

小流域土地利用结构对氮素输出的影响

罗璇¹, 史志华^{1*}, 尹炜², 陈佳¹, 李璐¹, 伍世良³

(1. 华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点实验室, 武汉 430070; 2. 长江水资源保护科学研究所, 武汉 430051; 3. 香港中文大学地理与资源管理学系, 香港)

摘要:以丹江口库区的胡家山小流域为研究区, 以资源二号卫星影像图为底图, 通过实地调查获取胡家山小流域土地利用图, 利用 ArcGIS 的水文模拟、空间分析模块提取 15 个集水区, 并分析其土地利用结构。根据 2008 年 1~12 月各个集水区的出口的总氮、硝态氮浓度的监测数据, 定量地分析土地利用结构对氮素输出时空变化的影响。结果表明, 胡家山小流域内旱地、居民地对氮素输出起显著源作用, 与 TN 、 NO_3^- -N 的 Pearson 相关系数分别为 0.869、0.856 和 0.826、0.867。林地、疏林地、草地等对氮素输出起汇作用, 其中林地、草地汇作用显著, 与 TN 、 NO_3^- -N 的 Pearson 相关系数分别为 -0.820、-0.851 和 -0.602、-0.518。土地利用结构是氮素输出空间变化的关键因素, 土地利用类型的空间分布使得汇土地利用类型旱地、居民地对小流域氮素输出影响最大, 在不同时间尺度上, 土地利用结构对氮素输出浓度影响有所不同。年度上, 对氮素输出影响最大的是旱地, 季节上, 春、夏、秋、冬四季对氮素输出影响最大的分别是旱地、居民地、居民地、旱地, 土地利用结构对氮素输出浓度的影响受到降雨、气温、人为等因素的作用。

关键词: 土地利用类型; 土地利用结构; 氮素输出; 时空变化

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)01-0058-05

Effects of Land Use Structure on Nitrogen Export in Hujiashan Watershed of Danjiangkou Reservoir Area, China

LUO Xuan¹, SHI Zhi-hua¹, YIN Wei², CHEN Jia¹, LI Lu¹, WU Shi-liang³

(1. Key Laboratory of Subtropical Agriculture & Environment of Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Yangtze River Water Resource Protection Research Institute, Wuhan 430051, China; 3. Department of Geography and Resource Management, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: Land use is one of the most important factors that determine the occurrence and pattern of non-point source pollution. This study selected 15 catchments of Hujiashan watershed to examine the effect of land use on non-point source pollution. Land uses of these 15 catchments were classified from Resources Satellite No.2 images. The total nitrogen and nitrate content of discharge were monitored from Jan. to Dec. of 2008. The relations between nitrogen export and land use were analyzed using the hydrological modeling and spatial analysis extensions of ArcGIS 9.2. The results showed that dry land and residential area exported significant amount of nitrogen, whilst forest and grassland could be considered as nitrogen sinks. Land use was a controlling factor that determined the amount of nitrogen export, although the effects varied with time. Annually, dry land was the top nitrogen producer. However, seasonally, top producers were dry land, residential, residential and dry land in spring, summer, autumn and winter, respectively. Rainfall, temperature and human activity are also important for influencing the nitrogen export.

Key words: land use type; land use structure; nitrogen export; temporal and spatial variation

小流域往往是一些河流、湖泊、水库的源头, 其径流携带的养分会造成河流、湖泊、水库水质恶化甚至水体富营养化, 因此控制小流域非点源污染输出具有重要意义^[1~3]。非点源污染不仅受地形、地貌、土壤及降雨等自然地理因素的影响, 还受人类活动的控制。而土地利用可综合反映人类活动的情况, 许多研究表明土地利用是影响非点源污染的关键因子^[4~6]。土地利用类型、结构等的组合对非点源污染的发生有重要影响^[7~11]。小流域的非点源污染负荷与土地利用之间有很好的相关性^[12~15], 因此定量地分析小流域内土地利用结构对水质时空变化的影响, 对

流域最佳管理模式的建立具有十分重要的意义。

丹江口水库作为南水北调中线水源地, 其水质状况一直备受各方关注。目前丹江口水库总体水质良好, 部分库湾水质除总氮超标外, 其它指标均达到或优于二类水质标准, 而农业非点源污染是导致总氮较高的主要原因^[16~18]。鉴于此, 本研究选取丹江口库区的胡家山小流域, 通过对多个集水区氮素输

收稿日期: 2009-03-03; 修订日期: 2009-06-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC10B02), 国家自然科学基金项目(40671178)

作者简介: 罗璇(1984~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: GIS 在生态环境方面的应用, E-mail: luoxuan_liao@163.com

* 通讯联系人, E-mail: pengshi@mail.hzau.edu.cn

出浓度进行连续的定位动态监测,分析氮素输出浓度的时空变化特征,结合各个集水区内的土地利用数据,定量研究小流域土地利用结构对氮素输出浓度时空变化的影响,以期为库区农业小流域的非点源污染控制措施、最佳管理模式提供科学依据。

1 流域概况

胡家山小流域位于湖北省丹江口市(111°12′22″E ~ 111°15′20.5″E, 32°44′17.8″N ~

32°49′15.6″N,图1),属于汉江一级支流,面积 23.93 km²。地貌以丘陵、岗地为主,有少量的低山,坡度 > 15°的占 62.76%。年均降雨量 797.6 mm,主要集中在 4~10 月,占全年降雨量的 84.5%。土地利用类型以农地、林地、灌木地和荒草地为主。植被主要有侧柏(*Platycladus orientalis*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、牡荆(*Vitex negundo*)和白刺花(*Sophora davidii*)等。流域资源利用及区域持续发展模式在丹江口库区具有广泛的代表性。

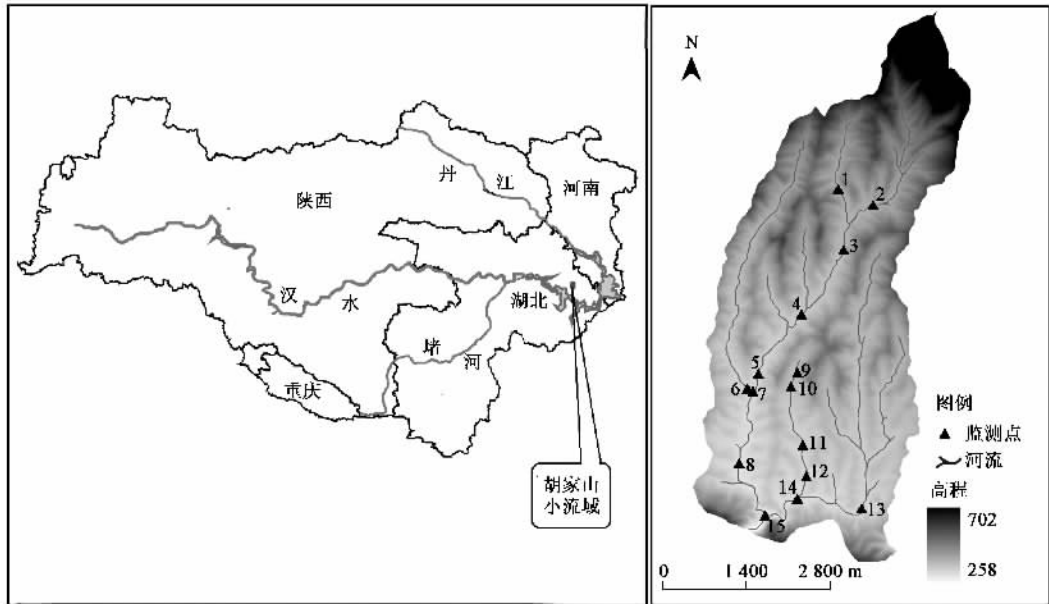


图 1 胡家山小流域位置图及监测点分布
Fig.1 Sketch map of Hujiashan watershed and monitoring sites

2 研究方法

2.1 监测点布置

在胡家山小流域干流及 3 条支流上共布设 15 个监测点,具体监测点布置情况如图 1。其中,1~8 号监测点位于胡家山小流域西侧支流上;9~12 号监测点分别位于胡家山小流域内中间支流(五龙池支流)的上、中、下游;13 号监测点在胡家山小流域最东边的一条支流上;14 号监测点控制中间与东边支流;15 号监测点则控制整个胡家山小流域。

2.2 土地利用获取及各个集水区土地利用结构分析

以 2005 年 6 月的资源二号卫星影像图为底图(分辨率 3 m),结合 1:10 000 万地形图,在 2007 年 8 月通过实地调查获取小流域土地利用现状图。土地利用类型包括旱地、林地、疏林地、居民地、荒草地等 5 种类型。利用 ArcGIS 的水文分析模块提取 15 个监测点所控制的集水区,并计算集水区各类土地利

用类型面积所占比例。基于流域 DEM,运用 ArcGIS 的空间分析模块,提取、分析 15 个集水区的土地利用结构。

2.3 水样采集与分析

2008 年 1~12 月的雨季,即 4~10 月,每月的月中和月底各采样 1 次,其它月份每月月中采样 1 次。每次每点取样 1 000 mL,用聚乙烯塑料瓶密封带回实验室及时进行总氮和硝态氮测定。在采样的同时,对水体的水温和 pH 值等进行测定,并同时记录气温等基础数据。总氮含量的测定采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,硝态氮含量采用紫外分光光度法。

2.4 土地利用与氮素输出浓度相关性分析方法

土地利用类型与氮素输出间的关系采用 Pearson 单相关分析,根据相关系数的正负将土地利用类型划分为氮素的“源”、“汇”两大类。土地利用结构对氮素输出的影响采用指数模型表征^[19-20][式(1)],即:

$$NPS_i = \alpha \times \exp(\beta_1 \text{ 居民地}_i + \beta_2 \text{ 旱地}_i + \beta_3 \text{ 林地}_i + \beta_4 \text{ 疏林地}_i + \beta_5 \text{ 草地}_i \times 1)$$

式中 α 为系数 $\beta_1 \sim \beta_5$ 分别表示用地类型面积比例与水质指标之间的相关性,当 β_i 值为正,表明此土地利用类型对该污染物起“源”的作用,如果 β_i 值为负,则表明此土地利用类型对该污染物起“汇”的作用.当用 SPSS 软件进行多元逐步回归分析,计算土地利用结构对氮素输出的影响时,影响最大的土地利用类型将最先进入方程式中,并只有具有统计显著的变量才会在模型中出现.

表 1 各个集水区的土地利用结构

集水区编号	不同土地利用类型所占该集水区总面积的百分比/%					总面积/km ²
	旱地	林地	疏林地	居民地	草地	
1	42.30	50.45	4.28	2.11	0.48	1.24
2	24.98	69.35	3.41	1.09	1.13	4.00
3	29.10	60.93	3.88	1.77	1.27	6.37
4	32.04	55.91	5.61	2.66	1.31	8.03
5	33.63	54.22	5.25	3.51	1.27	9.50
6	39.96	50.53	4.06	4.76	0.07	3.02
7	34.29	53.31	5.14	3.82	1.26	9.70
8	39.46	48.08	4.47	5.45	1.03	13.93
9	38.19	46.10	14.14	0.00	1.58	0.26
10	47.50	30.44	20.66	0.00	0.30	0.30
11	63.51	19.36	5.89	10.23	0.63	1.08
12	67.64	15.81	1.211	10.98	0.05	1.42
13	52.01	32.50	3.40	10.12	0.67	5.17
14	62.55	28.89	3.33	10.70	0.57	7.81
15	45.64	40.86	3.69	7.15	0.99	23.36

24.98% 林面积比例是 69.35% ;五龙池支流下游 12 号集水区旱地面积比例达 67.64% ,林面积比例仅为 15.81% .

3.2 氮素输出分析

图 2 显示了 2008 年胡家山小流域 15 个集水区不同季节氮素输出浓度的变化特征,从中可以看出如下基本特征.

(1)在空间上,胡家山小流域的 3 条支流中,旱地、居民地较集中的五龙池支流氮素输出浓度最大,东侧支流(13 号集水区)次之.在各个监测点所控制的集水区中,西侧支流上游的 1~3 号集水区的氮素输出浓度较低,4~8 号集水区从到中游到下游氮素输出浓度呈逐渐增大趋势;在中间(五龙池)支流上的 9~12 号集水区从上游到下游氮素输出浓度也是呈逐渐增大的趋势,其中 12 号集水区的总氮输出浓度是所有集水区中最大的.

(2)在时间上,所有集水区总氮输出浓度都是春季>夏季>秋季>冬季,硝态氮输出浓度是秋季>

3 结果与讨论

3.1 土地利用结构分析

各个集水区内土地利用类型及其数量结构统计于表 1. 胡家山小流域的土地利用类型以旱地和林地为主,两者占小流域总面积的 86.50% .在各个集水区内土地利用类型数量结构有所差别,一般而言,在各个集水区内,越往下游,旱地、居民地面积所占比例逐渐增大,林地所占比例逐渐减小.其中流域西侧支流上游 2 号集水区旱地所占面积比例最小,为

夏季>春季>冬季.除 1 号集水区春季硝态氮输出浓度略大于秋季,10 号集水区夏季硝态氮输出为最大.

(3)胡家山小流域在不同时空上氮素输出浓度较大,与国家地表水质标准相比,无论哪个季节,几乎所有监测点氮素输出浓度均超过国家规定的Ⅱ类地表水水质标准,大多集水区氮素输出浓度甚至超过国家规定的Ⅴ类地表水水质标准.

3.3 土地利用结构对氮素输出的影响分析

3.3.1 土地利用类型对氮素输出的影响

小流域不同土地利用类型比例与总氮和硝态氮年均输出浓度的相关分析(表 2)表明:林地、疏林地、草地与氮输出浓度呈负相关,其中与林地和草地分别达到极显著和显著水平,与疏林地相关性较弱;居民地、旱地等与氮输出呈正相关,两者与氮素输出浓度都有极显著相关.因此,林地、疏林地、草地等对氮输出起汇作用,居民地、旱地等对氮输出起源作用.这是因为林地、疏林地、草地通过入渗、植物根系

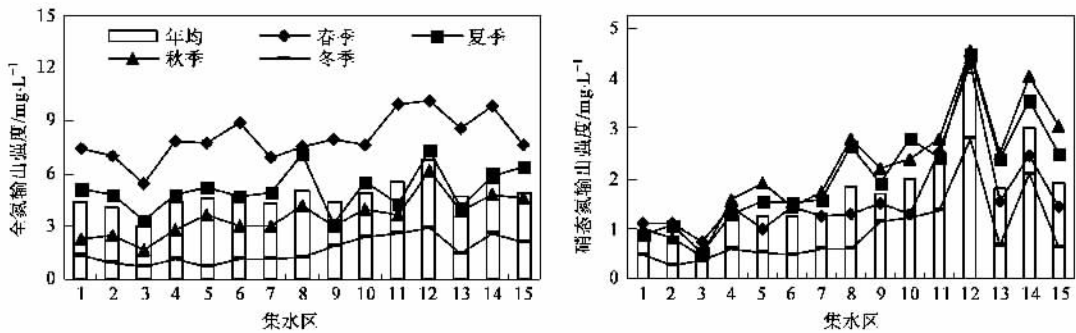


图 2 小流域氮素输出浓度时空变化特征

Fig.2 Temporal and spatial variation of nitrogen export in catchments

表 2 土地利用类型与氮素输出浓度的 Pearson 单相关分析¹⁾

Table 2 Pearson correlation analysis between land use types and nitrogen concentration

Pearson 相关系数	TN	NO ₃ ⁻ -N
旱地	0.869 **	0.856 **
林地	-0.820 **	-0.851 **
疏林地	-0.140	-0.076
居民地	0.826 **	0.867 **
草地	-0.602 *	-0.518 *

1) *、** 分别表示显著性水平为 0.05、0.01

的生物吸收等机制对径流中氮素有滞留、吸附作用^[21]。而居民地、旱地是人类活动的主要场所,人为影响较大。调查发现,流域内居民地畜禽废弃物及一些生活垃圾通常随意堆放在院落周围,生活污水、垃圾以及禽畜粪便易被径流带入河道中,增加了河水中氮的含量;同时,流域耕地化肥施用折纯量约为 650 kg·(hm²·a)⁻¹,其中氮肥占 70%、磷肥占 19%。

3.3.2 土地利用结构对氮素输出的影响

不同时间尺度上对多个集水区土地利用结构与氮素输出浓度进行逐步回归分析结果见表 3。从中可知,在土地利用结构与氮素输出浓度的逐步回归模型中,最终进入逐步回归模型的自变量有旱地和居民地,说明在胡家山小流域土地利用结构中,旱地、居民地对氮素输出的空间变化影响最大。旱地、居民地对总氮输出浓度和硝态氮输出浓度有显著源作用。在土地利用空间结构上,由于西侧支流流域内 1~8 号集水区越往下游,氮素的重要污染源旱地、居民地越集中,因而,在西侧支流流域内 1~8 号集水区从上游到下游氮素输出浓度呈逐渐增大趋势。中间五龙池支流流域内 9~12 号集水区从上游到下游氮素输出浓度也是呈逐渐增大趋势,其中 12 号点的氮素输出浓度是所有监测点中最大的,这也是由于五龙池集水区旱地、居民地较多的缘故。由表 2 可

知,林地、草地等土地利用类型起氮汇的作用,并且林地、草地与氮素输出浓度具有较好的相关性。但林地、草地却未进入回归模型,这与土地利用的空间结构有关。在胡家山小流域,汇土地利用类型大多分布在离河流较远的地方,离河流两岸近的土地利用类型多是旱地、居民地,从而导致在整个小流域土地利用结构中,源土地利用类型旱地、居民地对氮素输出强的影响占主导作用。

在不同季节,小流域土地利用结构对氮素输出浓度的影响差异明显。在春季,对氮素输出浓度影响最大的是旱地,因为春季是旱地施肥的一个高峰期,降雨的丰沛使得旱地成为氮素的一个主要污染源。夏、秋两季,对总氮输出浓度影响最大的是居民地。这主要是因为,在夏秋季节,作物接近成熟、收割,对土地施肥有所减少,旱地中的氮素输出有所减少。而在夏秋季节天气比较热,生活污水增加,加之,禽畜粪便和生活垃圾的随意堆放,高温加速了其分解,使得在夏秋季节居民点内产生了大量的氮素。同时由于家禽粪便中的硝态氮含量较高,这也就是表 2 中为何硝态氮与居民地的相关系数大于与旱地的相关系数的原因。同时因为旱地是小流域内的主要在冬季,对氮素输出浓度影响最大的是旱地,这主要是由于当地在 11 月前后开始种植油菜和冬小麦,施肥明显增加,使得旱地再次成为流域内最主要的氮源地。此外,冬季降雨量比较少,径流较低,从而使得氮素输出浓度较前 3 个季度有所下降。所以,总氮输出浓度在季节变化上是春季>夏季>秋季>冬季。而硝态氮输出浓度的较大季节基本在秋夏两季,其季节变化是秋季>夏季>春季>冬季,同时夏秋两季的高气温对硝态氮也有一定影响,因为随着气候转暖,水温也随之上升,水体中活跃的微生物促进了其它形态的氮向硝态氮的转化。

表 3 土地利用结构与非点源污染输出的逐步回归分析

Table 3 Regression analysis between land use structure and nitrogen concentration

时间	回归分析	R^2	p
全年	$\ln \text{TN} = 1.023 + 0.012 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.710	<0.001
	$\ln \text{NO}_3^- - \text{N} = 1.519 + 0.739 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.734	<0.001
春季	$\ln \text{TN} = 1.624 + 0.01 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.690	<0.001
	$\ln \text{NO}_3^- - \text{N} = -0.853 + 0.028 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.749	<0.001
夏季	$\ln \text{TN} = 1.468 + 0.083 \text{ area}_{\text{居民地}}$	0.616	0.001
	$\ln \text{NO}_3^- - \text{N} = 1.722 + 0.031 \text{ area}_{\text{居民地}}$	0.668	0.001
秋季	$\ln \text{TN} = 1.858 + 0.039 \text{ area}_{\text{居民地}}$	0.605	0.001
	$\ln \text{NO}_3^- - \text{N} = 1.919 + 0.049 \text{ area}_{\text{居民地}}$	0.761	<0.001
冬季	$\ln \text{TN} = 1.426 + 0.030 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.734	<0.001
	$\ln \text{NO}_3^- - \text{N} = 1.197 + 0.043 \text{ area}_{\text{旱地}}$	0.756	<0.001

4 结论

(1)根据土地利用类型对氮素的源、汇作用,对胡家山小流域内 5 种土地利用类型进行分类,旱地、居民地对氮素输出起显著源作用,林地、疏林地、草地等对氮素输出起汇作用,其中林地和草地的汇达到显著水平。

(2)土地利用结构是氮素输出浓度时空变化的关键因素,对氮素输出影响最大的旱地和居民地距离河流较近,导致流域水体氮超标,而对氮素有显著汇作用的土地利用类型林地、草地等大都距离河流较远,对氮素的截留作用不能发挥。

(3)不同时间尺度上,土地利用结构对氮素输出浓度影响有所不同,在年际尺度上,对氮素输出浓度影响最大的是旱地,在季度尺度上,春季,对氮素输出浓度影响最大的是旱地;夏、秋两季对氮素输出浓度影响最大的是居民地;冬季对氮素输出浓度影响最大的是旱地。

(4)土地利用结构对氮素输出浓度的影响受到人为、降雨、气温等因素的作用,在春、冬两季,对氮素输出浓度影响最大的都是旱地,夏秋两季对氮素输出浓度最大的都是居民地,但综合人为、降雨、气温的作用,总氮输强度出是春季>夏季>秋季>冬季,硝态氮输出浓度季节变化是秋季>夏季>春季>冬季。

参考文献：

[1] Sharply A N , Smith S J , Nancy J W . Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus [J] . Agric Food Chem , 1987 ,

35 812-817 .

[2] 袁东海,王兆骞,陈欣,等.红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J].生态学报,2003,23(1):188-198.

[3] 宋泽芬,王克勤,杨云华,等.澄江尖山河小流域不同土地利用类型面源污染输出特征[J].水土保持学报,2008,22(2):98-101.

[4] 陈利顶,李俊然,郭旭东,等.蓟运河流域地表水质时空变化特征分析[J].环境科学,2000,21(6):61-64.

[5] 陈利顶,丘君,张淑荣,等.复杂景观中营养型非点源污染时空变异特征分析[J].环境科学,2003,24(3):85-90.

[6] 李兆富,杨桂山,李恒鹏.西苕溪流域土地利用对氮素输出影响研究[J].环境科学,2006,27(3):498-502.

[7] Catsillo M M , Allan J D , Brunzell S . Nutrient concentrations and discharge in a midwestern agricultural catchment [J] . J Environ Qual , 2000 , 29(4) :1142-1151 .

[8] 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

[9] 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.

[10] 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,2002,57(4):389-396.

[11] Lammert M , Allan J D . Assessing biotic integrity of streams effects of scale in measuring the influence of land use/cover and habitat structure on fish and macro-invertebrates [J] . Environ Manage , 1999 , 23(2) :257-270 .

[12] Sponeseller R A , Benfield E F , Valett H M , et al . Relationships between land use , spatial scale and stream macro invertebrate communities [J] . Freshw Biol , 2001 , 46 :1409-1424 .

[13] 冯明磊,胡荣桂,许克翠,等.三峡小流域水体硝态氮含量变化特征及其影响因素研究[J].环境科学,2008,29(1):13-18.

[14] 官宝红,李君,曾爱斌,等.杭州市城市土地利用对河流水质的影响[J].资源科学,2008,30(6):857-863.

[15] 陈静,丁卫东,焦飞,等.丹江口水库总氮含量较高的调查分析[J].中国环境监测,2005,21(3):54-57.

[16] 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[J].环境科学学报,1997,17(1):39-47.

[17] 杨金玲,张甘霖,张华,等.丘陵地区流域土地利用对氮素径流输出的影响[J].环境科学,2003,24(1):16-23.

[18] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等.三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J].环境科学,2008,29(1):1-6.

[19] 郭青海,马克明,杨柳.城市非点源污染的主要来源及分类控制对策[J].环境科学,2006,27(11):2170-2175.

[20] Prakash B , Lawrence D T . Relationships Between Landscape Characteristics and Nonpoint Source Pollution Inputs to Coastal Estuaries [J] . Environ Manage , 1999 , 23(4) :539-549 .

[21] 王夏晖,尹澄清,单保庆.农业流域“汇”型景观结构对径流调控及磷污染物截留作用的研究[J].环境科学学报,2005,25(3):293-299.