

# 金沙江下游近 40 年来土壤侵蚀变化

## ——以云南彝良为例

杨子生<sup>1, 2</sup>, 刘彦随<sup>1</sup>, Liang Luohui<sup>3</sup>, 贺梅<sup>4</sup>, 张义琳<sup>2</sup>, 王云鹏<sup>5</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 云南财贸学院国土资源与持续发展研究所, 云南 昆明 650221;

3. Environment and Sustainable Development, the United Nations University, Tokyo 150- 8925, Japan;

4. 云南财贸学院高等职业技术学院, 云南 昆明 650101; 5. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

**摘 要:** 云南金沙江流域是我国水土流失最为严重的区域之一, 尤其以金沙江下游区最为突出。为揭示该区域土壤侵蚀动态变化的基本规律, 为今后水土保持和土地资源可持续利用提供依据, 选择该区域较为典型的彝良县作为研究实例, 采用航片判读、实地调查、GIS 等方法编制了 1960、1980 和 2000 年土壤侵蚀图, 据此分析该县 1960~ 2000 年的土壤侵蚀变化特点, 并应用马尔柯夫模型预测在当前土地利用方式下土壤侵蚀动态变化趋势, 为该县制定水土保持措施和土地利用规划提供了重要依据。

**关键词:** 土壤侵蚀; 动态变化; 马尔柯夫模型; 水土保持; 金沙江下游

**中图分类号:** S157. 1

**文献标识码:** A

土壤侵蚀与土地利用关系密切, 土地利用/ 土地覆被变化 (LUCC) 必然导致土壤侵蚀的相应变化, 土壤侵蚀动态变化的研究是当今全球环境变化研究的重要内容之一。云南金沙江流域位于长江上游, 是我国生态环境最为脆弱的山地区域之一, 也是土地利用/ 土地覆被变化较为显著、土壤侵蚀日益严重的地区, 尤其以金沙江下游区最为突出。长期以来由于土地利用强度不断增强, 毁林开垦、陡坡种植等多种不合理利用方式较为普遍, 引发了严重的生态环境退化, 水土流失日益加剧, 不仅危及该流域土地资源的可持续利用, 还直接威胁到下游地区的生态安全<sup>[1, 2]</sup>。目前, 云南金沙江流域已被列为全国生态环境建设的重点区域。为了揭示土壤侵蚀动态变化的基本规律, 为今后水土保持和土地资源可持续利用提供依据, 本文选择金洲江下游区域较为典

型的彝良县作为研究实例, 采用航片判读、实地调查、GIS 等方法, 并根据以往在滇东北山区开展的土壤侵蚀观测结果和水利部制定的有关规程, 综合编制 1960、1980 和 2000 年土壤侵蚀图, 据此分析并就以下问题作出回答: 该县土壤侵蚀近 40 年来是如何变化的? → 为什么这样变化? → 这种变化引起什么样的后果? → 在保持当前土地利用方式下该县土壤侵蚀最终会怎样演变? 对这些问题的科学回答, 有助于正确制定该区域的水土保持措施和土地利用规划, 可为土地可持续利用和生态建设提供依据。

## 2 研究方法

### 2.1 研究区域——彝良县简况

彝良县位于云南省东北部, 地貌上属于金沙江

收稿日期(Received date): 2004- 05- 10; 改回日期(Accepted): 2004- 10- 20。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(编号 40061006)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40061006).]

作者简介(Biography): 杨子生(1964- ), 男(白族), 云南大理人, 理学博士, 教授, 中国科学院地理科学与资源研究所博士后, 云南财贸学院国土资源与持续发展研究所所长。主要从事土地资源与土地利用规划、土壤侵蚀与水土保持、自然灾害与防灾减灾、土地生态学等领域的工作, 发表论文 60 余篇, 出版专著 8 本, 获省部级科技成果奖 6 项。[Yang Zisheng, bom in Dali County, Yunnan Province in 1964, male, the Bai nationality, Doctor degree of Science, Professor. His main research interests focus on fields of land resources and land use planning, soil erosion and conservation, natural disasters and reduction, land ecology. He published some 60 research papers and eight books, and won six provincial and ministerial prizes of achievement in science and technology in 1998~ 2004. E-mail: zshyang1029@hotmail.com]

下游中山山原区, 全县海拔最高点 2 780 m, 最低点 520 m, 海拔高差达 2 260 m。全县土地总面积 279 576. 1 hm<sup>2</sup>, 其中, ≤8°的土地面积占 6. 88%; 8°~ 15°的土地面积占 20. 89%; 15°~ 25°的土地面积占 32. 36%; 25°~ 35°的土地面积占 29. 52%; > 35°的土地面积占 9. 98%; 水面等面积占 0. 37%<sup>[3]</sup>。该县为人口多、地少的山区农业县, 2000 年全县总人口 504 122 人, 人口密度达 180 人/ km<sup>2</sup>, 远高于云南省平均人口密度 110 人/ km<sup>2</sup> 的水平。总人口中, 农业人口达 478 427 人, 占 94. 90%。由于人口多、地少, 该县土地开垦强度大, 毁林开垦、陡坡耕种等不合理开发利用问题突出。尽管长期以来不断地扩大开垦, 但不仅解决不了农民的温饱问题, 还导致了森林植被的破坏和严重的水土流失, 陷入了“越垦越穷, 越穷越垦”的恶性循环, 成为国家级特困县。2000 年全县人均粮食产量仅 229 kg, 远低于云南省平均 346 kg/ 人的水平和全国平均 365 kg/ 人的水平; 2000 年农民人均纯收入仅 930 元, 低于云南省平均 1478. 6 元/ 人的水平和全国平均 2 253. 4 元/ 人的水平。

2.2 研究采用的基础资料

1. 1957~ 1962 年和 1978~ 1981 年间拍摄的航空象片, 大致可分别代表 1960 年和 1980 年的土地覆被情况, 其比例尺在 1/30 000~ 1/45 000 间。

2. 地形图 2 套, 其一是国家测绘部门 1957~ 1961 年航空摄影、调绘和编制(用航片判读和野外调查结合方式)、出版的地形图, 比例尺 1/50 000, 该图上详细勾绘了各种土地利用类型(覆被类型)的分布范围和界线, 经适当加工后即大致表达了 1960 年土地利用类型(覆被类型)图; 其二是 1993 年出版的地形图, 比例尺亦为 1/50 000。

3. 已有的土地利用调查图件和资料, 主要有: (1) 1980~ 1984 年第二次土壤普查时完成的全县 1/50 000 土地利用图、土壤图及调查报告; (2) 2000~ 10 完成的全县 1/25 000 和 1/75 000 土地利用现状图(详查变更图)及数据和调查报告。

2.3 研究内容及其方法

2.3.1 3 个时段土壤侵蚀图的编制与面积量算

该县 3 个时期土壤侵蚀图的编制, 是在编制此 3 个时期土地利用类型图的基础上进行的。根据我们 1995~ 1999 年在该县附近地区的土壤侵蚀试验结果<sup>[4]</sup>, 并参考中国水利部 1997 年制定的《土壤侵蚀分类分级标准》<sup>[5]</sup>, 确定了 3 个时期土地利用类型图上各图斑(地块)的土壤侵蚀等级(图 1), 进而形

成了 3 个时期(1960、1980 和 2000 年)土壤侵蚀图。各地块的土壤侵蚀等级共分为 7 级(表 1)。在 GIS 技术支持下, 利用 ARC/INFO 软件对 3 个时段土壤侵蚀图进行数字化处理, 同时进行各等级土壤侵蚀面积量算, 得出该县 3 个时期各侵蚀等级面积及其相互转化状况, 进而运用马尔柯夫模型进行土壤侵蚀变化的模拟与预测。

表 1 土壤侵蚀强度分级标准  
Table 1 Standard for gradation of soil erosion

侵蚀强度 级别	平均侵蚀模数 (t / km <sup>2</sup> · a <sup>-1</sup> )	平均流失厚度 (mm / a)	侵蚀模数值 (t / km <sup>2</sup> · a <sup>-1</sup> )
1 微度侵蚀 (无明显侵蚀)	< 500	< 0. 4	300
2 轻度侵蚀	500~ 2 500	0. 4~ 2. 0	1 800
3 中度侵蚀	2 500~ 5 000	2. 0~ 4. 0	3 800
4 强度侵蚀	5 000~ 8 000	4. 0~ 6. 4	6 500
5 极强度侵蚀	8 000~ 15 000	6. 4~ 12. 0	11 500
6 剧烈侵蚀	15 000~ 22 000	12. 0~ 17. 6	18 000
7 极剧烈侵蚀	> 22 000	> 17. 6	26 000

注: 本表流失厚度系按土壤平均重度 12. 25kN/ m<sup>3</sup> 折算; 测算各地块(图斑)年均侵蚀量时实际所取的侵蚀模数值稍低于《云南省土壤侵蚀遥感调查报告》(云南省水利水电厅、水利部天津水利水电勘测设计研究院, 2000)的取值。

2.3.2 土壤侵蚀动态变化的模拟与预测

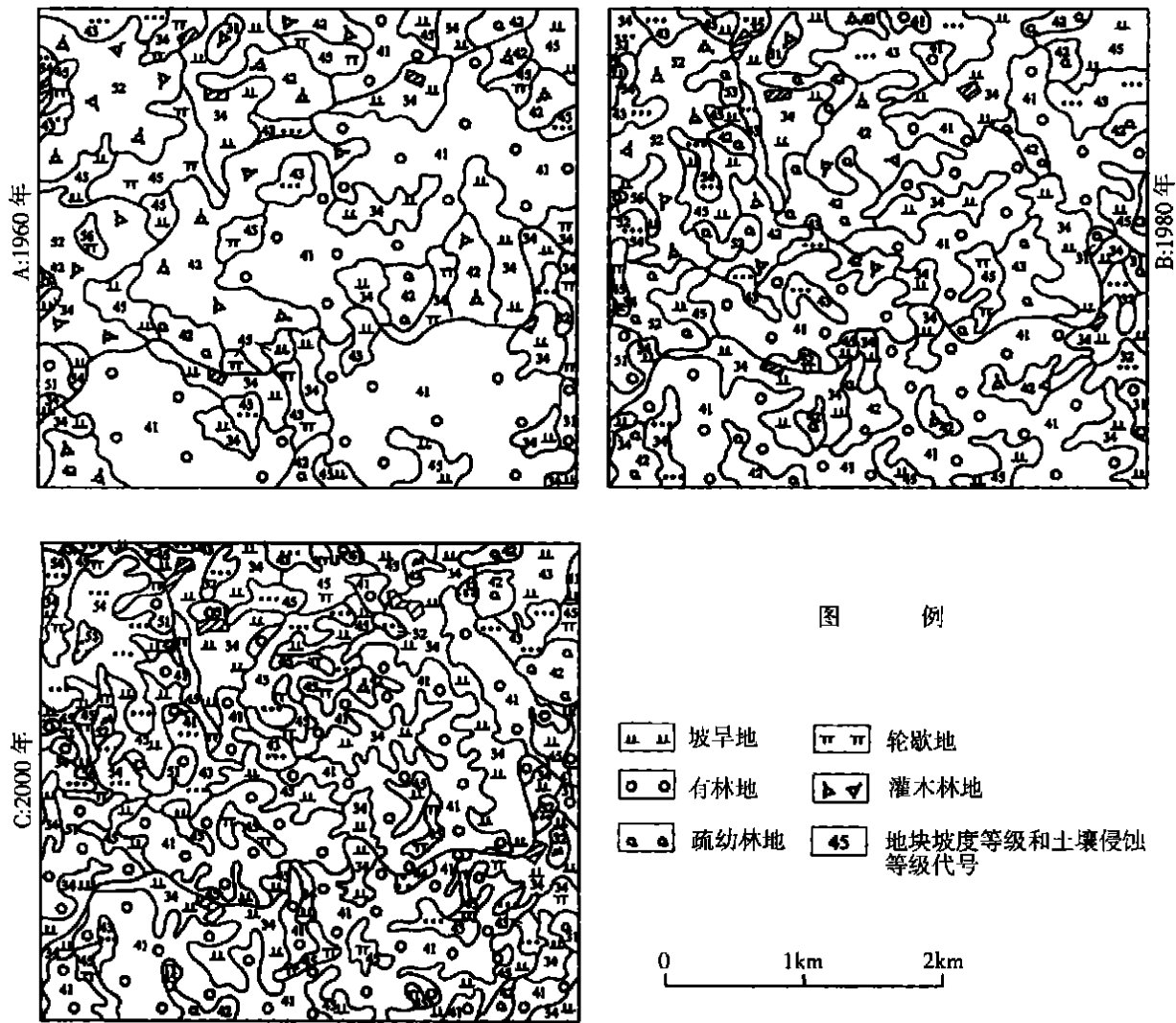
马尔柯夫模型是资源与环境动态变化研究中使用较多的数学模型之一, 已在国内外用于预测植被演替、土壤侵蚀演变以及土地利用变化之中<sup>[6~ 8]</sup>。运用马尔柯夫过程的关键在于确定各等级土壤侵蚀之间相互转化的初始转移概率矩阵 P, 其数学表达式通常为

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix},$$

式中 N 为研究区域土壤侵蚀等级的数目, P<sub>ij</sub> 为初始到末期时侵蚀等级 i 转变为侵蚀等级 j 的转移概率。转移概率矩阵每一个元素具有以下特点

- (1) 0 ≤ P<sub>ij</sub> ≤ 1, 即各元素均为非负值;
- (2)  $\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1$ , 即每行元素之和为 1。

根据马尔柯夫性质和条件概率的定义, 可以运用下述马尔柯夫链的基本方程来模拟出各土壤侵蚀等级面积所占比例动态变化状况



说明: 每个地块(图斑)均用 2 位阿拉伯数字分别表示地形坡度等级和土壤侵蚀等级。地形坡度共分为 6 个等级: 1.  $< 3^{\circ}$ ; 2.  $3^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ; 3.  $7^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ; 4.  $16^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ; 5.  $26^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ; 6.  $> 35^{\circ}$ 。侵蚀强度等级共分为 7 个等级(见表 1)。例如, 某地块(图斑)为“45”, 第一位阿拉伯数字“4”表示该地块的坡度为第四级(即  $16^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ); 第二位阿拉伯数字“5”表示该地块的侵蚀强度等级属于第五级(即极强度侵蚀)。

图 1 彝良县龙街乡 1960、1980 和 2000 年土壤侵蚀图

Fig. 1 Soil erosion map in Longjie Township, Yiliang County in 1960, 1980 and 2000

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^{N-1} P_{ij} P_{kj}^{(n-1)} = \sum_{k=1}^{N-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj}.$$

### 3 研究结果

#### 3.1 1960~2000 年土壤侵蚀变化状况

对 3 个时期土壤侵蚀图进行各等级土壤侵蚀面积量算和汇总, 得出该县各时期各等级土壤侵蚀面积的增减变化状况和相互转化状况(表 2, 表 3)。

#### 3.2 土壤侵蚀变化趋势预测结果

根据表 3, 我们计算出了各土壤侵蚀等级 1980~2000 年的转移概率矩阵(表 4); 应用马尔柯夫模型进行模拟和预测, 得出了该县未来各等级土壤侵蚀比例和面积的变化状况(表 5, 表 6)。并由表 1 和表 6 计算出, 彝良县年均土壤侵蚀量和平均侵蚀模数 1960~2000 年动态变化及马尔柯夫模型预测值(表 7)。

表 2 彝良县 1960~ 1980 年各等级土壤侵蚀变化状况( hm<sup>2</sup>)

Table 2 The changes of each grade of soil erosn from 1960 to 2000 in Yiliang County ( hm<sup>2</sup>)

土壤侵蚀 级别	1960 年 面 积	1960~ 1980 年各等级土壤侵蚀相互转化面积							期间减 少面积
		→ 微度侵蚀	→ 轻度侵蚀	→ 中度侵蚀	→ 强度侵蚀	→ 极强度侵蚀	→ 剧烈侵蚀	→ 极剧烈侵蚀	
微度侵蚀	131 011. 5	104 196. 3	7 982. 2	8 958. 0	1 659. 5	4 352. 2	3 684. 7	178. 6	26 815. 2
轻度侵蚀	86 286. 8	4 567. 7	68 976. 0	4 402. 7	2 154. 5	2 643. 3	3 328. 1	214. 5	17 310. 8
中度侵蚀	23 697. 7	660. 1	7 357. 8	8 914. 2	1 031. 7	4 873. 9	437. 0	423. 0	14 783. 5
强度侵蚀	5 912. 8	619. 2	27. 7	2 529. 3	745. 6	0. 0	1 696. 8	294. 2	5 167. 2
极强度侵蚀	28 784. 8	899. 2	698. 2	1 177. 0	1 607. 8	24 255. 8	0. 0	146. 8	4 529. 0
剧烈侵蚀	2 694. 8	0. 0	308. 2	453. 3	0. 0	924. 8	1 008. 5	0. 0	1 686. 3
极剧烈侵蚀	1 187. 7	0. 0	11. 1	50. 5	8. 8	0. 0	65. 1	1 052. 2	135. 5
期间增加		6 746. 2	16 385. 2	17 570. 8	6 462. 3	12 794. 2	9 211. 7	1 257. 1	
增减相抵		- 20 069. 0	- 925. 6	+ 2 787. 3	+ 1 295. 1	+ 8 265. 2	+ 7 525. 4	+ 1 121. 6	
1980 年 面 积	土地总面积 279 576. 1	微度侵蚀 110 942. 5	轻度侵蚀 85 361. 2	中度侵蚀 26 485. 0	强度侵蚀 7 207. 9	极强度侵蚀 37 050. 0	剧烈侵蚀 10 220. 2	极剧烈侵蚀 2 309. 3	

注: 表中的“+ ”表示净增加;“- ”表示净减少。下同。

表 3 彝良县 1980~ 2000 年土壤侵蚀变化状况(hm<sup>2</sup>)

Table 3 The changes of soil erosion from 1980 to 2000 in Yiliang County ( hm<sup>2</sup>)

土壤侵蚀 级别	1980 年 面 积	1980~ 2000 年各等级土壤侵蚀相互转化面积							期间减 少面积
		→ 微度侵蚀	→ 轻度侵蚀	→ 中度侵蚀	→ 强度侵蚀	→ 极强度侵蚀	→ 剧烈侵蚀	→ 极剧烈侵蚀	
微度侵蚀	110 942. 5	86 727. 1	5 654. 0	9 109. 0	3 577. 2	4 159. 1	1 446. 6	269. 5	24 215. 4
轻度侵蚀	85 361. 2	2 575. 4	75 022. 4	337. 0	2 064. 0	3 126. 2	2 236. 2	0. 0	10 338. 8
中度侵蚀	26 485. 0	1 398. 3	1 342. 0	18 501. 6	263. 0	3 346. 9	1 519. 5	113. 7	7 983. 4
强度侵蚀	7 207. 9	461. 4	23. 9	786. 3	3 055. 0	296. 9	2 584. 4	0. 0	4 152. 9
极强度侵蚀	37 050. 0	2 611. 6	236. 5	367. 3	845. 3	32 878. 5	0. 0	110. 8	4 171. 5
剧烈侵蚀	10 220. 2	90. 0	480. 3	14. 9	0. 0	405. 6	9 229. 4	0. 0	990. 8
极剧烈侵蚀	2 309. 3	0. 0	0. 0	63. 3	0. 0	0. 0	41. 6	2 204. 4	104. 9
期间增加		7 136. 7	7 736. 7	10 677. 8	6 749. 5	11 334. 7	7 828. 3	494. 0	
增减相抵		- 170 78. 7	- 2 602. 1	+ 2 694. 4	+ 2 596. 6	+ 7 163. 2	+ 6 837. 5	+ 389. 1	
2000 年 面 积	土地总面积 279 576. 1	微度侵蚀 93 863. 8	轻度侵蚀 82 759. 1	中度侵蚀 29 179. 4	强度侵蚀 9 804. 5	极强度侵蚀 44 213. 2	剧烈侵蚀 17 057. 7	极剧烈侵蚀 2 698. 4	

表 4 彝良县 1980~ 2000 年各等级土壤侵蚀转移概率矩阵

Table 4 Transition probability matrixes of various soil erosion grades from 1980 to 2000 in Yiliang County

土壤侵蚀 等级	1980 年 面积比例( %)	1980~ 2000 年各等级土壤侵蚀转移概率( %)							Σ
		→ 微度侵蚀	→ 轻度侵蚀	→ 中度侵蚀	→ 强度侵蚀	→ 极强度侵蚀	→ 剧烈侵蚀	→ 极剧烈侵蚀	
微度侵蚀	39. 682	78. 173	5. 096	8. 211	3. 224	3. 749	1. 304	0. 243	100
轻度侵蚀	30. 533	3. 017	87. 888	0. 395	2. 418	3. 662	2. 620	0. 000	100
中度侵蚀	9. 473	5. 280	5. 067	69. 857	0. 993	12. 637	5. 737	0. 429	100
强度侵蚀	2. 578	6. 401	0. 332	10. 909	42. 384	4. 119	35. 855	0. 000	100
极强度侵蚀	13. 252	7. 049	0. 638	0. 991	2. 282	88. 741	0. 000	0. 299	100
剧烈侵蚀	3. 656	0. 881	4. 700	0. 146	0. 000	3. 968	90. 305	0. 000	100
极剧烈侵蚀	0. 826	0. 000	0. 000	2. 741	0. 000	0. 000	1. 802	95. 457	100

表 5 彝良县各等级土壤侵蚀面积比例变化的马尔柯夫模型预测值 (%)

土壤侵蚀等级	实际值			马尔柯夫模型预测值			$t \rightarrow \infty$
	1980 年	2000 年	2000 年	2020 年	2060 年	2100 年	
1 微度侵蚀	39.682	33.574	33.573	29.082	23.281	20.043	15.412
2 轻度侵蚀	30.533	29.602	29.602	28.656	26.885	25.368	19.879
3 中度侵蚀	9.473	10.437	10.437	10.739	10.309	9.446	6.878
4 强度侵蚀	2.578	3.507	3.507	3.749	3.649	3.449	2.944
5 极强度侵蚀	13.252	15.814	15.814	18.082	21.693	24.205	28.510
6 剧烈侵蚀	3.656	6.101	6.102	8.597	12.854	15.957	23.027
7 极剧烈侵蚀	0.826	0.965	0.965	1.095	1.329	1.532	3.350
土地总面积	100	100	100	100	100	100	100

表 6 彝良县各等级土壤侵蚀面积变化的马尔柯夫模型预测值 (hm<sup>2</sup>)

土壤侵蚀等级	实际值			马尔柯夫模型预测值			$t \rightarrow \infty$
	1980 年	2000 年	2000 年	2020 年	2060 年	2100 年	
1 微度侵蚀	110 942.5	93 863.8	93 863.0	81 307.4	65 087.2	56 036.7	43 087.1
2 轻度侵蚀	85 361.2	82 759.1	82 760.0	80 114.3	75 165.1	70 921.6	55 578.3
3 中度侵蚀	26 485.0	29 179.4	29 179.3	30 024.4	28 820.6	26 407.5	19 228.5
4 强度侵蚀	7 207.9	9 804.5	9 804.1	10 481.3	10 201.0	9 642.1	8 231.8
5 极强度侵蚀	37 050.0	44 213.2	44 212.5	50 552.3	60 648.5	67 670.8	79 706.0
6 剧烈侵蚀	10 220.2	17 057.7	17 058.8	24 035.1	35 938.4	44 612.9	64 378.0
7 极剧烈侵蚀	2 309.3	2 698.4	2 698.4	3 061.3	3 715.3	4 284.5	9 366.4
土地总面积	279 576.1	279 576.1	279 576.1	279 576.1	279 576.1	279 576.1	279 576.1

表 7 彝良县年均土壤侵蚀量和平均侵蚀模数动态变化及马尔柯夫模型预测值

Table 7 The dynamic changes of annual average soil erosion amount and soil erosion modulus and their predictive value with Markov model in Yiliang County							
土壤侵蚀指标	测算值			马尔柯夫模型预测值			$t \rightarrow \infty$
	1980 年	2000 年	2000 年	2020 年	2060 年	2100 年	
年均总侵蚀量 (10 <sup>4</sup> t)	733.51	1 004.50	1 237.37	1 444.39	1 771.61	2 000.13	2 558.50
平均侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	2 623.7	3 592.9	4 425.9	5 166.4	6 336.8	7 154.2	9 151.4
平均侵蚀深度 (mm/a)	2.1	2.9	3.5	4.1	5.1	5.7	7.3

4 讨论

4.1 总体上侵蚀强度日益增大

表 2 和表 3 表明,彝良县近 40 年来土壤侵蚀等级的变化状况极其复杂,大体上,中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀和极剧烈侵蚀面积呈不同程度的净增加,而微度侵蚀和轻度侵蚀面积则呈净减少。其中,变化最突出的是极强度侵蚀和剧烈侵

蚀土地面积迅速增加和微度侵蚀土地面积显著减少。

在近 40 年来的变化中,彝良县中度以上(含中度)侵蚀的土地面积从 1960 年的 62 277.8 hm<sup>2</sup> 增至 1980 年的 83 272.4 hm<sup>2</sup>,到 2000 年进一步增加为 102 953.2 hm<sup>2</sup>,40 年来净增加 40 675.4 hm<sup>2</sup>;相应地,中度以上(含中度)侵蚀的土地面积占土地总面积的比例在 40 年间净增加了 65.31%。其中,中度侵蚀面积由 1960 年的 23 697.7 hm<sup>2</sup> 增至 2000 年

的  $29\,179.4\text{ hm}^2$ , 净增加了  $23.13\%$ ; 强度侵蚀面积由 1960 年的  $5\,912.8\text{ hm}^2$  增至 2000 年的  $9\,804.5\text{ hm}^2$ , 净增加了  $65.82\%$ ; 极强度侵蚀面积由 1960 年的  $28\,784.8\text{ hm}^2$  增至 2000 年的  $44\,213.2\text{ hm}^2$ , 净增加了  $53.60\%$ ; 剧烈侵蚀面积则由 1960 年的  $2\,694.8\text{ hm}^2$  增至 2000 年的  $17\,057.7\text{ ha}$ , 净增加了  $5.3$  倍; 极剧烈侵蚀面积由 1960 年的  $1\,187.7\text{ hm}^2$  增至 2000 年的  $2\,698.4\text{ hm}^2$ , 净增加了  $1.3$  倍 $\%$ 。可见, 在这 40 年中, 增加最多的是极强度侵蚀和剧烈侵蚀土地面积, 二者合计净增加  $29\,791.3\text{ hm}^2$ , 占 40 年来中度以上(含中度)侵蚀土地面积净增加数( $40\,675.4\text{ hm}^2$ )的  $73.24\%$ 。

在这 40 年中, 微度侵蚀和轻度侵蚀面积均呈净减少, 但轻度侵蚀面积的减少数较小, 从 1960 年的  $86\,286.8\text{ hm}^2$  减至 2000 年的  $82\,759.1\text{ hm}^2$ , 40 年间仅净减少了  $4.09\%$ 。相比之下, 微度侵蚀面积的减少相当显著, 由 1960 年的  $131\,011.5\text{ hm}^2$  减至 2000 年的  $93\,863.8\text{ hm}^2$ , 净减少了  $37\,147.7\text{ hm}^2$ , 即净减少  $28.35\%$ 。微度侵蚀土地面积的大量减少, 意味着该县土壤侵蚀强度已显著地增大。

马尔柯夫模型预测结果(见表 5 和表 6)表明, 如果目前的土地利用方式及其相应的土壤侵蚀变化状况继续维持下去, 那么 2020 年全县中度以上(含中度)侵蚀的土地面积将达  $118\,154.4\text{ hm}^2$ , 占土地总面积的  $42.26\%$ ; 到 2100 年中度以上(含中度)侵蚀的土地面积进一步增至  $152\,617.8\text{ hm}^2$ , 占土地总面积的  $54.59\%$ ; 当转移概率达到相对稳定状态时, 全县中度以上(含中度)侵蚀的土地面积达到  $180\,910.7\text{ hm}^2$ , 占土地总面积的  $64.71\%$ 。

从土壤侵蚀总量看, 已由 1960 年的  $733.51 \times 10^4\text{ t}$  增至 2000 年的  $1\,237.37 \times 10^4\text{ t}$ , 40 a 间净增加  $68.69\%$ ; 相应地, 平均侵蚀模数由 1960 年的  $2\,623.7\text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  增至 2000 年的  $4\,425.9\text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。据马尔柯夫模型预测结果(表 7), 2020 年全县平均侵蚀模数将达  $5\,166.4\text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ , 2100 年将进一步增至  $7\,154.2\text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ ; 而当转移概率达到相对稳定状态时, 全县平均侵蚀模数达到  $9\,151.4\text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。这是非常可怕的一种变化状况, 必须要彻底扭转这种演变趋势。

#### 4.2 土壤侵蚀加剧的直接原因

彝良县为长江上游的典型山区县, 历史上森林繁茂, 郁郁葱葱, 但近 200 多年来, 随着毁林开垦的逐渐增多和过度砍伐, 森林植被逐渐受到破坏。尤

其是 1960 年以来, 较为普遍地采取毁林开垦、陡坡种植、乱砍滥伐等不合理利用方式, 使本县坡旱地(尤其是陡坡旱地)迅速增加, 导致这些陡坡山地上的自然植被(包括森林和草丛)成片地丧失。近 40 年来全县林地总面积净减少  $16\,124.0\text{ hm}^2$ , 其中, 有林地净减少  $8\,683.4\text{ hm}^2$ , 灌木林地净减少  $776.8\text{ hm}^2$ , 疏林地净减少  $6\,663.8\text{ hm}^2$ 。相反, 坡耕地(尤其是  $> 15^\circ$  坡旱地)则快速增加。40 年来  $> 15^\circ$  坡旱地净增加了  $13\,697.0\text{ hm}^2$ , 其中  $16^\circ \sim 25^\circ$  坡旱地净增加了  $4\,644.4\text{ hm}^2$ ,  $26^\circ \sim 35^\circ$  坡旱地净增加了  $9\,020.1\text{ hm}^2$ ,  $> 35^\circ$  坡旱地净增加了  $32.5\text{ hm}^2$ 。没有任何水土保持设施的坡旱地是土壤侵蚀的主要地类, 尤其以  $> 15^\circ$  坡旱地的土壤侵蚀最为严重<sup>[3]</sup>。

上述表明, 彝良县近 40 年来土地利用/覆被变化上的最主要特点是以牺牲林地为代价, 换来了坡旱地(尤其是  $> 15^\circ$  坡旱地)的迅速增加, 这是水土流失加剧的根源。而发生这种变化的主要驱动因素在于人口增长对粮食、燃料等的压力和政策上的失误。

据统计, 1953 年第一次人口普查时, 彝良县总人口为 192 643 人, 人口密度  $69\text{ 人/km}^2$ , 其中农村人口 189 741 人。此后的 47 a 中, 人口增长相当迅速, 1960 年末全县人口密度达  $77\text{ 人/km}^2$ , 1980 年增至  $127\text{ 人/km}^2$ ; 2000 年末进一步增至  $180\text{ 人/km}^2$ , 相当于 1953 年的 2.6 倍。人口的迅速增长, 意味着对粮食需求大幅度增加。在这一贫穷、落后、封闭的山区农业县, 当地群众为了生存, 不得不“向山地要粮”, 不断地毁林开垦, 扩大耕地面积。然而, 所增加的耕地基本上为坡耕地, 其中陡坡耕地占了较大的比重, 自然条件差, 水土流失严重, 单产低而不稳, 因而扩大耕地所带来的粮食总产量的增长速度远远小于人口增长速度, 近 40 多年来人均粮食产量总体上呈减少趋势, 长期处于“温饱线”以下。同时, 人口的迅速增长还导致对生活燃料的压力增大, 为了获取生活燃料, 当地的人们不断地对有限的森林、灌木进行乱砍滥伐, 形成“一把锄头栽树, 多把斧头砍树”的局面, 不少乡村甚至挖树根、铲草皮, 以补充薪材, 使地表植被遭到严重破坏, 生态环境恶化。

山区适宜开垦种粮的土地原本并不多, 大部分土地适于发展林、牧业。然而, 自 1958 年以来, 由于政策上普遍执行“以粮为纲”、“向山地要粮”的基本方针, 不顾实际地把单一的粮食生产作为全县农业的主要任务乃至整个县域经济的主体来抓, 忽视农林牧渔全面发展和多种经营, 使许多原本不适宜

发展粮食作物的林地、草坡等逐渐被开垦成坡旱地,加之经济落后和技术水平低下,未能采取任何水土保持措施(尤其是“坡改梯”措施),引起严重水土流失,并造成水旱灾害和滑坡、泥石流频繁发生,粮食产量低而不稳,群众的温饱问题也得不到解决,最终陷入长期的“毁林草开垦→生态破坏和水土流失→贫穷落后→毁林草开垦”的恶性循环中。

#### 4.3 土壤侵蚀的严重化危及土地可持续利用

彝良县水土流失日益严重的结果,已使耕作土层显著变薄。据调查,全县耕作土层厚度低于 20 cm 的耕地面积约占总耕地的 82%,其中耕作土层厚度低于 10 cm 的耕地面积约占总耕地的 52%。同时,还使大部分耕地土壤有机质和氮、磷、钾等养分含量变低。目前耕地土壤中,约 65% 的耕地面积缺乏有机质,缺磷面积则达 76%。正由于严重的水土流失使耕地越冲刷越薄、越冲刷越贫瘠,因此,尽管该县年年增施化肥,但单产和总产仍未有较大的突破,2000 年全县人均粮食产量仅为 229 kg,远未解决基本的温饱问题。据对彝良县附近地区坡耕地水土流失试验观测研究结果分析<sup>[9]</sup>,采用顺坡耕作方式(没有任何水土保持措施)的 $> 25^\circ$ 坡旱地土壤抗蚀年限仅为 30 a, $15^\circ \sim 25^\circ$ 坡旱地土壤抗蚀年限亦最多只有 100 a。也就是说,如果顺坡耕作这种利用方式未得到根本改变而继续延续下去,那么该县现有 $> 25^\circ$ 的 12 063.9  $\text{hm}^2$  坡旱地(占总耕地的 15.08%),在 30 a 后将演变成石质荒坡地而丧失其耕作利用的功能;现有 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的 49 283.0  $\text{hm}^2$  坡旱地(占总耕地的 61.61%)最多 100 a 后将演变成不能再耕作的石质荒坡地,目前许多山坡地土层瘠薄,土壤、水分和养分流失严重,有 810.7  $\text{hm}^2$  土地已演变为“寸草不长”的裸岩石砾地。可以说,水土流失流走的是人们的血液,流走了人类社会可持续发展的基础,却给人们留下了落后和贫困。

以彝良县为代表的整个长江上游地区水土流失的严重化,不仅造成了长江中下游严重的泥沙淤积,还极大地减少了“土壤水库”的调蓄作用,大大加剧了洪水的下泄,使中下游地区经常出现水灾。对 1998 年中国长江流域发生的以“中水量、高水位、大灾害”为基本特征的特大水灾的分析亦表明,特大水灾的主要原因就在于长江上游因各种不合理土地利用导致生态环境破坏所致<sup>[10]</sup>。

## 5 结论

1. 近 40 年来彝良县土壤侵蚀动态变化显著,总体上侵蚀强度日益增大,主要原因在于人口增长对粮食、燃料等的压力和政策上的失误使以牺牲林地作为代价换取坡旱地(尤其是 $> 15^\circ$ 坡旱地)的迅速增加。土壤侵蚀的这种变化不仅直接危及到当地的可持续发展,还威胁到长江中下游地区。

2. 作为长江上游的山区农业县,今后应当从土地可持续利用与生态安全战略出发,改变过去“以粮为纲”、“向山地要粮”的基本政策方针和单一经营模式,建立山区多样化土地利用格局,发展集水土保持与生态环境保护、农林牧业综合发展、增产增收与脱贫致富为一体的多功能农业(multifunctional agriculture),充分发挥山区农业的生态、经济与社会功能,实现山区可持续发展,并为减轻长江中下游的水患、维护生态安全作出贡献。

3. 从土地利用生态环境建设看,除了大力加强对现有的次生灌丛、疏林、荒草地等地类的绿化和改造、努力提高植被覆盖率外,应着重对水土流失特别严重的 12 063.9  $\text{hm}^2$   $> 25^\circ$  坡旱地(占总耕地的 15.08%)和 49 283.0  $\text{hm}^2$   $15^\circ \sim 25^\circ$  坡旱地(占总耕地的 61.61%)进行综合治理: $> 25^\circ$  坡旱地和土层很薄的部分 $15^\circ \sim 25^\circ$  坡旱地进尽快退耕还林(草),着力提高地面植被覆盖率;尚可耕作利用的部分 $15^\circ \sim 25^\circ$  坡旱地必须采取坡改梯措施,变“三跑田”(跑土、跑水和跑肥)为“三保田”(保土、保水和保肥),控制水土流失,恢复和提高地力。

#### 参考文献(References):

- [1] Yang Zisheng. Review of study on soil erosion of sloping cultivated land and its sustainable use in the northeast mountain region of Yunnan Province of the upper Yangtze River [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17 (Suppl.): 1~ 5. [杨子生. 长江上游滇东北山区坡耕地水土流失与可持续利用研究简介[J]. 山地学报, 1999, 17 (增刊): 1~ 5.]
- [2] Yang Zisheng, Liang Luohui, Wang Yunpeng. Analysis on main characteristics of soil erosion in Jinsha River Basin of Yunnan Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20 (Suppl.): 10~ 17. [杨子生, 梁洛辉, 王云鹏. 云南金沙江流域水土流失基本特征分析[J]. 山地学报, 2002, 20 (增刊): 10~ 17.]
- [3] The Office of Agricultural Regional Planning Commission of Yunnan

- Province. Land areas of different climatic belt and slope in Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1987. 21. [云南省农业区划委员会办公室. 云南省不同气候带和坡度的土地面积[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1987. 21.]
- [4] Yang Zisheng. Study on soil loss equation of cultivated slopeland in northeast mountain region of Yunnan Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1999, **19**(1): 1~9. [杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999, **19**(1): 1~9.]
- [5] Ministry of Water Resources of China. SL190-60: Standards for classification and gradation of soil erosion [S]. Beijing: Water Resources & Hydropower Press of China, 1997. 2~26. [水利部. 中华人民共和国行业标准 SL190-96: 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 2~26.]
- [6] Hulst, R. V. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession [J]. *Vegetation*, 1979, **40**: 3~14
- [7] Tumer, M. G. A spatial simulation model of land use change in a Piedmont County in Georgia [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 1988, **27**: 39~51
- [8] Wang Liangjian, Bao Haosheng, Peng Buzhuo. The dynamic monitoring and prediction of the regional land use change based on RS and GIS [J]. *Economic Geography*, 2000, **20**(2): 47~50. [王良健, 包浩生, 彭补拙. 基于遥感与 GIS 的区域土地利用变化的动态监测与预测研究[J]. 经济地理, 2000, **20**(2): 47~50.]
- [9] Yang Zisheng. The application of soil loss equation in cultivated land suitability evaluation based on sustainable use and land use planning in the northeast mountain region of Yunnan Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, **17**(Suppl.): 36~44. [杨子生. 土壤流失方程在山区耕地可持续利用适宜性评价与土地利用规划中的应用[J]. 山地学报, 1999, **17**(增刊): 36~44.]
- [10] Li Wenhua. Flood of Yantze River and ecological restoration [J]. *Journal of Natural Resources*, 1999, **14**(1): 1~8. [李文华. 长江洪水与生态建设[J]. 自然资源学报, 1999, **14**(1): 1~7.]

## A Change of Soil Erosion from 1960 to 2000 in the Lower Reaches of Jinsha River: A Case Study in Yiliang County, Yunnan Province

YANG Zisheng<sup>1, 2</sup>, LIU Yansui<sup>1</sup>, LIANG Luohui<sup>3</sup>, HE Yimei<sup>4</sup>, ZHANG Yilin<sup>2</sup>, WANG Yunpeng<sup>5</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Land & Resources and Sustainable Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China;

3. Environment and Sustainable Development, the United Nations University, Tokyo 150-8925, Japan;

4. College of Higher Vocational Technology, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650101, China;

5. School of Resources Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** The lower reaches of Jinsha River in Yunnan Province, which are one of the areas in China with most severe soil erosion, have been on the Chinese Government's list of the nation's key areas to be improved ecologically. This paper is to reveal the basic law of this area's soil erosion change and provide a basis for the future soil and water conservation as well as sustainable use of land resources by studying Yiliang County, a typical place in this area. Based on the County's soil erosion map in 1960, 1980 and 2000 drawn with the aid of aerial photograph interpretation, filed investigation and GIS mapping techniques, the paper is to study the County's soil erosion change during the period from 1960 to 2000. By using the Markov model, the paper is also to forecast what the County's soil erosion change will be like if the County's current land use continues, so as to provide an important basis for the future formulation of the County's soil and water conservation measures and land use planning. The main conclusions in the study were:

1) The dynamic changes of soil erosion in Yiliang County during the period from 1960 to 2000 were very considerable. According to our measurement and calculation in the paper, the County's annual average soil erosion amount reaches  $1\,237.37 \times 10^4$  tons in 2000, meaning an increase of 23.18% over the County's average soil erosion amount in 1980, which was  $1\,004.50 \times 10^4$  tons, and an increase of 68.69% over the County's average soil erosion amount in 1960, which was  $733.51 \times 10^4$  tons. Accordingly, the County's annual average soil erosion modulus, which refers to the annual average soil erosion amount of per unit of area, increased from  $2\,623.7 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  in 1960 to  $3\,592.9 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  in 1980 and  $4\,425.9 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  in 2000. The main causes of



the County' s soil erosion changes were the rapid increase of sloping field (especially the sloping field with a gradient> 15°) at the price of the remarkable decrease of forest, which arose from pressure of population growth on grain and fuel supply and miscarriage in policy. The changes of soil erosion not only undermines the County' s sustainable development, but also exposes the middle and lower reaches of the Yangtze River to the danger of floods.

2) In the sense of ecological improvement and soil conservation related to land use, apart from afforesting and rehabilitating the existing secondary bush, sparse forest and bare grassland, the County should conduct comprehensive treatment of the serious soil erosion of the County' s 12 063. 9 ha of sloping field with a gradient > 25° (accounting for 15. 08% of the cultivated land) and the County' s 49 283. 0 ha of sloping field with a gradient of 15°~ 25° (accounting for 61. 61% of the cultivated land) by doing the following: re-vegetating with trees or grasses as appropriate the County' s field on the slope > 25° and some of the fields on the slope between 15°~ 25° that have very thin soil layer through tree planting or natural succession so as to improve such fields' ground cover; terracing the cultivated field on the slope 15°~ 25° and combining agronomic measures ( mulching, zero tillage, etc) for transformation of the field with heavy loss of soil, water and fertility into the field with well conservation of soil, water and fertility.

**Key words:** soil erosion; dynamic change; Markov model; soil and water conservation; the lower reaches of Jinsha River

1999~ 2004 年发表论文最多的前 100 种期刊: CSCD 第一著者  
——《山地学报》排名情况

位 次	期 刊	发 文 数
1	应用生态学报	449
2	科学通报	345
3	冰川冻土	295
4	生态学报	270
5	海洋科学	241
6	中国沙漠	236
7	地球科学进展	231
7	资源科学	231
9	中国科学·D 辑	216
10	第四纪研究	205
11	山地学报	204

说明: 该统计结果来自中国科学院资源环境类研究所对同期资源环境类期刊  
1999~ 2004年论文在 CSCD 中收录的被引用情况所做的检索统计结果。  
( 凤蝉月 摘录)