

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.02.025

谢贤健. 基于 GIS 和分形理论的沱江流域土地利用结构动态分析. 土壤, 2023, 55(2): 433–440.

基于 GIS 和分形理论的沱江流域土地利用结构动态分析^①

谢贤健

(内江师范学院地理与资源科学学院, 四川内江 641000)

摘要: 以沱江流域 2000 年、2020 年土地利用空间数据库为基础, 应用 GIS 技术及分形理论, 定量分析研究区土地利用空间结构复杂性、稳定性以及空间分布规律。结果表明: ①各种土地利用类型都具有分形特征, 分形维数可以表征土地利用空间格局的变化。②20 年间, 沱江流域的土地利用类型以耕地和林地为主, 占研究区总面积的 90% 以上, 受人为活动影响, 流域内不同土地利用类型之间存在相互转化的过程, 主要的转化特点是耕地和林地大面积减少, 而城乡建设用地迅速扩张。③流域 2 期土地利用的总分形维数分别为 1.351、1.503, 上升趋势近于临界值 1.5; 土地利用整体空间结构稳定性指数从 0.149 下降到 0.003, 说明总体上流域土地空间镶嵌结构趋于复杂化, 稳定性变差。④流域各地类的分形维数和稳定性指数变化存在一定差异, 除未利用地外, 其他土地利用类型的分形维数均呈变大趋势, 空间镶嵌结构趋于复杂化; 耕地、林地、草地、城乡建设用地稳定性指数均减小, 减小的幅度分别达 80.137%、52.439%、55.556%、26.957%, 空间结构变得不稳定; 水域稳定性指数变大, 空间结构变得稳定。

关键词: 沱江流域; 土地利用; 分形维数; 稳定性

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A

Dynamic Analysis of Land Use Structure in Tuojiang River Basin Based on GIS and Fractal Theory

XIE Xianjian

(School of Geography and Resources Science of Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641000, China)

Abstract: Based on the spatial land use database of Tuojiang River Basin in 2000 and 2020 year, the complexity, stability and dynamic change of the spatial structure of land use were quantitatively analyzed by using GIS technology and fractal theory. The results show that: 1) All land use types has fractal characteristics. Fractal dimension can represent the change of land use spatial pattern. 2) In the past 20 years, the main land use types in Tuojiang River Basin are cultivated and forest lands, accounting for more than 90% of the total area. Affected by human activities, there is a process of mutual transformation between different land use types. The main characteristics of land transformation are that cultivated and forest lands decreases in a large area, while urban and rural construction land expands rapidly. 3) The total fractal dimension of land use is increased from 1.351 to 1.503, the stability index of the overall spatial structure of land use is decreased from 0.149 to 0.003, which indicate that the spatial mosaic structure of land tends to be more complex and the stability become worse. 4) There are some differences in fractal dimensions and stability indexes of different land use types. Except for unused land, the fractal dimensions of other land use types tend to increase, and the spatial mosaic structure tends to be complex. The stability indexes of cultivated, forest, grass and urban and rural construction lands are decreased by 80.137%, 52.439%, 55.556% and 26.957% respectively, and the spatial structure tends to be unstable, while the stability index of water area become larger and its spatial structure tends to be stable.

Key words: Tuojiang River Basin; Land use; Fractal dimension; Stability

分形(fractal)是指事物局部与整体具有自相似的特征^[1-2]。分形理论由曼得尔布罗特(Mandelbrot)于 20 世纪 60 至 70 年代提出^[3], 可以用于描述复杂系统的

非线性结构形态。土地利用系统具有典型的非线性动力特征^[4], 其结构具有高度的多维性和近似的或者统计意义上的分形特征^[5-8], 用分形理论对土地利用系

①基金项目: 长江科学院开放研究基金项目(CKWV2017523/KY)和四川省教育厅重点项目(16ZA0312)资助。

作者简介: 谢贤健(1978—), 男, 四川广汉人, 博士, 教授, 主要从事水土保持理论及技术研究。E-mail: 249983710@qq.com

统进行探讨具有较强的理论价值^[5]。

国外在土地利用分形特征研究方面早有报道, Batty 和 Longley^[9]及 Cola^[10]利用分形理论系统研究了城市区域内土地利用类型的分形特征。Torbick 等^[11]基于分形理论, 评价了城市化对土地利用变化的影响, 解释了土地利用变化的预测模型。国内较多学者在研究土地利用结构方面, 主要分析了土地利用的分形维数值、分形研究方法、土地的分形模型等。陆彩红和安如^[6]通过解译徐州市矿区 1990 年、2000 年、2010 年 3 期 TM 影像, 在分析 3 个时期土地利用数量变化的基础上, 研究了分形维数与稳定性指数的动态变化特征, 从不同地类空间形态的变化上定量探讨了徐州矿区 20 a 土地利用的演变, 结果表明, 在城市化驱动下, 经济发展、城市扩张、生态保护是区域土地利用分形特征与结构稳定变化的主要驱动因素。卢德彬等^[7]研究发现, 土地利用类型的分形维数值和稳定性指数的大小可以较好地表征土地利用空间结构的特征。瓦哈甫·哈力克等^[8]探讨了且末绿洲土地利用类型结构的分形维数和复杂性、稳定性的关系, 揭示了土地利用变化的内部机制。吴涟敏和廖善刚^[12]以闽侯县 1994 年、2004 年和 2015 年 3 期遥感影像为数据源, 在 RS、GIS 和统计分析工具的支持下, 基于分形理论分析了土地利用类型的复杂度与稳定度及其空间格局变化, 从而阐述了不同土地利用类型的空间分布规律。总体上, 在地理学领域内, 分形理论应用广泛, 为土地利用空间形态结构的研究提供了有力的理论支撑^[13]。

由于时空环境的演变往往造成同一土地利用类型空间形态存在较大差异, 因而土地利用图斑的形态、数量、空间位置等都蕴含了丰富的时空演变信息^[14-16]。土地利用图斑数量、形状、面积及其构成等决定了土地利用的复杂性和稳定性, 而这种复杂性和稳定性受到人为因素的强烈影响, 通过对土地利用空间格局演变的研究, 可以为政府协调水土开发、区域土地合理利用以及优化土地利用结构提供支持。目前, 利用分形理论对土地利用类型的稳定性、土地利用结构的动态变化和土地利用的空间占据程度等方面有一定的研究, 然而从流域角度探讨土地利用的分形特征时空变化规律鲜有报道。因此, 本研究以沱江流域为例, 应用 GIS 技术及分形理论, 定量分析研究区土地利用空间结构复杂性、稳定性以及空间分布规律, 以丰富、发展、完善、补充我国流域土地利用结构评价的理论机制, 为研究区土地资源的优化配置提供一定的理论指导。

1 研究区概况

沱江流域位于四川省中部, 流域范围涉及德阳市、成都市、简阳市、资阳市、内江市、自贡市、泸州市等大中城市所辖部分行政区(图 1), 流域面积 3.86 万 km², 沱江流域区位示意图见图 1。流域内大、中型工厂超过千余座, 是四川省工业集中之地, 人口密度之高冠于其他各河。该流域地处四川省的腹地地带, 对全省社会经济发展起重要的作用。

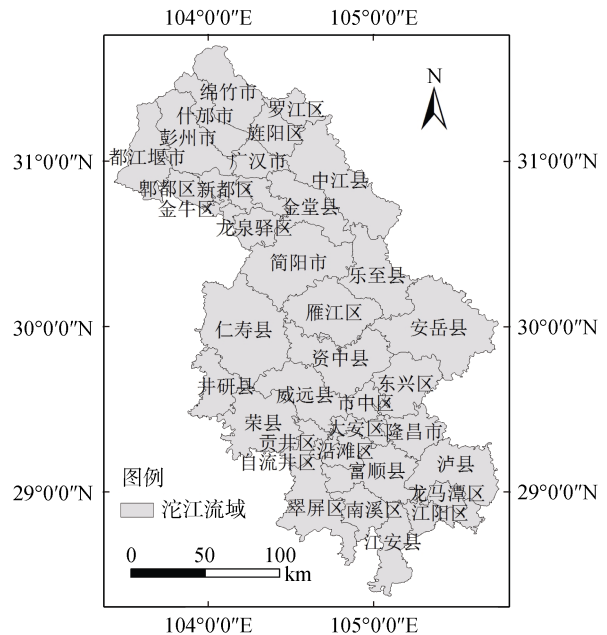


图 1 沱江流域区位示意图

Fig. 1 Location diagram of Tuojiang River Basin

2 研究方法与数据来源

2.1 评价单元确立

沱江流域涉及县市众多, 为便于研究分析, 若市、县、区仅部分行政辖区位于沱江流域范围内, 也纳入研究区; 基于此, 分别在沱江流域的上、中、下游选取成都、德阳、内江、自贡、泸州市相关 38 个市县区作为研究单元, 确定研究区范围, 具体见图 1。

2.2 数据来源

本研究选取的 2000 年、2020 年沱江流域 Landsat-MSS、Landsat 8 遥感影像数据源自地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn/>)。遥感影像采用 ENVI5.1 软件进行监督分类解译^[12], 土地利用分类标准参照中科院土地利用覆被变化(LUCC)分类体系^[17]进行, 共计划分耕地、林地、草地、水域、城乡建设用地和未利用地 6 个类型(表 1), 2 期土地利用现状

图如图 2 所示。经混淆矩阵法精度验证，2 期影像图分类精度均大于 0.85，满足研究需要。

表 1 土地利用分类标准^[17]
Table 1 Land use classification standards

土地利用类型	特征描述
耕地	指种植农作物的土地
林地	指生长乔木、竹类、灌木的土地
草地	指以生长草本植物为主，覆盖度在 5% 以上的各类草地
水域	指陆地水域、水工建筑物等用地
城乡建设用地	指城乡居民点及其工矿、交通等用地
未利用地	目前还未利用的土地，包括难利用地

2.3 土地利用转移分析

基于 GIS 技术，首先将 2 期土地利用数据中相同类型的土地利用进行融合，然后利用 Intersect 命令将 2 期数据进行叠加，获得新的交集图层，在交集图层中建立面积字段并计算面积，利用表转 Excel 工具，将交集图层中属性表转成 Excel 表并打开插入数据透视表，将 2000 年的土地利用类型数据设置为行，2020 年的土地利用类型数据设置为列，即得到土地利用转移矩阵表。同时，基于 GIS 技术，在交集图层中新建一个转换字段，用字段计算器输入公式[2000land]+“-”+[2020land]，并计算转换字段，计算结果为不同

土地利用之间的转化情况；利用转换字段制图，即可得到不同土地利用类型在空间上的相互转化图。

2.4 分形维数计算

目前分形维数和稳定性指数计算方法相对成熟，本研究采用参考文献[12]中的方法计算土地利用类型的分维数和稳定性指数。

3 结果与分析

3.1 土地利用现状及转移

基于 GIS 技术，构建沱江流域 2000 年、2020 年土地利用空间数据库，并计算土地利用转移矩阵(表 2)和输出土地利用转移图(图 3)。

由表 2 可知，沱江流域 2000 年和 2020 年的土地利用类型以耕地和林地为主，占研究区总面积的 90%以上。各用地类型按面积大小依次为耕地>林地>城乡建设用地>水域>草地>未利用地。2000—2020 年间，沱江流域各类用地面积变化总量依次为耕地>林地>城乡建设用地>水域>草地>未利用地；其中，耕地、林地面积减少，其他土地利用类型面积增加；耕地面积减少最多，为 89 338.286 hm²；城乡建设用地增加最多，为 121 565.242 3 hm²。由此说明耕地、林地和城乡建设用地受到了人为活动的强烈干扰。

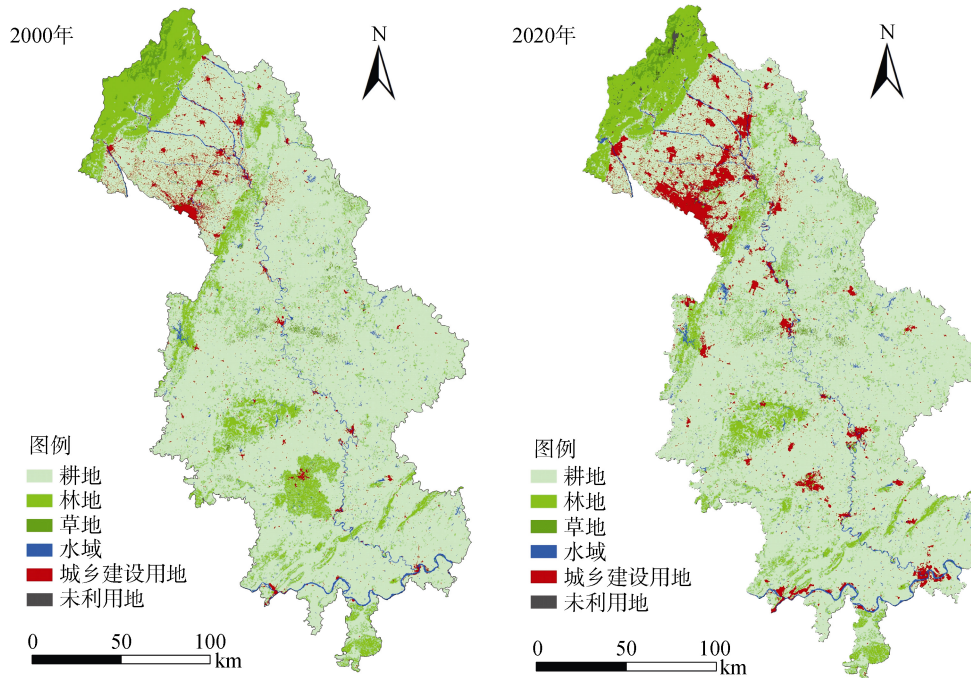


图 2 沱江流域 2000 年、2020 年土地利用现状图
Fig. 2 Land use patterns of Tuojiang River Basin in 2000 and 2020

表 2 2000—2020 年土地利用转移矩阵
Table 2 Land use transfer matrix from 2000 to 2020

2000 年	2020 年									
	耕地 (hm^2)	林地 (hm^2)	草地 (hm^2)	城乡建设用地 (hm^2)	水域 (hm^2)	未利用地 (hm^2)	变化总量 (hm^2)	总计 (hm^2)	转移率 (%)	2000 年比例 (%)
耕地	2 872 890.619	79 923.183	6 193.080	130 700.851	13 134.948	336.630	230 288.693	3 103 179.311	7.421	80.474
林地	107 784.470	415 319.471	5 586.783	8 102.464	3 336.699	6 258.987	131 069.404	546 388.876	23.988	14.169
草地	4 648.065	4 745.669	34 588.944	531.736	356.073	505.052	10 786.595	45 375.539	23.772	1.177
水域	10 721.870	1 145.442	29.817	2 137.760	48 864.816	52.796	14 087.684	62 952.500	22.378	1.633
城乡建设用地	17 748.161	1 129.681	93.725	77 752.757	932.014	11.113	19 914.694	97 667.450	20.390	2.533
未利用地	47.840	28.751	2.283	7.124	75.449	373.180	161.447	534.628	30.198	0.014
总计	3 013 841.025	502 292.198 2	46 494.630 63	219 232.692 3	66 699.999 82	7 537.758 289	406 308.517	3 856 098.304	—	—
2020 年比例(%)	78.158	13.026	1.206	5.685	1.730	0.195	10.537	—	—	100.000

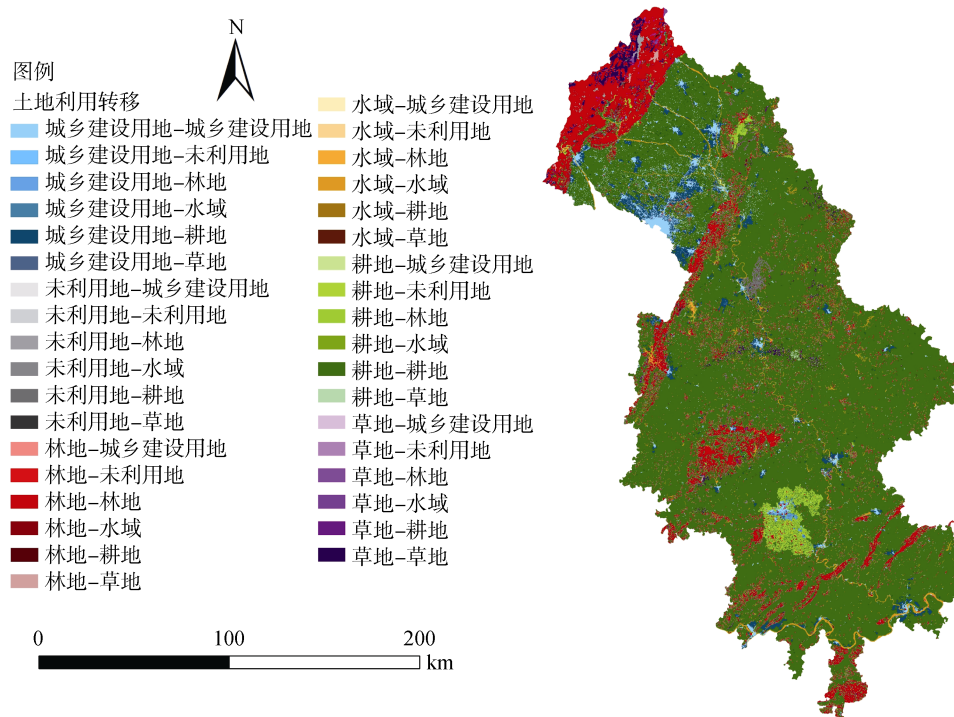


图 3 2010—2020 年土地利用类型转移图

Fig. 3 Transfer map of land use types from 2010 to 2020

结合表 2 和图 3 分析可知, 20 年间, 受到人为因素的影响, 沱江流域不同土地利用类型之间相互转化, 转移率大小表现为未利用地>林地>草地>水域>城乡建设用地>耕地。2000 年和 2020 年未利用地占流域面积本身很少, 2020 年增加的面积主要来自于林地, 达到 6 258.987 hm^2 。从空间分布来看, 转移自林地的未利用地主要为灌木林和部分人工林, 且绝大部分分布在沱江流域上游的绵竹市、什邡市、彭州市和都江堰市。

2000 年林地面积占流域面积 14.169%, 2020 年减少的面积主要转化为耕地、城乡建设用地和未利用地, 面积分别为 107 784.470、8 102.464、6 258.987 hm^2 。从空间分布来看, 转移自林地的耕地主要为沱江中上游的疏林地和下游的人工林地, 每个县市均有转移; 转移自林地的城乡建设用地主要为沱江上游的新都区、青白江区、龙泉驿区、金堂县的疏林地和下游沿滩区、自流井区、大安区、贡井区的有林地, 其他区域零星转化; 转移自林地的未利用地主要分布于沱江流域上游的绵竹市、什邡市、彭州市和都江堰市的灌木林和部分人工林。

2000 年草地面积占流域面积 1.177%, 2020 年增加的面积主要来自于耕地和林地, 面积分别为 6 193.080、5 586.783 hm^2 。从空间分布来看, 转移自耕地的草地主要为零星分布于沱江流域中上游的旱

地; 转移自林地的草地主要为分布于沱江流域上游的绵竹市、什邡市、彭州市和都江堰市的灌木林。

2000 年水域面积占流域面积 1.633%, 2020 年增加的面积主要来自于耕地和林地, 面积分别为 13 134.948、3 336.699 hm^2 。从空间分布来看, 转移自耕地和林地的水域均零星分布于全流域, 多为旱地和疏林地。

2000 年城乡建设用地面积占流域面积 2.533%, 2020 年增加的面积主要来自于耕地和林地, 面积分别为 130 700.851、8 102.464 hm^2 。从空间分布来看, 转移自耕地的城乡建设用地主要集中分布于各大城市周围的水田; 转移自林地的城乡建设用地主要集中分布于沱江流域上游新都区、青白江区、龙泉驿区、金堂县的疏林地和中下游大安区、贡井区、沿滩区的人工林地。

2000 年耕地面积占流域面积 80.474%, 2020 年减少的面积主要转化为城乡建设用地、林地和水域, 面积分别为 130 700.851、79 923.183、13 134.948 hm^2 。从空间分布来看, 转移自耕地的林地在全流域均有分布; 转移自耕地的水域多为旱地, 零星分布于全流域。

总体来看, 20 年间, 流域内不同土地利用类型之间存在相互转化的过程。耕地的转移率虽然最小, 但是面积变化却是最大, 主要转化为城乡建设用地; 林地面积在整个沱江流域中排第二, 转移率也排第

二,且主要转化为耕地和城乡建设用地;未利用地面积虽少,但转移率却排第一,主要是林地退化成未利用地。可见,流域内土地利用主要的转化特点是耕地和林地大面积减少,而城乡建设用地迅速扩张,人为活动强烈扰动土地利用类型的转变。这一结论与龙杰^[18]的研究结果相一致。

3.2 不同土地利用类型的分形特征

基于 GIS 技术,以 2000 年、2020 年的土地利用数据为基础,计算得到不同土地利用类型的面积、周长,并根据分形模型,计算分形维数值(表 3)。由表 3 可知,各地类斑块面积与斑块周长的双对数回归方程拟合效果均较好, R^2 均在 0.895 以上,说明不同的土地利用类型均有分形特征,应用分形理论评价土地利用结构的复杂性和稳定性是具有可行性的。

分形维数值的变化反映出土地利用变化的趋势,其值越大,空间镶嵌结构越复杂,反之空间结构越简单^[19-20]。由表 3 可知,2000 年内江市整体

城市土地利用类型分形维数值为 1.351,2020 年为 1.503。总体上,研究区土地利用的分形维数呈现变大的趋势,空间镶嵌结构趋于复杂化。

从表 3 还可以看出,2000 年沱江流域不同土地利用类型分形维数值的大小排序为:水域>未利用地>耕地>林地>草地>城乡建设用地。水域分形维数值接近 1.5,表示其空间镶嵌结构非常复杂,空间结构最不稳定;未利用地、耕地、林地、草地分形维数值在 1.35 左右,它们的空间镶嵌结构相对复杂;城乡建设用地分形维数值最小,表明空间上的镶嵌结构比较简单。2020 年沱江流域不同土地利用类型分形维数值的大小排序为:水域>耕地>林地>草地>未利用地>城乡建设用地,可见,在 2020 年内沱江流域土地利用结构中,仍以水域空间镶嵌结构最为复杂,除未利用地外,其他土地利用类型的分形维数值均增大,空间镶嵌结构更加复杂化。

表 3 2000 年、2020 年不同土地利用类型分形维数
Table 3 Fractal dimensions under different land use types in 2000 and 2020

土地利用类型	年份	周长-面积关系式	R^2	分形维数 D	分形维数变化 ΔD
耕地	2000	$\ln A=1.477\ln P+0.197$	0.954	1.354	0.175
	2020	$\ln A=1.308\ln P+1.558$	0.942	1.529	
林地	2000	$\ln A=1.497\ln P+0.319$	0.949	1.336	0.086
	2020	$\ln A=1.406\ln P+1.033$	0.941	1.422	
草地	2000	$\ln A=1.525\ln P-0.043$	0.948	1.311	0.015
	2020	$\ln A=1.412\ln P+0.895$	0.928	1.416	
水域	2000	$\ln A=1.382\ln P+1.005$	0.945	1.447	0.125
	2020	$\ln A=1.272\ln P+1.854$	0.950	1.572	
城乡建设用地	2000	$\ln A=1.575\ln P-0.246$	0.946	1.270	0.062
	2020	$\ln A=1.501\ln P+0.360$	0.950	1.332	
未利用地	2000	$\ln A=1.459\ln P+0.629$	0.895	1.371	0
	2020	$\ln A=1.7760\ln P-0.8643$	0.932	1.371	
合计	2000	$\ln A=1.480\ln P+0.269$	0.948	1.351	0.152
	2020	$\ln A=1.331\ln P+1.467$	0.936	1.503	

3.3 不同土地利用类型的面积、斑块数量与分维数之间的关系

由表 4 可以发现,2000—2020 年,沱江流域耕地斑块数减少且变化较大,斑块面积减少最多,平均斑块面积增加,分形维数在变大且 2020 年其值接近于临界值 1.5,说明耕地的空间镶嵌结构趋于复杂化且很不稳定。林地的斑块数增加,斑块面积和平均斑块面积均在减少,分形维数变大,说明林地空间分布趋于复杂化。草地的斑块数、斑块面积增加,平均斑块面积减少,分形维数增大,说明草地的空间分布趋

于复杂化。水域的斑块数减少,斑块面积和平均斑块面积增加,分形维数变大且最大,说明水域的空间分布趋于复杂化。城乡建设用地的斑块数、斑块面积、平均斑块面积均增加,分形维数变大,说明该用地空间分布趋于复杂化。未利用地的斑块数、斑块面积、平均斑块面积均增加且幅度最大,分形维数未发生变化,说明该用地空间结构稳定;分形维数不变的原因是未利用地面积占比太少,空间分布主要集中于流域上游,复杂化程度低。

由以上分析可知,分形维数并不是单一因素的简

表 4 不同土地利用类型斑块面积、数量与分形维数
Table 4 Patch areas, quantities and fractal dimensions under different land use types

土地利用类型	年份	斑块数	周长(m)	斑块面积(hm ²)	平均斑块面积(hm ²)	分形维数 <i>D</i>
耕地	2000	32 532	259 459 119.459	3 103 179.311	95.389	1.354
	2020	29 418	262 759 298.351	3 013 841.025	102.449	1.529
林地	2000	10 790	40 303 813.938	546 388.876	50.638	1.336
	2020	11 081	38 696 120.021	502 292.198	45.329	1.422
草地	2000	967	3 422 702.114	45 375.539	46.924	1.311
	2020	1 062	3 665 076.504	46 494.631	43.780	1.416
水域	2000	1 835	6 702 749.952	62 952.500	34.307	1.447
	2020	1 776	7 008 591.566	66 700.000	37.556	1.572
城乡建设用地	2000	6 921	11 987 248.066	97 667.450	14.112	1.270
	2020	7 976	17 288 216.528	219 232.692	27.487	1.332
未利用地	2000	26	66 771.035	534.628	20.563	1.371
	2020	160	513 927.659	7 537.758	47.111	1.371
合计	2000	53 071	321 942 404.563	3 856 098.304	72.659	1.351
	2020	51 473	329 931 230.630	3 856 098.304	74.915	1.503

单叠加和直接反映,而是表征土地利用变化中面积、斑块数量和平均斑块面积等单项指标的综合定量指标,本研究结果与孙栋元等^[21]的结论一致。

3.4 不同土地利用类型稳定性指数的时空动态变化

根据稳定性指数计算公式,计算得出各土地利用类型的空间结构稳定性指数(图 4),2000 年沱江流域土地利用整体空间结构稳定性指数为 0.149,2020 年为 0.003,说明整个研究区土地利用类型的空间结构稳定性差且趋于不稳定。据图 4,随时间推移,耕地、林地、草地、城乡建设用地稳定性指数均减小,减小的幅度分别达 80.137%、52.439%、55.556%、26.957%,说明这几类土地利用类型的空间结构趋于不稳定;水域稳定性指数变大,说明其空间结构趋于稳定;未利用地稳定性指数未发生变化。比较分析 2020 年 6 种土地利用空间结构稳定性指数可知,空间结构稳定性最高的是城乡建设用地(0.168),该土地类型的斑块数量不多,形态结构简单,分形维数最小(表 4),易受人类活动的影响。实际上,城市建设用地通常形态较规则且集中分布,因而其分形维数较小,结构稳定性较高。结构稳定性指数其次的是未利用地(0.129),其斑块数量较少,集中分布于沱江流域上游,斑块结构相对比较简单,因而其稳定性较高。草地、林地、水域、耕地结构稳定性指数分别为 0.084、0.078、0.072、0.029,接近 0,土地利用结构极不稳定。这是因为草地主要零星分布于沱江流域的中上游,分布不规则,且斑块数量增加,同时受到土地利用转化的影响,稳

定性指数也不高;林地虽然面积大但在减少,而斑块数在增加,主要转变成耕地和城乡建设用地,受人为影响很大,结构复杂化,因此稳定性不高;水域稳定性指数略有增加,但斑块数减少,斑块面积和平均斑块面积增加,主要沿各江河零星分布于全流域,形态不规则,因此稳定性不高;耕地面积最大但减少数量最多,主要转变成城乡建设用地和林地,且在全流域广泛分布,形态不规则,受人为影响很大,结构复杂化,因此稳定性差。

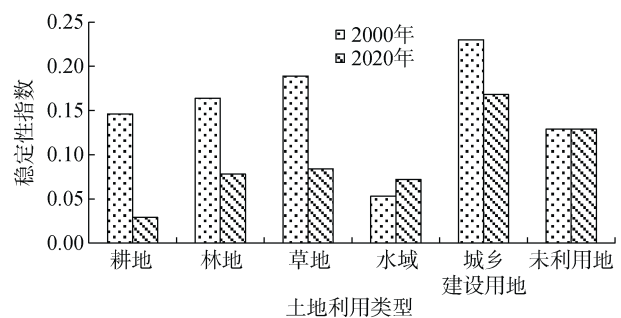


图 4 不同土地利用空间结构稳定性指数

Fig. 4 Stability indexes of spatial structure under different land uses

4 结论

土地利用在时空维度上受自然、社会经济因素的影响,具有分形特征,分形理论对揭示土地利用的复杂性和稳定性是一种很好的方法。基于 GIS 软件和分形理论,对沱江流域 2000 年和 2020 年土地利用结

构进行动态评价,得到以下结论:

1) 沱江流域 2000 年和 2020 年的土地利用类型以耕地和林地为主,占研究区总面积的 90% 以上。各用地类型按面积大小依次为耕地>林地>城乡建设用地>水域>草地>未利用地。20 年间耕地、林地面积减少,其他土地利用类型面积增加;城乡建设用地增加幅度最大,说明流域内用地类型受到了人为活动的强烈干扰。根据土地利用转移矩阵,20 年间,流域内不同土地利用类型之间存在相互转化的过程,土地主要的转化特点是耕地和林地大面积减少,而城乡建设用地迅速扩张,这进一步说明了人为活动对流域土地利用类型的改变具有强烈的扰动作用。

2) 从时间角度来看,沱江流域 2 期土地利用的总分形维数分别为 1.351、1.503,上升趋势近于临界值 1.5,说明总体上流域土地空间镶嵌结构更加复杂化,稳定性变差。除未利用地外,耕地、林地、城乡建设用地、水域、草地的分形维数值均变大,表明其空间镶嵌结构的复杂性有所增加。

3) 20 年间沱江流域土地利用整体空间结构稳定性指数从 0.149 下降到 0.003,说明整个研究区土地利用类型的空间结构稳定性差且趋于不稳定。受到人为因素的强烈影响,耕地、林地、草地、城乡建设用地稳定性指数剧烈减小,空间结构趋于不稳定;水域稳定性指数变大,空间结构趋于稳定;未利用地稳定性指数未发生变化。

参考文献:

- [1] 孙玉梅,史保林,徐玉静,等. 西双版纳土地利用时空分形特征分析[J]. 测绘通报, 2020(11): 108-111.
- [2] 张立峰,闫浩文,张斌才,等. 兰州新区土地利用分形特征[J]. 测绘科学, 2016, 41(12): 130-135.
- [3] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. San Francisco: W.H. Freeman, 1982
- [4] 黄秉维,郑度,赵名茶. 现代自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [5] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.
- [6] 陆彩红,安如. 土地利用结构分形特征动态分析[J]. 地理空间信息, 2016, 14(1): 82-85, 6.
- [7] 卢德彬,禹真,毛婉柳,等. 基于 GIS 和分形理论的山区土地利用空间结构研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 220-223, 228.
- [8] 瓦哈甫·哈力克,杨玲,布佐热,等. 基于分形理论的车尔臣河流域中下游土地利用动态变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 6-12.
- [9] Batty M, Longley P A. The morphology of urban land use[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1988, 15(4): 461-488.
- [10] Cola L D. Fractal analysis of a classified landsat scene[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1989, 55(5): 601-610.
- [11] Torbick N M, Qi J G, Roloff G J, et al. Investigating impacts of land-use land cover change on wetlands in the Muskegon River Watershed, Michigan, USA[J]. Wetlands, 2006, 26(4): 1103-1113.
- [12] 吴链敏,廖善刚. 基于 GIS 和分形理论的土地利用空间格局分析——以闽侯县为例[J]. 地球环境学报, 2019, 10(2): 156-165.
- [13] 张丽,杨庆媛,冯应斌. 基于分形理论的区域土地利用类型探讨——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(8): 137-141.
- [14] Ferrarini A, Rossi P, Rossi O. Ascribing ecological meaning to habitat shape by means of a piecewise regression approach to fractal domains[J]. Landscape Ecology, 2005, 20(7): 799-809.
- [15] Imre A R, Bogaert J. The fractal dimension as a measure of the quality of habitats[J]. Acta Biotheoretica, 2004, 52(1): 41-56.
- [16] 王敬哲,陈志强,陈志彪. 基于分形维数的长汀县土地利用动态变化[J]. 地球环境学报, 2018, 9(5): 489-496.
- [17] 刘宇航,陈春. 基于分形理论的土地利用类型——以重庆永川区为例[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(34): 14004-14010.
- [18] 龙杰. 基于转移矩阵的昆明市呈贡区土地利用变化分析[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(17): 75-77, 128.
- [19] 王璐璐,张征,李坚,等. 基于 GIS 的土地利用类型分形维数及稳定性研究——以滇池流域为例[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(3): 131-134.
- [20] 汪权方,王倩,张起鹏,等. 基于矢量数据的土地利用类型分维数计算程序设计及其应用[J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 259-265.
- [21] 孙栋元,赵成义,魏恒,等. 基于分维模型的台兰河流域土地利用变化研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 218-222.