

云南纵向岭谷区土地利用的侵蚀环境效应

——以黑惠江、龙川江、盘龙河流域为例

周跃^{1,2}, 文荣³, 曾和平², 王剑^{2,4}

(1. 云南财经大学全球变化与流域管理研究中心, 云南 昆明 650221; 2. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093

3. 云南师范大学, 云南 昆明 650093; 4. 沧州师范学院, 河北 沧州 061000)

摘要: 土地利用直接改变土壤侵蚀的方式和强度, 具有突出的侵蚀环境效应。以黑惠江、龙川江、盘龙河流域为例, 探讨了云南纵向岭谷区土壤侵蚀对土地利用的响应关系。研究表明, 本区土地利用类型的内部转化和相互转化引起土壤侵蚀程度的明显变化; 耕地向林地、草地的转化使侵蚀强度指数显著降低; 林地向耕地、草地转化, 均显著增加侵蚀强度指数; 耕地、林地、草地的内部转化对土壤侵蚀也有少量影响。另外, 以土地利用为主的人类活动明显影响河流悬移质含量, 林地面积提高和土壤侵蚀减弱的区域, 年输沙量也相应减少, 相反则增加。

关键词: 云南纵向岭谷; 土地利用; 土壤侵蚀; 侵蚀环境效应

中图分类号: F301.24 S157

文献标识码: A

土地利用/土地覆盖变化(LUCC)已经成为影响全球环境变化的一个重要原因^[1], 被列为全球变化研究的核心计划^[2]。由于土地利用作为外在驱动力联动产生一系列的生态环境后果, 尤其是作为其环境效应之一的土壤侵蚀, 土地利用与土壤侵蚀的关系成为LUCC研究的重要课题^[3]。土地利用的侵蚀环境效应是土地利用作为驱动力联动产生的环境效应在土壤侵蚀方面的表现。在一定的侵蚀环境系统中, 土地利用影响着所有的土壤侵蚀因子和侵蚀结果, 直接改变土壤侵蚀的方式和强度, 具有突出的侵蚀环境效应^[4]。在我国, 对土地利用与土壤侵蚀关系的研究远远少于对两者单独的研究, 虽然对这种关系的研究在小范围和简单类型也有成果^[5-7], 但是区域性、综合性的研究却不多。云南纵向岭谷区^[7]地处我国西南低纬高原山地, 是一类特殊的环境类型, 生态脆弱, 土地利用转型及其侵蚀环境效应非常明显, 而且在我国西南山地具有独特的表现。该地区在过去, 尤其依托国家973项目“纵

向岭谷区生态系统变化及西南跨境安全”, 开展了大量地理学、生态学研究, 但是仍然没有很好回答土壤侵蚀对土地利用的响应关系这一重要的科学问题。本研究以黑惠江、龙川江、盘龙河三个中尺度流域为例, 通过分析三者坡面土壤侵蚀和河流悬移质含量的变化及其对土地利用的响应关系, 探讨云南山地土地利用对土壤侵蚀的影响, 或土地利用的侵蚀环境效应, 为探讨高原山地环境下的LUCC及其侵蚀环境效应提供研究资料。

1 研究方法

1.1 典型区域的选择

金沙江流域、红河流域和澜沧江流域是云南山地水土流失最为严重的三个流域。本研究选择黑惠江流域(属于澜沧江流域, 纵向岭谷区核心区)代表滇西高原河谷和滇西北高山峡谷的环境类型, 龙川江流域(金沙江流域, 纵向岭谷区比邻区)代表了滇

收稿日期(Received date): 2009-03-02; 改回日期(Accepted): 2009-05-13.

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划“973”计划专题(2003CB415105-6)和云南省自然科学基金(2006D0080M)资助。

[This research is supported by 973 program (2003CB415105-6) and Yunnan Science Foundation Project(2006D0080M).]

作者简介(Biography): 周跃(1958-), 男, 云南昆明人, 博士, 研究员, 主要从事地理学研究。[Zhou Yue(1958-), male, born in Kunming

Yunnan majoring in geography.] E-mail: zy@ynufe.edu.cn

中、滇东北中山宽谷侵蚀地貌的环境类型, 盘龙河流域(红河流域, 纵向岭谷区核心区)代表滇东南喀斯特山原环境类型(图 1), 三个研究区域的土地利用及侵蚀状况比较典型, 复杂多样, 较好反映了云南山地的情况。黑惠江流域选择黑惠县平坡乡以上段, 面积 $4\,353\text{ km}^2$; 盘龙河流域选择盘龙河干流龙潭寨水文站以上段, 面积 $3\,128\text{ km}^2$; 龙川江流域选择龙川江干流黄瓜园水文站以上段, 面积 $5\,560\text{ km}^2$ 。



图 1 研究区及其在纵向岭谷区中的位置

Fig 1 Sketch map of the studied areas

1.2 技术方法

采用把土地利用变化与土壤侵蚀变化相对应的对应分析方法, 以 1990~2001 年的 10 a 为研究年限, 集成“3S”技术和传统方法获得和监测土地利用、土壤侵蚀及其动态变化结果, 并分析土地利用与土壤侵蚀的关系, 技术方法参见前人工作^[4-10]。借助于 ArcView 3.3 的查询统计功能, 分别对研究区 1990 年和 2001 年两期土地利用现状图的不同地类进行统计分析, 得出研究区内各类土地利用类型面积总体变化情况。在获取土壤侵蚀强度等级分布图时, 依据国家《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96)所规定的水力侵蚀强度分级, 通过 ArcView 软件确定各斑块的土壤侵蚀强度等级并进行斑块间的同类合并。为分析动态变化, 在 ARC/INFO 中叠加两个时段的土地利用现状图层, 得到其在 10 a 中的转化数据, 再借鉴前人^[11]采用的地图代数法分别得到

土地利用的类型转移矩阵, 定量讨论它们中不同类型之间的相互转化情况。研究资料主要包括 1990 年 TM 的和 2001 年 ETM 的遥感卫星图像, 1:5 万 DEM 图, 研究区野外定位获取的 GPS 数据, 原有的土地利用现状图、土壤侵蚀图, 三个流域代表水文站的水文气象数据及相关资料。在模拟不同时段气候和人类活动变化对输沙量变化的影响时, 采用了小波神经网络耦合模型^[12]。

2 研究结果

2.1 土地利用和土壤侵蚀变化

在三个流域中, 黑惠江流域以耕地、林地和草地构成了土地利用的主要部分, 在 1990~2001 年的 10 a 中, 耕地和草地面积有减少, 而林地面积增加(图 2a), 林地面积在三个流域中最大。盘龙河流域以耕地、林地和未利用地占绝对优势, 未利用地比例高与流域处于滇东南喀斯特地貌区和石漠化土地难以利用有关, 10 a 中耕地和草地面积减少, 而林地面积增加了 8.94%, 但是林地面积在三个流域中最少。龙川江流域则以耕地、林地和草地为主, 10 a 中耕地增加了 7.90%, 林地减少了 24.07%, 草地增加 65.74%, 与其他两个流域的特点不同, 但是流域内林地面积高于盘龙河而低于黑惠江流域。

在研究时段内, 三个流域的土壤侵蚀有明显变化, 其中黑惠江流域和龙川江流域最为明显(图 2b)。黑惠江流域, 微度侵蚀面积呈增加的趋势, 增幅为 17.92%, 轻度侵蚀面积减少了 15.3%, 剧烈侵蚀面积增加 11.43%。龙川江流域微度侵蚀面积减少 35.17%, 轻度侵蚀面积龙川江流域减少 24.49%, 强度侵蚀面积增加 25.69%, 极强度侵蚀面积增加 109.41% (见图 2b)。总体来看, 黑惠江和盘龙河流域微度侵蚀面积的比例较高, 且呈增加的趋势, 而龙川江流域比例小, 且呈减少的趋势。轻度以上的侵蚀面积, 10 a 中黑惠江和盘龙河流域呈现减少的趋势, 而龙川江流域则呈现出增加的趋势。由此可见, 在 1990~2001 年的 10 a 中, 黑惠江和盘龙河流域内土壤侵蚀状况在改善, 而龙川江流域土壤侵蚀则在恶化。

2.2 土壤侵蚀强度指数对土地利用类型转化的对应关系

分析土壤侵蚀强度的转化量值(表格从略)发现, 研究地区 10 a 中微度、轻度和中度侵蚀之间的

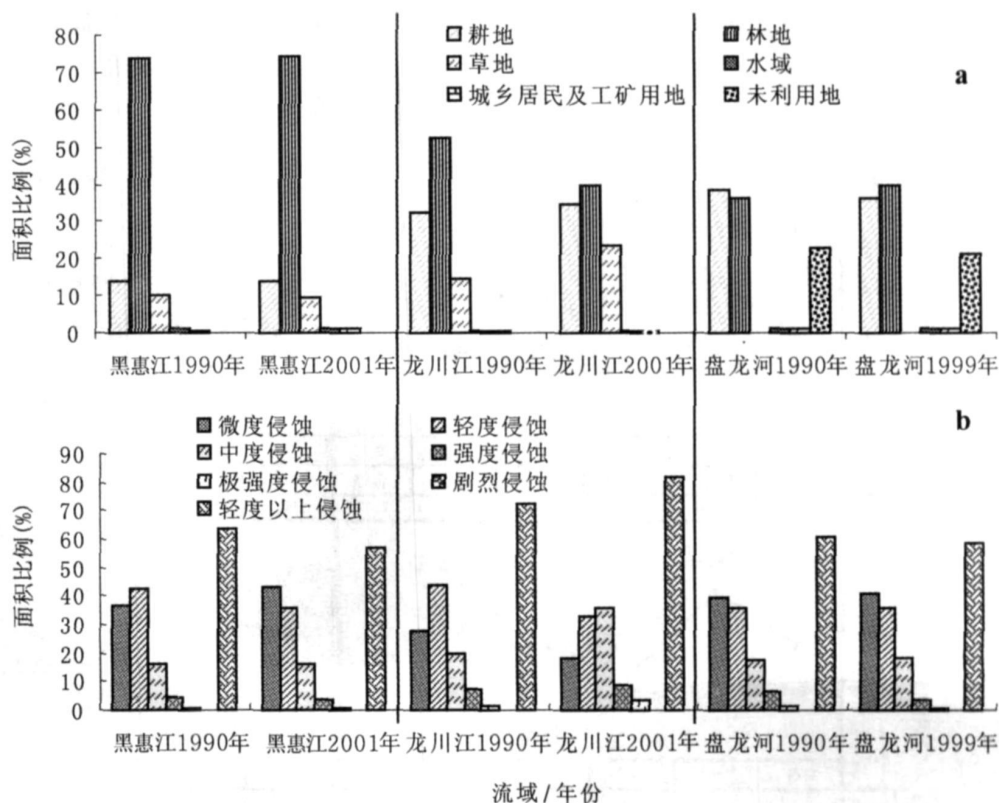


图 2 三个流域土地利用类型 (a) 和土壤侵蚀面积 (b) 变化情况

Fig 2 The change conditions of land use type (a) and soil erosion area (b) in the three basins

转化以及轻度、强度侵蚀之间的转化 (共 8 种类型), 为本区主要的侵蚀强度转化类型, 各面积均大于 10 km^2 。为了能定量说明与各土地利用类型对应的土壤侵蚀的综合程度, 借鉴前人的经验^[13]引入了土壤侵蚀强度指数概念和计算方法, 得到各土地利用类型变化所对应的侵蚀强度指数变化关系 (图 3)。考虑到耕地、林地、草地转化更为突出并对土壤侵蚀影响更大, 本文重点分析了三者的情况。

黑惠江流域, 在耕地变化区, 较高的土壤侵蚀强度指数降幅出现在耕地向林地、草地的转换中 (图 3 中 $1 \rightarrow 2$ $1 \rightarrow 3$), 土壤侵蚀强度指数分别从 1990 年的 325.67、304.67、203.70 减小到 2001 年的 178.62、200.69。在林地变化区, 侵蚀强度指数增加发生在林地向变耕地和草地转化 ($2 \rightarrow 1$ $2 \rightarrow 3$) 的区域, 尤其以 $2 \rightarrow 1$ 的转化最为明显 (图 3)。在草地变化区, 草地向耕地的转化 ($3 \rightarrow 1$) 对应了侵蚀强度指数明显增加, 从 208.47 增加到 295.75。

盘龙河流域的耕地变化区, 土壤侵蚀强度指数降低的区域主要发生在 $1 \rightarrow 2$ $1 \rightarrow 3$ 的转换过程中 (图 3), 强度指数分别从 1990 年的 261.40、134.89 减小到 1999 年的 195.21、100.00 而耕地的内部转

化 ($1 \rightarrow 1$) 使土壤侵蚀强度指数从 177.43 升高到 180.19。在林地变化区, 侵蚀强度指数变化显著的是从 $2 \rightarrow 1$ $2 \rightarrow 3$ 的区域 (图 3), 前者的侵蚀强度指数极度增加, 后者的则明显减小。另外, 林地的内部转化 ($2 \rightarrow 2$) 使侵蚀强度指数略有升高。

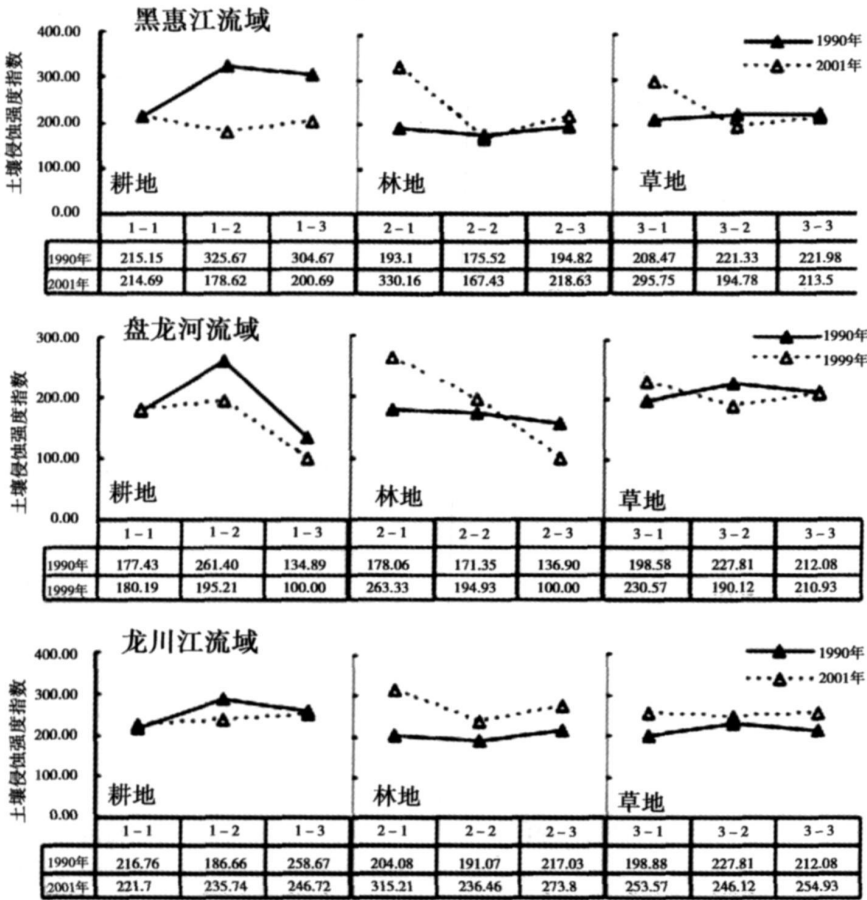
龙川江流域, 耕地变化区在 $1 \rightarrow 2$ 的转换中土壤侵蚀强度指数降低, 分别从 1990 年的 286.66 减小到 2001 年的 235.74 (图 3)。在林地变化区, 导致侵蚀强度指数显著升高的是 $2 \rightarrow 1$ $2 \rightarrow 2$ 和 $2 \rightarrow 3$ 强度指数分别从 204.08、191.07、217.03 增加到 315.21、236.46、273.50 表明林地向耕地、草地及其内部的转化利于侵蚀的增加。林地的内部转化 ($2 \rightarrow 2$) 同样使侵蚀强度指数升高。

2.3 河流输沙量对土地利用方式变化的对应关系

河流输沙量是土壤侵蚀的一种形式, 坡面侵蚀土壤汇入河流是其重要来源。1990 年以来, 三个流域的年输沙量呈现出不同的变化趋势 (图 4)。其中, 黑惠江和盘龙河流域则呈现出减少的趋势, 而龙川江流域为增加趋势, 而且增加十分明显。在黑惠江和盘龙河流域的减少趋势中, 黑惠江流域的线性斜率更大, 意味着年输沙量减少比较显著。

影响悬移质输移过程变化的因素有地质地貌、土壤植被、气候及人类活动等, 这里在考虑气候变化影响的同时, 主要分析人类活动 (主要是土地利用方式) 对河流悬沙的影响。根据输沙 - 径流双累积

曲线法并采用小波神经网络模型研究^[12 143], 得出三个流域在研究时段内输沙量变化趋势及其与气候变化、人类活动的对应 (表 1)。



(表中 1、2、3 依次分别代表耕地、林地、草地; → 代表转化方向)

图 3 耕地、林地、草地三个变化区土壤侵蚀强度指数变化

Fig. 3 Chart of erosion-extensity index fluctuation in agrarian land, forestland, grassland and water area

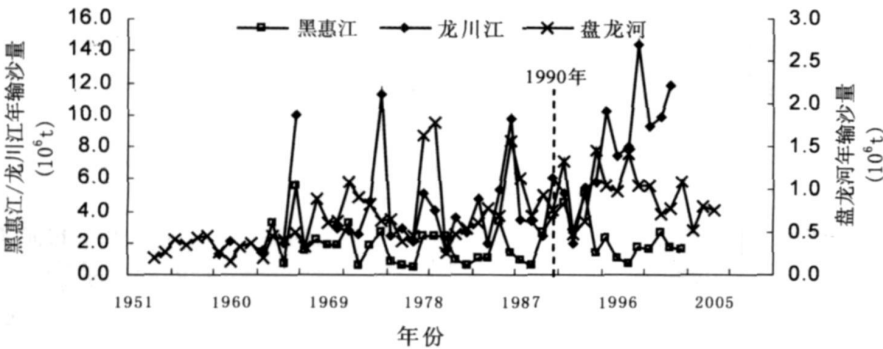


图 4 三个流域历年输沙量变化

Fig. 4 Changes of suspended sediment in the three drainage areas

表 1 三个流域不同时段泥沙变化及其对气候和人类活动变化的响应

Table 1 Response of suspended sediment in the three drainage areas to climate and human activities in different times

流域	数据样本时段		年输沙量 (10 ⁶ t)		气候变化	人类活动变化
	对比时段	分析时段	对比时段	分析时段	贡献率 (%)	贡献率 (%)
黑惠江	1989~1993	1990~2002	3.75	1.63	5.71	94.29
盘龙河	1978~1989	1990~1999	0.93	0.87	8.23	91.77
龙川江	1960~1989	1990~2001	4.07	9.29	33.5	66.5

可以发现,与前面的结果一致(图 4),黑惠江和盘龙河流域的输沙量减少(表 1),人类对其的贡献分别达到 94.29% 和 91.77%,而龙川江流域悬沙输移明显增加,人类对其的贡献也达到 66.50%。人类贡献主要通过土地利用方式和各种建设项目实现,而土地利用变化对输沙量的影响主要是通过对土壤侵蚀的影响而作用于输沙量的变化。黑惠江和盘龙河流域的悬沙输移量减少首先是林地面积大幅度提高(图 2a),其次是耕地由于部分转化为了林地或建设用地后逐步减少,最终在流域内土壤侵蚀状况在改善(图 2b),土壤侵蚀的减弱导致了输沙量的降低。在龙川江流域,林地面积减少,耕地面积增加,土壤侵蚀加重(图 2a 2b),再加上区内公路建设的缘故,必然引起了输沙量的增加(表 1)。

3 讨论与结论

通过跟踪三个流域给定区域土地利用类型转化与发生的土壤侵蚀强度变化,本研究对该类型转化和强度变化进行对应分析,定量揭示了黑惠江、龙川江、盘龙河三个流域土地利用和土壤侵蚀变化的对应关系。我们认为,这种对应关系实际上就是土地利用和土壤侵蚀的因果联系,在给定的区域土地利用类型的转化导致了该区土壤侵蚀强度变化,或者称为它的侵蚀环境效应。

综合前述结果可以发现,研究区内耕地向林地、草地的转化,均使侵蚀强度指数显著降低;林地向耕地和草地的转化,均导致侵蚀强度指数显著增加;草地向耕地的转化同样促进侵蚀的增强;林地、耕地、草地的内部转化对土壤侵蚀强度影响不大。研究还发现,黑惠江流域和盘龙河流域林地面积提高和耕地面积下降,有利于土壤侵蚀控制作用和侵蚀强度缓解,年输沙量呈现减少趋势,证明这两个流域土地利用更趋于合理;龙川江流域则不同,土地利用的变化加剧了土壤侵蚀程度,年输沙量还呈现出增加的

趋势,土地利用方式的合理性趋于降低。研究还表明,三个流域土地利用在坡面土壤侵蚀和河流输沙量两方面的研究,结果符合土地利用与土壤侵蚀关系的一般规律,而且表现强于地势现对平缓的地区^[4,6]。本研究以三个流域为例探讨了 1990 年之后 10 a 中云南纵向岭谷区土地利用的侵蚀环境效应,该内容近年来的变化规律即将另文发表。

参考文献 (References)

[1] Yan Li Research on land-use and land-cover in the Shiyanghe River Valley supported by RS- GIS- GPS technology[J]. *Geology and Resources* 2003 12(3): 188~192 焉莉. 基于 3S 技术的西部石羊河流域土地利用/土地覆盖变化研究[J]. *地质资源*, 2003 12(3): 188~192

[2] Yang Fengting Liu Jiyuan Zhuang *at al* The preliminarily study on the ecological environment effects of land-use change in red earth hilly Area in southeast China[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 43~55 [杨风亭,刘纪远,庄大方,等. 中国东南红壤丘陵区土地利用变化的生态环境效应研究进展[J]. *地理科学进展*, 2004 23(5): 43~55]

[3] Wu Xiquan Cai Yunlong Advances of researches on relationship between LUCC and soil erosion[J]. *Progress in Geography*, 2003 22(6): 576~584 [吴秀芹,蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 576~584]

[4] Zhou Yue Ding Wenrong Wang Jian Environmental erosion effect of land-use in A pine Gorges in West Yunnan: taking Heilui Branch River of Lancang River as an example[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology* 2009, 34(1): 87~91 [周跃,丁文荣,王剑. 滇西高山峡谷区土地利用的侵蚀环境效应——以澜沧江一级支流黑惠江流域为例[J]. *昆明理工大学学报(理工版)*, 2009, 34(1): 87~91]

[5] Li Huixia Liu Shuzheng He Xiaorong *at al* Analysis on relationship between land-use and erosion extent in Zhuning City[J]. *Water and Soil Conservation in China*, 2004 (3): 37~39 [李辉霞,刘淑珍,何晓蓉,等. 遂宁市中区土地利用类型变化与土壤侵蚀强度变化的关系分析[J]. *中国水土保持*, 2004 (3): 37~39]

[6] Wan Jun, Cai Yunlong, Zhang Huiyuan, *at al* Land-use/Land-cover change and soil erosion in pact of Karst Area in Guanling County, Guizhou Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004

- 24(5): 573~ 579 [万军,蔡运龙,张惠远,等. 贵州省关岭县土地利用/土地覆被变化及土壤侵蚀效应研究[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 573~ 579]
- [7] Fu Suhua, Duan Shuhua, Li Yonggui *et al*. Effect of land-use to soil erosion in Beijing Mountain Region [J]. *Advances in Natural Science*, 2002, 12(1): 108~ 112 [符素华, 段淑怀, 李永贵, 等. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 自然科学通报, 2002, 12(1): 108~ 112]
- [8] He Daning, Wu Shaohong, Peng Hua *et al*. A study of ecosystem changes in Longitudinal Range-Gorge Region and transboundary eco-security in Southwest China [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 338~ 344 [何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 338~ 344]
- [9] Fan Yuejiao. The changes of land-use degree in the Three Gorges' Project Area based on the integrative techniques of remote sensing and GIS [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(5): 599~ 603 [范月娇. 基于遥感和GIS一体化技术的三峡库区土地利用变化研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 599~ 603]
- [10] Huang Wenyi, Chen Gang, Hu Cheng. Real time regional soil erosion evaluation based on RS technique: case study in Huashanxi Watershed, Fujian Province [J]. *Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2003, 14(2): 116~ 118 [黄文义, 陈刚, 胡成. RS技术在实时区域土壤侵蚀评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(2): 116~ 118]
- [11] He Chuenyang, Shi Peijun, Chen Jing *et al*. Research on changes of land-use/land-cover in Beijing Region [J]. *Geography Research*, 2001, 20(6): 679~ 687. [何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区土地利用和覆被变化研究[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 679~ 687]
- [12] Wang Wensheng, Ding Jin, Li Yueqing. Hydrological Wavelet Analysis [M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005 [王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005]
- [13] Wang Siyuan, Wang Guangqian, Chen Zhixiang. Relationship between land-use and soil erosion in Yellow River Basin [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(1): 32~ 37 [王思远, 王光谦, 陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32~ 37]
- [14] Xu Jiongxin. Response of Relief of River System in China to Human Activities [M]. Beijing: Science Press, 2007 [许炯心. 中国江河地貌系统对人类活动的响应[M]. 北京: 科学出版社, 2007]

Erosion-environmental Effect of Land-use in Alpine Gorges in West Yunnan Taking Three Drainage Areas as Example

ZHOU Yue^{1, 2}, DING Wenrong^{2, 3}, ZEN Heping², WANG Jian^{3, 4}

(1 Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China;

2 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

3 Yunnan Normal University, Kunming 650093, China; 4 Changzhou Normal University, Changzhou 653100, China)

Abstract Land use changes the pattern and extent of soil erosion directly, and it has outstanding erosion-environmental effect. This study, taking three drainage areas (Hehui River, Longchuanjiang River, Panbinhe River) as example, probes into the effect of land use on soil erosion in the Longitudinal Range-Gorge Region in the west Yunnan. The results show that an internal and mutual transformation of land-use types cause striking changes in soil erosion extents. The transition of infield to woodland and grassland mediates erosion intensity, and the one from forestland to infield and grassland aggravate erosion. In addition, land-use practices, including mainly human activities, impacts the content of suspended sediment. In the places with an increasement of forest area and a reducement of soil erosion, a decreasing of suspended sediment concentration can be found. And a contrary result can be seen in poor forested and eroded areas.

Key words Longitudinal Range-Gorge Region; land use; soil erosion; erosion-environmental effect