

基于Landsat遥感影像的长时序红塔区土地利用动态分析研究

任启洪^{1,2}, 许泉立^{1,2*}

¹云南师范大学地理学部, 云南 昆明

²教育部西部资源与环境地理信息技术工程研究中心, 云南 昆明

收稿日期: 2025年5月28日; 录用日期: 2025年6月29日; 发布日期: 2025年7月30日

摘要

遥感技术为土地变化研究提供了长期、大尺度的时空数据支持, 有效促进了土地覆盖时空格局的监测与动态变化分析。本文以红塔区为研究对象, 基于Landsat 5 TM与Landsat 8 OLI遥感影像, 结合支持向量机(SVM)分类算法与人机交互解译方法, 获取了研究区2005年至2021年不同年份的土地利用类型分类成果。通过对该时间段内土地利用的结构变化、动态度及转移特征进行系统性分析, 结果显示: 研究期间红塔区建设用地面积显著增加约100.9 km², 耕地/草地面积增加约47.37 km², 裸地面积显著减少约108.75 km², 区域综合土地利用动态度提升1.32%, 体现出土地利用活动的活跃性和动态调整能力。研究揭示了区域土地利用的演变规律与变化趋势, 为红塔区土地资源的科学管理与合理规划提供了理论依据。尤其是在城市化快速发展的背景下, 该成果为促进土地资源的可持续利用、协调经济发展与生态保护、推动区域绿色发展战略提供了重要参考。

关键词

红塔区, LandsatTM/OLI遥感影像, 动态变化分析, SVM

Dynamic Analysis of Land Use in Hongta District Based on Landsat Remote Sensing Image

Qihong Ren^{1,2}, Quanli Xu^{1,2*}

¹Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

²GIS Technology Engineering Research Centre for West-China Resources and Environment of Educational Ministry, Kunming Yunnan

Received: May 28th, 2025; accepted: Jun. 29th, 2025; published: Jul. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 任启洪, 许泉立. 基于 Landsat 遥感影像的长时序红塔区土地利用动态分析研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(7): 228-239. DOI: 10.12677/sd.2025.157205

Abstract

Remote sensing technology provides long-term, large-scale spatiotemporal data support for land change research, effectively facilitating the monitoring of land cover patterns and dynamic change analysis. This study focuses on Hongta District, utilizing Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI remote sensing images combined with Support Vector Machine (SVM) classification and interactive human interpretation methods to obtain land use classification results for different years from 2005 to 2021. A systematic analysis of land use structural changes, dynamic degrees, and transfer characteristics during this period shows that construction land area increased significantly by approximately 100.9 km², cultivated land/grassland area increased by about 47.37 km², and bare land area decreased markedly by around 108.75 km². The overall land use dynamic degree in the region rose by 1.32%, reflecting the activity and dynamic adjustment capability of land use. The study reveals the evolution patterns and trends of land use in the region, providing a theoretical basis for the scientific management and rational planning of land resources in Hongta District. Especially under the backdrop of rapid urbanization, these findings offer important references for promoting sustainable land resource utilization, coordinating economic development with ecological protection, and advancing regional green development strategies.

Keywords

Hongta District, LandsatTM/OLI Remote Sensing Image, Dynamic Change Analysis, SVM

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年以来,随着城市化进程的加快,合理规划和利用土地成为国内外专家学者日益关注且亟需解决的问题。伴随着遥感影像分辨率的不断提高,利用遥感卫星影像数据对土地类型的动态变化进行监测,已成为现阶段更加简便高效的方法。

遥感影像变化监测[1]是指通过获取同一区域不同时间段的遥感影像,经过一定的数据处理,再结合其他辅助信息进行分析和对比,从而科学地研究该区域土地类型的动态变化情况。随着遥感技术及数据处理能力的提升,越来越多研究开始融合多源遥感数据(如高分辨率光学影像、雷达数据等)和人工智能算法(如深度学习),显著提高了土地利用变化监测的精度和效率[2]-[4]。与此同时,土地系统动力学和景观生态学理论逐渐被引入土地利用变化研究中,这些理论强调土地利用变化作为社会、经济与生态系统相互作用的复杂动态过程,有助于深入理解土地变化的机制和驱动因素[5] [6]。

近年来,中国在基于遥感影像的土地利用动态变化分析方面取得了大量实验成果。例如,赵飞[7]利用遥感技术对黄河三角洲 2009 至 2019 年的影像数据,以五年为周期,采用影像监督分类方法,开展了该地区土地利用动态变化的监测与分析。焦念、许小梅等人[8]则以硯瓦川流域为研究对象,利用 2008~2018 年的遥感影像数据,分别从土地利用的空间变化、变化程度和变化方向三个方面,系统研究了该流域的土地利用变化。张云帆、吴颖韬等[9]基于 2009 年与 2019 年 Landsat 遥感影像,对无棣县盐碱地动态变化进行了深入分析,并提出了生态环境改善的新思路和方法。胡静[10]利用 1994 至 2017 年鹈落坪自然保护区的 Landsat 数据,研究土地格局变化及其影响因素,进而分析了影响该区域土地利用变化的驱动因子,并预测了未来土地利用趋势。王磊、郑吉林等人[11]以自贡市为例,采用 Landsat 遥感影像数

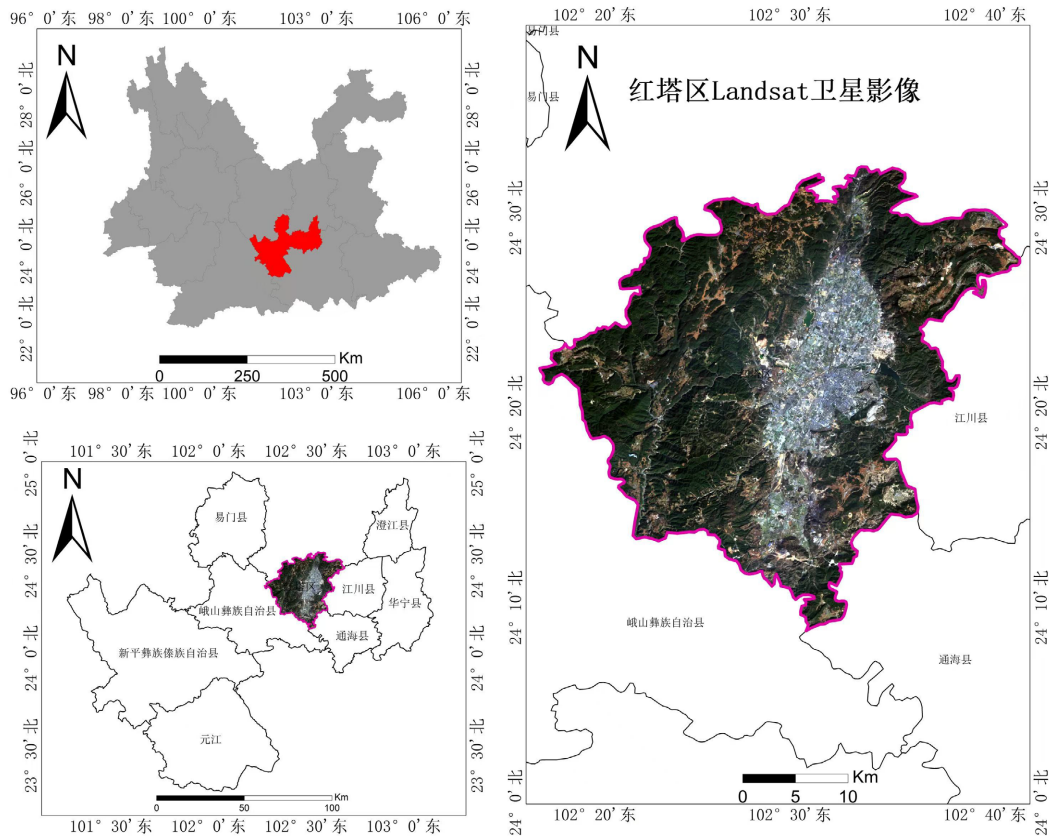
据, 利用支持向量机算法对用地类型进行监督分类, 并对土地类型变化进行统计分析。刘伟堂、张亚磊[12]基于 2006 年和 2016 年遥感影像, 以商丘市为研究对象, 开展了土地利用动态变化研究, 为区域土地资源整合及土地政策制定提供了科学依据。祝文华、张启明等人[13]结合 DEM 数据和 Landsat 8 影像, 对保定市土地利用状况进行分类和变化分析, 制成土地利用变化图。谢火艳、唐婉[14]基于 Landsat 遥感影像数据获取广州市南沙区土地利用信息, 分析土地利用类型变化及其主要驱动力。林柳璇、尤添革等人[15]利用厦门市 1985~2015 年的遥感影像数据, 动态监测了该市 30 年的城市用地变化过程, 并分析了土地利用动态变化的主要原因。

此外, 最新研究还强调土地利用变化与气候变化、社会经济发展之间的耦合效应, 推动了跨学科综合研究的发展, 提升了土地资源可持续管理的指导价值[16]-[18]。

本文以红塔区为研究对象, 利用不同时间段的遥感影像数据, 开展土地利用变化的统计与分析。具体包括统计红塔区不同时间段的土地变化幅度, 制作土地类型转移矩阵, 统计各类土地利用类型的占比, 并分析土地利用的动态变化规律。研究旨在揭示土地利用变化与城市化进程及生态环境之间的关系, 为加快红塔区生态文明建设进程提供科学依据, 并为相关部门高效利用土地资源、制定合理土地政策提供数据支持。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 3333 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 1. Location map of the study area
图 1. 研究区概况

红塔区位于云南省中部，地处东经 102°17′~102°42′、北纬 24°08′~24°33′之间，北接昆明市晋宁区，东邻江川区，西南毗邻峨山彝族自治县，东南紧靠通海县，总面积约 953 平方千米，如图 1。属中亚热带高原季风气候，冬无严寒、夏无酷暑，气候宜人，四季如春。区域地势呈南窄北宽、四面环山的不规则形态，自然资源丰富，年均水资源总量达 4.3 亿立方米，地下水占 29%，生物种类超过 1500 种；同时拥有铁矿、硅矿、煤等 16 种矿产资源，已发现矿床 28 处、矿点 11 处，具备较强的资源开发和生态保护潜力。

2.2. 数据来源及预处理

为减少云量以及季节对实验结果的精度产生影响，此次实验严格按照选取云量较少，季节相同的遥感影像选取的原则进行数据的采集，为获取较高精度和较高分辨率的实验影像，此次采用 Landsat 5TM 和 Landsat 8 OLI 遥感影像数据进行实验研究，其中 Landsat 5 数据采集时间为 2005 年 2 月和 2010 年 2 月的数据，Landsat 8 数据采集时间为 2016 年 3 月和 2021 年 3 月的数据，采用遥感数据的空间分辨率均为 30 m 分辨率，数据含云量为 0。辅助数据为云南省第三次全国土地调查红塔区区域边界的矢量数据，用来进行遥感影像预处理中的裁剪工作，并对数据进行波段融合、图像增强、裁剪和镶嵌等操作。

2.3. 研究方法

本次对红塔区进行研究分析所做的工作主要包括分类样本的选取，样本可分离度分析，进行监督分类，进行分类结果精度分析，制作地类转移矩阵以及对动态土地利用变化结果详细分析与总结。

2.3.1. 研究区训练样本的选取

通过遥感影像进行研究区土地利用动态分析的主要方法是对土地的利用类型进行监督分类，监督分类的关键是选取合适、易辨识且分离度高的训练样本，有时训练样本的选取精度相对于监督分类算法的选择而言，训练样本的精度对分类结果的精度产生的影响更大。因此，选取训练样本的精度，在一定程度上对分类结果精度的高低起决定作用，所以训练样本在选取时应保证样本的质量相等、准确度高、具有强代表性，尽量减少混合像元的出现，同时训练样本的分布应该保持均匀分布、分散、在影像上的辨识度高等原则[19]。本次对红塔区的土地利用变化的研究。所采集的训练样本每类不低于 30 个，利用 ENVI 5.3 软件上的 ROI 工具在 2005 年、2010 年、2016 年和 2021 年的遥感影像上选取具有高精度代表性的地物类别训练区，训练样本的详细参数如表 1 所示。

Table 1. Detailed parameters for training sample selection

表 1. 训练样本选取详细参数

研究时段	地物类型	样本个数	研究时段	地物类型	样本个数
2005 年	水系	71	2016 年	水系	72
	建设用地	75		建设用地	86
	裸地	75		裸地	31
	林地	80		林地	92
	耕地/草地	82		耕地/草地	80
2010 年	水系	75	2021 年	水系	64
	建设用地	90		建设用地	97
	裸地	84		裸地	30
	林地	91		林地	90
	耕地/草地	90		耕地/草地	84

2.3.2. 土地利用类型分类

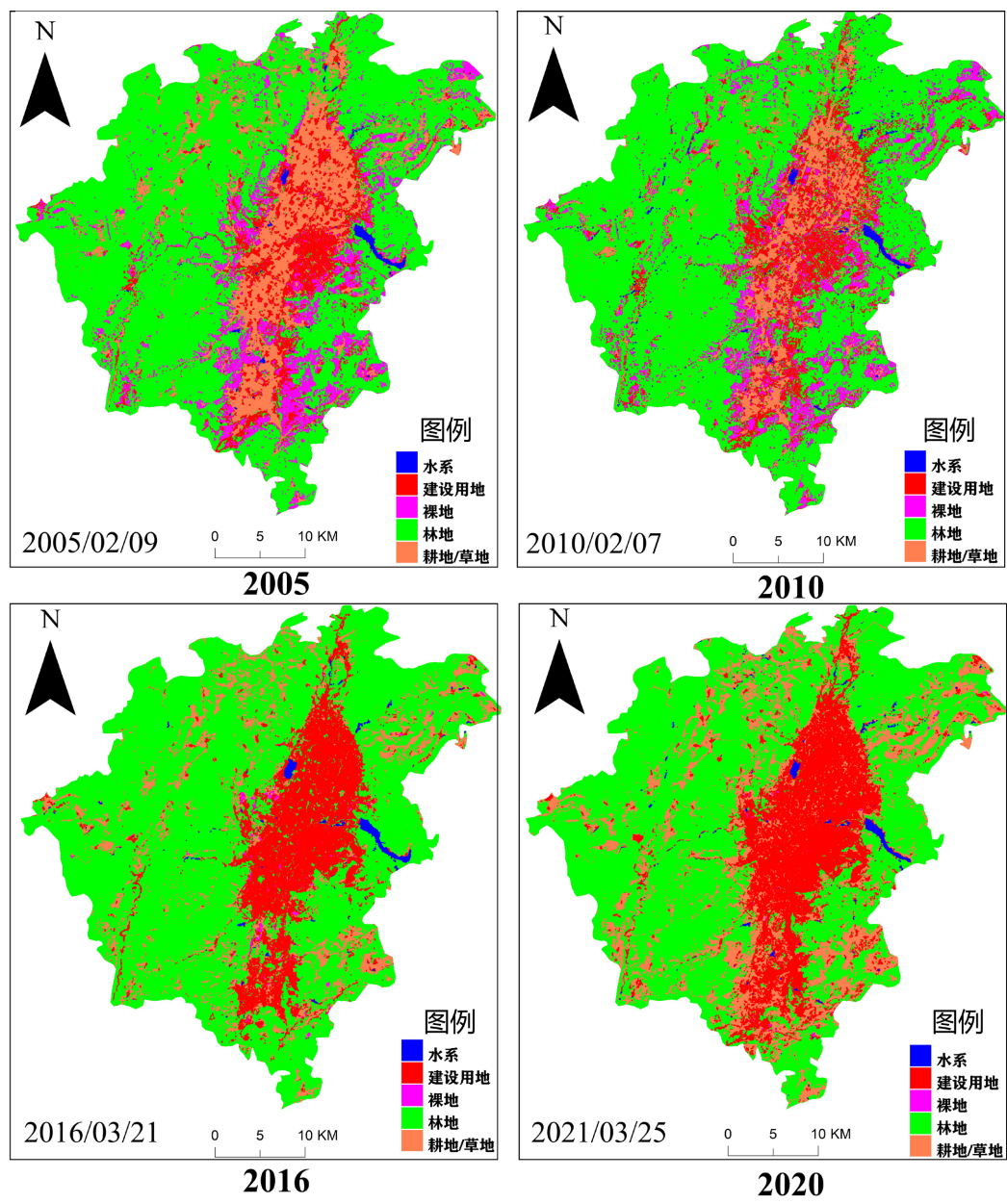


Figure 2. Land use classification map of Hongta District
图 2. 红塔区用地类型分类图

土地利用类型分类是利用遥感影像卫星的传感器获取不同的地物类型所具有的纹理和光谱信息，然后按照其所获取的特征信息不同，利用算法对遥感影像进行数据处理，从而达到对不同的地物类型进行自动分类识别的目的。采用计算机解译不仅提高了地物进行分类结果的精度性，同时减少人工目视解译受到遥感影像分辨率影响的局限性[20]。直接根据影像上地物像元各波段的灰度值差异，高精度，高效率地对地物进行提取分类。现阶段，遥感影像的分类主要运用监督分类和非监督分类两种计算机解译方法[21]。监督分类法又称训练场地法，是通过选取研究区的特征样本来对影像进行分类的方法，其主要包含

最大似然分类法、最小距离分类法、马氏距离分类法以及支持向量机法(SVM)等分类方法。非监督分类又被叫做聚类分析，是一种不需要进行特征样本选取的分类方法，其主要包含有 ISODATA 分类法和 K-均值分类法。本实验采用人工判读和 SVM 分类相交互的分类方法，对不同时期的遥感影像进行地物类型分类。SVM 法又被叫做支持向量机法，是 20 世纪 90 年代 Bell 实验室在统计学习理论上提出的一种新型的机器学习算法。用 SVM 法分类进行分类的理论思想[22]是在统计学中采用 VC 维理论与结构风险最小化原则，在已有的训练样本找到一个最优折中点的计算机解译方法。相比较于其他解译方法，SVM 方法对地物类别的分类精度和处理速率综合表现最优。可以快速有效的对土地类型进行准确分类。

依据《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)和已获取的遥感影像数据对研究区进行研究分析，红塔区土地类型按国家规范可划分为林地、水系、耕地、建设用地、草地及裸地六大类土地，通过对红塔区训练样本的选取，对训练样本进行可分离度分析得出，红塔区的耕地类土地与草地类土地的可分离度较低，则将耕地与草地合成一类即表示为耕地/草地。因此根据分析结果可以将红塔区的土地类型分为耕地/草地、林地、水系、建设用地及裸地五类。红塔区土地利用类型分类，如图 2 所示。

2.3.3. 分类结果精度检验

Table 2. Land use classification accuracy assessment table

表 2. 土地利用分类精度评价表

研究时段	地物类别	制图精度(%)	用户精度(%)	总体精度(%)	Kappa 系数
2005 年	水系	86.46	100	97.281	0.9556
	建设用地	89.74	95.14		
	裸地	94.43	84.81		
	林地	99.73	98.88		
	耕地/草地	100	98.88		
2010 年	水系	83.66	99.97	93.9247	0.9063
	建设用地	81.07	92.56		
	裸地	94.46	72.99		
	林地	99.43	97.6		
	耕地/草地	99.34	96.12		
2016 年	水系	90.94	99.84	99.5576	0.9857
	建设用地	99.36	98.71		
	裸地	90.09	97.32		
	林地	99.98	99.76		
	耕地/草地	99.46	96.8		
2021 年	水系	89.49	99.66	98.626	0.9738
	建设用地	98.53	96.92		
	裸地	96	96.86		
	林地	99.95	99.64		
	耕地/草地	95.01	92.5		

由于实验采用 Landsat 5TM 和 Landsat 8 OLI 数据 30 m 空间分辨率的遥感影像，且没有更高空间分

分辨率的遥感影像作为验证对象，因此，只能在原始的遥感影像上选取验证样本，据 Congalton [23]认为，在对土地利用分类结果精度评价时进行，每类最少选取 30 个样本点，且样本点的选择要呈现随机分布，并保证验证样本与分类样本之间无重叠，同时保证验证样本类别的明确性和准确性，能对分类结果进行准确和可靠性评价。精度分析如表 2 所示，其制图总体精度均达 93%以上，Kappa 系数均大于 0.9，可认为影像数据分类结果与真实影像一致性程度强，可信度较高，满足此次实验要求，可以依据该结果对实验结果进行下一步的研究分析。

3. 结果分析

3.1. 红塔区不同土地类型的占比

通过红塔区土地利用分类结果数据，计算分析出红塔区在不同时期不同土地类型利用占比。如表 3 所示，依据表中可以数据可以得出，2005 年至 2021 年，红塔区林地面积占比最大，均为 64%以上，处 2005 年占比第二的是耕地/草地，占比为 14%以外，其余三年研究时段占比第二的均为建设用地，分别为 2010 年占 11.99%、2016 年占 17.30%和 2021 年占 20.31%。对不同时期的土地类型占比进行分析，可知，从 2005 年到 2021 年，红塔区林地、裸地和建设用地类土地的占比分别上升了-4.28%、-11.41%和 10.59%，而、耕地/草地、水系类型的土地占比分别上升了 4.97%、0.13%。

Table 3. Proportion of land cover categories
表 3. 地物类别占比

时段	类别	占比	时段	类别	占比
2005 年	水系	0.63%	2016 年	水系	0.81%
	建设用地	9.72%		建设用地	17.30%
	裸地	11.51%		裸地	0.43%
	林地	64.03%		林地	70.34%
	耕地/草地	14.12%		耕地/草地	11.12%
2010 年	水系	1.00%	2021 年	水系	0.76%
	建设用地	11.99%		建设用地	20.31%
	裸地	10.99%		裸地	0.10%
	林地	67.36%		林地	59.75%
	耕地/草地	8.66%		耕地/草地	19.09%

3.2. 土地利用类型变化幅度分析

土地利用类型变化幅度，是指在一定的周期内，研究区域内某一土地类型在占地面积上发生的变化幅度，该变化幅度可以一定程度上反映出研究区不同土地类型在面积数量上面的变化，通过对研究区内总体的土地利用类型变化幅度进行总体研究分析，可以对研究区域的土地类型以及变化趋势有一个直观的认识[24]。

其表达式：

$$\Delta U = \frac{U_d - U_c}{U_c} \times 100\% \tag{1}$$

式中：U_d、U_c 为研究区研究开始阶段某种土地类型的占地面积和研究末期某种土地类型的占地面积，

ΔU 表示为研究区内的土地利用类型在一定周期内的变化幅度。

基于公式(1)与表 4 数据分析,按照 5 年一周期(其中 2010~2016 年因数据限制为 6 年)划分研究阶段,系统评估了 2005~2021 年红塔区土地利用类型的动态变化特征。结果表明,研究期内建设用地显著增加 100.9 km²,耕地/草地增加 47.37 km²,水系略增 1.21 km²,而裸地与林地分别减少 108.75 km²和 40.74 km²。上述变化反映出红塔区在城市化快速推进背景下,为适应区域发展需求,大量裸地与林地被转用于建设或农业用途,旨在推动生态宜居城市建设。同时,作为以农牧渔业为主的地区,耕地/草地扩张契合了经济发展与生态保护的双重需求。总体而言,该土地利用转变优化了资源配置,促进了区域经济增长,并在工业化与生态文明建设间实现了初步平衡。

Table 4. Magnitude of land type change (Unit: km²; + increase, - decrease)
表 4. 土地类型变化幅度(单位: km² 正数表示增加、负数表示减少)

2005 年	面积	变化方幅度	2021 年	面积
水系	6.01	1.21	水系	7.22
建设用地	92.57	100.9	建设用地	193.47
裸地	109.66	-108.75	裸地	0.91
林地	610.05	-40.74	林地	569.31
耕地/草地	134.5	47.37	耕地/草地	181.87

3.3. 土地利用类型的转移分析

土地利用转移矩阵是一种常用的土地动态变化分析方法,能够定量揭示研究区内不同土地利用类型在特定时期内的转化关系与资源配置趋势[25]。通过分析红塔区 2005~2021 年的转移矩阵(表 5),可发现耕地/草地面积的增加主要来源于裸地(55.27 km²)、林地(60.90 km²)和建设用地(12.17 km²)的转化;建设用地的扩张则主要由耕地/草地(74.38 km²)、裸地(27.83 km²)及林地(19.34 km²)转化而来。结果表明,建设用地与耕地/草地之间存在显著的相互转化趋势,且两类用地面积整体呈上升态势,有利于支撑区域经济发展与生态保护的协调推进,促进红塔区绿色可持续发展和人地关系的和谐演化。

Table 5. Direction of land use type change from 2005 to 2021 (Unit: km²)
表 5. 2005 年~2021 年用地类型变化方向(单位: km²)

转换方向	面积	转换方向	面积	转换方向	面积
水系 - 水系	4.2	建设用地 - 水系	0.73	裸地 - 水系	0.24
水系 - 建设用地	0.89	建设用地 - 建设用地	71.04	裸地 - 建设用地	27.83
水系 - 裸地	0	建设用地 - 裸地	0.1	裸地 - 裸地	0.43
水系 - 林地	0.6	建设用地 - 林地	8.53	裸地 - 林地	25.89
水系 - 耕地/草地	0.33	建设用地 - 耕地/草地	12.17	裸地 - 耕地/草地	55.27
林地 - 水系	1.78	耕地/草地 - 水系	0.26	耕地/草地 - 裸地	0.12
林地 - 建设用地	19.34	耕地/草地 - 建设用地	74.38	耕地/草地 - 林地	6.53
林地 - 裸地	0.27	耕地/草地 - 耕地/草地	53.22		
林地 - 林地	527.76	林地 - 耕地/草地	60.9		

3.4. 土地利用动态分析

在一定程度上土地利用变化可以采用土地利用的动态度来进行描述。土地利用动态度[26]是指可以

对研究区的土地利用变化进行定量描述其速度的量。采用对土地利用动态度可以在一定程度上对发现研究区的土地变化差异和对未来该地区土地利用的发展趋势进行一定的预测。红塔区内土地类型的动态变化幅度如表 4 所示。

土地利用单一动态度公式：

$$Ki = \frac{Ud - Uc}{Uc} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{2}$$

式中： Ki 表示红塔区在某一研究周期内的土地利用单一动态度， Ud 、 Uc 分别表示在研究的末尾阶段及研究初始阶段，红塔区内某种土地利用类型的数量， T 表示研究的周期时长，所以当 T 的单位为季度或者 1 年时， Ki 就表示为红塔区域内某一土地类型的季度或年变化率。

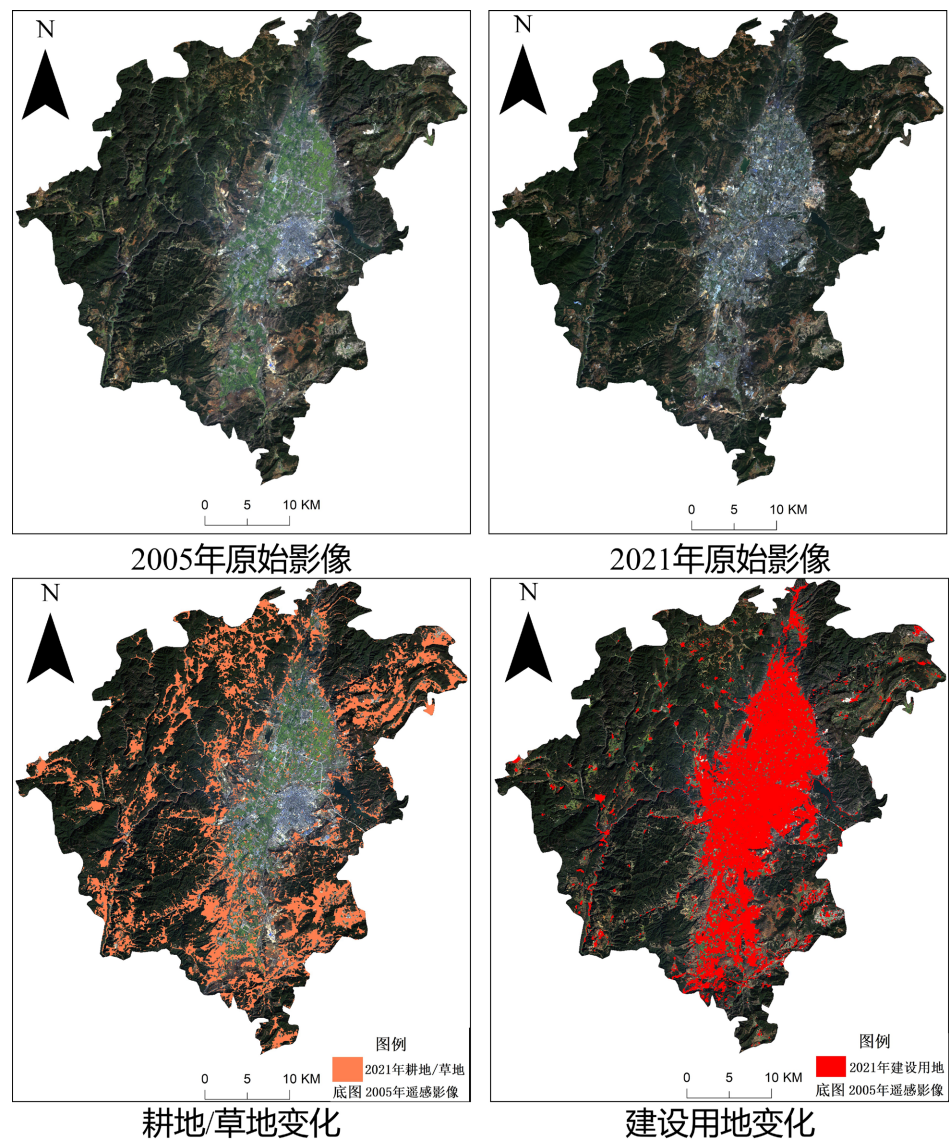


Figure 3. Change overlay map from 2005 to 2021
图 3. 2005 年~2021 年变化叠加图

土地利用综合动态公式：

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta L_u^{\Delta i}}{2 \sum_{i=1}^n L_u^i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中: A : 土地利用综合动态度, $L_u^{\Delta i}$: 在研究周期内第 i 类土地的利用面积; $\Delta L_u^{\Delta i}$: 研究周期内第 i 类土地类型转换为其他类型的面积; T 为研究的周期时间。

Table 6. Summary of land area conversion during the study period

表 6. 研究周期用地面积转化汇总

第一周期(2005~2010 年)		第二周期(2010~2016 年)		第三周期(2016~2021 年)	
未变化面积	755.46 km ²	未变化面积	800.11 km ²	未变化面积	684.1 km ²
变化面积	197.31 km ²	变化面积	152.67 km ²	变化面积	268.68 km ²

根据表 4 和公式(2)计算, 2005~2021 年红塔区水系、建设用地、耕地/草地、林地和裸地的单一土地动态度分别为 1.26%、6.81%、2.21%、-4.24%、-6.20%。其中建设用地和裸地变化幅度较大, 结合图 3 可见, 耕地/草地与建设用地面积显著增加。根据表 6 和公式(3), 三个阶段的综合动态度分别为 2.61%、1.59%、3.93%, 总体呈上升趋势, 增加了 1.32%。综合表明, 红塔区在经济快速发展和人类活动频繁区域内, 土地利用变化较为显著。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

本研究基于 2005~2021 年三期 30 m 空间分辨率的 Landsat 5 TM 与 Landsat 8 OLI 遥感影像, 采用支持向量机(SVM)监督分类与人工解译相结合的方法, 精确提取了红塔区 2005、2010、2016 及 2021 年土地利用类型图。通过对土地类型结构占比、变化幅度、转移特征及动态度四个维度的系统分析, 全面揭示了红塔区土地利用的时空演变特征。结果显示, 2005~2021 年间, 红塔区林地与裸地面积显著减少, 分别下降 4.28%与 11.41%; 而建设用地与耕地/草地面积明显增长, 分别增加 11.59%与 4.97%, 表明土地利用类型间的转换呈现出一定的不可逆趋势。三个研究阶段的综合动态度表现出阶段性波动, 但总体呈上升趋势, 反映出区域土地利用的活跃性及动态调整能力增强。

本研究不仅揭示了红塔区土地利用格局的演变规律及其内在驱动机制, 更重要的是强调了土地资源在快速城市化和经济发展的双重压力下, 实现资源高效利用与生态环境保护的协调平衡。通过合理规划和科学管理土地资源, 促进建设用地扩展与生态用地保护的有机融合, 为区域的可持续发展奠定坚实基础。研究结果为相关管理部门制定土地利用政策、优化资源配置及推动生态文明建设提供了科学依据, 有助于实现红塔区经济社会发展与生态环境保护的协调共赢, 推动区域自然资源的可持续利用和长远发展。

4.2. 讨论

本研究通过采用支持向量机(SVM)监督分类与人工解译相结合的方式, 利用 2005~2021 年四期 30 m 空间分辨率遥感影像, 系统揭示了红塔区土地利用的时空变化特征及类型间转移规律。研究结果显示, 红塔区在过去 16 年间, 土地利用格局发生显著调整, 尤其是建设用地和耕地/草地面积的增加, 反映出城市化进程和农业发展需求的双重驱动, 同时林地和裸地面积的减少也提示了生态环境承载压力的加大。

这些变化不仅体现了区域经济社会的快速发展, 也暴露出土地资源利用存在的潜在矛盾。建设用地

的扩张虽然促进了经济增长和人口聚集, 但若缺乏科学规划, 可能导致生态环境的退化和土地资源的不可持续利用。林地和裸地面积的减少, 特别是林地的退化, 可能引发生态服务功能的下降, 如水土保持、生物多样性保护等, 进而影响区域生态安全和居民生活质量。

此外, 研究中土地利用动态度的上升趋势, 说明红塔区土地利用结构处于不断调整 and 优化的阶段, 土地利用的活跃性增强。这种动态变化反映出区域内自然资源配置的灵活性和应对快速城市化挑战的能力, 但也提示管理部门需关注土地利用变化带来的长远生态风险。

然而, 受限于 30 m 分辨率遥感数据的空间精度以及缺乏社会经济和气候等多因素驱动机制的深入分析, 当前研究未能充分揭示影响土地利用变化的具体成因。未来研究中, 若能整合更高分辨率的遥感影像, 并结合社会经济发展指标、政策变动、气候变化等多维度数据, 将更有助于精准识别土地利用变化的内在驱动力和潜在趋势, 提升土地利用变化预测的科学性和应用价值。

综上所述, 本研究不仅为理解红塔区土地利用变化的时空特征提供了科学依据, 也为区域规划和土地资源管理提出了重要参考。合理引导土地利用转型, 兼顾经济发展与生态保护, 将是实现红塔区土地资源可持续利用和区域生态文明建设的关键。相关管理部门应基于本研究成果, 优化土地利用政策, 强化生态保护措施, 推动经济与环境的协调发展, 保障区域的长期繁荣和生态安全。

参考文献

- [1] 黄靖舒, 高心丹, 景维鹏. 基于 BOVW 和 SVM 的城市土地类型遥感变化监测研究[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版): 1-10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.s.20220418.2009.004.html>, 2023-01-18.
- [2] Chen, H., Lan, C., Song, J., Broni-Bediako, C., Xia, J. and Yokoya, N. (2024) Objformer: Learning Land-Cover Changes from Paired OSM Data and Optical High-Resolution Imagery via Object-Guided Transformer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **62**, 1-22. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3410389>
- [3] Bandara, W.G.C. and Patel, V.M. (2022) A Transformer-Based Siamese Network for Change Detection. *IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Kuala Lumpur, 17-22 July 2022, 207-210. <https://doi.org/10.1109/igarss46834.2022.9883686>
- [4] 张岸, 朱俊轸. 新一代人工智能驱动下地图学研究的机遇与挑战[J]. 地球信息科学学报, 2024, 26(1): 35-45.
- [5] Meyfroidt, P., De Bremond, A., Ryan, C.M., et al. (2022) Ten Facts about Land Systems for Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **119**, e2109217118.
- [6] Becker, M., Börner, J., Biber-Freudenberger, L., et al. (2025) Land System Transitions in Rural Africa: Developing Embedded Middle-Range Theories of Change. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5197012>
- [7] 赵飞. 基于 Landsat 的黄河三角洲地区土地利用变化动态监测[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(5): 124-126+129.
- [8] 焦念, 闫璐瑶, 许小梅. 基于遥感数据的砚瓦川流域土地利用动态变化[J]. 现代农业科技, 2021(12): 208-210.
- [9] 张云帆, 吴颖韬, 于东明, 王洪涛. 基于遥感影像的盐渍化土地利用动态变化研究——以山东省滨州市无棣县盐碱地为例[J]. 建筑经济, 2020, 41(S2): 291-294.
- [10] 胡静. 鹧落坪自然保护区土地利用格局动态变化及驱动力研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [11] 王磊, 郑吉林, 王姝力, 林叶彬. 基于 Landsat 时间序列的自贡市土地利用/覆盖动态分析[J]. 环保科技, 2018, 24(4): 22-26.
- [12] 刘伟堂, 张亚磊. 基于 TM 影像的商丘市土地利用动态监测[J]. 智库时代, 2018(30): 295-296.
- [13] 祝文华, 张启明, 张培. 基于遥感影像的保定市土地利用分类研究[J]. 信息记录材料, 2022, 23(2): 239-242.
- [14] 谢火艳, 唐婉. 基于遥感影像的广州南沙区土地利用动态变化分析[J]. 上海国土资源, 2018, 39(1): 57-59+68.
- [15] 林柳璇, 尤添革, 刘金福, 陈远丽, 黄嘉航, 旷开金, 路春燕. 1985-2015 年厦门市土地利用变化及驱动力[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(1): 103-110.
- [16] 徐雨利, 龙花楼, 屠爽爽, 等. 乡村振兴视域下产业重构的理论解析与模式研究——以广西为例[J]. 地理科学进展, 2024, 43(3): 434-445.
- [17] 李梓赫, 周冬梅, 江晶, 等. 甘肃省土地利用碳排放时空演变特征及影响因素[J]. 环境科学, 2024, 45(9): 5040-5048.

-
- [18] 王全喜, 宋戈, 隋虹均. 耕地“非农化”的时空格局演变及其驱动因素研究——基于影响分析与组态分析的双重视角[J]. 中国土地科学, 2023, 37(5): 113-124.
- [19] 李超, 宋方. 基于监督分类的遥感影像分类方法研究[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(12): 159-162.
- [20] 杨乐. 高分辨率遥感影像解译方法与对比分析[J]. 经纬天地, 2021(5): 42-45.
- [21] 张莹. 遥感影像监督分类和非监督分类方法探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2016(2): 79.
- [22] 郭恒, 张军, 刘安伟. 基于 SVM 的遥感影像监督分类方法研究——以天水市三阳川地区为例[J]. 甘肃科技纵横, 2022, 51(1): 52-55.
- [23] Congalton, R.G. (1991) A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, **37**, 35-46.
- [24] 凌娟, 史胜南. 基于 RS 的枣庄市近 20 年土地利用动态变化研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14680-14682+14687.
- [25] 王育红. 基于 ArcGISModelBuilder 的 LUCC 转移矩阵自动计算模型研究[J]. 测绘工程, 2022, 31(1): 12-16+23.
- [26] 黄钰清, 李骁尧, 于强, 黄华国. 1995-2018 年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(6): 113-121.