

典型流域土壤侵蚀演变的高程、坡度空间差异比较

李睿康, 李阳兵, 文雯, 周亚琳

(重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331)

摘要: 三峡库区腹地作为生态环境脆弱和土壤侵蚀敏感地区,其土壤侵蚀研究对库区生态建设具有重要意义。选取大宁河和梅溪河流域,借助GIS和RS技术,以1988,2000,2010,2015年遥感影像为数据源,结合实地调查,提取土壤侵蚀数据,通过土壤侵蚀强度综合指数、景观格局指数等研究方法,分析其不同高程、坡度带土壤侵蚀演变空间差异,探究土壤侵蚀防控的措施。结果表明:(1)从土壤侵蚀严重程度来看,2个流域最严重土壤侵蚀带及其演变趋势均具有较大的差异性。大宁河流域1 000~1 200 m范围内的25°~35°坡度带最为严重,梅溪河流域则以800~1 000 m范围内的25°~35°坡度带最为严重;(2)从土壤侵蚀演变程度来看,两流域土壤侵蚀演变程度快慢存在一定的差异性。大宁河流域以>2 000 m高程带和>35°坡度带演变最明显,<200 m和<5°坡度带最不明显;梅溪河流域则以1 000~1 200 m高程带和25°~35°坡度带演变速度最快,<200 m和<5°坡度带最不明显;(3)从土壤侵蚀景观格局演变特征来看,在800~1 200 m高程带和25°~35°坡度带,大宁河流域土壤侵蚀剧烈程度可能性大于梅溪河流域。以上研究结果,为后续对两流域800~1 200 m高程带不同坡度、25°~35°坡度带不同高程的土壤侵蚀空间分布规律以及主控自然因子与土壤侵蚀的相互关系等科学问题的研究奠定了基础。

关键词: 土壤侵蚀;典型流域;空间差异;三峡库区腹地

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0099-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.016

Comparative Study on Spatial Difference of Elevation and Slope in Soil Erosion Evolution in Typical Watershed

LI Ruikang, LI Yangbing, WEN Wen, ZHOU Yalin

(School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331)

Abstract: As an area with fragile ecological environment and sensitive soil erosion, the study about soil erosion on the Three Gorges Reservoir Area is of great significance to its ecological construction. In this paper, Daning River Basin and Meixi River Basin were selected as the study areas. Based on the Remote Sensing images in the year of 1988, 2000, 2010 and 2015, and by using GIS and RS technique combined with field survey, the data about soil erosion were extracted and the spatial variability of soil erosion evolution in different elevations and slope belts were analyzed through the comprehensive index of soil erosion intensity and landscape pattern index. Finally, based on the natural and socio-economic analysis and the reasons of the spatial differences of the basin, this paper explores the measures for soil erosion prevention and control. The results showed that (1) the most serious soil erosion zone and its evolution trend in the two river basins were different, from the point of view in the severity of soil erosion. The most serious erosion zones of Daning River Basin were in the elevation from 1 000m to 1 200 m and in the slope from 25° to 35°, however the most serious erosion about the Meixi River Basin occurred in the elevations from 800 m to 1 000 m and in the slope of 25° to 35°; (2) the evolution of soil erosion were different in the two river basins. The soil evolution of Daning River Basin in >2 000 m elevation and >35° slope were the most serious, but not obvious in <200 m and 0°~5° degrees; (3) from the soil erosion landscape pattern evolution, in 800 to 1 200 m and 25° to 35° elevation slope belt, the possibility of soil erosion intensity in Daning River Basin was greater than that in Meixi River Basin. All above research results laid the foundation of the following up researches about science problem, which not only included spatial distribution of soil erosion in the height zone of 800~1 200 m with

收稿日期: 2017-05-04

资助项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyjBX0128); 重庆师范大学研究生科研创新项目(YKC16007); 重庆市研究生科研创新项目(CYS17177)

第一作者: 李睿康(1992—),男,山西长治人,硕士研究生,主要从事水资源与水环境研究。E-mail: liruikang0355@foxmail.com

通信作者: 李阳兵(1968—),男,重庆潼南人,博士,教授,主要从事景观生态学研究。E-mail: li-yabin@sohu.com

different slope and in the slope of 25° to 35° with different elevation, but also the relationship between the main natural factors and soil erosion.

Keywords: soil erosion; typical watershed; spatial differentia; Three Gorges Reservoir Abdominal Area

土壤侵蚀的空间分布因时因地而异。一般而言,在空间上,土壤侵蚀程度随着高程和坡度的增加呈现倒“U”形的分布规律^[1];在时间上,受人类活动及自然条件的影响,同一地区在不同时间范围内,土壤侵蚀演变存在空间差异性。杨存建等^[2]以中国为试验区,通过土壤侵蚀综合指数的运用,发现我国水蚀面积占比及其强度随着高程的增加先增后减,在海拔 1 000~3 500 m 处达最大;程先富等^[3]借助 GIS 空间分析工具研究 2002 年安徽省土壤侵蚀空间分布与地形的关系,认为土壤侵蚀主要发生在 200~500 m 高程带和 15° ~ 25° 坡度带,且以此为中心向上、向下呈现下降趋势;喻攀^[4]将 2013 年开江县的土壤侵蚀与高程、坡度叠加后发现,400~600 m 高程带和 15° ~ 25° 坡度带土壤侵蚀最为严重;方广玲等^[5]以 2010 年拉萨河流域土壤侵蚀为数据源,借助 ArcGIS 栅格计算器得到土壤侵蚀强度空间分布,通过研究发现,土壤侵蚀主要分布于 15° ~ 35° 坡度带;姚志宏等^[6]基于 USLE 模型对孤山川流域土壤侵蚀及其地形因子进行相关分析后发现 1985—2006 年间土壤侵蚀分布与地形的垂直对应关系显著,中度以上的土壤侵蚀主要分布于海拔 1 070~1 300 m 处 18° ~ 35° 的陡坡地。不难发现,不论是国家、省市及县域等行政尺度还是流域等自然区划方面,土壤侵蚀随着地形的起伏呈现以某处为中心,向上向下递减的规律。不足的是,现有的研究均探究某一区域土壤侵蚀与地形的相关关系,缺少典型地形上土壤侵蚀长时间尺度演变及其区域比较研究。

三峡库区腹地(渝东北段)作为重庆市生态发展涵养地带和全国重点功能生态区,属生境脆弱带^[7]和生态敏感区^[8-10]。多样的地貌类型和复杂的地质构造,使得该地区成为我国土壤侵蚀的集中分布区^[11]。目前有关三峡库区腹地土壤侵蚀的研究内容主要集

中于定量评估土壤侵蚀量及侵蚀状况、分析土壤侵蚀空间分布格局、景观破碎度与土壤侵蚀的关系以及流域类型与土壤侵蚀的关系等方面,研究方法包括分形理论^[12]、土壤侵蚀强度指数^[13]、景观破碎度指数^[14]、土壤侵蚀综合指数以及修正 RUSLE 模型^[15]等方面。以上研究虽综合反映了区域土壤侵蚀的特征状况,但三峡库区(尤其是库区腹地)在地形地貌等自然和社会经济背景方面存在明显的空间差异。因此,深入研究具有不同自然和社会经济背景的典型流域土壤侵蚀演变的同一性和异质性,具有重要意义。本文选择以喀斯特为主的大宁河流域和喀斯特—非喀斯特组合的梅溪河流域为研究区,以遥感影像和野外调查为数据源,分析两流域土壤侵蚀强度在不同高程和坡度空间分布的差异性以及差异产生的原因,查明土壤侵蚀最为严重的高程坡度带,为区域土壤侵蚀治理提供合理性建议。

1 研究区概况

研究区位于渝东北生态涵养发展区,属于长江北岸一级支流流经区域(图 1)。两流域虽紧紧相邻,但自然背景条件差异性较大。其中,大宁河流域为喀斯特流域,梅溪河流域为喀斯特—非喀斯特组合流域。流经区域属传统农耕区,陡坡垦殖耕种现象严重,加之地处大巴山褶皱带,为南大巴山中山区,较大的地势高差和强降水使得该地区水土流失严重,成为土壤侵蚀研究的首选地。从社会经济背景来看,受地形影响,梅溪河流域人口较多,农业活动发达,大宁河流域人类活动较少。近年来,受耕地功能转型影响,大宁河流域着力于打造小三峡景区,梅溪河流域凭借白帝城,打造夔州柑橘生态经济园,两流域都致力于发展生态旅游经济。因此,本研究所选择的区域具有典型性和相似性。

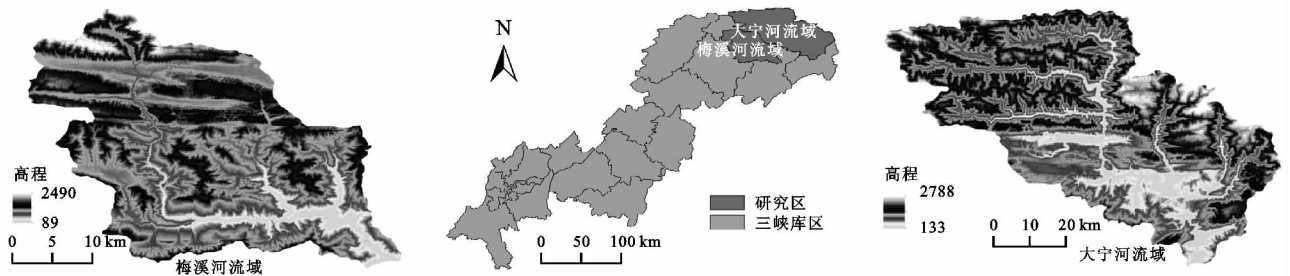


图 1 研究区范围

大宁河位于 $31^{\circ}03'54''$ — $31^{\circ}44'01''$ N, $109^{\circ}01'22''$ — $110^{\circ}09'05''$ E, 发源于大巴山南麓巫溪县新田,地形东西北高,中南部低,自北向南流至巫山县汇入长江,全长 142.7 km,流域面积 4 200 km²,流经区域为喀斯特地貌发育区。古生界、中生界地层均有发育,其中

中生界三叠系沿背斜轴环带状分布广泛,面积达 70% 以上,位于大巴山褶皱带和川鄂湘黔褶皱带结合部,各种岩石均有分布,但主要为石灰岩。在行政区域上包括巫山县城以及巫山县的巫峡镇、龙井乡和两坪乡等 13 个乡镇;巫山县城以及巫溪县的花台乡、通

城乡和白鹿镇等 24 个乡镇。

梅溪河位于 31°02′39″—31°32′43″ N,108°56′22″—109°33′38″ E,发源于巫溪县,自北向南由奉节老城向东注入长江,全长 112.8 km,流域面积 1 928 km²。流经区域属大巴山弧形褶皱带,地层以中生界的三叠系和侏罗系中统为主,分别占流域总面积的 32.68%和 30.48%,岩性以石灰岩和砂岩为主。所辖区包括奉节县城以及奉节县的康乐镇、石岗乡和竹园镇等 8 个乡镇;巫溪县的朝阳洞乡、文峰镇和塘坊乡 3 个乡镇以及云阳县的桑坪镇和上坝乡、沙市镇的部分地区。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

研究资料主要包括遥感影像数据和自然环境背景数据。其中,遥感影像包括 Landsat TM 影像和中巴资源卫星影像,1988,2000,2010,2015 年影像信息如表 1 所示。自然环境背景数据如流域高程和坡度矢量数据是在 1:50 000 DEM 中提取所得。

表 1 研究区遥感影像数据

研究 区域	卫星 类型	条带号	行编号	日期 (年-月-日)	分辨率/ m
大宁河	Landsat1-3MSS	138	40	1988-05-18	30.0
流域、梅	Landsat4-5TM	128	40	2000-05-05	30.0
溪河流域	CBERS	128	40	2010-04-28	17.5
	Landsat8 OLI/TRLs	138	41	2015-05-08	30.0

在已有研究成果^[16-19]的基础上,结合实地勘察,借助 ENVI 5.0 和 ArcGIS 10.2 对原始数据进行波段融合、几何校正等数据预处理,获得研究区波段为 4、3、2 (RGB)的假彩色合成影像,并通过人机交互解译将流域的土壤侵蚀状况分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈 6 大类。与此同时,基于遥感影像的色调等特点将土地利用类型进行解译^[20-21],并于 2016 年 5 月和 7 月 2 次深入研究区进行实地验证,使得土壤侵蚀和土地利用数据精确到 85%以上(表 2)。

2.2 高程、坡度重分类

在 1:50 000 DEM 数据基础上,首先以 200 m 为间隔,将流域分为<200,200~400,400~600,600~800,800~1 000,1 000~1 200,1 200~1 400,1 400~1 600,1 600~1 800,1 800~2 000,>2 000 m 等 11 个高程带;其次利用 ArcGIS 的 Slope 空间分析功能,得到研究区坡度栅格图,并对坡度值进行重分类,划分为<5°,5°~8°,8°~15°,15°~20°,20°~25°,25°~35°,>35°共 7 个坡度带。

2.3 土壤侵蚀变化率的计算

土壤侵蚀变化率主要通过 1988 年与 2015 年不同高程、坡度带不同土壤侵蚀强度面积占比的差值所获得,其实质是土地利用覆被变化。计算公式为:

$$S=\left|\frac{S_{2015}-S_{1988}}{S_{总}}\right|\times 100\%$$

式中:S 为某高程、坡度带不同土壤侵蚀强度面积变化率(%);S₁₉₈₈和 S₂₀₁₅分别为流域 1988 年和 2015 年相对应高程、坡度带对应土壤侵蚀强度的总面积(km²);S_总为流域土壤侵蚀强度总面积(km²)。

表 2 两流域土壤侵蚀强度判读标准

侵蚀类型	判读标准
微度侵蚀	坡度≤5°,且植被覆盖度≥75%的林、灌、草地,水田、厂矿用地及道路、城镇
轻度侵蚀	部分水体、水田和旱地;沟壑密度低于 1 km/km ² ;植被覆盖度为 60%~75%,且坡度为 5°~25°的林地或草地;植被覆盖度为 45%~60%,且坡度为 5°~15°;植被覆盖度为 30%~45%且坡度为 5°~8°;坡度为 5°~8°的耕地
中度侵蚀	沟壑密度为 1~2 km/km ² ;植被覆盖度为 60%~75%且坡度大于 25°;植被覆盖度为 45%~60%且坡度为 15°~35°;植被覆盖度为 30%~45%,且坡度为 8°~15°;植被覆盖度低于 30%,且坡度低于 15°;坡度为 8°~15°的耕地
强烈侵蚀	沟壑密度为 2~3 km/km ² ;植被覆盖度为 45%~60%,且坡度大于 35°;植被覆盖度介于 30%~45%,且坡度为 25°~35°;植被覆盖度低于 30%,且坡度为 15°~25°;坡度为 15°~25°的耕地
极强烈侵蚀	沟壑密度为 3~5 km/km ² ;植被覆盖度为 30%~45%,且坡度大于 35°;植被覆盖度低于 30%且坡度为 25°~35°;坡度为 25°~35°的坡耕地
剧烈侵蚀	沟壑密度为 5~7 km/km ² ;植被覆盖度低于 30%,且坡度大于 35°;坡度大于 35°的耕地

2.4 土壤侵蚀强度指数

为更好地反映土壤侵蚀在高程、坡度上的差异性,本文采用土壤侵蚀强度综合指数(SEI)来表示^[22]。一般而言,SEI 越大,土壤侵蚀越剧烈,计算公式为:

$$SEI=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^mW_{ij}A_{ij}$$

式中:W_{ij}为 i 高程(坡度)第 j 级土壤侵蚀强度分级值;A_{ij}为 2 个流域高程(坡度)i 第 j 级土壤侵蚀强度面积占比,为便于研究,将土壤侵蚀分级值按土壤侵蚀强度由弱到强依次设置为 0,2,4,6,8,10。

2.5 景观格局指数法

一般而言,随着土壤侵蚀的变化,景观格局也会发生相应的变化。本研究选取斑块密度(PD)来反映特定高程、坡度带的土壤侵蚀演变格局特征,即为单位面积上土壤侵蚀景观斑块数量^[23],计算公式为:

$$PD=(n/A)\times 10000\times 100$$

式中:A 为整个景观或某一景观类型的面积(km²);n 为斑块数。

3 结果与分析

3.1 流域土壤侵蚀数量演变特征

3.1.1 不同高程土壤侵蚀特征 由图 2 可知,大宁河流域以 1 000~1 200 m 土壤侵蚀最为严重,该高程带土壤侵蚀面积占土壤侵蚀总面积的 13.14%;梅溪河流域以 800~1 000 m 高程带土壤侵蚀最为严重,占侵蚀总面积的 26.21%。在此基础上,本文重点分析大宁河流域 1 000~1 200 m 高程带和梅溪河流域 800~1 000 m 高程带的土壤侵蚀演变状况(图 3)。由图 3 可知,在大宁河流域 1 000~1 200 m 高

程带,始终以微度侵蚀为主,轻度侵蚀次之。具体的演变趋势为:1988—2000 年,微度侵蚀和轻度以上侵蚀向轻度侵蚀转变;2000—2015 年,轻度及其以上土壤侵蚀向微度侵蚀转变。在梅溪河流域 800~1 000 m 高程带,1988—2000 年,以轻度侵蚀为主,微度侵蚀次之,2010—2015 年,以微度侵蚀为主,轻度侵蚀次之。土壤侵蚀演变趋势为:1988—2000 年,微度侵蚀、强烈侵蚀和剧烈侵蚀向轻度侵蚀、中度侵蚀和极强烈侵蚀转变;2000—2015 年,中度及其以上土壤侵蚀向轻度及微度转变。

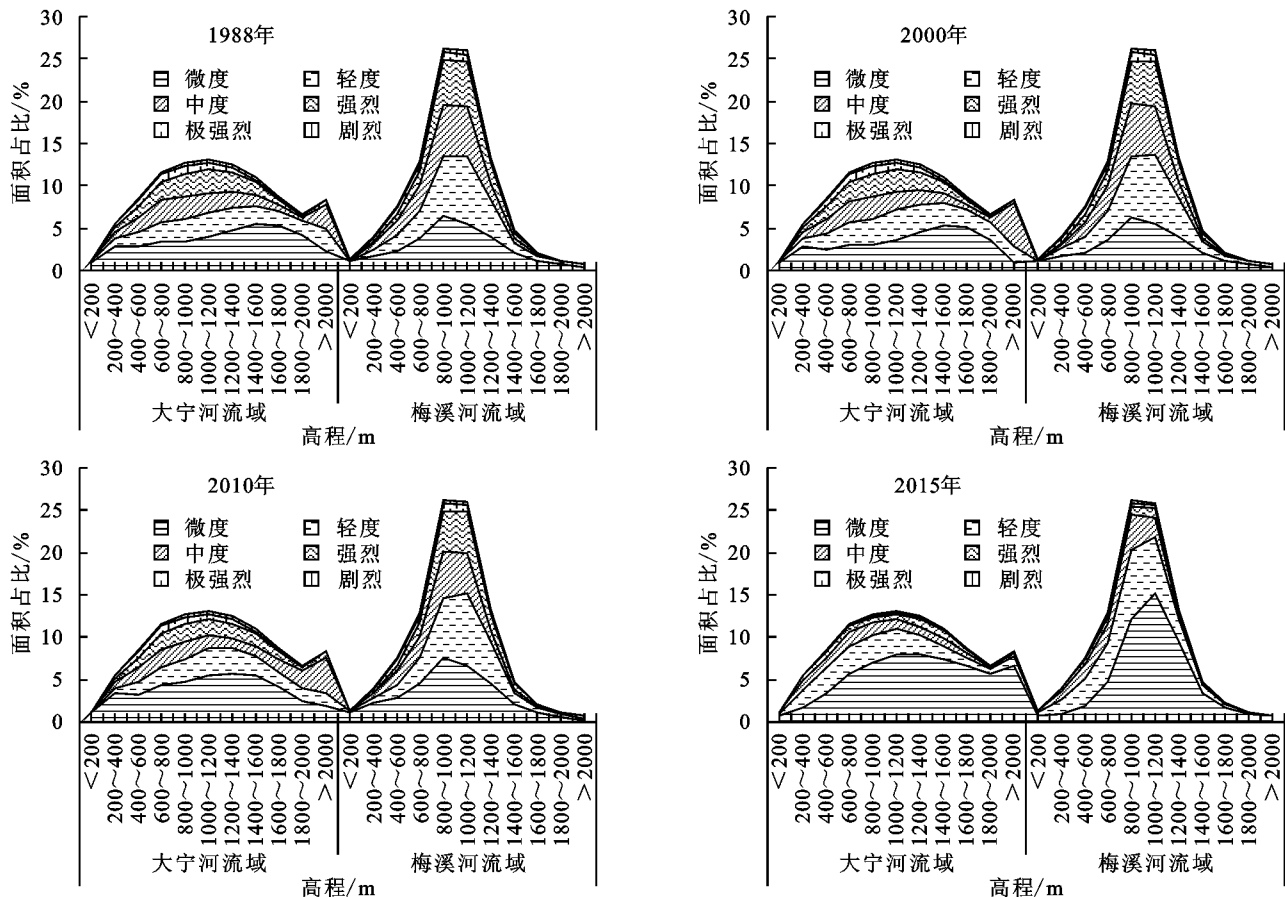


图 2 两流域 1988—2015 年不同高程土壤侵蚀面积百分比变化

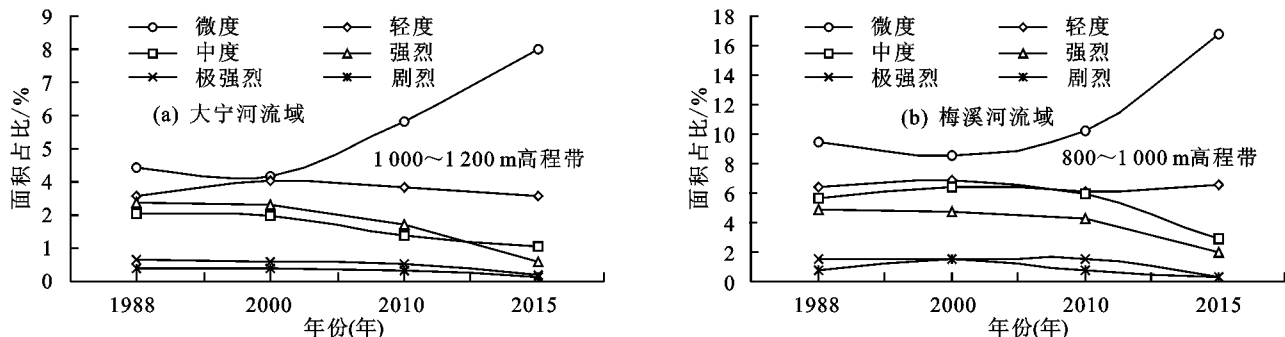


图 3 两流域特定高程带土壤侵蚀状况

3.1.2 不同坡度土壤侵蚀特征 由图 4 可知,大宁河流域和梅溪河流域均以 25°~35°坡度带土壤侵蚀最为严重,该坡度带土壤侵蚀面积占各自流域土壤侵蚀总面积的 28.87%和 29.76%。与此同时,本文将

两流域 25°~35°坡度带单独提取出来(图 5)分析该坡度带土壤侵蚀的演变趋势。由图 5 可知,该坡度带大宁河流域始终以微度侵蚀为主,梅溪河流域则表现为 1988 年以轻度侵蚀为主,1988 年以后以微度侵蚀

为主。大宁河流域 1988—2000 年,微度侵蚀、中度侵蚀、强烈以及极强烈侵蚀向微度侵蚀和剧烈侵蚀转变,2000—2015 年,轻度及其以上的土壤侵蚀向微度侵蚀转变;梅溪河流域 1988—2000 年,轻度、中度和

强烈侵蚀向微度、极强烈和剧烈侵蚀转变,2000—2010 年,微度侵蚀、中度侵蚀和极强烈侵蚀向轻度、强烈和剧烈侵蚀转变;2010—2015 年,轻度及其以上土壤侵蚀向微度侵蚀转变。

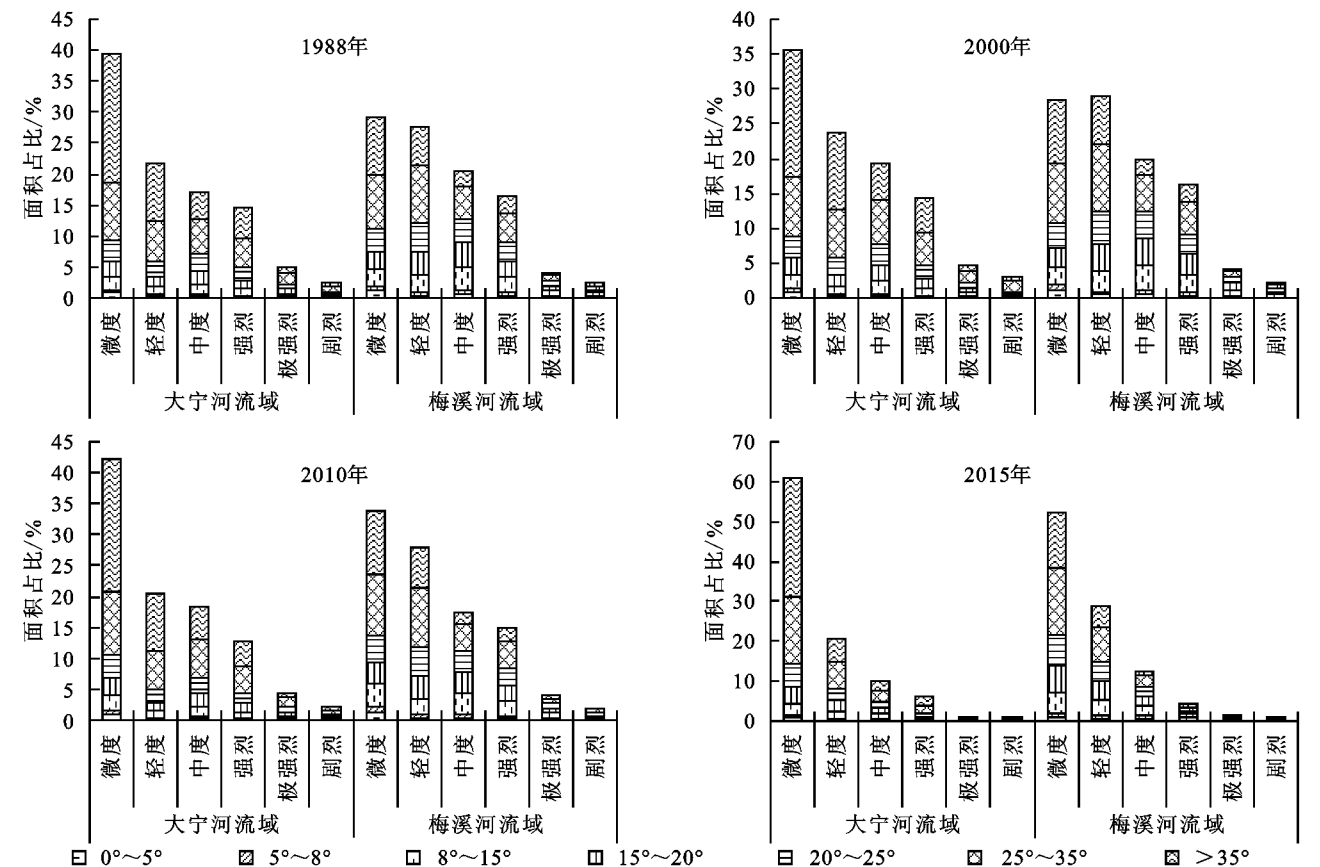


图 4 两流域 1988—2015 年不同坡度土壤侵蚀百分比变化

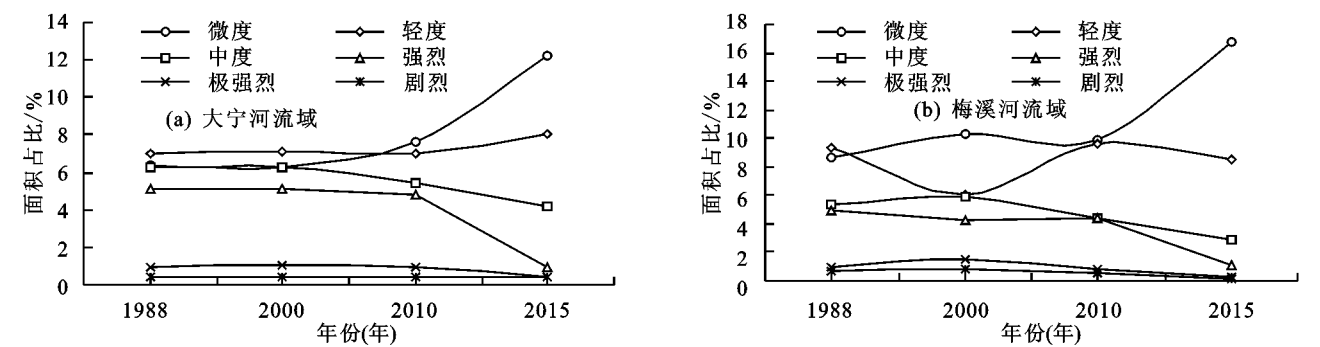


图 5 两流域 25°~35°坡度带土壤侵蚀状况

3.2 流域土壤侵蚀程度演变规律

前文重点分析了两流域土壤侵蚀分布的差异性,并找出土壤侵蚀最为严重的高程坡度带,以及在该范围内土壤侵蚀的演变趋势。并未从整体上分析两流域土壤侵蚀演变速度的差异性,故有必要就两流域土壤侵蚀演变程度进行单独研究。

3.2.1 不同高程土壤侵蚀演变速度 由图 6 可知,从土壤侵蚀演变程度来看,大宁河流域以>2 000 m 高程带演变最为明显,1 000~1 200 m 次之,<200, 400~600, 200~400 m 高程带土壤侵蚀演变不明显;梅溪河流域以 1 000~1 200 m 高程带演变最快,800~

1 000 m 次之,<200, 400~600,>2 000 m 高程带土壤侵蚀演变不明显。两流域不同高程带土壤演变程度存在差异的原因在于<600 m 高程带各占两流域总面积的 15.31%和 12.89%,面积比重较小,加之受库区水位抬升的影响,使得居住在该高程带的人民被迫迁往高海拔地区,故土壤侵蚀变化不明显。800~1 400 m 高程面积分别占大宁河和梅溪河流域总面积的 38.34%和 65.41%,为流域人类活动最为集中的地带,加之受三峡库区移民工程的影响,1988—2000 年许多林、灌、草地被迫垦殖为耕地。2010 年之后受库区退耕还林和渝东北生态涵养区发展的政策,

较多耕地又退耕为林、灌、草地,因此该高程范围内土

壤侵蚀演变最为突出。

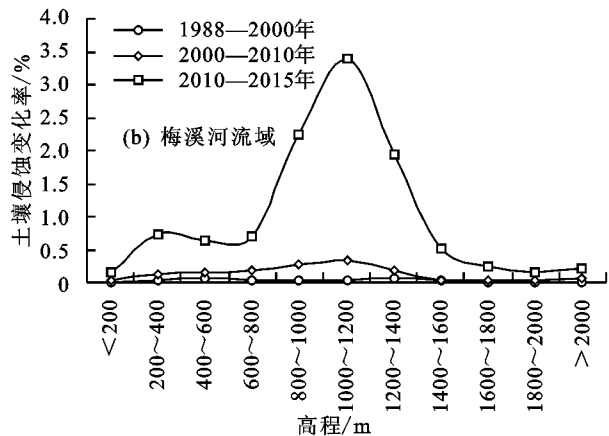
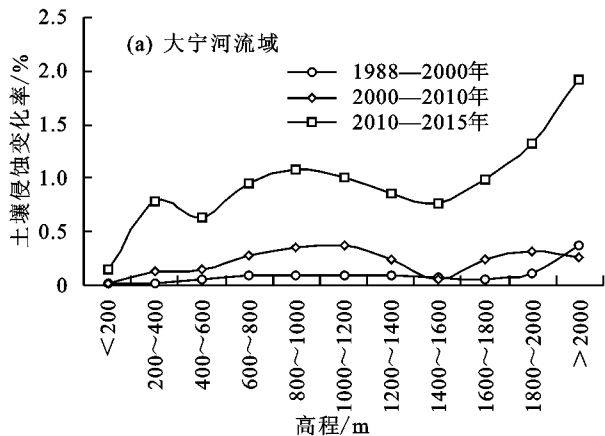


图 6 两流域 1988—2015 年不同高程土壤侵蚀变化状况

3.2.2 不同坡度土壤侵蚀演变速度 由图 7 可知,从土壤侵蚀演变程度来看,大宁河流域 $>35^\circ$ 坡度带上的土壤侵蚀演变最快, $15^\circ \sim 35^\circ$ 带土壤侵蚀演变相对较慢,而 $<5^\circ$, $5^\circ \sim 8^\circ$, $8^\circ \sim 15^\circ$ 坡度带上的土壤侵蚀演变并不明显;相反,梅溪河流域土壤侵蚀变化则以 $25^\circ \sim 35^\circ$ 坡度带最为明显, $>35^\circ$ 坡度带次之,仅 $<5^\circ$ 和 $5^\circ \sim 8^\circ$ 坡度带上的土壤侵蚀变化不明显。两流域

在不同坡度带上演变速度出现差异的原因在于 $0^\circ \sim 8^\circ$ 坡度带的面积分别占两流域总面积的 3.1% 和 5.06%,面积比重较小, 15° 及其以上的面积比重分别为 90.11% 和 81.83%。而随着坡度的增加,降雨径流产生的侵蚀动力增大,加之植被在陡坡地区立地困难,林草地覆盖度较低,故土壤侵蚀速度会随着坡度而增加^[24]。

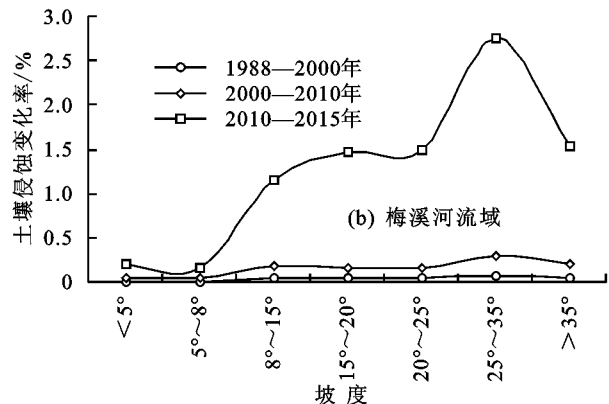
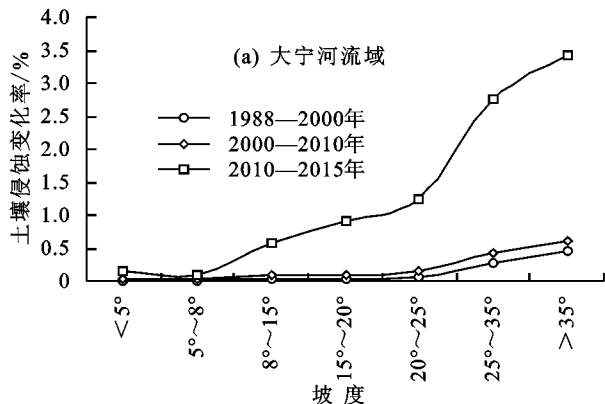


图 7 两流域 1988—2015 年不同坡度土壤侵蚀变化状况

3.3 流域土壤侵蚀格局演变特征

通过上面的研究发现,在数量上,两流域以 800~1 200 m 高程带和 $25^\circ \sim 35^\circ$ 坡度带土壤侵蚀量最多;在演变程度上,两流域以 1 000~1 200 m 和 25° 以上土壤侵蚀演变程度较快。因此借助 Fragstats 4.2 软件,选取斑块密度(PD)指标,重点分析两流域 800~1 000, 1 000~1 200 m 高程带和 $25^\circ \sim 35^\circ$ 和 $>35^\circ$ 坡度带土壤侵蚀格局演变特征(图 8)。

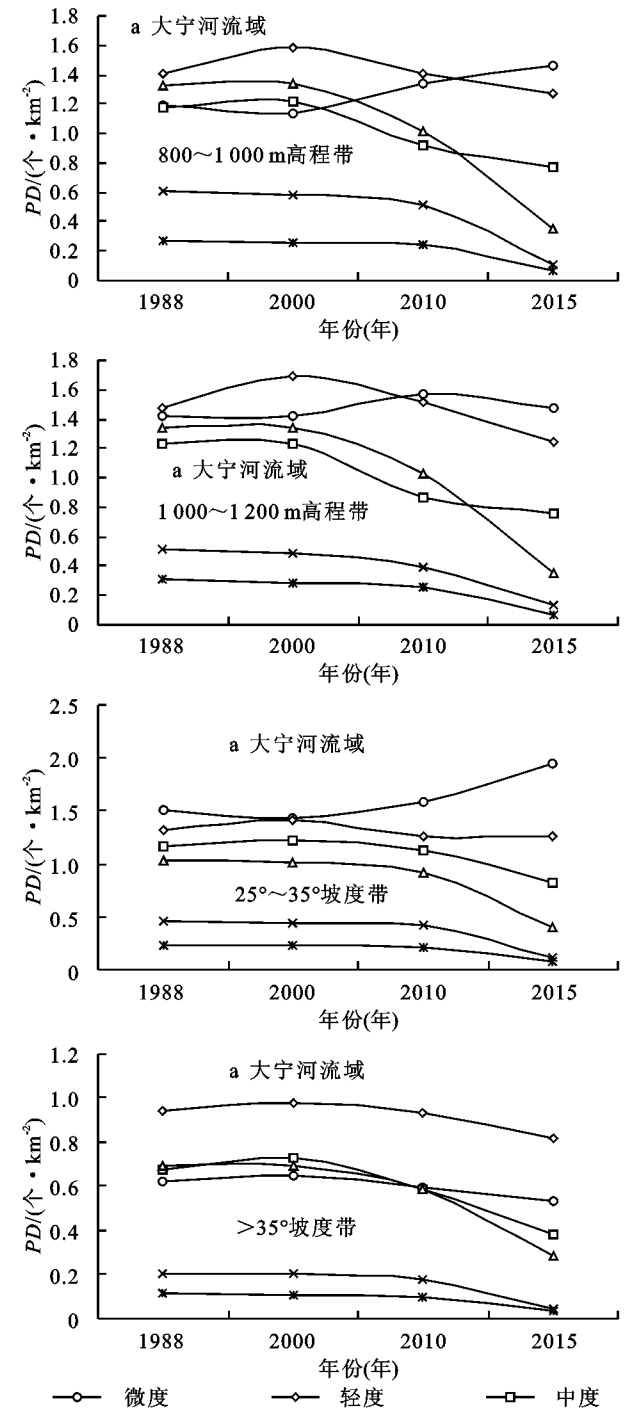
(1) 800~1 000 m 高程带:大宁河流域 1988—2010 年,以轻度侵蚀斑块密度最大,其余土壤侵蚀类型排序为强烈>中度>微度>极强烈>剧烈;2010—2015 年,微度侵蚀斑块密度持续增大,到 2015 年达最大值,并超过轻度侵蚀斑块密度,各土壤侵蚀斑块破碎度排序为微度>轻度>中度>强烈>极强烈>剧烈。从其演变来看,除微度侵蚀先减后增外,其余类型均表现为先增后减。梅溪河流域则始终以轻度

侵蚀最大,且呈现持续增大的趋势,其余土壤侵蚀大小排序为中度>微度>强烈>极强烈>剧烈。从各侵蚀演变来看,主要包括持续增长(如微度和轻度)和波动减少(中度及其以上侵蚀类型)两种趋势。

(2) 1 000~1 200 m 高程带:在研究时段内,大宁河流域各侵蚀类型均呈现波动下降的趋势,梅溪河流域除轻度侵蚀为波动上升,其余类型呈波动减少趋势。具体来看,1988—2000 年,大宁河流域各侵蚀类型斑块密度值由大到小排序为轻度>微度>强烈>中度>极强烈>剧烈,梅溪河流域表现为轻度>中度>强烈>微度>极强烈>剧烈。到 2015 年,大宁河流域各侵蚀类型值均呈现下降趋势,但以微度值最大,中度及其以上下降明显;而梅溪河流域则表现为轻度最大,中度次之。

(3) $25^\circ \sim 35^\circ$ 坡度带:大宁河流域 1988—2015 年,始终以微度最大,其余侵蚀类型按侵蚀强度依次

降低,且总体呈现轻微度增大,其余减小的变化趋势;梅溪河流域中度及其以上变化不大,与大宁河流域一致,主要表现为轻微度变化,1988—2010 年以轻度值最大,微度次之;2010 年之后,微度增大且逐渐超过轻度值。



(4)35°以上坡度带:大宁河流域始终以轻度最大,其余侵蚀类型值总体下降,以中度和强烈下降最为明显。梅溪河流域除中度和强烈侵蚀与 25°~35° 坡度带不同,其余类型变化均一致。在该坡度带,强烈侵蚀值高于中度侵蚀。

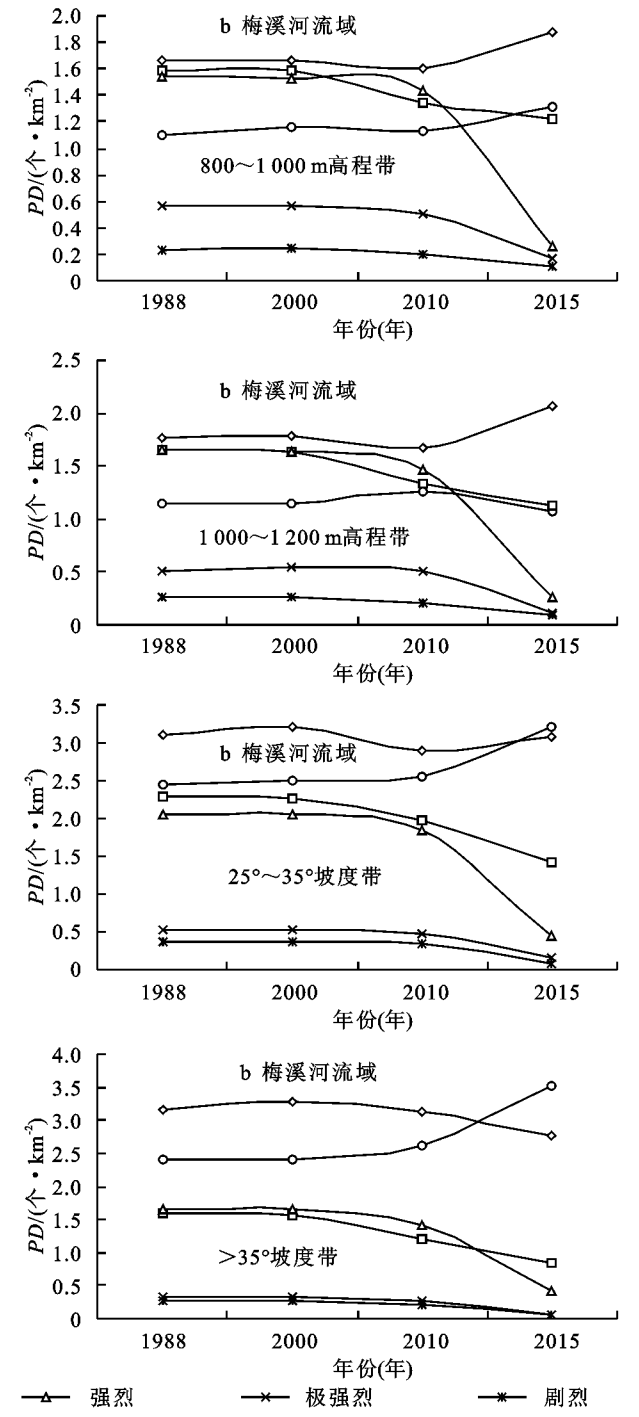


图 8 两流域 1988—2015 年 800~1 000 m、1 000~1 200 m、25°~35°、>35° 带 PD 变化

总体而言,低强度侵蚀景观的破碎度越大,其侵蚀加剧的可能性则越大。在 800~1 200 m 高程带,梅溪河流域始终以轻度侵蚀的 PD 值最大,大宁河流域则表现为轻度和微度的交替,即 2010 年以前以轻度侵蚀的 PD 值最大,2010 年之后以微度侵蚀的 PD 值最大。这说明,梅溪河流域景观破碎度在此高程范

围内相对稳定,大宁河流域土壤侵蚀加剧的可能性大于梅溪河流域。在 25°~35° 坡度带范围内,大宁河流域始终以微度侵蚀的 PD 值最大,梅溪河流域 PD 值由“轻度最大”向“微度最大”转变,说明在该坡度范围内,大宁河流域土壤侵蚀稳定性好于梅溪河流域,这与梅溪河流域人口较多,农业活动发达密不可分。

4 讨论

4.1 流域土壤侵蚀成因探析

研究表明,大宁河流域和梅溪河流域土壤侵蚀主要发生于 800~1 200 m 高程带和 25°~35°坡度带上,土壤侵蚀程度得到好转,尤其是 2010 年以来土壤侵蚀表现出由轻度及以上向微度转型的特点。这一分布规律的形成往往离不开区域的自然生产条件和社会经济环境。曾立雄等^[25]分析了不同降雨条件对三峡库区兰陵溪流域不同模式退耕还林的影响,并未考虑区域经济发展以及国家和地方政策对土壤侵蚀的影响;李月臣等^[26]从人口、经济发展、土地利用和农业发展等 4 个方面分析了三峡库区(重庆段)水土流失的社会经济驱动机制,并认为人口和农业发展是库区水土流失的主要驱动力。考虑到以上的种种情况,本文在分析高程、坡度、土地利用方式等自然方面的基础上,充分考虑库区移民搬迁工程、国家相关政策以及区域生态环境建设等社会经济对土壤侵蚀产生的影响。

通过比较发现,两流域上游为石灰岩出露,耕地主要分布在峰丛洼地、谷地,但峰丛坡面植被退化严重;流域中下游为砂岩、泥页岩分布,沟谷深切,地势起伏大,极易发生土壤侵蚀。具体看来,大宁河流域 800~1 400 m 范围内的 25°~35°坡度面积占整个流域 25°~35°坡度带的 51.13%(其中以 1 000~1 200 m 范围内占比最大,达 13.6%),且以石灰岩为主,而石灰岩坡地土一石间缺乏过渡层具有土壤易被侵蚀等特点;梅溪河流域 800~1 000 m 内的 25°~35°坡度面积占整个流域 25°~35°坡度带的 26.15%,且以砂岩和泥页岩为主,而该类岩石形成的土壤易被开垦为耕地,加之人类活动主要集中于该范围内。复杂的自然背景条件加之夏季多暴雨等季风气候特点使得两流域土壤侵蚀分布具有差异性。

从土地利用与土壤侵蚀关系来看,在研究时段内,两流域中度以上的侵蚀类型多以坡耕地和灌木为主,且坡耕地对土壤侵蚀贡献率最大,是土壤侵蚀治理的重点区域。而在大宁河流域 800~1 000 m、25°~35°高程坡度带和梅溪河流域 1 000~1 200 m、25°~35°高程坡度带人类活动较多,坡耕地分布广泛,聚落分布密集等使得该范围内的土壤侵蚀程度加剧,这也进一步印证了耕地面积的变化对流域土壤侵蚀强度影响最为明显^[27]。

国家政策和库区移民变化对土壤侵蚀也有重要的影响作用。2010 年,三峡库区重庆段 123 万的移民通过移民后靠的方式得到安置,使得迁入地的人口迅速增加,面对库区腹地人多地少、环境承载力加大的现状,在国家颁布《长江三峡工程建设移民条例》的基础上,重庆库区通过劳务输出、鼓励自主创业等渠道解决移民搬迁带来的经济环境压力,改变传统农业

生产方式,根据区域地形特征,发展经果林产业,在一定程度上缓解了土地的承载力,降低了土壤侵蚀的发生。另一方面,随着重庆市主体功能区的建设,研究区所在的渝东北地区被确定为生态涵养发展区,对 1 000 m 以上建立中山自然生态区,通过退耕还林以及生态移民实现生态的恢复,1 000 m 以下确立为低山及丘陵农业生态区,采取工程措施、生物措施以及农耕农艺措施对坡、耕地进行水土流失治理,大大缓解了土壤侵蚀的程度。

4.2 研究区土壤侵蚀分布演变对土壤侵蚀防控的启示

(1)从坡度带分析。研究区土壤侵蚀主要发生在 25°~35°和>35°坡度带,以微度和轻度侵蚀为主,且中度以上的侵蚀正向微度侵蚀和轻度侵蚀转变,是渝东北小流域水土流失防治和治理的重点坡度带。这 2 个坡度带主要分布坡耕地,考虑到投入成本和时间效率问题,25°~35°坡度带的坡耕地则更适合截留、挡土蓄水和植被覆盖率高的生物篱措施;>35°坡度带应退耕还林还草,为了带来经济效益,可考虑种植经济果林、药草等^[28],必要的时候要采取封山措施。

(2)从高程带分析。该区域 800~1 200 m 高程带为土壤侵蚀最严重的地带,以中度以下侵蚀为主,是土壤侵蚀治理的重点区域。考虑到该区域土地压力增加,人地矛盾突出,在满足基本粮食需求的基础上,一方面建议进行土地利用转型,如将坡耕地转变为果园和林地;或在开垦耕作的基础上采取一些诸如坡改梯的工程措施和生物措施^[29]。

(3)从流域上、下游分析。该区域上游为峰丛洼地,下游为深切沟谷^[30-31]。峰丛洼地为强水土流失区域,同时也是石漠化敏感地区。在治理过程中,适宜采取以种植水保植物的生物措施为主,辅之坡改梯田的工程措施,以便合理地利用耕地资源,提高土地承载力^[32]。下游深切沟谷以水力侵蚀为主,在治理中需要坚持可持续发展的生态、经济和社会效益原则,建设人工林、封山育林,在水土流失的治理过程中合理利用水土资源,保护生态环境^[24]。

(4)从土壤侵蚀强度分析。该区域中度以上的土壤侵蚀开始向微度、轻度转变,土壤侵蚀以轻度和微度侵蚀为主。对于轻微度土壤侵蚀,适宜封山育林,禁止砍伐森林、放牧和饲养牲畜等,促进植被的保护;中度侵蚀适宜在原有植被的基础上均匀种植乔灌木;强烈以上的侵蚀应将生物措施和工程措施结合起来。

5 结论

由于两流域地形、地貌以及岩性等差异的存在,加之人类活动的差异性,土壤侵蚀在空间分布上表现出一定的差异性。两流域的土壤侵蚀空间分布、演变及景观格局特征具有一定的差异性:

(1)从土壤侵蚀程度来看,大宁河流域 1 000~

1 200 m 内尽管以 $>35^\circ$ 坡度带面积占比最大,由于该坡度带以林地为主,土壤侵蚀以微度侵蚀(无明显水土流失)为主,故该范围内仍以 $25^\circ\sim 35^\circ$ 坡度带土壤侵蚀最为严重,梅溪河流域以 800~1 000 m 内的 $25^\circ\sim 35^\circ$ 坡度带最为严重。

(2)从土壤侵蚀演变程度来看,大宁河流域以 $>2\ 000$ m 高程带和 $>35^\circ$ 坡度带演变最明显, <200 m 和 $<5^\circ$ 坡度带最不明显;梅溪河流域则以 1 000~1 200 m 高程带和 $25^\circ\sim 35^\circ$ 坡度带演变速度最快, <200 m 和 $<5^\circ$ 坡度带最不明显。

(3)从土壤侵蚀景观格局特征来看,800~1 200 m 和 $25^\circ\sim 35^\circ$ 坡度带大宁河流域土壤侵蚀加剧的可能性较大。

本研究的不足之处在于,仅从高程、坡度 2 个方面对比分析了两流域土壤侵蚀空间分布及其土壤侵蚀格局演变,自然条件耦合条件下的土地类型与土壤侵蚀的相互关系需要在今后的研究中加强。

参考文献:

- [1] Liang G C, Xin Q, Yong S. Critical area identification of potential soil loss in a typical watershed of the Three Gorges Reservoir Region[J]. Water Resources Manage, 2011,25(13):3445-3463.
- [2] 杨存建,刘纪远,张增祥,等.不同高程带上的土壤侵蚀特征分析[J].水土保持通报,2001,21(4):15-18.
- [3] 赵先富,余芬.安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J].地理研究,2010,29(8):1461-1470.
- [4] 喻攀.基于 GIS 和 RS 的开江县土壤侵蚀评价[D].成都:四川农业大学,2015:38-40.
- [5] 方广玲,香宝,赵卫,等.基于 GIS 和 RUSLE 的拉萨河流域土壤侵蚀研究[J].水土保持学报,2015,29(3):6-12.
- [6] 姚志宏,杨勤科,武艳丽,等.孤山川流域近 30 年土壤侵蚀时空动态特征分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2014,39(8):974-980.
- [7] 李潇然,李阳兵,韩芳芳.基于土地利用的三峡库区生态屏障带生态风险评价[J].水土保持通报,2015,35(4):188-194.
- [8] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等.三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2009,29(2):788-796.
- [9] 刘春霞,李月臣,杨华.三峡库区(重庆段)石漠化敏感性评价及空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):291-297.
- [10] 凡非得,王克林,熊鹰,等.西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2011,31(21):6353-6362.
- [11] 肖洋,欧阳志云,徐卫华,等.基于 GIS 重庆土壤侵蚀及土壤保持分析[J].生态学报,2015,35(21):1-9.
- [12] 赵岩洁,李阳兵,冯永丽.三峡库区紫色岩小流域土壤侵蚀强度动态监测[J].资源科学,2012,34(6):1125-1133.
- [13] 李阳兵,邵景安,杨华,等.重庆市土壤侵蚀空间格局研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2007,24(4):12-15.
- [14] 汪涛,黄子杰,吴昌广,等.基于分形理论的三峡库区土壤侵蚀空间格局变化[J].中国水土保持科学,2011,9(2):47-51.
- [15] 范建容,刘飞,郭芬芬,等.基于遥感技术的三峡库区土壤侵蚀量评估及影响因子分析[J].山地学报,2011,29(3):306-311.
- [16] Zhou W Z. Software engineering and knowledge engineering: Theory and practice[M]. Berlin: Springer, 2012:227-234.
- [17] 聂勇,范建容,杨阿强.重庆市开县土壤侵蚀自动评价研究[J].水土保持研究,2007,14(3):109-111.
- [18] 冯永丽,李阳兵,程晓丽,等.重庆市主城区不同地质条件下土壤侵蚀时空分异特征[J].水土保持学报,2011,25(5):30-34.
- [19] 刘伟,安伟,杨敏,等.基于 SWAT 模型的三峡库区大宁河流域产流产沙模拟及土壤侵蚀研究[J].水土保持学报,2016,30(4):49-56.
- [20] Wang X, Zhao X L, Zhang Z X, et al. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010[J]. Catena,2016,137(2):256-268.
- [21] Liu R M, Men C, Wang X J, et al. Application of spatial Markov chains to the analysis of the temporal-spatial evolution of soil erosion [J]. Water Science and Technology,2016,74(5):1051-1059.
- [22] 杜俊,师长兴,胡大伟,等.长江上游侵蚀产沙与社会经济因子的关系[J].地理学报,2010,65(9):1089-1098.
- [23] 刘前进,于兴修.北方土石山区土壤侵蚀强度垂直景观格局:以沂蒙山区为例[J].地理研究,2010,29(8):1471-1483.
- [24] 吴昌广,吕华丽,周志翔,等.三峡库区土壤侵蚀空间分布特征[J].中国水土保持科学,2012,10(3):15-21.
- [25] 曾立雄,肖文发,黄志霖,等.三峡库区不同退耕还林模式水土流失特征及其影响因子[J].长江流域资源与环境,2014,23(1):146-152.
- [26] 李月臣,刘春霞.三峡库区(重庆段)水土流失的社会经济驱动机制研究[J].水土保持研究,2010,17(5):222-225.
- [27] 邵全琴,赵志平,刘纪元,等.近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征[J].地理研究,2010,29(8):1439-1450.
- [28] 李秋艳,蔡强国,方海燕,等.长江上游紫色土地区不同坡度坡耕地水保措施的适宜性分析[J].资源科学,2009,31(12):2157-2163.
- [29] 赵岩洁.三峡库区腹地土壤侵蚀演变及土地利用优化调控[D].重庆:重庆师范大学,2013.
- [30] 屈波.长江三峡地区层状地貌研究[D].重庆:西南大学,2005.
- [31] 李月臣,杨华.重庆市石漠化灾害特征及防治分区研究[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(2):134-138.
- [32] 刘春霞,李月臣,杨华.三峡库区(重庆段)石漠化敏感性评价及空间分异特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):291-297.