

地貌特征与土壤侵蚀空间分布直方图相似度研究

刘 飞^{1,2}, 范建容¹

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要:直方图是数字图像的重要特征之一,直方图相似度代表了两幅图像特征分布之间的相似程度。该文对土壤侵蚀强度的空间分布直方图与地貌海拔、坡度以及坡向分布直方图进行了相似度计算。研究表明:坡度和坡向的空间分布与土壤侵蚀强度的空间分布较一致;土壤侵蚀微度、轻度和中度与海拔空间分布较一致;土壤侵蚀强烈及以上空间分布与海拔空间分布不一致;土壤侵蚀海拔特征空间分布反映了土壤侵蚀的特有性质,坡度能部分反映侵蚀特征,而坡向特征几乎是地貌自身性质的反映。研究成果可为更深入地认识土壤侵蚀空间分布规律提供参考。

关键词:地貌特征;土壤侵蚀;空间分布;直方图相似度

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0018-04

Study on Topographic Features and Spatial Distribution of Soil Erosion Based on Histogram Similarity

LIU Fei^{1,2}, FAN Jian-rong¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The histogram is an important feature of digital image. Histogram similarity represents the level of similarity of characteristic distribution between different images. Hence, we investigated the similarity between histogram of elevation, slope and aspect and that of the spatial distribution of soil erosion. The results show that: (1) there is similarity between the spatial distribution of slope, aspect and that of the intensity of soil erosion; (2) the spatial distribution of soil erosion with slight, low and moderate intensity shows similarity to the spatial distribution of elevation; (3) the spatial distribution of highly intense soil erosion doesn't agree with that of elevation; (4) the spatial distribution of elevation characteristics shows the unique feature of soil erosion while slope indicates the erosion characteristics and the aspect characteristics is the indicator of topographic feature. Results of this study can provide the deeper insight into the spatial distribution of soil erosion.

Key words: topographic characters; soil erosion; spatial distribution; histogram similarity

水土流失是我国首要的环境问题。为了使水土流失治理建立在科学规划的基础上,达到快速高效综合治理的目标,迫切需要全面掌握土壤侵蚀空间分布及其变化趋势。在土壤侵蚀的空间分布特征中^[1-5],土壤侵蚀空间分布的地貌特征又是最为基础的特征之一,主要为海拔、坡度以及坡向等地貌特征。姚华荣等^[2]对澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分布的坡度特征进行了研究,发现 15°~25°坡度上的土壤侵蚀最强。范丽丽等^[3]对大宁河流域土壤侵蚀空间分布

的坡度特征进行了研究,得到了相同的规律。沈中原等^[4]对大理河流域土壤侵蚀空间分布的海拔、坡度和坡向特征研究后发现,土壤侵蚀空间分布的海拔特征呈现峰值现象,坡度特征存在临界坡度规律,坡向特征呈现双峰现象。王棒^[5]等对密云水库土壤侵蚀空间分布的坡度特征进行了研究。综上研究,均采用 GIS 的空间分析功能,对地貌因子图进行等级分类,然后与土壤侵蚀空间分布图进行叠加计算与统计分析,用面积比重的方法,研究对应类型侵蚀面积比重,

收稿日期:2011-04-16

修回日期:2011-07-07

资助项目:国家“十一五”科技支撑计划项目课题(2007BAC06B06-01)

作者简介:刘飞(1985—),男,四川简阳人,硕士研究生,主要从事环境遥感与地理信息系统应用研究。E-mail:liufeisuli@163.com

通信作者:范建容(1969—),女,四川井研人,博士,副研究员,主要从事遥感与地理信息系统应用和山地土壤侵蚀研究。E-mail:fjrong@imde.ac.cn

得出土壤侵蚀空间分布的地貌特征。然而,这样计算得到的空间分布规律反映的是地貌本身的分布特征,还是土壤侵蚀各强度类型特有的性质,对于这些问题有待深入研究。本文引入数字图像直方图相似度计算的方法,研究土壤侵蚀空间分布的海拔、坡度以及坡向特征与地貌本身的空间分布之间的关系。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

横断山脉作为世界年轻山系之一,是中国最长、最宽和最典型的南北向山系,位于青藏高原东南部,是中国四川、云南两省西部和西藏自治区东部一系列南北向平行山脉的总称^[6]。藏东横断山区平均海拔4 100 m以上,所在的昌都、林芝地区处于青藏高原东缘,属高原大陆性气候。其西北部严寒干燥,东南部相对温和湿润;日照时间长,辐射强,昼夜温差大;干湿分明,夏季多夜雨,冬春多风,年平均气温7.6℃,年降雨量400~600 mm,无霜期80~127 d。由于三江水系的切割作用,西藏东部地区形成了非常显著的垂直地带性特征,有着复杂的地貌结构、气候类型及植被状况^[7-8]。

1.2 数据资料与预处理

1.2.1 数据资料来源 本文利用2008—2010年藏东横断山区水土流失遥感调查与评价数据库,作为研究藏东横断山区土壤侵蚀空间分布的基本信息源。按SL 190—2007土壤侵蚀分类分级标准,研究区主要土壤侵蚀类型有水力侵蚀与冻融侵蚀,侵蚀强度分为6级:微度、轻度、中度、强烈、极强烈与剧烈。研究区DEM选择ASTER GDEM数据,来自于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://datamirror.csdb.cn>),分辨率为30 m。

1.2.2 数据预处理 由于ASTER GDEM中国区域所有地形数据采用UTM/WGS84,因此首先将其坐标转换为和土壤侵蚀类型与强度图等一致的Krasovsky_1940_Albers坐标。利用ArcGIS 9.2作为平台,进行DEM拼接与坐标转换。为了减小提取坡度的边缘效应,扩大DEM范围提取坡度后,再把感兴趣区裁剪出来^[9]。运用空间分析功能,对海拔、坡度及坡向进行重分类,海拔分为20个等级(图1),坡度分为10个等级(图2),坡向9个等级(图3)。

为了便于数据处理,将矢量的土壤侵蚀图转换为栅格图层,像元尺度cell选择为100 m。利用ArcGIS 9.2的空间叠加分析与统计功能,将土壤侵蚀栅格图与海拔、坡度以及坡向栅格图进行空间分析,然

后利用统计分析功能得到藏东横断山区土壤侵蚀的空间分布统计表,在Excel中制作空间分布直方图。

1.3 研究方法

直方图是数字图像的重要特征之一,反映图像(或其中一部分区域)灰度的总体分布信息。牛亮等^[10]对DEM尺度变换中4种直方图相似度计算方法研究后发现, L_1 距离(曼哈顿距离)相似度有更广的适应范围。本文选取 L_1 距离相似度来度量两直方图的相似性。

设两幅直方图分别为 $G=\{g(j)|j=0,1,\dots,r\}$ 和 $H=\{h(k)|k=0,1,\dots,r\}$,式中: j,k ——直方图中窗口的位置(标号); r ——窗口最大标号(对于图像的灰度直方图而言, j,k 为灰度值; r 取值为255); $g(j)$ ——直方图 G 在窗口 j 处的取值; $h(k)$ ——直方图 H 在窗口 k 处的取值; G,H 满足各窗口取值之和相等这一条件。

$$L_{1\text{距离}} = \sum_{i=1}^n |g(i) - h(i)| \quad (1)$$

式中: $g(i),h(i)$ ——频率直方图中第 i 个窗口位置的频率值。如对于坡度分布直方图而言,第0个窗口对应“ $\leq 5^\circ$ 分级”, $g(0)$ 是相应的面积比重值3(为了计算方便,把面积比重均乘上一个100)。

对于频率直方图, $L_{1\text{距离}}$ 的取值范围是 $[0,2]$ 。得到的距离越小,表示研究对象越相似。把公式(1)进行归一化后,得到公式(2)。

$$L_{1\text{距离相似度}} = 1 - \frac{L_{1\text{距离}}}{2} \quad (2)$$

$L_{1\text{距离相似度}}$ 取值范围为 $[0,1]$,值越接近1则越相似。根据笔者实验研究发现,相似度在0.9及以上,相比较的两图像直方图可以认为是匹配良好的;相似度在0.8~0.9之间,认为图像直方图之间有一定匹配;相似度 <0.8 ,认为图像直方图之间不能匹配。在本文中,相似度 ≥ 0.9 表明土壤侵蚀空间分布与地貌特征的匹配程度良好,且相似度越大匹配程度越好,即土壤侵蚀空间分布主要反映的是地貌本身的形态特征。相反,相似度 <0.8 时,土壤侵蚀空间分布反映出了特有的规律,受地貌形态特征的影响较小。相似度在0.8~0.9之间时,土壤侵蚀空间分布受地貌形态特征的影响较大,但是也能反映出一些自身特有的规律。

2 结果与分析

对于每一个研究区域来讲,对其地貌(包括海拔、坡度、坡向等)分级后进行统计,都会得到反映该地区特征的频率曲线。汤国安等^[11]在研究坡度时提出了坡谱的概念,用坡谱来描述不同地貌的特征,在黄土

高原地貌研究中取得了诸多成果。按这一“谱”的思想,可以相应地对海拔和坡向进行“谱”分析,更全面地研究地貌特征。从本质上讲,“谱”是一种统计直方图。

2.1 海拔与土壤侵蚀空间分布的相似度

藏东横断山区海拔统计空间分布呈正态分布规律(图 1)。平均海拔高度在 4 200 m 左右,分布范围覆盖 2 000~6 000 m,3 600~5 400 m 海拔占到了研究区 85%以上的面积。

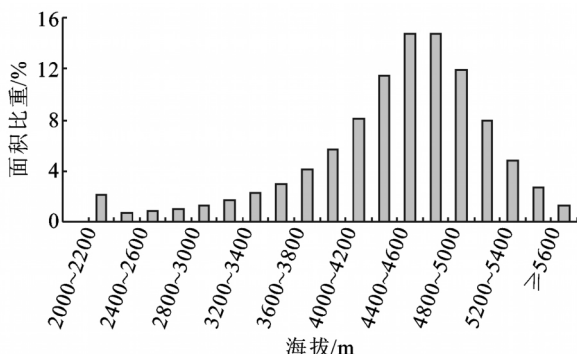


图 1 海拔分布直方图

分别对海拔与各土壤侵蚀强度分布直方图进行计算,得到海拔特征直方图相似度(表 1)。由表 1 可以看出,土壤侵蚀微度和轻度分别与海拔的直方图相似度为 0.950 和 0.930,说明土壤侵蚀微度和轻度与海拔特征匹配良好,两者反映的是海拔的空间分布特征,且土壤侵蚀微度更明显;土壤侵蚀中度与海拔的直方图相似度为 0.835,说明土壤侵蚀中度与海拔特征基本匹配,反映的是海拔特征与土壤侵蚀中度空间分布的综合信息;土壤侵蚀强烈、极强烈以及剧烈与海拔的直方图相似度为 0.715,0.605,0.490,反映了这 3 种类型在该区域有特殊的分布规律,其中剧烈侵蚀尤为明显。

表 1 海拔特征直方图相似度

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
相似度	0.950	0.930	0.835	0.715	0.605	0.490

进一步分析发现,藏东横断山区以水力侵蚀与冻融侵蚀为主,在高海拔地区冻融侵蚀明显,水力侵蚀在三江河谷分布广泛。微度和轻度在各海拔段分布较均匀,中度次之,强烈及以上由于冻融侵蚀的影响,三者在高海拔地区分布广泛。这样的土壤侵蚀空间结构导致了各土壤侵蚀强度与海拔的直方图相似度相近与差异的原因。

2.2 坡度与土壤侵蚀空间分布的相似度

藏东横断山区坡度统计空间分布呈单峰分布规律(图 2)。平均坡度在 26°附近,45°以上坡度占到了 6%以上,5°以下不到 4%。

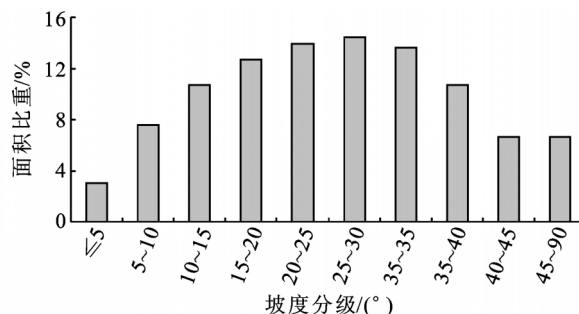


图 2 坡度分布直方图

在基于 RS 与 GIS 的土壤侵蚀计算中,坡度是其关键因子之一。分别对坡度与各土壤侵蚀强度分布直方图进行计算,得到坡度特征直方图相似度。由表 2 可以看出,土壤侵蚀微度、轻度、中度以及剧烈分别与坡度的直方图相似度为 0.982,0.984,0.970,0.951,这表明土壤侵蚀微度、轻度、中度以及剧烈与坡度特征匹配良好,4 种侵蚀强度反映的是坡度的空间分布特征,且依次为轻度>微度>中度>剧烈;土壤侵蚀强烈与极强烈与坡度的直方图相似度分别为 0.898 和 0.855,说明土壤侵蚀强烈与极强烈与坡度特征基本匹配,反映的是坡度特征与侵蚀强度空间分布的综合信息。

表 2 坡度特征直方图相似度表

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
相似度	0.982	0.984	0.970	0.898	0.855	0.951

产生上述现象的原因主要有如下几个方面:坡度不像海拔一样有明显的分带,坡度在海拔各分带上均有广泛分布,且土壤侵蚀强度极易受坡度的影响,由于小于 5°的区域大都归为微度,在相似度上表现为微度略小于轻度,45°以上坡度占到了 6%以上,而在这个区域土壤侵蚀强度大多为剧烈,这使得剧烈的相似度较大;冻融侵蚀与水力侵蚀的综合影响,使得强烈与极强烈的相似度低于 0.9。

2.3 坡向与土壤侵蚀空间分布的相似度

在藏东横断山区,坡向对土壤侵蚀的影响是明显的。阳坡由于阳光充沛,植被一般生长茂盛,具有良好的保持水土作用;阴坡由于温度和湿度较低,阳光缺乏,植被覆盖较低,土壤侵蚀严重。该地区平缓区域甚少,由于横断山区的独特山脉走向,使得南、北坡向分布明显少于其它方向,而东北和西南坡向分布较多。藏东横断山区坡向分布如图 3 所示。

分别对坡向与各土壤侵蚀强度分布直方图进行相似度计算,得到坡向特征直方图相似度。由表 3 可以看出,坡向直方图与各土壤侵蚀直方图都有很好的相似度,说明其匹配良好,土壤侵蚀的坡向特征主要反映的是坡向的空间分布。然而,不同的土壤侵蚀强

度类型直方图与坡向分布直方图又有略微差异:剧烈>轻度>中度>强烈>微度>极强烈。

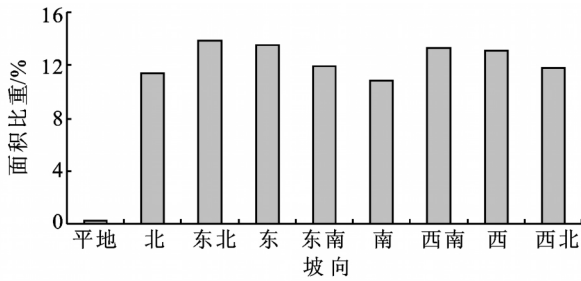


图 3 坡向分布直方图

表 3 坡向特征直方图相似度

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
相似度	0.935	0.956	0.951	0.946	0.926	0.971

由于平缓地区都处在微度区,所以微度相似度略小;极强烈由于在东南方向分布较广,西南与西方向上分布稍少,最终使得相似度较小;剧烈虽然不发生在平缓区,但是由于平缓区甚少,而在其它坡向上分布一致,使得相似度较大,强烈在西南分布较多,在东北分布偏少,使得相似度偏小;轻度在北向分布偏少,中度在东北与东方向分布稍多,使得直方图相似度稍有差异。

3 结 论

土壤侵蚀的发生及其分布和地貌特征是息息相关的,土壤侵蚀空间分布的地貌特征能为快速高效地综合治理土壤侵蚀提供依据。本文通过引进数字图像直方图处理技术,对土壤侵蚀各强度的海拔、坡度以及坡向特征进行了相似度研究。

(1)坡度和坡向的空间分布与土壤侵蚀强度的空间分布较一致;土壤侵蚀微度、轻度和中度与海拔空间分布较一致;土壤侵蚀强烈及以上空间分布与海拔空间分布不一致。这说明土壤侵蚀强烈及以上空间分布的海拔特征可以作为治理土壤侵蚀的科学依据。

(2)土壤侵蚀海拔特征空间分布反映了土壤侵蚀的特有性质,坡度能部分反映侵蚀特征,而坡向特征几乎是地貌自身性质的反映。土壤侵蚀的海拔特征能为快速高效综合治理土壤侵蚀提供最有效依据,

特别对于强烈及以上侵蚀强度。

(3)直方图相似度定量地刻画了土壤侵蚀空间分布的地貌特征,可以用于选取土壤侵蚀空间分布最优的地貌特征,为有针对性地治理土壤侵蚀提供依据。

(4)研究中存在的不足及有待深入研究的问题。对坡度和坡向的分级略粗,还可以更细化分级;还需其它方法与直方图相似度对比研究;可以进一步研究几种地貌的组合和土壤侵蚀空间分布的关系,如在哪个高程段、哪个坡度段以及哪个坡向上最易发生土壤侵蚀。

参考文献:

- [1] 王思远,刘纪远,张增祥,等.不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究[J].水土保持学报,2001,15(9):48-51.
- [2] 姚华荣,杨志峰,崔保山. GIS 支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J]. 地理研究,2006,25(3):421-429.
- [3] 范丽丽,沈珍瑶,刘瑞民. 基于 GIS 的大宁河流域土壤侵蚀评价及其空间特征研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(5):563-566.
- [4] 沈中原,李占斌,杜中,等. 大理河流域土壤侵蚀空间分布的地貌特征研究[J]. 水土保持学报,2008,22(5):78-81.
- [5] 王棒,吴建安,朱国平,等. 密云水库北京集水区土壤侵蚀空间分布特征研究[J]. 水土保持研究,2009,16(1):63-65.
- [6] 程维明,赵尚民. 中国冰川地貌空间分布格局研究[J]. 冰川冻土,2009,31(4):587-596.
- [7] 刘世全,高丽丽,蒲玉琳,等. 西藏土壤有机质和氮素状况及其影响因素分析[J]. 水土保持学报,2004,18(6):54-57,67.
- [8] 周利勋,刘永春. 西藏高寒地区森林土壤资源及其开发利用[J]. 东北林业大学学报,2003,31(6):73-74.
- [9] 宋佳,汤国安,王春,等. DEM 提取坡度产生的边缘效应分析[J]. 水土保持通报,2006,26(3):82-85,116.
- [10] 牛亮,杨勤科. DEM 尺度变换中直方图相似度计算与应用[J]. 水土保持研究,2010,17(3):120-125.
- [11] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2005.