

普安县不同岩组类型对区域土壤侵蚀景观格局的影响

黄朝海, 高华端, 付婧, 徐永服

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘要:以普安县白云岩、石灰岩、砂页岩和玄武岩等不同岩组区域的土壤侵蚀景观作为研究对象,基于 ArcGIS 软件中 Spatial Analysis 拓展模块空间分析及景观生态学中的景观格局空间分析方法,从宏观空间尺度上研究了不同岩组类型对区域土壤侵蚀景观格局的影响。结果表明:普安县岩组分布特征是以白云岩为主,其次是石灰岩,砂页岩和玄武岩面积较少;石灰岩区总体侵蚀程度不高,但是局部侵蚀较为严重。普安县土壤侵蚀景观格局特征表现为:微度侵蚀是4种地层岩组土壤侵蚀景观的景观基质,微度侵蚀景观斑块在空间分布上集中连片、异质性低、均匀度指数高,极强度侵蚀与剧烈侵蚀最大面积比例与斑块面积都是最小,斑块在空间分布上距离都较远且其破碎,连通性较低。普安县不同岩组土壤侵蚀景观格局存在差异,白云岩区景观最为破碎,具有较高的异质性;石灰岩区侵蚀斑块分布较为集中;玄武岩区具有最高的多样性,斑块间的信息交流最为频繁。

关键词:普安县;岩组类型;土壤侵蚀;景观格局

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)02-0031-06

Effects of Different Petrofabric Types on Landscape Pattern of Regional Soil Erosion in Pu'an County

HUANG Chaohai, GAO Huaduan, FU Jing, XU Yongfu

(College Of Forestry, GuiZhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: This study took the soil erosion landscapes of different petrofabric types in dolomite, limestone, sand shale, and basalt in Pu'an County as the research objects. Based on the module spatial analysis technology developed by spatial analysis in ArcGIS software and landscape pattern spatial analysis methods in landscape ecology, we examined the effects of different petrofabric types on the landscape pattern of regional soil erosion from the macroscopic spatial scale. The results show that: the distribution patterns of petrofabric in Pu'an County are dominated by dolomite, followed by limestone, and shale and basalt are less in area; the overall degree of erosion is not high in the limestone area, but the local erosion is more serious; the characteristics of landscape patterns of soil erosion in Pu'an County are as followings, slight erosion is a landscape matrix of soil erosion landscapes in four kinds of stratigraphic petrofabric, the patches of slight erosion landscape concentrate among the spatial distribution with low heterogeneity and high uniformity index, the maximum area percentages of extremely intensive erosion and intensive erosion, and patch area are the smallest, the patches are far apart and broken in space distribution, and the connectivity is low; the landscape patterns of soil erosion in different petrofabrics in Pu'an County are different, the landscape in the dolomite region is the most fragmented and has a high heterogeneity; the distribution of erosion patches in the limestone region is more concentrated; the basalt region has the highest diversity, and the exchange of information between the patches is most frequent.

Keywords: Pu'an County; petrofabric types; soil erosion; landscape pattern

土壤侵蚀是导致土壤退化、土地生产力下降、土地资源损失,影响农业生产,是全球性的主要环境问题之一^[1],由土壤侵蚀产生的一系列问题对人类的生存和发展产生了相当严重的威胁。近年来,国内外学者对景观生态学在土壤侵蚀学中的应用进行了积极的探索,景观生态学的研究方法也更加广泛地应用在了土壤侵蚀的相关分析和研究上,使土壤侵蚀分析时更加具体化。

如蒋学纬等从景观生态学原理入手,揭示了土地利用、土壤侵蚀和土地荒漠化等景观生态学本质问题^[2]。孟庆华等采用 SCS 范式,评价了黄土高原地区景观格局与土壤养分流动的关系^[3]。傅伯杰等从土地利用结构与土壤水分、养分、水土流失等生态过程之间的关系研究了景观格局与生态过程的关系^[4]。刘立文等从景观生态学的角度对研究区 10 a 间土壤侵蚀时空变化特征进行了分析^[5]。朱惇等以湖北省为研究区域,从景观生态学角度对研究区五年间土壤侵蚀的时空演变特征进行了分析^[6]。杨翠林等以内蒙古奈曼旗大沟头流域为研究对象,对流域的土壤侵蚀特征及其与林草植被的关系进行模拟,分析流域不同景观格局状况下的土壤侵蚀变化,探讨了农牧交错带地区土地利用结构与土壤侵蚀的耦合关系^[7]。杨泽等通过 FRAGSTATS 软件对土壤侵蚀分级图进行景观分析,分析不同侵蚀强度下斑块在空间上的聚散程度以及斑块形状变化等^[8]。张乃夫等以安徽新安江流域为研究区域,基于遥感和地理信息技术平台,通过对研究区景观格局现状、土壤侵蚀敏感性分布和土壤侵蚀特征研究分析,探讨了研究区土壤侵蚀特征及分异规律^[9]。傅伯杰等从“尺度格局过程”原理出发,考虑了土壤侵蚀过程的影响因素,综合了坡面、小流域以及流域尺度上的土壤侵蚀评价方法,同时运用尺度转换的方法,构建了多尺度土壤侵蚀评价指数的概念性公式^[10]。向万丽等以清镇市 1:10 000 土壤侵蚀实地调查图件为数据基础,从景观指数角度进行了土壤侵蚀强度景观空间格局分析^[11]。谭秋等分别选择了贵州连续石灰岩及白云岩小流域,分析了连续白云岩及连续石灰岩下石漠化的景观格局,从而探索石漠化规律,分析石漠化的驱动力因素^[12-14]。

综合以上对于土壤侵蚀与景观格局的国内外研究现状和分析研究可知,目前景观生态学引用在土壤侵蚀研究中主要集中于坡面尺度土壤侵蚀影响、时间序列下土壤侵蚀变化状况以及景观格局驱动力分析等方面,在宏观尺度上对于土壤侵蚀的空间分析还没有具体研究。通过小尺度上的土壤侵蚀研究可以摸清土壤侵蚀形成的机制,但是只有通过大尺度分析我们才能找出治理侵

蚀的对策。所以为了找出土壤侵蚀的治理对策,本研究应用景观生态学原理,从宏观角度分析土壤侵蚀,从而揭示土壤侵蚀景观格局与侵蚀环境因子之间存在的潜在关系,以期为喀斯特山区土壤侵蚀现状研究做铺垫,为土壤侵蚀的治理提供有力的依据,也为山区治理开发及经济可持续发展提供科学的指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

普安县位于贵州西南部(东经 104°51'10"—105°09'24",北纬 25°18'31"—26°10'35"),隶属于贵州省黔西南布依族苗族自治州;东与晴隆县接壤,南与兴仁县和兴义市相连,西靠盘县特区,北水城特区、六枝特区相邻。普安县属于亚热带季风湿润气候,多年平均气温 13.7℃,年平均降雨量 1 395.3 mm,全县总面积 1 454 km²,最高海拔 2 084.6 m,最低海拔 633 m,地势特点是中部较高,四面较低,乌蒙山脉横穿中部将全县分为南北两个部分。普安县境内地形地貌较为复杂,岩层组合类型又多样。研究区境内出露地层以泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系等为主,尤其以二叠系和三叠系两种地层分布最为广泛,而古近系和第四系都是零星分布。普安县境内以碳酸盐岩石分布面积最大,约占全县总面积的 60%,所以岩溶发育较为强烈,是一个典型的喀斯特县。

1.2 研究方法

1.2.1 数据收集 基础资料收集主要包括普安县研究区 2016 年遥感图、DEM 图、地质图、水文图、植被图等资料,卫星影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台(<http://landsat.datamirror.csdb.cn>)的 Landsat ETM+ 影像,其比例尺为 1:1 017,分辨率为 0.27 m,并进行外业典型调查。

1.2.2 数据处理 由地质图得到岩组类型图;以 DEM 为信息源,通过 ArcGIS 中 Spatial Analysis 模块中的 Slope 工具直接生成研究区坡度分布图;以研究区的 TM 遥感数据为基础数据源,经过波段选择与组合几何精纠正,再通过 GIS 中运用监督分类和非监督分类方法,按照土地利用类型划分标准,进行土地利用类型信息的计算机半自动解译,提取研究区土地利用现状图;以 TM 影像中提取的植被指数为数据源,提取研究区植被覆盖度;依据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007),普安县属水力侵蚀区,见表 1,对普安县的土壤侵蚀状况进行土壤侵蚀强度分级,获取土壤侵蚀强度图。用岩组类型图层与土壤侵蚀图图层叠加,再用分类统计的方法得出不同岩组类型土壤侵蚀数据。

1.2.3 景观指数选取 景观指数是用简单的数字来描述复杂的景观格局,可以对景观格局的信息进行高度的概括,从而反映出景观格局的结构、组成等指标^[15]。每一个景观指数具有其特定的生态意义,能够从不同的的角度对景观格局进行分析,但是众多指数当中,单一的指数并不能独立的对景观格局进行统计分析,所以通常是选取一组指数来描述所需要提取的信息^[16]。本文选用 NA(斑块个数)、CA(斑块面积)、LAND%(斑块占景观面积比)、ED(边缘密度)、MNN(平均最近距离)、MPFD(平均斑块分维数)、CAD(核心斑块密度)等斑块类型上的指数对各岩组类型区分别进行特征性分析;选用 PSSD(斑块面积标准差)、SHDI(Shannon 多样性指数)、SHEI(Shannon 均匀度指数)、IJI(散布与并列指数)等景观类型指数对 4 种岩组类型进行景观层面的差异性分析。

1.2.4 分析方法 对研究区的基础资料进行收集与整理,然后进行基础处理;利用现有的数据资料对普安县的土壤侵蚀环境因子进行整体分析,再对土壤侵蚀景观格局进行宏观的分析,运用 ArcGIS 软件中的 patch analysis 模块作为主要的分析工具,选取一系列的景观指数,指数类型包括斑块类型水平和景观类型水平;利用景观斑块类型水平的指数分别对白云岩、石灰岩、砂页岩、玄武岩等不同岩组类型下的土壤侵蚀景观格局进行分析,对各类型景观基本状况进行大致分析,通过分析对区域土壤侵蚀景观格局间的差异进行大致了解;再通过景观类型水平指数单独对每一类岩组进行景观分析,体现出不同景观类型侵蚀上的差异。选取的指数要能表达小侵蚀斑块之间存在的联系,从而通过景观指数数据分析反映土壤侵蚀景观格局的空间分布特征。

表 1 土壤侵蚀强度等级分级标准

类型		地面坡度					
		<5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
非耕地的林草覆盖度/%	>75	微度					
	60~75	微度	轻度		中度		强烈
	45~60		中度		强烈		极强烈
	30~45		中度		强烈		极强烈
	<30		中度		强烈		极强烈
坡耕地		轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	

2 结果与分析

2.1 普安县不同岩组区域土壤侵蚀现状分析

由表 2 可知,普安县各岩组类型的分布情况以及面积大小,其中石灰岩面积占总面积 40%,是普安县面积中分布最广的,其次为砂页岩,其面积比例为 39%,白云岩面积比例为 15%,玄武岩为 6%。由表 2 可知,普安县的土壤侵蚀现状以微度侵蚀为主,其

中各岩组类型中微度侵蚀占较大比例,微度以上侵蚀面积较小,说明普安县水土流失面积不大。微度以上侵蚀以石灰岩区和砂页岩区占地比例最大,面积最广,区域土壤侵蚀以石灰岩和砂页岩地区最为明显。各岩组类型微度以上(不含微度)土壤侵蚀面积所占比例大小为:石灰岩区>砂页岩区>白云岩区>玄武岩区,也就说明石灰岩区发生侵蚀的概率较大,但总体侵蚀程度不深,局部侵蚀较为严重。

表 2 普安县各岩组类型侵蚀面积比例

侵蚀类型	白云岩		石灰岩		砂页岩		玄武岩	
	面积/km ²	比例/%						
微度	160.92	74.53	388.56	66.19	402.55	71.17	67.31	77.20
轻度	23.66	10.96	46.20	7.87	48.11	8.51	4.01	4.60
中度	21.14	9.79	86.75	14.78	59.80	10.57	7.71	8.84
强度	8.34	3.86	45.80	7.80	38.90	6.88	5.07	5.81
极强度	1.34	0.62	16.71	2.85	14.21	2.51	2.86	3.28
剧烈	0.50	0.23	3.04	0.52	2.04	0.36	0.23	0.27
小计	215.90	100.00	587.06	100.00	565.61	100.00	87.19	100.00

2.2 不同岩组下土壤侵蚀景观格局分析

2.2.1 景观斑块特征 通过使用普安县岩组分布的矢量图切普安县土壤侵蚀现状栅格图,得到普安县不

同岩组区域土壤侵蚀现状小斑块,再使用 ArcGIS 中 Spatial Analysis 拓展版块对不同岩组区域土壤侵蚀现状小斑块进行景观指数提取,得到的景观指数用于

描述普安县景观格局,得到的指数见表3。

从一定程度上说,一个景观类型占整个景观的面积比例即是这个景观类型对整个景观的贡献率^[1],分析表3可知,白云岩区微度侵蚀景观斑块面积占白云岩区面积的74.53%,石灰岩区微度侵蚀景观斑块面积占石灰岩区面积的66.19%,砂页岩区微度侵蚀景观斑块面积

占砂页岩区面积的71.17%,玄武岩区微度侵蚀景观斑块面积占玄武岩区面积的77.20%,根据景观基质的判断标准^[17],即基质是面积最大的景观类型,可以看出微度侵蚀景观面积在各地层岩组区域中都是最大,所占面积比例也是最大,由此可知,微度侵蚀景观是各地层岩组区域的土壤侵蚀景观格局中的景观基质。

表3 各岩组区域土壤侵蚀景观斑块特征指数

景观类型	白云岩		石灰岩		砂页岩		玄武岩	
	CA	%LAND	CA	%LAND	CA	%LAND	CA	%LAND
微度	16091.72	74.53	38855.57	66.19	40255.21	71.17	6730.66	77.20
轻度	2366.18	10.96	4620.33	7.87	4810.96	8.51	401.33	4.60
中度	2113.68	9.79	8675.45	14.78	5979.84	10.57	770.89	8.84
强度	834.43	3.86	4580.19	7.80	3889.57	6.88	506.68	5.81
极强度	133.78	0.62	1670.54	2.85	1421.38	2.51	285.95	3.28
剧烈	50.17	0.23	304.34	0.51	204.01	0.36	23.41	0.27
小计	21589.96	100.00	58706.42	100.00	56560.97	100.00	8718.92	100.00

面积是景观斑块最容易识别的特征,面积的大小会直接影响到干扰斑块的土壤流失难易程度,斑块面积越小,土壤越容易与周围景观发生元素交换,土壤越容易流失,从而推动土壤流失程度的加深。从表3中知,4种岩组类型中微度侵蚀面积最大,其余几种侵蚀类型面积较小,从而也说明斑块内土壤流动较易发生,且受周围其他土壤侵蚀景观的影响加大。

2.2.2 景观斑块形状指数 斑块形状主要受斑块边界线的影响,边界线的曲折程度直接决定了斑块形状的复杂程度,而斑块形状复杂程度会影响斑块的内部物质与外界能量交换的活跃程度。斑块内部与外界物质交换活动越频繁,土壤流失越容易。边缘密度(ED)是景观中用斑块边界除以斑块总面积,边缘密度值越大,表明斑块形状越复杂。由表4各地层岩组区域土壤侵蚀景观斑块形状特征可知,4种地层岩组区域边缘密度值最大都为微度侵蚀的,最小的都为剧烈侵蚀,而且从表中看出边缘密度都是随着土壤侵蚀

等级的增加而减少,说明斑块形状表现得越简单,土壤流失越严重,斑块形状表现得越复杂,土壤流失程度越轻。

平均斑块分维数(MPFD)是一个用来衡量斑块形状的景观指数,其值的大小描述了景观斑块形状的规则程度;其值在取值范围内($1 \leq MPFD \leq 2$)越接近1,说明斑块形状越简单,反之,越接近2,就越复杂。形状越复杂说明斑块受外界影响越小,斑块是天然形成的,反之,形状越简单则受外界影响越大,就越容易发生土壤流失。由表4可以看出,微度侵蚀景观平均斑块分维数(MPFD)是各地层岩组中最大的,即说明微度侵蚀斑块形状最为复杂,斑块是天然形成的,受到外界影响最小;反之,剧烈侵蚀景观数值最小,形状较为规整,说明斑块受到外界影响最大。同种侵蚀等级间的平均斑块分维数数值相差不大,说明各相同等级在其演化形成过程中具有相似性,受到外界干扰越大的斑块土壤流失程度越高,斑块形状越规则。

表4 各岩组区域土壤侵蚀景观斑块形状特征

景观类型	白云岩		石灰岩		砂页岩		玄武岩	
	ED	MPFD	ED	MPFD	ED	MPFD	ED	MPFD
微度	37.94	1.05	42.05	1.04	35.66	1.04	37.43	1.05
轻度	21.38	1.03	15.24	1.04	13.00	1.02	10.12	1.03
中度	17.79	1.04	23.01	1.04	16.82	1.03	14.98	1.03
强度	7.27	1.03	13.19	1.03	11.84	1.04	10.20	1.04
极强度	1.50	1.02	5.59	1.03	4.87	1.03	5.58	1.03
剧烈	0.41	1.02	1.07	1.02	0.90	1.01	0.65	1.02

2.2.3 景观斑块异质性 景观斑块的内部空间状况可以通过景观异质性指数分析得出,从而从整体上面反映景观空间分布的结构特征。根据表5分析相关异质性指数,得到不同地层岩组区域土壤侵蚀景观格

局。平均最近距离(MNN)可以反映同类斑块的离散程度或团聚的分布状况,其取值范围为 $MNN > 0$,其值越大,表示同类型斑块之间的距离越远。由表5分析可知,随着侵蚀等级的增加,平均最近距离是呈增

加趋势;各地层岩组区域中,微度侵蚀平均最近距离值最小,说明微度侵蚀斑块间距离较近,分布较为集

中;剧烈侵蚀斑块平均最近距离值最大,说明剧烈侵蚀斑块间距离较远,分布不集中。

表 5 不同岩组区域土壤侵蚀景观斑块异质性指数

景观类型	白云岩		石灰岩		砂页岩		玄武岩	
	MNN	PSSD	MNN	PSSD	MNN	PSSD	MNN	PSSD
微度	149.49	1.65	151.91	6.76	178.73	2.12	216.82	2.36
轻度	211.25	10.98	274.83	9.67	337.43	9.49	350.48	5.48
中度	263.38	8.43	233.40	8.02	289.69	28.72	351.83	9.58
强度	443.77	9.83	316.37	24.79	326.6	18.92	598.91	19.30
极强度	687.39	2.48	443.97	18.05	547.29	9.42	535.06	14.07
剧烈	4291.11	14.96	1229.56	37.24	947.00	85.11	3313.72	18.37

景观类型的斑块面积标准差(PSSD)可以衡量各斑块异质性,当斑块大小一致或是只有一种斑块时,PSSD=0。斑块面积标准差值越大,景观斑块就越破碎,异质性程度越高。由表 5 中斑块面积标准差值可知,白云岩区、石灰岩区、砂页岩区和玄武岩区斑块面积标准差值最大都是出现在剧烈侵蚀斑块,最出现在微度侵蚀斑块,说明剧烈侵蚀景观具有较高的异质性,破碎化程度也较高。较高的破碎度反映出人类对剧烈侵蚀斑块的干扰程度相对于微度侵蚀斑块高,所以剧烈侵蚀斑块受到较多影响,导致斑块土壤流失较严重。

2.3 不同岩组下土壤侵蚀景观格局的差异

景观类型特征指数可以反映各景观斑块内部的空间分布状况,从而在整体上反映景观的空间结构特征。由表 6 可知,白云岩区侵蚀斑块的面积标准差远大于其他 3 种岩组类型侵蚀斑块,表明白云岩区的各侵蚀斑块之间的差异是最大的,斑块大小也最不均匀,异质性特征也最为明显,其次为砂页岩区和玄武岩区,石灰岩区斑块面积标准差最小,在几种岩组类型中具有最低的异质性。

由表 6 可见,四组岩组类型的组间平均斑块分维数一致,其值都较接近 1,没有明显大的波动,但是在组内都明显是微度侵蚀景观斑块值最大,剧烈侵蚀斑块值最小,具有一致性,说明各类型组间形状复杂程度基本一致,但是组内由于侵蚀等级的不同而产生较大差异。散布与并列指数(IJI)。在景观级别上用来计算各个斑块类型间的散布与并列状况,其取值范围 0~100,当其取值较小时,表示斑块类型只与较少数几种类型的斑块相连,斑块之间因为某种限制性因素导致斑块分布较为破碎;当取值为 100 时表示各斑块间比邻边长均等,即各斑块比邻概率均等,斑块间邻近程度比较高。由表 6 可见,各岩组类型散布并列指数都大于 50,其中石灰岩>砂页岩>玄武岩>白云岩,说明石灰岩区域斑块较其他 3 种景观类型分布集

中,白云岩区域景观最为破碎,即白云岩区具有较高的景观异质性。

表 6 各景观类型特征指数

岩组类型	PSSD	MPFD	IJI	Shannon
白云岩	437.80	1.03	58.93	0.42
石灰岩	273.81	1.03	72.14	0.53
砂页岩	327.86	1.03	73.19	0.47
玄武岩	319.48	1.03	70.45	0.39

景观多样性指数(Shannon)是指由不同景观要素组成的,在景观空间结构上具有多样性或者是变异性,一般采用 Shannon 均匀度指数和 Shannon 多样性指数来反映。Shannon 均匀度指数和多样性指数可以直观表达景观的复杂程度。当 Shannon 多样性指数值为 0 时,表示当前景观只有一种景观要素组成或是景观类型是均质的,但当多样性指数越高时,景观要素类型就越丰富,斑块间的信息交流也会越频繁;而 Shannon 均匀度指数取值为 1 时,表示各类型斑块均匀分布,那么景观就有最大的多样性和最小的优势度。通过对表 6 数据进行分析可知,石灰岩区 Shannon 均匀度指数为 0.53,是几种景观类型中最接近 1 的,其次是白云岩区、砂页岩区和玄武岩区;说明石灰岩区景观斑块较其他几种景观类型在面积上分布较为均匀;玄武岩区 Shannon 均匀度指数最低,则相应的具有最高的多样性,即玄武岩区景观要素多样化,斑块之间进行信息流通更多。

3 结论

选择普安县的四组不同岩组类型进行分析,结果表明 4 种景观类型在不同种景观类型间在土壤侵蚀景观格局上有类似性,但是同种类型间侵蚀斑块具有较大的差异性,通过对上文中数据分析得出以下结论:

普安县总体土壤侵蚀特征:白云岩分布面积最广,其次是石灰岩,砂页岩和玄武岩面积较少,土壤侵蚀流失最为严重的是玄武岩区域;石灰岩区域和白云

岩区微度侵蚀所占比例分别为 74.53% 和 66.19%，是 4 种岩组中所占比例最大的，但石灰岩区剧烈侵蚀比例最高为 0.52%，白云岩区域剧烈侵蚀比例最低为 0.23%，说明石灰岩区域虽然总体侵蚀程度不高，但是局部侵蚀较为严重。

普安县土壤侵蚀景观格局特征来说，4 种岩组区域土壤侵蚀景观基质都是微度侵蚀。微度侵蚀具有斑块分布较为集中，斑块形状较为复杂，斑块间的差异性较大，异质性程度不高，说明微度侵蚀受到外界干扰不严重；相比剧烈侵蚀，斑块分布较远，且形状较为规整，斑块破碎度、异质性程度较高，受到外界影响程度较严重。

普安县不同地层岩组土壤侵蚀景观格局存在差异，由研究分析可知，白云岩区景观最为破碎，具有较高的异质性，石灰岩区侵蚀斑块分布较为集中；通过 Shannon 均匀度指数分析可知，玄武岩区具有最高的多样性，斑块间的信息交流最为频繁。

参考文献：

- [1] 李占斌,朱冰冰,李鹏.土壤侵蚀与水土保持研究进展[J].土壤学报,2008,45(5):802-809.
- [2] 蒋学纬,周正立,李凯荣.景观生态学原理在流域规划中的应用[J].西北林学院院报,2003,18(2):112-115.
- [3] 孟庆华,傅伯杰.景观格局与土壤养分流动[J].水土保持学报,2000,14(3):116-121.
- [4] 傅博杰,陈利顶,王军.土地利用结构与生态过程[J].第四纪研究,2003,23(3):247-255.
- [5] 刘立文,邢立新,郭青霞,等.基于景观格局分析的土壤侵蚀时空关系研究[J].科学技术与工程,2013,13(25):7443-7449.
- [6] 朱惇,韩小波,李超.基于景观空间格局分析的土壤侵蚀时空演变研究[J].人民长江,2014,45(5):71-74.
- [7] 杨翠林.农牧交错带小流域景观格局与土壤侵蚀耦合关系研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [8] 杨泽.兴县土壤侵蚀及景观格局研究[D].山西晋中:山西农业大学,2015.
- [9] 张乃夫.安徽新安江流域景观格局特征及土壤侵蚀评价[D].山东泰安:山东农业大学,2014.
- [10] 傅伯杰,赵文武,陈利顶,等.多尺度土壤侵蚀评价指数[J].科学通报,2006,51(16):1936-1943.
- [11] 向万丽,高华端,李兴春.清镇市土壤侵蚀强度景观空间格局分析[J].中国水土保持,2012(5):40-43,76.
- [12] 谭秋,周梦维,王华,等.贵州连续性白云岩小流域的石漠化景观格局[J].生态学杂志,2009,28(8):1613-1618.
- [13] 谭秋.贵州连续性石灰岩小流域石漠化景观格局研究[J].矿物岩石地球化学通报,2009,28(3):217-222.
- [14] 唐睿,王晓红,舒天竹,等.喀斯特山区土壤侵蚀垂直景观格局分析[J].山地农业生物学报,2017,36(1):30-35.
- [15] 何鹏,张会儒.常用景观指数的因子分析和筛选方法研究[J].林业科学研究,2009,22(4):470-474.
- [16] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [17] 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.
- [18] 中国气象局国家气象中心.中国气象地理区划手册[M].北京:气象出版社,2011.
- [19] 刘多森,汪纵生.可能蒸散量动力学模型的改进及其对辨识土壤水分状况的意义[J].土壤学报,1999,33(1):21-27.
- [20] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [21] 顾骏强,施能,薛根元.近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化[J].应用气象学报,2002,13(3):322-329.
- [22] 陈晓光,李林,朱西德,等.青海省气候变化的区域性差异及其成因研究[J].气候变化研究进展,2009,5(5):249-254.
- [23] 王慧.近 50 年青海省风速的变化特征分析[J].科技资讯,2013(1):130-131.
- [24] 田莉,奚晓霞.近 50 年西北地区风速的气候变化特征[J].安徽农业科学,2011,39(32):20065-20068.
- [25] 代子俊,赵霞,李冠稳,等.2000—2015 年青海省植被覆盖的时空变化特征[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2018,46(7):1-12.
- [26] 李璠,徐维新.2000—2015 年青海省不同功能区 NDVI 时空变化分析[J].草地学报,2017,25(4):701-710.

(上接第 30 页)