

引文格式: 陈潇菡, 张磊, 史丽, 等. 基于地学信息图谱的中缅泰老“黄金四角”地区土地利用变化分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(2): 333-342. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202302035

基于地学信息图谱的中缅泰老“黄金四角” 地区土地利用变化分析*

陈潇菡¹, 张磊^{2,3**}, 史丽², 杨冉², 黄燕寿²

(1. 中信银行昆明东风东路支行, 云南昆明 650500; 2. 泰山学院旅游学院, 山东泰安 271000;
3. 保山学院经济管理学院, 云南保山 678000)

摘要:【目的】以中缅泰老“黄金四角”地区为例, 基于地学信息图谱理论, 对其土地利用变化态势进行分析。【方法】运用土地利用动态度、景观质心平移度及地图代数运算等模型剖析研究区土地利用时空演变特征及图谱类型与涨落态势。【结果】(1) 研究区土地利用以林地、耕地和灌丛为主, 形成了以林地、耕地和灌丛为基质, 水体为廊道, 园草地及建筑用地为斑块的用地景观。(2) 随着时间演进, 研究区土地利用结构发生了较大变化, 建筑用地和裸土与未利用地等人类活动相关型地类面积增加, 林地和灌丛等自然主导型地类面积总体减小; 2000—2018年, 综合土地利用动态度由 45.99% 降至 10.44%, 土地利用整体变动速率大幅减缓。(3) 2000—2018年, 建筑用地质心整体偏向东南且距离最大, 林地质心偏移幅度最小且向正东转移, 研究区土地利用空间格局发生了明显变迁。(4) 在图谱变化模式中, 稳定型图谱单元面积最广, 最大面积模式为林地—林地—林地 (11.37 万 km²); 反复变化型图谱单元面积最小, 最大面积模式为耕地—灌丛—耕地 (668.65 km²), 研究区土地利用与开发程度仍较低。(5) 研究区土地利用涨落势特征在 2000—2009 年及 2009—2018 年间呈现出一定的相似性与国别差异性, 且研究后期的变动幅度明显低于前期, 这与随着经济与社会结构的稳定, 作为土地利用基质的林地、灌丛和耕地间转类面积减小相关。【结论】“黄金四角”地区土地利用呈现出时段变化差异性、空间变化国别性和图谱变化稳定性等特征。

关键词: 土地利用; 时空演变; 地学信息图谱; 中缅泰老“黄金四角”

中图分类号: U412.14 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2023) 02-0333-10

Analysis of Land Use Change in the “Golden Four Corners” Area of China, Myanmar, Thailand and Laos Based on Geo Information Atlas

CHEN Xiaohan¹, ZHANG Lei^{2,3}, SHI Li², YANG Ran², HUANG Yanshou²

(1. China CITIC Bank, Kunming Dongfeng East Road Sub-branch, Kunming 650500, China; 2. Tourism College of Taishan University, Taian 271000, China; 3. School of Economics and Management of Baoshan University, Baoshan 678000, China)

Abstract: [Purpose] Taken the “Golden Four Corners” area of China, Myanmar, Thailand and Laos as an example, based on the theory of geo information atlas, to analyse its land use change trend.

收稿日期: 2023-02-15 修回日期: 2023-03-01 网络首发日期: 2023-03-15
*基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (16ZDA041); 教育部人文社会科学研究项目 (21YJCGJW008)。
作者简介: 陈潇菡 (1987—), 女, 山东济宁人, 硕士, 主要从事工商管理与土地资源评估研究。

E-mail: chenxiaohan8765@163.com

**通信作者 Corresponding author: 张磊 (1990—), 男, 山东济南人, 博士, 讲师, 主要从事土地利用与生态风险评估研究。E-mail: 1291009063@qq.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.s.20230313.0929.001.html>



[**Methods**] Using the land use dynamic degree, landscape centroid translation degree, map algebraic operation and other models, the spatio-temporal evolution characteristics, atlas types and fluctuation trend of land use were analyzed. [**Results**] 1) The land use in the study area was dominated by forest land, cultivated land and shrubs. The land use landscape with forest land, cultivated land and shrubs as the matrix, water body as the corridor, and garden grassland and construction land as the patches had initially formed. 2) With the time evolution, the land use structure in the study area changed greatly. The area of land related to human activities such as building land, bare soil and unused land had increased, while the area of natural dominant land such as forest land and shrubs had decreased as a whole. From 2000 to 2018, the dynamic degree of comprehensive land use in the study area decreased from 45.99% to 10.44%, the overall change rate of land use slowed down. 3) During 2000 to 2018, the building geological center was generally biased to the southeast with the largest distance, while the forest geological center was slightly shifted to the east, the spatial pattern of land use changed obviously. 4) Among the map atlas change patterns, the stable map unit area was the widest, and the largest map pattern was forest-forest-forest, with an area of 113 700 km²; the area of repeated change map unit was the smallest, and the maximum area map model was cultivated land-shrub-cultivated land, with an area of 668.65 km². The land use and development degree in the study area was still relatively low. 5) The characteristics of land use fluctuation in the study area showed some similarities and differences between different countries in 2000-2009 and 2009-2018, and the change range in the later stage of the study was obviously lower than that in the earlier stage, which was related to the reduction of the conversion area of forest land, shrub land and cultivated land as the land use matrix with the stability of economic and social structure. [**Conclusion**] The land use in the “Golden Four Corners” area is characterized by the difference of temporal change, the nationality of spatial change and the stability of map atlas change.

Keywords: land use; space-time evolution; geo information atlas; the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos

作为全球变化研究的关键问题, 土地利用覆盖变化 (land use cover change, LUCC) 已成为自然与人文科学两大领域共同搭建的“桥梁工程”^[1], 特别自《土地利用/土地覆盖变化科学研究计划》发布以来, 对 LUCC 的研究已成为当前学者关注的热点之一。经过 30 余年的发展, 围绕土地利用变化的研究理论与方法已被广泛应用于区域与可持续发展、资源环境承载力及生态风险评估等领域, 且形成了相对完整的理论与方法体系。

目前, 学者已对土地利用变化做了大量研究, 随着 GIS 等技术的成熟, 关于土地利用变化的分析正由单一评价向多元数据分析转变。廖湛嫻^[2]和刘晓娜^[3]对中老缅交界地区土地利用/覆被数据提取、分类与校正做了分析; 林树高等^[4]、翟香等^[5]和耿鑫等^[6]分别基于“三生”空间、地形梯度及生态系统服务价值等对广西边境等地区的土地利用格局及演变进行测度; 张涵等^[7]对乡村转

型背景下山—坝系统土地利用景观耦合与协调态势进行了剖析; 付慧等^[8]和王垦等^[9]分别对区域协同发展与城镇化等背景下土地利用变动机制及核心要素等进行了识别; 孙毅中等^[10]和张月等^[11]分别基于元胞自动机及 CA-Markov 等模型对江阴市和艾比湖地区土地的利用未来格局及变化态势进行了模拟。可见, 当前学者对土地利用变化的研究主要集中于数据获取与分类、格局与时空演变、景观测度、变化机制以及模拟与预测等方面, 基于时空双维度对土地利用变化轨迹与涨落态势进行的复合研究不足, 且多参照行政区域选定研究区, 对打破行政界线且同时具有地缘政治和经济特色的跨境地区研究较少, 研究对象多侧重山区、水域、沙漠和城镇等生态涵养功能脆弱区, 对热带雨林广布且自然生态本底正在发生显著变迁区域的研究不足。

近年来, 作为中国—中南半岛经济走廊重要

组分的“黄金四角”地区社会经济活动日趋频繁, 生态环境问题不断凸显, 处理好资源开发与生态保护间的关系已成为实现该区域可持续发展急需解决的关键问题^[12-14]。鉴于此, 本研究在提取土地利用本底数据的基础上, 引入土地利用动态度、景观质心平移度及土地利用变化图谱等模型, 对中缅泰老“黄金四角”地区 2000—2018 年土地利用的变化特征进行评估, 以期摸清其土地资源本底与构建生态保护路径提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中缅泰老“黄金四角”(简称“黄金四角”)地区位于澜沧江—湄公河中上游, 地势北高南低, 位于 N17°16′~24°50′、E98°01′~103°24′之间, 总面积约 20 万 km², 地理空间上主要包括中国云南西双版纳州和普洱市、老挝北部的上寮地区五省(琅南塔省、乌多姆赛省、波乔省、丰沙里省和琅勃拉邦省)、缅甸东北部的东掸邦地区四县(景栋县、孟别县、大其力县和孟萨县)以及泰国北部的清迈和清莱两府^[15]。

1.2 数据来源与处理

研究所用数据主要由土地利用遥感影像及研究区基础地理信息数据构成。其中, 遥感影像主要源自美国地质调查局的 Landsat5、7、8 TM/ETM⁺/OLI 数据(分辨率 30 m), 选取年份分别为 2000 年、2009 年和 2018 年(Landsat 影像取景行列号分别为 131/043-131/048, 130/043-130/047, 129/044-129/047, 128/046)^[15]。首先, 对土地利用数据进行分类提取, 参考《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)并综合考虑研究区自然本底识别, 分为水体、耕地、裸土与未利用地、林地、灌丛、园草地及建筑用地等 7 个地类; 其次, 对研究区土地利用数据进行精度评价, 在分类整合野外 GPS 调查采样数据及 GoogleEarth 高分辨历史影像数据的基础上, 随机选取 6 958 个真实地表 ROI 数据对 2000—2018 年“黄金四角”地区土地利用数据进行精度评价, 三期 Kappa 系数分别为 0.863、0.879 和 0.902, 均符合研究标准。

1.3 研究方法 with 指标选取

1.3.1 土地利用动态度分析

土地利用动态度模型可分析研究时段内各土地利用类型的变动速度与幅度, 依据分析对象差

异可分为单一土地利用动态度与综合土地利用动态度。

(1) 单一土地利用动态度

该指标反映了某个时段内区域某一土地利用类型的数量、空间及类型组合方式等变化, 主要用于测度研究区不同土地利用类型变化的速度与幅度^[16]。计算公式为:

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

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_b 和 U_a 分别为研究末期和初期某一土地利用类型面积, km²; T 为研究时间, 年。

(2) 综合土地利用动态度

该指标反映了在一定时段内研究区整体土地利用类型的变化速率^[16-17], 不仅可从全域分析土地利用的空间变化过程, 更能进一步反映区域内各因素对其土地利用变化的综合影响^[16-17]。计算公式为:

$$S = \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta S_{i-j}}{S_i} \right) \right] \times \frac{1}{t} \times 100\%$$

式中: S 为综合土地利用动态度; S_i 为研究开始时第 i 类土地利用类型面积; ΔS_{i-j} 为研究时段内第 i 类土地利用类型转为其他土地利用类型的面积总和^[16]; t 为研究时间^[17]。 S 值越大, 表明研究区整体土地利用变动速率越快。

1.3.2 景观质心平移度分析

景观质心平移度模型是通过计算某一景观类型斑块的面积加权质心变化来分析该景观类型的空间分布变化趋势及形成机制^[18-19], 可补充土地利用动态度模型在空间分析上的不足, 已广泛应用于土地利用的研究^[20]。计算公式为:

$$X_t = \sum_{i=1}^n x_i \times C_{it} / \sum_{i=1}^n C_{it};$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n y_i \times C_{it} / \sum_{i=1}^n C_{it}。$$

式中: X_t 和 Y_t 分别为第 t 年某用地类型质心的经、纬度坐标; n 为斑块数量; x_i 和 y_i 为第 i 个斑块的质心经、纬度; C_{it} 为 t 年第 i 个斑块的面积^[18-20]。

土地利用景观质心移动距离测度公式为:

$$D_{m-t} = E \times \sqrt{(X_m - X_t)^2 + (Y_m - Y_t)^2}。$$

式中: (X_m, Y_m) 和 (X_t, Y_t) 分别为第 m 和 t 年某用地类型的质心坐标; E 为常数, 取 $111.111 \text{ km}^{[21]}$ 。

1.3.3 土地利用变化图谱分析

土地利用变化图谱可从时空双维度对研究区土地利用变化态势与轨迹进行分析, 参照地学信息图谱理论并结合相关学者研究, 本研究基于 ArcGIS 10.3 采用整数地类代码对研究区土地利用类型进行重新编码^[22], 并基于空间分析模块对不同时段各土地利用类型进行地图代数运算, 通过测度各图斑单元转换过程的属性编码进行最终的土地利用变化图谱单元^[22-23], 以分析其土地利用转移图谱特征与规律^[24-25]。计算公式为:

$$T_{(00-09-18)} = T_{00} \times 10^2 + T_{09} \times 10 + T_{18}。$$

式中: T_{00} 、 T_{09} 和 T_{18} 分别为 2000 年、2009 年和 2018 年的土地利用数据; $T_{(00-09-18)}$ 为土地利用的合成图谱单元^[22]。

参照已有学者的研究, 进一步对各合成图谱单元的变化模式进行分类: (1) 前期变化型, 仅在 2000—2009 年发生用地类型转变; (2) 后期变化型, 仅在 2009—2018 年发生用地类型转变; (3) 稳定型, 在 2000—2018 年均未发生用地转变; (4) 反复变化型, 仅在 2009 年发生用地转变, 2000 年和 2018 年未发生变化; (5) 持续变化型, 3 个时期用地类型持续发生转变^[22]。

1.3.4 土地利用涨落势图谱分析

土地利用转型包括转入和转出 2 个动态过程, 转入是其他用地类型转变为本用地类型的过程, 导致该地类面积上涨; 转出则是本用地类型转为其他用地类型的过程, 致使该地类面积萎缩^[23, 26]。基于 ArcGIS 10.5 对研究区不同时段土地利用数据进行叠加处理, 并以此为基础计算某一地类的新增面积和萎缩面积, 进而生成涨势图谱和落势图谱^[23]。

2 结果与分析

2.1 土地利用时序变化分析

2.1.1 土地利用现状分析

“黄金四角”地区土地利用以林地、耕地和灌丛为主, 占土地利用总面积的 95% 以上。其中, 林地为主导型用地类型 (13.524 万 km^2), 耕地为次要用地类型 (3.107 万 km^2), 灌丛面积 (2.472 万 km^2) 略低于耕地; 园草地和建筑用地分别占土地利用总面积的 2.11% 和 1.50%, 而水体及裸土与未利

用地的面积则相对较小 (图 1)。总体上, “黄金四角”地区形成了以林地、耕地和灌丛为基质, 水体为廊道, 园草地及建筑用地为斑块的土地利用景观格局。

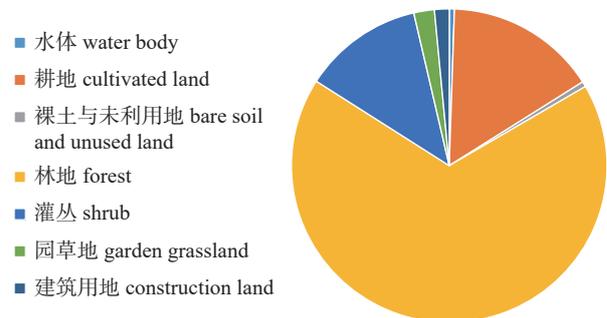


图 1 “黄金四角”地区土地利用现状及结构特征

Fig. 1 Land use status and structural characteristics of the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos

2.1.2 单一土地利用动态分析

不同时段间研究区各土地利用类型变动速率差异凸显 (图 2)。其中, 裸土与未利用地及建筑用地扩展速率不断提升, 分别由 2000—2009 年的 9.49% 和 3.48% 增至 2009—2018 年的 10.58% 和 5.80%; 耕地和园草地扩展速率不断减缓, 分别由 1.95% 和 3.04% 降至 0.99% 和 1.77%; 水体与灌丛用地动态度的变动存在时段差异 (均由负转正), 而林地面积变动幅度较小。

2.1.3 综合土地利用动态分析

随着时间演进, 研究区土地利用变动速率整体减慢, 用地结构稳定性大幅增强。2000—2009 年, 综合土地利用动态度为 45.99%, 土地利用变动活跃, 地类间的转换频繁; 2009—2018 年, 综合土地利用动态度降至 10.44%, 地类间的转类规模与频率均显著下降, 这与主导型地类 (林地、灌丛和耕地) 转类规模下降以及空间分布稳定性提升相关。

2.2 土地利用空间演变分析

由图 3 可知: (1) 耕地质心向东南偏移, 位于东部和南部的泰、老两国段耕地开发面积占比提升。研究前期, 耕地质心向正东偏移 18.72 km , 主要是受老挝段耕地开发与“替代种植”规模的提升以及泰国段第一产业结构优化与水稻种植面积增加驱动; 研究后期耕地质心向西南偏移 26.78 km 。(2) 林地质心整体向正东偏移但阶段性差异显

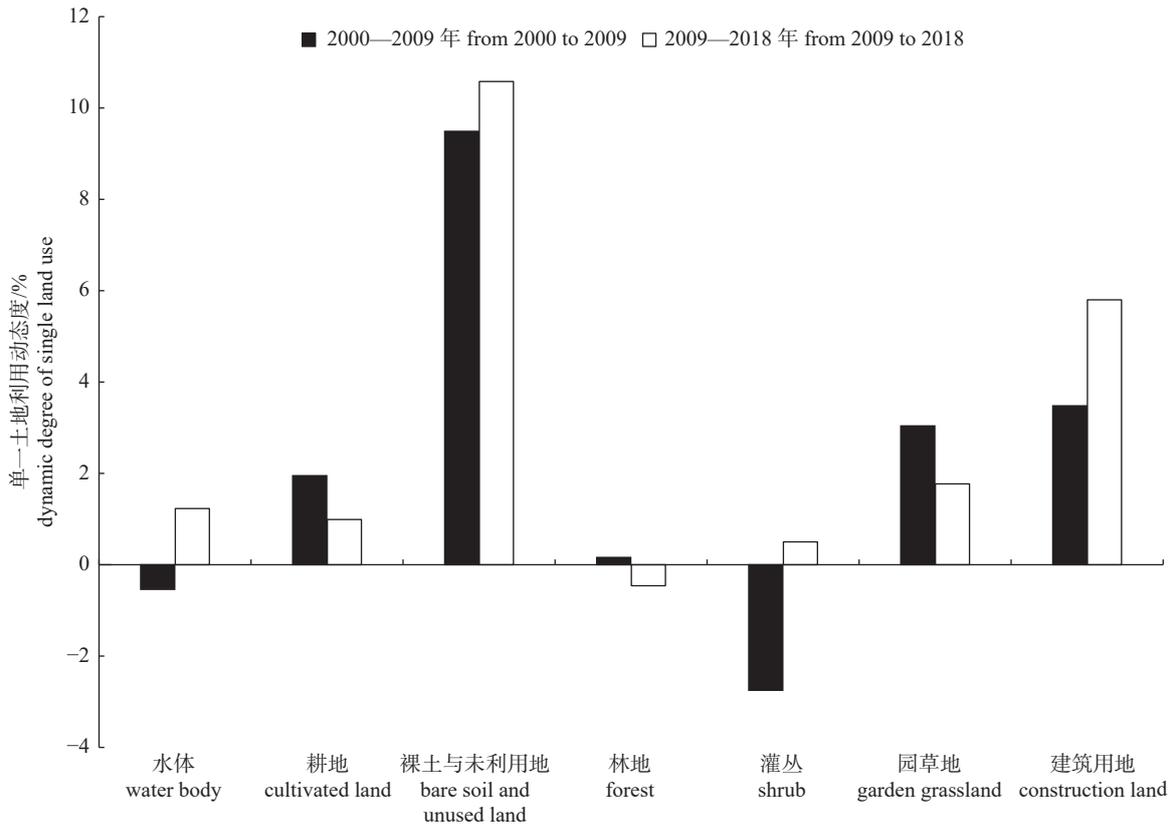


图 2 2000—2018 年“黄金四角”地区单一土地利用动态度

Fig. 2 Dynamic degree of single land use in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos from 2000 to 2018

著, 老挝段林区占研究区林地总面积的比重提升; 2000—2009 年, 受老挝东南部琅勃拉邦与乌多姆赛省经济林面积扩大驱动, 林地质心向东南偏移 3.24 km; 2009—2018 年林地质心向东北偏移 3.39 km, 其原因在于老挝北部丰沙里省和琅南塔省林区恢复及中、老两国交界区橡胶林面积的扩大。(3) 随着时间演进, 灌丛质心呈向西北偏移态势, 北部中国段和西部缅甸段的灌丛面积占比提升, 而园草地质心整体向东南偏移, 其原因一方面在于中国段以茶园为代表的规模化园地面积的扩展, 另一方面在于老挝段“替代种植”驱动下人工型园草地(台地茶园等)面积的增长。(4) 随着时间演进, 建筑用地质心持续偏向东南但幅度下降, 研究前期以向南部偏移为主, 研究后期则主要向东部偏移, 一方面表明南部泰国段持续为建筑用地的首要分布区, 另一方面表明研究时段内中、老两国段建筑用地扩展显著并促进了用地质心的东移且主要集中在研究后期。(5) 水体质心显著向东北偏移, 北部和东部的

中、老两国段水体面积占比提升; 2000—2018 年, 水体质心向东北偏移近 70 km, 表明中、老两国段对水利设施及澜沧江—湄公河流域治理的成效凸显。(6) 裸土与未利用地质心持续偏向东北但幅度降低, 其原因一方面在于中国段城乡建设导致人工型裸土与未利用地增加, 另一方面受老挝段“刀耕火种”型耕作方式的时段性变动影响。

2.3 土地利用转移图谱分析

土地利用转移图谱特征及其规律分析结果(图 4、表 1)表明: (1) 稳定型图谱单元用地面积占比最大(68.7%), 且广泛散布于整个研究区域; 林地—林地—林地为面积最大的图谱模式(113 714.24 km²), 这体现了典型热带雨林区土地利用的分布及变动特征。(2) 前期变化型图谱单元总面积为 45 139.89 km², 最大面积图谱模式为灌丛—林地—林地, 占该图谱类型总面积的 29.9%, 且在东部老挝段集聚态势明显。相较于人为干扰, 自然本底因素在研究区前期土地利用变化中的作用更为明显。(3) 后期变化型图谱单

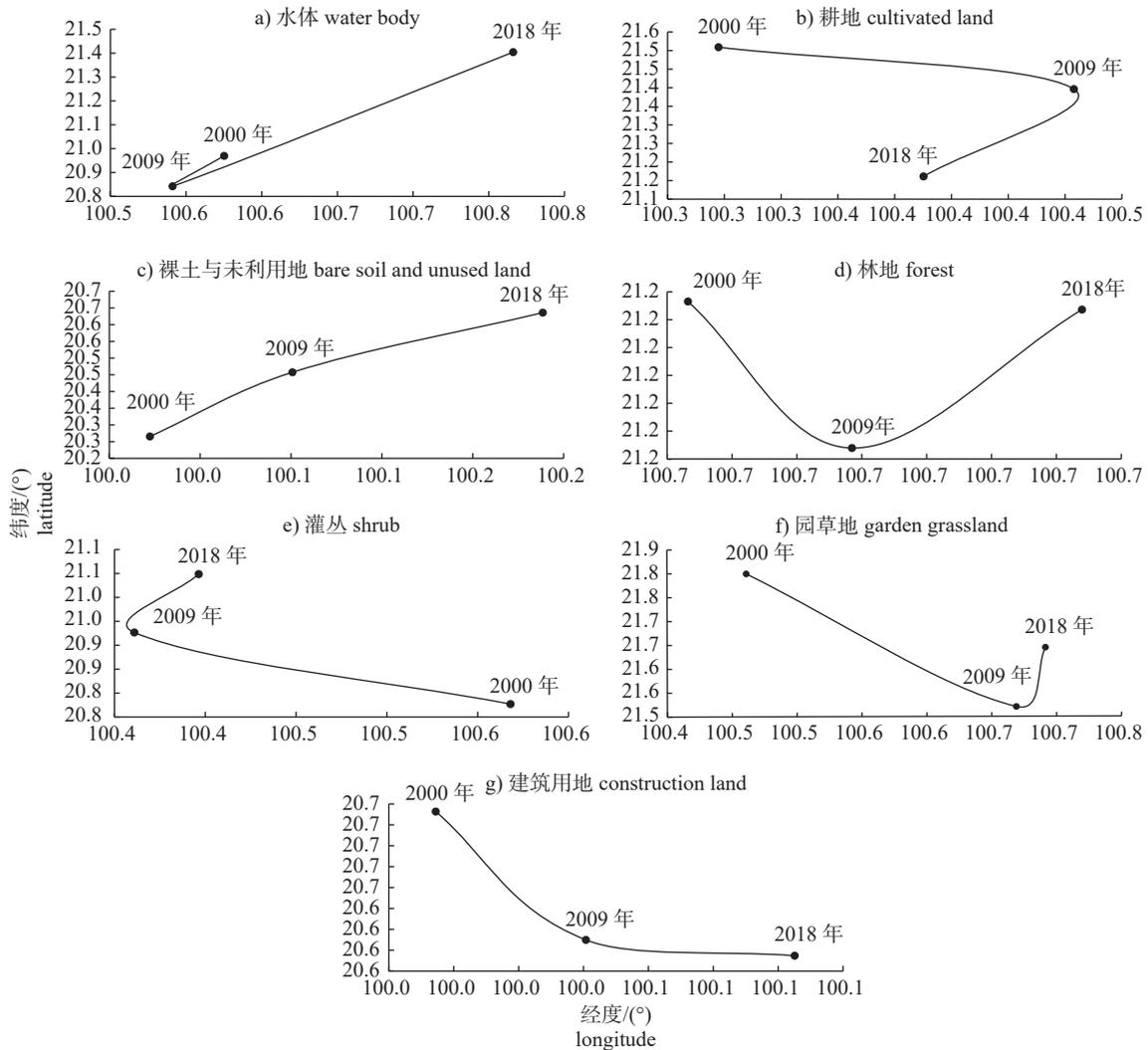


图 3 2000—2018 年“黄金四角”地区各土地利用类型空间分布质心及变动轨迹

Fig. 3 The centroid of spatial distribution and change trajectory of various land use types in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos from 2000 to 2018

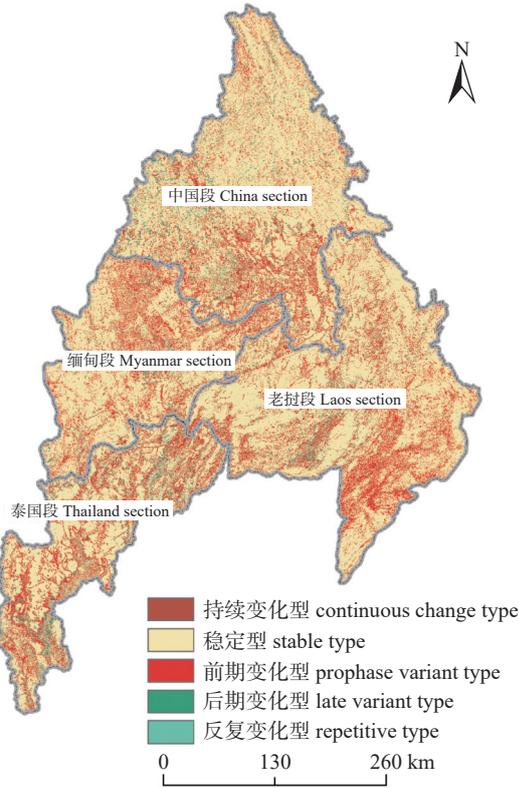
元总面积为 9 094.99 km² 且集中于南北两侧的中、泰两国段，林地—林地—耕地为最大面积图谱变化模式 (2 365.21 km²)，这源于研究后期过度砍伐和不合理利用等造成的林地退化以及随着土地利用程度加深林地与耕地间的高频率转换。此类图谱变动的区域分异也体现出研究后期各国段土地利用开发强度差异已经凸显。(4) 持续变化型图谱单元数量最多 (211 个)，但面积占比较小，空间分布破碎化程度高；最大面积图谱模式为林地—耕地—灌丛 (799.09 km²)，表明林地、耕地及灌丛三大主导型地类间的转化直接影响研究区用地图谱的变动，同时，耕地的持续转类也体现出该区域“刀耕火种”及弃耕等现象仍广泛存在，土地利用效率的提升与综合整治需加强。(5) 反

复变化型图谱单元用地面积占比最小 (1.72%) 且显著集中在南部泰国段，耕地—灌丛—耕地和耕地—林地—耕地为其面积较大的图谱模式，这与该区域独特的休耕、轮耕等耕作制度相契合。

2.4 土地利用涨落势图谱分析

2.4.1 土地利用涨势图谱

由表 2 可知：2000—2009 年研究区土地利用未变区域面积为 14.6 万 km²，变化区域面积为 5.44 万 km²；变化区域中，新增林地面积最大，占新增区域总面积的 40.20%；其次为耕地和灌丛，面积分别为 25.30% 和 24.10%；相较而言，新增水体、裸土与未利用地及建筑用地的面积则相对较小。对比发现，研究区土地利用数量与结构转型存在一定国别差异，老挝、缅甸、泰国和



注: 基于全国地理信息资源目录服务系统的标准地图绘制, 审图号 GS(2016)2556, 底图无修改。

Note: Based on the standard map of the National Geographic Information Resource Catalog Service System, the review number is GS (2016) 2556, and the base map is not modified

图 4 2000—2018 年“黄金四角”地区土地利用变化合成图谱

Fig. 4 Synthetic atlas of land use change in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos from 2000 to 2018

中国段未变区域面积占比分别为 32.38%、18.14%、15.47% 和 34.01%, 表明中、老两国段土地利用结构较为稳定, 而泰、缅两国段的土地利用变动较为活跃。

由表 3 可知: 2009—2018 年, 研究区土地利用变动活跃度有所下降, 未变土地利用面积增为 18.1 万 km²; 新增耕地面积最大, 占新增用地总面积的 39.50%, 其次为灌丛, 占新增用地总面积的 29.10%; 相较而言, 新增建筑用地的面积显著提升, 而新增园草地面积有所下降。中、缅、泰、老 4 国段未变区域面积占比与前一时段无明显差异, 值得注意的是, 2009—2018 年间, 4 国段新增耕地面积占比均显著提升。

2.4.2 土地利用落势图谱

由表 4 可知: 2000—2009 年研究区灌丛面积萎缩最大, 为 20 571.04 km², 其次为林地, 萎缩面积占变动区域总面积的 36.5%; 相较而言, 水体和裸土与未利用地的萎缩面积较小。中、缅、泰、老 4 国段主要萎缩地类存在较高的相似性, 均呈以灌丛、林地及耕地为主的转出特征。

由表 5 可知: 2009—2018 年研究区萎缩面积最大的地类为林地 (45.80%), 且规模显著高于其他地类; 相较于上一时期, 该时段研究区土地利用萎缩总面积显著减小且在 4 个国段广泛存在, 其原因主要在于随经济与社会结构的稳定, 作为研究区土地利用基质的林地、灌丛及耕地间转类面积减小, 土地利用结构的稳定性增强。

3 讨论

对“黄金四角”地区土地利用变化的分析不仅有助于为该区域资源合作开发、协同治理、共同保护的主体价值取向、协调机制与开发模式提供借鉴, 也可为提升中国在该区域的辐射与示范效应提供参考^[27]。本研究在传统土地利用动态与景观质心平移分析基础上, 基于整数地类代码构建

表 1 2000—2018 年“黄金四角”地区土地利用变化图谱分析

Tab. 1 Analysis of land use change atlas in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos from 2000 to 2018

图谱类型 atlas type	图谱单元数 number of atlas units	图谱面积/km ² atlas area	比重/% proportion	最大图谱单元变化模式 maximum atlas unit change mode	最大图谱面积/km ² maximum atlas unit area
前期变化型 prophase variant type	42	45 139.89	22.52	灌丛—林地—林地 shrub-forest-forest	13 494.93
后期变化型 late variant type	42	9 094.99	4.54	林地—林地—耕地 forest-forest-cultivated land	2 365.21
稳定型 stable type	7	137 670.20	68.70	林地—林地—林地 forest-forest-forest	113 714.24
反复变化型 repetitive type	40	3 454.37	1.72	耕地—灌丛—耕地 cultivated land-shrub-cultivated land	668.65
持续变化型 continuous change type	211	5 047.38	2.52	林地—耕地—灌丛 forest-cultivated land-shrub	799.09

表 2 “黄金四角”地区各时序单元土地利用涨势图谱结构表 (2000—2009 年)

Tab. 2 Structure table of land use rise atlas of each time series unit in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos (2000-2009)

单元 unit	新增水体 added water body	新增耕地 added cultivated land	新增裸土与未利用地 added bare soil and unused land	新增林地 added forest	新增灌丛 added shrub	新增园草地 added garden grassland	新增建筑用地 added construction land
老挝段 Laos section	94.51	4 201.75	124.01	7 766.08	3 392.20	808.97	211.53
缅甸段 Myanmar section	38.71	2 233.03	99.52	3 776.21	3 961.02	625.09	191.11
泰国段 Thailand section	115.26	2 971.55	243.03	4 307.68	3 047.02	439.47	639.23
中国段 China section	118.95	4 047.06	118.40	5 515.53	2 424.00	1 172.35	454.15
合计 total	367.43	13 453.39	584.96	21 365.51	12 824.24	3 045.88	1 496.02

表 3 “黄金四角”地区各时序单元土地利用涨势图谱结构表 (2009—2018 年)

Tab. 3 Structure table of land use rise atlas of each time series unit in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos (2009-2018)

单元 unit	新增水体 added water body	新增耕地 added cultivated land	新增裸土与未利用地 added bare soil and unused land	新增林地 added forest	新增灌丛 added shrub	新增园草地 added garden grassland	新增建筑用地 added construction land
老挝段 Laos section	83.19	1 962.52	141.70	450.38	1 384.35	254.36	154.96
缅甸段 Myanmar section	5.83	912.24	122.55	362.64	796.88	139.83	83.52
泰国段 Thailand section	15.71	2 844.67	181.61	183.70	911.60	125.10	661.05
中国段 China section	213.65	1 053.11	163.38	911.44	1 895.10	710.96	425.68
合计 total	318.39	6 772.54	609.24	1 908.16	4 987.94	1 230.26	1 325.22

表 4 “黄金四角”地区各时序单元土地利用落势图谱结构表 (2000—2009 年)

Tab. 4 Structure table of land use fall atlas of each time series unit in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos (2000-2009)

单位 unit	萎缩水体 shrinking water body	萎缩耕地 shrinking cultivated land	萎缩裸土与未利用地 shrinking bare soil and unused land	萎缩林地 shrinking forest	萎缩灌丛 shrinking shrub	萎缩园草地 shrinking garden grassland	萎缩建筑用地 shrinking construction land
老挝段 Laos section	101.48	1 784.50	55.09	6 321.17	7 914.85	307.16	114.81
缅甸段 Myanmar section	77.87	1 270.62	52.49	4 589.81	4 189.92	646.78	97.21
泰国段 Thailand section	91.00	2 832.50	160.10	3 744.87	4 234.98	246.56	453.24
中国段 China section	146.75	3 240.00	43.56	4 761.48	4 231.29	1 063.03	364.33
合计 total	417.10	9 127.62	311.23	19 417.33	20 571.04	2 263.53	1 029.58

土地利用变化图谱, 可从时空双维度对土地利用变化轨迹与涨落态势进行复合研究^[28], 并为打破行政界线且同时具有地缘政治、经济特色的跨境地区研究提供本底支撑。本研究中的土地利用时空演变分析与刘晓娜等^[13]的研究结果相似, 补充

了张磊等^[20, 29]对中老缅交界区及缅甸东掸邦地区土地利用景观及生态状况研究, 并可为封顺等^[30]及赵姝岚等^[31]关于跨境安全复合体及替代种植的研究提供数据支持。“黄金四角”地区土地利用变化态势表明该区形成了林地、耕地和灌丛为基

表5 “黄金四角”地区各时序单元土地利用落势图谱结构表(2009—2018年)

Tab. 5 Structure table of land use fall atlas of each time series unit in the “Golden Four Corners” of China, Myanmar, Thailand and Laos (2009-2018)

单位 unit	萎缩水体 shrinking water body	萎缩耕地 shrinking cultivated land	萎缩裸土与未利用地 shrinking bare soil and unused land	萎缩林地 shrinking forest	萎缩灌丛 shrinking shrub	萎缩园草地 shrinking garden grassland	萎缩建筑用地 shrinking construction land	km ²
老挝段 Laos section	44.96	970.00	9.66	2322.45	934.82	130.36	19.21	
缅甸段 Myanmar section	15.53	532.01	7.22	1003.22	756.56	80.36	28.62	
泰国段 Thailand section	133.86	695.75	9.40	2420.09	1412.15	155.12	97.10	
中国段 China section	19.47	2152.87	6.40	2105.46	738.94	276.55	73.65	
合计 total	213.81	4350.62	32.67	7851.22	3842.47	642.39	218.57	

质, 水体为廊道, 园草地及建筑用地为斑块的土地利用景观特征, 这验证了 LIU 等^[4]对老挝北部、缅甸东北部和泰国北部等地土地利用结构的论述。基于土地利用变化图谱的分析则发现: 社会、经济状况与研究区土地利用效率与变化活跃度紧密相关, 土地利用涨落态势更是直接受林地、灌丛及耕地间转类的影响。随着时间演进, “黄金四角”地区土地利用变化的国别分异逐步凸显, 中、泰两国段土地利用的活跃度与合理性整体高于老、缅两国段。

4 结论

基于土地利用动态度、景观质心平移度及地图代数运算等模型对“黄金四角”地区土地利用变化的测度与评价不仅实现了对该区域土地资源利用子系统结构组成、时空分布、变化规律及国别分异的量化测度, 更有助于构建跨境/跨流域合作与共生地区土地资源本底专题数据库。强化对代表性区域与地类(澜沧江—湄公河沿线、中缅泰老四国交界处和橡胶林等)的分析研究、多元剖析土地利用变动机制并构建促进土地资源合理利用的优化路径是课题组后续研究的重点。

[参考文献]

[1] BARROW C J. River basin development planning and management: a critical review[J]. *World Development*, 1998, 26(1): 171. DOI: 10.1016/S0305-750X(97)10017-1.

[2] 廖湛嫻. 中老缅泰交界区土地利用/覆被变化的地域格局和国别差异研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.

[3] 刘晓娜. 中老缅交界地区土地利用/土地覆被变化研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[4] 林树高, 陆汝成, 刘少坤, 等. 基于“三生”空间的广西边

境地区土地利用格局及多功能演变[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(5): 265. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.05.031.

[5] 翟香, 兰安军, 廖艳梅, 等. 地形梯度对土地利用格局时空特征的影响: 以毕节市为例[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2022, 45(6): 70. DOI: 10.7612/j.issn.2096-5281.2022.06.008.

[6] 耿鑫, 胡实, 肖玉, 等. 基于生态系统服务价值的东北农牧交错区土地利用格局优化与评价[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(7): 1799. DOI: 10.31497/zrzyxb.20220710.

[7] 张涵, 李阳兵. 乡村转型背景下山—坝系统土地利用景观耦合与协调演变: 以贵州省6个山—坝系统为例[J]. *山地学报*, 2021, 39(2): 248. DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000592.

[8] 付慧, 刘艳军, 孙宏日, 等. 京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(12): 1985. DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.12.003.

[9] 王愆, 李新举. 城镇化背景下济南市土地利用变化驱动机制分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(S2): 151.

[10] 孙毅中, 杨静, 宋书颖, 等. 多层次矢量元胞自动机建模及土地利用变化模拟[J]. *地理学报*, 2020, 75(10): 2164. DOI: 10.11821/dlxb202010009.

[11] 张月, 张飞, 王娟, 等. 基于LUCC的艾比湖区域生态风险评价及预测研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(11): 3465.

[12] 廖湛嫻, 封志明, 李鹏, 等. 中老缅泰交界地区土地利用变化信息挖掘与国别对比[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(11): 1785. DOI: 10.11849/zrzyxb.2015.11.001.

[13] 刘晓娜, 封志明, 姜鲁光. 中老缅泰“黄金四角”地区土地利用与土地覆被变化研究进展[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(2): 191. DOI: 10.3724/SP.J.1033.2013.00191.

[14] LIU X N, FENG Z M, JIANG L G, et al. Rubber plantation and its relationship with topographical factors in the border region of China, Laos and Myanmar[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(6): 1019. DOI: 10.1007/s11442-013-1060-4.

[15] 张磊. 中缅泰老“黄金四角”地区土地利用/覆被变化及生态风险评价[D]. 昆明: 云南师范大学, 2020.

- [16] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 148. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2015.05.022.
- [17] 张磊, 武友德, 李君. 观景公路沿线土地利用变化特征分析: 以大理洱海东环海路为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(12): 2707. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201812007.
- [18] LAMBIN E F, GEIST H J, LEPERS E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2003, 20(28): 49205. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105459.
- [19] KUEMMERLE T, RADELOFF V C, PERZANOWSKI K, et al. Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 103(4): 449. DOI: 10.1016/j.rse.2006.04.015.
- [20] 张磊, 武友德, 李君, 等. 中缅泰老“黄金四角”地区缅甸段土地利用与景观格局变化分析[J]. 世界地理研究, 2018, 27(4): 21. DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2018.04.003.
- [21] 张磊, 武友德, 李君. 泛珠江三角洲经济圈人口与经济的空间分布关系研究[J]. 西北人口, 2015, 36(5): 43. DOI: 10.15884/j.cnki.issn.1007-0672.2015.05.008.
- [22] 吴学伟, 龚文峰, 徐亚明, 等. 3个时期大庆市区龙凤湿地土地利用变化图谱研究[J]. 湿地科学, 2016, 14(4): 451. DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2016.04.001.
- [23] 张文慧, 吕晓, 史洋洋, 等. 黄河流域土地利用转型图谱特征[J]. 中国土地科学, 2020, 34(8): 80. DOI: 10.11994/zgtdkx.20200731.204521.
- [24] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643. DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2003.05.001.
- [25] 赵敏, 程维明, 黄坤, 等. 基于地貌类型单元的京津冀近10a土地覆被变化研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(2): 252. DOI: 10.11849/zrzyxb.20141557.
- [26] 于元赫, 李子君, 林锦阔, 等. 沂河流域土地利用时空变化图谱特征分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(5): 975. DOI: 10.31497/zrzyxb.20190506.
- [27] 张林, 黄俊婧, 温雪. “黄金四角”地区基础设施互联互通建设推进研究[J]. 东南亚纵横, 2019, 29(3): 38.
- [28] 唐常春, 李亚平. 多中心城市群土地利用/覆被变化地学信息图谱研究: 以长株潭城市群为例[J]. 地理研究, 2020, 39(11): 2626. DOI: 10.11821/dlyj020200207.
- [29] 张磊, 武友德, 李君. 中老缅交界区2005—2017年土地利用/覆被变化及其生态状况[J]. 水土保持通报, 2021, 41(1): 245. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.01.034.
- [30] 封顺, 郑先武. 中缅跨境安全复合体及其治理[J]. 国际安全研究, 2016, 34(5): 122. DOI: 10.14093/j.cnki.cn10-1132/d.2016.05.007.
- [31] 赵姝岚. 中国在老挝北部开展替代种植的成效与存在的问题: 基于波特“钻石模型”的分析[J]. 东南亚纵横, 2021, 31(2): 57.

责任编辑: 何承刚