

秦岭土石山区土地利用程度对生态恢复力的影响评价

杨海娟¹, 温晓金¹, 刘焱序², 文雯³

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 3. 陕西省城乡规划设计研究院, 陕西 西安 710032)

摘要: 以秦岭典型土石山区陕西省商洛市为例,探讨了土地利用程度对生态恢复力的影响,旨在为保护生态环境以及制定土地利用政策提供建议。根据土地利用对生态环境的影响程度,将土地利用分为未利用土地、生态用地、农业用地和建设用地 4 大类;以粒度单元为统计量,以乡镇为粒度单元,从全局及局部分析了人类活动对土地的影响,计算其土地利用度;生态恢复力评价采用植被指数(NDVI);Moran's *I* 指数等进行空间聚类,分析了土地利用度与 NDVI 值的相关程度。结果表明,近 1/2 的乡镇 NDVI 值变化快于土地利用度变化,说明生态环境改善速度快于土地退化速度。一个乡镇 NDVI 值变化慢于土地利用度变化,说明其土地利用退化速度快于生态环境改善速度。研究区 9 a 间生态恢复力较高,说明 9 a 间国家政策上对经济发展与环境保护矛盾处理较好。但对一些土地利用程度仍在提高的乡镇,应进一步重视该区域生态环境变化,提出相应的对策。

关键词: 粒度单元分析; 土地利用程度; 生态恢复力; 空间自相关; 商洛市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0261-06

中图分类号: X157.1, X24

Effects of Landuse on Ecological Restoring Force in Qinling Mountainous Region

YANG Hai-juan¹, WEN Xiao-jin¹, LIU Yan-xu², WEN Wen³

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China;

2. College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062,

China; 3. Urban and Rural Planning and Design Institute of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: Shangluo City is a typical area of Qinling mountainous region, which is an ecologically sensitive area where ecological protection is of great significance. using ETM⁺ images and NDVI of MODIS, the study investigated the different influence of land use degree on vegetation coverage. The influences of human activities on lands were analyzed throughout and locally. Statistical analysis was conducted on the "cells", which was the towns and districts of the city. The land use degrees were then calculated globally over the whole study area and locally on the cells. After the spatial autocorrelation being computed, the land use degrees were found closely correlated with the cumulative percentages of NDVI. A formula was proposed using both the land use degrees and NDVIs, and was then applied to analyze the impacts of land use change on the environment during the past 9 years. The results show that in most of the region, the ecological environment was improving faster than or nearly equal to the land use degradation. This is a remarkable achievement made by ecological restoration efforts in study area. The ecological restoring forces were strong in most towns during the 9 years, which means that the related policies were enforced well in both economic development and environmental protection. However, the land use degrees in some towns still need to be improved, and more attention should be paid to the regional ecological environment.

Keywords: cell analysis; land use degree; ecological restoring force; spatial autocorrelation; Shangluo City

土地是人类赖以生存和发展的最基本的自然资源,对土地利用与土地覆被的相关研究是土地研究中的关键课题之一^[1]。由于土地利用与土地覆盖变化

涉及因素繁多,过程错综复杂,因而各种简化和抽象化模型对于理解和预测土地利用与土地覆被格局具有不可替代的作用^[2]。土地利用程度综合分析方法,

将土地利用程度按照社会因素影响分级,并赋予分级指数,可以量化地反映人类因素与自然环境因素的综合效应^[3-4]。人类对土地的集约化利用往往伴随着生态环境的破坏,因此通过对土地利用程度的定量描述,可以有效分析人类活动对生态环境造成的影响。

生态恢复力源于恢复生态学,是指在外界干扰撤出后,生态系统恢复上一个稳态的能力^[5]。人类对土地利用方式的差异导致了地形、土壤、局部气候等不同程度改变,这种改变在短期内往往有不可逆性。如城市与交通用地严重破坏了地表植被生长环境,生态系统在人类干扰撤出后长期无法恢复到干扰前的状态,则该区可被认为生态恢复力较低。大尺度的生态恢复力与气候条件关系密切,如干旱地区植被自然生长速度本身较慢;但局部区域的恢复力差异更多是由于人类改变了原先的生物生长条件。人类活动导致的土地利用方式变化是干扰下生物生长条件改变的重要方面。

自然界本身长期受到人类的直接或间接干扰,所谓干扰撤出后的“稳态”不易获得,因此国内对生态恢复力的研究初期以定性描述居多。为代表的如孙晶等^[6]对社会—生态系统恢复力的阐述。王俊等^[7]利用统计数据,分析榆中县干旱扰动的生态恢复力,完成了恢复力评价的定量化。近年来,由于退耕还林、封山育林措施已在全国范围内取得一定成效,部分区域人类对生态的干扰程度经历由大到小,逐渐接近恢复生态学的假设条件,为生态恢复力的定量评价提供可能。

土石山区植被覆盖度相对较高,生态恢复的观测效果相对较好。本研究选取位于秦岭土石山区的陕西省生态保护与水源涵养区商洛市为研究对象,根据土地集约对生态环境造成的影响,分析土石山区植被高覆盖区域不同时段土地利用程度与生态环境的相互关系。通过有效量算不同土地利用模式下生态恢复量的大小,可在空间上划分出生态恢复力较高、适于生态建设的区域,为山区城市的土地可持续利用提供政策建议。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据准备

秦岭作为我国南北分界线和长江黄河分水岭,是我国的“天然生物库”,也是我国“南水北调”重要的水源地,设有省级及以上自然保护区 3 个,水源保护区 2 个,森林公园 9 个。商洛市处于秦岭土石山区,属于秦巴山地落叶阔叶、常绿阔叶混交林一级生态区下的秦岭山地水源涵养与生物多样性保育生态功能区,生态保护不仅关乎本区域的可持续发展,也关乎许多

珍贵动植物的保护。研究区植物生长旺盛,辖 1 区 6 县,总面积 19 293 km²,总体地势西北高,东南低,高山少,低山和川原丘陵较多。最高点位于秦岭主脊牛背梁,海拔 2 802.1 m;最低点位于商南县丹江谷地,海拔 216.4 m。年均温 7.8~14.0℃,年较差 23~25℃,年降水量 706.1~844.6 mm,主要集中于 4—10 月,太阳年总辐射量 120~124×4.18 kJ/cm²,年均日照时间 1 874~2 123 h。

数据来源于研究区 2000 与 2009 年 landsat-7 ETM⁺影像,分辨率为 30 m×30 m。通过目视解译,监督分类与人机交互将研究区分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地等 6 项地类,经检验随机抽样各地类解译精度均大于 85%,获得土地利用覆盖数据。NDVI 数据选用 MODIS 传感器 Terra 卫星 MOD13A3 产品,分辨率 1 km×1 km,由于夏季植被覆盖度高,分别选取 2000 与 2009 年 6—8 这 3 个月 NDVI,取平均值。

1.2 粒度单元分析方法

粒度的存在根源于地球表层自然界的等级组织和复杂性,对于空间数据或图像而言,空间粒度对应于最大分辨率或像元大小^[8]。景观生态学研究表明,降雨、地貌、土壤和土地利用等景观特征不同,其景观格局的尺度变异也千差万别^[9]。在不同因素相关性研究中,进行尺度转换,选择合适的粒度,对研究的结果和结论有重要影响。通过对原始图像进行窗口滤波,可以有效扩大原始图像空间尺度。为与原始图像的像元分辨率相对应,所获得的大尺度图像分辨率为一个粒度单元(cell)^[10]。

基于粒度单元的分析方法可以有效地对分析尺度进行放缩,与传统的像元(pixel)分辨率转换相比,将不同大小的格网(grid)叠加在影像上,以每个格网大小为一个粒度单元不仅能在尺度上进行放缩,同时也能分析每个粒度单元的内部属性,这是栅格像元尺度大小转换无法实现的^[11-14]。由矢栅一体化方法实现的格网技术,一般是以规则格网如正方形作为粒度单元进行分析,而对不规则格网的研究相对较少。虽然规则格网可以在放大尺度的同时,保留地理学的连续性特征,但失去了研究区的行政意义。因此,以行政区边界为格网形状的粒度单元设置,既可以实现尺度放缩,统计内部属性,又赋予每个粒度单元以社会行政管理意义,对研究区生态恢复的政策引导起到有效支撑。

1.3 土地利用程度分析方法

在生态恢复角度分析土地利用程度时,应重视土地集约性的差异导致生态恢复难度的不同。虽然园

地具有农业经营的特点,但其在非生产性季节仍对土地具有覆盖作用,生态功能接近于林地,因此将其作为生态用地;人工草地也一样,不论是天然草地,还是人工草地,都应作为生态用地。耕地虽在生产季节内具有生态功能,但由于具有明显的季节性以及广泛存在的过度垦殖现象,对生态环境的影响要高于林地、草地、水域等,所以单独作为一类。本研究基于全国土地利用标准,包括 2001 年前土地利用的 8 大类和 2002 年的 3 大类,以及相关的土地覆盖分级的研究文献^[3],参考 TM 图像解译分类原则,以及对生态环境的影响程度,将土地利用分为未利用土地、生态用地、农业用地和建设用地 4 大类(表 1),从 1 级到 4 级,土地集约利用对生态环境的影响逐渐加强。

根据土地利用覆盖程度分级指数表(表 1),将解译结果带入土地利用程度综合指数模型,模型为:

$$L_j = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (1)$$

式中: L_j ——研究区土地利用程度综合指数; A_i ——研究区第 i 级土地利用程度分级指数; C_i ——研究区第 i 级利用类型面积百分比; n ——分级数。

表 1 土地利用覆盖程度分级表^[3]

一级类	未利用土地	生态用地	农业用地	建设用地
		林地		城镇用地
二级类	未利用土地	园地	耕地	居民点用地
		草地		工矿用地
		水域		交通用地
分级指数	1	2	3	4

1.4 集聚程度分析方法

Moran's I 指数是最早应用于全局聚类检验的方法。 I 指数数值为 $(-1, 1)$, 值接近 1 是表明具有相似的属性集聚;值接近 -1 时表明具有相异的属性集聚。如 Moran's I 指数接近于 0 则表示属性随机分布,或者不存在空间自相关性。Moran 指数标准分数 $Z(I)$ 用以判定空间自相关的显著性水平。 G 系数也是全局聚类检验的一个指数, G 值大于 0。值为 1 时,表示属性的观察值在空间上是相互独立的,值在 0 到 1 之间表示空间正相关,值在大于 1 时表示空间负相关。对 G 系数,标准分数 $Z(G)$ 用以判定集聚类型,正值为高值集聚,负值为低值集聚^[15]。Moran's I 指数公式与 G 系数公式分别为

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$G = \frac{(N-1) \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中: N ——区域数; w_{ij} ——空间权重; x_i 和 x_j ——

区域 i, j 的属性; \bar{x} ——属性的平均值。

局部 Moran 指数(local moran index)与局部 G_i 指数(Getis and Ord, 1992)可用来检验局部地区是否存在相似或者相异的观察值聚集在一起。区域 i 的局部 Moran 指数用来度量区域 i 与领域之间的关联程度,定义为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_j [w_{ij} (x_j - \bar{x})] \quad (4)$$

其中 S^2 为方差,其余与公式(2)——(3)相同。正的 I_i 为高值被高值所包围(高一高)或者是低值被低值所包围(低—低);负的 I_i 表示低值被高值所包围或高值被低值所包围。

1.5 处理流程

(1) 解译研究区 2000 与 2009 年 ETM⁺ 影像,计算相同时段 6—8 月 NDVI 平均值。(2) 通过窗口分析,以乡镇范围为粒度单元,得出研究区各乡镇土地利用程度与 NDVI 值。(3) 计算研究区土地利用度的全局空间自相关与局部空间自相关,得出基于基本粒度的研究区土地利用度的关系。(4) 计算基于粒度单元的土地利用度与 NDVI 值的累积百分比曲线,寻找规律,从而提出一个度量土地利用度对生态环境影响程度的新指标。(5) 对研究区分析结果及研究流程作以总结,提出研究结论。

2 研究结果

2.1 研究区土地覆被分析

基于遥感影像解译得出 10 a 来研究区土地利用面积变化情况:2000—2009 年研究区耕地面积减少了 20%。林地与建设用地有所增加,建设用地增幅约 50%。水域与草地面积呈有所减少。未利用土地大幅减少。计算可得,研究区 2000 年土地利用度为 212.33,2009 年土地利用度为 208.83,县级土地利用度除洛南县有所升高外,其余均呈不同程度下降(表 2)。

表 2 商洛市土地利用程度变化量

县区	2000 年	2009 年	土地利用程度变化量
洛南	207.05	209.47	2.42
商州	212.79	211.63	-1.16
丹凤	209.19	207.42	-1.77
柞水	210.79	205.44	-5.35
商南	209.60	204.21	-5.39
山阳	213.94	209.07	-4.87
镇安	219.58	212.19	-7.39
全市	212.33	208.83	-3.50

2.2 全局土地利用度集聚性

由于研究区为不规则图形,因此方形滤波窗口无法应用于研究区边界。基于原始图像为 30 m×30 m 分辨率,选用乡镇范围作为粒度单元。通过窗口分析,得出基于粒度单元的研究区土地利用程度。

通过 Moran's *I* 指数与 *G* 指数进行全局空间自相关检验(表 3),权重为反距离(inverse distance),得出研究区土地利用度高度相关,且表现为高值围绕高值的“高高集聚”状态,其中 2009 年集聚程度大于 2000 年。

表 3 全局空间自相关检验表

年份	Moran's <i>I</i> 指数			<i>G</i> 系数		
	<i>I</i> 值	<i>Z(I)</i>	集聚程度	<i>G</i> 值	<i>Z(G)</i>	集聚程度
2000	0.471 375	9.577 776	高度集聚	0.000 003	3.283 031	高度集聚
2009	0.582 519	12.089 107	高度集聚	0.000 003	5.238 694	高度集聚

2.3 局部土地利用度集聚性

基于粒度单元可计算出研究区局部 Moran 指数,同时可以发现(图 1),2000 与 2009 年研究区土地利用程度集聚分布区域及数量有很大不同(表 4),除商州区“高高集聚”乡镇增加外,其余各县集聚程度降

低,说明 2000 年“低低集聚”乡镇土地利用程度正在提高,2000 年“高高集聚”乡镇土地利用程度正在降低。2009 年商州区“高高集聚”粒度单元相比 2000 年无一减少,且有所增加,说明该区域土地利用程度升高很快。

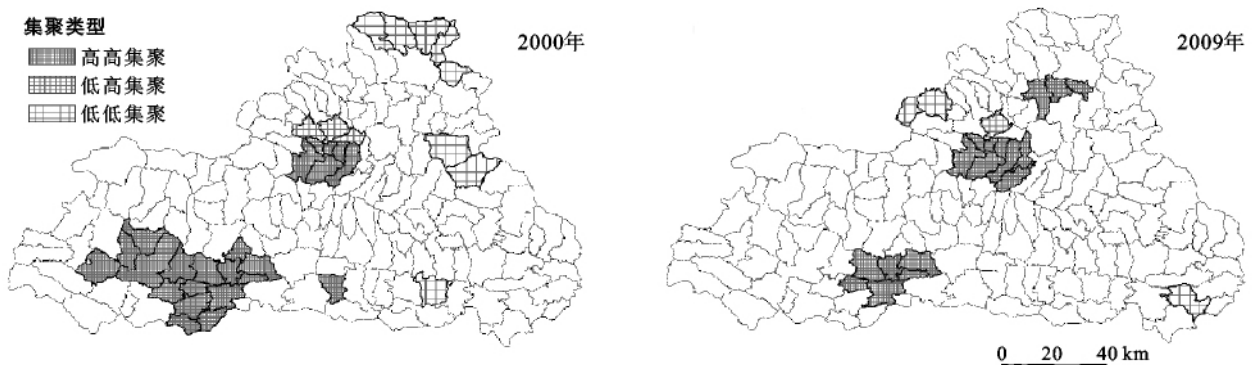


图 1 基于粒度单元的研究区集聚类型分布

表 4 各区县粒度单元集聚分布数 个

研究区	高高	低高	低低
商州区	6/8	3/1	-/2
镇安县	13/4	-/-	-/-
洛南县	-/3	-/-	5/-
丹凤县	-/-	-/-	2/-
山阳县	3/2	-/-	1/-
柞水县	1/-	-/-	-/-
商南县	-/-	-/-	-/1
全市	23/17	3/1	8/3

注:表中“/”左侧为 2000 年数据,右侧为 2009 年数据。

2.4 研究区生态恢复力评价

基于植被对不同波段的光谱特征响应的差异性,归一化植被指数(NDVI)在地表植被覆盖研究中被广泛应用,可作为描述生态环境现状的重要指标。NDVI 数学表达式为:

$$NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$$

式中:band4——近红外波段辐射值,band3——红光

波段辐射值。植被覆盖越高,红光辐射反射越小,近红外辐射反射越大。因此 NDVI 值可有效表征栅格单元内植被覆盖程度^[16-21]。

基于粒度单元统计乡镇土地利用度与平均 NDVI 值,并计算粒度单元累计百分比,由图 2 可知,2009 年土地利用度小于 2000 年(图 2a),而 2009 年 NDVI 值大于 2000 年(图 2b)。说明研究区土地利用程度处于退化状态,生态环境正在好转,NDVI 值证实了这种推测。然而,虽然土地利用程度表明了人类对土地的开发程度,由土地利用程度降低判断生态环境条件改善不具有普适性。如 A 区建设用地与林地各占 50%,则土地利用度为 300;B 区耕地与果园各占 50%,则土地利用度也为 300。然而果园 NDVI 与自然林相差不大,而相同比例建设用地 NDVI 值会与耕地有极大差距,因而 B 区 NDVI 值会大于 A 区。NDVI 值的高低可以有效表征植被条件,说明土地利用程度只适于评价人类影响度,并不是有效的生态指标。

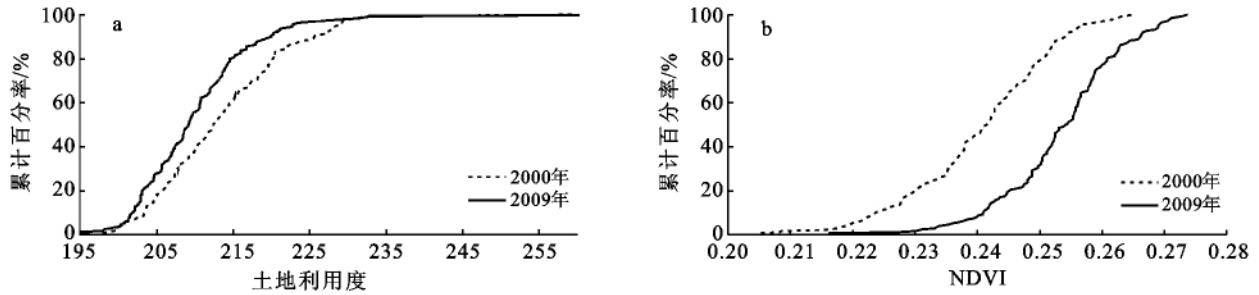


图 2 研究区土地利用度与 NDVI 累计百分比

由于 NDVI 值越高表明植被覆盖密度越大,可以将 NDVI 值作为衡量生态土地利用程度的标准。基于单位 NDVI 值变化的土地利用程度变化,可以有效反应人类活动对生态环境的影响。由于土石山区土地利用程度均高于自然林利用程度($L=200$),因此乘以(-1),可得公式:

$$D = (-1) \times \frac{(L_j - L_i) / L_i}{(NDVI_j - NDVI_i) / NDVI_i} \quad (5)$$

式中: D ——人类利用土地对植被的影响程度; i, j ——土地利用初期和末期。 D 越接近于 1 表示人类对土地利用影响与植被变化拟合程度越高, $D < 0$ 表示土地利用与植被变化呈相反方向发展。

计算研究区基于粒度单元的 D 值(图 3)发现,研究区大部分乡镇土地利用变化与 NDVI 变化呈相反方向发展。洛南县与商州区部分地区 D 呈现负值,是由于其土地利用程度加剧,NDVI 值升高可能与未利用土地减少和气候湿润化有关。近 1/2 的乡镇 NDVI 值对土地利用度有快速影响,表明 NDVI 值变化快于土地利用度变化,说明生态环境改善速度快于土地退化速度。部分乡镇体现出拟合影响,即土地利用度变化与生态环境变化速度大致相当。慢速影响表明 NDVI 值变化慢于土地利用度变化,其涉及乡镇 1 个,说明土地利用退化速度快于生态环境改善速度。

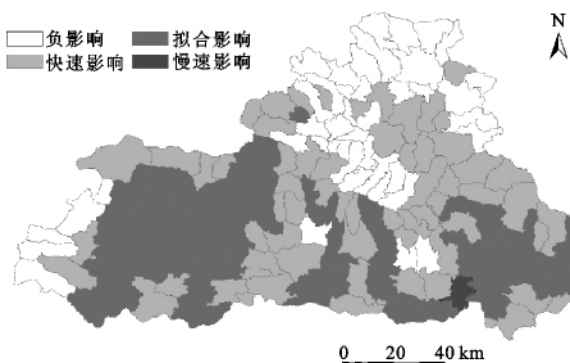


图 3 研究区人类利用土地对植被的影响程度(D 值)分布

通过降低土地利用程度,增加植被覆盖量,提高生态安全度,可作为生态恢复力的评价方法。通过基于乡镇粒度的研究区 D 值分布可知,与 2000 年相比 2009 年生态环境有所好转,并且生态好转速度快于土地利用程度退化速度,说明降低土地利用度产生了明显的生态环境效益,可视为该地区生态恢复力较高,社会发展与生态恢复矛盾处理较好。

3 讨论

土地利用程度的降低说明了人类活动强度的减弱,即人类对生态系统的干扰在减少。但是由于之前人类改变区域生境的强度不一,因此干扰减少量与生态恢复量并不一致。土地利用程度降低较快区域多为坡度较大、不宜大规模居住区域,其本身土地集约型不强,因此在政策推动下人类干扰一旦降低,生态环境可迅速恢复。本研究城区及郊区土地利用程度并未下降,部分乡镇土地利用度与 NDVI 同时升高并不是生态恢复力的体现,而是体现了区域生态的抗干扰性。相反,土地利用度与 NDVI 同时下降,却可以证明该区生态恢复力较低,可能是工矿破坏等导致的未利用地产生。结合土地利用度集聚评价和生态恢复力评价,对于大部分乡镇来说,其土地利用度越高,则生态恢复力越低。说明了高度集约土地的扩张虽然可以带来经济成本上的优势,对生态环境却具有更剧烈的破坏作用,恢复成本巨大。

由于国家的补贴政策,使得研究区通过退耕还林与封山育林使林草地面积增加,陡坡种植面积减少。国家对“南水北调”水源地的保护政策,也使得研究区水域得到有效保护。陕西省的“陕南循环经济发展规划”等都对土地利用以及生态环境的改善起到了积极作用。商洛市提出创建生态旅游城市,旅游业的迅速发展推动了生态保护区建设,进一步扩大了林区面积。本研究证明研究区人为修复植被,恢复原始生态体系和自然景观,取得一定成效。土地集约度的升高往往伴随着生态服务功能的下降,商洛市属于生态敏感区,而约 1/3 乡镇土地利用程度仍在增加,生态恢

复力难以转变为恢复量。如何保证研究区土地利用规划的有效实施,合理布局土地利用类型,统筹经济发展与生态建设,是当地政府必须进一步重视的问题。

4 结论

(1) 空间分析中合适的粒度是得出有效结论的关键之一。基于遥感图像 30 m×30 m 分辨率和 NDVI 图像 1 km×1 km 分辨率,选择村级尺度会导致 NDVI 值受相邻窗口影响偏大。同时由于方形窗口在处理研究区边界时包含面积会缩小,不利于对比,因此以乡镇为粒度单元在本研究中是合理的。同时,计算出的乡镇指标更与行政管辖范围一直,有利于管理。

(2) 从研究区 2000—2009 年土地利用程度变化分析,商洛市土地利用程度正在降低。土地利用程度集聚较好,且向高度集聚发展。局部空间自相关研究显示,高值与低值区域数量正在减少,空间分布更加均匀合理,但由于城市化进程,城区街办的土地利用程度进一步升高,高值区域其值在进一步增大。

(3) 研究区土地利用度与 NDVI 的累积百分比曲线良好地表征了基于粒度单元的分布规律,从而实现了基于 NDVI 衡量土地利用程度的可能性。本研究使用 D 值判断人类利用土地对植被的影响程度,从而对土地利用变化与生态环境变化的关系进行了定量描述。结果表明大部分区域生态环境改善速度大于或近于土地利用退化速度,生态恢复力较高,说明研究区生态恢复取得了显著成效。

(4) 由于分辨率所限,本研究在粒度单元的选择上受到限制。同时, D 值的计算公式只能判断基于变化量的影响,基于同一时点的土地利用与生态覆被关系模型值得进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究,2003,22(1):1-12.
- [2] 史培军,宫鹏,李小兵,等. 土地利用/土地覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京:科学出版社,2000:99-105.
- [3] 王思远,刘纪远,张增祥,等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报,2001,56(6):631-639.
- [4] 任志远,李晶,王晓峰. 城郊土地利用变化与区域生态安全动态[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [5] 葛怡,史培军,徐伟,等. 恢复力研究的新进展与评述[J]. 灾害学,2010,25(3):119-129.
- [6] 孙晶,王俊,杨新军. 社会—生态系统恢复力研究综述[J]. 生态学报,2007,27(12):5371-5381.
- [7] 王俊,杨新军,刘文兆,等. 半干旱区社会—生态系统干旱恢复力的定量化研究[J]. 地理科学进展. 2010,29(11):1385-1390.
- [8] 傅伯杰,徐延达,吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法[J]. 地球科学进展,2010,25(7):673-681.
- [9] 邹爱平,陈志彪,陈志强. 水土流失景观空间自相关与自相似的尺度特征分析:以长汀县根溪河小流域为例[J]. 国土与自然资源研究,2007(3):31-33.
- [10] Hung Weichun, Chen Yenching, Cheng Kesheng. Comparing landcover patterns in Tokyo, Kyoto, and Taipei using ALOS multi-spectral images[J]. Landscape and Urban Planning, 2010,97(2):132-145.
- [11] 陈述彭,陈秋晓,周成虎. 网格地图与网格计算[J]. 测绘科学,2002,27(4):1-6.
- [12] 刘宇,李成名. 空间信息格网研究进展[J]. 测绘科学,2007,32(4):187-189.
- [13] 赵荣,董春. 统计信息与空间信息按地理格网集成的方法研究[J]. 测绘科学,2007,32(4):69-71.
- [14] 左伟,张桂兰,万必文,等. 中尺度生态评价研究中格网空间尺度的选择与确定[J]. 测绘学报,2003,32(3):267-271.
- [15] 张松林,张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2007,46(4):93-97.
- [16] 徐涵秋. 福清市城镇化进程综合评估及其驱动力分析[J]. 遥感技术与应用,2002,17(3):86-92.
- [17] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [18] 陕西师范大学地理系. 陕西省商洛地区地理志[M]. 陕西 西安:陕西人民出版社,1981.
- [19] Carr D L. Farm households and land use in a core conservation zone of the Maya Biosphere Reserve, Guatemala[J]. Human Ecology, 2008,36(2):231-248.
- [20] Carr D L, Bilsborrow R E. Population and land use/cover change: A regional comparison between Central America and South America[J]. Journal of Geography Education, 2001,43(3):7-16.
- [21] Kelly N M. Changes to the landscape pattern of coastal North Carolina wetlands under the Clean Water Act, 1984—1992[J]. Landscape Ecology, 2001,16(1):3-16.