

基于遥感影像的土地利用变化监测和碳排放效应研究 ——以湖南省郴州市为例

文 / 段文海 郴州市设计集团有限公司

谷志鹏 郴州市设计集团有限公司

摘要：准确、及时地掌握土地利用变化信息对于土地资源的合理规划、管理和可持续利用具有至关重要的作用。本文利用土地利用转移矩阵和碳排放测算模型，以湖南省郴州市作为此次研究的对象，研究2000至2020年其土地利用变化和碳排放效应，以为后期能源消耗结构，新能源利用，制定相关的碳减排政策。

关键词：土地利用转移矩阵；碳排放；低碳；碳减排

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.116

引言

郴州市作为湖南省的南大门，随着近20年来城镇化进程的加快推进，使得整个市域的土地利用情况发生了极大变化，由此引起的碳排放量也迅速增加。

本文拟根据郴州市2000—2020年的土地利用/覆被数据和能源消耗数据，依据土地利用转移矩阵和碳排放测算模型的结果来探讨2000—2020年郴州市土地利用的结构变化和碳排放效应的时空格局特征，为郴州市土地利用结构优化以及实现区域碳中和目标、推动绿色低碳发展提供一定的参考。

一、研究区域与方法

(一) 数据来源

本文采用的数据包含郴州市2000年、2010年和

2020年3个时期的GlobeLand 30土地利用/覆被数据(30m×30m)；郴州市行政区划图(矢量)；2001—2021年《中国能源统计年鉴》面板数据；2001—2021年《中国城市统计年鉴》面板数据。GlobeLand 30数据集是由自然资源部组织制作和发布的全球地表覆盖数据，第三方评价总体精度为83.50%，用地类型主要分为10类。GlobeLand 30数据集的时间序列较完整、数据精度较高、覆盖范围较广，适用于市域尺度的土地利用变化动态分析研究。本文基于GlobeLand 30遥感影像数据的用地分类系统，结合第三次全国国土调查土地分类，将本次研究采用的用地类型归并为6类，分别是耕地、林地、草地、水体、建设用地、未利用地(如图1所示)。

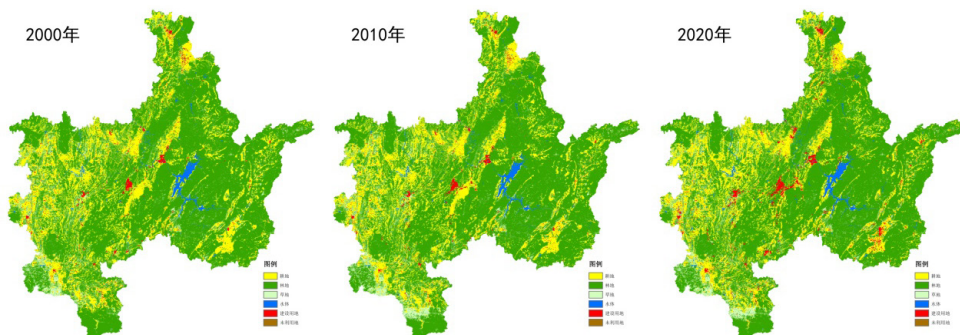


图1 郴州市土地利用分类图

(二) 研究方法

1. 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是以二维矩阵的形式将同一地区不同时相的土地覆盖类型之间相互转换的数量关系表征出来^[1]，应用土地利用变化转移矩阵可以具体分析研究区内土地利用的结构变化和各用地类型流转的方向。其数学公式为：

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

上述公式中， S_{ij} 表示第*i*种土地利用类型转换成第*j*

种土地利用类型的面积， i ($i=1, 2, \dots, n$)， j ($j=1, 2, \dots, n$) 分别为研究期初和研究期末的土地利用类型， n 代表土地利用类型的种类。

2. 土地利用碳排放量测算

(1) 直接碳排放量测算

郴州市拥有丰富的林地和草地资源，这些资源具有重要的碳汇能力。通过遥感影像技术，可以估算出郴州市的碳汇量，其计算公式为：

$$E_k = \sum e_i = \sum T_i \times \delta_i$$

上述公式中： E_k 指的是直接碳排放量； i 为土地类

型 ($i=1, 2, 3, 4, 5$), 分别表示各类非建设用地; e_i 指的是第*i*种类型土地产生的碳排放量; T_i 为第*i*种类型土地的面积; δ_i 为第*i*种类型土地的碳排放(吸收)系数, 其中碳排放为正值, 碳吸收为负值^[2-3]。

综合郴州市土地利用类型的碳排放系数如下(表1)。

表1 郴州市土地碳排放系数

土地利用类型	碳排放系数	单位
耕地	0.0422	kg/(m ² ·a)
林地	-0.0578	kg/(m ² ·a)
草地	-0.0021	kg/(m ² ·a)
水域	-0.0252	kg/(m ² ·a)
建设用地	间接测算	
未利用地	-0.0005	kg/(m ² ·a)

(2) 间接碳排放量估算

通过生产生活中能源消耗产生的CO₂量来表征, 选取的能源有原煤、天然气和电力等, 计算时将上述各种能源消耗量换算成标准煤量。计算公式为:

$$E_t = \sum E_{ti} = \sum E_{ni} \cdot \theta_i \cdot f_i$$

上述公式中: E_t 表示建设用地的碳排放量; E_{ti} 表示各类能源的碳排放量; E_{ni} 表示各类能源的消耗量; θ_i 表示各类能源转换为标准煤的系数; f_i 表示各类能源的碳

排放系数。通过相关文献综合研究, 结合湖南省能源消耗结构的具体情况, 本文取表2作为具体能源的碳排放系数。

表2 具体能源碳排放系

能源类型	折标煤系数		碳排放系数 (tC/t)
	(kgce/kg, kgce/10 ⁶ KJ, kgce/kW·h)		
原煤	0.7143		0.7559
焦炭	0.9714		0.8550
其他石油制品	1.4286		0.5857
汽油	1.4714		0.5538
煤油	1.4714		0.5714
柴油	1.5714		0.5912
燃料油	1.4286		0.6185
液化石油气	1.7143		0.5042
天然气	1.2143		0.4483
电力	0.1229		2.5255

二、结果与分析

(一) 土地利用类型转变情况

通过遥感影像的对比分析, 监测郴州市土地利用的显著变化, 包括城市建设用地的扩张、耕地的减少以及林地的增加等。提取出2000—2010年、2010—2020年两个研究期的土地利用转移矩阵, 以及2000—2020年郴州市土地利用类型统计(表3)。

表3 2000—2020年郴州市土地利用类型统计(单位: km²)

土地利用类型	2000年		2010年		2020年	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例
耕地	4064.1957	20.95%	4045.4352	20.85%	4003.5087	20.64%
林地	13432.9986	69.25%	13373.7588	68.94%	13244.8167	68.27%
草地	1356.7608	6.99%	1461.7692	7.54%	1364.8230	7.04%
水体	298.7199	1.54%	258.8571	1.33%	328.4937	1.69%
建设用地	243.4041	1.25%	256.8249	1.32%	453.4605	2.34%
未利用地	3.1491	0.02%	2.5830	0.01%	4.1256	0.02%
合计	19399.2282	100%	19399.2282	100%	19399.2282	100%

1. 2000—2010年郴州市土地利用转移矩阵

从郴州市2000—2010年的土地利用总体变化情况来看, 这10年间有63.2754的其他地类转变为建设用地, 建设用地转出面积为49.8546km², 建设用地面积累计增加了13.4208km²。耕地转入面积为69.6735km², 而转出面积为88.4340km², 可见耕地面积减少了18.7605km²。有38.5155km²其他用地类型转变为林地, 林地转出面积为97.7553km², 其中林地转草地面积达到了89.7030km², 林地面积明显较少, 变化幅度较大。草地面积转入为107.0397km², 转出为2.0313km², 草地面积转入较多, 共增加了105.0084km²。水体面积转入26.8983km², 转出面积66.7611km², 面积减少较多, 水体面积主要转变为耕地、林地和草地的面积。未利用地变化不大, 共减少了0.5661km²。总体来说, 2000—2010年这期间, 建设用地和草地面积增多, 其他类型用地面积减少, 城乡开发建设对土地需求增多, 土地利用变化较明显。

2. 2010—2020年郴州市土地利用转移矩阵

从郴州市2010—2020年的土地利用总体变化情况来看, 其中建设用地转入230.8365km², 主要以耕地、林地

和草地转入为主, 建设用地转出面积为34.2009km², 这期间建设用地净增长196.6356km²。有505.0287km²的其他用地类型转变为耕地, 而耕地转出面积546.9552km², 减少了41.9265km²。林地的转入面积为672.3882km², 转出面积为801.3303km², 减少了128.9421km²。有403.4142km²的其他用地类型转变为草地, 草地转出面积为500.3604km², 减少了96.9462km²。水体转入面积为90.8658km², 转出面积为21.2292km², 增加了69.6366km²。未利用地面积变化不大, 共增长了1.5426km²。总体来说, 2000—2010年这期间, 除未利用地外的各用地类型之间相互转变的力度较大, 耕地、林地和草地的面积减少较多, 建设用地和水体面积增加较多, 郴州市经济持续不断的发展, 城市化水平进一步提高, 城乡开发建设对土地的需求量急剧增加, 使得2010—2020年10年间的建设用地面积增长了76.56%, 这期间城镇建设用地处于快速扩张阶段。

3. 2000—2020年郴州市土地利用类型统计

从表3可以看出, 耕地面积逐阶段减少, 近20年来累计减少60.6870km², 由2000年占比20.95%降低至20.64%。林地是郴州市的主要用地类型, 2000年至2020

年间共减少了 188.1819km², 用地面积占比下降了 1% 左右, 由 69.25% 降低至 68.27%。草地面积在 2010 年增加了 105.0084km², 而到 2020 年又降低了 96.9462km², 研究期内累计增加了 0.05%。水体面积在 2010 年减少了 39.8628km², 而在 2020 年增加了 69.6366km², 研究期内累计增加了 29.7738km²。近 20 年未利用地的面积未发生较大的变化, 研究期内用地占比保持一致。建设用地面积逐年增长, 2000 年到 2010 年增长了 13.4208km², 2010 年到 2020 年增长了 196.6356km², 相较于 2010 年的建设用地其增幅达到了 76.56%, 这期间郴州市城镇空间呈现出快速发展的态势, 建设用地扩大主要在城镇近郊, 快速城镇化占用了城镇近郊大量的林地和草地以及少部分农田。

表 4 郴州市 2000—2020 年土地利用碳排放量测算结果 (单位 10⁴t)

年份	碳源			碳汇			净碳排放
	建设用地	耕地	林地	草地	水体	未利用地	
2000 年	208.5630	17.1509	-77.6427	-0.2849	-0.7528	-0.0002	147.0333
2010 年	713.5942	17.0717	-77.3003	-0.3070	-0.6523	-0.0001	652.4062
2020 年	800.6855	16.8948	-76.5550	-0.2866	-0.8278	-0.0002	739.9107

从表 4 可以得出, 郴州市土地利用的碳排放量在研究期 2000—2020 年呈现出持续增长的发展态势。2000 年到 2010 年期间碳排放量增势迅猛, 这阶段郴州市的经济增加快速, 城镇化快速推进, 农村人口向城镇人口的快速集聚引起了能源消耗量的剧增, 区域内碳排放量由 147.0333 万吨增长到了 652.4062 万吨, 十年间碳排放变化量为 505.3729 万吨, 增长了 343.71%; 2010 年到 2020 年期间增势较缓, 此阶段郴州市第二、三产业蓬勃发展, 产业结构调整引起林地、草地和耕地向建设用地大量流转, 土地利用结构发生了较大的变化, 十年间碳排放变化量为 87.5045 万吨, 增长了 13.41%。建设用地作为主要的碳源, 碳排放量所占比例最大, 呈逐年增长态势; 耕地作为碳源之一, 其碳排放量所占比例很小, 呈现逐年减少的态势, 这是由于郴州市耕地面积逐年减少所致; 从碳汇来看, 林地作为主要碳汇呈轻微的下降趋势, 水体、草地和未利用的碳吸收量级变化不大。

结语

本文利用土地利用转移矩阵和碳排放测算模型, 定量分析了 2000—2020 年郴州市土地利用的结构变化和碳排放效应情况。研究表明: 研究期间土地利用 / 覆被变化呈现出“两减四增的特征”, 即耕地和林地总体面积减少, 建设用地、水体、草地和未利用的总体面积增加; 郴州市城镇化快速推进, 到 2020 年建设用地面积增加了 1.86 倍, 耕地面积减少 1.49%, 林地面积减少了 1.40%; 土地利用类型变化和能源消耗结构组成直接影响着区域碳排放效应, 郴州市 20 年间净碳排放增加了 592.8774 万 t, 2020 年郴州市净碳排放相比 2000 年净碳排放增加了 403.23%。

通过分析 2000—2020 年郴州市土地利用转移矩阵和土地利用碳排放量测算的结果, 结合当前郴州市实际情

(二) 土地利用碳排放量测算结果

首先, 根据 2000—2020 年郴州市土地利用类型统计表 (表 3) 的数据, 计算出除建设用地外其他土地利用类型的直接碳排放量; 然后, 利用《中国能源统计年鉴》面板数据中湖南省 2000—2020 年的能源消耗数据, 通过不同能源的碳排放系数表 (表 2) 折算出湖南省在 2000 年、2010 年和 2020 年三个时间节点的间接碳排放量; 其次, 采用《中国城市统计年鉴》数据, 对湖南省的碳排放量按人口权重进行县域碳排放分配, 得出郴州市在 2000 年、2010 年和 2020 年的间接碳排放量; 最后, 通过各时间节点的直接碳排放量和间接碳排放量测算出郴州市 2000—2020 年土地利用净碳排放 (表 4)。

况, 为促进郴州市绿色低碳发展, 现提出以下建议:

(1) 发挥《郴州市国土空间总体规划》对土地碳减排的指导效力。在郴州市现行编制的国土空间总体规划的基础上, 根据土地利用类型的碳排放及转变过程中的碳排放情况, 对土地利用结构进行合理优化, 避免建设用地占用林地、草地等具有碳汇功能的用地类型。

(2) 贯彻落实林长制。近 20 年来, 郴州市林地面积呈逐年减少的趋势, 林地的碳吸收能力有所降低, 应加强生态林、公益林的管护, 使其生态效益最大化。

(3) 推动低碳能源发展。加快风能、太阳能等新能源设施的建设, 发展低碳技术, 促进科技进步和节能创新。

(4) 加快实施生态保护和修复工程, 推进国土绿化行动。根据郴州市各县市区的自然资源本底情况, 挖掘主要的生态问题, 实施生态保护和修复工程, 提高陆地生态系统的碳汇能力, 构建绿色低碳的国土空间生态格局。

参考文献

[1] 张建国, 李晶晶, 殷宝库, 等. 基于转移矩阵的准格尔旗土地利用变化分析 [J]. 水土保持通报, 2018, 38 (01): 131-134.

[2] 王慧敏, 曾永年. 青海高原东部土地利用的低碳优化模拟: 以海东市为例, 地理研究, 2015, 34 (7): 1270-1284.

[3] 朱巧娴, 梅昀, 陈银蓉, 等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究. 经济地理, 2015, 35 (12): 176-184.

作者简介: 段文海 (1980.04), 男, 汉族, 湖南耒阳人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 国土空间规划研究。谷志鹏 (1991.02), 男, 汉族, 湖南宜章人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 土地利用变化研究。