

云南省金沙江流域水土流失基本特征分析

杨子生¹,梁洛辉²,王云鹏¹

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091; 2. The United Nations University, Tokyo, Japan)

摘要:在应用新近建立的云南金沙江流域土壤流失方程测算该流域各县(市、区)年均土壤流失总量和各地类年均土壤流失量基础上,分析了该流域水土流失的总体特征、各地类水土流失特征和不同坡度级坡耕地的水土流失特征,为因地制宜地防治水土流失提供了依据。

关键词:水土流失;土壤流失方程;土壤流失量;土地利用类型;侵蚀强度;云南金沙江流域

中图分类号:S157.1, S181, X828 **文献标识码:**A

1 年均土壤流失量测算与水土流失特征分析的方法

1.1 年均土壤流失量测算的方法

为了客观、准确地定量测算各类土地的年均土壤流失量,我们以“通用土壤流失方程”为基础,通过实验等手段,初步建立了云南金沙江流域土壤流失方程^[1]。方程的基本形式为: $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$,式中, A 为单位面积多年平均土壤流失量($t/hm^2 \cdot a^{-1}$); R 为降雨侵蚀力因子(J/m^2); K 为土壤可蚀性因子($t/hm^2 \cdot a^{-1}$); LS 为地形因子,其中 L 为坡长因子(m), S 为坡度因子($^\circ$); C 为植被与作物经营因子; P 为水土保持措施因子。根据这一方程,以各县(市、区)土地资源详查2000年变更调查数据(包括各级地类面积和不同坡度级的耕地面积)和图件(比例尺为1:25000~1:75000)为基本资料,结合地形图、土壤调查(数据与图件)、植被调查等有关成果资料,应用GIS技术手段对土地利用现状图各个地类图斑逐一进行了测算,在此基础上按照水利部制定的土壤侵蚀强度分级标准^[2]并结合该流域实际进行侵蚀强度分级(见表1),据此计算、统计和汇总,得到以下水土流失研究数据:(1)各县(市、区)水土流失总面积及各等级水土流失面积(见表2);(2)各县(市、区)年均土壤侵蚀总量及各地类土壤侵蚀量(见表3);(3)各县(市、区)不同坡度级的耕地年均土壤侵蚀量(见表4);(4)各县(市、区)总土地和耕地等地类的年均土壤侵蚀模数(见表3和表4)。

表1 云南金沙江流域土壤侵蚀强度分级标准

Table 1 Classification indexes of soil erosion

intensity in Jinsha River Basin of Yunnan Province

侵蚀强度级别	平均侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a^{-1}$)	平均流失厚度 (mm/a)
1 微度侵蚀	< 500	< 0.4
2 轻度侵蚀	500 ~ 2500	0.4 ~ 2.0
3 中度侵蚀	2500 ~ 5000	2.0 ~ 4.0
4 强度侵蚀	5000 ~ 8000	4.0 ~ 6.4
5 极强度侵蚀	8000 ~ 15000	6.4 ~ 12.0
6 剧烈侵蚀	15000 ~ 22000	12.0 ~ 17.6
7 极剧烈侵蚀	> 22000	> 17.6

注:本表流失厚度系按土壤平均容重 $1.25 g/cm^3$ 折算。

为了检验土壤流失方程计算结果的合理性,本课题组还参照水利部全国遥感调查土壤侵蚀强度等级中所使用的地形坡度、植被覆盖度等侵蚀因子分级标准进行对比、分析,结果发现:(1)约70%的地类图斑应用土壤流失方程计算(简称“方程计算”)结果与应用水利部全国遥感调查土壤侵蚀强度分级标准进行侵蚀强度等级划分(简称“定性调查”)结果基本一致。(2)约30%的地类图斑应用这2种方法所得出的结果差异较大,主要是:①>25°顺坡耕地应用方程计算结果大于定性调查结果,这主要是由于该流域雨季降雨集中、雨强大、土壤冲刷严重所致,方程计算结果与昭通、南华等地的实测结果^[3,4]大致相同,而且本次应用方程测算能够区分出顺坡耕地与梯田梯地在土壤侵蚀上的巨大差异,而“定性

收稿日期:2002-10-20。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40061006)《云南金沙江流域水土流失与土地利用安全格局研究》。

调查”却未能区分这种差异;②不少顺坡种植的园地(尤其是茶园地),其种植方式与坡耕地类似,水土流失同样较为严重,但以往“定性调查”常常将其作为林地处理,结果所得出的侵蚀强度级别比方程计算结果低;③一些林地(包括经济林)在遥感影像上看属覆盖度较大的林地,但实际上林下缺乏地面覆盖物(草本、枯枝落叶等),即其地面覆盖率很低,一遇大雨、暴雨,就发生较严重的土壤冲刷,产生“远看青山在,近看水土流”的特殊现象,对这些林地,“定性调查”所得出的侵蚀强度级别常常较低,而本次应用方程测算时,由于先前已进行了大量的实地典型调查,在计算中通过调整这些图斑的C因子值,尽可能使计算结果与实际相符;④对于建设用地(城乡建设区、工矿开发区、交通建设区等)的土壤流失,因其属于特殊的人为水土流失现象,本次主要是根据典型调查结果进行分析、推算和确定其侵蚀等级。总体上看,本次定量测算结果是符合实际的。

1.2 水土流失基本特征分析的内容和方法

1、常规性分析。主要分析水土流失的规模、数量和强度大小,主要特征指标是:(1)水土流失总面积及各等级水土流失面积,反映水土流失的规模和范围大小;(2)年均土壤流失量,反映土壤流失的数量大小;(2)土壤侵蚀模数,反映土壤流失的强度大小,其计算式为:土壤侵蚀模数=年均土壤流失量/土地总面积。

2、各地类土壤流失量与侵蚀强度分析。在以往水土流失研究中,很少见到对不同土地利用类型的土壤流失进行测算和分析的报道。在本次对云南金沙江流域土壤流失量的测算研究,是按土地利用类型(在土地详查分类系统基础上进一步归并为耕地、园地、林地、牧草地、建设用地、荒山荒地和其它土地7类)分别进行测算的,因而可以分析和揭示各地类土壤流失量与侵蚀强度的差异,以便因“地”制宜地制定水土流失防治对策和措施。

3、不同坡度级耕地的土壤流失量与侵蚀强度分析。鉴于耕地既是土地资源的精华又是水土流失最为严重的地类,本次对云南金沙江流域耕地土壤流失量的测算研究,不仅区分出了顺坡耕地与梯田梯地的土壤流失量与侵蚀强度,而且对不同坡度级的顺坡耕地分别进行了土壤流失量测算,以便为正在实施的退耕还林工程提供科学依据。

2 水土流失的基本特征

2.1 水土流失总体上呈面广、量多、强度大的特点

表2表明,云南金沙江流域水土流失范围广、面积大,全流域轻度以上水土流失总面积达5 781 439.1 hm^2 ,占土地总面积的比例达42.91%。水土流失总面积中,轻度侵蚀占59.32%,中度侵蚀占16.88%,强度侵蚀占8.13%,极强度侵蚀占10.36%,剧烈侵蚀占4.41%,极剧烈侵蚀占0.90%。也就是说,中度以上土壤侵蚀约占了水土流失总面积2/5以上。从各县(市、区)水土流失面积看,上游高山高原峡谷区各县因人口密度小、土地垦殖率较低、林草植被覆盖率较大,因而水土流失面积比例相对较小些;广大中下游地区水土流失面积比例普遍较大,尤其是下游的滇东北中山山原区和中游的红层高原区水土流失范围广大,多数县(市、区)水土流失面积比例达50%以上。

从年均土壤流失总量看,本次方程测算和汇总全流域达24 022.78万t,比省水利厅1987年应用遥感调查年均土壤流失数(全流域各县汇总为21 668.86万t^[6])增多10.86%,尽管调查方法有所不同,但总体上明显反映出该流域土壤流失呈逐年加重之势。从各县土壤流失总量看,总体上以下游的滇东北中山山原区土壤流失量最多,宣威、会泽、巧家、永善、镇雄、彝良等县(市)年均土壤流失总量均达1 000万t以上;中上游区土壤流失总量相对较小些,中游湖盆高原区的官渡、呈贡等县(区)年均土壤流失总量则不足100万t。各地土壤流失总量的差异是由各地的水土流失面积和侵蚀强度(侵蚀模数)共同决定的。

从侵蚀强度看,全流域总土地平均侵蚀模数达1 782.9 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,总土地平均流失厚度达1.43 mm / a 。若按水土流失面积计算流失厚度,则该流域水土流失区平均土壤流失厚度达3.32 mm / a 。各县侵蚀强度差异较大,总的来看,侵蚀模数高值区集中分布于下游的滇东北中高山山原区各县(市、区),其平均侵蚀模数均达2 000 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,其中鲁甸、盐津、镇雄、彝良、威信等县则达4 000 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 以上(见表3);上游高山高原区的中甸、德钦、丽江等县平均侵蚀模数均在780 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 以下,其中,中甸县平均侵蚀模数仅为338.9 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,不及下游区侵蚀模数高值县的1/10;中游湖盆高原区的官渡、呈贡以及滇东高原区的马龙、沾益等县(区)平均侵蚀模数亦相对较低,约在800 ~ 1 000 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 之间;其余各县(市、区)平均侵蚀模数居中等水平,约在1 000 ~ 2 000 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,其中金沙江中游干热河谷区的元谋等县平均侵蚀模数已接近2 000 $\text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表 2 云南金沙江流域分县水土流失面积(hm²)Table 2 The areas of soil erosion of every county in Jinsha River Basin of Yunnan Province (hm²)

县市区 名称	水土流失 面积合计	占土地 总面积%	各等级水土流失面积					
			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
中甸县	162349.1	14.13	127474.3	18424.8	7825.7	7629.2	995.1	0.0
德钦县	226367.0	31.12	184073.0	31422.8	2523.9	3392.2	3840.4	1114.7
维西县	89100.1	19.94	47971.8	11113.1	3638.8	10269.5	12347.6	3759.3
丽江县	168382.1	22.60	108220.0	29935.6	13017.3	12768.0	3810.8	630.4
永胜县	177269.7	35.99	109943.1	32940.0	16306.7	12917.9	4200.0	962.0
华坪县	88090.8	40.81	63663.0	14483.0	3589.2	4606.9	1467.5	281.2
宁蒗县	153215.9	25.48	73964.2	29935.2	16590.8	26226.9	6418.6	560.2
鹤庆县	121413.3	51.58	92614.3	18691.0	5281.9	3803.1	923.6	99.4
洱源县	111629.8	38.94	72397.8	19815.4	9022.7	8187.8	1805.7	400.4
宾川县	118599.2	46.68	78041.8	17736.5	8355.4	10349.8	3803.7	312.0
祥云县	94171.4	38.63	67036.9	14040.0	6614.8	5152.0	1257.1	70.6
楚雄市	260759.3	58.93	207013.3	41480.5	5287.8	5059.4	1715.9	202.4
南华县	120851.3	53.39	85073.2	21962.0	6350.9	5455.0	1978.9	31.3
牟定县	86734.0	60.17	64283.6	13447.5	5311.4	3119.1	550.6	21.8
姚安县	104493.2	61.71	76302.2	16423.9	4997.4	5037.3	1610.4	122.0
大姚县	218620.9	54.04	155898.0	40455.7	6052.6	9516.7	5059.2	1638.7
永仁县	123299.8	57.27	87914.4	25780.7	4895.9	3484.5	1112.8	111.5
元谋县	136787.7	67.51	89613.3	27813.0	8941.0	7159.7	2933.7	327.0
武定县	115362.8	39.26	73237.9	21334.9	9155.2	8704.9	2578.5	351.4
禄丰县	156901.6	43.96	112989.2	24436.1	8541.9	8445.0	2292.3	197.1
西山区	35056.9	33.29	22691.7	6760.4	2563.0	2200.7	722.4	118.7
官渡区	32356.9	32.23	23857.6	4458.1	2681.3	1205.1	140.8	14.0
呈贡县	17974.7	38.99	13550.9	2970.0	973.3	395.1	85.4	0.0
晋宁县	49827.6	40.66	33685.2	7672.5	4131.7	3284.0	1029.2	25.0
安宁市	58746.9	44.40	39577.3	9479.6	6397.7	2981.6	310.7	0.0
富民县	48982.7	48.83	29267.9	10430.0	4335.0	3346.5	1329.1	274.2
嵩明县	58393.8	43.42	37830.4	11552.8	5945.1	2830.6	234.9	0.0
禄劝县	167800.9	39.62	114831.7	29229.3	4329.1	9657.8	8382.6	1370.4
东川区	124594.3	66.59	66065.1	24498.8	16585.0	13679.2	3274.2	492.0
寻甸县	170530.2	47.46	92153.6	33972.1	17134.0	18934.3	7177.5	1158.7
沾益县	130359.9	46.54	103215.8	16680.7	6667.0	2733.2	998.8	64.4
马龙县	54981.0	34.36	37473.7	10273.8	4986.7	1852.6	379.2	15.0
宜威市	326587.8	53.95	141677.8	61769.1	56934.6	49631.7	13557.1	3017.5
会泽县	360269.3	61.23	159749.3	72593.7	56167.0	50485.3	16697.8	4576.2
昭通市	107035.5	49.65	35944.0	17578.2	15046.3	27534.7	9744.3	1188.0
鲁甸县	97365.8	65.37	35354.4	16279.8	17044.0	18903.2	7601.5	2182.9
巧家县	217514.2	68.07	112466.6	32165.5	21360.1	37547.0	10101.2	3873.8
盐津县	108336.7	53.58	50567.5	14222.9	3328.3	19788.2	16541.8	3888.0
大关县	93291.5	54.27	36941.3	18503.9	9480.7	20324.1	6925.5	1116.0
永善县	136766.9	49.23	57039.8	20632.0	7203.8	29612.4	17273.7	5005.2
绥江县	33368.0	44.71	13498.4	4381.3	1606.6	8360.8	4509.4	1011.5
镇雄县	236994.9	64.12	78737.7	40225.2	40087.6	52407.6	19912.2	5624.6
彝良县	185712.3	66.43	82759.1	29179.4	9804.5	44213.2	17057.7	2698.4
威信县	76768.1	55.12	25143.0	7213.0	2405.5	13267.4	26400.8	2338.4
水富县	17423.3	39.60	7681.4	2203.0	369.5	2664.9	3569.0	935.5
合计	5781439.1	42.91	3429486.5	976116.8	469868.7	599126.1	254659.2	52181.8

表3 云南金沙江流域分县年均土壤侵蚀量和侵蚀模数

Table 3 The annual average soil loss amounts and erosion modulus of every county in Jinsha River Basin of Yunnan Province

县市区 名称	年均土壤 侵蚀总量 (10^4t/a)	总土地平均 侵蚀模数 ($\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}^{-1}$)	各地类土壤侵蚀量(10^4t/a)						
			耕地	园地	林地	牧草地	建设用地	荒山荒地	其它土地
中甸县	389.30	338.9	134.10	0.02	118.76	44.51	0.71	88.45	2.75
德钦县	477.31	656.3	149.79	0.00	148.15	20.38	0.35	145.04	13.60
维西县	611.37	1368.5	493.59	5.23	70.27	2.77	0.49	36.29	2.73
丽江县	578.83	776.8	291.38	4.34	168.74	4.68	1.90	93.39	14.40
永胜县	629.10	1277.2	341.11	3.15	103.86	0.27	1.88	174.87	3.96
华坪县	242.12	1121.6	119.25	1.84	56.71	0.00	0.91	62.71	0.70
宁蒗县	785.01	1305.5	600.32	6.70	104.21	1.10	1.10	66.80	4.78
鹤庆县	261.47	1110.9	84.93	4.58	90.98	0.00	1.60	77.93	1.45
洱源县	352.99	1231.4	144.81	12.60	110.60	0.00	1.66	82.18	1.14
宾川县	410.14	1614.1	235.24	3.65	105.76	13.08	1.17	46.55	4.69
祥云县	244.06	1001.2	67.08	8.20	126.90	3.52	1.93	35.77	0.66
楚雄市	466.29	1053.9	118.02	6.40	279.92	0.10	2.80	56.82	2.23
南华县	301.53	1332.1	81.92	1.61	120.45	0.34	1.39	93.01	2.81
牟定县	148.61	1030.9	66.47	3.83	53.38	0.02	1.20	22.85	0.86
姚安县	247.76	1463.1	70.06	3.11	124.51	0.02	0.68	48.51	0.87
大姚县	587.13	1451.2	246.82	11.37	229.31	0.45	1.14	94.96	3.08
永仁县	271.65	1261.8	50.49	7.25	114.51	0.00	0.68	97.71	1.01
元谋县	398.64	1967.3	110.19	4.85	97.26	0.00	1.19	184.07	1.08
武定县	386.06	1313.7	211.26	3.38	88.92	0.03	1.22	79.45	1.80
禄丰县	396.25	1110.2	120.72	3.31	195.18	0.00	2.64	71.27	3.13
西山区	110.49	1049.3	51.65	3.36	29.23	0.00	3.51	21.94	0.80
官渡区	79.16	788.4	26.72	6.48	31.20	0.27	4.79	9.47	0.23
呈贡县	38.23	829.2	12.30	4.25	9.14	0.00	1.20	11.13	0.21
晋宁县	152.08	1241.1	60.60	3.33	33.73	0.66	1.47	51.05	1.24
安宁市	157.11	1187.4	50.68	6.03	78.22	0.00	2.52	19.57	0.09
富民县	171.02	1704.9	110.61	3.95	43.74	0.03	0.63	11.63	0.43
嵩明县	158.01	1174.9	57.97	4.68	64.72	0.21	2.33	27.57	0.53
禄劝县	582.86	1376.4	332.74	8.29	124.54	0.00	2.34	112.61	2.34
东川区	512.17	2737.2	245.06	1.55	116.54	4.93	1.88	140.76	1.45
寻甸县	756.18	2104.4	560.15	9.23	129.57	2.11	2.38	50.25	2.49
沾益县	275.18	982.3	112.90	5.97	122.98	1.89	1.62	28.38	1.44
马龙县	145.78	910.9	63.08	6.23	44.81	0.24	2.54	28.10	0.78
宣威市	1711.19	2826.9	1085.53	28.66	492.78	0.12	3.97	92.61	7.52
会泽县	1854.77	3152.3	1129.23	2.84	510.92	0.64	3.56	200.77	6.81
昭通市	784.70	3640.0	627.79	33.10	62.85	4.42	3.12	50.30	3.12
鲁甸县	654.42	4393.9	477.73	27.63	109.76	3.36	1.62	31.96	2.36
巧家县	1139.00	3564.5	761.82	11.96	243.49	8.77	1.84	102.86	8.26
盐津县	827.20	4091.1	718.55	12.24	67.40	0.00	0.63	19.67	8.71
大关县	584.01	3397.3	423.02	2.97	111.80	0.06	0.96	40.68	4.52
永善县	1056.41	3802.9	891.39	4.14	87.16	4.66	1.80	56.75	10.51
绥江县	265.74	3560.6	227.08	3.06	28.81	0.00	0.69	4.38	1.72
镇雄县	1735.11	4694.6	1474.65	2.47	215.47	0.35	2.86	23.31	16.00
彝良县	1237.37	4425.9	1027.43	4.96	129.04	0.02	1.37	65.64	8.91
威信县	696.15	4998.6	624.14	1.10	57.94	0.04	0.88	7.01	5.04
水富县	152.82	3473.4	135.41	1.68	10.81	0.00	0.45	3.55	0.92
合计	24022.78	1782.9	15025.78	295.58	5465.03	124.05	77.60	2870.58	164.16

注:建设用地包括城镇村庄及工矿用地、交通用地、水利设施用地;荒山荒地指荒草地、滩涂地、沙地、裸土地、裸岩
石砾地、沼泽地、苇地;其它土地指冰川、田坎(含小杂地)、其它(高山寒漠、荒原等)用地。

表 4 云南金沙江流域分县耕地土壤侵蚀指标

Table 4 Soil erosion indexes of cultivated land of every county in Jinsha River Basin of Yunnan Province

县市区 名称	耕地土壤侵 蚀量占总土 地侵蚀量 %	耕地平均 侵蚀模数 ($t / km^2 \cdot a^{-1}$)	耕地平均 侵蚀深度 (mm / a)	顺坡耕地 侵蚀量 ($10^4 t / a$)	梯田梯地 侵蚀量 ($10^4 t / a$)	各坡度级的顺坡耕地侵蚀量 ($10^4 t / a$)			
						3° ~ 6°	6° ~ 15°	15° ~ 25°	> 25°
中甸县	34.45	4923.5	3.9	132.87	1.23	7.53	38.70	86.64	0.00
德钦县	31.38	14859.5	11.9	149.44	0.35	0.23	6.42	44.63	98.16
维西县	80.74	15862.8	12.7	492.62	0.97	0.80	13.13	144.72	333.97
丽江县	50.34	5135.9	4.1	287.79	3.59	15.65	79.31	134.63	58.20
永胜县	54.22	5893.7	4.7	336.04	5.07	8.51	101.10	151.24	75.19
华坪县	49.25	4763.7	3.8	115.22	4.03	0.54	28.00	61.96	24.72
宁蒗县	76.47	8487.8	6.8	598.60	1.72	9.32	166.64	361.76	60.88
鹤庆县	32.48	3403.1	2.7	82.25	2.68	1.87	24.34	46.65	9.39
洱源县	41.02	4368.7	3.5	142.14	2.67	3.94	42.31	67.51	28.38
宾川县	57.36	5437.8	4.4	230.46	4.78	2.06	62.56	127.62	38.22
祥云县	27.49	1983.1	1.6	63.27	3.81	3.98	17.35	34.24	7.70
楚雄市	25.31	2289.7	1.8	107.42	10.60	3.76	21.92	59.26	22.48
南华县	27.17	2946.2	2.4	76.92	5.00	2.24	25.31	45.19	4.18
牟定县	44.73	2672.1	2.1	62.53	3.94	1.07	32.19	27.18	2.09
姚安县	28.28	3318.9	2.7	67.80	2.26	0.37	11.94	42.32	13.17
大姚县	42.04	7835.1	6.3	242.89	3.93	1.56	18.27	110.52	112.54
永仁县	18.59	3653.1	2.9	48.19	2.30	1.79	17.95	21.72	6.73
元谋县	27.64	3569.3	2.9	106.20	3.99	5.05	31.28	47.78	22.09
武定县	54.72	5279.0	4.2	206.82	4.44	5.92	75.31	95.94	29.65
禄丰县	30.47	2722.6	2.2	112.47	8.25	3.65	23.05	67.91	17.86
西山区	46.75	4111.8	3.3	50.28	1.37	1.24	13.97	22.30	12.77
官渡区	33.75	1335.9	1.1	25.11	1.61	6.30	12.67	4.50	1.64
呈贡县	32.17	1069.0	0.9	11.53	0.77	2.58	5.54	2.06	1.35
晋宁县	39.85	2260.6	1.8	57.68	2.92	5.67	21.15	27.02	3.84
安宁市	32.26	2190.9	1.8	48.33	2.35	10.79	30.33	6.68	0.53
富民县	64.68	5669.6	4.5	108.62	1.99	0.98	41.88	39.89	25.87
嵩明县	36.69	1878.1	1.5	55.78	2.19	9.27	32.64	13.41	0.46
禄劝县	57.09	7017.7	5.6	321.54	11.20	0.38	15.72	124.53	180.91
东川区	47.85	6423.9	5.1	241.47	3.59	5.84	86.70	108.38	40.55
寻甸县	74.08	5938.3	4.8	550.23	9.92	7.93	169.50	260.31	112.49
沾益县	41.03	2028.7	1.6	107.91	4.99	38.32	43.12	17.66	8.81
马龙县	43.27	2174.7	1.7	61.09	1.99	11.65	37.03	10.76	1.65
宣威市	63.44	7236.7	5.8	1082.30	3.23	74.93	303.70	444.82	258.85
会泽县	60.88	7880.2	6.3	1122.88	6.35	33.73	283.31	450.32	355.52
昭通市	80.00	8234.7	6.6	626.70	1.09	21.24	116.67	366.02	122.77
鲁甸县	73.00	9601.8	7.7	476.11	1.62	6.56	98.29	210.37	160.89
巧家县	66.88	10175.6	8.1	756.02	5.80	4.05	95.95	452.21	203.81
盐津县	86.89	14528.2	11.6	716.52	2.03	0.26	22.94	302.41	390.91
大关县	72.43	12466.0	10.0	422.08	0.94	0.49	36.25	268.59	116.75
永善县	84.38	14054.7	11.2	887.85	3.54	0.18	41.43	435.39	410.85
绥江县	85.45	11803.3	9.4	225.43	1.65	0.14	5.43	125.96	93.90
镇雄县	84.99	10353.3	8.3	1471.85	2.80	23.89	334.71	678.05	435.20
彝良县	83.03	12843.3	10.3	1025.10	2.33	0.87	65.45	679.31	279.47
威信县	89.66	13088.7	10.5	621.58	2.56	0.00	0.66	135.04	485.88
水富县	88.61	12592.9	10.1	134.15	1.26	0.01	1.02	41.25	91.87
合计	62.55	7330.0	5.9	14870.08	155.70	347.14	2753.14	7006.66	4763.14

2.2 各地类土壤流失量和侵蚀强度以耕地为最大,但园地、林地和荒山荒地水土流失亦较突出

2.2.1 耕地水土流失状况

云南金沙江流域耕地以坡耕地为主、陡坡耕地比重较大,而坡耕地由于整个作物管理和种植过程(土壤翻耕—整地—播种—松土除草—施肥—收获)使表土受到人为剧烈扰动,极易产生水土流失,尤其在汛期旱作物收获翻耕后,因受频繁大雨、暴雨打击和地表径流冲刷,水土流失量很大,尤其是 15° 以上的坡耕地水土流失异常强烈(参见表5),使耕地成为该流域水土流失最为严重的地类。测算结果表明,全流域耕地水土流失面积达 $1\,355\,438.1\text{ hm}^2$,占耕地总面积的66.12%和该流域水土流失总面积的23.44%;耕地年均土壤侵蚀量达 $15\,025.78\text{ 万 t}$,占全部土地侵蚀总量的62.55%;耕地平均侵蚀模数达 $7\,330.0\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,是全部土地平均值的4.1倍;年均侵蚀深度达 5.9 mm ,比全部土地平均侵蚀深度大311%。

2.2.2 园地水土流失状况

园地因总面积较小,其水土流失面积只有 $55\,017.8\text{ hm}^2$,占该流域水土流失总面积的0.95%。但这并不意味着园地水土流失不突出,相反,其水土流失强度在该流域还是较大的:(1)园地水土流失面积占园地总面积的比例达40.92%,这一比例在各地类中居第3位(仅次于荒山荒地和耕地);(2)园地年均侵蚀模数达 $2\,198.7\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,在各地类中居第2位(仅次于耕地)。之所以园地水土流失较为严重,主要在于许多园地与顺坡种植的坡耕地类似,不少坡园地(尤其是茶园)因没有水土保持措施,一遇大雨、暴雨,便发生严重的水土流失。

2.2.3 林地水土流失状况

森林在保持水土、改善生态环境中居重要地位。通常,茂密森林(天然原始林)具有多层植被(林、灌、草、枯枝落叶),其单位面积土壤流失量仅为农耕地的 $1/1\,000 \sim 1/10\,000$ 。然而,金沙江流域内的许多山区林地却有不同程度的水土流失(甚至是严重的水土流失)发生。据我们测算,目前云南金沙江流域林地轻度以上水土流失面积达 $2\,802\,182.5\text{ hm}^2$,占该流域总水土流失面积的48.47%和林地总面积的36.24%;

林地年均土壤流失量达 $5\,465.03\text{ 万 t}$,占全部土地土壤流失总量的22.75%;林地平均侵蚀模数 $706.8\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,在各地类中居第4位(仅次于耕地、园地、荒山荒地)。林地水土流失主要发生在地面缺乏地被物(草本植物和枯枝落叶)的人工纯林地、疏林地和新造幼林地上。这主要是由于:与天然林(或称原始森林,常常具有乔、灌、草多层配置结构)相比,人工纯林对防治水土流失的作用非常有限,尤其是林相单一、地被物稀少或缺乏的人工阔叶林,降雨能在叶面形成较大雨滴,对没有遮盖的地表产生较强的击溅作用,造成表土层常被冲走。而单一的针叶林因灰分低,盐基离子含量少,微生物活动弱,也不利于土壤肥力的提高和多种类、多层次植被的恢复。这一“远看青山在,近看水土流”的现象在许多山区都较为常见。至于新造幼林地,经过垦(全垦或条垦)、挖(穴、坑)等整地过程后,破坏了地表结构,往往造成新的严重水土流失。

2.2.4 牧草地水土流失状况

草地通常地面草本植物覆被率高,保土效应显著,水土流失大多较为轻微。但有些地区因过度放牧等原因,草地植被受到一定程度破坏,水土流失有所加重。云南金沙江流域牧草地中,水土流失面积 $62\,430.8\text{ hm}^2$,占该流域总水土流失面积的1.08%和牧草地总面积的9.77%,其中,轻度侵蚀占84.15%,中度侵蚀占15.85%;牧草地年均土壤流失量 124.05 万 t ,占全部土地土壤流失总量的0.52%;牧草地平均侵蚀模数 $194.1\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,居各地类之末位。

2.2.5 建设用地水土流失状况

建设用地的水土流失主要是山区不合理开矿、修路等建设活动造成的水土流失现象,属人为水土流失。据我们初步测算,现有云南金沙江流域建设用地中,水土流失面积 $27\,562.1\text{ hm}^2$,占该流域总水土流失面积的0.48%和建设用地总面积的7.90%,其中,轻度侵蚀占60.28%,中度侵蚀占31.18%,强度侵蚀占8.54%;建设用地年均土壤流失量 77.60 万 t ,占全部土地土壤流失总量的0.32%;建设用地平均侵蚀模数 $222.5\text{ t/km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,稍高于牧草地,在各地类中居第6位(即倒数第2位)。

2.2.6 荒山荒地水土流失状况

云南金沙江流域荒山荒地分布较广,总面积达 1 871 318.7 hm^2 。因其地面植被覆盖度大多较低,有些则为基本无植被覆盖的裸土地,因而水土流失较为严重。全流域发生水土流失的荒山荒地面积达 1 402 193.5 hm^2 ,占该流域总水土流失面积的 24.25%和荒山荒地总面积的 74.93%(这一比例居各地类之冠),其中,轻度侵蚀占 76.83%,中度侵蚀占 16.49%,强度侵蚀占 3.63%,极强度侵蚀占 1.87%,剧烈侵蚀占 1.18%;荒山荒地年均土壤流失量达 2 870.58 万 t,占全部土地土壤流失总量的 11.95%;荒山荒地平均侵蚀模数达 1 534.0 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,在各地类中居第 3 位(仅次于耕地、园地)。

2.2.7 其它土地水土流失状况

其它土地指冰川及积雪地、田坎(含小杂地)以及其它(高山寒漠、荒原等)用地。总体上,这类土地水土流失范围和强度均较小。全流域“其它土地”水土流失面积为 76 614.3 hm^2 ,占该流域总水土流失面积的 1.33%和“其它土地”总面积的 15.02%,其中,轻度侵蚀占 96.07%,中度侵蚀仅占 3.93%;“其它土地”年均土壤流失量 164.16 万 t,占全部土地土壤流失总量的 0.68%;“其它土地”平均侵蚀模数为 321.9 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,在各地类中居第 5 位。

2.3 耕地水土流失主要发生于顺坡耕地,其中又以中坡和陡坡耕地为主

2.3.1 顺坡耕地与梯田梯地水土流失状况

在耕地侵蚀量中,3°以上顺坡耕地(指缺乏田地埂坎等人工水土保持设施、顺坡种植的耕地)年均土壤侵蚀量达 14 870.08 万 t,占总耕地侵蚀量的 98.96%和全部土地侵蚀总量的 61.90%;而梯田梯地年均侵蚀量只有 155.70 万 t,占总耕地侵蚀量的 1.04%。

从侵蚀强度看,顺坡耕地远远大于梯田梯地(见表 5)。全流域顺坡耕地合计平均侵蚀模数达 11 209.1 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,年均流失厚度达 9.0 mm/a ,远超过全部土地的平均侵蚀模数和流失厚度值;而梯田梯地合计平均侵蚀模数只有 324.3 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,年均流失厚度仅 0.26 mm/a ,约为顺坡耕地合计平均值的 1/35。

2.3.2 不同坡度级顺坡耕地的土壤流失量

在顺坡耕地侵蚀量中,3°~6°顺坡耕地年均侵蚀量为 347.14 万 t,占 2.33%;7°~15°顺坡耕地年均侵蚀量为 2 753.14 万 t,占 18.51%;16°~25°顺坡耕地年均侵蚀量为 7 006.66 万 t,占 47.12%;26°~35°顺坡耕地年均侵蚀量为 4 222.21 万 t,占 28.39%;>35°顺坡耕地年均侵蚀量为 540.93 万 t,占 3.65%。也就是说,>15°顺坡耕地年均侵蚀量达 11 769.80 万 t,占全部顺坡耕地侵蚀量的 79.16%、总耕地侵蚀量的 78.33%和全部土地侵蚀总量的 48.99%。

表 5 云南金沙江流域坡耕地土壤侵蚀状况、抗蚀年限和可持续利用程度等级

Table 5 The state of soil erosion, the number of average erosion-resistant year of soil and the class of sustainable degree of sloping cultivated land in Jinsha River Basin of Yunnan Province

地类	土壤侵蚀和可持续利用等级指标	坡度分级				
		3°~6°	6°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
顺坡耕地	土壤侵蚀量($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)	1200 ~ 2500	2500 ~ 11500	11500 ~ 16500	16500 ~ 24600	24600 ~ 32000
	土壤侵蚀深度(mm/a)	0.96 ~ 2.00	2.00 ~ 9.20	9.20 ~ 13.20	13.20 ~ 19.68	19.68 ~ 25.60
	土壤侵蚀强度等级	轻度、中度	中度~极强度	极强度为主	剧烈侵蚀为主	极剧烈侵蚀
	平均土壤抗蚀年限(a)	1000 ~ 400	400 ~ 100	100 ~ 30	30 ~ 10	< 10
	可持续利用程度等级	中、高度	中度	低度(或难)	难持续	不可持续
梯田梯地	土壤侵蚀量($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)	50 ~ 150	150 ~ 350	350 ~ 600	600 ~ 850	850 ~ 1200
	土壤侵蚀深度(mm/a)	0.04 ~ 0.12	0.12 ~ 0.28	0.28 ~ 0.48	0.48 ~ 0.68	0.68 ~ 0.96
	土壤侵蚀强度等级	微度	微度	微度为主	轻度	轻度为主
	平均土壤抗蚀年限(a)	> 10000	10000 ~ 5000	> 1000	1000 ~ 500	500 ~ 100
	可持续利用程度等级	高度持续	高度持续	高度持续	高度~中度	中度持续

3 主要认识与结论

1. 云南金沙江流域水土流失面广、量多、强度大,已被《全国生态环境建设规划》列为我国生态建设的重中之重的区域^[7],必须要坚定不移地采取有效措施搞好该流域的水土保持与生态建设工程,否则不仅严重影响和制约着该流域土地资源的可持续利用和经济社会的可持续发展,还会危及到长江中下游地区的水患和生态安全。

2. 耕地是水土流失的主要地类,而耕地水土流失主要发生于顺坡耕地上,梯田梯地水土流失轻微。因此,治理坡耕地水土流失的基本对策和措施,一是对不宜耕坡耕地(主要是 $>25^\circ$ 顺坡耕地,少部分为水土流失严重、土层浅薄的 $16^\circ \sim 25^\circ$ 顺坡耕地)因地制宜地实施退耕还林还草措施;二是对缓坡耕地有计划地逐步实施“坡改梯”工程,建设成为高产稳产的“三保”田地。

3. 许多坡园地(尤其是坡茶园)与顺坡种植的坡耕地类似,水土流失较为严重,必须采取“坡改梯”措施,或者建立经济林复层栽培体系,以大幅度增加地面植被覆盖度,有效控制水土流失。

4. 地面缺乏地被物(草本植物和枯枝落叶)

的人工纯林地、疏林地和新造幼林地往往发生较严重的水土流失,因此,不论是对现有水土流失较为严重的林地,还是退耕还林地和需要绿化的荒山荒地,均应因地制宜地采取乔灌草结合、或经济林复层栽培技术措施,努力增加地面覆盖率,切实避免“空中绿化”现象,从根本上控制水土流失,实现生态与经济“双赢”的可持续发展之路。

参考文献:

- [1] 杨子生. 云南省金沙江流域土壤流失方程研究[J]. 山地学报, 2002, 20(增刊): 1 ~ 9.
- [2] 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 ~ 20.
- [3] 杨子生. 滇东北山区坡耕地水土流失状况及其危害[J]. 山地学报, 1999, 17(增刊): 25 ~ 31.
- [4] 杨 俊. 山区水土流失产生、发展与控制[A]. 见: 中国科学技术协会首届青年学术年会云南卫星会议论文集[C]. 昆明: 云南科技出版社, 1992. 247 ~ 253.
- [5] 杨子生. 论水土流失与土壤侵蚀及其有关概念的界定[J]. 山地学报, 2001, 19(5): 436 ~ 445.
- [6] 杨子生, 谢应齐. 云南省农业自然灾害区划[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 170 ~ 252.
- [7] 刘江主编. 全国生态环境建设规划[M]. 北京: 中华工商联合出版社, 1999. 21 ~ 54, 528 ~ 552

Analysis on Main Characteristics of Soil Erosion in Jinsha River Basin of Yunnan Province

YANG Zi-sheng¹, LIANG Luo-hui², and WANG Yun-peng¹

(1. Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. The United Nations University, Tokyo, Japan)

Abstract: Using newly developed soil loss equation in Jinsha River Basin of Yunnan Province, the authors in the paper calculated the annual average soil loss amounts of the total land and every land use type of every county in the Basin, and analysed the characteristics of soil erosion on total land, every land type and cultivated land with different slope class in the Basin. The study revealed the main characteristics and laws of soil erosion in the Basin, and may provide scientific bases for mapping out the planning of preventing and controlling soil erosion in the light of local conditions.

Key words: soil erosion, soil loss equation, soil loss amount, land use type, erosion intensity, Jinsha River Basin of Yunnan Province