

王克勤, 宋泽芬, 李太兴, 等. 2009. 抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征 [J]. 环境科学学报, 29(6): 1321–1328

Wang K Q, Song Z F, Li T X, *et al*. 2009. The contribution of non-point pollution in the Jianshan River watershed—the first branch of Fuxian Lake [J].

Acta Scientiae Circumstantiae, 29(6): 1321–1328

抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征

王克勤^{1,*}, 宋泽芬¹, 李太兴², 李云蛟³

1. 西南林学院环境科学与工程系, 昆明 650224

2. 云南省玉溪市水利局, 玉溪 653100

3. 云南省澄江县水利局, 澄江 653102

收稿日期: 2008-07-27

修回日期: 2008-12-15

录用日期: 2009-03-31

摘要: 对云南省抚仙湖尖山河小流域降雨量以及坡耕地、梯坪地、灌草丛、人工林和次生林 5 种土地类型及村庄和道路等非生产用地产生的地表径流量和泥沙量进行了定位观测, 并对地表径流和泥沙中所含面源污染物进行了测定. 结果表明: ① 6~10 月份是该流域出现较大降雨的主要时期, 2006 年 6~10 月份降雨量占全年降雨总量的 83.2%, 这一时期是产生水土流失和面源污染的主要时期. ② 坡耕地和人工林是地表径流和泥沙产生的主要场所. 坡耕地的地表径流和泥沙产生量分别占小流域产生总量的 22.97% 和 62.96%, 人工林的地表径流和泥沙产生量分别占小流域产生总量的 34.69% 和 16.76%. ③ 尖山河小流域面源污染物主要来源于坡耕地和人工林. 在坡耕地和人工林, 随地表径流产生的面源污染物 TN、TP 和 COD 分别占流域产生总量的 75.01%、51.63% 和 66.42%, 随泥沙产生的 TN、TP 和有机质分别占流域产生总量的 74.12%、73.18% 和 62.14%. ④ 村庄和道路等非生产用地单位面积的面源污染物产生量较高, 但由于总面积较小, 在流域面源污染物产生总量中的比例很小, TN 和 TP 分别只占产生总量的 3.98% 和 1.05%. 在流域中所占面积很少的坡耕地 (仅占 7%) 却成了面源污染产生的主要场所.

关键词: 地表径流; 泥沙; 面源污染; 尖山河小流域; 抚仙湖

文章编号: 0253-2468(2009)06-1321-08

中图分类号: X171

文献标识码: A

The contribution of non-point pollution in the Jianshan River watershed—the first branch of Fuxian Lake

WANG Keqin^{1,*}, SONG Zefen¹, LI Taixing², LI Yunjiao³

1. The Faculty of Environment Science and Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224

2. Yuxi Municipal Hydrological Bureau, Yuxi 653100

3. Chengjiang County Hydrological Bureau, Chengjiang 653102

Received 27 July 2008

received in revised form 15 December 2008

accepted 31 March 2009

Abstract This research was undertaken in the Jianshan River watershed of Fuxian Lake, Yunnan Province to analyze the contribution of non-point source pollution to the watershed from different land use types, and to put forward control countermeasures for the non-point source pollution. Surface runoff and sediment were determined, and non-point source pollutants were tested in sloped farmland, terraces, shrub land, grass land, artificial forest, natural secondary forest, villages and roads. Heavy showers occur mainly from June to October each year, and in 2006 the rainfall from June to October accounted for 83.2% of the total rainfall. This period was the key to the erosion of water and soil, and the production of non-point source pollution. Sloped farmland and artificial forests were the main sources of surface runoff. Surface runoff and sediment from sloped farmland accounted for 22.97% and 62.96% of the total amount of the totals in the watershed, respectively, while runoff and sediment losses from artificial forest accounted for 34.69% and 16.76%. Therefore, in the Jianshan River watershed, non-point source pollution came mainly from sloped farmland and artificial forest. In both sloped farmland and artificial forest, TN, TP and COD of surface runoff accounted for 75.01%, 51.63% and 66.42% of the total amount in the watershed, respectively, whilst TN, TP and organic matter of sediment accounted for 74.12%, 73.18% and 62.14% of the total amount. In villages and on roads, the production of non-point source pollution was less, because the area was smaller, although the production of non-point source pollutant was high per unit area. TN and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 30660037); 云南省自然科学基金项目 (No. 2006D0041M); 云南省科技计划项目 (No. 2006SG20)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30660037), the Natural Science Foundation of Yunnan Province (No. 2006D0041M) and the Project of Science and Technic Plan of Yunnan Province (No. 2006SG20)

作者简介: 王克勤 (1964—), 男, 教授 (博士), E-mail wangkeqin7389@sina.com, Tel. 0871–3862778 * 通讯作者 (责任作者)

Biography WANG Keqin (1964—), male, professor (Ph.D.), E-mail wangkeqin7389@sina.com, Tel. 0871–3862778 * **Corresponding author**

TP of villages and roads accounted for 3.98% and 1.03% of the total amount in the watershed, respectively. In general, sloped farmland was the main source of non-point source pollution, although its area was only 7% of the total area.

Keywords surface runoff; sediment; non-point source pollution; Jianshan River watershed; Fuxian Lake

1 引言 (Introduction)

抚仙湖是我国第二深水湖,其储水量占云南省储水总量的 65%。尽管目前的总体水质为 I 类(陈红等, 2002),但近年来湖泊周边小流域河流的入湖口区域水质不断下降,基本保持在 II ~ III类以下水质。由于抚仙湖流域主要以农业和第三产业为主,工业造成的点源污染并不严重,由农业形成的面源污染是抚仙湖污染的主要形式。抚仙湖储水量大,污染物的输入对水体总体的水质影响不大,但长此以往必将加速湖体的衰老,与抚仙湖一“脉”相通的星云湖就没有逃脱面源污染的厄运,水质多年来维持在 IV ~ V类。面源(非点源)污染已成为水体资源(尤其是湖泊)富营养化的主要原因(刘振英等, 2007)。农业面源主要提供 N、P 及农药残留物,农业面源污染对水环境的恶化有着十分显著的贡献(Aheim et al., 2000),在美国,非点源污染已经成为环境污染的第一因素,农田径流是 64% 受污染河流和 57% 受污染湖泊的主要污染源(US EPA, 1995)。地表径流是输送面源的主要途径,在径流系数高的农业山区面源污染最为突出(Sharp et al., 1994)。面源污染物的输出与地表的植被覆盖状况有直接的关系(高超等, 2005; 彭文英等, 2001),植被状况好的土地利用类型对径流的拦蓄能力更高(周国逸等, 2000; 彭文英等, 2001; 余新晓等, 2001; 吴钦孝等, 1998; 闫俊华等, 2000; 张志强等, 2000; 郑粉莉等, 2005),因而对控制面源污染的输出具有重要作用。目前对面源污染研究主要集中在农田过量施肥造成的污染(刘振英等, 2007; 陈红等, 2002)、村镇面源污染(黄虹等, 2004)、单一土地类型的面源污染特点(王道涵等, 2002)或流域输出的输出特征(许其功等, 2007)等方面,针对以农业为主的小流域所进行的面源污染分布特点方面的研究很少,尤其在抚仙湖流域还没有同类研究报道。本研究以抚仙湖一级支流——尖山河小流域为研究对象,对不同土地利用类型的地表径流和泥沙输出量以及其中携带的 N、P 等面源污染物进行测定,计算尖山河小流域面源污染的输出量,以期探明山区流域坡耕地在湖泊面源污染物中的贡献,为确定抚仙湖面源污染的防治重点、防患面源污染于未然提供理论依据。

2 研究区概况 (General situation of the site)

研究区位于珠江南北盘江上游岩溶区域的玉溪市澄江县尖山河小流域,为抚仙湖的一级支流。研究区位于北纬 24°32′00″~ 24°37′38″、东经 102°47′21″~ 102°52′02″之间,海拔在 1722.0~ 2347.4 m 之间;流域总面积 35.42 km²,其中梯坪地面积 177 hm²,坡耕地面积 248 hm²,次生林 1346 hm²,人工林 567 hm²,退耕还林地、灌木林及草地(总称灌木林草地)共 1063 hm²,其他土地类型 142 hm²(其中河道等水体 5.8 hm²、村庄道路等非生产用地 40.7 hm²、难利用地 94.5 hm²),各土地类型在流域中所占的比例见图 1。河道全长 8.5 km。

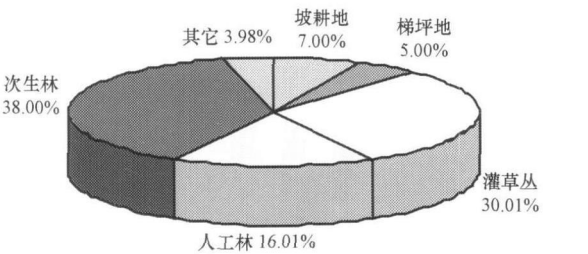


图 1 各土地类型在流域中所占的比例
Fig. 1 Contribution of various land use types in the watershed

尖山河小流域多年平均降雨量 1050 mm,干湿季分明。雨季为 6~ 10月之间,降雨量占全年总降雨量的 75%,暴雨基本出现在雨季。年平均径流深 300 mm,年均蒸发量为 900 mm。流域土壤主要是红紫泥土和红壤。流域内林地主要分布在尖山河东西两侧海拔 1950m 以上的山坡地带,主要乔木树种有云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*P. amandii*)、蓝桉(*Eucalyptus globules Labill*)等。

3 研究方法 (Methods)

3.1 坡面径流小区和雨量计的布设

根据流域地形条件,在流域典型地段选择了次生林、人工林、灌木丛、梯坪地和坡耕地 5 种土地类型,分别布设了 5m × 20m 的标准径流小区,用于观测地表径流、土壤侵蚀量(泥沙量)和采集地表径流及泥沙样品。在每个径流小区安装了 WGS-1 型数字水位计(重庆水文仪器厂生产),观测径流量以及产

流过程. 径流小区的基本情况见表 1. 在标准径流小区旁布设 JZ-1 型数字自记雨量计 (重庆水文仪器厂生产) 测定每场降雨的降雨量和降雨历时.

表 1 坡面径流小区基本情况

Table 1 The situation of standard water-balance plot

小区名称	坡位	坡度	坡向	土壤类型	海拔 /m	盖度
坡耕地	坡中下部	18.58°	南北向	红壤	1773	
梯坪地	坡下部	1°~2°	/	红壤	1768	
人工林	坡中下部	18.58°	南北向	紫色壤	1788	65% (郁闭度)
灌草丛	坡中下部	20.84°	南北向	紫色壤	1790	95%
次生林	坡中下部	24.62°	东西向	红壤	1787	90% (郁闭度)

3.2 径流、泥沙观测

降雨过程使用数字自记雨量计测定并计算每次的降雨量和降雨强度. 采用定位观测的方法, 每次降雨后测量 5 个径流场的径流量和泥沙量, 并常年对流域出口断面水文站 (三角堰) 进行径流和泥沙总量观测. 径流场径流量在量水池中用体积法求得, 流域径流总量用水文计算法求得, 村庄及道路非生产用地采用径流系数法求得, 泥沙观测采用泥沙含量置换测定法.

3.3 径流、泥沙取样

在每次降雨后, 用取样器在径流场量水池和流域出口断面对径流各重复取样 3 次, 迅速带到实验室处理待测. 在降雨过程中在非生产用地的径流汇集处取样 3 次. 由于量水池径流的泥沙有限, 每次降雨后将沉积在量水池底部的泥沙收集一部分, 风干, 在雨季收集够泥沙样品 (约 750 g), 带回实验室待测.

3.4 径流、泥沙中面源污染物测定

有机质采用重铬酸钾滴定法测定, 水解性氮采用碱解蒸馏法测定, 全氮采用凯氏定氮法测定, 速效磷采用盐酸-氟化铵-钼锑抗比色法测定, 土壤全

磷采用 $\text{HC D}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 法测定.

4 结果 (Results)

4.1 降雨特征

降雨是径流和泥沙产生的动力因素, 在同等条件下降雨特征决定了径流和泥沙产量的大小. 2006 年尖山河小流域共有 124d 降雨, 共计 1247.5mm, 其中日降雨量最大是 8 月 6 日, 为 82.6mm. 各月降雨量见表 2. 降雨主要集中在 6~10 月份, 这 5 个月的降雨量占观测月份的 83.2%, 旱季仅占 16.8%, 故选择 6~10 月份进行径流小区的观测是具有代表性的. 由于年内降雨量分配不均, 夏季降雨过分集中易形成大雨或暴雨, 导致容易产生大的地表径流并冲刷地表, 造成水土的流失. 在 6~9 月共降雨 96 场, 降雨总量为 1037.2mm, 发生产流的次降雨有 39 场. 通过径流观测表明, 当 10min 雨强 (I_{10}) 大于 $9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 即使降雨量小于 5mm, 坡耕地也会产生产流. 这表明, 坡面水土流失是由降雨量和雨强共同决定的.

表 2 流域每月降雨量总计表

Table 2 Monthly total rainfall in the Jianshan river watershed

1月~4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
0	31.7	388.2	229.1	358.4	61.9	104.1	7.4	66.7	1247.5

4.2 地表径流输出量

4.2.1 不同土地类型的地表径流产生量 由表 3 图 2 可知, 不同土地类型年产生径流量相差非常大, 坡耕地的径流系数高达 42.50%, 年产生径流量分别是人工林、灌草丛和次生林的 12.8 倍、3.9 倍和 1.5 倍, 居于所有土地类型产流量之首; 对于人工林, 其结构不太合理、郁闭度较低, 尤其是地表覆盖

物稀少, 产生的径流量分别是灌草丛和次生林的 8.5 倍和 2.6 倍, 位于第 2 位; 而次生林径流系数最低, 只有 3.31%, 年产生径流量只有 41.28mm, 可见其减少地表径流、涵养水源功能之高, 是该流域其它土地类型所不具备的; 另外, 灌草丛对地表径流的拦截和阻止作用也不可低估, 其径流系数也只有 10.82%.

表 3 2006年不同土地类型地表径流量总计表

Table 3 The annual surface runoff from different land use types in 2006

月份	地表径流 /mm					
	坡耕地	梯坪地	灌草丛	人工林	次生林	村庄、道路
1~4月	0	0	0	0	0	0
5月	16.32	1.68	4.21	10.65	1.11	12.68
6月	109.12	15.37	28.16	71.20	7.40	252.33
7月	124.00	19.35	30.00	75.20	9.80	148.92
8月	188.12	24.28	64.80	110.40	15.92	232.96
9月	29.88	2.34	2.50	26.72	2.27	37.14
10月	50.25	3.92	4.20	44.93	3.82	57.26
11月	1.43	0.11	0.12	1.28	0.11	1.48
12月	11.09	0.86	0.93	9.92	0.84	30.02
合计	530.20	67.91	134.92	350.29	41.28	772.78

4.2.2 流域径流产出量 图 2直观地反映了各土地类型 2006年在流域中产生的地表径流量和在流域总径流量中的贡献率, 占流域总面积达 38% 的次生林, 其地表径流的贡献率只有 9.70%, 而占流域

总面积仅 7% 的坡耕地地表径流的贡献率达到了 22.97%; 人工林所占比例较大, 其地表径流的贡献率在 6种土地类型中也位居首位; 非生产用地的径流系数虽然较高 (61.95%), 但所占面积有限, 径流产生总量仅有 $31.45 \times 10^4 \text{ m}^3$, 贡献率为 5.49%.

4.3 泥沙产出量

4.3.1 不同土地类型泥沙产生量 2006年不同土地类型的泥沙产生量 (表 4)表明, 单位面积坡耕地产沙量分别是次生林、灌草丛、梯坪地和人工林的 64.6倍、23.2倍、14.1倍和 8.6倍, 位于各土地类型之首. 雨季 6~10月间, 坡耕地、梯坪地、灌草丛、人工林、次生林的产沙量分别为 $81517.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $5791.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $3502.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $9233.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1230.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 非生产用地 (村庄、道路) 的产沙量与次生林相当, 仍然是坡耕地的产沙量最大, 而次生林保持土壤的效果最好. 灌草丛和次生林泥沙产出量分别比坡耕地减少 95.89% 和 98.68%, 人工林的减沙效果比不上灌草丛, 但也比

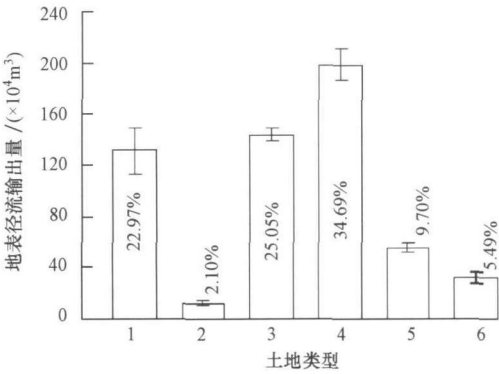


图 2 2006年各土地类型的地表径流产出量及贡献率 (1. 坡耕地; 2. 梯坪地; 3. 灌草丛; 4. 人工林; 5. 次生林; 6. 非生产用地)

Fig. 2 The output and rate of surface runoff from several land use types in 2006 (1. Sloped fields; 2. Terrace; 3. Shrub grass; 4. Artificial forest; 5. Secondary forest; 6. Non-production)

表 4 2006年不同土地类型泥沙产生量

Table 4 Sediment output from different land use types in 2006

月份	kg·hm ⁻²					
	坡耕地	梯坪地	灌草丛	人工林	次生林	村庄、道路
1~4月	0	0	0	0	0	0
5月	2297.70	236.60	181.20	364.60	48.90	20.05
6月	55029.50	2164.40	1212.00	2438.30	327.30	396.71
7月	15740.70	2456.30	1062.40	2768.70	371.20	234.16
8月	5372.60	693.40	821.70	1662.90	228.90	366.13
9月	1147.50	89.90	84.00	745.40	94.60	58.26
10月	1929.90	150.60	141.30	1253.60	159.20	89.89
11月	54.90	4.20	4.00	35.60	4.50	2.33
12月	426.00	33.00	31.20	276.70	35.10	47.35
合计	81998.70	5828.40	3537.80	9545.90	1269.70	1214.89

坡耕地减少了 90 15%. 这表明, 植被在防止泥沙输出上有着很好的作用.

4 3 2 流域泥沙产出量 图 3 直观地反映了各土

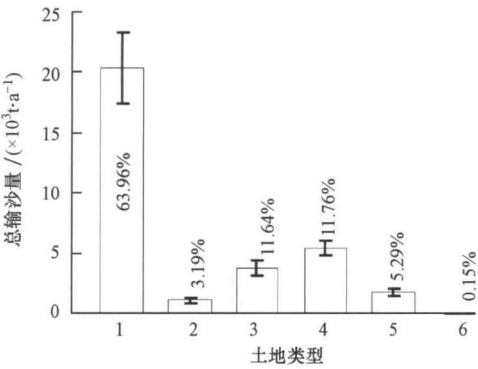


图 3 2006 年各土地类型的泥沙产出量及贡献率 (1 坡耕地; 2 梯坪地; 3 灌草丛; 4 人工林; 5 次生林; 6 非生产用地)

Fig 3 The output and rate of sediment from several land use types in 2006(1. Sloped field 2. Terrace 3. Shrub grass 4. Artificial forest 5. Secondary forest 6. Non-production)

地类型 2006 年在流域中产出的泥沙量和在流域总产沙量中的贡献率, 占流域总面积达 38% 的次生林, 其产出泥沙的贡献率只有 5 29%, 而占流域总面积仅 7% 的坡耕地地表径流的贡献率达到了 62. 96%, 坡耕地为尖山河小流域泥沙输出的主要源地.

4 4 流域面源污染产出量

4 4 1 随径流产出的面源物质 通过对 2006 年集中降雨期 (6~ 9 月份) 各土地类型地表径流中 N、P 和 COD 的测定, 各土地类型单位径流量中面源污染物的含量没有显著差异 (表 5). 但单位面积土地随径流产出的面源污染物主要与地表径流的产生量有关. 由于不同土地类型的地表径流产生量差距很大, 导致了全流域面源污染物随地表径流的产出量仍然主要决定于土地类型 (表 6). 坡耕地尽管占流域总面积只有 7%, 而对面源污染物的贡献率除人工林外, 比任何其他土地类型都要大. 人工林的地表径流产生量较大, 决定了人工林随地表径流产出的面源污染量也较多.

表 5 不同土地类型地表径流中面源污染物的含量

Table 5 Non-point pollutant content in surface runoff from different land use types						mg L ⁻¹
土地类型	TN	TP	COD	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Pw
坡耕地	4 3962	0. 3526	25 60	0 5882	3. 8080	0. 0904
梯坪地	4 4660	0. 2924	26 40	3 3220	1. 1440	0. 0814
人工林	5 4240	0. 3666	33 60	0 4720	4. 9520	0. 0142
灌草丛	1 7836	0. 4400	17 20	0 8556	0. 9280	0. 3312
次生林	1 8744	0. 3468	26 80	0 6024	1. 2720	0. 1784
非生产用地	4 3814	0. 8193	25 51	0 0407	3. 1757	0. 2100

注: Pw 为水溶性 P.

表 6 流域中不同土地类型随地表径流产出的面源污染物总量

Table 6 Total non-point pollutant content with surface runoff from different land use types in the watershed						t a ⁻¹
土地类型	TN	TP	COD	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Pw
坡耕地	5 7806	0. 4636	33 6614	0 7734	5. 0071	0. 1189
梯坪地	0 5368	0. 0351	3 1733	0 3993	0. 1375	0. 0098
人工林	10 7728	0. 7281	66 7343	0 9375	9. 8354	0. 0282
灌草丛	2 5580	0. 6310	24 6682	1 2271	1. 3309	0. 4750
次生林	1 0414	0. 1927	14 8904	0 3347	0. 7067	0. 0991
非生产用地	1 3781	0. 2577	8 0247	0 1281	0. 9988	0. 0661
合计	22 0677	2. 3083	151 1524	3 8000	18. 0165	0. 7970

4 2 2 随泥沙产出的面源物质 通过对 2006 年集中降雨期 (6~ 9 月份) 各土地类型地表径流中 N、P 和有机质的测定, 各土地类型泥沙中面源污染物的含量没有显著差异 (表 7). 但全流域随泥沙产出的面源污染物总量决定于土地类型, 坡耕地产出的面

源污染物在总量中起决定性的作用, 尤其是 N、P 的产出量主要来源于坡耕地; 其主要原因是坡耕地产生的泥沙量太大, 尽管各种土地类型单位泥沙量中所含的面源污染物相差不大, 但由于泥沙产生量的巨大差异, 导致了仅有 7% 面积的坡耕地随泥沙产

出的面源污染物是面积最大的次生林 (38%) 产出的面源物质非常少. 量的 2~ 10倍 (表 8). 非生产用地随径流和泥沙产

表 7 不同土地类型泥沙中面源污染物的含量
Table 7 Non-point pollutant content in sediments from different land use types

土地类型	有机质	TN	水解氮 /(mg 100g ⁻¹)	TP	速效磷 /(mg 100g ⁻¹)
坡耕地	0.625%	0.043%	7.930	0.102%	1.257
梯坪地	0.974%	0.057%	8.281	0.090%	1.329
人工林	1.164%	0.020%	8.275	0.081%	0.282
灌草丛	0.740%	0.054%	10.507	0.143%	1.043
次生林	4.538%	0.046%	24.031	0.162%	2.339
非生产用地	0.779%	0.054%	5.489	0.273%	3.300

表 8 流域中不同土地类型随泥沙产出的面源污染物总量
Table 8 Total non-point pollutant content with sediment from different land use types in the watershed t a⁻¹

土地类型	有机质	TN	水解氮	TP	速效磷
坡耕地	127.0980	8.7443	1.6126	20.7424	0.2556
梯坪地	10.0480	0.5880	0.0854	0.9285	0.0137
人工林	27.8290	2.0308	0.3951	5.3778	0.0392
灌草丛	63.0018	1.0825	0.4479	4.3842	0.0153
次生林	77.5552	0.7862	0.4107	2.7686	0.0400
非生产用地	0.3835	0.0264	0.0000	0.1342	0.0016
合计	305.9155	13.2582	2.9517	34.3357	0.3654

5 讨论 (Discussion)

云南的降雨主要集中在雨季, 并且常常以降雨量和降雨强度较大的阵雨出现, 历时短的暴雨和大暴雨是发生水土流失的主要原因, 为山区流域面源污染物质的输出提供了动力条件.

按照尖山河小流域的土地类型来看, 耕地的面积是很小的, 仅占流域面积的 12%, 其中坡耕地只占 7%; 流域的植被覆盖率高达 84.02%, 其中森林覆盖率为 54.01%, 这样的生态环境条件在云南同类山区已经是非常不错的. 目前云南省林草覆盖率为 60.54%, 其中森林覆盖率只有 33.64%. 尖山河小流域的林草覆盖率和森林覆盖率比全省平均水平高 30% ~ 40%, 其良好的生态环境现状在云南省山区小流域中是不可多得的. 但是, 由于其所处位置的特殊性 (位于抚仙湖一级支流), 其生态环境状况直接影响到抚仙湖水体.

通过对前面研究结果的分析, 尽管尖山河小流域中坡耕地的数量很小, 但遇到较强降雨后由其产生的地表径流量和泥沙量 (尤其是泥沙量) 占流域径流和泥沙产出总量的 30% ~ 65%, 随其产出的面源污染物也决定了小流域产出面源污染物的总量, 可以说坡耕地成了尖山河小流域面源污染物的主

要策源地. 如果坡耕地不消除, 甚至增加, 尖山河小流域的面源污染物输出只会增加、不会减少.

研究结果还得出, 人工林在面源污染物产出中的作用也不可低估, 这主要与现有人工林的结构不良有关, 其结构决定了其水土保持和水源涵养功能的不理想. 尖山河小流域现有人工林主要以桉树林为主, 由于当初造林时对林分的结构考虑不够, 形成的人工林结构不合理 (树种单一, 生物多样性低), 加之长期受强烈的人为干扰 (樵采枝叶, 提取桉叶油), 人工林的发育受到很大限制, 因此, 在人工林部分随水土流失产出的面源污染物也是十分巨大的. 在山区农业小流域, 由于人口密度小, 非生产用地不是面源产生的重点区域.

本研究中各土地类型面源污染物产出量所反映的事实上是面源污染物的产生量, 从地表径流的产生经过汇流过程到输出流域是一个复杂的过程, 汇流过程中面源污染物受植物、土壤及微生物等的作用不断截留而衰减, 流域的面源污染物输出量应该比产生量小. 面源污染物的被截留量与地表径流一样, 决定于地表植被的覆被程度, 覆盖率越高, 产流率越低, 截流量越大. 6种土地类型中, 面积最大的次生林地所产生的面源污染物在汇流中的衰减率应该是最高的, 而产流率高的坡耕地和人工林的

衰减率最低。所以,流域中不同土地类型面源污染物的输出量与产出量之比(输出率)决定于产流率,产流率高的坡耕地和人工林(尤其是坡耕地)的面源污染物输出率应该是最高的。故分析各种土地类型的面源污染物产出量就能足以反映小流域面源污染输出的核心问题。而对于汇流这一复杂过程还需要专题研究才能解决,但目前还没有研究成果能使不同土地类型的径流和泥沙输出率定量化,只能通过坡面产流量和流域出口断面的径流量反映整个流域的径流输出率,对于面源污染来说,也只能得到流域的综合输出率。

综上所述,要保护好抚仙湖必须做好以下几方面工作:一是保护好现有的次生林和灌草丛,使它们能继续发挥好良好的水土保持和水源涵养功能,净化水质;二是加大对现有人工林的改造,并消除人为干扰,使人工林逐步建立良好的森林结构;三是必须消除坡耕地,为了保证足够的耕地面积,可改坡耕地为梯坪地,彻底从源头杜绝面源污染物质的输出。

6 结论 (Conclusions)

1)尖山河小流域 2006年 6~10月份是出现较大降雨的主要时期,同时也是面源污染物输出的主要时期;6~10月份降雨量占全年降雨总量的 83.2%,这一时期是预防水土流失和面源污染的主要时期。

2)坡耕地和人工林是地表径流和泥沙产出的主要场所。不同土地类型的地表径流和泥沙产出量存在巨大差异,在尖山河小流域 6种主要土地类型中,坡耕地的地表径流和泥沙产出量分别占小流域产出总量的 22.97%和 62.96%,人工林的两项产出量分别占小流域产出总量的 34.69%和 16.76%。

3)尖山河小流域面源污染物主要来源于坡耕地和人工林。山区小流域面源污染物主要随地表径流和泥沙产出,地表径流和泥沙产出量的大小决定了不同土地类型面源污染的产出量。在尖山河小流域 6种土地类型中,坡耕地随地表径流产出的 TN、TP和 COD分别是 5.7806 t a^{-1} 、 0.4636 t a^{-1} 和 33.6614 t a^{-1} ,人工林随地表径流产出的 TN、TP和 COD分别是 10.7728 t a^{-1} 、 0.7281 t a^{-1} 和 66.7343 t a^{-1} ,这 2种土地类型 TN、TP和 COD的产出量占流域产出总量的 75.01%、51.63%和 66.42%。坡耕地随泥沙产出的 TN、TP和有机质分别是 8.7443

t a^{-1} 、 20.7424 t a^{-1} 和 $127.0980 \text{ t a}^{-1}$,人工林随泥沙产出的 TN、TP和有机质分别是 2.0308 t a^{-1} 、 5.3778 t a^{-1} 和 27.8290 t a^{-1} ,这 2种土地类型 TN、TP和有机质随泥沙的产出量占流域随泥沙产出总量的 81.27%、76.07%和 50.64%。

4)村庄和道路等非生产用地的面源产出量很小。非生产用地单位面积的面源污染物产生量较高,但由于总面积较小,在流域面源污染物产生总量中的比例很小, TN和 TP分别只占产生总量的 3.98%和 1.05%。

参考文献 (References):

- Atheiner B, Lign R. 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments - influence of spatial and temporal variables [J]. *Journal of Hydrology*, 227(1): 140-159
- 陈红,王声跃,刘俊. 2002. 抚仙湖流域农业面源污染控制研究 [J]. *云南环境科学*, 21(3): 27-29
- Chen H, Wang S Y, Liu J. 2002. Research on agricultural area-source pollution control on Fuxian Lake [J]. *Yunnan Environment Science*, 21(3): 27-29 (in Chinese)
- 黄虹,邹长伟,陈新庚. 2004. 中国非点源污染研究评述 [J]. *生态环境*, 13(2): 255-257
- Huang H, Zou C W, Chen X G. 2004. Review of the researches on non-point source pollution in China [J]. *Ecology and Environment*, 13(2): 255-257 (in Chinese)
- 高超,朱继业,朱建国,等. 2005. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征 [J]. *环境科学学报*, 25(11): 1543-1549
- Gao C, Zhu J Y, Zhu J G, et al. 2005. Phosphorus exports via overland runoff under different land uses and their seasonal pattern [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 25(11): 1543-1549 (in Chinese)
- 刘振英,李亚威,李俊峰,等. 2007. 乌梁素海流域农田面源污染研究 [J]. *农业环境科学学报*, 26(1): 41-44
- Liu Z Y, Li Y W, Li J F, et al. 2007. Agricultural non-point source pollution in Wuliangsu Hai Valley [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 26(1): 41-44 (in Chinese)
- 彭文英,张科利. 2001. 不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系 [J]. *水土保持通报*, 21(4): 25-29
- Peng W Y, Zhang K L. 2001. Relationship of runoff and sediment with rainfall characteristics in different land use [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 21(4): 25-29 (in Chinese)
- Shapley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options [J]. *Journal of Environmental Quality*, 23(3): 437-451
- U.S. EPA. 1995. National water quality inventory [R]. Report to Congress Executive Summary. Washington DC: USEPA: 497
- 王道涵,梁成华. 2002. 农业磷素流失途径及控制方法研究进展 [J]. *土壤与环境*, 11(2): 183-188
- Wang D H, Liang C H. 2002. Transportation of agriculture phosphorus

- and control to reduce the phosphorus loss to water: A review [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 11(2): 183—188 (in Chinese)
- 吴钦孝, 赵鸿雁, 汪有科. 1998 黄土高原油松林地产流产沙及其过程研究 [J]. *生态学报*, 18(2): 151—157
- Wu Q X, Zhao H Y, Wang Y K. 1998. Flow Production and Sediment Production and Their Processes in Chinese Pine Woodlands in the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 18(2): 151—157 (in Chinese)
- 许其功, 刘鸿亮, 沈珍瑶, 等. 2007 三峡库区典型小流域氮磷流失特征 [J]. *环境科学学报*, 27(2): 326—331
- Xu Q G, Liu H L, Shen Z Y. 2007. Characteristics on nitrogen and phosphorus losses in the typical small watershed of the Three Georges Reservoir area [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 27(2): 326—331 (in Chinese)
- 闫俊华, 周国逸, 申卫军. 2000. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 6(3): 197—200
- Yan J H, Zhou G Y, Shen W J. 2000. Grey Correlation Analysis of the Effect of Vegetation Status on Surface Runoff Coefficient of Forest Ecosystems [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 6(3): 197—200 (in Chinese)
- 余新晓, 于志明. 2001 水源保护林—培育经营管理评价 [M]. 北京: 中国林业出版社, 260—293
- Yu X X, Yu Z M. 2001. The Cultivation, Management and Estimate—The Forest of Protecting Riverhead [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 260—293 (in Chinese)
- 张志强, 王礼先, 余新晓, 等. 2000 渗透坡面林地地表径流运动的有效糙率研究 [J]. *林业科学*, 36(5): 22—27
- Zhang Z Q, Wang L X, Yu X X, *et al*. 2000. Effective overland roughness coefficient calculation for forested infiltrating slope [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 36(5): 22—27 (in Chinese)
- 郑粉莉, 白红英, 安韶山. 2005. 草被地上和地下部分拦蓄径流和减少泥沙的效益分析 [J]. *水土保持研究*, 12(5): 86—87, 111
- Zheng F L, Bai H Y, An S S. 2005. The benefit analysis for different layers of grass vegetation reducing surface runoff and sediment yield [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 12(5): 86—87, 111 (in Chinese)
- 周国逸, 闫俊华, 申卫单, 等. 2000. 马占相思人工林和果园地表径流规律的对比研究 [J]. *植物生态学报*, 24(4): 451—458
- Zhou G Y, Yan J H, Shen W J *et al*. 2000. Surface Flow in an *Accia Mangium* Plantation and an Orchard in Heshan, Guangdong Province, China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 24(4): 451—458 (in Chinese)