

基于熵值函数模型的土地利用变化响应研究 ——以四川省阆中市为例

周杜辉¹, 王佑汉², 李同昇¹

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127; 2. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637000)

摘要: 应用熵值函数模型和灰色关联分析, 对阆中市土地利用结构变化的响应机理做了定量化分析。结果表明, 1997—2006年10 a间, 阆中市土地利用结构信息熵基本呈稳定态势, 土地利用系统的有序度较高。1997—2002年地均产值、公路密度、社会商品零售总额、非农人口比重、非农产业和农业的产值比、固定资产投资为强关联要素, 其关联度达到0.70以上, 人均GDP为中关联要素, 关联度为0.657 69。而2003—2006年, 7项指标均演变为中关联要素, 均在0.35~0.70之间。研究认为政府行为和社会经济因素是影响其土地利用结构变化的两个主要驱动因子。

关键词: 土地利用结构; 熵值函数模型; 灰色关联分析; 阆中市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0134-05

中图分类号: K902, F301

Research on Landuse Change Response Based on Information Entropy —A Case Study of Langzhong City, Sichuan Province

ZHOU Du-hui¹, WANG You-han², LI Tong-sheng¹

(1. Department of Urban and Resources, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China;

2. College of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, China)

Abstract: Using the entropy model and grey correlation analysis and taking Langzhong City, Sichuan Province as an example, this paper analyzes the structure of landuse changes and the response mechanisms in the city. The grey correlation analysis indicates that the information entropy of landuse structure in Langzhong City was stable during the last decade. From 1997 to 2002, landuse structure entropy was closely related to per-land GDP, road density, retail sales of consumer goods, proportion of non-agricultural population, land economy density, ratio of non-agriculture and agriculture, and the correlation degree of above 0.70. The entropy was moderately related to per-capital GDP, with the correlation degree being 0.657 69. However, between 2003 and 2006, landuse structure entropy was moderately related to all the above seven factors, with the correlation degree ranging from 0.35 to 0.70. Further research suggests that socio-economic factors and government action are two main driving forces to the changes in landuse structure.

Keywords: landuse structure; information entropy; grey relational analysis; Langzhong City of Sichuan Province

熵作为描述热力学系统的重要态函数之一, 它的大小可以反映系统所处状态的稳定情况。因此, 熵又作为一种认识和分析事物的工具广泛应用到自然科学和社会科学等多个研究领域^[1-3], 用它来描述和刻画自然界中广泛存在的运动形式转化的不可逆性。近年来, 学者们利用熵值函数模型对土地利用结构和形态的空间分异特征进行了初步研究, 并取得了一系列的研究成果^[4,15]。本研究借助信息熵理论和灰色关联模型, 以四川省阆中市为样区, 对其近10 a来土地利

用结构变化及其响应机理进行了分析和探讨。

1 研究区概况

1.1 地理区位

四川省阆中市位于南充市北部、嘉陵江中游, 东接巴中、仪陇, 南临南部, 北靠广元市, 它介于东经105°40′59″—106°24′32″, 北纬31°21′51″—31°50′55″之间。东西相距为55.4 km, 南北相距为46.1 km, 幅员面积1 877.06 km²。

收稿日期: 2009-03-15

修回日期: 2009-05-08

资助项目: 国家自然科学基金(30470297); 西北大学研究生自主创新基金资助项目(09YZZ37); 西华师范大学科研启动基金(07B004); 阆中市土地利用规划修编项目

作者简介: 周杜辉(1984—), 男(汉族), 湖南省湘乡市人, 硕士研究生, 主要从事人地关系、区域发展与区域规划研究。E-mail: zdhgreat@163.com。

1.2 自然条件

阆中市位于中亚热带湿润季风气候区, 多年平均降水量 996.1 mm, 降雨时空相对集中, 受季风影响, 5—10 月常有暴雨和大暴雨。地形起伏较大, 多低山丘陵, 25° 以上的坡度面积占总面积的 50% 以上, 相对高差 560.8 m, 出露的岩层主要是侏罗系上统和白垩系下统及第四系全新统, 岩层较为松软。

1.3 社会经济条件

阆中市总人口 85.7 万人, 其中农业人口 59.77 万人, 占总人口的 69.73%, 非农业人口 25.9 万人, 占总人口的 30.27%, 平均人口密度为 457 人/km², 人均土地 0.22 hm², 人均耕地 0.065 hm² 已在联合国公布的人均耕地 0.053 hm² 警戒线以下, 人多地少, 是一个国家级贫困农业大市。

2 数据来源及研究方法

2.1 研究路线

研究工作具体分为 3 个步骤。首先, 采集、整理

并绘制 1997—2006 年期间阆中市土地利用变化数据表, 数据表结构包括研究区段土地利用种类、面积等, 并按照研究的需要做相应的处理。第二步采用熵值函数模型和灰色关联分析模型, 选取土地利用结构信息熵、均衡度、优势度和灰色关联度等指标对区域土地利用及其响应机理做定量的分析。最后, 以定量和定性分析相结合的方法探讨阆中土地利用结构变化的响应机理。

2.2 数据来源

采用阆中市 1997—2006 年期间的土地利用变更数据及其社会经济数据, 数据来源于该市提供的 1997—2006 年土地利用变更调查表及各年份的统计年鉴, 具有真实性和权威性。另外, 由于 1997—2001 年该市未有草地记录, 且 2002 后其草地面积也不足 2.6 hm², 不影响最终分析及结论, 因而将土地利用类型调整为农田、园地、林地、城乡居民点及工矿用地、交通运输用地、水体用地、未利用地等 7 类(表 1)。

表 1 四川省阆中市 1997—2006 年土地利用结构及其信息熵

类型	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
农田	0.493	0.492	0.494	0.492	0.492	0.492	0.486	0.486	0.486	0.486
园地	0.038	0.039	0.039	0.039	0.039	0.040	0.041	0.041	0.041	0.041
林地	0.342	0.342	0.341	0.342	0.342	0.343	0.346	0.346	0.347	0.347
城乡居民点及工矿	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.076	0.076
交通运输用地	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
水体用地	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
未利用地	0.042	0.042	0.041	0.041	0.041	0.041	0.042	0.041	0.040	0.039
信息熵(H)	0.529	0.530	0.530	0.530	0.530	0.531	0.534	0.533	0.533	0.532
均衡度(J)	0.414	0.413	0.414	0.413	0.413	0.412	0.409	0.409	0.410	0.411
优势度(I)	0.414	0.413	0.414	0.413	0.413	0.412	0.409	0.409	0.410	0.411

注: 信息熵的单位为奈特(Nat)。

2.3 研究方法

2.3.1 土地利用结构信息熵的计算 城市土地利用系统是自然、人类、社会、科学和技术等合成的开放的复杂系统, 具有耗散结构的特征。城市土地利用的空间结构特征可以用信息熵表示。根据 C. E. Shannon 熵公式可以构建土地利用结构信息熵, 简称土地利用结构信息熵(H)^[5, 11]。

$$\sum_{i=1}^N A_i = A$$

式中: A_i ——表示每个职能类土地的面积; N ——土地种类。据此, 可得各类土地面积的百分比:

$$P_i = \frac{A_i}{A}$$

显然, P_i 具有归一性: $\sum_{i=1}^N P_i = 1$

进而, 土地利用结构信息熵为:

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \ln P_i$$

土地类型越多, 类型间百分比差越小, 熵值越大。

2.3.2 阆中市土地利用均衡度和优势度的计算 基于信息熵公式, 可构建土地利用结构的均衡度(J)^[13]

$$J = H / H_{\max} = - \sum_{i=1}^N (P_i \ln P_i) / (\ln N)$$

式中: J ——均衡度; H ——信息熵; H_{max} ——信息熵的最大值; N ——土地种类。J ——实际熵值和最大熵值的比值。由于 H ≤ H_{max}, 故 J 的变化区间为[0, 1], J 值越大, 表明区域不同职能的土地利用类型越多, 各类用地的面积相差越小, 土地利用的均衡性越强。

进而, 可以构建土地利用结构的优势度(I)^[3-4]:

$$I = 1 - J$$

式中: I ——优势度, 它反映了区域内一种或者几种土地类型支配该区域土地类型的程度, 与均衡度的意义相反。

2.3.3 灰色关联度的计算 在地理系统中,许多因素之间的关系是灰色的,人们很难分清哪些因素是主导因素,哪些因素是非主导因素;哪些因素之间关系密切,哪些不密切。灰色关联分析为解决这类问题提供了一种行之有效的方法^[16]。具体思路如下:

(1) 确定分析序列 将土地利用结构信息熵序列组(X_i)作为参考序列,研究区域社会经济序列组(Y_j)作为比较序列,其因子选择依据数据的代表性、系统性、可获得性的原则,并结合阆中市的实际情况,笔者最后选取了地均产值(单位土地 GDP)、公路密度、人均 GDP、社会商品零售总额、非农人口比重、非农产业和农产业的产值比、固定资产投资等 7 项指标,其关联度指标依次为: $R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{12}, R_{18}, R_{11}$ (R_{11} 为自相关值, $R_1 = 1$)

(2) 数据标准化 由于各数据的量纲不同,为便于统计分析,对所有数据进行均值化处理,转化公式如下:

$$X'_i(t) = \frac{X_i(t)}{\bar{X}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, M)$$

(3) 求绝对差 $\Delta_{ij}(t)$, 并求出最大值和最小值。

$$\Delta_{ij}(t) = |X_i(t) - Y_j(t)|$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_i \Delta_{ij}(t)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_i \Delta_{ij}(t)$$

(4) 求关联系数 $\xi_{ij}(t)$

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\Delta_{\min} + k \Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(t) + k \Delta_{\max}}$$

式中: k 取 0.5; $t = 1, 2, \dots, M$ 。

(5) 计算关联度 R_{ij}

$$R_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \xi_{ij}(t)$$

(6) 列出关联序及关联强弱分类。

为便于量化分析,灰色关联度按照强中弱 3 等,依次分为 3 类: 0~ 0.35 为弱关联度, 0.35~ 0.70 为中关联度, 0.70~ 1.0 为强关联度^[17]表(2—3)。

表 2 不同时段阆中市土地利用熵值与各社会经济指标关联度

时段	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}
1997—2002	0.805 75	0.402 77	0.800 16	0.775 50	0.657 69	0.886 71	0.849 86
2003—2006	0.434 86	0.399 48	0.432 38	0.409 65	0.436 98	0.641 53	0.422 87

表 3 阆中市土地利用熵值与各社会经济指标关联度排序

时段	关联度排列顺序	强关联度	中关联度
1997—2002	$R_{17} > R_{18} > R_{12} > R_{14} > R_{15} > R_{16} > R_{13}$	$R_{12}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}, R_{18}$	R_{13}
2003—2006	$R_{17} > R_{18} > R_{12} > R_{14} > R_{15} > R_{16} > R_{13}$		$R_{12}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}, R_{18}$

3 阆中市土地利用结构变化分析

从表 1 和图 1 可知,阆中市 1997—2006 年土地利用结构熵值经历了平稳—调整—再调整的过程,其中在 1997—2006 年间,土地利用结构信息熵值有变动,但是变动幅度不是很明显。1997 年阆中市土地利用结构熵值最低,表明其土地利用系统的有序性较高。2003—2005 年,土地利用结构的熵值较高,表明其土地利用系统的有序性较低。而 2005 年以后,土地利用熵值有所下降,表明土地利用系统的有序性有逐渐增强的趋势。对比分析 1997—2006 年的熵值变化及土地利用结构变化,1997—2002 年土地利用结构信息熵由 0.529 390 增加至 0.530 891,6 a 间只净增了 0.001 501,增加较为平稳。均衡度亦由 0.586 增加至 0.588,净增了 0.002,优势度由 0.414 降低至 0.412,减少 0.002,表明土地利用结构的均值性有所增强,单一土地类型支配该区域土地类型的程度有所降低,但不明显。相应的土地利用结构变化表现为建

设用地面积增加,未利用地面积减少,农田的面积减少,农田净减少了 99.79 hm^2 ,占幅员面积的比重下降了 0.053 2 个百分点;园地面积净增加 278.07 hm^2 ,占幅员面积的比重上升了 0.001 48 个百分点;交通运输用地面积净增加 105.306 7 hm^2 ,占幅员面积的比重上升 0.06 个百分点;未利用地净减少 1 690 073 hm^2 ,占幅员面积的比重减少 0.09 个百分点;林地面积净减少 58.073 hm^2 ,居民点及工矿用地减少 58.89 hm^2 ,变化都不明显。2003—2006 年,土地利用结构信息熵由 0.533 579 降低至 0.532 206,净增量为 0.001 373,均衡度由 0.591 降低至 0.589,净减少 0.002,优势度由 0.409 增加至 0.411,净增加 0.002,土地利用的均质性降低,单一或几种土地类型支配该区域土地类型的程度增强。表明总体上土地系统处于调整状态,但是有向有序状态发展的态势。1997—2006 年的 10 a 间,土地利用结构信息熵由 0.529 390 增加至 0.532 206,净增加量仅为 0.002 816,均衡度由 0.586 增加至 0.588,优势度由 0.414 降低至

0.411。由此可见, 阆中市在这 10 a 间, 土地利用结构熵值变化较小, 土地利用结构变化较小, 即 10 a 间, 土地系统外界输入的负熵流较少。

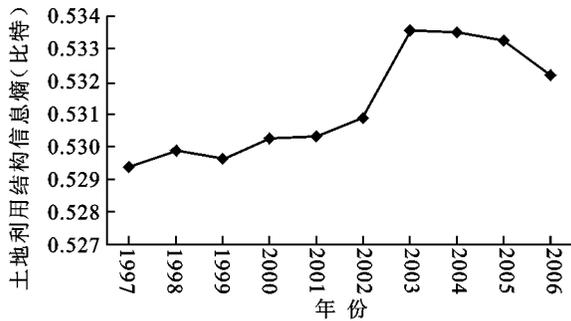


图 1 四川省阆中市 1997—2006 年土地利用结构熵值变化

4 土地利用变化响应机理分析

4.1 自然环境因素

自然环境因素土地利用结构变化的影响主要表现在气候、海拔高度、地貌类型、岩性等。阆中处于中亚热带湿润季风气候区, 全年降水丰富, 降水相对集中, 且多丘陵, 岩层松软, 易被风化^[18], 仅 1997—2005 年间由于自然灾害造成的耕地毁损就达 44.67 hm², 占耕地减少量的 2.49%, 这说明自然因素在一定程度上也影响了阆中市土地利用结构的变化。

4.2 政府行为

在国家层面上, 国家政策的影响是土地利用变化的决定因素, 它通过地权制度、价格制度、经营机制等直接影响土地利用及其结构的形式, 进而影响土地利用的方式和结构变化^[19]。阆中市地处嘉陵江中游, 是全国和全省水土保持、生态环境建设规划中优先实施重点区域。1998 年大洪灾后, 国家对生态环境保护日益重视, 为响应国家的实施退耕还林政策, 阆中市对坡度大于 25° 以上的坡耕地实施退耕还林。1999—2005 年间, 阆中市退耕还林的面积为 1 412.3 hm², 占耕地减少总量的 78.83%。与此同时, 阆中市政府也加强了对土地资源的监管, 严格控制耕地转化为非耕地, 并实行土地用途管制制度, 统筹储备土地资源, 切实落实基本农田保护责任制, 严格控制农用地转化为建设用地, 积极开展“三项清理”(开展房地产开发增加容积率、闲置土地、拖欠土地费用情况的专项清理)等一系列举措, 因此, 10 a 间土地利用结构信息熵虽有变化但是总体而言土地利用结构变化较小, 即土地系统较为稳定。观察土地利用信息熵变化曲线, 不难发现 2002 年以后土地利用信息熵值变化较大, 而且总体趋高, 表明阆中市土地利用结构调整较以前频繁。这主要是阆中市政府为满足古城保护

历史文化遗产的需要及旅游业的快速发展, 制定了“跳出古城, 发展新区”的城市发展战略, 将城市发展方向嘉陵江以南拓展, 为古城发展创造空间。

4.3 社会经济因素

社会经济因素对土地利用结构变化的影响是多方面的, 其作用机理也比较复杂。选取 7 个有代表性的社会经济因子, 运用灰色关联分析表明(表 2—3), 1997—2002 年阆中市土地利用结构熵与社会经济发展的关联度排序为 $R_{17} > R_{18} > R_{12} > R_{14} > R_{15} > R_{16} > R_{13}$ 。其中地均产值、公路密度、社会商品零售总额、非农人口比重、非农产业和农产业的产值比、固定资产投资为强关联要素, 而人均 GDP 为中关联要素。2003—2006 年, 7 项指标全部演变为中关联要素。这表明阆中市土地利用结构的变化取决于各要素间的共同作用。前一阶段阆中市土地结构信息熵增长较为平稳, 人口的城市化、产业结构的优化升级、地产业的发展、交通、农业基础设施的不断改善, 推动了土地利用结构的变化。后一阶段, 阆中市土地利用结构信息熵增长较为快速, 表明新城区建设使得土地利用结构调整较以往频繁, 而相应的社会经济要素关联度却总体较低, 这一方面得益于政府退耕还林政策和基本农田保护措施的制定和落实; 另一方面也显示出土地利用变化响应机理的复杂性。

5 结论

应用熵值函数模型和灰色关联分析来研究土地利用变化响应是可行的, 熵值的大小反映了土地利用结构的时序变化, 但是有些问题也有待进一步研究。如熵值的合理取值范围^[6], 在分维刻画土地利用结构上的局限性^[7]。灰色关联分析能较好地反映土地利用变化对社会经济活动的响应, 但是其 K 值的取值以及关联因子的选择也带有一定的主观性。此外, 近代以来阆中经济区位已显边缘化^[20], 这种宏观经济格局是否也在一定程度上影响了该区域的土地利用变化响应也有待进一步探讨。

[参 考 文 献]

- [1] Yan Aimin. Human resource ecosystem and its evolutionary rules [J]. Ecological Economy, 2007, 3: 365-372.
- [2] John E C, Shi L, Samantha J. Environment as the stage for economic actors [J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2007, 5: 3-8.
- [3] 陈蓉蓉, 宋光煜, 信贵新, 等. 土地利用结构熵特征与社会经济发展关联分析: 以重庆市荣昌县为例 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(7): 138-143.
- [4] 刘宁, 李新举, 赵庚星, 等. 黄河三角洲土地利用结构信

- 息熵分异规律研究: 以垦利县为例[J]. 国土资源科技管理, 2006, 23(2): 70-73.
- [5] 高永年, 刘友兆. 经济快速发展地区土地利用结构信息熵变化及其动因分析: 以昆山市为例[J]. 土壤, 2004, 36(5): 527-531.
- [6] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 112-117.
- [7] 刘筱非, 周宝同, 杨庆媛, 等. 信息熵在区域土地利用结构研究中的应用: 以重庆市江北区为例[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2004, 29(6): 1062-1065.
- [8] 王宗明, 张柏, 黄素军, 等. 基于 GIS 和信息熵的松嫩平原土地利用结构熵演化分析: 兼论系统无序度、复杂性与多样性[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(3): 196-200.
- [9] 王秀红, 何书金, 罗明. 土地利用结构综合数值表征: 以中国西部地区为例[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 17-25.
- [10] 赵晶, 徐建华, 梅安新, 等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 137-146.
- [11] 童绍玉, 蔡运龙, 李双成. 云南省楚雄市与双柏县土地利用变化对比研究[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 397-406.
- [12] 匡文慧, 张树文. 长春市百年城市土地利用空间结构演变的信息熵与分形机制研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(1): 73-80.
- [13] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分维数[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.
- [14] 何祖慰, 杨忠, 罗辑. 西藏昌都地区土地利用结构熵值时序分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 192-195.
- [15] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分维数[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 338-341.
- [17] 范建刚. 1983—2004 年陕西粮食产量和主要投入要素的灰色关联分析[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 209-212.
- [18] 陈登荣. 浅析阆中市的水土流失及其防治对策 [OL]. [2007-12-16]. <http://www.cjstbc.com/POP/article/74/3068.html>.
- [19] 张希彪. 陇东黄土高原土地利用/覆盖变化及驱动力分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 143-147.
- [20] 冶青. 近现代阆中交通与经济区位的边缘化[J]. 西华师范大学学报: 哲学社会科学版, 2006(5): 65-72.

(上接第 48 页)

- [20] 杜国坚, 张庆荣, 洪利兴, 等. 杉木连栽地土壤微生物区系及其生化特性和理论性质的研究[J]. 浙江林业科技, 1995, 15(5): 14-20.
- [21] 于学珍, 路葵, 李秀艳, 等. 天童常绿阔叶林退化过程中土壤微生物主要类群变化特性研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(4): 61-64.
- [22] 杨承栋, 孙启武, 焦如珍, 等. 大青山—二代马尾松土壤性质变化与地力衰退关系的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 267-273.
- [23] 张丽萍, 张兴昌, 刘增文, 等. 人工林凋落叶分解对土壤性质的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 87-92.
- [24] 邓若磊, 徐海荣, 曹云飞, 等. 植物吸收铵态氮的分子生物学基础[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 512-519.
- [25] Gil Sotres F, Trasar Cepeda C, Leirós M C, et al. Different approaches to evaluating soil quality using bio-chemical properties [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37: 877-887.
- [26] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil [J]. *Biological Reviews*, 1992, 67: 321-358.
- [27] 朱志建, 姜培坤, 徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 523-526.
- [28] 樊军, 郝明德. 长期轮作施肥对土壤微生物碳氮的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 10(1): 85-87.
- [29] Illeris L, Michelsen A, Jonasson S. Soil plus root respiration and microbial biomass following water, nitrogen and phosphorus application at a high arctic semi desert [J]. *Biogeochemistry*, 2003, 65(1): 15-29.
- [30] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 57-58.