

西苕溪流域土地利用对氮素输出影响研究

李兆富^{1,2}, 杨桂山¹, 李恒鹏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)

摘要: 以位于太湖地区的西苕溪流域为研究区, 利用 Arcview 3.2 的水文模拟和空间分析扩展模块进行子流域划分和典型小流域选择, 通过对 2000 年 TM/ETM 遥感影像解译获得流域土地利用数据. 在 2004 年分 3 次(7 月 9 月 12 月)监测了各个小流域出口的总氮浓度, 用以表征流域氮素输出强度. 基于以上数据, 分析了小流域氮素输出的时空变化差异以及土地利用结构对氮素输出影响. 结果表明: 各个小流域氮素输出差异很大, 空间上有从上游到下游逐渐增大的趋势, 时间变化上, 西苕溪流域中下游的小流域氮素输出 7 月 > 9 月 > 12 月, 上游地区的小流域则与之相反, 这与流域的降雨径流分布和土地利用方式差异有关. 多个小流域的对比分析表明, 流域土地利用结构对氮素输出的影响更大. 流域内林地面积比例越大, 氮输出强度越小; 相反, 与人类活动有关的土地利用类型如耕地和居民地比例增大将带来氮素输出增大的后果, 而氮素输出的强度似乎与流域面积大小无关.

关键词: 西苕溪流域; 土地利用; 氮素输出

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)03-0498-05

Effects of Land Use on Nitrogen Export in Xitiaoxi Watershed

LI Zhao-fu^{1,2}, YANG Gui-shan¹, LI Heng-peng¹

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The hydrological modeling and spatial analysis extensions of Arcview 3.2 was used to delineate and select 11 representative sub-watersheds of Xitiaoxi River, a branch of Taihu Lake in China. Land use data derived from TM/ETM satellite images in 2000. Total nitrogen (TN) concentrations were measured 3 times in Jul., Sep. and Dec. of 2004 within these sub-watersheds, to analyses temporal-spatial characteristics of nitrogen concentrations and the effects of land use on nitrogen export. Results show TN concentration increase from upriver to downriver sub-watersheds and generally rising from Jul. to Sep. to Dec., except upriver sub-watersheds have a contrary trend. It is due to TN concentrations vary greatly depending upon seasonal precipitation conditions and land use type and management across a watershed. Land use composition is a principal factor in controlling the amount of nitrogen exported from a watershed. Nitrogen export decrease with a higher percentage of forest land area, and the percentage of human-induced land use type such as arable land and residential area enlarge can increase the nitrogen export, whereas no relation was found between the size of sub-watersheds and TN concentrations.

Key words: xitiaoxi watershed; land use; nitrogen export

流域营养盐输出作为一种面源污染是导致流域水环境污染和湖泊富营养化的直接原因之一, 因此近几年受到国内外研究的普遍关注. 随着点源污染逐渐得到有效的控制和管理, 面源污染对水质的影响日益凸现^[1,2]. 为了有效控制面源污染, 改善水环境质量, 国内外研究者从面源污染的发生机理和影响因素等各个方面进行了许多研究^[3,4]. 研究主要集中于地形、地貌、土壤及降雨等自然地理因素和综合反映人类活动的土地利用对面源污染的影响^[5,6]. 流域内土地利用类型、结构等的组合变化都对面源污染的发生有重要影响^[7~11]. 野外监测和模型模拟是研究土地利用对营养盐输出影响的 2 种常用方法. 大范围、长时段的野外监测往往由于受到经费的限制而难以实施, 常用的监测方法是针对野外典型田块或代表性小流域监测以反映土地利用方式

不同对营养盐输出的影响^[10,11]. 另外也有研究通过室内或野外人工降雨试验模拟不同土地利用类型暴雨径流氮磷流失^[9]. 但大多数研究选择的典型流域数量较少, 空间位置上不能反映整体大流域基本情势变化, 以及很少考察土地利用结构对整体流域氮磷输出的影响, 从而难以准确反映具有产、汇、集流过程的流域尺度的氮磷输出规律. 本研究选择太湖流域上游的西苕溪流域, 在上、中、下游不同空间位置上提取多个小流域并进行野外监测, 分析小流域氮素输出的时间变化以及位于不同地理位置小流域氮素输出的空间差异, 并结合小流域的土地利用数

收稿日期: 2005-03-17; 修订日期: 2005-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371111); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412310)

作者简介: 李兆富(1977~), 男, 博士研究生, 主要从事土地利用变化与资源环境效应研究, E-mail: zfli@niglas.ac.cn

据,重点探讨土地利用结构对流域氮素输出的影响.

1 西苕溪流域概况

西苕溪流域位于浙江省北部的湖州市境内,介于东经 $119^{\circ}14' \sim 120^{\circ}29'$ 与北纬 $30^{\circ}23' \sim 31^{\circ}11'$ 之间,属太湖流域,西苕溪干流总长 157km,流域面积约 2 200km²,是太湖上游的重要来水支流.流域地貌包括山地、丘陵和平原,坡度大于 15°的面积占 45%.本区降雨量时空差异较大,降雨集中于 4~9 月,以梅雨和台风雨为主,山区降雨大于平原.由于流域产流较快,汇流时间短,干流河水在暴雨期间暴涨暴落,水文过程线表现为尖而瘦的特点,峰值大,历时短.径流的年际变化显著,历年最大最小径流量比值为 3.3~4.6.径流的季节分配主要决定于降水的多少,其年内变化与降水基本一致,呈双峰型,峰值出现在 5~6 月和 9 月.流域内的土地利用类型以林地、耕地、园地、草地、居民地和水体为主,林地和耕地比例最大,两者的面积占整个流域的 90% 以上.

2 研究过程和方法

研究首先基于西苕溪流域水系图和由 1:1 万和 1:5 万地形图构建的 DEM,利用 Arcview 3.2 的水文模拟(Hydrologic Modelling)扩展模块,在西苕溪流域提取了 11 个小流域作为具体研究区域(图 1),并获得了它们的边界和面积.其中位于西苕溪流域下游的有 3 个,编号为 W1、W2、W3,位于中游的有 4 个,编号为 W4、W5、W6、W7,位于上游的有 4 个,编号为 W8、W9、W10、W11.这些小流域的选择主要考虑了选取的流域范围内没有大的城镇和工业分布,

可以排除工业点源和生活污染的影响,也就意味着小流域氮素的输出主要来源于面源.

研究使用的土地利用数据由 2000-05 的 TM/ETM 遥感影像数据目视解译获得,并对重点研究小流域进行实地勘查校验解译的数据.把前述提取的各个小流域边界和土地利用数据叠加,借助 Arcview 3.2 的空间分析模块获得了各个小流域的土地利用情况(见表 1).从表 1 可以看出,选择的 11 个小流域面积从 357.63hm² 到 4 478hm² 不等.土地利用类型分为耕地、林地、园地、草地、居民地和水体 6 大类,土地利用结构均以林地和耕地为主,两者面积比重约占各个子流域面积的 95% 以上,而且居民地面积都不大,最大的也不超过 15hm²,一般都是零散分布的居民点,没有工业点源污染.

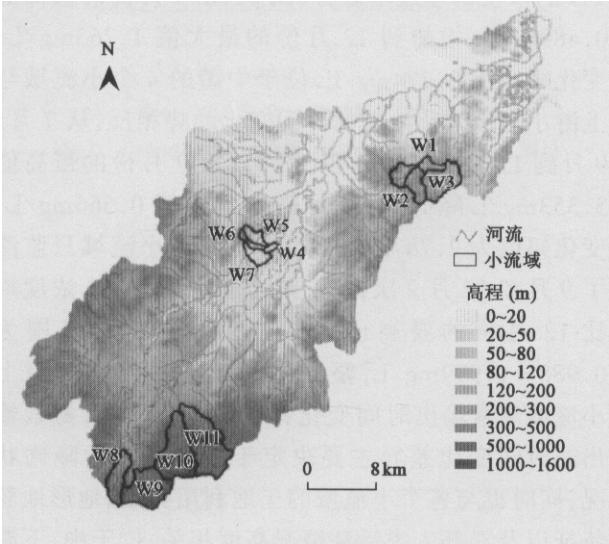


图 1 西苕溪典型小流域位置图

Fig. 1 Location of the 11 representative subwatersheds in Xitiao River watershed

表 1 西苕溪典型小流域土地利用结构
Table 1 Land use composition of representative subwatersheds

小流域编号	耕地/ %	林地/ %	园地/ %	草地/ %	居民地/ %	水体/ %	面积/ hm ²
W1	7.08	88.25	2.11	1.1	0.14	1.31	4 381.06
W2	6.88	91.53	0.51	1.07	0	0	1 059.75
W3	8.08	88.65	0	0.47	0	2.8	2 056.81
W4	31.69	66.75	0.11	0.26	0.65	0.54	1 761.56
W5	21.89	78.11	0	0	0	0	498
W6	27.74	71.95	0	0	0.31	0	357.63
W7	32.39	63.91	0.26	0.65	1.45	1.33	709.75
W8	12.42	86.46	0.77	0	0.35	0	1 026
W9	0.62	99.20	0.18	0	0	0	2 931.44
W10	0.67	87.74	3	8.59	0	0	3 722.25
W11	3.72	77.47	9.26	9.22	0.16	0.17	4 478

对流域氮素输出水平进行野外采样分析. 在 2004-07, 2004-09, 2004-12 分 3 次对选定的 11 个小流域进行了监测. 使用直立式有机玻璃采水器在每个流域的河流出口处采集水样, 然后带回实验室, 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法分析水样的 TN 浓度. 本研究分析采用流域出口的 TN 浓度表征氮素的输出强度.

3 结果与讨论

3.1 西苕溪流域氮素输出时间变化差异

通过对 2004-07, 2004-09, 2004-12 共 3 次各小流域出口的 TN 浓度分析发现, 各个小流域不同时期的 TN 浓度均有差异并表现出一定的趋势特征. 位于西苕溪上游的 4 个小流域, 7 月、9 月、12 月份 TN 的浓度都呈递增趋势(图 2), 由 7 月份的最低值 0.489mg/L 增加到 12 月份的最大值 1.263mg/L, 变化幅度为 0.774mg/L. 位于中游的 4 个小流域与上游小流域 TN 浓度的时间变化趋势相反, 从 7 月、9 月到 12 月呈递减趋势(图 3), 由 7 月份的最高值 3.353mg/L 降低到 12 月份的最低值 0.566mg/L, 变化幅度为 2.787mg/L. 对于下游的小流域只监测了 9 月和 12 月 2 次, 3 个流域 9 月份的 TN 浓度均比 12 月份的要高(图 4), TN 浓度变化范围为 0.988~1.999mg/L, 幅度为 1.011mg/L. 分析以上小流域氮素输出时间变化特征的原因认为, 氮素输出的时间变化差异主要决定于不同时期的降雨状况, 同时也与各个小流域的土地利用类型、地形地貌特征以及局部人类活动情况高度相关. 位于中、下游地区的小流域, 12 月份降雨很少, 基本上代表基流, 面源污染产出少, 因此氮素的浓度较低; 9 月份是台风雨时期, 降雨量较大, 引起流域氮素随地表径流输出导致流域出口 TN 浓度比 12 月份高; 而 7 月份代表着梅雨季节的末期, 降雨径流量大, 地表径流携带的氮素更多, 故流域出口的 TN 浓度最高. 位于西苕溪上游地区的小流域 TN 浓度时间变化特征与中、下游小流域相反, 呈现 7 月 < 9 月 < 12 月的特征, 分析产生的可能原因认为这与上中下游地区小流域的土地利用类型与人类活动差异有关. 调查显示上游地区小流域内林地类型多以竹林为主, 在竹林管理中施肥现象普遍, 而且在冬季 12 月到次年 1 月中旬期间大多施用“催笋肥”, 这是导致上游地区小流域 TN 浓度时间变化过程与中下游小流域差异的主要原因. 西苕溪上下游地区小流域 TN 浓度时间变化不一致的现象也是面源污染产生过程和机理复杂性

的体现, 流域氮素输出强度是多个影响因子综合作用的结果.

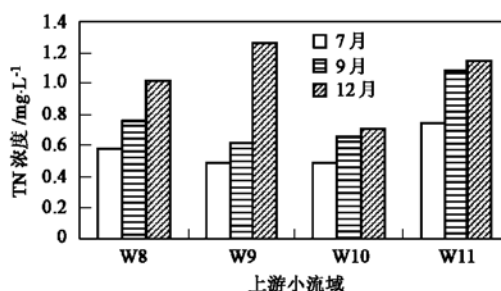


图 2 上游小流域氮素输出时间变化

Fig. 2 Temporal changes of nitrogen export from W8 to W11

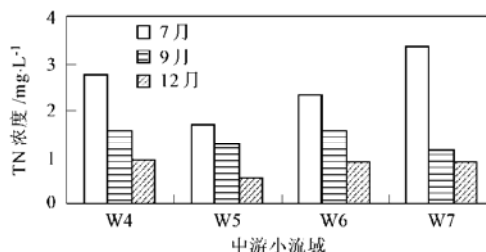


图 3 中游小流域氮素输出时间变化

Fig. 3 Temporal changes of nitrogen export from W4 to W7

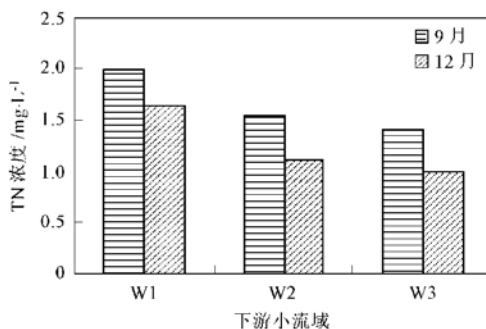


图 4 下游小流域氮素输出时间变化

Fig. 4 Temporal changes of nitrogen export from W1 to W3

3.2 西苕溪流域氮素输出空间差异

从流域氮素输出的时间变化分析中也可以看出, 位于流域不同的空间位置, 其营养盐输出的时间变化规律存在着很大的差异. 把上游的 4 个小流域、中游的 4 个小流域和下游的 3 个小流域监测的各个月份 TN 浓度进行平均后分析发现: 从上游到下游, TN 浓度基本呈逐渐增加趋势(如图 5), 其中 9 月份上、中、下游的各个小流域 TN 的平均浓度分别为 0.779mg/L、1.386mg/L 和 1.650mg/L, 分别增加了 78% 和 16%. 流域上中下游流域营养盐输出差异

也是有其原因的. 一方面, 上游地区以林地为主的流域, 中下游流域林地比例有所降低, 耕地及其它用地类型比例增大, 同样的降雨条件下输出的氮素由于林地比例的减少而增多, 这与 Susanna 在美国的研究是一致的^[12]. 另一方面, 越往下游人类活动强度逐渐增大, 也是导致下游营养盐输出强度比上游大的原因.

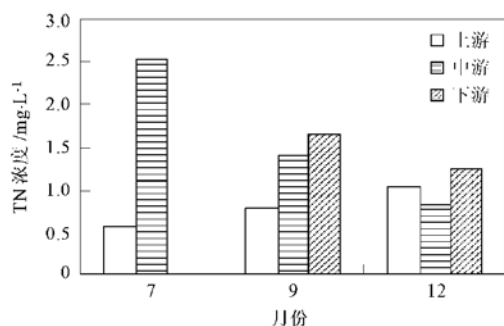


图 5 西苕溪流域氮素输出空间差异

Fig. 5 Spatial changes of nitrogen export in Xitiaoqi watershed

3.3 土地利用变化对氮素输出影响

流域尺度的氮素输出受多种因素的影响, 前面提到的同一流域氮素输出在时间上的差异很大程度是受降雨的影响, 上中下游流域氮素输出的空间差异主要取决于人类活动强度大小. 土地利用是流域人类活动强度的典型表现. 为了研究土地利用变化对流域氮素输出影响, 考虑到可比性, 一方面选择流域面积相当, 而土地利用结构差异较大的流域对比, 另一方面, 选择土地利用结构类似, 但流域面积差异的流域对比. 选择的各个子流域的面积和土地利用结构情况如表 1.

从西苕溪各小流域面积和土地利用结构表中可以看出, W10 和 W11 都属于上游小流域, 坡度相似, 而且流域面积均在 40km² 左右, 具有很好的可比性. 比较这 2 个流域可以说明氮素输出强度变化是土地利用结构变化的结果. 分析显示, W11 流域的林地比例比 W10 减少了 10.3%, 而耕地、园地、草地、居民地比例比 W10 流域分别增加了 3.1%、6.3%、0.6%、0.16%. 但 3 次流域出口 TN 的监测浓度 W11 均高于 W10 流域 50% 以上 (图 6), 分别为 51.3% (7 月)、65.1% (9 月) 和 61.7% (12 月). 由此可以看出, 流域出口 TN 浓度的增加主要是受人类活动影响较大的土地利用类型 (耕地、园地、居民地等) 比例增大的影响.

进一步比较 W11、W10 和 W1 的情况, W1 流域的耕地面积比例是 W11 的近 2 倍, 是 W10 的 10

倍, 而林地比例和 W10 相当, 比 W11 降低了 10.8%, 园地、草地比例都比 W10、W11 有所降低, 但降低幅度均在 1%~7.5% 之间. 监测的结果显示 W1 的 TN 浓度比上游的 2 个小流域都高 (图 7). 其中 9 月份 W1 比 W10 高 2 倍多, 比 W11 高出 85%; 12 月份 W1 比 W10 高 1.3 倍, 比 W11 高 43%. 由此说明, 耕地比例的增大对流域氮素输出增加具有相对重要的作用.

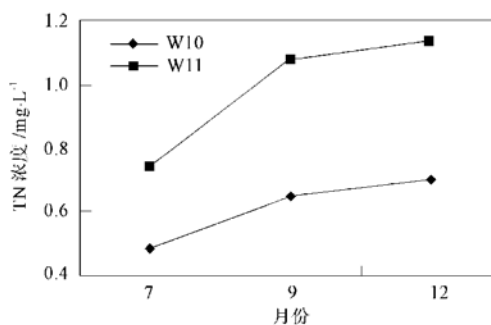


图 6 W10 和 W11 流域氮素输出差异

Fig. 6 Comparison of nitrogen export from W10 and W11

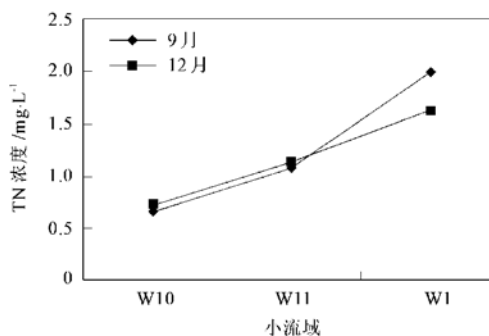


图 7 W1 和 W10、W11 流域氮素输出差异

Fig. 7 Comparison of nitrogen export from W1, W10 and W11

另一方面选择 W4 和 W6 比较, 因为两者都位于整个西苕溪流域的中游地区, 且土地利用结构类似, 都以耕地和林地为主, 但 2 个流域的面积相差 5 倍. 对 2 个流域的 TN 的 3 次监测显示, 2 个流域 TN 的浓度差异不大 (图 8), 其中 9 月份差异不到 1%, 12 月份差异为 3.8%, 7 月差异为 18%. 由此说明, 流域土地利用结构比流域面积更能影响流域氮素输出的强度.

综合上述分析, 小流域在西苕溪大流域中的上中下游位置不同, 营养盐输出差异明显, 一般而言, 越往流域下游, 氮素输出强度增大; 土地利用结构对氮素输出具有重要影响, 随着林地面积的减少和耕地面积的增大, 流域氮素输出强度增大; 土地利用结

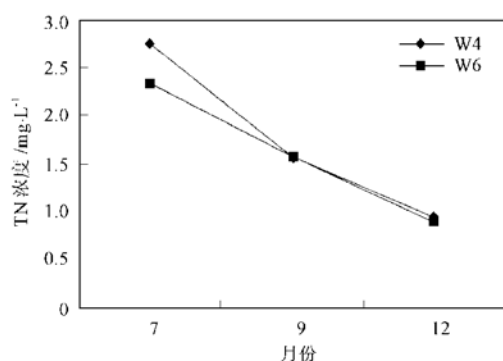


图 8 W4 和 W6 流域氮素输出差异

Fig. 8 Comparison of nitrogen export from W4 and W6

构类似而且处于流域相同地貌位置的小流域氮素输出强度相当,这也是流域相似性原理的体现.

4 结论

(1) 流域氮素输出存在着明显的时间变化规律. 位于中下游的小流域氮素输出强度从 7 月→9 月→12 月依次递减,而位于上游的小流域氮素输出强度则与之相反,说明时间上的变化与降雨径流因素极其相关,但同时也受土地利用方式的影响.

(2) 西苕溪上中下游地区各个小流域氮素输出强度差异很大,并有从上游到下游增大的趋势.

(3) 流域土地利用结构对氮素输出具有显著的影响. 流域的土地利用结构相似,其氮素输出强度差异不大;人类活动通过改变流域土地利用结构而对氮素输出产生巨大影响,随着流域内耕地面积比例的增大,林地比例的减少,氮素输出强度增大.

(4) 通过改变流域土地利用结构可以有效控制流域氮素输出强度.

参考文献:

- [1] Novotny V, Olem H. Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [2] 杨桂山,王德建. 太湖流域经济发展-水环境-水灾害[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 119~ 131.
- [3] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理和控制[J]. 环境科学, 1998, 19(5): 87~ 91.
- [4] 郑一,王学军. 非点源污染研究的进展与展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 105~ 110.
- [5] Parker D. Controlling agricultural nonpoint water pollution: cost of implementing the Maryland Water Quality Improvement Act of 1998[J]. Agricultural Economics, 2000, 24: 23~ 31.
- [6] William F Ritter, Adel Shirmohammadi. Agricultural nonpoint source pollution: watershed management and hydrology[M]. Florida: Lewis publishers, 2001.
- [7] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach[J]. Journal of Hydrology, 1996, 183(3~ 4): 323~ 349.
- [8] 李恒鹏,刘晓玫,黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地利用类型的面源污染产出[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 401~ 408.
- [9] 梁涛,张秀梅,章申,等. 西苕溪流域不同土地利用类型下氮元素输移过程[J]. 地理学报, 2002, 57(4): 389~ 396.
- [10] 李俊然,陈利顶,郭旭东,等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 506~ 510.
- [11] 王晓燕,王一岫,王晓峰,等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 30~ 33.
- [12] Susanna T, Tong Y, Chen W. Modeling the relationship between land use and surface water quality[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66: 377~ 393.