

西苕溪流域土地利用对氮素径流流失过程的影响

于兴修^{1,2,3}, 杨桂山¹, 梁 涛⁴

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 临沂师范学院地理与旅游系, 山东 临沂 276005; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 采用野外实验地人工模拟降雨方法, 研究了浙江省西苕溪流域不同土地利用类型的土壤氮素径流流失过程。研究结果表明, 土地利用类型深刻地影响着径流及其氮流失的过程, 各种土地利用类型的产流时间、径流增长率、积累径流量和氮的流失过程均有明显差异: 相同降雨条件下, 产流所需时间菜地最长, 其余依次为稻田、竹林、草地和桑园; 径流增加及积累径流量最大的是稻田, 其它依次为桑园、竹林、草地和菜地; 各种土地利用类型径流中有效态氮浓度与降雨时间具有很好的相关性, 可以用不同的方程式进行模拟。

关键词: 西苕溪流域; 土地利用; 氮素流失; 非点源污染

中图分类号: X151.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)05-0424-04

Effects of Land Use in Xitiaoxi Catchment on Nitrogen Losses from Runoff

YU Xing-xiu^{1,2,3}, YANG Gui-shan¹, LIANG Tao⁴

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China; 2. Department of Geography and tourism, Linyi Teacher's College, Linyi 276005, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. Institute of Geographical Sciences and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: More and more attention has been paying on water pollution caused by nutrients, such as nitrogen and phosphorus and so on. It is necessary to study the mechanisms of nitrogen and phosphorus losses of runoff so as to establish distribution model of transporting nutrients and, if possible, to calculate the amount of their losses accurately. It has been indicated that land exploitation has affected the courses of nitrogen losses deeply from the data of rainfall simulation experiment in Xi Tiao Xi Catchment. As for the time of generating runoff, it is the longest under vegetable field, followed by rice field, bamboo field, grass field and mulberry field. While the greatest rate of runoff increasing and the whole amount of runoff is under rice field, and then mulberry field, bamboo field, grass field and vegetable field respectively. Furthermore, the variation courses of effective nitrogen concentration under different land use types can be simulated with different models since the relation between those course and rainfall time.

Keywords: Xitiaoxi Catchment; land use; nitrogen losses; non-point source pollution

土壤氮磷等元素流失导致水体农业非点源污染和土壤肥力的下降, 使得氮磷等营养元素的流失和非点源污染研究日益受到重视。研究降雨径流中的土壤氮磷养分损失规律对协调农业生产与水环境保护问题具有重要意义。我国在一些地区进行了有关总量或单一土地利用类型等方面的分析研究^[1、5], 由于缺乏土地利用与覆被及其格局对氮磷流失过程、机理影响的研究, 只能根据平均状况计算其流失量, 结果的精度受到影响。对此, 我们通过野外降雨模拟实验数据,

对浙江省西苕溪流域水田、林地、园地、草地和菜地等 5 种不同土地利用类型的土壤氮素径流流失进行研究, 分析不同土地利用与覆被类型对氮素流失过程的影响, 以期建立氮磷等营养元素输移的分布式模型、精确计算流域氮磷的负荷, 进而为控制流域水环境非点源污染和防止水体的富营养化及生态环境治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西苕溪位于浙江省湖州市境内, 发源于安吉县永和乡的狮子山, 最后注入太湖, 流域面积 2 274 km²。流域内年平均气温为 15.5℃, 无霜期 241 d 左右, 多年

收稿日期: 2002-01-05

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-310); 国家自然科学基金重点项目资助(49831070)

作者简介: 于兴修(1967—), 男, 山东莒县人, 博士研究生, 主要从事土地利用/覆被变化研究, E-mail: xxyu@niglas.ac.cn

平均降水量为 1 385.9 mm。流域地势西南高,东北低,依次呈山地、丘陵、平原的梯度分布,但以低缓丘陵和平原为主。流域内土地利用类型齐全,以林地为主,其次是耕地、草地、工矿及居民用地、水田、园地及未利用地。其中,林地中以竹林为主,占 50% 以上;耕地中以水田为主,约占 86%。流域内地带性土壤主要是红壤及黄壤,耕作土主要是水稻土。

1.2 研究方法

1.2.1 人工模拟降雨实验

人工降雨实验装置由中国科学院地理与资源研究所研制,主要包括供水系统、人工模拟降雨机、供收集并测定径流量的 V 型受水槽等三部分。实验样方长 2 m、宽 1.5 m,四周设置塑料挡板防止降雨泥沙溅出。野外实验地点在湖州市杨家埠镇,于 2001 年 9 月 20—27 日配合中科院地理科学与资源研究所进行。在竹林、稻田、桑园、菜地和草地等 5 种具有良好代表性的土地利用类型上各作 3 个样方实验,以确保其一般性。流域内土层较厚,暴雨是该地区产流的主要形式,故人工降雨实验时,选用的降雨强度较大,为 1.8 mm·min⁻¹,属暴雨类型。每场实验在径流稳定且能保证取样 9 次后结束,由于各土地利用类型的产流时间不同,故各实验点的人工降雨时间不尽相同。降雨用水为饮用自来水。

1.2.2 采样和分析测定

自降雨试验开始即记录时间,产流后每 2 min 收集一次径流,用于测量径流体积、收集径流沉积物及分析径流氮浓度。径流全氮(TN)和过滤水总氮浓度用过硫酸钾氧化还原法测定,过滤水中的无机硝态氮(NO₃-N)用酚二磺酸比色法测定,铵态氮(DHN)用纳氏试剂比色法测定,亚硝态氮(NO₂-N)用甲萘胺

比色法测定。溶解态有机氮(DON)浓度和颗粒态氮(PN)浓度可用差减法算出。研究中所需数据均由中科院地理与资源研究所提供。

2 结果与分析

2.1 径流过程分析

表 1 是同一降雨条件下 5 种土地利用类型产流与径流的部分实测数据。从表 1 中可以看出,产流后各种土地利用类型的径流量均在增加,开始时入渗量大,径流量小,随后达到稳定的入渗率,径流率达到最大值,一直保持到降雨过程结束。但各种土地利用类型产流的时间、径流增加幅度及最大稳定径流率不同。就产流时间而言,菜地最长为 12 min,其它依次为稻田 5 min、竹林 3.5 min、桑园和草地为 2 min。积累径流量和最大径流量均表现为:稻田>桑园>竹林>草地>菜地。由于稻田和菜地是耕作土壤,尤其是菜地翻耕的频率与程度最高,土壤疏松,降水的入渗速率高,所以产流时间较长。由于稻田土壤的湿度大,土壤容易达到饱和,所以,积累径流量及最大稳定径流量最大;而菜地土壤疏松且厚度大,因而积累径流量和最大稳定径流量最小。

2.2 总氮及颗粒氮流失过程分析

对样品数据分析表明,5 种土地利用类型产生的径流中总氮和颗粒氮的浓度均呈下降趋势(表 2),每种土地利用类型中总氮和颗粒氮浓度几乎保持着相同的变化趋势。虽然总氮和颗粒氮的浓度随降雨过程降低,但颗粒氮占总氮的比例却没有大的变化:稻田为 83.6%—66.9%;菜地 82.2%—90.1%;草地 23.2%—36.9%;桑园 94.5%—96.2%;竹林 94.8%—93.2%。这表明土壤氮素径流流失的主要形

表 1 不同土地利用类型产流统计表

Table 1 Volume of runoff of different land use types

竹林		桑园		草地		菜地		稻田	
降雨时间	产流量	降雨时间	产流量	降雨时间	产流量	降雨时间	产流量	降雨时间	产流量
/min	/mL	/min	/mL	/min	/mL	/min	/mL	/min	/mL
3.5	0	2	0	2	0	12	0	5	0
7.5	1 160	6	1 150	6	1 040	16	220	9	460
11.5	2 080	10	2 380	10	1 180	20	230	13	1 240
15.5	3 000	14	3 240	14	1 160	24	360	17	3 000
19.5	3 260	18	3 640	18	1 180	28	460	21	3 960
23.5	3 480	22	3 780	22	1 140	32	640	25	4 200
27.5	3 580	26	4 040	26	1 440	36	1 040	29	4 320
31.5	3 450	30	4 240	30	1 380	40	1 060	33	4 400
33.5	3 450	32	4 100	32	1 360	42	1 040	35	4 300
35.5	3 430	34	4 230	34	1 420	44	1 160	37	4 300

表 2 总氮及颗粒氮在径流产生和降雨结束时的浓度
Table 2 Concentrations of TN and PN at runoff and precipitation

土地利用类型	TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		PN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		DIN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	
	径流开始后	降雨结束前	径流开始后	降雨结束前	径流开始后	降雨结束前
竹林	9.879	4.015	9.332	3.74	0.445	0.290
桑园	23.840	13.043	22.522	12.545	0.611	0.318
草地	8.655	2.961	2.007	1.094	1.782	0.806
菜地	14.33	12.255	11.773	11.041	0.661	0.893
稻田	6.888	2.086	5.759	1.397	0.445	0.212

式为颗粒氮。由于泥沙聚集效应的存在,颗粒氮往往随泥沙在坡下富集,并不一定全部随径流进入河流或湖泊。

2.3 有效态氮流失过程分析

有效态氮的流失是土壤肥力下降和土壤退化的直接原因,硝态氮的淋失与淋溶可引起地表水体富营养化及地下水污染。表 2 表明,草地径流中有效态氮的浓度最高。从有效态氮(DIN)的组成上看,各种土地利用类型径流中主要是 NO_3-N 和DHN,而 NO_2-N 的比例很小(菜地最高为9.1%,竹林4.1%,草地2.9%,稻田1.2%,桑园0.85%),并且除草地径流中

DHN 高于 NO_3-N 外,其它 4 种土地利用类型的径流中均表现为 NO_3-N 高于DHN(图 1)。整个径流过程中,径流开始时,各种土地利用类型中有效态氮的浓度均下降很快,菜地径流中有效态氮的流失随时间有所增加(表 2,图 1),其它几种土地利用类型有效态氮的浓度在径流中总体上呈下降趋势,但具体过程不同(图 1)。用不同土地利用类型各自三场雨的数据进行统计分析表明,径流中有效态氮浓度的变化与时间具有很好的相关性:竹林、桑园、菜地和稻田条件下可用函数关系进行拟合,草地条件下则呈良好的对数关系,具体关系式如表 3。

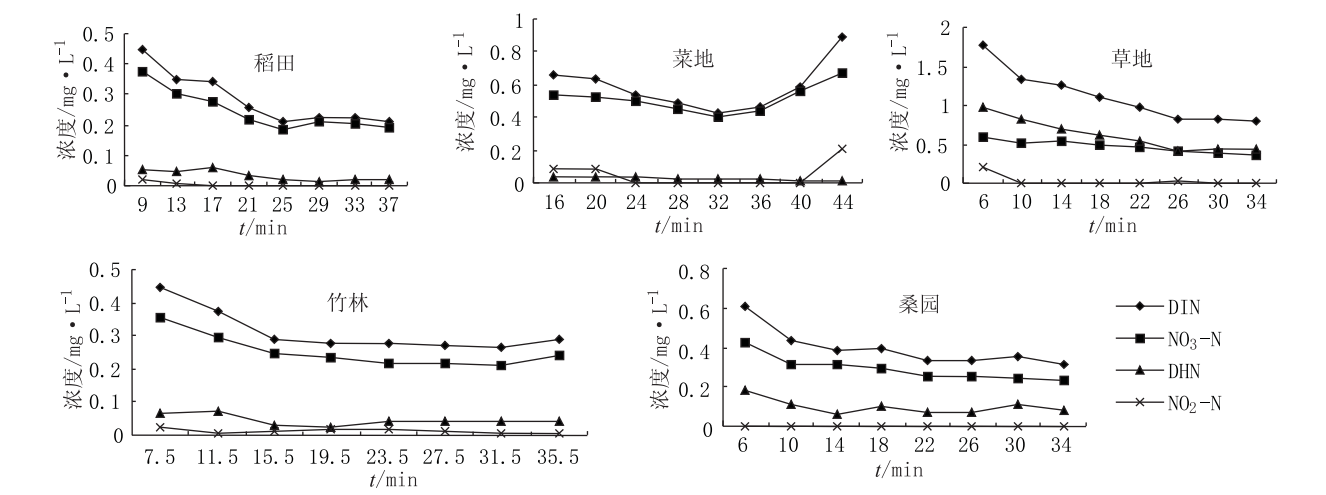


图 1 不同土地利用类型径流中有效态氮的浓度随降雨时间的变化

Figure 1 Courses of concentration change of dissolved inorganic nitrogen (DIN) with time under different land use types

表 3 不同土地利用类型径流有效态氮的浓度随时间的变化

土地利用类型	方程	相关系数	样本数	显著水平
竹林	$Y = -0.001\ 1 X^3 + 0.023\ 2 X^2 - 0.149\ 7 X + 0.575\ 6$	$R^2 = 0.969\ 5$	24	$P < 0.001$
桑园	$Y = -0.002\ 8 X^3 + 0.046\ 4 X^2 - 0.255\ 4 X + 0.810\ 2$	$R^2 = 0.945\ 1$	24	$P < 0.001$
草地	$Y = -0.473\ 7 \ln(X) + 1.741\ 8$	$R^2 = 0.977\ 8$	24	$P < 0.001$
菜地	$Y = 0.006\ 5 X^3 - 0.060\ 9 X^2 + 0.105\ X + 0.610\ 1$	$R^2 = 0.995\ 3$	24	$P < 0.001$
稻田	$Y = 0.006\ 9 X^2 - 0.093\ 5 X + 0.528\ 5$	$R^2 = 0.952\ 9$	24	$P < 0.001$

注:方程式中的 Y 代表有效态氮的浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, X 代表降雨时间,min。

3 结论与讨论

(1) 相同降雨条件下, 不同土地利用类型产流所需时间不同, 菜地最长, 其余依次为稻田、竹林、草地和桑园; 相同降雨条件下, 不同土地利用类型的径流过程及径流量差别也很大, 径流增加及积累径流量大的是稻田, 其它依次为桑园、竹林、草地和菜地。

(2) 径流中氮的流失以颗粒氮为主, 有效态氮中以硝态氮和氨态氮为主。

(3) 各种土地利用类型径流中有效态氮的流失总体上以不同幅度下降, 由于菜地为土下施肥及翻耕操作, 表土以下氮的含量较高, 因而径流中氮的浓度随时间有所增加。

(4) 上述结果表明, 利用平均浓度及平均径流量计算土地利用类型复杂地区氮流失量会有较大误差, 必须考虑不同土地利用类型的产流时间、径流及氮的流失过程等多种因素。

(5) 有效态氮在径流开始时流失浓度较高, 表明

其容易流失, 因而应避免大暴雨前给农田施肥。

在我国的一些地区, 非点源污染比例超过点源污染, 土壤侵蚀引起的氮素流失对环境的污染是一种非点源污染。在综合考虑多种因素的基础上, 研究土地利用与覆被变化对径流及其氮素流失机理的影响可以为精确估算氮素的流失量、控制氮素流失提供基本依据。

参考文献:

[1] 吕 耀. 农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 35 - 39.

[2] 张兴昌, 邵明安. 侵蚀条件下土壤氮素流失对土壤和环境的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 249 - 252.

[3] 杨金玲, 张甘霖, 周瑞荣. 皖南丘陵地区小流域氮素径流输出的动态变化[J]. 农村生态环境, 2001, 17(3): 1 - 4.

[4] 张兴昌, 邵明安. 水蚀条件下不同土壤氮素和有机质流失规律[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 231 - 234.

[5] 黄满湘, 章 中, 唐以剑, 等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 6 - 10.

(上接第 423 页)

机污染物的复合污染结果相一致^[9]。

3 结论

(1) 低浓度的外源铜离子在红壤中的吸附量随 pH 变化明显变化, 而在黑土中的吸附随 pH 变化改变较小, 吸附均可达 90% 以上。同时吸附在红壤中的铜也较吸附在黑土中的铜易于解吸。

(2) 有机污染物邻苯二胺对铜在两种土壤中的吸附和脱附过程产生了明显影响, 酸性条件下邻苯二胺增加了红壤对铜的吸附量, 但同时也增加了铜的解吸百分数。而邻苯二胺不改变铜在黑土中的表观吸附量, 但显著影响铜的解吸百分数。

(3) 邻苯二胺对铜离子吸附影响的主要原因是邻苯二胺与铜离子之间发生了配位化学反应, 改变了溶液中铜离子的存在形态, 具体的作用机理正在进一步研究之中。

参考文献:

[1] 余国营, 吴燕玉. 土壤环境中重金属元素的相互作用及其对吸持

特性的影响[J]. 环境化学, 1997, 16: 30 - 36.

[2] 陈怀满, 等. 土壤 - 植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社.

[3] 涂 从, 郑春荣, 陈怀满. 土壤 - 植物系统中重金属与养分元素交互作用[J]. 中国环境科学, 1997, 6: 526 - 529.

[4] 郑春荣, 陈怀满. 复合污染对水稻生长的影响[J]. 土壤, 1989, 21: 10 - 14.

[5] 郑春荣, 陈怀满. 土壤 - 水稻体系中污染重金属的迁移及其对水稻的影响[J]. 环境科学学报, 1990, 10: 145 - 152.

[6] Balsberg P A M. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1989, 47: 287 - 319.

[7] Chiou C T and Kile D E. Deviations from sorption linearity on soils of polar and nonpolar organic compounds at low relative concentrations [J]. *Environ Sci Technol*, 1998, 32: 338 - 343.

[8] Xing B and Pignatello J J. Competitive sorption between 1, 3 - dichlorobenzene or 2, 4 - dichlorophenol and natural aromatic acids in soil organic matter[J]. *Environ Sci Technol*, 32: 614 - 619.

[9] 周东美. 土壤中有机污染物 - 重金属的交互作用及其机理研究[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所博士后研究报告, 1999.

[10] 齐 斌, 俞珊珊. 液膜法处理邻苯二胺废水[J]. 环境保护, 2000, (4): 15 - 16.