

抚仙湖流域土壤侵蚀遥感监测

马骊驰¹, 王金亮¹, 李石华^{1,2}, 周峻松², 金宝轩²

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500; 2. 云南省基础地理信息中心, 昆明 650034)

摘要: 为了有效保护抚仙湖流域生态环境安全, 推进其可持续发展, 对抚仙湖流域土壤侵蚀情况进行遥感监测研究。采用“3S”技术与野外实地调查相结合的方法, 以云南省第一次全国地理国情普查成果为基础, 基于通用水土流失方程(USLE)模型, 估算抚仙湖流域 1974—2014 年的水土流失量, 并探讨流域土壤侵蚀强度的时空分布及变化规律。研究发现: (1) 抚仙湖流域土壤侵蚀强度在很大程度上受降雨量的影响; (2) 土壤侵蚀量总体呈现出波动上升下降再上升的趋势。不同强度土壤侵蚀量的变化表明其水土流失经历了先加剧后缓解的变化过程, 流域部分敏感区土壤侵蚀程度不断加剧; (3) 流域水土流失的空间分布具有一致性, 水土流失最严重的区域基本分布在抚仙湖的东西两岸以及南岸的部分区域。

关键词: 土壤侵蚀; 遥感监测; USLE 模型; 生态环境; 抚仙湖流域

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)03-0065-06

Remote Sensing Monitoring of Soil Erosion in Fuxianhu Lake Basin

MA Lichi¹, WANG Jinliang¹, LI Shihua^{1,2}, Zhou Junsong², Jin Baoxuan²

(1. College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University,

Kunming 650500, China; 2. Yunnan Provincial Geomatics Centre, Kunming 650034, China)

Abstract: In order to effectively ensure the safety of Fuxianhu Lake Basin ecological environment and promote its sustainable development, the situation of soil erosion of Fuxianhu Lake Basin was studied by means of remote sensing monitoring. The soil erosion amount of Fuxianhu Lake Basin during the period from 1974 to 2014 was estimated by using method of combination of 3S technology and field investigation and based on achievements of general survey of the first national geographical conditions in Yunnan Province and USLE model, and the spatiotemporal distribution and change rule of soil erosion intensity in this basin were discussed. The results showed that: (1) the soil erosion intensity in Fuxianhu Lake Basin was greatly influenced by rainfall; (2) the amount of soil erosion presented a trend of fluctuation increase, decline and then rise, and different intensities of soil erosion changes showed that the soil erosion had experienced the changing processes of initial intensification and later slightness, soil erosion degree was intensifying in some sensitive area of in the basin; (3) the spatial distribution of soil erosion in the basin had the consistency, the most serious soil erosion area of the basin distributed on both sides of the East and West, and parts of the south region.

Keywords: soil erosion; remote sensing monitoring; USLE model; ecological environment; Fuxianhu Lake Basin

抚仙湖在行政区划上归属于云南省玉溪市, 介于玉溪市澄江、江川和华宁 3 县的结合处。抚仙湖地理位置特殊, 属南盘江水系, 较星云湖、杞麓湖、阳宗海和滇池这几大滇中湖泊来说, 处于较中心的位置。另外抚仙湖具有良好的自然条件, 就国内来说, 面积较其更大, 水质较其更好的深水型淡水湖泊寥寥无几。抚仙湖由于其独特的地理位置和良好的自然基础, 对

滇中地区具有极其重要的意义, 尤其是诸如昆明、玉溪等较发达城市。抚仙湖不仅对滇中地区的生态环境系统平衡与否产生着重要的影响, 还具有气候调节、防洪防汛、提供工农业及生活用水和运输旅游等多功能作用, 也正因为如此, 相关部门对抚仙湖流域的生态环境变化高度重视, 基于云南省第一次全国地理国情普查的抚仙湖流域生态环境保护动态监测等

项目工作也相继开展起来。流域土壤侵蚀变化对其生态环境产生一定的影响,是生态环境监测工作的重要内容之一。目前国内外在流域侵蚀方面的研究技术日趋成熟,且已取得了较大的进展,随着不同类型的土壤侵蚀模型的相继面世,日新月异的GIS和RS技术也以其独特的优势在土壤侵蚀研究中得到广泛应用。GIS技术强大的空间数据分析运算能力和RS快捷迅速获取多源现势性数据的能力逐渐使其成为土壤侵蚀研究的一种先进有效的技术手段之一^[1-5]。土壤侵蚀模型与“3S”技术的结合,不仅使复杂的土壤侵蚀各动力因子之间的关系变得更加简单明晰,还为土壤侵蚀遥感监测的定量化研究提供了一个新的发展方向^[6-8]。21世纪以来,抚仙湖流域土壤侵蚀相关研究陆续开展,黄东峰等^[9]基于DEM对抚仙湖流域土壤侵蚀进行综合分析,发现其侵蚀方式具有明显垂直分带性,侵蚀强度受土壤类型、植被覆盖和地形因子的影响。王林等^[10-11]对流域水土流失与入湖污染负荷量进行调查,并对其生态脆弱性进行了分析研究。张秀敏等^[12]开展抚仙湖流域生态资源环境安全问题识别调查,其中也包括了对其土壤侵蚀的调查。

抚仙湖流域土壤侵蚀变化是影响湖泊生态安全与流域生态环境变化的重要因素之一,目前随着城镇建设与旅游业等的发展,抚仙湖流域生态环境产生了极大的变化,各种生态问题日益突现,而水土流失逐渐成为抚仙湖流域主要的环境问题之一。开展抚仙湖流域土壤侵蚀遥感监测研究,不仅能为小流域水土流失防治提供一定的依据,更重要的是能为流域监管部门提供生态决策依据。本文以抚仙湖流域为研究区,采用地理信息技术与野外实地调查相结合的方法,以土壤侵蚀定量评价模型为核心,通过模型因子算式逐个计算各像元的年土壤侵蚀量,最后估算1974—2014年该流域水土流失总量,并对流域土壤各侵蚀强度的分布及变化规律进行定量化研究,为加强抚仙湖流域水土流失监测工作,制定水土流失防治措施和水土保持生态环境建设提供依据。

1 研究区概况

抚仙湖隶属于云南省玉溪市行政辖区内,位于滇中5大湖群的中心位置,跨澄江、江川和华宁3县,距昆明市东南部60 km,24°21′28″—24°38′00″N,102°49′12″—102°57′26″E。构造盆地是形成流域内地势四周高中间低,东西两岸地势较陡峭,呈北东走向的重要原因,其走向与构造线基本一致。流域内最高点位于梁王山上,海拔为2 820 m,流域总面积675 km²左右。

气候类型为中亚热带半湿润季风气候,具有干、湿季分明的显著特点,雨季降雨量较大,平均雨量为800~1 100 mm。受碳酸盐岩、砂岩、紫色沙岩等成土母质的影响,流域内土壤类型主要为红壤、棕壤、紫色土和水稻土4个类型,其中红壤面积最大,占总面积的61%。抚仙湖流域因其独特的地形特点、降雨条件和开发建设项目较多等特点,具有易于发生水土流失的客观条件。

近年来,随着社会经济的快速发展,特别是抚仙湖流域旅游业的发展、生态建设项目的开展和水土保持工程的实施,流域内土壤侵蚀情况不断发生着变化,对流域的生态环境产生了一定的影响。在抚仙湖流域开展土壤侵蚀遥感定量研究,具有极其重要的生态建设与经济建设的意义。

2 数据与方法

2.1 数据的选择与预处理

数据源主要包括:(1)地理国情普查数据;(2)基础地理信息数据;(3)历史遥感影像数据;(4)专题资料。

地理国情普查数据成果包括地表覆盖分类结果,分别为林地、耕地、园地、草地、房屋建筑(区)、构筑物、人工堆掘地、荒漠与裸露地表、道路以及水域10大类,覆盖整个抚仙湖流域范围,现势性为2012年。基础地理信息数据包括1:25 000分幅的0.5 m分辨率DOM数据,10 m格网间距的DEM数据和1:10 000地形数据。历史遥感影像资料如表1所示。专题资料主要包括抚仙湖流域二次土地调查数据、气象数据、土壤调查数据和法规、政策、文献等文档资料。

统一多源数据地理坐标、投影坐标以及高程基础,进行几何、辐射校正,并进行数据拼接裁剪处理,使之符合本研究的数据需求。地理国情普查成果数据经过裁剪、合并等数据处理后,作为本研究除2012年份外其余年份地表覆盖分类的基础参考数据,并开展其余年份地表覆盖类型进行人工目视解译工作,最终获取1974—2012年抚仙湖流域土地利用数据。由DEM数据可提取坡度、坡长等土壤侵蚀因子值,由专题资料可制作年降雨量分布图等。

2.2 土壤侵蚀强度分等定级标准

本研究区水土流失强度分级是以中国水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准SL190—96为标准,根据侵蚀量将流域内分为微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈5个不同等级。需要注意的是,依据此标准,低于土壤允许流失量5 t/(hm²·a)的区域视为微度土壤侵蚀区,即认为是非水土流失区。

表 1 历史遥感影像数据情况					
卫星传感器	时相(年-月)	空间分辨率	覆盖范围	光谱	来源
Landsat MSS	1974-01	79 m	整个流域	多光谱	卫星代理商购买
Landsat TM	1990-11	30 m(B6 除外)	整个流域	多光谱	
Landsat ETM+	2000-02	30 m(B8 为 15 m)	整个流域	多光谱	
SPOT-5HRG	2006-01	2.5 m(全色)10 m(多波段)	整个流域	全色和多光谱融合	地理国情普查成果
QucikBird 卫星数据	2009-01	0.61 m(全色)2.44 m(多波段)	整个流域	全色和多光谱融合	
WorldView-2 卫星数据	2012-01	0.5 m(全色)1.8 m(多波段)	整个流域	全色和多光谱融合	
WorldView-2 数据	2014-01	0.5 m(全色)1.8 m(多波段)	整个流域	全色和多光谱融合	卫星代理商购买

2.3 主要技术流程

利用多波段多时相的多源遥感数据,云南省第一次国情普查成果数据和降雨、土壤等专题资料,基于水土流失通用方程(USLE),提取水土流失影响因子,估算流域内水土流失量。在水土流失分等定级的基础上生成水土流失强度分布图,通过各年份水土流失强度分布图的叠加分析,对流域水土流失动态变化进行分析。

3 土壤侵蚀遥感定量监测

3.1 土壤侵蚀模型

水土流失通用方程(USLE)是水土流失估算中普遍采用的计算模型,我国很多专家学者早已使用该方程对我国东北、华北以及闽南等地区的水土流失情况进行估算,具有适用性、推广性较强等特点^[13-15],USLE 的模型表达式是由 6 个因子连乘的形式组成,表达式为^[16]:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \tag{1}$$

式中:A——单位面积年水土流失量[t/(hm²·a)];R——降雨侵蚀力因子(J/m²);K——土壤可蚀性因子(t/hm²);L,S——坡长、坡度因子,无量纲;C——植被与经营管理因子,无量纲;P——水土保持措施因子,无量纲。

3.2 土壤侵蚀因子

3.2.1 R 因子的估算 R 因子又称降雨侵蚀力因子,是一项依据降雨量定量表征降雨引起雨滴溅蚀以及地表径流对水土流失综合效应的动力指标,是土壤侵蚀的最主要的加速因子。其经典算法是由 Wischmeier^[17]提出的 EI₃₀法,但由于此算法所需数据难获取、模拟过程较困难等缺陷,该方法的推广应用受到很大的限制,因此在本研究中采用了 Wischmeier 改进后的简易算法进行降雨侵蚀力因子 R 的计算:

$$R=\sum \{1.735\exp[1.5\lg(P_i^2/P)-0.8188]\} \tag{2}$$

式中:P_i——月降雨量(mm);P——年降雨量(mm)。

基于云南省玉溪市气象站获取的流域内测站降雨数据,运用反距离权重法对流域降雨进行插值处理,分别获得年、月降雨量分布栅格图,再利用 R 因

子计算公式进行降雨侵蚀力因子估算。

3.2.2 K 因子估算 K 因子又称土壤侵蚀力因子,是一项与地表土壤机械组成和化学性质相关的,用以反映土壤对地表径流量与径流速率滞留和渗透的影响以及对降雨侵蚀的敏感性的指标,目前对 K 值的计算方法主要包括诺谟图法、公式计算法和查表法 3 种。由于土壤机械组成较难测定,本研究中采用了具有普遍适用性的查表法,基于此法进行土壤侵蚀力因子估算所需的数据包括土壤质地和土壤有机质含量,依据抚仙湖流域土壤类型图以及云南省农田分等定级基础数据获取土壤质地和有机质含量信息,再根据相应的土壤质地和有机质含量,计算 K 值(表 2)^[18]。

表 2 通用土壤流失方程中土壤可蚀性因子 K 值
t/hm²

土壤质地	有机质含量/%		
	0.5	2	4
沙	0.11	0.07	0.04
细沙	0.36	0.31	0.22
极细沙	0.94	0.81	0.63
壤质沙土	0.27	0.22	0.18
壤质细沙土	0.54	0.45	0.36
壤质极细沙土	0.99	0.85	0.62
水沙质壤土	0.6	0.54	0.43
细沙质壤土	0.78	0.67	0.54
极细沙质壤土	1.05	0.92	0.74
壤土	0.85	0.76	0.65
粉沙质壤土	1.08	0.94	0.74
粉土	1.34	1.16	0.94
沙质黏壤土	0.6	0.56	0.47
黏壤土	0.63	0.56	0.47
粉质黏壤土	0.83	0.72	0.58
沙质黏土	0.31	0.29	0.27
粉质黏土	0.56	0.52	0.43
黏土	0.65	0.47	0.29

3.2.3 LS 因子估算 LS 因子即为坡长坡度因子,是一项反映地形地貌因素对土壤侵蚀产生影响的指标,坡长坡度因子被认为是土壤侵蚀的加速因子之一,在最初测算其因子值时,对 LS 的计算做了一个标准定义,即在各方面条件都相同的情况下,某一个

给定坡度坡长的坡面上的土壤流失量与标准径流小区典型坡面上产生的土壤流失量的比值,即为坡长坡度因子的值。由于此方法涉及到大量繁杂的计算和实测数据,考虑到研究区实际情况,本研究中 LS 的计算方法按照 Wischmeier 等^[17]提出的程序,应用改进型坡长坡度因子算法来计算研究区不同坡段范围的 LS 因子值,具体公式如下:

$$L=(\lambda/22.13)^m \quad (3)$$

$$m=\beta/(1+\beta) \quad (4)$$

$$\beta=\frac{\left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)}{(3.0\sin\theta^{0.8}+0.56)} \quad (5)$$

式中: λ ——栅格大小; m ——坡度指数; θ ——坡度(%)。

不同坡度等级对土壤侵蚀会产生不同的影响,根据坡度等级的不同,采用分段计算坡度因子的方法,缓坡采用 McCool 坡度公式,陡坡采用 Liu 的坡度计算公式,合并后分段坡度计算公式为^[19-20]:

$$S=\begin{cases} 10.8\sin\alpha+0.03 & \alpha<5^\circ \\ 16.8\sin\alpha-0.50 & 5^\circ\leq\alpha<10^\circ \\ 21.9\sin\alpha-0.96 & \alpha\geq 10^\circ \end{cases} \quad (6)$$

式中: α ——坡度(°)。最终通过 $LS=L \cdot S$ 计算出抚仙湖流域 LS 值图。

3.2.4 CP 因子估算 CP 因子是植被覆盖因子和水土保持措施因子的合称。C 因子反映所有植被覆盖对土壤侵蚀产生的综合影响,包括保水保土的能力等,植被覆盖区的土壤流失量与非植被覆盖区的土壤

流失量的比值即为 C 因子值。P 因子反映水土保持措施对土壤侵蚀产生的综合影响,包括治理成效等,一般来说,采取水土保持区的土壤流失量与相应未实施该措施的顺坡种植时的土壤流失量的比值即为 P 因子值。

这两个因子能对土壤侵蚀的发生产生阻碍作用,是降雨侵蚀动力的重要抑制因子,C、P 因子的值域一般在 0~1 变化,值的大小能反映出植被覆盖和水土保持措施对土壤侵蚀的抑制作用的强弱。区域内没有土壤侵蚀发生时,也就是植被覆盖完全发挥抑制作用时,一般把 C 值视为 0,相反区域内植被覆盖的抑制作用完全失效时,把 C 值视为 1;同样区域内采取水土保持措施后没有发生土壤侵蚀现象,一般把 P 值视为 0,相反区域内未采取任何水土保持措施,P 值则为 1。C、P 值的计算一般采用赋值法,本研究中基于云南省第一次全国地理国情普查成果中抚仙湖流域土地利用现状,参考相关研究者的研究,根据土地利用类型确定 C、P 值,需要注意的是,水体和建筑用地由于不会产生水土流失现象,所以将 C、P 值确定为 0,表 3 为 C、P 值表^[21]。除建设用地与水域以外,裸地的植被覆盖度是各土地利用类型中最低的,植被对土壤侵蚀产生的抑制作用最弱,失效的可能性最大,因此 C 值最高,旱地次之,园地最低。而草地林地因其自然属性较少采取水土保持措施,因而 P 值较高。C、P 值的确定是依据土地利用现状和当地农田经营情况的调查,并结合了前人的研究经验,较为合理。

表 3 各土地利用类型 C、P 因子取值

项目	水田	旱地	园地	林地	草地	建设用地	水域	裸地
C 值	0.12	0.31	0.05	0.04	0.01	0	0	0.4
P 值	0.01	0.4	0.4	0.87	0.9	0	0	0.4

3.3 流域土壤侵蚀量的计算

运用 GIS 的空间数据处理功能,可计算出流域内每个像元的土壤侵蚀量。统一各因子值图的坐标系统和像元大小,按上述各因子计算方法计算出各因子值图,按照 USLE 模型计算公式,利用栅格计算器将各因子值图连乘,最后得到抚仙湖流域 1974—2014 年 7 期土壤侵蚀量图,并按其强度进行土壤侵蚀分等定级,得到各等级土壤侵蚀分布图。

4 结果与分析

基于 USLE 模型计算可得到 1974—2014 年共 7 期抚仙湖流域不同强度土壤侵蚀分布情况,如图 1 所示。将从水土流失总面积、各等级水土流失变化趋势、极强烈与剧烈侵蚀变化情况以及水土流失空间变化差异 4 方面对抚仙湖流域水土流失情况进行深入研究。

4.1 水土流失总面积变化趋势

通过对抚仙湖流域 1974—2014 年 7 期水土流失总面积结果数据进行统计,可作出流域水土流失总面积变化趋势图,如图 2 所示。

从抚仙湖流域水土流失总面积变化趋势图中可以看出,自 1974 年以来的 40 年内,抚仙湖水土流失总面积变化呈现出以下特征:(1) 流域内水土流失面积总体在 330~380 km² 波动,绝大部分年份均在 330~370 km² 变化,只有 1990 年前后水土流失面积突破了 380 km²;(2) 1974—1990 年,水土流失程度加剧,变化线呈上升趋势,1990 年流域内水土流失面积超过 380 km²,达到最大值;(3) 自 1990 年之后,流域内水土流失程度逐渐减轻,有缓慢好转的趋势;(4) 2014 年水土流失较之前的减轻情况又有所反弹,轻微加剧。

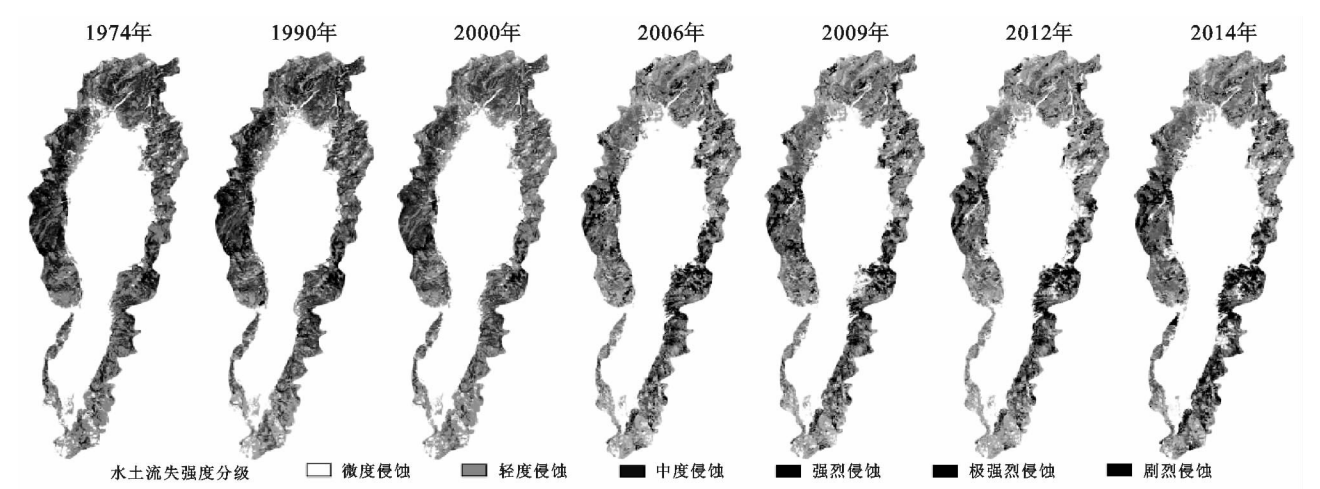


图 1 不同年份土壤侵蚀强度

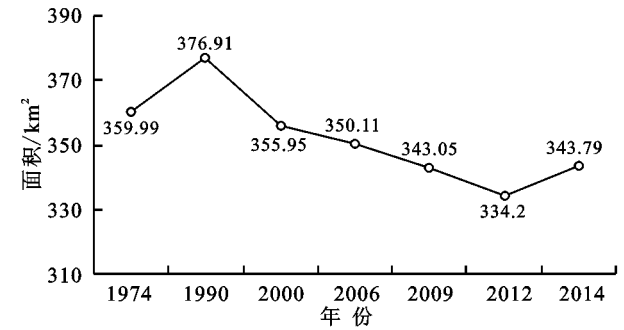


图 2 1974—2014 年抚仙湖流域水土流失总面积变化趋势

4.2 各等级水土流失变化趋势

通过对抚仙湖流域 1974—2014 年 7 期不同等级强度水土流失面积结果数据进行统计,可得出流域水土流失各等级面积变化趋势图,如图 3 所示。

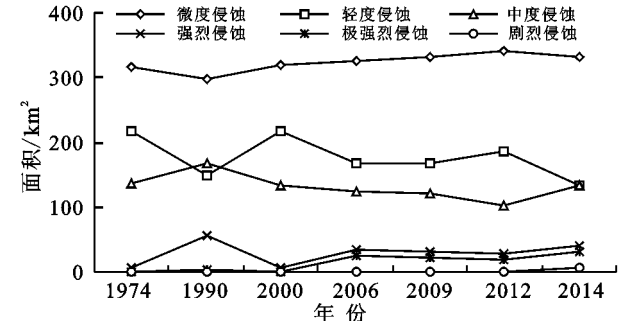


图 3 1974—2014 年抚仙湖流域各等级水土流失变化趋势

从抚仙湖流域各等级水土流失变化趋势图中可以看出,自 1974 年以来的 40 年内,抚仙湖各等级水土流失变化呈现出以下特征:(1) 微度侵蚀基本呈现出先下降后上升的趋势,表明水土流失程度经历了先加剧后缓解的变化过程;(2) 轻度侵蚀变化基本呈现出下降—上升交替波动的趋势;(3) 中度侵蚀和强烈侵蚀面积变化在总体上呈现出一致性,表现为先上升后下降的大趋势;(4) 极强烈侵蚀和剧烈侵蚀除 1990—2000 年有小幅下降波动外,在总体上呈上升趋势。

4.3 极强烈与剧烈侵蚀变化情况

通过对抚仙湖流域 1974—2014 年 7 期极强烈侵

蚀与剧烈侵蚀面积和结果数据进行统计,可作出流域极强烈和剧烈侵蚀面积变化趋势图,如图 4 所示。

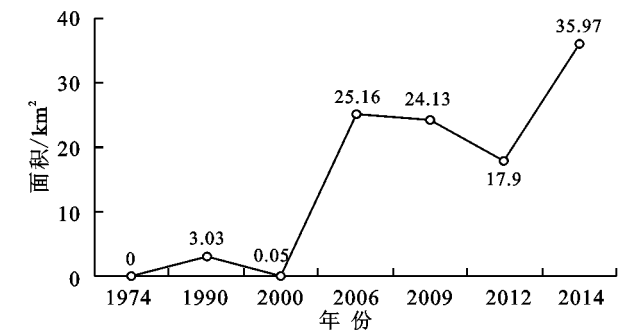


图 4 1974—2014 年抚仙湖流域极强烈与剧烈侵蚀面积变化趋势

从图 4 中可以看出:(1) 抚仙湖流域水土流失最严重的极强烈侵蚀与剧烈侵蚀面积总体上呈波动上升趋势;(2) 虽然在 1990—2000 年和 2006—2012 年有所降低,但其总面积是逐渐增加的,并在 2014 年达到最高值;(3) 极强烈与剧烈侵蚀面积增加幅度有所减小,2012—2014 年增加幅度远不如 2000—2006 年增加大,但另一方面 2012—2014 年短短两年极强烈与剧烈侵蚀面积增加了 18.07 km²,2000—2006 年 6 年增加了 25.11 km²,前者增加速度是远高于后者的。

4.4 水土流失空间变化差异

抚仙湖流域涉及澄江、华宁和江川 3 个县 14 个乡的部分区域,总体来看,1974—2014 年抚仙湖流域水土流失的空间分布具有一致性,随着时间的推移,部分区域水土流失程度逐渐加剧。40 年来,抚仙湖流域水土流失最严重的区域基本分布在抚仙湖的东西两岸以及南岸的部分区域,而抚仙湖北岸城镇集中,有很大一部分区域是无水土流失区,其余大部分区域均有不同程度的水土流失现象。具体来看,路居镇东北部、青龙镇西北部、海口镇西南部、龙街镇中部水土流失程度最严重。路居镇东部、右所镇东部及东南东北部大部分地区、九村镇西南少部分地区水土流失比较严重。除南岸小部分地区,北岸城镇集中区外

和东西岸极小区域水土流失程度最轻外,其余地区都有不同程度的水土流失现象。

5 结论

(1) 综合考虑影响流域土壤侵蚀的因素,最易产生变化且变化幅度最大的因素是降雨量,1990年抚仙湖流域降雨量为1 036~1 192 mm,居7年年降雨量之首,2012年降雨量为670~805 mm,为7年最低,通过降雨量与土壤侵蚀量的回归分析可以发现,其相关系数 R^2 达到了0.89,属于高度正相关,因此抚仙湖流域土壤侵蚀强度在很大程度上受降雨量的影响,降雨量大且降雨集中的年份流域内土壤侵蚀程度加剧,在较干旱的年份流域内土壤侵蚀程度有所缓解。

(2) 由土壤侵蚀总面积变化和各等级强度变化可以看出,抚仙湖流域土壤侵蚀程度总体上经历了先加剧后缓解的阶段,1974—1990年由于城市建设开发、环境破坏等人为因素和降雨量加剧等自然因素的影响,部分轻度侵蚀区域转为中度和强烈侵蚀区,导致土壤侵蚀面积总体增加。1990—2012年降雨量维持在一个相对较低的程度,更重要的一点是流域环境治理取得一定成效,土壤侵蚀程度逐渐好转。多年来抚仙湖流域采取水土流失综合治理措施,成效显著,水土流失逐渐减弱,生态环境得到了一定的改善。

(3) 1974—2014年抚仙湖流域水土流失最严重的区域基本分布在抚仙湖的东西两岸以及南岸的部分区域。具体来看,路居镇东北部、青龙镇西北部、海口镇西南部、龙街镇中部水土流失程度最严重。

(4) 流域内极强烈和剧烈侵蚀区域面积总体呈现出波动上升的趋势,所占比由1974年的0.01%增至2014年的10.44%。虽然水土流失在总体上已经逐渐减弱,但水土流失极其严重区域面积却有所增加,因此开展小流域水土流失重点区域防治工作依然十分必要。

抚仙湖流域土壤侵蚀强度在很大程度上受降雨量的影响,降雨多的年份土壤侵蚀较严重,而降雨较少的年份土壤侵蚀也相对较轻,维持抚仙湖流域生态系统的平衡,有利于降低极端剧烈气候发生的概率,是流域水土流失防治的对策之一。多年来抚仙湖流域采取水土流失综合治理措施,成效显著,水土流失逐渐减弱,生态环境得到了一定的改善,但部分敏感区水土流失情况依然不容乐观。因此开展小流域水土流失重点区域防治工作依然十分必要,相关部门对流域强化治理保护、改善生态环境的措施应继续推进,持续关注成效,在小流域综合治理中不断引进新

观念、新方法,及时完善现行办法中的不足之处,尤其要注重对近岸区域的城市建设和旅游开发进行一定的限制和保护。

参考文献:

- [1] Mellerowicz K T, Rees H W, Chow T L, et al. Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and micorocomputer technologies: a case study[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 49(2): 194-200.
- [2] Mathieu R, King C, Le Bissonnais Y. Contribution of multi-temporal SPOT data to the mapping of a soil erosion index: The case of the loamy plateaux of northern France[J]. Soil Technology, 1997, 10(2): 99-110.
- [3] 徐海燕,赵文武,解纯营,等. 组件式GIS技术构建的多尺度土壤侵蚀评价模块[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 117-121.
- [4] 乔彦消. 卫星遥感技术在永定河流域(河北)土壤侵蚀调查评价中的应用研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(2): 91-96.
- [5] 谭泉,王希,王秀茹,等. 基于GIS的乌梁素海东岸上游地区水土流失动态变化研究[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 193-198.
- [6] Fanos A M. The impact of human activities on the erosion and accretion of the Nile Delta coast[J]. Journal of Coastal Research, 1995, 11(3): 821-833.
- [7] 杨勤科,李锐. 中国水土流失和水土保持定量研究进展[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 13-18.
- [8] 刘耀林,罗志军. 基于GIS的小流域水土流失遥感定量监测研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2006, 31(1): 35-38.
- [9] 黄东峰,郑祥民,周立旻,等. 基于DEM的抚仙湖流域土壤侵蚀综合分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 76-79.
- [10] 王林,刘家忠,刘宇,等. 抚仙湖流域水土流失与入湖污染负荷量调查研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 2157-2158, 2375.
- [11] 王林,唐金焰,刘宇,等. 抚仙湖生态环境脆弱性分析研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(14): 2968-2970, 2975.
- [12] 张秀敏,戴丽,王志芸,等. 抚仙湖流域主要生态安全问题识别[J]. 环境科学导刊, 2008, 27(1): 40-43.
- [13] 贾志军,王小平,李俊义,等. 晋西黄土高原降雨侵蚀力研究(续)[J]. 中国水土保持, 1991(2): 19-22.
- [14] 范建容. 基于RS和GIS的四川省李子溪流域土壤侵蚀动态变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 25-28.
- [15] 林敬兰,杨学震,陈明华,等. 基于“3S”技术的福建省土壤侵蚀动态监测研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 155-157.

参考文献:

- [1] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.
 - [2] 陈云浩,李晓兵,史培军. 1983—1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. 植物生态学报,2001,25(6):716-720.
 - [3] 侯美亭,赵海燕,王笋,等. 基于卫星遥感的植被 NDVI 对气候变化响应的研究进展[J]. 气候与环境研究,2013,18(3):353-364.
 - [4] 方精云,朴世龙,贺金生,马文红. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学 C 辑:生命科学,2003,33(6):554-565.
 - [5] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment,1997,62(3):241-252.
 - [6] Lin C, Dugarsuren N. Deriving the Spatiotemporal NPP Pattern in Terrestrial Ecosystems of Mongolia Using MODIS Imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,2015,81(7):587-598.
 - [7] Piao S, Fang J, He J. Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999[J]. Climatic Change,2006,74(1/3):253-267.
 - [8] 杨元合,朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报,2006,30(1):1-8.
 - [9] 孙睿,朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. 地理学报,2000,55(1):36-45.
 - [10] Nash M S, Bradford D F, Wickham J D, et al. Detecting change in landscape greenness over large areas: An example for New Mexico, USA[J]. Remote Sensing of Environment,2014,150:152-162.
 - [11] Landmann T, Dubovyk O. Spatial analysis of human-induced vegetation productivity decline over eastern Africa using a decade(2001—2011) of medium resolution MODIS time-series data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2014,33:76-82.
 - [12] 宋怡,马明国. 基于 SPOTVEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠,2007,27(1):89-93.
 - [13] 毛德华,王宗明,宋开山,等. 东北多年冻土区植被 NDVI 变化及其对气候变化和土地覆被变化的响应[J]. 中国环境科学,2011,31(2):283-292.
 - [14] 刘森,秦大庸,刘家宏,等. 基于 NDVI 的山西省植被覆盖度变化研究[J]. 人民黄河,2009,31(5):17-18.
 - [15] 武永利,栾青,赵永强,等. 近 25 年山西植被指数时空变化特征分析[J]. 生态环境,2008,17(6):2330-2335.
 - [16] 武永利,李智才,王云峰,等. 山西典型生态区植被指数(NDVI)对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2009,28(5):925-932.
 - [17] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s[J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(5):1111-1117.
 - [18] 尉文龙. 封山育林:又好又快恢复森林植被的有效途径:山西吕梁林区的实践与探索[J]. 林业经济,2007(12):32-35.
 - [19] 王强. 三北防护林工程区植被覆盖变化特征及其对气候变化的响应研究[D]. 兰州:西北师范大学,2012.
 - [20] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学:D 辑,2007,37(11):1504-1514.
 - [21] 易浪,任志远,张翀,等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. 资源科学,2014,36(1):166-174.
 - [22] 张健雄. 煤矿沉陷区地表覆被的时空变化规律研究[D]. 河南焦作:河南理工大学,2011.
- ~~~~~
- (上接第 70 页)
- [16] 董磊,彭春明,王崇云,等. 基于 USLE 和 GIS/RS 的滇池流域土壤侵蚀研究[J]. 水土保持研究,2012,19(2):11-18.
 - [17] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation[J]. Soil Science Society of America Journal,1959,23(3):246-249.
 - [18] 杨琴. 基于 USLE 的喀斯特地区水土流失定量监测研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2008.
 - [19] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers,1989,32(5):1571-1576.
 - [20] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(5):1759-1763.
 - [21] 邓辉,何政伟,陈晔,等. 基于 GIS 和 RUSLE 模型的山地环境水土流失空间特征定量分析:以四川泸定县为例[J]. 地球与环境,2013,41(6):669-678.