

川中不同类型小流域土壤侵蚀特征分析

尚河英, 尹忠东, 张 鹏

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘 要:以川中小流域为研究对象, 2004 年第 5 期小流域竣工验收报告为基础数据, 以流域土地利用方式面积比例为指标进行聚类, 将小流域分为不同类型, 然后分别建立以不同类型小流域的土壤侵蚀量为因变量, 用地面积为自变量的多元线性回归方程。从而比较区域内部小流域之间的差异, 分析不同类型小流域的土壤侵蚀特征, 以期更有针对性地为小流域综合治理提供理论和实际依据。研究表明: (1) 根据其主要土地利用方式, 研究区小流域分为 4 类; (2) 不同类型小流域, 水土流失主要及最大来源、侵蚀模数等特征有显著差异。

关键词:小流域; 土地利用; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)05-0005-04

Analysis on Soil Erosion Characteristics of Different Types of Small Watersheds in Centre Sichuan Province

SHANG Heying, YIN Zhongdong, ZHANG Peng

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Taking center Sichuan Province as a case study, we used the database from the completed report for its fifth erosion protection project and divided the study area into various small watersheds using cluster analysis in terms of the area proportion for different land-uses. Then we quantified the relationship between soil erosion (dependent variable) and land-use area (explanatory variable) by multiple linear regression analysis. We also analyzed the differences in soil erosion features and land-use patterns among various small watersheds in the study area. The results show that there are four categories of small watersheds according to land-use patterns, and the sources and rate of soil erosion are significantly different among these small watersheds.

Keywords: small watershed; land use type; soil erosion

川中丘陵区位于四川盆地中部, 人口密度大, 是四川和长江上游最重要的农业区。由于丘陵区地形起伏, 沟谷迂回, 土层薄, 降雨集中, 农业生产活动频繁, 加之不合理的垦殖和土地利用方式等, 加速了土壤的侵蚀过程, 导致该区域水土流失十分严重。南方红壤丘陵区土壤容许流失量为 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})^{[1]}$, 2000 年公布的遥感普查结果该区域侵蚀强度多在中度以上, 侵蚀模数 $> 3\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})^{[2]}$ 。水土流失会导致土层变薄、有机质含量降低; 甚至在暴雨冲刷下, 使土壤资源彻底丧失, 出现石漠化现象, 致使土地生产力下降, 农业价值降低或丧失, 从而限制区域经济的发展, 加剧区域生态环境的脆弱性。该区域红壤面积及土壤流失量分别占全省的 31.2%, 36.7%, 占长江上游的 21.2%, 24.0%^[3-4]。由于川中地区严重的水土流失也

会对长江流域水域环境产生消极影响, 因此被列入长江上游水土流失重点防治工程防治区。所以, 对川中紫色土丘陵区小流域的综合治理, 不仅有利于川中地区经济发展, 也有利于改善长江流域的生态环境。

很多学者针对小流域水土流失治理措施效益^[5-7]、水土保持工程生态或经济服务价值^[8]、土地利用与土壤流失的关系^[9-12]等方面展开了研究, 但基本都是针对特定的一个或几个小流域, 或是大的研究区域进行研究。特定的一个或几个小流域研究的区域狭小, 研究成果能够精确地反映当地情况, 但往往不能代表或反映较大区域情况, 缺少对比性研究; 将大区域作为一个整体研究却不能突出甚至是忽略了其内部小流域之间的显著差异。为了研究较大区域内部小流域之间土壤侵蚀的差异, 本文将川中地区

小流域作为研究区,进行分类,并分析不同类型小流域土壤侵蚀特征,以期更有针对性地为小流域综合治理提供理论和实际依据。

1 研究区概况

研究区位于嘉陵江、岷江中下游和雅砻江下游地区,包括绵阳、宜宾、南充、遂宁、凉山彝族自治州、广元、达州、广安、巴中 9 个市州 32 个县市 185 条小流域。该区域属亚热带季风气候,无霜期长,年平均气温 16~18℃。多年平均降雨量 800~1 200 mm,但年内分配不均衡,降水主要集中在夏、秋季。植被以常绿阔叶林为主,森林覆盖率低。该区域土地面积 1 200 万 hm²,耕地面积占 29.5%,林地面积占 21.3%,水域面积占 7.5%;在紫色丘陵区区内低山占 21.4%,中丘占 25.5%,深丘占 25.5%^[13]。土壤以紫色土为主,土质疏松,有机质含量低,可溶性盐分含量高,易被水分解溶蚀,故土壤抗蚀性差。

2 数据来源及研究方法

本研究以 2004 年四川省“长治”工程第 5 期小流域竣工总结验收报告为基础数据,结合研究和实际调查,并对基础数据进行修正完善。以绵阳、宜宾、南充、遂宁、凉山彝族自治州、广元、达州、广安、巴中 9 市(州)32 个县的 185 条小流域为研究对象,采用聚类分析和回归分析相结合的研究方法,并借助软件 SPSS 18.0 完成。

以川中小流域 12 种土地利用方式面积比例为目标进行聚类,将小流域分为不同类型,用方差分析表明不同小流域侵蚀来源和侵蚀量之间的差异水平,然

后分别建立以不同类型小流域的土壤侵蚀量为因变量,用地面积为自变量的多元线性回归方程,从而比较区域内小流域之间的差异,分析不同类型小流域的土壤侵蚀特征。所有的用地类型均已包括在内,所以采用无截距模型。由于每个变量与土壤侵蚀的相关系数不同,且自变量较多,其对土壤侵蚀贡献程度会有显著差异,因此利用线性回归方法可以将显著性水平小于 0.05 的且对因变量贡献大的移入到模型中,将显著性水平大于 0.1 的自变量从模型中移除。即仅保留主要影响因素,剔除对土壤流失量影响不大的。多元回归模型如公式(1)所示:

$$Y=b_1X_1+b_2X_2+\cdots+b_iX_i \tag{1}$$

式中:Y——小流域年土壤侵蚀量(t/a);X_i——不同用地类型的土地面积(km²),b_i——不同用地类型的侵蚀模数[t/(km²·a)];i——用地类型,i 取值 1~12,分别表示水田、梯田、坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、经果林、草地、荒地、水域、难利用地、非生产用地。

3 结果与分析

3.1 小流域土地利用方式聚类分析

《“长治”工程竣工验收细则》将土地利用方式分为农田、林地、荒地、草地、其他用地 5 大类,其中农田包括水田、梯田和坡耕地,林地包括有林地、灌木林、疏幼林和经果林,其他用地包括水域、难利用地和非生产用地。根据 185 条小流域的水田、梯田、坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、经果林、草地、荒地、水域、难利用地、非生产用地 12 种土地类型面积比例进行聚类,聚类结果分为 4 大类(表 1—2),以其主要用地类型命名小流域类型。

表 1 小流域土地利用方式聚类结果

类型	小流域	流域数量占总	主要分布县(区)
	数量/个	流域数比例/%	
第 1 类	88	47.57	宜宾县、屏山县、仪陇县、西充县、蓬安县、高坪区、遂宁市中区、蓬溪县、大英县、苍溪县、渠县、开江县、江油市、三台县、广安县、岳池县、武胜县等
第 2 类	54	29.19	屏山县、翠屏区、顺庆区、南部县、阆中市、蓬溪县、昭觉县、宣汉县、平昌县等
第 3 类	31	16.76	会东县、宁南县、金阳县、雷波县
第 4 类	12	6.48	会理县、昭觉县

表 2 四类小流域土地类型面积占流域比例及侵蚀量

类型	水田/ %	梯田/ %	坡耕 地/%	有林 地/%	灌木 林/%	疏幼 林/%	经果 林/%	草地/ %	荒地/ %	水域/ %	难利 用地/%	非生产 用地/%	土壤侵蚀 量/t
第 1 类	23.97	12.53	14.77	12.48	2.03	11.28	12.03	0.38	0.16	3.23	0.54	6.6	22423.44
第 2 类	17.25	8.57	6.73	29.07	7.05	8.73	11.69	1.31	0.26	3.28	1.18	4.88	20223.8
第 3 类	4.06	5.32	3.19	52.19	8.03	7.1	7.93	6.97	0.74	1.29	1.22	1.96	20656
第 4 类	4.11	8.18	5.12	21.85	16.79	9.2	10.68	18.59	1.26	1.43	0.35	2.44	23703.42

第 1 类属于农田—林地型小流域,共 88 个,占流域总数的 47.57%。该类小流域中农田(包括水田、梯

田、坡耕地)面积占流域面积比例高,约 51.27%,其中水田面积比例最大,约占 23.97%。林地占 37.82%。

第2类属于林地—农田型小流域,共54个,占流域总数的29.19%。该类小流域林地面积占流域比例56.54%;农田面积占流域面积32.55%。较之第1类小流域林地面积比例提高,农田面积比例下降。

第3类属于林地型小流域,共31个,占流域总数的16.76%。该类小流域林地面积占75.25%,其中有林地面积比例达52.19%。农田只占12.57%。

第4类属于林草型小流域,共12个,占流域总数的6.48%。主要土地类型为有林地、灌木林、草地,面积比分别为21.85%,16.79%,18.59%。较之其他3类小流域,该类小流域的灌木林和草地面积比例较高。4类小流域草地面积比例差别较大,第1类小流域只占0.38%。

3.2 不同类型小流域土壤侵蚀特征分析

川中地区土壤侵蚀主要以水力侵蚀为主。水力侵蚀划分为6个等级:微弱,平均侵蚀模数 $<500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;轻度,平均侵蚀模数 $500 \sim 2\,500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;中度,平均侵蚀模数 $2\,500 \sim 5\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;强度,平均侵蚀模数 $5\,000 \sim 8\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;极强度,平均侵蚀模数 $8\,000 \sim 15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;剧烈,平均侵蚀模数 $>15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[1]。

建立土壤流失量与不同类型小流域土地面积的逐步回归方程。公式(2)—(5)中, i 取值1~12, X_i 分别代表水田、梯田、坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、经果林、草地、荒地、水域、难利用地和非生产用地面积;而 Y_j 表示第 j 类小流域的土壤侵蚀量, j 取值1~4。

$$Y_1 = 2179.681X_3 + 1137.183X_4 + 5285.616X_5 + 862.265X_6 + 12521.968X_9$$

$$R^2 = 0.867 \quad (2)$$

式中: Y_1 ——第1类小流域土壤侵蚀量(t/a); X_3, X_4, X_5, X_6, X_9 ——坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、荒地的面积(km^2)。由逐步回归方程的约束条件,其他7类贡献度小,显著性不满足小于等于0.05,故从模型中剔除(以下模型原理相同)。

农田—林地型小流域,区域内造成土壤侵蚀的主要来源:坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林和荒地。从公式(2)系数可以看出,荒地侵蚀模数达 $12\,521.968 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,达到极强度侵蚀。紫色土区的荒地主要为荒山、荒坡,植被覆盖率低,坡度大,土壤肥力较差,抗蚀性差,地表基本完全裸露,因此土壤侵蚀严重,侵蚀模数较大。但其面积比例小,只占0.16%。坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林的侵蚀模数分别为 $2\,179.681, 1\,137.183, 5\,285.616, 862.265 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。灌木林偏大,达到强度侵蚀;坡耕地、有林地和疏幼林侵蚀模

数都属于轻度侵蚀。土壤侵蚀量等于土壤侵蚀模数和土地面积之乘积。坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、荒地5类主要水土流失来源造成的土壤侵蚀量之比为 $5:2:1.6:1.4:0.2$,可见农田—林地型小流域坡耕地是水土流失最大来源。

$$Y_2 = 1723.638X_2 + 2672.825X_3 + 2257.501X_7$$

$$R^2 = 0.832 \quad (3)$$

式中: Y_2 ——第2类小流域土壤侵蚀量(t/a); X_2, X_3, X_7 ——梯田、坡耕地、经果林的面积(km^2)。

林地—农田型小流域,造成区域内土壤侵蚀的主要来源为梯田、坡耕地和经果林。坡耕地的侵蚀模数最大,达到 $2\,672.825 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于中度侵蚀强度;经果林、梯田侵蚀模数为 $2\,257.501, 1\,723.638 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于轻度侵蚀强度。部分梯田是由坡改梯转化而来的,坡改梯实施后一般以种植粮食作物为主,农作翻耕对土地扰动依然较大,又缺乏技术支持和监理,因此部分梯田稳定性差,水土保持效益并不明显,仍然会产生土壤侵蚀。梯田、坡耕地、经果林3类主要土地利用方式土壤侵蚀量之比为 $2.5:3:4.5$ 。因此林地—农田型小流域经果林地是水土流失最大来源,其次是坡耕地、梯田。

$$Y_3 = 5573.321X_3 + 500.177X_4 + 1369.972X_8$$

$$R^2 = 0.895 \quad (4)$$

式中: Y_3 ——第3类小流域土壤侵蚀量(t/a); X_3, X_4, X_8 ——坡耕地、有林地和草地的面积(km^2)。

林地型小流域,影响区域内土壤侵蚀的主要来源有坡耕地、有林地和草地。从方程式(4)系数可以看出,有林地、草地土壤侵蚀模数分别为 $500.177, 1\,369.972 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属轻度侵蚀强度;坡耕地侵蚀模数 $5\,573.321 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属强度侵蚀。坡耕地、有林地、草地3类主要土地利用方式土壤侵蚀量之比为 $3.3:5:1.7$ 。林地型小流域有林地是水土流失最大来源,其次是坡耕地、草地。

$$Y_4 = 4807.606X_3 + 1576.768X_6 + 468.805X_7 + 1093.660X_8$$

$$R^2 = 0.998 \quad (5)$$

式中: Y_4 ——第4类小流域土壤侵蚀量(t/a); X_3, X_6, X_8 ——坡耕地、疏幼林、经果林和草地的面积(km^2)。

林草型小流域,造成土壤侵蚀的主要来源为坡耕地、疏幼林、经果林和草地。坡耕地侵蚀模数最大为 $4\,807.606 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀模数属于中度侵蚀强度;疏幼林、草地侵蚀模数分别为 $1\,576.768, 1\,093.660 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于轻度侵蚀强度。坡耕地、疏幼林、经果林、草地4类主要土地利用方式土壤

侵蚀量之比为 $3.8:2.2:0.8:3.2$ 。坡耕地是林草型小流域水土流失最大来源,其次是草地。

对比4大类小流域发现,坡耕地是造成所有小流域土壤侵蚀的主要来源之一。因为坡耕地主要分布在低山、丘陵与平原的交界处,地面平整度差,蓄水保土能力差,加之人类的耕作扰动,土壤结构极易被破坏,因此坡耕地成为小流域水土流失的产源地。除第1类、第2类小流域坡耕地侵蚀模数稍小,在 $2\,500\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 左右,第3类、第4类小流域侵蚀强度都在中度侵蚀及以上。这与小流域样本量及其 25° 以上坡耕地的面积有一定关系。 25° 以上坡耕地虽极易造成水土流失,但治理后除几个小流域有面积极小的 25° 以上坡耕地外,大都已恢复为林地或草地。因此第1类、第2类小流域样本量大,致使坡耕地土壤侵蚀模数有平均化的趋势,侵蚀模数偏小。

4类小流域林地的侵蚀模数基本都在轻度及以下。因为植被是土地的保护伞,具有拦截雨滴,减缓地表径流,固结土壤,增加土壤有机质,改良土壤结构的效果。一般有林地郁闭度大、枯枝落叶层厚、根系深,土壤侵蚀量弱,具有减少水土流失的作用,因此第1类、第4类小流域有林地侵蚀模数较小,分别为 $601.33, 506.28\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。第2类小流域为林地型小流域,林地面积占 75.25% ,虽然有林地土壤侵蚀模数小,但有林地面积比例高达 52.19% 。农田只占 12.57% ,因此有林地是林地型小流域水土流失的最大来源。疏幼林和经果林地会产生一定的水土流失。因为疏幼林和经果林植株稀疏、根系浅、郁闭度小、地面枯枝落叶积存少、固土能力相对差,地表径流会冲刷地表土,产生轻度的水土流失。此外,经果林受人类活动的干扰较多,土壤抗蚀性减弱,也会产生轻度土壤侵蚀。由公式(2),(3),(5)可以看出,其侵蚀模数较小。第2类小流域经果林占流域面积 11.69% ,是该区域水土流失最大来源。

草地对第3类、第4类小流域土壤侵蚀产生一定负作用。因为第3类、第4类小流域较之第1类、第2类小流域,草地面积比例较大,分别占流域面积 $6.97\%, 18.47\%$,部分草地是由坡耕地转化而来,植被覆盖率小,保水固土能力较差,因此其成为造成土壤侵蚀的主要来源之一。

4 结论

(1) 根据研究区主要土地利用方式,研究区小流域分为4类,分别为:农田—林地型小流域、林地—农田型小流域、林地型小流域和林草型小流域。其中以农田—林地型小流域和林地—农田型小流域为主。

(2) 不同类型小流域,水土流失主要及最大来源、侵蚀模数等特征有显著差异。坡耕地均是4类小流域水土流失的主要产源地。农田—林地型小流域坡耕地侵蚀模数属轻度侵蚀强度,水土流失主要来源有坡耕地、有林地、灌木林、疏幼林、荒地5类,土壤侵蚀量之比为 $5:2:1.6:1.4:0.2$ 。林地—农田型小流域坡耕地侵蚀模数属中度侵蚀,水土流失主要来源为梯田、坡耕地、经果林3类,土壤侵蚀量之比为 $2.5:3:4.5$ 。林地型小流域坡耕地侵蚀模数属强度侵蚀,水土流失主要来源为坡耕地、有林地、草地3类,土壤侵蚀量之比为 $3.3:5:1.7$ 。林草型小流域坡耕地侵蚀模数属中度侵蚀,水土流失主要来源有坡耕地、疏幼林、经果林、草地4类,土壤侵蚀量之比 $3.8:2.2:0.8:3.2$ 。4类小流域林地侵蚀模数基本都在轻度及以下。

此外,不同土地利用方式之间的动态转化直接影响土壤侵蚀量的变化,本文未考虑,有待深入探究。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190—2007[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [2] 中华人民共和国水利部. 全国水土流失公告[R]. 2000.
- [3] 何淑勤,郑子成. 浅议四川盆地丘陵区的水土保持[J]. 水土保持研究,2005,12(2):101-102.
- [4] 李文萍,雷孝章,刘兴年,等. 四川盆地紫色土丘陵区水土流失及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(3):137-139.
- [5] 王学勤,韦红,何丙辉,等. 鹤鸣观小流域综合治理减水减沙效益研究[J]. 土壤学报,2002,39(2):246-253.
- [6] 王纪杰,程训强,尹忠东. 川中丘陵区小流域综合治理措施及效益分析[J]. 中国水土保持科学,2011,9(6):38-42.
- [7] 熊康宁,王恒松,刘云. 毕节石桥小流域水土保持综合治理生态监测与效益评价[J]. 水土保持研究,2012,19(4):10-15.
- [8] 廖纯艳,徐航. 论“长治”工程在长江流域生态建设中的地位与作用[J]. 中国水土保持,2003(8):4-6.
- [9] 蔡强国,吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报,1998,18(2):1-8.
- [10] 吴楠,何方,姚孝友,等. 基于RS和GIS的淮河流域上游山区土地利用方式与土壤侵蚀强度的研究[J]. 安徽农业大学学报,2007,34(4):589-595.
- [11] 朱韦,魏虹,彭月,等. 三峡库周不同土地利用方式下土壤侵蚀变化特征:以重庆市璧山县为例[J]. 水土保持研究,2007,14(3):376-380.
- [12] 王友胜,刘霞,姚孝友,等. 费县土地利用和土壤侵蚀时空变化分析[J]. 水土保持研究,2011,18(5):19-22.
- [13] 尹忠东,苟江涛,李永慈. 川中紫色土区农作型小流域水土保持措施设计策略及减蚀效益[J]. 农业系统科学与综合研究,2009,25(3):369-374.