

不同土地利用对流域土壤侵蚀和氮、磷流失的影响

黄云凤^{1,2}, 张珞平¹, 洪华生¹, 陈能汪¹, 黄金良¹, 曾悦¹

(1. 厦门大学海洋环境科学教育部重点实验室厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 福建厦门集美大学, 福建 厦门 361021)

摘要: 水土流失是非点源污染主要的发生形式, 而不同土地利用(植被覆盖)对土壤侵蚀及其氮、磷的流失起着决定性的作用。本文通过在福建省九龙江流域内选取典型小流域来研究不同植被类型与土壤侵蚀和氮、磷流失的关系。结果表明, 不同植被覆盖的典型小流域降雨径流中悬浮泥沙、氮、磷的流失依次为: 坡地果园> 水稻田> 半人工果林> 天然次生林; 典型小流域降雨径流流失的悬浮泥沙量、氮、磷流失量与植被覆盖度和降雨量成反比; 而且氮的主要流失形态为溶解态, 磷的流失形态主要为泥沙结合态。

关键词: 不同植被; 氮流失; 磷流失; 泥沙流失

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)04 – 0735 – 05

An Experimental Research on Soil Erosion and Nitrogen, Phosphorus Losses Under Different Vegetation Covers

HUANG Yun-feng^{1,2}, ZHANG Luo-ping¹, HONG Hua-sheng¹, CHEN Neng-wang¹, HUANG Jin-liang¹, ZENG Yue¹

(1. Key Laboratory for Marine Environment Science of Ministry of Education, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Soil erosion is an important form of nonpoint source pollutions. Different patters of land use may have significant effects on soil erosion and results in losses of nitrogen and phosphorus. This work was conducted to determine relationship between different vegetation covers with sediments and nitrogen and phosphorus losses. We selected four small representative watersheds in Jiulong River to conduct the present research. From May to August of 2003, series of water samples were collected from 4 sub – watershed drainage outlets in each rainfall event, and in the meantime, flow rate of the rum off was also measured. Total nitrogen (TN), total dissolved nitrogen (TDN), total phosphorus (TP), total dissolved phosphorus (TDP) and suspend sediment (SS) were measured for the samples. The results obtained showed as follows: the order of sediment yields and losses of nitrogen and phosphorus in the small watersheds was in an order: orchard> > farm> manpower forest> natural forest. And the more the vegetation covers, the smaller the nitrogen and phosphorus losses. Sediments and runoff by which nutrients were lost had the same trend during the rainfall period. Total dissolved nitrogen (TDN) was the major form of nitrogen loss in runoff and total particulate phosphorus (TPP) was the major form of phosphorus loss in runoff.

Keywords: different vegetation; nitrogen loss; phosphorus loss; sediment loss

1 引言

土壤侵蚀是非点源污染 (Non – point Source Pollution, NPS) 主要的发生形式, 不但由土壤侵蚀带来的泥沙本身就是一种非点源污染物, 而且泥沙 (特别

是细颗粒泥沙) 是营养盐氮、磷, 金属以及其他毒性物质的主要携带者。水土流失不仅抬高河床, 淤积河道和湖泊, 而且径流和泥沙所携带的养分元素造成河流的富营养化, 因此控制流域水土流失和养分流失是控制流域非点源污染的关键措施之一。国内外学者对一些小流域坡地非点源污染物和矿质元素的流失规律、流失形态^[1-3] 以及不同农作和水保措施控制水土流失和养分流失的效应进行了一些研究^[4-7], 但在流域范围内研究植被覆盖与氮、磷流失的关系较为少见。

收稿日期: 2004 – 04 – 06

基金项目: 福建省“十五”重大科技攻关项目(2002H009)

作者简介: 黄云凤(1977—), 女, 汉族, 福建人, 助教, 硕士生, 研究方向为环境规划与管理及农业非点源污染控制研究。

本文通过在九龙江流域内选取不同的典型小流域,在降雨过程中采样分析不同植被对径流、侵蚀泥沙、以及氮、磷流失的影响,旨在初步探讨流域内不同土地利用和植被覆盖与营养盐氮、磷流失的关系。

九龙江流域位于福建省东南沿海,为福建省第二大江,由发源于福建省龙岩梅花山一带的北溪和发源于漳州市南靖县与平和县的西溪在龙海市汇合,并从厦门海域注入台湾海峡。20 世纪 90 年代以来,九龙江流域内尤其是中下游漳州平原的山地开发快速发展,几乎全部开辟于山地丘陵的坡地之上,且多是幼龄果园,没有任何水土保持措施,这加剧了水土流失

和氮、磷流失,氮、磷的大量流失又加剧其下游厦门海域的富营养化。

2 实验设计与方法

2.1 典型小流域的遴选

不同植被覆盖的小流域的遴选根据以下原则进行:一是选取的小流域的土地利用(植被覆盖)在九龙江流域内具有代表性;二是要求土地利用方式相对单一;三是小流域有单一出口,以利于采样监测。经过遴选,选定 4 个小流域作为试验区,具体情况见表 1。

2.2 采样方法和频次

表 1 各个典型小流域的基本概况

Table 1 Basic information of each representative watershed				
流域名称	益坑小流域	天宝小流域	下庄小流域	雁石小流域
流域代号	YK	TB	XZ	YS
地理位置	龙岩市新罗区雁石镇益坑村 漳州市芗城区天宝镇天宝村 漳州市龙海区程溪镇下庄村 龙岩市新罗区雁石镇坪阳村			
面积/km ²	0.26	0.9	5.68	3.51
平均坡度(度)	23.29	20.5	19.4	10.1
土地利用	天然次生林地	人工林果地	坡地果园	水稻田为主
植被覆盖率	近 100%	约 75%	约 50%	约 40%

在每个典型小流域的出水口设置采样点,修整出水口的断面,使其成为较为规整的断面。实验在野外利用自然降雨进行,在大于 15 mm 的降雨中,在汇水区出口采集一系列水样各约 500 mL,并同时采用浮标法测定径流量。于 2003 年 5 月 16—17 日采得 4 个小流域降雨径流水样 27 个,2003 年 8 月 4—5 日采得益坑小流域和仙都小流域降雨径流水样 11 个,2003 年 8 月 21 日采得下庄小流域汇水区水样 14 个,2003 年 8 月 20—24 日获得雁石小流域水样 12 个。总共获得 4 个小流域径流水样 64 个。

采样频次:降雨前各小流域采样 1 次,降雨后根据降雨强度的变化每 1~2 h 采样 1 次。水样采集后密封保存在 4 ℃ 的冰箱中,当日下午或次日上午进行水样分析。

2.3 实验分析方法

悬浮泥沙(SS)的分析方法:重量法(GB 11901—89)。

径流中氮、磷的测定方法:分析项目包括总氮(TN)、可溶态氮(TDN)、颗粒态氮(TPN)以及总磷(TP)、可溶态磷(TDP)和颗粒态磷(TPP)。分析方法采用《水和废水监测分析方法》第四版^[8]国际分析方法,总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法(GB 11894—89);可溶态氮由水样经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后测定方法与总氮相同;颗粒态氮的浓度为总氮浓度减去

可溶态氮的浓度;总磷采用钼锑抗分光光度法(GB 11893—89);可溶态磷由水样经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后测定方法与总磷相同;颗粒态磷的浓度为总磷浓度减去可溶态磷的浓度。

2.4 径流非点源污染物负荷计算

暴雨全过程的污染物总量计算采用公式 $F = \sum [Q_i \times (C_i + C_{i-1}) / 2 \times \Delta t^{[9]}$,其中 $Q_i = (q_i + q_{i-1}) / 2$,式中,F 为一场降雨径流悬浮泥沙、氮、磷的输出负荷, Q_i 为单位时段地表径流量, C_i 和 C_{i-1} 为两个相邻单位时刻地表径流中污染物浓度, q_i 和 q_{i-1} 为两个相邻单位时刻地表径流量, Δt 为时间段。

3 结果与讨论

3.1 各典型小流域降雨过程的浓度变化趋势分析

实验期间降雨量参照小流域附件气象站(龙岩市气象站与漳州市气象站)的记录。4 次降雨事件中,由于在自然降雨条件下进行,每个典型小流域各次降雨的降雨量均不同,而且由于地域的差异,每个小流域降雨的时间也不一致,如表 2 所示。选取 4 个典型小流域一次降雨分析数据绘制成图,如图 2 所示。

从图 2 可以得出:(1)从暴雨事件过程的监测看,整个径流过程中水量和水质随时间变化幅度较大,SS、氮、磷浓度变化过程与流量变化呈现大体相同的趋势,其含量随径流流量变化剧烈,下降幅度要比径

表 2 各典型小流域降雨径流污染物分析数据

Table 2 Data of pollutants in the runoff samples from each typical watersheds

2003. 5. 16 – 17							2003 年 8 月							
样号	时间	流量	SS	TP	TDP		样号	时间	流量	SS	TN	TDN	TP	TDP
		/m ³ · s ⁻¹	/g · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹				/m ³ · s ⁻¹	/g · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹
益坑	YK1	15 日 14: 15	0.001	0.799	0.026	0.027	YK1	4 日 16: 52	0.006	0.292	<0.05	<0.05	0.002	<0.0001
	YK2	16 日 14: 16	0.029	1.578	0.117	0.005	YK2	5 日 10: 38	0.009	0.272	1.375	0.86	0.005	0.0022
	YK3	17 日 10: 20	0.038	0.292	0.056	0.025	YK3	5 日 11: 20	0.011	0.211	1.255	0.79	0.0267	<0.0001
天宝							YK4	5 日 12: 00	0.011	0.203	0.497	0.01	0.0173	<0.0001
							YK5	5 日 12: 30	0.009	0.201	4.345	1.69	0.0160	<0.0001
	TB1	16 日 11: 15	0.007	0.389	0.151	0.122	TB1	4 日 14: 05	0.012	1.352	1.63	1.45	0.059	0.056
	TB2	16 日 23: 55	0.042	0.599	1.180	0.093	TB2	4 日 16: 35	0.012	2.436	1.66	1.39	0.046	0.034
	TB3	17 日 1: 30	0.029	1.718	0.806	0.123	TB3	5 日 0: 00	0.009	2.562	1.88	1.76	0.203	0.092
	TB4	17 日 12: 05	0.039	5.603	0.190	0.250	TB4	5 日 1: 40	0.014	2.781	1.78	1.72	0.082	0.061
下庄	TB6	17 日 16: 05	0.026	0.491	0.144	0.047	TB5	5 日 3: 10	0.008	2.106	1.86	1.77	0.181	0.044
							TB6	5 日 8: 20	0.024	1.953	3.99	3.93	0.078	0.08
	XZ1	16 日 10: 22	0.040	—	0.311	0.110	XZ1	20 日 9: 00	0.201	0.317	6.24	5.73	0.135	0.106
	XZ2	16 日 15: 00	0.092	—	0.301	0.152	XZ2	20 日 14: 00	0.346	0.884	5.99	5.62	0.401	0.13
	XZ3	16 日 22: 56	0.624	0.489	0.160	0.108	XZ3	20 日 15: 40	0.754	1.615	5.96	5.71	0.923	0.209
	XZ4	17 日 00: 48	1.120	1.237	0.683	0.307	XZ4	20 日 18: 00	0.998	0.576	5.89	5.79	0.623	0.158
	XZ5	17 日 02: 18	1.304	1.718	0.476	0.336	XZ5	20 日 20: 40	1.340	0.179	6.01	5.8	0.455	0.198
	XZ6	17 日 08: 57	5.292	0.599	0.272	0.154	XZ6	20 日 22: 15	1.542	0.263	5.69	5.44	0.518	0.211
	XZ8	17 日 11: 50	0.607	0.596	0.244	0.139	XZ7	20 日 22: 45	2.620	0.791	5.36	4.78	0.599	0.238
	XZ9	17 日 13: 14	0.793	0.630	0.200	0.115	XZ8	20 日 23: 10	4.083	1.437	5.87	5.47	1.09	0.306
	XZ10	17 日 14: 10	0.657	0.574	0.187	0.108	XZ9	21 日 01: 15	8.000	2.670	5.72	4.87	1.21	0.42
	XZ11	17 日 16: 00	0.697	0.954	0.165	0.097	XZ10	21 日 4: 10	10.22	1.102	5.86	5.29	0.635	0.189
							XZ11	21 日 5: 55	10.42	0.606	5.93	5.68	0.586	0.154
							XZ12	21 日 8: 30	7.151	0.625	6.75	5.55	0.47	0.196
						XZ13	21 日 12: 10	5.701	0.683	5.98	5.34	0.386	0.153	
						XZ14	21 日 14: 40	5.534	0.755	6.35	5.7	0.304	0.255	
雁石	YS1	15 日 15: 15	0.095	0.480	0.509	0.385	YS3	19 日 22: 30	0.013	0.272	6.52		0.545	
	YS2	15 日 19: 30	0.139	0.502	0.682	0.440	YS4	20 日 6: 30	0.010	0.278	7.52		0.649	
	YS3	16 日 14: 35	0.156	0.434	0.494	0.373	YS5	20 日 21: 30	0.390	0.524	6.64		0.830	
	YS4	16 日 21: 40	0.975	1.900	1.253	0.220	YS6	20 日 23: 30	0.919	0.421	5.98		0.406	
	YS5	16 日 22: 35	2.101	1.260	0.402	0.047	YS7	21 日 2: 30	0.836	0.376	4.00		0.318	
	YS6	16 日 23: 55	1.863	1.066	0.239	0.048	YS8	21 日 6: 30	0.627	0.324	5.13		0.506	
	YS7	17 日 04: 50	2.210	1.245	0.712	0.039	YS9	21 日 13: 20	1.755	1.295	6.03		0.652	
	YS8	17 日 08: 40	1.798	0.600	0.242	0.047	YS10	21 日 14: 10	8.190	1.728	7.44		0.516	
	YS9	17 日 11: 05	0.890	0.520	0.222	0.065	YS11	21 日 16: 20	5.460	0.952	4.43		0.389	
							YS12	21 日 18: 30	4.875	0.813	8.77		1.359	
							YS13	22 日 7: 10	0.768	0.436	7.24		0.365	
							YS14	24 日 14: 20	0.176	0.321	4.66		0.368	

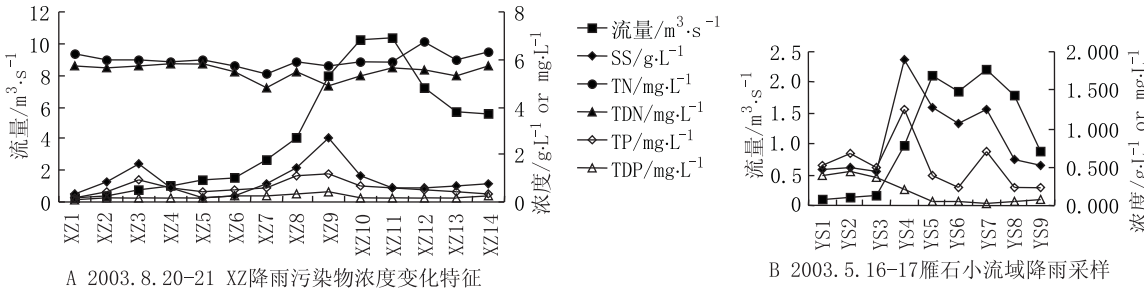


图 1 各典型小流域降雨采样分析变化特征

Figure 1 Characterization of rain samples taken from typical watersheds

流流量下降得快,并随产流时间而递减。氮磷及其各形态的浓度几乎在相同时间内达到峰值,且多超前于径流峰值。(2)可溶态氮、可溶态磷变化幅度较小,表明可溶解组分在一定水环境条件下所能溶解而达到的浓度范围有一定限度,其溶解性所受到的水环境条件的限制可能大于流量变化对它的影响。(3)颗粒态的氮磷浓度变化幅度相对可溶态的氮磷浓度大,且变化幅度与降雨和径流量大小成正比。(4)在 4 个典型小流域中,TP 的浓度远远大于 TDP 的浓度,即径流流失的 TP 大部分是颗粒态磷,磷的流失是以泥沙结合态磷为主的;可溶态氮占总氮的绝大部分,说明氮的流失是以溶解态为主的。(5)径流流失中的悬浮泥沙、总磷、颗粒态磷浓度在降雨径流出现峰值之前达到峰值,而且,颗粒态磷出现峰值的时间与径流泥沙含量出现峰值的时间相同。说明总磷的流失与悬浮泥沙的流失呈现正相关关系,总氮浓度与悬浮泥沙浓度的变化趋势并不全相同,总氮的流失还受施肥水平等因素影响。

3.2 典型小流域 SS、TN、TP 污染物输出量特征

计算各降雨场次中典型小流域的泥沙流失量和总氮、总磷流失量,并根据各个典型小流域的面积和降雨历时折算为降雨径流污染日均负荷(按日 24 h 折算),如表 3 所示。

表 3 各典型小流域降雨的污染物负荷量
(降雨量:mm;SS、TN、TP:g·km⁻²·d⁻¹)

Table 3 Pollutant loads in storm runoff of typical watersheds

降雨事件	流域	YK	TB	XZ	YS
2003. 5. 16 - 17	降雨量	105	68. 6	68. 6	105
	SS	18. 6 × 10 ⁵	2. 59 × 10 ⁶	2. 75 × 10 ⁷	2. 35 × 10 ⁷
	TP	914	1 290	1. 01 × 10 ⁵	8 × 10 ⁴
2003 年 8 月	降雨量	20	20	135	102
	SS	8. 4 × 10 ⁵	2. 7 × 10 ⁶	9. 5 × 10 ⁷	3. 58 × 10 ⁷
	TN	4. 1 × 10 ³	2. 7 × 10 ³	4. 96 × 10 ⁵	2. 66 × 10 ⁵
	TP	33	146	5. 65 × 10 ⁴	2. 69 × 10 ⁴

3.2.1 悬浮泥沙的输出特征

降雨中悬浮泥沙的流失量大小依次为:下庄小流域> 雁石小流域> 天宝小流域> 益坑小流域。下庄小流域为开发严重的坡地果园,而且坡度较大,雁石小流域为平原水稻田,坡度较小。在大暴雨情况下,下庄小流域坡地果园由于开发严重且坡度较大,比水稻田水发生更严重的水土流失,因此,悬浮泥沙流失量更多。结合表 2 可知,两次降雨中虽然天宝流域径流中流失的泥沙浓度最大,但是其悬浮泥沙流失量并不大,这是由于天宝小流域的植被覆盖度较高,而且林

相较复杂,人为活动开发较少,降雨中流域的植被的截留作用较强因而径流流量变小,因此总的降雨泥沙流失量少。

除了植被覆盖度外,降雨量与悬浮泥沙流失量相关程度较高,这与土壤侵蚀力有关的,降雨量越大,侵蚀力越大,悬浮泥沙的流失也就越大。但是在降雨量相等的情况下,各个小流域泥沙的流失是不同的。益坑小流域与雁石小流域的单场降雨量接近,但是雁石小流域的泥沙流失量大于益坑小流域。由于这两个小流域不同的植被覆盖度影响了流域的泥沙流失量。但是,天宝小流域由于为半人工林地,下庄小流域为完全开发的坡地果园,这两个流域的单场降雨量虽然低于益坑小流域,但是由于其植被覆盖低,坡地开发强度大,其泥沙流失量大于益坑小流域。2003 年 8 月份的降雨中,各个小流域的降雨量不相同,但是降雨量大的小流域,其泥沙流失量大。因此可知:单一小流域内,降雨量越大,泥沙流失量越多。在不同的小流域,降雨量相同的情况下,植被覆盖率高的小流域的泥沙流失量小;降雨量不同的情况下,各个小流域的泥沙流失量大小顺序并不与降雨量的多少相一致,说明降雨量是影响小流域的泥沙流失量的决定因素之一。

3.2.2 典型小流域的总氮、总磷流失变化特征

总氮、总磷的流失量顺序为:下庄小流域> 雁石小流域> 天宝小流域> 益坑小流域,即坡地果园> 水稻田> 人工林地> 天然林地。也就是植被覆盖度越大的小流域,总氮、总磷的流失量越小。单一小流域两次降雨中,降雨量越大,流失的总氮、总磷浓度越大,氮磷的流失与降雨量的多少有关。因为降雨径流流量增大,雨水和径流对地面的冲刷作用明显加强,氮、磷等营养元素的流失量也相应显著增加^[5]。根据调查,在降雨采样前,雁石小流域和下庄小流域施用了不同数量的复合肥,而且这两个流域主要为人工耕作,植被根系的水土保持作用下降,因此雁石小流域的 SS、氮、磷流失量大大高于其他植被覆盖的小流域。

3.2.3 悬浮泥沙流失量与总氮、总磷流失量之间关系

各典型小流域的总磷流失量与悬浮泥沙流失量的大小顺序相一致,这是因为总磷的流失形态主要是泥沙结合态,泥沙流失越多,颗粒态磷流失越多,总磷的流失量也就越多^[10]。总氮的流失量与泥沙的流失量大小顺序相一致。虽然径流中总氮总是以可溶态形式流失的,但是由于这 4 个典型的土地利用方式和植被覆盖度均影响了总氮的流失,越容易发生水土流失的小流域,总氮的流失量也越多。

4 结 语

多数研究结果^[11,12]认为,植被覆盖可以有效减少土壤侵蚀和总磷和总氮的流失,本研究也证实了这一点。本实验得到的结论:(1)不同植被覆盖的小流域,植被覆盖度越大,植被的林相越复杂,人工干扰植被越少,则植被对降雨的截留作用越大,因此,降雨产生的径流量越小,流失的泥沙、总氮、总磷就越少。(2)多数污染物的输出量主要受降雨强度和径流量大小的影响,浓度变化过程与流量变化呈大致相同的趋势。多种污染物浓度几乎在相同时刻达到峰值且多超前洪峰而先到达,随后因稀释作用表现出浓度递减趋势。(3)径流中流失的磷素与流失的沉积物呈正相关关系。即流失的泥沙越多,径流流失的磷素越多。(4)流域径流中磷素的流失形态分为可溶态磷和颗粒态磷,径流中磷素的流失是以颗粒态形式流失,即磷的流失是以泥沙结合形式流失的;径流中氮素主要是以可溶态氮流失的。

降雨中径流流失的悬浮泥沙、总磷、颗粒态磷浓度在降雨径流出现峰值之前达到峰值,说明降雨对于土壤的侵蚀力大,冲刷作用强,应注重加强小流域内植被的覆盖和保护来减少泥沙和磷素的流失,在坡地的开发利用过程中,应注意水土保持措施,以减少农业非点源污染物的输出。

参考文献:

[1] Lin C Y, Chou W C, Lin W T. Modeling the width and placement of

riparian vegetated buffer strips: a case study on the Chi - Jia - Wang Stream[J]. *Taiwan Journal of Environmental Management*, 2002, 66: 269 - 280.

- [2] 张 燕, 张 洪, 彭补拙, 等. 不同土地利用下农地土壤侵蚀与养分流失[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 23 - 31.
- [3] 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): 189 - 198.
- [4] Rey F. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies[J]. *Catena*, 2003, 50: 549 - 562.
- [5] Abdul Gafur, Jens Rauns Jensen, Ole K Borggaard, et al. Runoff and losses of soil and nutrients from small watersheds under shifting cultivation in the Chittagong Hill Tract of Bangladesh[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 279: 293 - 309.
- [6] Dabney S M, Meyer L D, Harmon C V, et al. Depositional patterns of sediment trapped by grass hedgus[J]. *Trans Soc of Agr Engineers*, 1996, 38(6): 1719 - 1729.
- [7] Edwards D R, Daniel T C, Moore P A, et al. Solids transport and erodibility of poultry litter surface - - applied to fescue[J]. *Trans of ASAE*, 1994, 37(3): 771 - 776.
- [8] 国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法委员会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] 沈 晋, 沈 冰, 李怀恩, 等. 环境水文学[M]. 安徽: 安徽科学技术出版社, 1992. 44.
- [10] Sharpley A N. The enrichment of soil phosphorus in runoff sediment [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1980, (9): 512 - 526.
- [11] 吕唤春, 陈英旭, 方志发, 等. 千岛湖流域坡地土地利用结构对径流氮、磷流失量的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 91 - 93.
- [12] 张兴昌, 邵明安. 植被覆盖度对流域有机质和氮素径流流失的影响[J]. 环境科学, 2000, 6(21): 16 - 19.