^[1],氮、磷被普遍认为是农业非点源的特征污染物^[2-3]。不同于城镇生活污水与工业废水污染,农业非点源污染具有发生的随机性和间歇性,复杂的机制与过程,不确定的排放渠道及量值,多变的空间及时间污染负荷,监测、估算及控制的困难性等一系列特点^[4]。对国内外流域水环境模型,即非点源污染模型进行分类,按照物理过程描述的不同分为经验型模型以及机理机制型模型;按照空间离散程度或分辨率大小的不同分为集总式和分布式模型^[5]。其中,输出系数模型即为经验型集总式模型,该模型最大的特点是利用相对容易得到的研究流域土地利用状况、人类生产活动情况等资料直接建立各因素与容纳水体非点源污染负荷的关系^[6]。研究表明,空气沉降等因素也可进一步被考虑添加进模型中,提高模型应用过程中流域尺度非点源污染估算和预测的准确性^[7]。同时,此类模型通过结合 GIS 等工具也被广泛应用于非点源污染负荷核算中^[8]。对于缺乏水文水质资料的特定流域中,若参考其他流域输出系数的方法,往往不符合研究区域的实际情况,容易给结果造成一定偏差。不同土地利用等因素也造成非点源污染输出特征的差异性^[9-10],因此,清晰辨别研究区域污染源以及确定各污染源的输出系数值是应用该方法的关键。输出系数法虽常被应用于大尺度流域,鉴于本研究区域为集水流域可划分、农业污染源明确以及无工业点源污染的流域,且各个监测断面形状规则利于监测,本文通过定点监测与输出系数模型相结合的方法,在全城坞小流域进行 2014 年 1—12 月各断面水质及大气湿沉降(降雨)实地监测的前提下,研究该地区年际非点源氮磷输出的主要特征并核算验证各污染源非点源氮磷污染输出系数。以期为相似农业小流域水质研究以及非点源污染控制提供参照基础。

1 研究区概况

全城坞村小流域(119°41′50″—119°43′51″, 30°27′37″—30°29′24″)位于浙江省杭州市余杭区鸬鸟镇,东邻黄湖,南连临安市横畈,北接百丈,西接安吉

县山川乡,占地面积约 659.92 hm²,人口为 1 028 人。调查研究表明,该小流域内在监测时段中无点源污染,因此将该流域的污染均视为非点源污染。同时经实地考察,全城坞流域内非点源污染来源主要包括:耕地、林地、城镇村及工矿用地、农村生活、畜禽养殖、降雨输出。通过 ArcGIS 10.2 软件生成研究区域的水系及集水流域,并进一步依据输出系数模型所需参数个数,采用嵌套式布点的方法在河流中布设水质监测断面,分别位于该地区划分得到集水流域的出口,其编号分别为 D₁, D₂, D₃, D₄, D₅。

本研究所地区的耕地土壤属于潴育水稻土(黄斑田),林地土壤属于黄红壤(黄泥沙土),土壤氮磷背景值如表 1 所示。通过对该研究区域的实地调查获得农村生活及畜禽养殖数据,解译 2014 年的 OLI-TIRS 影像数据,并根据分类规范(GB/T21010-2007)获得该全城坞流域的土地利用情况。进一步用 ArcMap 中的区域分析功能对各断面所代表的集水流域进行耕地面积、林地面积、城镇村及工矿用地面积进行统计,得到如表 2 所示信息。

表 1 研究区土壤性质

土壤类型	pH 值	背景值/(g·kg ⁻¹)		
		总碳	总氮	总磷
黄斑田	5.67	24.02	2.59	0.74
黄泥沙土	4.59	20.05	1.94	0.42

表 2 研究区集水流域基本信息

监测断面	耕地/hm ²	林地/hm ²	城镇村及工矿用地/hm ²	农村生活/人	畜禽养殖/头
D ₁	1.52	107.64	10.16	226	24
D ₂	0.51	215.72	6.86	153	16
D ₃	2.44	264.37	24.69	550	59
D ₄	9.51	574.46	40.39	899	90
D ₅	13.29	600.46	46.17	1 028	110

注:畜禽养殖的头数通过猪当量换算得到,其中肉鸡、蛋鸡、羊、肉牛、奶牛的猪当量折算系数分别为 1/60, 1/30, 1/3, 5, 10。由于解译精度受限,同时该研究区域农用地(耕地+林地)的面积占 93%,交通运输用地等土地利用临近城镇村及工矿用地且占地面积小,因此在本研究解译及统计过程中将其归于该流域的城镇村及工矿用地中。D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ 表示 5 个断面。下同。

2 材料与方法

2.1 样品测试分析方法

本研究选取 2014 年 1—12 月中每月代表日 8:00

至翌日 8:00 进行该流域水样采集及流量的测定,其中水样每 30 min 采集 1 次。采集完毕后以每个水样采集时段的累计流量为体积权重制备当次监测混合水样;流量采用 STARFLOW 超声波多普勒流量计,在各断面监测现场进行实时测定,每 5 s 记录 1 次读数,本研究将每月 15 日所监测的数值用作于输出系数模型的核算,每月 5 日所监测的数值用作于该模型的验证。

参照《大气降水采样与分析方法》GB13 580.2-92 在该研究区域布设 2 个点,利用聚乙烯塑料小桶放置监测断面 D₂,D₃ 附近相对高度为 1.5 m 的空旷地段进行采样,视降雨频次而定(2014 年每月监测降雨 2~7 场),监测指标以各场降雨量为权重计算得到每月降雨平均浓度,每次水样取 3 个平行样,在现场进行预处理后,统一由高密度聚乙烯瓶置于移动冰箱冷藏保存后,带回实验室立即进行各个指标的测试。

参照《水与废水监测分析方法》(第 4 版),TN 测试采用消解紫外分光光度法;NH₄⁺-N 测试采用纳氏试剂比色法;NO₃⁻-N 测试采用紫外分光光度法;TP 测试采用消解—钼酸铵分光光度法;水样过 0.45 μm 滤膜采用消解—钼酸铵分光光度法测得溶解性总磷(DTP)。数据分析采用 Origin 8.0 进行处理,数据核算采用 Matlab 7.0 进行处理。

2.2 输出负荷核算方法

通过实地调查,综合考虑土地利用形式、农村生活、畜禽养殖及降雨输出等因素,利用 ArcGIS 10.2 软件对研究区域进行集水流域划分,进一步在集水流域出口设立监测断面,并通过断面一整年的监测数据,在 Johns 等^[7]提出的输出系数模型基础上,以软件划分获得的集水流域为基本计算单元建立该流域考虑降雨输出的非点源负荷输出系数法计算模型,并通过最优化数学方法进行参数率定,得到流域非点源各污染物的输出系数,同时对各断面污染物输出特征及研究区域非点源污染物来源进行分析。其中,以各断面所控制的集水流域为基本计算单元(各集水流域出口设置监测断面),根据每次各断面的水量、水质同步监测数据,以径流量为权重,求出加权平均浓度近似作为断面径流的平均浓度,乘以断面径流量得到非点源污染负荷量^[11],并通过核算时段时间转换系数得到年非点源负荷量,其计算表达式为:

$$L_m = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \bar{Q} \quad (1)$$

式中: L_m ——集水流域年非点源负荷(kg); C_i ——第 i 次断面的监测浓度(kg/m³); Q_i ——第 i 次断面

的监测流量(m³/s); \bar{Q} ——核算时段平均流量(m³/s); K ——表示总负荷核算时段时间转换系数。利用该方法计算丰、平、枯各季负荷然后求和,其中丰水期为 6—9 月、平水期为 3—5 月、10—11 月、枯水期为 1—2 月、12 月^[12]。

2.3 考虑降雨输出的模型建立

确定各污染源合理的输出系数值是输出系数模型在特定流域中应用时的重点。影响流域非点源污染输出系数的因素包括地形地貌、水文气候等自然因素,也包括管理措施以及人类活动等人为因素^[6]。本研究断面水质水量同步监测的基础上,同时对该研究区域的降雨情况进行了监测,将降雨监测得到污染物浓度与断面流量的乘积作为降雨污染物输出的负荷(通常,降雨输出为雨水浓度、降雨量及径流系数三者的乘积,本研究中将断面流量视为该断面所覆盖区域的降雨量与径流系数的乘积)。确定污染物的类型和污染源的种类是决定模型的基本结构和输出系数个数的前提^[6],进一步利用监测及统计数据进行参数率定得到全城坞流域各个非点源污染源的输出系数,模型的一般表达式为^[12]:

$$L_k = \sum_{j=1}^n E_j A_j + \sum_{i=1}^m K_a C_i Q_i \quad (2)$$

式中: k ——集水流域的类别; j ——核算流域中污染源的种类,共 n 个; i ——断面及降雨监测次数,共 m 次; L_k ——污染物在流域 k 中的总负荷量(kg/a); E_j ——污染物在第 j 种污染源的输出系数[kg/(hm²·a)],其中农村生活的单位为[kg/(人·a)],畜禽养殖的单位为[kg/(头·a)]; A_j ——第 j 种污染源的数量; C_i ——第 i 月降雨中污染物平均浓度(kg/m³); K_a ——降雨负荷核算时段时间转换系数。

根据该流域的特点,识别主要污染物的类型有 TN,TP,主要的污染源种类有耕地、林地、城镇村及工矿用地、农村生活、畜禽养殖及降雨输出。当降雨输出负荷已知时,计算模型需要确定的参数的个数是 5。因此将该流域划分为 5 个集水流域,根据公式可以列出 5 个方程,组成线性方程如下:

$$\begin{cases} L_1 = \sum_{j=1}^5 E_j A_j + \sum_{i=1}^{12} K_a C_i Q_i \\ L_2 = \sum_{j=1}^5 E_j A_j + \sum_{i=1}^{12} K_a C_i Q_i \\ L_3 = \sum_{j=1}^5 E_j A_j + \sum_{i=1}^{12} K_a C_i Q_i \\ L_4 = \sum_{j=1}^5 E_j A_j + \sum_{i=1}^{12} K_a C_i Q_i \\ L_5 = \sum_{j=1}^5 E_j A_j + \sum_{i=1}^{12} K_a C_i Q_i \end{cases} \quad (3)$$

式中: L ——集水流域的某种污染物的非点源污染负荷,利用平均浓度法^[12]可以计算出其值; A ——污染

源的数量,根据调查资料为已知值;以月为单位,断面及降雨同步监测共计 12 次,公式中共有 5 个未知数,解此线性方程组可求得输出系数,即 E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 。

3 结果与分析

3.1 流域降雨量及径流量变化特征

降雨产生的径流是往往是造成流域氮磷流失的重要因素^[13]。自 2014 年 1 月 1 日至 2014 年 12 月 31 日,全城坞流域全年累积降雨量 1 438.5 mm,其中 5—8 月的降雨量占全年降雨量的 54%(全年最大的次降雨事件发生在 7 月 27 日,降雨量为 87 mm,最大雨强为 30 mm/h)。本研究区域降雨较多且雨量

充沛。在该年的 1,2,11 月降雨较少,该 3 个月累计降雨量仅占全年降雨量的 18%。

监测结果显示(图 1),各断面流量波动情况具有相似性。自 6 月份起,由于梅雨季节造成的持续性降雨,导致该区域在后 3 个月中各断面流量增大,其中 7 月份各断面流量达到峰值,因此降雨也是导致流量变化的关键因素,降雨量年内分布不均造成流量呈现出季节性变化,流量高峰主要集中在夏季。各断面间的流量差异性主要由于集雨面积以及农村生活排水造成, D_1-D_5 集雨面积不断增大以及农村生活排水量不断增加,造成: D_5 流量 $>$ D_4 流量 $>$ D_3 流量 $>$ D_2 流量 $>$ D_1 流量的结果。

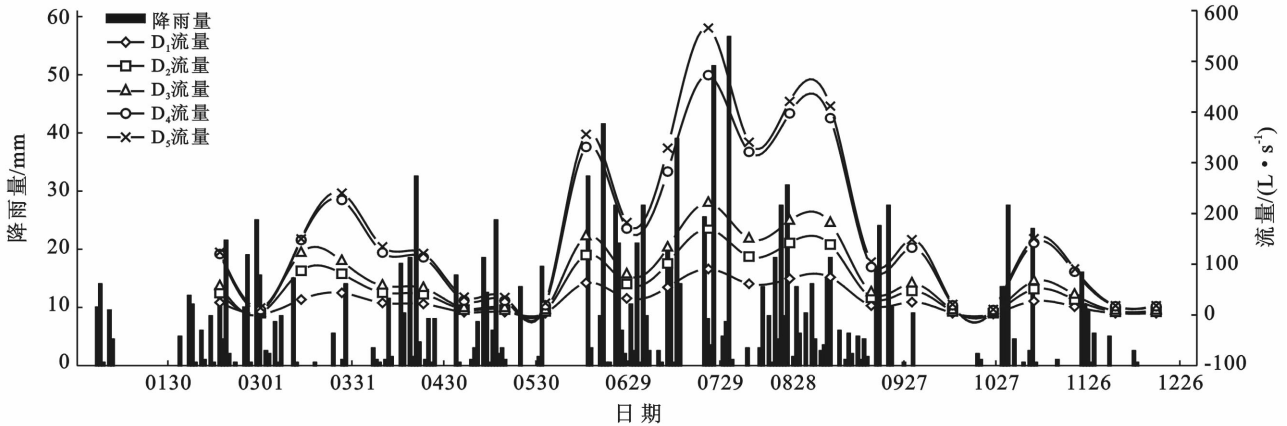


图 1 2014 年全城坞流域日降雨量及各监测断面流量变化情况

3.2 降雨及断面监测氮磷变化特征

对采集于 2014 年 1—12 月间各月代表日的河流断面水样进行测试分析,图 2 显示该地区河流中 TN 含量为 1.83~5.53 mg/L,其平均值为 3.24 mg/L,处于劣 V 类水平(地表水环境质量标准 GB3838-2002,湖、库,以 N 计);各监测断面中 NH_4^+-N 含量所占比例小,在 7—9 月 NH_4^+-N 含量有明显增高趋势,降雨水质监测结果表明, NH_4^+-N 所占比例较大,对比图 1 发现该时段处于降雨高峰期,降雨是造成 NH_4^+-N 含量升高的诱因;从各监测断面 NO_3^--N 含量所占比例可以得出,径流中氮流失是以 NO_3^--N 形式为主。

从图 3 可以得出,TP 含量为 0.03~0.14 mg/L,其平均值为 0.08 mg/L,处于地表 II 类或 III 类水标准(以 P 计)。断面监测结果表明,在降雨高峰期断面监测 TP 浓度波动大,且主要以颗粒态磷(DTP)流失为主,其中断面 1 及断面 4 全年磷流失以颗粒态为主,其原因可能是该研究区域磷含量普遍较低,该监测断面又受区域农村生活污水及河道淤泥扰动的影响大;降雨水质监测结果表明,该地区降雨中磷流失主要以溶解态形式为主。

将监测得到 2014 年各月的污染物浓度(图 2 及图 3)及流量(图 1)水文数据代入污染物年输出负荷公式(1),其监测断面的污染物年输出负荷如表 4 所示。监测断面 D_1-D_5 分别代表 5 个集水流域的出口,其中断面 1 及断面 2 代表的集水流域相对独立,其余监测断面所代表的集水流域相互嵌套。由于随着流域面积的增加,各污染源的数量也随之增加,监测断面 D_3-D_5 污染物总流失量呈逐渐递增的趋势。研究表明,降雨输出是非点源污染物流失的重要组成部分,监测研究区域降雨中的污染物水平,结合各断面的流量数据得到各集水流域的降雨输出负荷,降雨中的 TN 水平较 TP 水平相比普遍较高。核算得到 D_1-D_5 降雨输出负荷分别为 TN: 2 540.20, 4 751.67, 6 208.18, 13 284.94, 14 410.61 kg; TP: 15.04, 28.15, 36.78, 78.69, 85.00 kg。

3.3 参数率定及验证

将 2014 年各监测断面非点源污染物总流失负荷(表 4)、降雨输出负荷与各污染源统计信息(表 2)代入输出系数模型计算公式(3)中,通过最优化的数学方法得到耕地、林地、城镇村及工矿用地、农村生活、畜禽养殖的 TN, TP 输出系数核算结果(表 3),并在

表 3 中统计了其他学者的输出系数研究成果。耕地的 TN 及 TP 输出系数相比其他流域的研究结果数值偏小,可能是由于该地区的耕地的种植主要以单季稻为主,在其他流域耕地的种植主要以多季稻等作物

为主。农村生活的 TN,TP 输出系数明显高于其他流域,通过实地调查,该研究区域农村生活污水的处理相对简单,主要以“三格式”化粪池或者直排的方式入河,这是造成农村生活输出系数偏高的主要原因。

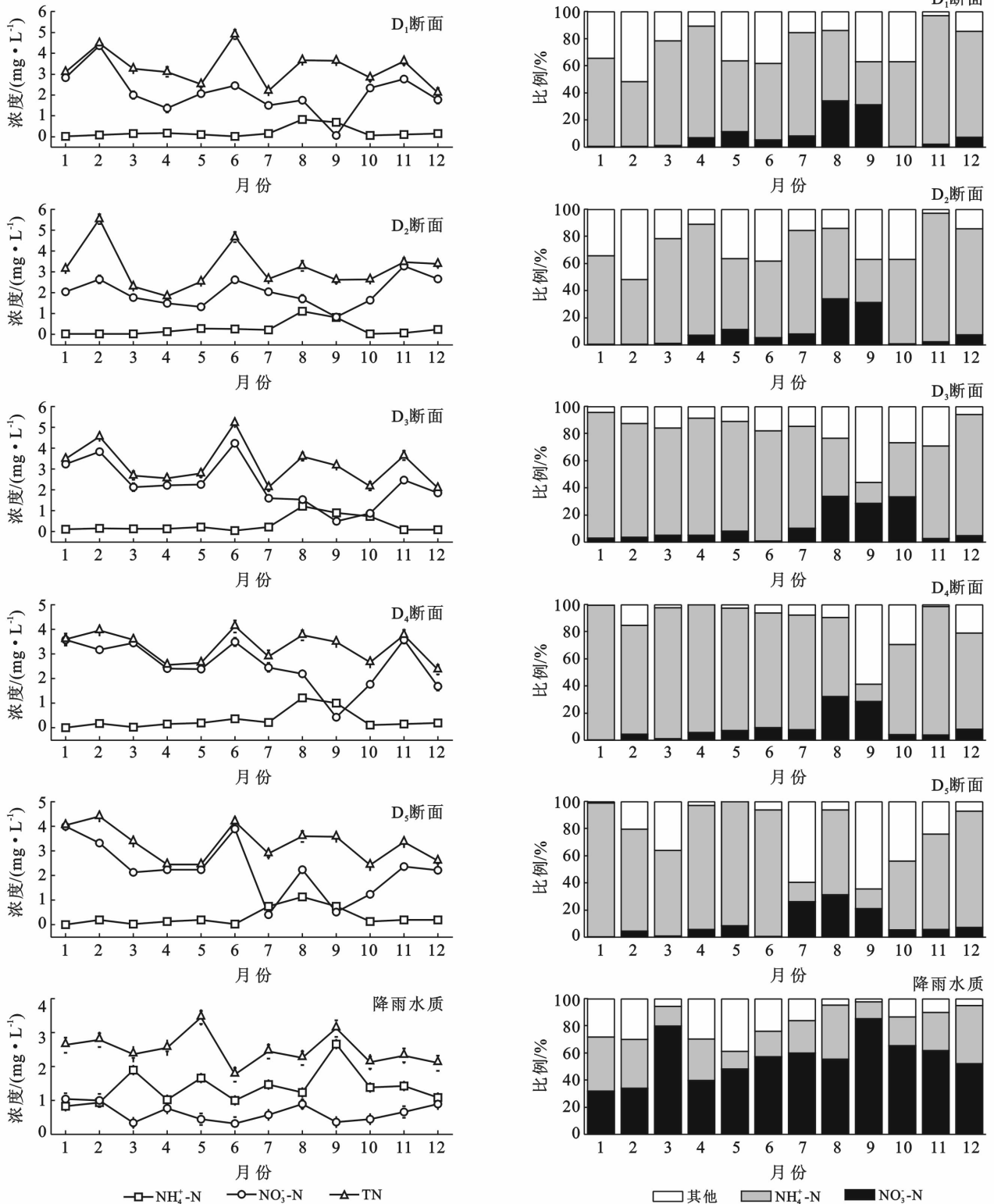


图 2 全城坞小流域 2014 年非点源 TN 月流失量

通过数据核算得到污染物流失总负荷以及降雨输出负荷,结合各断面所代表的集水流域基本信息

(表 2),根据各污染源的输出系数(表 3)及各污染源的统计信息(表 2)相乘得到输出负荷占比情况如表

3. 其中, 降雨输出负荷是通过实测降雨资料结合公式(2)中的降雨输出部分核算获得。结合表 3 可知, 全城坞流域各污染源 TN 输出负荷由大到小分别为: 降雨输出 > 林地 > 城镇村及工矿用地 > 耕地 > 农村生活 > 畜禽养殖, 其中降雨中 TN 输出负荷所占比例较大为 75.82%, 由此可见该地区降雨中 TN 的流失不容忽视, 其次为林地输出, 占 20.01%, 实地考察得

到该地区以林地为主且面积较大, 部分林地施用有机肥是造成林地 TN 输出较大的主要原因; 各污染源的 TP 输出负荷由大到小分别为: 林地 > 农村生活 > 降雨输出 > 城镇村及工矿用地 > 畜禽养殖 > 耕地, 其中林地 TP 输出占 49.16%, 其次为农村生活 TP 输出占总输出的 21.35%, 因此, 对林地、农村生活中 TP 的输出控制是治理该地区非点源污染物的关键。

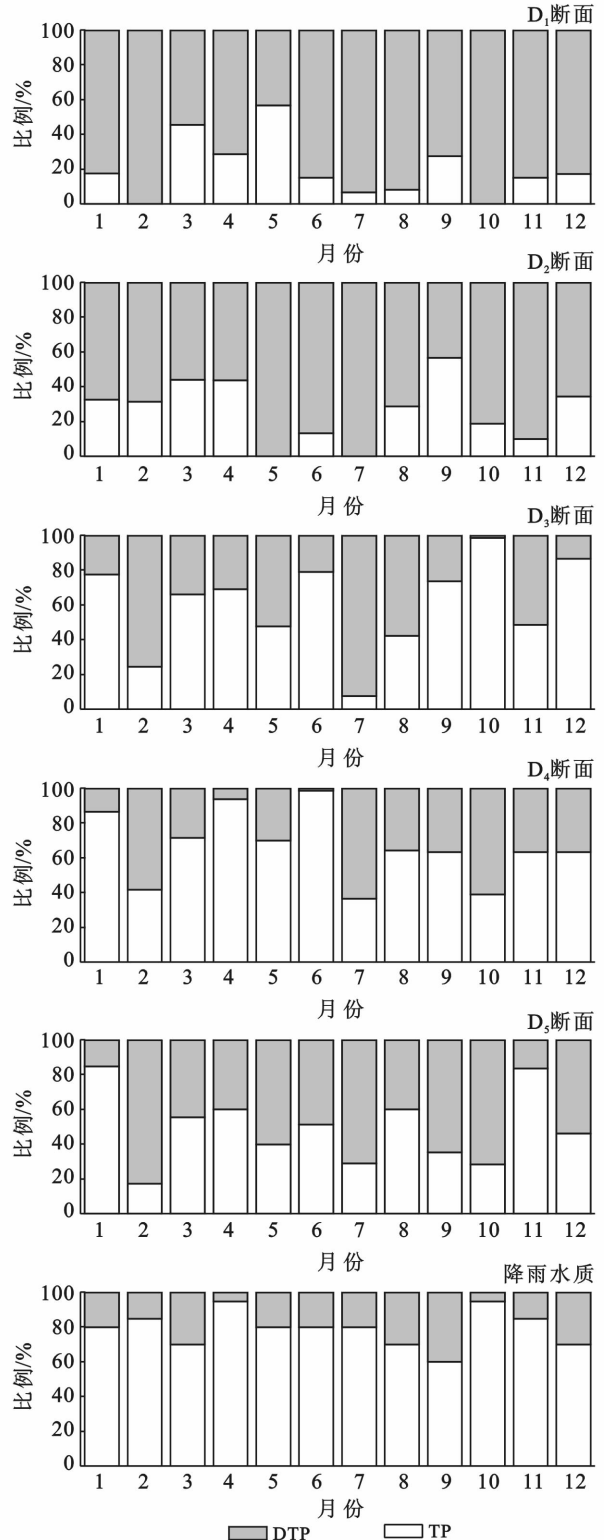
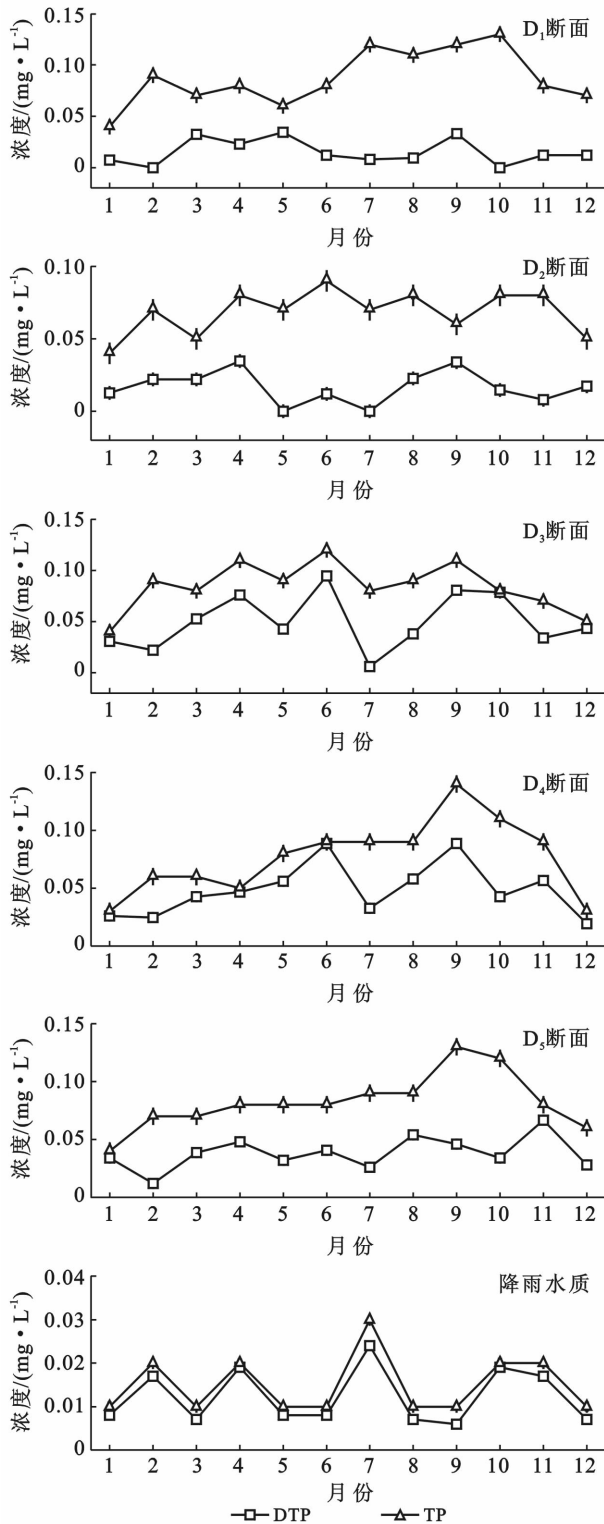


图 3 全城坞小流域 2014 年非点源 TP 月流失量

表 3 全城坞流域非点源污染输出系数

污染源	输出系数		其他流域文献参考系数		负荷/kg		百分比/%	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP
耕地/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	15.87	0.46	19.40~29.00 ^[14-18]	0.90~2.26 ^[14-18]	210.91	6.11	1.11	1.28
林地/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	6.33	0.39	0.43~11.90 ^[14-18]	0.12~1.53 ^[14-18]	3 800.91	234.18	20.01	49.16
城镇村及工矿用地/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	6.27	0.67	7.17~17.14 ^[14-15,17-18]	0.24~7.33 ^[14-15,17-18]	289.49	30.93	1.52	6.49
农村生活[kg/(人·a)]	0.20	0.10	0.01~0.04 ^[19-21]	0.01~0.06 ^[19-21]	205.60	102.80	1.06	21.35
畜禽养殖[kg/(头·a)]	0.83	0.16	0.27~4.42 ^[22-24]	0.21~2.53 ^[22-24]	91.30	17.60	0.48	3.79
降雨输出	—	—	—	—	14 410.61	85.00	75.82	17.92

注：“—”表示未核算相应结果。

将 2014 年 1—12 月每月 5 日的监测结果代入负荷核算表达式(1)对该输出系数计算模型进行验证,即为表 4 中的监测值。

将输出系数、降雨监测数据代入公式(3)中获得表 4 中计算值,由于输出系数即为各断面负荷值结合最优化数学方法计算获得,因此各断面 TN,TP 计算值即为各断面污染物总流失负荷。如表 4 所示,该输

出系数计算模型在各断面平均模拟精度 TN,TP 分别达到 80.52% 以及 82.90%。研究表明,该输出系数计算模型具有一定的模拟精度,进一步说明通过最优化数学方法在该类型小流域核算得到的各污染源输出系数具有一定的参考价值,在下一步试验中增加采样频次以及监测断面有助于提高该方法在该流域中模拟精度。

表 4 全城坞流域非点源污染输出系数计算模型模拟精度

监测断面	监测值/kg		计算值/kg		误差/%	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
D ₁	2 745.32	64.97	3 373.88	90.50	-22.90	-39.30
D ₂	5 250.18	97.04	6 212.15	134.41	-18.32	-38.51
D ₃	7 055.67	215.09	8 232.51	220.83	-16.68	-2.67
D ₄	14 271.99	444.89	17 577.67	436.30	-23.16	1.93
D ₅	16 332.99	489.44	19 006.03	474.27	-16.37	3.10

4 结论

(1) 对全城坞流域进行 5 个断面水质监测的结果表明,TN 含量为 1.83~5.53 mg/L,其平均值为 3.24 mg/L,主要以 NO₃⁻-N 的形式流失为主;TP 含量为 0.03~0.14 mg/L,其平均值为 0.08 mg/L,降雨高峰期主要以颗粒态磷流失为主。

(2) 实地采集监测该研究区域雨水中的 TN,TP 指标,结合各断面累计流量得到降雨输出负荷。研究表明在该流域中降雨输出不可忽视,其中 2014 年 TN,TP 年输出量总量分别为 14.41,0.85 t,监测降雨水质得到,该研究区域雨水中氮流失以 NH₄⁺-N 形式为主,磷流失以溶解态形式为主。

(3) 基于实测资料以及输出系数法计算模型,通过最优化数学方法核算得到各污染源 TN,TP 输出系数。该输出模型具有一定的模拟精度,通过验证得到 TN,TP 负荷的模拟精度分别为 80.52% 以及 82.90%。说明此方法在该类型小流域的适用性,核算所得输出系数为相似流域提供参考。

(4) 该流域 TN 输出以降雨输出为主占 75.82%,

其次为林地占 20.01%;流域 TP 输出中,林地输出最大,为 49.16%,农村生活 TP 输出占非点源污染输出的 21.35%。因此,为控制非点源污染流失,针对该小流域林地以种植毛竹为主的特点,通过竹腔施肥^[25]等技术实现林地的合理施肥以及对农村生活污水进行纳管收集等措施。

[参 考 文 献]

- [1] Ongley E D, Zhang Xiaolan, Yu Tao. Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China[J]. Environment Pollution, 2010, 158 (5):1159-1168.
- [2] 崔健,马友华,赵艳萍,等.农业面源污染的特性及防治对策[J].中国农学报,2006,22(1):335-340.
- [3] Weld J L, Parsons R L, Beelgle D B. Evaluation of phosphorus based nutrient management strategies in Pennsylvania[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002,57(6):448-454.
- [4] Shen Zhenyao, Liao Qian, Hong Qian, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China[J]. Separation and Purification

- Technology, 2012, 84(9):104-111.
- [5] 朱瑶,梁志伟,李伟,等. 流域水环境污染模型及其应用研究综述[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10):3012-3018.
- [6] 黄永刚,付玲玲,胡筱敏. 基于河流断面监测资料的非点源负荷估算输出系数法的研究和应用[J]. 水力发电学报, 2012, 31(5):159-162.
- [7] Johns P J. Evaluation and management of the impact of land use on the Nitrogen and Phosphorus load delivered to surface water[J]. Journal of Hydrology, 1996, 183(3):323-349.
- [8] 郝旭,张乃明,史静. 昆明市云龙水库径流区氮磷非点源污染负荷分析[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6):274-278.
- [9] 李艳利,徐宗学,李艳粉,等. 辽河流域水质状况及其对土地利用/覆被变化的响应[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2):72-77.
- [10] 张福平,赵沙,周正朝,等. 沔河流域土地利用格局与水质变化的关系[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4):308-312.
- [11] 杜娟,李怀恩,李家科. 基于实测资料的输出系数分析与陕西沔河流域非点源负荷来源探讨[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(4):827-837.
- [12] 李怀恩,李家科. 流域非点源污染负荷量化方法研究与应用[M]. 北京:科学出版社, 2013.
- [13] 田平. 基于 GIS 杭嘉湖地区农田氮磷径流流失研究[D]. 杭州:浙江大学, 2006.
- [14] 廖义善,卓慕宁,李定强,等. 基于“径流一地类”参数的非点源氮磷负荷估算方法[J]. 环境科学学报, 2014, 34(8):2126-2132.
- [15] 黄金良,洪华生,张珞平,等. 基于 GIS 的九龙江流域农业非点源氮磷负荷估算研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5):866-871.
- [16] 赵广举,田鹏,穆兴民,等. 基于 PCRaster 的流域非点源氮磷负荷估算[J]. 水科学进展, 2012, 23(1):80-86.
- [17] 刘瑞民,杨志峰,丁晓雯,等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究[J]. 环境科学, 2006, 27(12):2407-2414.
- [18] 王欢欢,陈世俭. 土地利用结构变化对非点源污染的影响研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S2):25-28.
- [19] 谭平,马太玲,赵立欣,等. 巢湖农村生活污水产排污系数测算及处理模式分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(13):88-91.
- [20] 严婷婷,王红华,孙旭旭,等. 滇池流域农村生活污水产排污系数研究[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(4):46-48.
- [21] 蔡金洲,范先鹏,黄敏,等. 湖北省三峡库区农业面源污染解析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7):1421-1430.
- [22] 苏文幸. 生猪养殖业主要污染源产排污量核算体系研究[D]. 长沙:湖南师范大学, 2012.
- [23] 何志平,曾凯,李正确,等. 四川规模猪场产排污系数测定[J]. 中国沼气, 2010, 28(4):10-14.
- [24] 汪开英,刘健,陈小霞,等. 浙江省畜禽业产排污测算与土地承载力分析[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12):3043-3048.
- [25] 林自强,江建煌. 竹腔施肥技术[J]. 安徽林业科技, 2011, 37(5):79-80.

(上接第 29 页)

- [15] 吕昌伟. 内蒙古高原湖泊碳(氮/磷/硅)的地球化学特征研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2008.
- [16] 冯峰,王辉,方涛,等. 东湖沉积物中微生物量与碳、氮、磷的相关性[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3):342-345.
- [17] Burford M A, Green S A, Cook A J, et al. Sources and fate of nutrients in a subtropical reservoir[J]. Aquatic Sciences, 2012, 74(1):179-190.
- [18] 袁和忠,沈吉,刘恩峰. 太湖不同湖区沉积物磷形态变化分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(11):1522-1528.
- [19] Venterink H O, Davidsson T E, Kiehl K, et al. Impact of drying and re-wetting on N, P and K dynamics in a wetland soil[J]. Plant and Soil, 2002, 243(1):119-130.
- [20] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 北京:科学出版社, 1979.
- [21] 刘国峰,张志勇,刘海琴,等. 底泥疏浚对竺山湖底栖生物群落结构变化及水质影响[J]. 环境科学, 2010, 31(11):2645-2651.
- [22] 李强,霍守亮,王晓伟,等. 巢湖及其入湖河流表层沉积物营养盐和粒度的分布及其关系研究[J]. 环境工程技术学报, 2013, 3(2):147-154.