引文格式：刘永来,王鹏,黄玉南,等. 利用遥感数据分析土地利用时空演变[J]. 地理空间信息, 2026, 24(3): 43-48. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.03.010

利用遥感数据分析土地利用时空演变

刘永来[1]，王　鹏[2]，黄玉南[2]，曾维军[2*]
（1. 云南导视地理信息系统工程有限公司，云南 昆明 650106；2. 云南农业大学 水利学院，云南 昆明 650201）

摘　要：以 Landsat 系列遥感数据为数据源，利用目视解译与随机森林分类方法得到红河县干热河谷 2002 年、2012 年和 2022 年的土地利用数据；再利用 GIS 空间分析、转移矩阵、动态变化等方法分析了在水利工程建设下红河县干热河谷近 20 年的土地利用时空演变情况。结果表明：①林地、草地是红河县干热河谷地区的主要地类，呈条状分布在红河县城南北两侧，建设用地、旱地、水浇地、园地和其他用地面积总体上升，林地、草地、水域和水田则有所减少；②地类转换主要在草地、旱地、林地和园地之间进行；③土地利用动态度差异显著，其他用地最高（350.49%），水域最低（1.89%）。红河县干热河谷地区在水利工程建设的推动下，土地利用形态出现明显的时空演变，因此水利工程设计和土地利用规划时，应兼顾经济发展和生态保护，以实现地区可持续发展。

关键词：土地利用；时空演变；转移矩阵；干热河谷；动态度
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）03-0043-06

Spatio-temporal Evolution of Land-use Based on Remote Sensing Data

LIU Yonglai[1], WANG Peng[2], HUANG Yunan[2], ZENG Weijun[2]
(1. Yunnan Navigation Geographic Information System Engineering Co., Ltd., Kunming 650106, China;
2. College of Water Resources, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Taking Landsat series remote sensing data as the data source, we used visual interpretation and random forest supervised classification methods to obtain land-use data for 2002, 2012, and 2022 in the arid river valley of Honghe County, and used GIS spatial analysis, transfer matrices, and dynamic change methods to analyze the spatio-temporal evolution of land-use under the influence of water conservancy construction in the past 20 years. The results showed that ①forest and grassland were the main land-use types in the arid river valley of Honghe County, distributed in strips on both sides of the county seat. The areas of construction land, dry land, irrigated land, garden land, and other land-use types all showed an increasing trend, while the areas of forest, grassland, water bodies, and paddy fields exhibited varying degrees of reduction from 2002 to 2022. ②Over the past 20 years, major land-use conversions primarily took place among grassland, dry land, forest, and garden land. ③The dynamic degree of land-use showed significant difference, with other land-use types exhibiting the highest dynamic degree (350.49%), while water bodies exhibiting the lowest dynamic degree (1.89%). Driven by the construction of water conservancy projects, the arid river valley of Honghe County has experienced significant spatio-temporal evolution in the land-use patterns. This study can provide an important theoretical reference for balancing economic development and ecological protection in the design of water conservancy projects and land-use planning, aiming for regional sustainable development.

Key words: land-use, spatio-temporal evolution, transition matrix, arid river valley, dynamic degree

土地利用/覆盖变化（LUCC）由自然与人类因素共同驱动[1]。不合理的土地利用导致生态环境受到破坏，进而使得人地之间的矛盾日益尖锐[2]。LUCC 研究有助于评估人类活动对环境变化的影响，为土地资源的优化配置和区域可持续发展提供科学依据[3]。随着水电行业的快速发展，近年来许多学者[4-10]研究了大型水电工程建设对周围区域土地利用和景观格局的影响，从动态度、综合指数和程度变化指标等方面探讨了大型水库建设对工程直接占地区域土地利用类型时空演变的影响，但较少涉及环境较恶劣区域，如干热河谷地区水库建设和引水输水工程区周围土地利用时空演变。红河县干热河谷资源条件优越，但利用率较低。因此，本文基于 Landsat 遥感影像，利用随机森林分类方法提取了红河县干热河谷区多年土地利用数

项目来源：教育部产学合作协同育人资助项目（220504899113903）。
第一作者简介：刘永来（1989—），本科，工程师，从事遥感测绘、土地利用等工作，E-mail：584792776@qq.com。
通信作者：曾维军（1979—），博士，教授，研究方向为资源环境遥感、水土资源动态模拟、土地整治与生态修复，E-mail：zengweijunde@163.com。

据，分析了土地利用时空演变趋势，并探究了水利工程建设对土地利用长时间序列的影响。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

红河县地处云南省南部、红河上游南岸，隶属于红河哈尼族彝族自治州；地理范围为23°05′~23°27′N、101°49′~102°37′E；东西跨度约为81 km，南北最宽处约为40 km，总面积为2 034 km^2。县域内主要属红河、李仙江和藤条江水系，地表与地下年径流总量超过16亿m^3，人均水资源量为全国平均水平的2倍。干热河谷区面积约为429.7 km^2，集中于迤萨镇及其周边6个乡镇1 200 m以下区域，农业人口约为5.5万人；属南亚热带半干旱季风气候，年均气温为19.3℃，降雨集中在4—9月，年均降水量为600~850 mm，日照为2 048 h，积温为6 200~6 800℃，全年无霜[11]。

针对干热河谷区域植被覆盖率低、生态脆弱、水体蒸发量远大于降雨量的情况，本文以水为突破，按照“高水低用、河库连通、引流为先、改沟为管、综合保护”的工作思路，依托哈尼梯田“四素同构”立体循环系统，将高海拔梯田水系和水库引入干热河谷灌区，先后实施红河谷热区高效节水灌溉和俄阿中型灌区、阿底坡热区综合保护修复等供水工程；投资3.95亿元建成“一河五库”连通工程，包括103条灌溉沟渠，83.71 km主供水管网、571.81 km各种型号引水管道、308座各类蓄水池与坝塘，实现了县域内天然水网互联互通[12]。

1.2 数据来源

2002年、2012年、2022年红河县干热河谷遥感影像来源于地理空间数据云（https://www.gscloud.cn）的Landsat系列卫星，分辨率为30 m。影像经辐射和几何校正、裁剪处理，并结合国家土地遥感调查分类体系、统计资料、地形图和Google Earth影像建立解译标志，再采用ENVI软件的人机交互式监督分类进行解译。分类模型采用随机森林，训练样本按7∶3的比例划分为训练集与验证集，设定决策树数量为100，以稳定OOB误差并增强模型学习能力。3期影像总体解译精度分别为89.56%、84.05%和83.37%，Kappa系数分别为0.88、0.82和0.81，经实地和Google Earth验证，精度满足研究要求。水利工程建设数据来源于红河县水利志和相关部门资料。

2 研究方法

1）随机森林是一种集成式分类方法，通过Bagging策略构造多个训练子集，并在每棵树的节点处引入特征随机性以生成多棵决策树，最终采用多数投票确定分类结果[13-15]；具有精度高、计算效率优、适用于高维特征等优势[16]。Belgiu等[17]的研究表明，相较于最大似然法、单一决策树和单层神经网络，随机森林分类方法更加稳定准确。因此，本文选取随机森林方法作为主要土地分类方法。依据GB/T 21010–2017《土地利用现状分类》和中国科学院发布的《土地利用类型分类名称及编码》系统，结合干热河谷地区的自然地理特征与土地利用实际情况，本文将土地利用类型分为耕地、林地、园地、草地、水域、建设用地和其他用地7大类。由于水利工程建设对耕地影响较大，因此将其细分为水田、旱地、水浇地。

2）土地利用转移矩阵通过矩阵的方式量化各地类流转情况，可揭示土地利用结构变化与转化方向[18-20]，是目前土地利用研究中使用最广泛的方法之一[18]。

3）单一土地利用动态度能衡量特定地类在一定时段内的变化速率与幅度[21-22]，直观反映各地类的动态变化，计算公式为：

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_b}\frac{1}{T}\times 100 \tag{1}$$

式中，U_a、U_b分别为该地类在研究期初和期末的面积；T为研究时长，若按年计量，即为该地类年均面积变动率。

4）综合土地利用动态度可测算区域LUCC的整体动态变化程度[23-24]，计算公式为：

$$LC=\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^{n}LU_i}\right)\frac{1}{T}\times 100\% \tag{2}$$

式中，LU_i为研究期初地类i的面积；ΔLU_{i-j}为地类i转化为地类j的面积；T为研究时长，通常单位为a。

5）土地利用程度分析。通过土地利用程度综合指数模型对土地利用程度进行量化，能反映人类活动对研究区域土地利用变化影响的差异[25]。按照庄大方等[26]提出的土地利用程度分级，将红河县干热河谷区的土地利用状态定为4级并赋值，即其他用地为1；林地、草地、水域为2；旱地、水田、水浇地、园地为3；建设用地为4。基于分级赋值和综合指数模型[27-28]，计算得到2002年、2012年和2022年红河县干热河谷的土地利用程度指数（I）及其20年变化率。

$$I=100\times\sum_{i=1}^{n}\left(A_i\times C_i\right) \tag{3}$$

式中，A_i 为第 i 级土地利用强度分级指数；C_i 为第 i 级土地面积占比。

3　研究结果与分析

3.1　LUCC基本结构特征

通过ArcGIS10.7统计得到的2002年、2012年、2022年红河县土地利用总体特征结果见图1、表1，可以看出，2002—2022年红河县干热河谷土地利用格局趋于多样化，斑块数量上升、破碎度增强，建设用地、旱地、水浇地、园地和其他用地面积扩大；而林地、草地、水域和水田面积则有所减少。在空间格局上，干热河谷各地类大致呈条状分布，水田主要分布在干热河谷南部，与旱地交错分布；建设用地主要分布在中部，并不断向东西方向扩张。在时间尺度上，2002—2012年红河县干热河谷地类以林地、草地、园地为主。2002年、2012年、2022年红河县干热河谷地区林地面积分别为23.06、214.05、175.56 km²；草地面积由117.69 km²减至67.23 km²，其主要原因是水利工程建设使得低覆盖度草地和林地有稳定的水源进而转化为园地、水浇地和旱地等；水田面积由27.89 km²减至20.32 km²；旱地面积由29.28 km²增至46.15 km²；建设用地面积持续扩张，由3.90 km²增至17.41 km²，城市建设以横向发展为主，纵向发展为辅；2002—2012年园地面积增加了25.31 km²，2012—2022年增长速度不断加快，共增加了39.88 km²，增幅达9.26%；水浇地面积由9.83 km²增至26.52 km²；水域和其他用地面积总体变化不大。

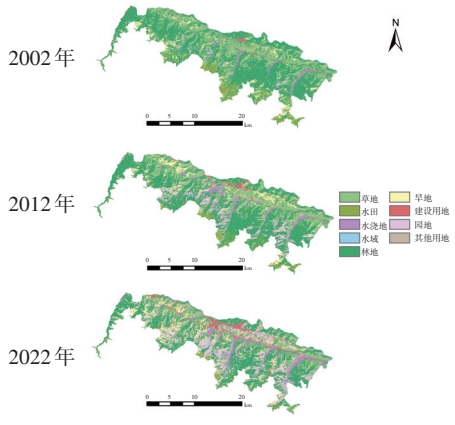


图1　2002年、2012年、2022年红河县干热河谷地类

表1　红河县干热河谷土地利用面积

地类	2002年		2012年		2022年	
	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%
旱地	29.28	6.81	37.64	8.75	46.15	10.72
建设用地	3.90	0.91	8.68	2.02	17.41	4.05
水田	27.89	6.48	20.82	4.84	20.32	4.72
林地	231.06	53.73	214.05	49.78	175.56	40.79
草地	117.69	27.37	95.15	22.13	67.23	15.62
水域	3.24	0.75	3.09	0.72	2.63	0.61
其他用地	0.06	0.01	0.23	0.05	2.30	0.53
水浇地	9.83	2.29	17.95	4.17	26.52	6.16
园地	7.11	1.65	32.42	7.54	72.30	16.80

3.2　土地利用转移矩阵分析

土地利用转移矩阵分析结果见图2、3。

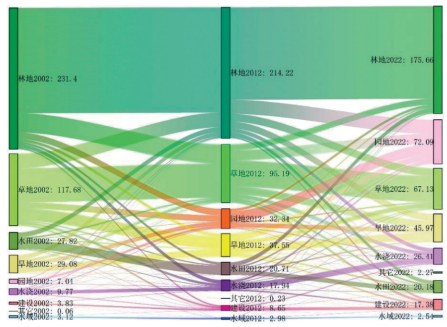


图2　2002—2022年土地利用转移矩阵桑基图

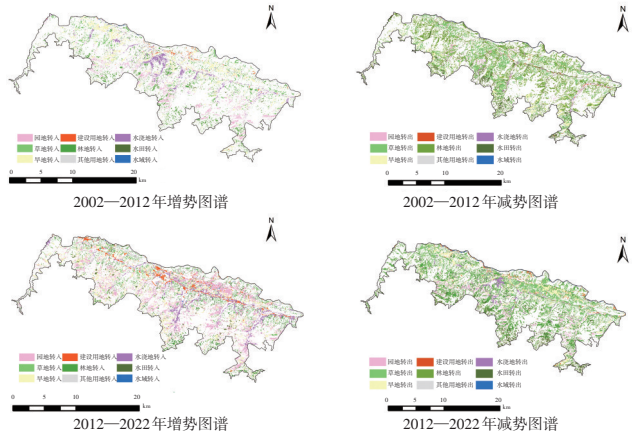


图3　干热河谷区土地利用类型转化情况

1）草地转化情况。2002—2022年草地转出面积大于转入面积。草地转出总量为79.83 km²，其中园地是草地的主要转出地类，共转出24 km²，占总转出面积的30.06%；草地转入总量为29.30 km²，林地是草地的主要转入地类，共转入24.65 km²，占总转入面积的84.13%。2002—2012年草地的转出面积最大，共计61.92 km²，主要转化为林地（23.83 km²）、旱地（19.74 km²），草地主要由林地转入，共计31.48 km²（79.84%）；2012—2022年草地转入、转出面积最大地类与2002—2022年一致，转入（24.6 km²）、转出面积（49.64 km²）均少于2002—2012年。

2）耕地转化情况。20年间旱地的主要转入地类为草地和林地，面积分别为19.90、11.63 km²，占转入面积的53.51%、31.27%；旱地的主要转出地类为园地、林地、草地，共转出17.50 km²，占比为86.12%。2002—2012年旱地面积增加了8.46 km²，其

中由草地转入了19.74 km²，占总转入面积的71.89%，旱地向草地、林地、园地分别转出4.08、6.94、6.77 km²；2012—2022年主要转入地类与前10年相同，主要转出地类为草地、园地、建设用地和水田，共转出21.78 km²。2002—2022年水田转入面积（12.67 km²）小于转出面积（20.30 km²）。水田的主要转出地类为林地，共计7.80 km²，占转出面积的38.42%，其次为园地、旱地，向建设用地、其他用地、水域转出面积较少；水田的主要转入地类为草地和林地，二者转入总面积为10.83 km²，占比为85.48%。2002—2012年和2012—2022年水田的主要转入地类均为草地、旱地和林地，其中前10年的转入面积（6.20 km²）小于后10年（11.01 km²）；这两个时间段内水田转出面积相差不大，分别为13.62、13.41 km²，主要地类也均为草地、旱地、林地、园地。2002—2012年、2012—2022年水浇地的转出面积分别为4.37、8.30 km²，转入面积分别为12.55、16.78 km²，总体转入面积大于转出面积，呈持续增加趋势。20年来建设用地和园地是水浇地的主要转出地类，林地、草地是水浇地的主要转入地类。

3）林地转化情况。2002—2012年、2012—2022年林地转出面积分别为59.00、62.86 km²，转入面积分别为41.83、24.32 km²，总体上转入面积小于转出面积，呈减少趋势。20年来林地的主要转出地类为草地和园地，共转出53.52 km²，占比为61.50%；主要转入地类为草地和水田，分别转入16.27、7.80 km²，表明林地和草地存在双向流转。

4）园地转化情况。2002—2022年园地转入面积远大于转出面积。园地转出总面积为4.20 km²，主要转出地类为旱地（1.83 km²）；转入总面积为69.25 km²，主要转入地类为草地和林地，分别转入24.00、28.87 km²，占比为34.66%、41.69%。2002—2012年、2012—2022年园地转入面积分别为28.88、54.90 km²，主要转入地类均为林地和草地，转出面积分别为3.60、15.13 km²，呈持续扩张态势。

5）建设用地转化情况。2002—2012年、2012—2022年建设用地转出面积分别为1.81、3.96 km²，转入面积分别为6.63、12.69 km²，后10年的变化速度较快。总体上建设用地转入面积远大于转出面积，呈持续增加趋势。建设用地的主要转入地类为草地、林地，共转入11.83 km²，占比为76.37%；主要转出地类为水浇地，共转出1.07 km²，占比为55.15%。

6）水域和其他用地转化情况。2002—2022年水域的转出面积为1.29 km²，主要转出地类为建设用地，共计0.50 km²；主要转入地类为草地和林地，共转入0.43 km²，占比为55.84%。2002—2012年、2012—2022年水域转出面积分别为0.69、1.13 km²，主要转向建设用地与林地；转入面积分别为0.56、0.75 km²。其他用地在干热河谷的面积较小，总体变化面积也较小。2002—2022年其他用地转入面积为2.25 km²，主要转入地类为草地、旱地和林地，共转入2.10 km²。2002—2012年与2012—2022年的主要转入地类相同，但后10年的转入面积较多，共转入1.98 km²，是前10年的9.9倍。

3.3 土地利用动态度分析

由表2可知，2002—2022年其他用地的单一动态度最高（350.49%），其余依次为园地（91.64%）、建设用地（34.59%）、水浇地、旱地、草地、水田、林地和水域，其中水田、林地、草地、水域为负值，面积减少；旱地、建设用地、其他用地、水浇地、园地为正值，面积增加。2002—2012年、2012—2022年旱地增加面积相差不大，动态度分别为2.86%、2.26%。建设用地2002—2012年增加面积小于2012—2022年，但动态度更大，为12.22%。其他用地2002—2012年、2012—2022年的动态度分别为25.62%、91.21%。2002—2022年园地面积一直在增加，且增速较快，动态度为91.64%。水浇地在两个时间段内变化面积相差不大，分别为8.12、8.57 km²，其中前10年动态度比后10年大3.48%。水田、林地、草地、水域的单一土地利用动态度较小，且均为负值，整体变化幅度不大。2002—2022年综合土地利用动态度为2.66%，说明综合土地利用年变化率不大。

表2 土地利用变化动态度

地类	2002—2012年		2012—2022年		2002—2022年	
	面积/km²	动态度/%	面积/km²	动态度/%	面积/km²	动态度/%
旱地	8.36	2.86	8.51	2.26	16.87	5.76
建设用地	4.77	12.22	8.73	10.07	13.51	34.59
水田	−7.06	−2.53	−0.50	−0.24	−7.57	−2.71
林地	−17.01	−0.74	−38.49	−1.80	−55.49	−2.40
草地	−22.54	−1.91	−27.92	−2.93	−50.46	−4.29
水域	−0.15	−0.48	−0.46	−1.48	−0.61	−1.89
其他用地	0.16	25.62	2.07	91.21	2.23	350.49
水浇地	8.12	8.26	8.57	4.78	16.69	16.97
园地	25.30	35.57	39.88	12.30	65.18	91.64
综合土地利用变化	93.48	1.09	135.13	1.57	228.61	2.66

注：综合土地利用变化面积为9种地类变化面积绝对值之和；动态度包括单一和综合土地利用变化动态度。

3.4　土地利用程度综合指数特征

近20年来，研究区土地利用程度综合指数总体呈上升趋势，2002—2012年土地利用综合指数由219.03升至229.29，变化率为4.68%；2012—2022年土地利用程度综合指数由229.29升至245.96，变化率为7.27%，说明研究期间人类活动对土地开发的干预程度有所加深，土地利用水平呈持续上升态势。其关键原因在于，水利设施建设使得部分灌木林和草地转化为园地以及区域社会经济的迅速发展和城镇化速度的不断加快。

4　结　语

1）2002—2022年在红河县干热河谷区域的土地利用结构中，林地占据主导地位，草地次之，其余依次为旱地、园地、水田、水浇地、建设用地、水域和其他用地。土地利用变化主要变现为林地和草地面积减少，水浇地和园地面积增加，建设用地持续扩张，水域和其他用地面积变化不大。

2）2002—2022年园地面积增加最多（65.05 km^2），其中林地和草地转入面积较大，分别为28.87、24.00 km^2。林地面积减少最多（55.72 km^2），主要转出为园地（28.87 km^2），其次为草地（24.65 km^2）。2012—2022年是土地利用变化相对剧烈的时段。

3）2002—2022年干热河谷土地利用变化综合动态度为2.66%，其中其他用地、园地、建设用地、水浇地、旱地的土地利用动态度逐渐减小且均为正，面积增加；水域、林地、水田、草地的土地利用动态度为负，面积减少。2012—2022年综合土地利用动态度比2002—2012年高，说明该时段区域土地利用变动明显加剧。2002—2022年土地利用程度综合指数持续上升，反映出土地开发利用水平呈稳步增强态势。

本文基于2002年、2012年、2022年30 m分辨率的Landsat影像数据，全面分析了水利工程建设对红河县干热河谷土地利用格局演变与现状的影响。借助GIS空间统计分析手段，归纳了研究区土地覆盖类型在时空维度上的分布特征；利用土地转移矩阵深入揭示了土地覆盖结构的演化规律；并引入土地利用动态度指标，对区域土地利用变化速率进行了量化分析，弥补了目前干热河谷区域土地利用变化研究的不足。从“十三五”开始，红河县进行了红河谷热区的综合保护和修复，并努力将红河谷建设成为绿色发展基地、新的农业经济增长点。此举使得一些原本为草地、低覆盖度灌木林的土地变为果园，这也是林地、草地面积减少，园地面积增加的主要原因。其他用地的增加，则是由于当地充分发挥了干热河谷光照资源丰富、日照时间长的优势，在植被稀少的荒山荒坡上发展光伏发电项目。

然而，本文的时间跨度较短，可能未能完全揭示某些地类的变化特性。另外，由于数据分辨率的限制，未能明确呈现一些土地利用的细节变化。在未来的研究中，应尽可能获取长时间跨度和高分辨率数据，以更准确地揭示土地利用的变化特性和水利工程建设的影响。本文并未深入探究土地利用变化的驱动因素，水利工程建设对土地利用的影响程度仍未明确。后续研究应进一步分析土地利用变化的驱动因素，并预测土地利用的变化趋势，以便对红河县干热河谷的土地管理政策和水利工程规划提供更加准确的理论支持。

参考文献

[1] 马恩朴，蔡建明，林静，等. 远程耦合视角下的土地利用/覆被变化解释[J]. 地理学报，2019，74(3)：421-431

[2] 张继，龙爱华，於嘉闻，等. 基于GIS与RS下的1990—2015年塔里木河流域LUCC及景观格局时空分析[J]. 水利水电技术，2019，50(12)：18-26

[3] 邓楚雄，郭方圆，黄栋良，等. 基于INVEST模型的洞庭湖区土地利用景观格局对生境质量的影响研究[J]. 生态科学，2021，40(2)：99-109

[4] 邵景安，张仕超，魏朝富. 基于大型水利工程建设阶段的三峡库区土地利用变化遥感分析[J]. 地理研究，2013，32(12)：2189-2203

[5] 马瑶瑶，史培军，徐伟，等. 干旱区水电站建设运营生态环境影响遥感监测[J]. 干旱区研究，2023，40(9)：1498-1508

[6] 李杰. 汉源湖水库对库区土地利用/覆被及气候变化的影响研究[D]. 雅安：四川农业大学，2022

[7] 王维琛，蔡宴朋，孙炼，等. 向家坝水电工程影响下区域土地利用及景观格局变化[J]. 南水北调与水利科技，2018，16(5)：77-84

[8] Swe N K，Funakawa S，Okamoto Y，et al. Assessment on Land Use Changes and Livelihood Transition Under the Hydropower Dam Construction in Paunglaung Township，Southern Shan Highlands，Myanmar[J]. Land Degradation and Development，2023，34(17)：5647-5661

[9] Philippe R，Florian G，Daniel M，et al. Synthesizing Dam-induced Land System Change[J]. Ambio，2019，48(10)：1183-1194

[10] Bastos T S，Machado R F，Paulado R F，et al. Temporal Changes in Land Use and Land Cover Due to Retarding

Reservoir Implementation[J]. Journal of South American Earth Sciences,2023,127:104395

[11] 云南省社会科学院红河课题组,史新辰. 红河县干热河谷地区开发研究若干问题探讨[J]. 生态经济,1989,5(4):24-30

[12] 李颖. 红河县生态文明建设示范区典型路径解析[J]. 黑龙江环境通报,2023,36(8):111-113

[13] 王小攀,刘小立,马泽忠,等. 基于"珠海一号"的水稻高光谱定量估产研究[J]. 地理空间信息,2023,21(8):76-79

[14] Breiman L. Random Forests,Machine Learning 45[J]. Journal of Clinical Microbiology,2001,2:199-228

[15] 赵赛帅,陈海珍,李璐,等. 杭州湾南岸滨海湿地土地利用变化研究[J]. 地理空间信息,2022,20(4):54-58

[16] 郭玉宝,池天河,彭玲,等. 利用随机森林的高分一号遥感数据进行城市用地分类[J]. 测绘通报,2016(5):73-76

[17] Belgiu M,Drăguţ L. Random Forest in Remote Sensing: A Review of Applications and Future Directions[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 114(4):24-31

[18] Zhang S L,Gao Z L,Liu Y,et al. Land Use/Cover Change and Its Relationship with Regional Development in Xixian New Area,China[J]. Sustainability,2022,14(11):6889

[19] 胡悦琴,马燕飞,张伟科. 中国陆地区土地利用/覆被时空格局变化及驱动力分析[J]. 农学学报,2020,10(4):26-35

[20] 王佳楠,张志. 巴音河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 地理空间信息,2023,21(2):35-40

[21] 毛鸿欣,贾科利,高曦文,等. 1980—2018年银川平原土地利用变化时空格局分析[J]. 科学技术与工程,2020,20(20):8008-8018

[22] 李亚丽,杨粉莉,杨联安,等. 近40a榆林市土地利用空间格局变化及影响因素分析[J]. 干旱区地理,2021,44(4):1011-1021

[23] 杨军军,刘宇峰,蔺鹏飞,等. 基于不透水面的城市景观格局时空特征研究[J]. 地理空间信息,2021,19(9):61-66

[24] 刘木生,鄢帮有,方豫,等. 基于GIS的鄱阳湖流域土地利用动态变化研究[J]. 江西科学,2018,36(1):60-65

[25] 陈伊多,杨庆媛. 西藏自治区土地利用/覆被变化时空演变特征及驱动因素[J]. 水土保持学报,2022,36(5):173-180

[26] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):10-16

[27] 于明雪,孙建国,杨维涛,等. 基于贝叶斯层次时空模型的甘肃省土地利用程度演变分析[J]. 地理科学,2022,42(5):918-925

[28] 巨涵,周乐乐,梁晓盈,等. 绵阳市土地利用类型与生态系统服务价值时空变化研究[J]. 地理空间信息,2024,22(10):66-69

(上接第42页)

[21] 刘桂兰,唐梦,杨曜恺,等. 河南省乡村旅游点空间分异、影响因素及优化提升研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(1):69-74

[22] 李建辉,党争,陈琳,等. 黄河流域九省(区)水利风景区时空分异特征研究[J]. 人民黄河,2023,45(7):91-96

[23] 谢颜莉,柴宗刚,韩健,等. 陕南山地城镇基础教育设施空间分布特征及影响因素[J]. 地理空间信息,2025,23(4):36-41

[24] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134

[25] 邢笑天,王琪,刘雨敏,等. 基于多源数据的安徽省碳排放及影响因素研究[J]. 地理空间信息,2025,23(4):42-47

[26] 徐旺生,闵庆文. 农业文化遗产与"三农"[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008

[27] 王思明. 农业文化遗产概念的演变及其学科体系的构建[J]. 中国农史,2019,38(6):113-121

[28] 焦雯珺,崔文超,闵庆文,等. 农业文化遗产及其保护研究综述[J]. 资源科学,2021,43(4):823-837

[29] Li C,Tong T,Huang X. Sustainable Farming Genes: Spatial Distribution and Influencing Factors of Chinese Agricultural Heritage Sites (CAHSs)[J]. Frontiers in Sustainable Food Systems,2023,7:1141986

[30] Ju F , Yang R , Yang C. Analysis of Spatiotemporal Dynamics and Driving Factors of China's Nationally Important Agricultural Heritage Systems[J]. Agriculture,2025,15(2):221

[31] 吴儒练,蒋屏法,温柔. 中国重要农业文化遗产空间分布格局及其成因[J]. 资源开发与市场,2023,39(8):957-965

[32] 岳菊,戴湘毅. 京津冀文化遗产时空格局及其影响因素:以文物保护单位为例[J]. 经济地理,2020,40(12):221-230

[33] 张燕,冯权泷,刘建涛,等. 华北平原典型区县农村聚落的时空演变及影响因素分析:以济南商河县为例[J]. 地理空间信息,2025,23(4):48-54

[34] 袁玥,焦若垠,杨乃,等. 湖北省非物质文化遗产项目时空分布特征与影响因素[J]. 地理空间信息,2025,23(3):22-26

[35] 陈禹凝,王瑜. 河南省非遗空间分布格局与影响因素研究[J]. 地理空间信息,2024,22(11):6-10

[36] 赵体侠,朱连奇,王丽园,等. 中国生态环境质量与人类活动耦合机制及其影响因子[J]. 环境科学,2024,45(6):3341-3351

[37] 施智勇,谢慧黎,王圳峰,等. 基于参数最优地理探测器的福州市生境质量时空格局与驱动力分析[J]. 环境工程技术学报,2023,13(5):1921-1930

[38] Song Y,Wang J,Ge Y,et al. An Optimal Parameters-based Geographical Detector Model Enhances Geographic Characteristics of Explanatory Variables for Spatial Heterogeneity Analysis: Cases with Different Types of Spatial Data[J]. GIScience and Remote Sensing,2020,57(5):593-610