

三峡库区重庆段水蚀荒漠化时空演变特征研究

周启刚, 陈 丹

(重庆工商大学 旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

摘 要:在人类对物质的需求大幅度增加的背景下,土地利用的不合理以及植被覆盖率降低等问题,直接导致土地水蚀荒漠化的形成与加剧,土地作为人类的核心生产要素和生态环境的载体,又将直接受到水蚀荒漠化的影响。文章基于 RS 和 GIS 技术,综合运用图谱分析、地形梯度分析以及幅度分析方法,分析了 2003—2011 年间三峡库区重庆段在三峡蓄水工程期间水蚀荒漠化的动态变化规律,研究水蚀荒漠化的时空演变特征。研究表明:目前为止,库区蓄水对三峡库区重庆段水蚀荒漠化现象产生了一定的影响作用,主要表现为库区周围水蚀荒漠化时空演变特征相对显著;2003—2011 年间三峡库区重庆段不同程度水蚀荒漠化的空间组成结构、数量变化、平面重心分布以及基于地形特征下的图谱变化类型分布都呈现出明显的差异性;8 a 期间三峡库区重庆段水蚀荒漠化现象改善趋势不明显,水蚀荒漠化在轻度水蚀荒漠化区域以及高程为 500~1 200 m,坡度为 15°~25°的区域呈现出最不稳定的时空变化特征;地形因子与水蚀荒漠化现象存在密切关系。研究可为三峡库区重庆段土地开发整理的区域选择和生态环境的保护提供参考和依据。

关键词:水蚀荒漠化;图谱分析;地形梯度;RS 和 GIS;三峡库区

中图分类号:P931.3;X141

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)02-0058-09

Researched on Time-space Evolution Characteristics of Waterpower Desertification in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing

ZHOU Qi-gang, CHEN Dan

(School of Tourism and Land Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: With the increasingly number of material that human needs, the problems of unreasonable land use and low vegetation coverage are causing the formation and aggravation of waterpower desertification. Land as human central production element and the vector of ecological environment will be affected directly by waterpower desertification. Based on RS and GIS technology, this paper synthetically applied the methods of atlas analysis, topographic gradient and amplitude analysis. Time-space evolution characteristics of waterpower desertification were studied through the analyzing of the dynamic change law of waterpower desertification in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing from 2003 to 2011. The results show that the effect of water storage on waterpower desertification is rising. Time-space evolution characteristics of waterpower desertification is notable relatively around the Three Gorges Reservoir Area. The distribution of spatial structure, quantitative change, and the type of changing map basing on terrain feature at different waterpower desertification degrees have presented obvious differences in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing. During 8 years, the improvement trend of waterpower desertification is not apparent. The time-space evolution characteristics of waterpower desertification have appeared the most unstable trend in the area of the low-grade waterpower desertification, and the time-space evolution characteristics of waterpower desertification in the area that slope in 15°~25° and elevation in 500~1 200 m is also unstable. There is a close relationship between terrain factor and waterpower desertification. This paper aims to provide reference to choose the area of land development and consolidation or protect the ecological environment in Three Gorges Reservoir Area of Chongqing.

Key words: waterpower desertification; atlas analysis; topographic gradient; RS and GIS; Three Gorges Reservoir Area

荒漠化主要是由于人类过度的经济活动造成生态系统的脆弱和自然环境的退化,破坏其平衡,导致生态环境不可持续的发展^[1]。水蚀荒漠化属于荒漠化的一种形式,主要以人为破坏植被的地段作为突破口,是在流水作用下土壤逐步产生的一种以片形和沟形为主的侵蚀现象^[2]。这种片蚀和沟蚀会导致土壤蓄水能力丧失,引起土壤养分流失,不但破坏自然生态环境,同时影响人类社会经济的发展^[3]。近年来,我国的流水侵蚀现象突出,水蚀荒漠化区域已成为环境保护的重点区域,更是土地开发整治的核心区域^[4]。部分学者针对水蚀荒漠化作了研究,研究主要包括水蚀荒漠化的评价模型和自动提取的方法研究、水蚀荒漠化的危险程度评价研究以及水蚀荒漠化的遥感调查与检测等^[5-10]。前期有关水蚀荒漠化的研究成果较少,缺乏三峡库区重庆段水蚀荒漠化动态变化的县域专项研究。

水蚀荒漠化存在时间过程到空间格局变化的时空演变,RS和GIS是进行时空演变分析的最主要的技术方法,运用时间过程和空间格局相结合的分析方法^[11-13],将水蚀荒漠化落实到具体的空间位置,综合研究分析其空间—属性—过程三大特征,基于时空复合的地学信息图谱分析是合成“空间—属性—过程一体化数据”图谱单元的关键^[14-17]。地形作为自然环境中的重要因素,其特点直接影响地面的物质流动与能量转化^[18-23],通过研究分析基于地形梯度的水蚀荒漠化分布特征,有利于揭示地形因子与水蚀荒漠化的驱动关系。

三峡库区流经的区域大多地形复杂,且地势起伏较大,特别是重庆段区域^[24]。重庆地区土地利用受到地形的严重制约,人地矛盾突出,地表自然环境分布特征明显^[25]。重庆是三峡库区蓄水工程的核心区域,人为驱使库区水面上升或多或少会影响区域的生态环境。本文以三峡库区重庆段为研究对象,从对2003年和2011年两期遥感正射影像水蚀荒漠化的提取和分类入手,分析研究区2003—2011年水蚀荒漠化数量、结构以及平面重心迁移变化,研究其时空变化幅度;根据地学信息图谱分析理论,对水蚀荒漠化图谱类型进行重组分析,揭示其时空动态演变的图谱特征;基于DEM数据分析水蚀荒漠化在地形因子影响下的垂直梯度分布及变化特征。研究结果旨在剖析三峡库区蓄水进程中对土地利用和生态环境造成的影响,为制定区域土地利用整治方案以及环境保护相关制度和政策提供参考,并以期能为中国同类型区域的水蚀荒漠化研究提供方法和思路上的参考。

1 研究区概况与数据来源

重庆市位于中国西南片区,属于中国最大的城市之一。三峡库区重庆段位于长江上游下段,向东延伸至巫山县,向西到达江津市,南北连接武隆县和开县,坐标范围在北纬 $28^{\circ}28'$ — $31^{\circ}44'$ 、东经 $105^{\circ}49'$ — $110^{\circ}12'$ 的一个狭长地带。三峡库区是备受中国乃至世界关注的特殊的生态功能区,其生态环境相对脆弱。

本研究主要采用TM正射遥感影像数据、野外考察数据、坡度数据以及其他相关有效数据。影像数据为2003年和2011年的TM正射遥感影像数据,空间分辨率为30 m,野外考察范围较广,包括巫山、巫溪、开县、奉节、云阳、忠县、石柱、丰都、涪陵、长寿、江津等地区。并将研究区1:5万的数字高程模型(DEM)数据、运用ArcGIS中的Spatial Analyst模块根据DEM数据获得的坡度数据,通过运用TM遥感数据的3波段和4波段计算NDVI值反演的地面植被覆盖指数数据作为研究辅助材料。

2 研究方法

2.1 遥感数字图像处理与信息提取

结合本次研究过程中对遥感正射影像数据目视判读和研究分析的需要,利用ERDAS软件中的INTERPRETER模块对获取的原始TM数据进行波段融合;为减少遥感数据获取过程中的误差,利用数据预处理模块对研究区两期遥感正射影像数据进行辐射校正和几何精校正,并统一采用Albers投影方式,中央经线为 105° ,双标准纬线分别为 25° 和 47° 。本次研究在遥感数据的处理过程中尽量控制不同时相数据在空间位置上的偏差,将偏差控制在0.5个像元之内。目视判读解译过程中主要提取2,3,4波段的遥感影像数据,并以4,3,2的顺序显示,有利于提高人工解译的精准度。

水蚀荒漠化主要是人类活动和自然因素综合作用下产生的,水流侵蚀作用产生的片蚀和沟蚀将引起土壤松弛,进而剥离土壤,甚至导致植被覆盖率降低、土地生产力下降、劣地面积增大以及岩石裸露等现象。基于三峡库区重庆段两期遥感正射影像图,综合分析水蚀荒漠化产生的原因和导致的结果,结合科学性和遥感影像可判读性原则,通过内业判读和实地考察核对,将水蚀荒漠化程度划分为无水蚀荒漠化、轻度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化以及重度水蚀荒漠化4个级别,水域不判为水蚀荒漠化区域,并提取研究区2003年和2011年两个时点的水蚀荒漠化程度解译数据。各等级水蚀荒漠化的具体判读标准如表1所示^[26]。

表 1 研究区水蚀荒漠化分级体系

水蚀荒漠化代号	水蚀荒漠化名称	劣地或石质坡地占该地面积的比例/%	植被覆盖/%	地表景观综合特征
SS-0	无水蚀荒漠化	无	>70	植被覆盖度高,地形平坦
SS-1	轻度水蚀荒漠化	≤10	(50,70]	斑点状分布的劣地或石质坡地;沟谷切割深度在 1 m 以下,片蚀及细沟发育;地表零星分布裸露沙石
SS-2	中度水蚀荒漠化	(10,30]	(30,50]	有较大面积分布的劣地或石质坡地,沟谷切割深度在 1~3 m,裸露沙石地表分布较广泛
SS-3	重度水蚀荒漠化	≥30	≤30	密集分布的劣地或石质坡地;地表切割破碎,沟谷切割深度在 3 m 以上

2.2 水蚀荒漠化变化幅度

水蚀荒漠化变化分析可充分结合土地利用变化分析的指标,主要包括面积变化、时空变化和质量变化三大类^[27]。分析水蚀荒漠化的时空变化幅度能够更为具体地表现出研究区水蚀荒漠化的时空变化程度以及时空变化趋势。本文采用的分析指标主要包括水蚀荒漠化总量变化幅度、水蚀荒漠化等级转移幅度、水蚀荒漠化平面重心迁移幅度。

2.3 水蚀荒漠化平面重心迁移

2.3.1 水蚀荒漠化平面重心模型 平面重心迁移主要表达土地利用在平面空间位置的变化^[28]。利用平面重心模型计算各水蚀荒漠化程度类型在平面坐标下不同时期的重心位置,从而分析在地理二维空间各时期的重心位移,揭示各程度水蚀荒漠化的平面空间迁移变化过程。平面重心计算模型如下^[29]:

$$X_k=\frac{\sum_{i=1}^n(A_{ki}\times X_{ki})}{A_k} \quad Y_k=\frac{\sum_{i=1}^n(A_{ki}\times Y_{ki})}{A_k} \quad (1)$$

式中: X_k —— k 类水蚀荒漠化程度重心 X 坐标值; Y_k —— k 类水蚀荒漠化程度重心 Y 坐标值; A_{ki} —— k 类水蚀荒漠化程度中图斑 i 的面积; X_{ki} —— k 类水蚀荒漠化程度中图斑 i 对应范围内 X 坐标的平均值; Y_{ki} —— k 类水蚀荒漠化程度中图斑 i 对应范围内 Y 坐标的平均值; A_k —— k 类水蚀荒漠化程度总面积。

2.3.2 水蚀荒漠化平面重心迁移速率 土地利用重心迁移速率能更直接揭示各土地利用类型空间变化速度^[30]。同理,本文采用重心迁移速率揭示水蚀荒漠化各程度重心在平面上的变化速率,重心迁移速率计算模型如下^[29]:

$$P_{k(t_2-t_1)}=\frac{\sqrt{[x_{k(t_2)}-x_{k(t_1)}]^2+[y_{k(t_2)}-y_{k(t_1)}]^2}}{t_2-t_1} \quad (2)$$

式中: t_2, t_1 ——截止时间和起始时间; P_k —— k 类水蚀荒漠化程度平面重心迁移速率; x_k, y_k —— t 时间 k 类水蚀荒漠化程度重心 x, y 坐标值。

2.4 水蚀荒漠化变化图谱

在 ArcGIS 软件支持下,获得研究区 2003—2011

年水蚀荒漠化变化信息图谱,对研究区两期水蚀荒漠化数据进行图谱分析,从而能够定量、直观地分析水蚀荒漠化的时空变化历程^[31-32]。本次研究将水蚀荒漠化图谱变化模式归纳为 3 种类型:(1) 稳定型:无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化、轻度水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化、重度水蚀荒漠化—重度水蚀荒漠化、水系—水系、水系—无水蚀荒漠化、无水蚀荒漠化—水系;(2) 减轻型:轻度水蚀荒漠化—水系、轻度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化—水系、重度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化、重度水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化、重度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化、重度水蚀荒漠化—水系;(3) 加剧型:水系—轻度水蚀荒漠化、水系—中度水蚀荒漠化、水系—重度水蚀荒漠化、无水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化、无水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化、无水蚀荒漠化—重度水蚀荒漠化、轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化、轻度水蚀荒漠化—重度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化—重度水蚀荒漠化。

2.5 地形位指数及分级

2.5.1 地形位指数 地形位指数是综合考虑高程和坡度两个地形因子的指标,能够定量分析水蚀荒漠化各程度的变化与地形梯度之间的相互关系。研究采用的地形位指数用以下公式进行计算^[33]:

$$T=\ln[(\frac{E}{\bar{E}}+1)\times(\frac{S}{\bar{S}}+1)] \quad (3)$$

式中: T ——地形位指数; E ——空间任一坐标点的高程值; \bar{E} ——所在区域的平均高程值; S ——空间任一点坡度值; \bar{S} ——所在区域平均坡度值。

2.5.2 地形位指数分级 研究区域内平均海拔高度达 670 m,低海拔区域相对较少,内部起伏大。利用研究区 DEM 数据统计分析,300 m 以下的区域大多被水域淹没,300~600 m 区域内的水蚀荒漠化类型最为集中,1 200 m 以上区域的水蚀荒漠化类型相对单一。综合考虑上述原因,将研究区的高程划分为 6

个等级： $\leq 300\text{ m}$ ， $300\sim 400\text{ m}$ ， $400\sim 500\text{ m}$ ， $500\sim 600\text{ m}$ ， $600\sim 1\,200\text{ m}$ ， $>1\,200\text{ m}$ 。

利用研究区 1：5 万的 DEM 数据生成坡度数据。根据研究区坡度数据统计分析，并结合国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会的坡度分级体系和土地利用类型中的耕地分级体系^[34]，首先将研究区内 $0\sim 25^\circ$ 的坡度划分为 $0\sim 2^\circ$ ， $2^\circ\sim 6^\circ$ ， $6^\circ\sim 15^\circ$ ， $15^\circ\sim 25^\circ$ ； $>35^\circ$ 的陡坡水蚀荒漠化程度类型单一，并结合重庆山地城市的地形地貌特征，将研究区坡度 $>25^\circ$ 的区域划分 $25\sim 35^\circ$ ， $>35^\circ$ 两个坡度级。基于以上坡度分级思路，将研究区坡度划为六个坡度级： $0\sim 2^\circ$ ， $2^\circ\sim 6^\circ$ ， $6^\circ\sim 15^\circ$ ， $15^\circ\sim 25^\circ$ ， $25^\circ\sim 35^\circ$ ， $>35^\circ$ 。

结合高程和坡度分级的间隔点来划分地形位指数级别，将高程和坡度每级的间隔点运用公式(3)生成地形位指数分级的间隔点，划分为 6 个级别： $0\sim 0.699$ ， $0.699\sim 1.054$ ， $1.054\sim 1.541$ ， $1.541\sim 1.942$ ， $1.942\sim 2.642$ 。

2.6 地形分布指数

为了能够定量分析各程度水蚀荒漠化在地形因子作用下的垂直梯度分布规律，本研究采用计算分布指数的形式，分布指数消除了不同地形段的面积差异和不同景观组分的面积比重差异的影响，本文引入分布指数来描述各程度水蚀荒漠化在地形梯度上的分布情况，其计算公式为^[33]：

$$P=\frac{S_{ie}}{S_i}/\frac{S_e}{S}\tag{4}$$

式中： P ——分布指数； e ——地形因子； S_{ie} —— e 地形

因子某等级下 i 种水蚀荒漠化程度的面积； S_i ——研究区内第 i 种水蚀荒漠化程度的总面积； S_e ——整个研究区内 e 地形因子某等级的总面积； S ——整个研究区的面积。

3 结果与分析

3.1 水蚀荒漠化变化幅度特征分析

3.1.1 水蚀荒漠化总量变化幅度特征分析 从水蚀荒漠化数量变化的总态势可知(表 2)，2003 年和 2011 年两个时点三峡库区重庆段各程度水蚀荒漠化的分布数量与变化幅度存在差异性。无水蚀荒漠化面积在两年中的比例皆为最大，随着水蚀荒漠化程度的增强，水蚀荒漠化各等级的面积呈现出显著的下降趋势，其中，无水蚀荒漠化面积在 2003 年占 64.16%，2011 年占 64.27%，重度水蚀荒漠化的面积最少，在 2003 年占 1.34%，2011 年只占 1.15%，中度和重度水蚀荒漠化面积分布所占比例总和不到全区域的 10%，2003 年以来水蚀荒漠化的主要表现为轻度，占水蚀荒漠化面积的 79.21%，2011 年达到 80.02%。

2003—2011 年间，各等级水蚀荒漠化的数量变化幅度不大，水蚀荒漠化面积减少，以重度和中度水蚀区域减少最多，达到 86 km²，无水蚀区域面积增大，表明三峡库区重庆段水蚀荒漠化现象总体上得到一定的改善，其增加面积不大。由此可见，无水蚀荒漠化的面积增加，水蚀荒漠化面积得到小幅度控制，但总体改善趋势不明显。

表 2 2003—2011 年研究区各程度水蚀荒漠化数量统计

年份	无水蚀荒漠化		轻度水蚀荒漠化		中度水蚀荒漠化		重度水蚀荒漠化	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
2003	29901.71	64.16	12706.9	27.26	2711.45	5.82	622.72	1.34
2011	29951.67	64.27	12657.43	27.16	2624.57	5.63	536.41	1.15
总量变化	49.96	0.11	−49.47	−0.1	−86.88	−0.19	−86.31	−0.19

3.1.2 水蚀荒漠化等级转移变化幅度特征分析 从水蚀荒漠化各等级之间的转移变化矩阵(表 3)可以看出，2003—2011 年三峡库区重庆段各程度水蚀荒漠化的转移幅度和转移方向存在明显的差异。主要表现为无水蚀荒漠化、轻度水蚀荒漠化和中度水蚀荒漠化之间的相互转移，特别是以无水蚀荒漠化和轻度水蚀荒漠化之间的相互转移为主，无水蚀荒漠化向轻度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化的转移幅度小于后两者向无水蚀荒漠化转移的幅度；轻度水蚀荒漠化转为无水蚀的面积达到 98.84 km²，是水蚀荒漠化等级相互转移中幅度最大的，这部分转移主要依赖人为改善自然和生态环境自身修复作用，驱使大量轻度水蚀向

无水蚀荒漠化转移，以及部分重度和中度水蚀程度减轻。轻度水蚀荒漠化和中度水蚀荒漠化相互间的转移幅度仅次于轻度水蚀荒漠化和无水蚀荒漠化之间的转移幅度，中度水蚀荒漠化的转出类型主要为轻度水蚀荒漠化，轻度水蚀荒漠化转出类型主要为无水蚀荒漠化和中度水蚀荒漠化。通过统计各类水蚀转入转出幅度及其比例的差值可知，不同程度水蚀荒漠化的转移主要表现为向相邻程度级转移的趋势，尤其表现为轻度水蚀荒漠化与无水蚀荒漠化之间的转移，轻度水蚀荒漠化作为水蚀荒漠化的最初等级，只要稍加治理，使其转为无水蚀荒漠化，是快速改善库区水蚀荒漠化现象的有效途径。研究区内有高达 15 km² 面

表 5 2003—2011 年研究区水蚀荒漠化图谱变化类型汇总

图谱变化 类型	面积/ km ²	占总面积 比例/%	最大图谱类型	最大图谱类型 面积/km ²	最大图谱类型 面积比例/%
加剧型	96.16	0.21	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	41.13	42.77
减轻型	261.39	0.56	轻度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	98.87	37.82
稳定型	46245.72	99.23	无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	29815.96	64.47

3.3 水蚀荒漠化地形梯度分布特征

3.3.1 水蚀荒漠化等级在地形梯度的分布特征 结合公式(3)和公式(4),计算分析研究区各等级水蚀荒漠化在地形位分级上的分布指数,通过研究区地形位指数分布可以看出,地形位指数的分布很显著地表现出重庆典型山地区域的地形特征,并与研究区内各大山脉的位置及其走向保持高度一致。研究区从西南部到东北部地形位指数等级分布大致表现出逐渐升高的趋势,从研究区东部到西部方位来看,地形位等级也呈现出递增趋势,地形起伏度越大以及地形越趋于复杂的区域正是地形位指数越高的区域。等级最高的地形位主要分布在研究区最东北边的巫山和巫溪两大县,其次,地形位相对较高的区域主要包括:奉节、云阳、石柱以及武隆等区县;重庆都市区内涉及的研究区域地形位等级相对较低,且等级差异较小。

由图 2 和表 6 可以看出,水系在 2003 年整体分布指数随地形级数的升高而呈陡坡下降趋势,在一级地形上具有明显的优势分布,在二、三级地形上也有

一定分布,但不具优势,四、五、六级地形上几乎没有分布;在 2011 年,水系的整体分布趋势与 2003 年大致相同,但在 2011 年的优势分布地形由 2003 年仅有的一级地形变为一、二级地形同时兼有。无水蚀荒漠化在 2003 年和 2011 年的总体分布上随地形级数的升高都呈现出比较平稳的下降趋势,在一、二、三级地形上具有优势分布。轻度水蚀荒漠化在 2003 年的总体分布上随地形级数的升高而呈较平稳的上升,只是在六级地形的分布上相较于五级地形略有下降,其中,在三、四、五、六级地形上的分布具有明显的优势分布;在 2011 年,轻度水蚀荒漠化在一级地形上的分布有较大变化,开始具有优势地位。中度水蚀荒漠化在 2003 年和 2011 年的总体分布上随地形级数的升高而呈上升趋势,都稳定集中分布在三、四、五、六级地形位上;重度水蚀荒漠化在 2003 年和 2011 年总体分布上都随地形级数的升高而呈上升趋势,一、二、三、四级趋势较缓,四级以后呈陡坡上升,且在四、五、六级地形上呈现优势分布。

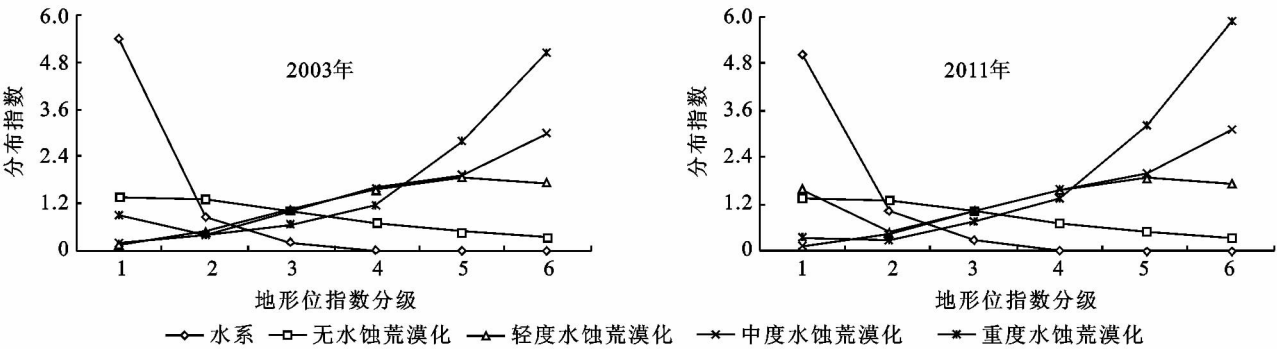


图 2 不同年份研究区各等级水蚀荒漠化在不同地形位分级下的分布指数

2003 年和 2011 年 2—6 级地形位上的水蚀荒漠化组合结构表现出一致的趋势,在 1 级地形位上的水蚀荒漠化组合形式存在较大的差异。1 级地形位上各等级水蚀荒漠化的分布,在 2003 年,水系和无水蚀荒漠化占优势分布,其中,水系分布优势最为明显,重度水蚀荒漠化有一定量的分布,但还不构成优势分布,轻度和中度水蚀荒漠化均有微量分布;在 2011 年,水系和无水蚀荒漠化依然占优势分布,但轻度水蚀荒漠化变为优势分布,重度水蚀荒漠化相较于 2003 年有所下降,中度水蚀荒漠化相对稳定;二级地形上,2003 年与 2011 年的分布指数由高至低都是依

次为无水蚀荒漠化、水系、轻度、中度和重度水蚀荒漠化,后三者分布指数基本相当,皆不处于优势地位;三级地形上,无水蚀、轻度水蚀、中度水蚀荒漠化分布指数大致相同,分布指数也最高,重度水蚀荒漠化次之,具有优势分布的是分布指数最高的无水蚀、轻度水蚀和中度水蚀荒漠化;四级地形上,轻度水蚀和中度水蚀荒漠化分布指数最高,重度水蚀荒漠化次之,无水蚀荒漠化的分布指数居于第三位,水系分布指数最低,而且很少,接近于零分布,轻度、中度、重度水蚀荒漠化具有优势分布;五六级地形上,分布指数由高到低依次为,重度水蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化、轻度水

蚀荒漠化、无水蚀荒漠化、水系,轻度、中度、重度水蚀荒漠化具有明显的优势分布。

由以上分析可以得出,各等级水蚀荒漠化的分布与地形等级有密切的关系。地形等级越高,水系和无水蚀荒漠化的分布指数越低,呈一定的负相关;中度水蚀荒漠化的分布指数与地形等级呈正相关;轻度水蚀荒漠化和重度水蚀荒漠化的分布指数除去 2011 年在一级地形上的分布,整体分布指数也是与地形等级呈正相关,说明在 2003—2011 年,由于人为因素的影响,导致轻度水蚀荒漠化在一级地形上的优势分布。

表 6 2003—2011 年研究区各等级水蚀荒漠化在不同地形位等级下的优势分布区间 km ²					
年份	水系	无水蚀荒漠化	轻度水蚀荒漠化	中度水蚀荒漠化	重度水蚀荒漠化
2003	1	1~3	3~6	3~6	4~6
2011	1~2	1~3	1、3~6	3~6	4~6

3.3.2 水蚀荒漠化图谱在地形梯度的分布特征 由图 3 和表 7 可以看出,各等级水蚀荒漠化图谱变化类型在不同地形位等级上的分布指数差异明显,各地形位等级上的图谱变化类型分布指数的结构组合表现出显著的差异性特征,且各等级水蚀荒漠化的分布指数与地形等级存在密切的关系。加剧型在 1—5 级地形位上的分布指数呈现逐渐增大的趋势,直至 4 级地形位起其分布指数大于 1,表现出优势分布地位,6 级

表 7 研究区水蚀荒漠化图谱变化类型在不同地形位等级下的分布指数						
图谱变化类型	1 级地形位	2 级地形位	3 级地形位	4 级地形位	5 级地形位	6 级地形位
加剧型	0.16	0.49	0.95	1.53	2.16	0.36
减轻型	1.49	0.57	0.79	1.32	1.25	0.00
稳定型	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01

从表 8 可以看出,加剧型和减轻型在各地形位等级上的分布显示出明显的差异性和规律性。各地形位等级上的减轻型几乎都以轻度水蚀荒漠化向无水蚀荒漠化的转移为主,而加剧型主要以轻度水蚀荒漠化向中度水蚀荒漠化转移为主;3 级地形位区域地形条件较好,为研究区人地矛盾最为突出的区域,各土地利用类型在该地形位等级上存在较为激烈的竞争趋势,且该区域水蚀荒漠化加剧型以无水蚀荒漠化向轻度水蚀荒漠化转移为主,表明该区域土地利用过程中造成水蚀荒漠化问题较为突出。

研究区存在无水蚀荒漠化向中度水蚀荒漠化以及轻度水蚀荒漠化向重度水蚀荒漠化跨级式加剧的水蚀荒漠化现象,基于地形位等级统计分析两种跨级式水蚀荒漠化的面积和分布指数(表 9)。统计分析

地形位上急剧减少,表明在 1—5 级地形位上地形条件越差,加剧型分布就越多,水蚀荒漠化现象越严重;在 6 级地形位上重度和中度水蚀分布指数最高,且以重度水蚀荒漠化分布为主,因此,该地形等级上水蚀荒漠化加剧的区域分布还相对较少,表明 6 级上的水蚀荒漠化现象较为严重。减轻型主要分布在 1 级、4 级、5 级地形位上,且属 1 级地形位上的分布指数最大,主要是由于三峡库区蓄水,水蚀荒漠化区域被水淹没。稳定型水蚀荒漠化在 1—6 级地形位上分布指数基本保持一致。稳定型和减轻型在 1 级和 2 级地形位上分布指数相对较高;3 级地形位上稳定型和加剧型分布指数较高;减轻和加剧型分布指数在 4 级、5 级地形位上占优势地位;且加剧型分布指数大于减轻型分布指数;6 级地形位上以稳定型为主,存在部分加剧型分布,几乎不存在减轻型的分布。

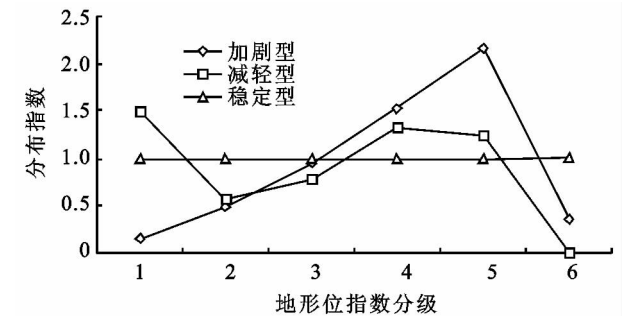


图 3 研究区水蚀荒漠化图谱变化类型在不同地形位等级下的分布指数

表明,这种跨级式加剧的水蚀荒漠化现象主要分布在渝东北的巫溪、奉节、云阳、开县以及渝中部地区的丰都,且主要分布在 2—5 级地形位等级上;这种跨级式加剧的水蚀荒漠化现象以无水蚀荒漠化向中度水蚀荒漠化的转移为主,且在 3—4 级地形位上呈现优势分布。综合分析表明水蚀荒漠化现象的加剧和减轻与地形因子之间存在较大的关联性,高地形位等级上水蚀荒漠化加剧与减轻并存,且相对低地形位等级上的加剧和减轻现象更为突出,但加剧的分布指数大于减轻的分布指数,表明高地形位等级上的水蚀荒漠化现象突出,且最不稳定,总体呈现水蚀荒漠化严重的趋势。3—5 级地形位等级区域为水蚀荒漠化敏感区域,6 级地形位等级区域为水蚀荒漠化最为严重的区域。

表 8 研究区水蚀荒漠化图谱变化类型及其最大图谱类型在不同地形位等级下的面积分布

地形位等级	变化图谱类型	面积/km ²	比例/%	最大图谱类型	面积/km ²	比例/%
1	加剧型	2.07	0.04	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	1.00	48.46
	减轻型	52.37	1.04	重度水蚀荒漠化—水系	48.51	92.63
	稳定型	4978.48	98.92	无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	4199.80	84.36
2	加剧型	9.89	0.13	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	4.23	42.79
	减轻型	30.62	0.40	中度水蚀荒漠化—水系	19.11	62.41
	稳定型	7650.80	99.47	无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	6244.41	81.62
3	加剧型	30.69	0.25	无水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化	14.62	47.62
	减轻型	68.78	0.56	轻度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	33.92	49.32
	稳定型	12273.61	99.20	无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	7700.69	62.74
4	加剧型	30.97	0.40	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	11.81	38.13
	减轻型	71.98	0.93	轻度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	36.99	51.39
	稳定型	7660.75	98.67	无水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	3366.74	43.95
5	加剧型	22.33	0.56	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	14.69	65.78
	减轻型	34.75	0.87	轻度水蚀荒漠化—无水蚀荒漠化	16.63	47.85
	稳定型	3915.36	98.56	轻度水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化	1997.22	51.01
6	加剧型	0.08	0.10	轻度水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	0.08	93.57
	稳定型	85.13	99.90	轻度水蚀荒漠化—轻度水蚀荒漠化	40.96	48.11

表 9 研究区跨级式水蚀荒漠化变化图谱类型在不同地形位等级下的面积及分布指数

图谱类型	1 级地形位		2 级地形位		3 级地形位		4 级地形位		5 级地形位		6 级地形位	
	面积	分布	面积	分布	面积	分布	面积	分布	面积	分布	面积	分布
	/km ²	指数	/km ²	指数	/km ²	指数	/km ²	指数	/km ²	指数	/km ²	指数
无水蚀荒漠化—中度水蚀荒漠化	0.57	0.30	2.23	0.76	5.62	1.19	4.41	1.49	1.21	0.80	0.00	0.00
轻度水蚀荒漠化—重度水蚀荒漠化	0.00	0.00	0.14	0.40	0.55	0.97	0.62	1.73	0.38	2.08	0.00	0.00

4 结论

(1) 2003—2011 年研究区不同程度水蚀荒漠化的空间组成结构、数量变化、平面重心分布以及基于地形特征下的图谱变化类型分布在时空演变过程中呈现出明显的差异性特征。

(2) 近 8 a 以来研究区水蚀荒漠化时空演变最为频繁的区域集中在库区水域周围,其水蚀现象得到小幅度改善,但改善趋势仍然不明显;各程度水蚀荒漠化之间的转换主要以轻度水蚀荒漠化和无水蚀荒漠化之间的相互转移为主,不同程度水蚀荒漠化的转移主要表现为向相邻程度级转移的趋势;轻度水蚀荒漠化类型最不稳定,主要向其相邻的中度水蚀荒漠化和无水蚀荒漠化转移。

(3) 研究区东北部地区水蚀荒漠化时空动态演变最活跃。重度和中度的高等级水蚀荒漠化的平面重心存在逐年向东北方向迁移的趋势,并以重度高速率迁移为主;加剧型和减轻型水蚀荒漠化图谱变化类型主要集中在研究区东北部,且以加剧型分布为主。

(4) 在重庆典型山地城市的地形特征背景下,研究区水蚀荒漠化与地形梯度密切关联,基于高程和坡度下的地形位等级与水蚀荒漠化基本呈现正相关的关系,地形位等级越高,水蚀荒漠化现象越严重,且越

不稳定。

(5) 在坡度为 6°~15°,且高程为 400~500 m 的区域,存在大量无水蚀荒漠化向轻度水蚀荒漠化转移的时空演变区域,土地利用过程中造成的水蚀荒漠化现象突出,土地利用过程中需注重对该区域的土地利用规划;坡度为 15°~35°,且高程为 500~1 200 m 的区域为水蚀荒漠化最为敏感的区域;巫溪、奉节、云阳、开县以及丰都县内的坡度为 6°~25°,且高程为 400~600 m 的区域为水蚀荒漠化跨级加剧的严重区域。因此,这些区域是土地利用监督和整治的重点区域,应加强对该区域水蚀荒漠化的监督和综合治理。

参考文献:

[1] 霍擎,宁小莉,海全胜,等. 基于 RS 与 GIS 的达茂旗土地荒漠化动态监测[J]. 安徽农业科学,2011,39(7):4262-4265.

[2] 周晓蔚,王丽萍,李安强,等. 水蚀荒漠化的最大熵模糊优化评价模型[J]. 水土保持研究,2008,15(1):145-147.

[3] 葛佳,张子鸣,吴成,等. 水蚀荒漠化信息自动提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2012,95(4):88-94.

[4] 聂浩刚,张维吉,李智佩,等. 中国三北地区荒漠化与可持续发展[J]. 地球科学与环境学报,2005,27(4):63-70.

[5] 张苑平,姜端午,黄树春. 水蚀荒漠化遥感信息提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2010,22(增刊):18-20.

- [6] 马泽忠,张海珍. 重庆三峡库区水蚀荒漠化危险程度评价[J]. 三峡环境与生态,2012,34(3):37-40.
- [7] 张海珍,王福海. 基于遥感的重庆三峡库区水蚀荒漠化监测[J]. 三峡环境与生态,2012,34(1):56-59.
- [8] 杜明义,郭达志,武文波. 基于RS、GIS的土地荒漠化时空演变规律及其生态景观重构策略:以辽西北阜新地区为例[J]. 水土保持学报,2001,15(3):61-64.
- [9] 王香鸽,孙虎,吴成基,等. 基于“3S”技术的黄土高原地区水蚀荒漠化研究[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(2):125-129.
- [10] 葛佳,张子鸣,吴成,等. 水蚀荒漠化信息自动提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2012,24(4):88-94.
- [11] 周启刚,张叶. 基于RS和GIS的成都市郊区景观格局分析[J]. 土壤,2007,39(5):813-818.
- [12] 周启刚,周万村,张宝雷,等. 基于RS和GIS三江并流区土地利用/覆被现状格局研究[J]. 水土保持研究,2006,13(6):156-162.
- [13] 陈丹,周启刚,黄永安,等. 基于RS和GIS的三峡库区景观格局分析:以万州区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(1):69-75.
- [14] 谷花云,安裕伦,杨广斌,等. 基于RS、GIS技术对贵州土地利用覆被演化信息图谱研究[J]. 贵州地质,2003,20(3):154-159.
- [15] 彭立,刘邵权. 三峡库区农村发展系统评价与空间格局分析[J]. 农业工程学报,2013,29(2):239-249.
- [16] 叶庆华,刘高焕,姚一鸣,等. 黄河三角洲新生沼泽湿地土地利用变化图谱[J]. 地理科学进展,2003,22(2):141-148.
- [17] 叶庆华,刘高焕,陆洲,等. 基于GIS的时空复合体—土地利用变化图谱模型研究方法[J]. 地理科学进展,2002,21(4):349-357.
- [18] 谷建立,张海涛,陈家赢,等. 基于DEM的县域土地利用空间自相关格局分析[J]. 农业工程学报,2012,28(23):216-224.
- [19] 沈中原,李占斌,朱冰冰,等. 基于GIS的流域土地利用地形分异性特征研究[J]. 西安理工大学学报,2009,25(1):28-32.
- [20] 龚文峰,袁力,范文义,等. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. 农业工程学报,2013,29(2):250-259.
- [21] 贾宁凤,段建南,乔志敏. 土地利用空间分布与地形因子相关性分析方法[J]. 经济地理,2007,27(2):310-312.
- [22] 吴培中,陈俊明,陈松林. 空间关联规则在土地利用与地形特征关系研究中的应用[J]. 亚热带资源与环境学报,2011,6(4):64-69.
- [23] 王鹏,张磊,吴炳方,等. 三峡水库建设期秭归县土地利用变化与地形因素的关系[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(3):371-376.
- [24] 陈国建,吴德涛,王彩霞,等. 三峡库区重庆段水土流失动态变化[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):105-110.
- [25] 周启刚,张叶,杨霏,等. 三峡库区生态屏障带划分与土地利用现状研究:以重庆市万州区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(11):65-72.
- [26] 童立强,李丽. 三峡库区水蚀荒漠化遥感调查与监测[J]. 国土资源遥感,2012,24(1):100-103.
- [27] 肖思思,吴春笃,储金字. 1980—2005年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2012,28(23):1-11.
- [28] 张兴榆,黄贤金,赵雲泰,等. 近10年江苏省土地利用重心与经济重心迁移轨迹对比分析[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(1):14-20.
- [29] 李建辉,周启刚,陈倩,等. 基于RS和GIS的建设用地变化研究—以重庆市主城九区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(1):76-90.
- [30] 张曼. 基于RS和GIS的北京市大兴区土地利用重心变化研究[D]. 武汉:华中师范大学,2012.
- [31] 李宇,杨华. 重庆市主城区土地利用时空变化的图谱分析[J]. 安徽农业科学,2012,40(4):2339-2341.
- [32] 匡文慧,张树文,侯伟,等. 三江平原宝清县土地利用变化图谱分析[J]. 中国科学院研究生院学报,2006,23(2):242-250.
- [33] 陈楠,杨武年,李娟. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报,2012,32(1):185-188.