引文格式：肖游,史婷. 县域国土空间功能结构时空特征与地形梯度效应[J]. 地理空间信息, 2025, 23(1): 58-61. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.01.012

县域国土空间功能结构时空特征与地形梯度效应

——以贵州省仁怀市为例

肖　游[1]，史　婷[1*]
（1. 贵州省第三测绘院，贵州 贵阳 550004）

摘　要：基于仁怀市2009—2018年土地利用现状调查成果数据，通过计算地形位指数、地形分布指数、国土空间功能结构信息熵、均衡度、优势度等参数，深入研究了仁怀市国土空间功能结构。结果表明，国土空间功能结构分布的优势等级在不同地形因子各梯度上具有差异性；国土空间功能结构信息熵整体上随地形因子等级的升高而下降，10年间国土空间功能结构逐渐向均衡态发展；地形位指数可反映国土空间功能结构的分布特征是一个更合理的参数。

关键词：国土空间功能结构；时空特征；地形梯度；地形分布指数；信息熵；仁怀市
中图分类号：TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）01-0058-04

Spatio-temporal Characteristics of Functional Structure of Territorial Space and Its Terrain Gradient Effect in Counties: A Case Study of Renhuai City, Guizhou Province

XIAO You[1], SHI Ting[1]
(1. The Third Surveying and Mapping Institute of Guizhou Province, Guiyang 550004, China)

Abstract: Based on the survey data of land-use status in Renhuai City from 2009 to 2018, we calculated topographic position index, topographic distribution index, information entropy, equilibrium and superiority to study the functional structure of territorial space in Renhuai City. The results show that the superiority grade of functional structure of territorial space is different in various topographic factors and gradients. The information entropy of functional structure of territorial space is obviously affected by terrain gradient. As a whole, it decreases with the increase of terrain factor level. The functional structure of territorial space has gradually developed into a balanced state in the past decade. The topographic position index is more reasonable, which can analyze the distribution characteristics of functional structure of territorial space.

Key words: functional structure of territorial space, spatio-temporal characteristic, terrain gradient, topographic distribution index, information entropy, Renhuai City

土地利用变化研究对地区经济可持续发展、生态经济协调发展、土地可持续性利用等方面具有重要意义[1-2]。自然环境因素在土地利用空间模式变化过程中起主导推动作用[3]，其中地形因素对区域内的水、热、养分具有再分配作用[4-6]。山区高程决定了局地的温度状况[7]，地形很大程度上决定了土地利用的方向和方式，能体现土地利用空间格局的合理性[8-10]。现阶段主要是利用地球信息科学技术分析土地利用的变化情况以及不同地形因子对土地利用变化的影响规律和差异[11-14]。主要研究方法包括土地利用转移矩阵、地形位指数、地形分布指数、土地利用程度综合指数和土地利用信息图谱法等[15-18]。目前，对于信息熵的研究仅聚焦于其对土地利用时空演变的影响和信息熵上升的原因[19-23]。部分研究表明，2017年《土地利用现状分类》尚不能满足国土空间规划对土地利用分类的要求[2,24]。基于此，本文从自然资源部《关于规范和统一市县国土空间规划现状基数的通知》中国土空间功能结构调整表土地分类的角度，对贵州省仁怀市的土地分类进行优化，探索利用国土空间功能结构分类表达土地利用变化的科学性。本文深入研究了仁怀市国土空间功能结构的时空演变特征和方向、优势地形等级、信息熵、均衡度和优势度，反映了国土空间功能结构在各地形梯度上的分布差异和规律。根据贵州省各县（市、区、特区）地形结构的相似性以及仁怀市国土空间开发的典型性，本文研究结果可为贵州省其他县域国土空间规划和调整提供科学参考。

第一作者简介：肖游（1995—），本科，工程师，研究方向为国土空间规划与管理，E-mail：991530081@qq.com。
通信作者：史婷（1987—），硕士研究生，工程师，研究方向为国土空间规划与管理，E-mail：471577743@qq.com。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况与数据来源

仁怀市位于贵州省西北部，属云贵高原向四川盆地过渡的典型山地地带，是驰名中外的茅台酒故乡，全市幅员1 788 km^2；截至2021年年底，总人口为74.89万人；地势起伏较大，最大高差为1 346 m，平均海拔为929 m；主要地貌为溶蚀地貌和侵蚀地貌两大类；属中亚热带湿润季风气候，垂直差异较大。2021年全市经济总量在全国百强县市中排名第12，综合实力位列西部百强县第4，历年县域经济综合测评稳居全省第一方阵前列。

以仁怀市2009—2018年土地利用现状调查成果数据为基础，参照自然资源部《关于规范和统一市县国土空间规划现状基数的通知》中的国土空间功能结构调整表，结合研究区实际将仁怀市国土空间功能结构划分为耕地、园地、林地、草地、湿地、农业设施建设用地、城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地、陆地水域和其他土地12类。本文采用的其他数据包括高分卫星影像、国土空间现状调研数据、POI数据（用于对原土地利用分类进行归并、细化参考）、仁怀市DEM数据（空间分辨率为10 m）、外业实地调研获得的地类数据。

1.2　研究方法

1）地形位指数可定量分析国土空间功能结构变化与地形梯度之间的相互关系[25]，计算公式为：

$$T=\lg\left[\left(\frac{E}{\bar{E}}+1\right)\times\left(\frac{S}{\bar{S}}+1\right)\right] \tag{1}$$

式中，E和$\bar{E}$分别为研究区内任意一点的高程值和平均高程值；S和$\bar{S}$分别为研究区内任意一点的坡度值和平均坡度值。高程越高、坡度越大的点，其地形位指数越大；反之则越小；高程较高但坡度较小或高程较低但坡度较大的点，其地形位指数居中[26]。

2）地形分布指数表示国土空间功能结构类型在不同地形区间的分布频率[13]，是一个标准化、无量纲的指数，可消除地形梯度等级差异和国土空间功能结构类型面积差异的量纲影响[27]，计算公式为：

$$P=\left(\frac{S_{ie}}{S_i}\right)\times\left(\frac{S}{S_e}\right) \tag{2}$$

式中，S_{ie}为e地形位下i类型的面积；S_i为i类型的总面积；S为研究区总面积；S_e为e地形位的总面积。若$P>1$，说明在e地形位下i类型为优势分布，值越大，表示i类型在e地形位上的适应和分布程度越高。

3）信息熵。将每个级别的地形因子看作一个系统，计算其国土空间功能结构的信息熵，可衡量一个地区国土空间功能结构的有序程度、均衡度程度和集中程度，综合反映一定时期研究区内各种土地的转换水平和动态变化[14,21]，计算公式为：

$$H(e)=-\sum_{i=1}^{n}\frac{P_{e(xi)}}{P_e}\ln\frac{P_{e(xi)}}{P_e} \tag{3}$$

式中，$P_{e(xi)}$为e地形位下i类型国土空间功能结构的面积；P_e为e地形位的面积；n为国土空间功能结构划分类型。当区域内各土地利用类型越多、且各类土地面积越接近时，信息熵越大。

基于信息熵函数的均衡度和优势度的计算公式为：

$$G(e)=\frac{H(e)}{H_{\max}},\ H_{\max}=\ln n,\ J(e)=1-G(e) \tag{4}$$

式中，$G(e)$为e地形位的均衡度，均衡度越大，城市土地利用的均质性就越强[19]；$H_{\max}$为最大熵；$J(e)$为e地形位的优势度，可反映区域内一种或几种占优势的功能结构类型支配该区域土地的程度。

2　研究结果与分析

2.1　地形梯度分析

为反映仁怀市地形梯度特征，结合研究区实际，本文将高程、坡度和地形位指数分为5个等级（表1）。仁怀市高程等级主要集中在2～3等，两个等级占比之和为77.56%，5等占比最小，仅有0.31%；坡度等级主要集中在2～4等，1等占比最小，仅2.96%；地形位指数等级主要集中在3～4等，两个等级占比持平，共占比92.20%，说明研究区以高海拔中坡度或中海拔高坡度的山地丘陵地形为主。

表1　仁怀市高程、坡度和地形位指数分级表

等级	高程/m	坡度/(°)	地形位指数
1	0～600	0～5	0～0.2
2	600～900	5～15	0.2～0.4
3	900～1 200	15～25	0.4～0.6
4	1 200～1 500	25～35	0.6～0.8
5	>1 500	>35	0.8～1.0

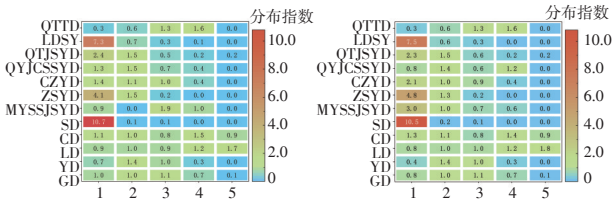
2.2　国土空间功能结构分布特征的地形梯度效应

2.2.1　不同高程等级各地类的分布特征

为使图表表达简洁美观，本文将耕地、园地、林地、草地、湿地、农业设施建设用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地、陆地水域、其他土地简称为GD、YD、LD、CD、SD、NYSSJSYD、

CZYD、QYJCSSYD、QTJSYD、LDSY、QTTD；为区分城镇用地与村庄用地，将城镇用地命名为CSYD。通过叠加分析，计算得到不同高程等级下各地类对应的分布指数（图1），湿地、陆地水域在1等上优势分布，这与境内赤水河段的低海拔地理特性直接相关；城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地在1～2等上优势分布，说明研究区高程等级对其城乡建设发展的反向制约程度较高；园地在2等上优势分布，该类型受人类活动影响较大；耕地在1～3等上的分布较均匀，而在4～5等上显著降低，这与村庄用地的分布特征紧密相关，说明研究区乡村人群从事高度的农耕活动；林地在4～5等上优势分布，其自然属性较强，受人类活动影响较小；草地在4等上优势分布；农业设施建设用地在3等上优势分布；其他土地在3～4等上优势分布。

10年间研究区耕地、园地、林地、湿地、区域基础设施用地、其他建设用地在1等上的分布程度整体呈减弱趋势，而城镇用地、村庄用地、农业设施建设用地、草地、陆地水域则呈增强趋势，这与各地类间的相互转变密切相关；其他土地保持整体稳定。整体而言，研究区内湿地、陆地水域、城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地、农业设施建设用地的低海拔分布特征明显；耕地、园地、其他土地的中海拔分布特征明显；林地的高海拔分布特征明显；草地分布的高程等级无明显特征。



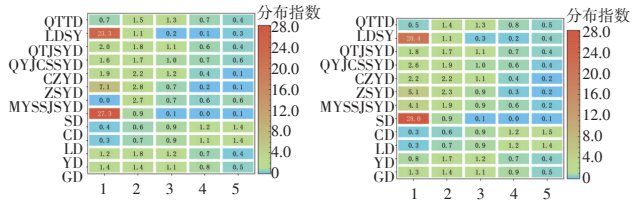
a 2009年 b 2018年

图1 不同高程等级各类型分布指数

2.2.2 不同坡度等级各地类的分布特征

通过叠加分析，计算得到不同坡度等级下各地类对应的分布指数（图2），湿地、陆地水域在1等上表现出极强的分布优势；城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地在1～2等上优势分布，说明研究区坡度等级对其城乡建设发展的制约规律与高程相似；耕地、园地在1～3等上优势分布，低坡度有利于人类活动的进行；林地、草地在4～5等上优势分布，其自然属性较强；2018年农业设施建设用地在1～2等上优势分布，坡度小有利于农业设施建设和减少成本；其他土地在3～4等上优势分布，坡度越大更易造成水土流失，形成裸地、沙地。

10年间研究区耕地、园地、城镇用地、其他建设用地、陆地水域、其他土地在1～2等上的分布程度整体呈减弱趋势，而区域基础设施用地、农业设施建设用地、村庄用地则呈增强趋势；林地、草地、湿地在各等级上分布指数保持稳定。整体而言，研究区内湿地、陆地水域、耕地、城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地、农业设施建设用地分布的低坡度特征明显；园地、其他土地分布的中坡度特征明显；林地、草地分布的高坡度特征明显。



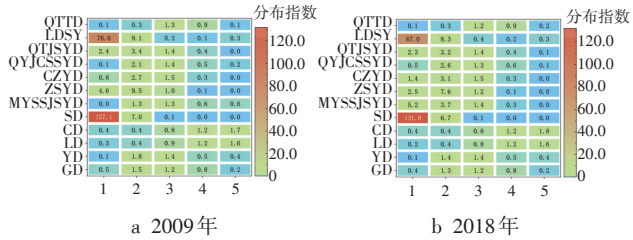
a 2009年 b 2018年

图2 不同坡度等级各类型分布指数

2.2.3 不同地形位等级各地类的分布特征

通过叠加分析，计算得到不同地形位等级下各地类对应的分布指数（图3），湿地、陆地水域在1～2等上表现出极强的分布优势，这与其处于低高程、低坡度的地理条件有直接关系；城镇用地、其他建设用地在1～3等上优势分布；耕地、园地、农业设施建设用地、村庄用地、区域基础设施用地在2～3等上优势分布；其他土地在3等上优势分布；林地、草地在4～5等上优势分布。

10年间研究区耕地、园地、陆地水域、城镇用地、其他建设用地在1～2等上的分布程度整体呈减弱趋势，而农业设施建设用地、村庄用地、区域基础设施用地则呈增强趋势；林地、草地、湿地、其他土地在各等级上分布指数保持稳定。整体而言，研究区内湿地、陆地水域、农业设施建设用地、城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地分布的低地形位特征明显；耕地、园地、其他土地分布的中地形位特征明显；林地、草地分布的高地形位特征明显。



a 2009年 b 2018年

图3 不同地形位等级各类型分布指数

2.3 国土空间功能结构信息熵、均衡度与优势度

通过计算研究区国土空间功能结构的信息熵、均衡度与优势度发现，从时间序列上看，2009—2018年

仁怀市国土空间功能结构信息熵总体呈上升趋势，说明功能结构的有序度在逐年增强；从不同地形因子的影响上看，信息熵整体随地形因子等级的升高而下降，说明在低海拔低坡度的区域国土空间功能结构的有序度更高，在高海拔高坡度的山地丘陵区，国土空间功能结构类型更单一。2009—2018年均衡度整体上呈上升趋势，而优势度整体上呈下降趋势，说明人类活动对国土空间功能结构利用的均质性在提高，需求类型在增加，这与仁怀市近年来城乡快速发展密切相关；从不同地形因子的影响上看，均衡度整体上随地形因子等级的升高而下降，高等级地形因子功能结构单一的特征使其优势度表现为逐级上升。研究区国土空间功能结构信息熵、均衡度和优势度在地形因子上变化的强烈程度总体表现为高程>地形位>坡度，说明山区海拔对国土空间功能结构类型分布的影响大于地形位和坡度。

综上所述，仁怀市国土空间功能结构分布的优势等级在不同地形因子各梯度上具有差异性，在时间上的变化也具有一定规律。在较低级别的地形区域，湿地、陆地水域、城镇用地、村庄用地、区域基础设施用地、其他建设用地的分布面积较大；在较高级别的地形区域，林地、草地的分布面积较大。10年间仁怀市耕地、园地、其他建设用地在较低级别地形区域上的分布面积整体上呈减少趋势，而村庄用地、农业设施建设用地则呈增加趋势，林地、草地在各级别地形区域上的分布面积保持整体稳定。在地形地貌条件复杂时，采用地形位指数分析国土空间功能结构分布更加合理。仁怀市整体地势变化较大，其国土空间功能结构信息熵受地形梯度影响明显，随地形因子等级的升高而下降。在低海拔低坡度的区域，国土空间功能结构的有序度更高；而在高海拔高坡度的山地丘陵区，国土空间功能结构类型更单一。土地利用结构的信息熵与均衡度变化趋势相同，而与优势度的变化趋势相反。对比分析不同地形因子的影响发现，山区海拔对国土空间功能结构分布的影响大于地形位和坡度。受人类活动影响，10年间仁怀市国土空间功能结构逐渐向均衡态发展。

3　结　语

本文结合研究区实际，从国土空间规划角度将已有土地利用分类方式重新归并细化，利用地形分布指数、信息熵等方法研究和探讨了不同国土空间功能结构在不同等级地形梯度上的分布规律及其变化，以及各地形梯度等级上国土空间功能结构的有序度、均衡度、优势度差异与变化，为其他县域国土空间功能结构的调整和优化提供更准确的参考。结果表明，相较于以往土地利用分类方式，以国土空间功能结构为研究对象分析其在地形梯度和时间上的变化更具科学性，更能满足国土空间规划对土地利用分类的要求；且在新时代自然资源管理工作背景下，可以更好地服务于自然资源管理工作。本文仅从地形梯度上分析了国土空间功能结构的分布格局，如何结合经济、社会、文化、政策等因素更加全面地分析国土空间功能结构时空特征及其关系是下一步的研究重点与方向。

参考文献

[1] 赖小霞,温家洪. 南昌市土地利用变化及其驱动因素分析[J]. 地理空间信息,2022,20(10):54-60

[2] 徐勇,赵燊,段健. 国土空间规划的土地利用分类方案研究[J]. 地理研究,2019,38(10):2 388-2 401

[3] 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

[4] 何志伟,于伯华,王涛,等. 喀斯特高原山区刺梨种植空间格局变化与地形土壤影响因素:以贵州省盘州市为例[J]. 科学技术与工程,2021,21(19):7 956-7 964

[5] 梁发超,刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学,2010,32(11):2 138-2 144

[6] 颜瑜严,杨辽,王伟胜,等. 伊犁河谷景观生态风险时空变化及其地形梯度分析[J]. 生态科学,2020,39(4):125-136

[7] 冯朝阳,于勇,高吉喜,等. 地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J]. 山地学报,2007,25(3):274-279

[8] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(6):102-107

[9] 吴学伟,龚文峰,袁力. 基于DEM黑龙江省土地利用定量分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(9):74-75

[10] 李京京,吕哲敏,石小平,等. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. 农业工程学报,2016,32(7):230-236

[11] 谢花林,温家明,陈倩茹,等. 地球信息科学技术在国土空间规划中的应用研究进展[J]. 地球信息科学学报,2022,24(2):202-219

[12] 张静,任志远. 秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度效应[J]. 农业工程学报,2016,32(14):250-257

[13] 臧玉珠,刘彦随,杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应:以井冈山市为例[J]. 自然资源学报,2019,34(7):1 391-1 404

[14] 宋戈,王盼盼. 松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析:以巴彦县为例[J]. （下转第84页）