

# 中老缅交界区 2005—2017 年土地利用/ 覆被变化及其生态状况

张磊<sup>1</sup>, 武友德<sup>2,3</sup>, 李君<sup>4</sup>

(1. 泰山学院 旅游学院, 山东 泰安 271000; 2. 云南师范大学 孟加拉湾地区研究中心/缅甸研究中心, 云南 昆明 650500;  
3. 云南师范大学 中国西南地缘环境与边疆发展协同创新中心, 云南 昆明 650500; 4. 云南师范大学 经济与管理学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** [目的] 以中老缅(中国—老挝—缅甸)3 国接壤地带为例, 通过对其土地利用/覆被的演变过程及生态状况的评估, 为该区土地资源的合理利用与生态风险的降低防控提供依据。[方法] 基于研究区土地利用/覆被遥感影像数据, 通过构建土地利用/覆被变化趋势与状态指数等模型, 对其 2005—2017 年的演变过程及生态状况进行测度。[结果] ① 研究区以林地、耕地为主导, 土地利用组合的一致性较强, 但作为多国接壤地带, 该区土地利用程度存在一定的国别分异; ② 随时间演进, 研究区土地利用的结构及变化幅度均发生了显著的时空及地类分异, 其中林地扩张显著, 耕地大幅减少而草地及水体的面积变化相对平稳, 后 6 a 的土地利用变化幅度整体高于前 6 a; ③ 12 a 间, 研究区土地利用变化整体呈不平衡状态, 各地类间的变化趋势与状态差异较为显著。随时间演进, 受林地外延扩张态势减弱等影响, 研究区土地利用变化的稳定性有所增强, 但各地类间的变化趋势与状态差异略有增加; ④ 2005—2017 年, 研究区生态状况整体改善, 且国别与空间分异有所减小, 12 a 间, 老挝段生态状况整体较优, 缅甸段次之, 而中国段的生态状况相对较差, 生态综合功能高值区与 3 国交界处间的距离整体减小。[结论] 研究区土地利用/覆被的演变过程及生态状况存在一定的国别分异及阶段性变动特征, 中老缅 3 国对其接壤地带生态本底功能的修复与提升工作正不断增强。

**关键词:** 土地利用/覆被变化; 演变过程; 生态状况; 多国地缘交界区; 中老缅接壤地带

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)01-0245-07

**中图分类号:** F301.2

**文献参数:** 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): 245-251. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2021. 01. 034; Zhang Lei, Wu Youde, Li Jun. Ecological status and land use/cover change at border zone between China, Laos and Myanmar [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(1): 245-251.

## Ecological Status and Land Use/Cover Change at Border Zone Between China, Laos and Myanmar

Zhang Lei<sup>1</sup>, Wu Youde<sup>2,3</sup>, Li Jun<sup>4</sup>

(1. *Tourism College, Taishan University, Tai'an, Shandong 271000, China*; 2. *Center for Bay of Bengal Area Studies/Center for Myanmar Studies of Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China*; 3. *Collaborative Innovation Center for Geopolitical Setting of Southwest China and Borderland Development, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China*; 4. *School of Economics and Management, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China*)

**Abstract:** [Objective] The border zone of China, Laos, and Myanmar were used as an example to provide the basis for the rational use of land resources and the reduction and prevention of ecological risk in this area through the evaluation of the development process and ecological status of land use/cover. [Methods] Based on the remote sensing image data of land use/cover in the study area, the evolution process and ecological status of land use/cover in the 12 years from 2005 to 2017 were measured by building models, such as land-use/cover change trend and state index models. [Results] ① The study area was dominated by forest and cultivated

收稿日期: 2020-09-07

修回日期: 2020-10-29

资助项目: 国家社会科学基金重大项目“中缅泰老‘黄金四角’跨流域合作与共生治理体系研究”(16ZDA041); 国家自然科学基金项目(41761031, 41461037); 2020 年山东省重点研发计划(软科学项目)(2020RK01507); 泰山学院博士科研启动基金(Y-02-2020013)。

第一作者: 张磊(1990—), 男(汉族), 山东省章丘区人, 博士, 讲师, 主要从事城市与区域规划教学与研究。Email: 1291009063@qq.com。

通讯作者: 武友德(1964—), 男(汉族), 云南省禄劝县人, 教授、博士生导师, 主要从事区域经济研究。Email: youdewu@sina.com。

land, and the consistency of land-use combination was strong. However, because this area is the border zone of several countries, the degree of land use in this area had some national differences. ② Over time, the structure and change range of land use in the study area underwent significant spatio-temporal and land-type differentiation. The forest land expanded significantly, the cultivated land decreased significantly, and the area of grassland and water changed relatively smoothly. The land-use change in the last six years of the study period was higher than that in the previous six years. ③ During the 12-year study period, the overall land-use change in the study area was unbalanced, and the change trend and status of different land types were significantly different. Over time, the stability of land-use change in the study area was enhanced because of the weakening of forest-land extension and expansion, but the change trend and status difference between different land-use types slightly increased. ④ Over time, the ecological status of the study area improved as a whole, and the country-specific and spatial differentiation decreased. During the 12-year study period, the ecological status of the Laos section showed the most improvement, followed by the Myanmar section and the Chinese section. The distance between the high-value zone of the ecological comprehensive function and the junction of the three countries decreased as a whole. [Conclusion] The evolution process and ecological status of land use/cover in the study area have certain characteristics of national differentiation and stage change. China, Laos, and Myanmar are continuously improving the ecological background function of their border zone.

**Keywords:** land use/cover change; evolution process; ecological status; China, Laos, and Myanmar border zone

作为全球变化在地球表层系统留下的最突出景观标志,人类对土地的开发利用以及由此引起的土地利用/覆被变化(LUCC)已被广泛认为是全球变化研究的重要内容和主要原因<sup>[1]</sup>。作为 GLP 深入研究的基础,LUCC 在全球变化研究中的作用日趋凸显,特别自 2005 年以来,其研究重心更向分析人类面对 LUCC 及其效应的响应机制偏移<sup>[2]</sup>,如何基于对 LUCC 的分析测度区域演变过程<sup>[3]</sup>及生态状况<sup>[4]</sup>已成为当今土地利用/覆被变化研究的热点和前沿问题。

国内外学者已分别基于土地利用动态变化<sup>[5-6]</sup>、图谱分析<sup>[7]</sup>、景观格局<sup>[8-10]</sup>、趋势与状态指数<sup>[3,11]</sup>及相关分析<sup>[12]</sup>、Logistic 回归分析<sup>[13]</sup>、生态风险评价/脆弱度等<sup>[14-17]</sup>模型,从不同视角分析了 LUCC 对区域演变过程及生态状况的反映、影响及测度。梳理发现,当前学者的研究重点多集中在中国北部及西北部的生态敏感/脆弱及保护/修复区,而对土地覆被状况相对较好且具有地缘政治、经济及文化优势的西南边疆地区研究相对较少,对同时具有传统与非传统安全等多重叠加问题的多国地缘交界区研究更为鲜见。

鉴于此,本文以中老缅 3 国接壤地带为例,以土地利用/覆被影像为本底,综合运用土地利用/覆被变化趋势与状态指数及生态等级指数等模型,对该区土地利用/覆被的演变过程及生态状况进行分析,以期定量揭示该区不同国情背景下 LUCC 及生态风险的演变差异,摸清中老缅交界地区的自然资源本底,保障中国西南边境安全及加强边境地区合作,探究跨境/跨流域合作与共生治理体系。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区概况

以中老缅 3 国交界处(中老缅 244 号界碑)为圆心,以 100 km 为半径构建缓冲区,并将其作为本文研究区(图 1)。

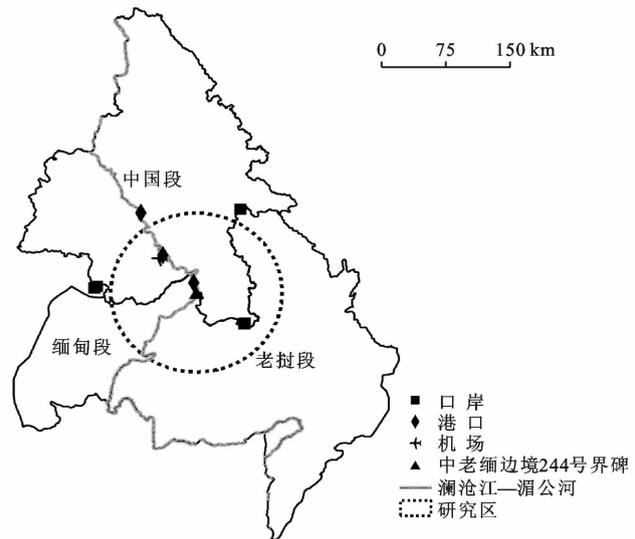


图 1 研究区地理位置示意图

如图 1 所示,研究区主要包括中国云南西双版纳州大部、缅甸东掸邦孟别县东部及老挝琅南塔省中北部、丰沙里省西部、波乔省与乌多姆赛省北部边缘,澜沧江—湄公河及昆曼高速公路等经过,拥有中老磨憨—磨丁口岸、景洪港、关累港及西双版纳机场等地缘政治经济合作口岸及通道,并临近中老勐康口岸、

中老打洛口岸及缅甸勐拉特区,是中国与东盟接触地带已形成的多国地缘经济区的重要组成部分<sup>[18]</sup>,该区地势四周高中间低,属典型的热带雨林气候,全年高温多雨、无明显季节差异,总面积约  $3.14 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

近年来,随众多国际经济合作与资源开发项目的展开,特别是中缅泰老“黄金四角”计划与“替代种植”政策的推进,该区的土地利用/覆被状况发生了显著变迁,资源利用与生态环境子系统的变化规律各具特色,加之土地利用方式的特殊性、显著的国别对比、相当面积的热带雨林及广泛分布的替代种植作物区,使该区成为众多国际组织研究 LUCC 及生态风险的前沿和热点地区之一<sup>[19-20]</sup>。

## 1.2 数据来源与处理

本文数据源主要为从美国地质调查局网站 (<http://earthexplorer.usgs.gov>) 下载的 Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLI 系列数据(分辨率 30 m),在对数据进行统一投影与空间配准的基础上,基于 ENVI5.3 对遥感数据进行预处理,并依据选定的研究区轮廓进行影像裁剪。综合运用监督分类与人机交互式解译的方法对土地利用信息进行提取<sup>[21]</sup>,并基于 Google Earth 影像数据及 Globe Land 30 数据产品对解译的数据进行校正,kappa 系数分别为 0.868(2005 年),0.894(2011 年)及 0.900(2017 年)。结合研究区土地利用特点,参照中国国家地理信息中心开发的 Globe Land 30 地表覆盖分类系统,将该区土地利用分为水体、耕地、裸土及未利用地、林地、草地及建筑用地等 6 大类。

## 2 研究方法 with 统计模型

### 2.1 土地利用/覆被变化趋势与状态指数

2.1.1 单一土地利用/覆被类型的变化趋势与状态指数 单一土地利用/覆被类型的变化趋势与状态指数主要用来反映某土地利用/覆被类型的扩张/缩减强度。公式为:

$$P_s = \frac{\Delta U_{in} - \Delta U_{out}}{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}} \quad (1)$$

式中: $P_s$  为各土地利用/覆被类型的变化与状态指数; $\Delta U_{in}$  为其他土地利用类型转入某用地类型的面积; $\Delta U_{out}$  为某用地类型转出为其他土地利用类型的面积, $-1 \leq P_s \leq 1$  且  $\Delta U_{in} + \Delta U_{out} \neq 0$ <sup>[3]</sup>。 $P_s$  越接近 0,表明该用地类型的双向转换越频繁越趋于平衡状态<sup>[3]</sup>; $P_s$  越接近于  $\pm 1$ ,越趋于不平衡状态,表明该用地类型以单向转入(出)为主<sup>[3]</sup>;当  $P_s > 0$  时,表明该用地类型呈扩张态势;当  $P_s < 0$  时,说明该用地类型呈缩减态势<sup>[3]</sup>。

2.1.2 区域土地利用/覆被变化的整体趋势与状态指数 区域土地利用/覆被变化的整体趋势与状态指数可反映整个区域土地利用/覆被变化的趋势与状态。公式为:

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta U_{in} - \Delta U_{out}|}{\sum_{i=1}^n \Delta U_{in} + \Delta U_{out}} \quad (2)$$

式中: $0 \leq P_t \leq 1$ <sup>[3,22]</sup>。 $P_t$  越接近 0,表明区域内所有土地利用/覆被类型的双向转换频繁,且呈均衡转换的态势; $P_t$  越接近 1,表明区域内各种土地利用/覆被类型的转换方向主要为单向的极端不平衡转换<sup>[3,22]</sup>。为了更好地表述区域土地利用/覆被变化的整体趋势与状态,参照相关学者研究对  $P_t$  进行分级:平衡状态 [0~0.25];准平衡状态(0.25~0.50);不平衡状态(0.50~0.75);极端不平衡状态(0.75~1)<sup>[3,22]</sup>。

### 2.2 生态等级指数

生态等级指数不仅可定量表征区域土地利用/覆被与宏观生态状况转好/差的程度,更可详细刻画出生态系统状况的整体变化<sup>[4,23]</sup>。鉴于此,参照相关学者研究<sup>[4,24]</sup>,本文引入生态等级指数模型,对研究区生态状况进行评估。公式为:

$$EG_i = \frac{\sum_{j=1}^n (EG_{ij} \times A_{ij})}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \quad (3)$$

式中: $EG_i$  为某区域生态等级指数,属负向指标,即数值越小,其代表的土地利用/覆被类型的生态综合功能越高<sup>[4]</sup>; $EG_{ij}$  为  $i$  区域第  $j$  种土地利用/覆被类型的生态等级(水体为 1,林地为 2,草地为 3,耕地为 4,建筑用地为 5,裸土及未利用地为 6<sup>[4,23-24]</sup>); $A_{ij}$  为区域  $i$  中土地利用/覆被类型  $j$  的面积<sup>[4]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 基于 LUCC 的多国地缘交界区演变过程分析

3.1.1 土地利用/覆被现状及空间分布特征 由表 1 可知,2017 年研究区林地与耕地的面积较大,二者之和占土地利用总面积的近 95%,各用地斑块间的整体连接性较好,为该区土地利用景观的“基质”;澜沧江—湄公河从本区穿过,对土地利用的切割作用显著,构成了该区土地利用景观的“廊道”;草地、建筑用地与裸土及未利用地的面积相对较小且破碎化程度较高,三者之和占土地利用总面积的比重不足 5%,且多呈点状或块状零散分布,构成了该区土地利用景观的“斑块”。

整体而言,研究区土地利用组合的一致性较强,中老缅 3 国段均以林地和耕地为主,且林地的主导地

位突出(表 1)。如表 1 所示,作为多国地缘交界区,该区土地利用亦存在一定程度的国别分异,其中,老挝和缅甸段林地在研究区中的主导度大于中国段,而

与人类活动密切相关的耕地及建筑用地在中国段的比重则整体大于老挝及缅甸段,3 国的土地利用程度存在一定差异。

表 1 2017 年中老缅 3 国交界处土地利用/覆被构成

用地类型	全区		中国段		老挝段		缅甸段	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%						
水体	121.97	0.38	82.57	0.54	9.93	0.08	29.47	0.73
耕地	3 442.31	10.80	2112.54	13.78	989.65	7.93	340.11	8.37
裸土及未利用地	15.71	0.05	10.01	0.07	3.76	0.03	1.94	0.05
林地	26 818.98	84.12	12 435.28	81.10	10 871.86	87.09	3 506.58	86.28
草地	1 346.58	4.22	623.14	4.06	550.55	4.41	172.89	4.25
建筑用地	135.46	0.42	70.48	0.46	57.28	0.46	12.97	0.32

3.1.2 基于土地利用/覆被结构变化的多国地缘交界区演变过程分析 如图 2 所示,2005—2017 年,研究区土地利用的时空格局发生了显著变迁。从土地利用结构看,12 a 间,研究区土地利用持续以林地、耕地及草地为主,2005 年占土地利用总面积的比重分别为 52.37%,40.64%及 6.44%,至 2017 年三者所占比重分别变为 84.12%,10.8%及 4.22%,随时间演进,林地面积扩张显著,耕地面积大幅减少,而草地面积变化相对平稳。值得注意的是,研究区建筑用地与裸土及未利用地面积占总体比重虽相对较小,但变动幅度极为显著,在一定程度上表明该区土地利用的活跃度及土地覆被的发育程度不断提升。

从土地利用变化幅度看,12 a 间,研究区林地、建筑用地与裸土及未利用地面积均持续增加,其中,建筑用地与裸土及未利用地的增幅主要集中在后 6 a,而林地的增幅随时间演进则有所放缓;2005—2017 年,研究区耕地面积不断减少且降幅持续扩大;整体而言,研究区草地面积呈先增后减整体减少的态势而水体的变动则较为稳定。一方面表明随研究区发育程度的提升,土地资源的开发程度大幅增强,建筑用地显著增加,并在一定程度上导致了城镇近郊部分耕地的流失;另一方面,随“替代种植”等政策的推进与深入,以橡胶林为代表的替代种植作物区大面积增加,导致相当面积的耕、草地转为人工林地。

从不同发展阶段来看,12 a 间,随“替代种植”等政策的深入及相关跨境政治、经济合作的推进,研究区 2011—2017 年的土地利用变化幅度整体高于 2005—2011 年,最明显的是建筑用地显著扩张、耕地降幅持续扩大及林地主导地位的日趋增强。2005—2011 年,建筑用地增幅为 22.2%,而 2011—2017 年增幅扩至 90.9%;前 6 a,研究区耕地面积由  $1.30 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 降至 9 040 km<sup>2</sup>,降幅为 30.4%,随时间演进,耕地面积持续下降,后 6 a 降幅增至 61.9%;

2005—2011 年,林地在研究区中所占比重由 52.4% 升至 69%,在用地类型中的主导地位显著增强,至 2017 年,林地面积占全区土地利用的比重增至 84.1%,主导地位日益凸显。

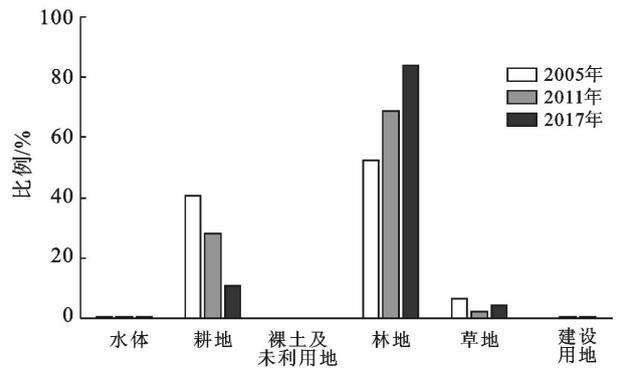


图 2 中老缅 3 国交界处 2005—2017 年各土地利用/覆被类型比例

3.1.3 基于土地利用/覆被变化趋势与状态的多国地缘交界区演变过程分析 由表 2 可知,从全时段看,12 a 间研究区土地利用变化整体呈不平衡状态 ( $P_t=0.640$ )。具体而言,研究区内部各用地类型间的变化趋势与状态差异显著,其中耕地面积呈显著收缩的变动态势 ( $P_s=-0.813$ ),转入面积仅为转出的 10.3%,其原因一方面在于随城镇化与社会经济发展水平的提升,该区部分耕地向建筑用地转型,另一方面,随“替代种植”等政策的深入与推进,该区相当面积的耕地转为以橡胶和香蕉林为核心的人工经济林区;作为研究区主导用地类型的林地,外延扩张态势突出,新增用地规模占研究区总面积的 31.8%;12 a 间,研究区草地呈内部转换与整体收缩并举的变动态势而建筑用地的外延扩张明显,这受该区域城镇化推进、社会经济发展及“替代种植”政策等的共同驱动;值得注意的是,研究区水体以内部转换为主而裸土及

未利用地的外延扩张态势显著,然而二者用地面积占研究区的比重相对较小(二者之和不足 0.5%),对整体土地利用变化态势的影响不大。

具体到分时段看,随时间演进,研究区土地利用变化的稳定性有所增强,2005—2011 年,研究区土地利用变化呈不平衡状态( $P_t=0.538$ ),2011—2017 年研究区土地利用变化的趋势与状态指数有所下降,土地利用变化转为准平衡状态( $P_t=0.497$ )。相较而言,12 a 间研究区各用地类型间的变化趋势与状态差异略显增加,各地类  $P_s$  间的标准差由 0.5 增至 0.53,其中耕地面积呈持续收缩的变动态势且缩减幅度不

断增加,状态指数  $P_s$  由  $-0.487$  变为  $-0.664$ ;对比发现,研究区林地呈持续外延扩张的变动态势但扩张幅度显著减小, $P_s$  由 0.589 降为 0.378,这也是该区土地利用变化稳定性增强的主要动因;不同时段内,草地的变动态势差异显著,由显著收缩( $P_s=-0.548$ )转为外延扩张( $P_s=0.325$ ),这在一定程度上反映了老挝上寮地区及缅甸东掸邦地区茶园、罂粟种植区及林地砍伐区的复苏与增扩<sup>[14]</sup>;相较于 2005—2011 年、2011—2017 年建筑用地的外延扩张态势大幅增加,这主要受该区社会经济发展及城市化水平提升等因素的共同驱动。

表 2 2005—2017 年研究区土地利用/覆被变化趋势与状态指数

年份	参数	水体	耕地	裸土及未利用地	林地	草地	建筑用地	全区
2005—2011	$P_s$	-0.079	-0.487	0.781	0.589	-0.548	0.172	—
	$P_t$	—	—	—	—	—	—	0.538
2011—2017	$P_s$	0.144	-0.664	0.917	0.378	0.325	0.904	—
	$P_t$	—	—	—	—	—	—	0.497
2005—2017	$P_s$	0.041	-0.813	0.967	0.611	-0.212	0.464	—
	$P_t$	—	—	—	—	—	—	0.640

注: $P_s$  为各土地利用/覆被类型的变化趋势与状态指数; $P_t$  为区域土地利用/覆被变化的趋势与状态指数。

### 3.2 基于 LUCC 的多国地缘交界区生态状况评估

不同的土地利用/覆被类型具有不同程度的生态功能<sup>[24]</sup>,土地利用/覆被的变化必然引起生态状况的转变。鉴于此,参照相关学者研究<sup>[4,25]</sup>,本文通过构建生态等级指数模型〔公式(3)〕,得到研究区的生态状况评估结果(表 3)。

3.2.1 基于 LUCC 的多国地缘交界区生态状况时间演变分析 如表 3 所示,随社会经济发展及“替代种植”等政策的深入,林地在土地利用总面积中所占比重大幅增加,研究区生态状况有所改善,生态等级指数从 2005 年的 2.879 降至 2017 年的 2.269。

表 3 2005—2017 年研究区生态等级指数及变化状况

项目	生态等级指数		
	2005 年	2011 年	2017 年
全区	2.879	2.591	2.269
中国段	3.010	2.802	2.327
老挝段	2.669	2.304	2.217
缅甸段	3.028	2.689	2.214
0—20 km	3.000	2.738	2.142
20—40 km	3.153	2.856	2.184
40—60 km	2.952	2.710	2.245
60—80 km	2.802	2.550	2.396
80—100 km	2.794	2.453	2.488

注:0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 km 分别为与中老缅三国交界处不同缓冲距离区域。

相较而言,2005—2017 年,研究区生态状况的变动存在一定的国别差异。随时间演进,中、老、缅 3 国段土地利用类型的生态综合功能均不断改善但增幅有所差异,其中老挝段增幅有所下降,缅甸段增幅持续较高而中国段增幅则明显上升;12 a 间,研究区各国段间的生态状况差异有所减小,各国生态等级指数的标准差由 2005 年的 0.165 降至 2017 年的 0.053。

为进一步测度研究区生态状况的时空分异,本文以 20 km 为间隔构建 5 个缓冲带,对与 3 国交界处不同距离范围区域的生态状况进行评估。发现,2005—2017 年,与 3 国交界处不同距离区域间的生态状况变动有所差异,在 0—80 km 范围内的区域生态等级指数均持续下降,生态状况不断转好,表明该区“替代种植”与“退耕还林”等政策的生态修复作用逐步凸显;在 80—100 km 范围内的区域生态等级指数呈先大幅下降后小幅增加,整体显著减小的变动态势,这受老(挝)缅(甸)两国“替代种植”的深入程度、原木出口规模变动及中国城镇化推进、边境口岸建设等因素的综合驱动。12 a 间,与 3 国交界处不同距离范围区域间的生态状况差异呈先增后减整体减小的变动态势,各距离范围区域间的生态等级指数标准差由 2005 年的 0.134 增至 2011 年的 0.143 又降至 2017 年的 0.131。

3.2.2 基于 LUCC 的多国地缘交界区生态状况空间分异研究 2005—2017 年,研究区的生态状况存在一定程度的空间分异。从国别上看,12 a 间,老挝段生

态状况整体较优,其生态等级指数的均值为 2.397,这得益于老挝上寮地区较高的森林覆盖率;缅甸段次之,生态等级指数均值为 2.644;中国段的生态状况相对较差,生态等级指数均值高达 2.713,这与中国段相对较高的社会经济发展水平及人为干扰程度密切相关。从与 3 国交界处不同距离范围区域看,随时间演进,生态综合功能高值区与 3 国交界处间的距离整体减小,这在一定程度上体现出 3 国对其接壤地带生态本底功能的修复与提升工作正不断增强。随与 3 国交界处间距离的增加,研究区 2005 年、2011 年的生态等级指数均呈先升后降整体减小的变动态势,在 0—40 km 范围内较高,而在 60—100 km 范围内则相对较低;相较而言,随与 3 国交界处间距离的增加,研究区 2017 年的生态等级指数呈现出持续扩大的变动态势。

## 4 讨论与结论

本研究以中老缅 3 国接壤地带为例,通过构建土地利用/覆被变化趋势与状态指数及生态等级指数等模型,对该区 2005 年以来的演变过程及生态状况进行评估,得出以下结论。

(1) 研究区土地利用组合的一致性较强,中老缅 3 国段均以林地和耕地为主,且林地的主导地位突出。随时间演进,研究区土地利用的时空格局发生了显著变迁,从土地利用结构看,研究区用地类型虽持续以林地、耕地及草地为主,但林地面积扩张显著,耕地面积大幅减少而草地面积变化相对平稳;从土地利用变化幅度看,12 a 间,研究区林地、建筑用地与裸土及未利用地面积均持续增加而耕地面积不断减少且降幅持续扩大,草地面积呈先增后减整体减少的态势而水体的变动则较为稳定;从不同发展阶段看,研究区后 6 a 的土地利用变化幅度整体高于前 6 a,最明显的是建筑用地显著扩张、耕地降幅持续扩大及林地主导地位的日趋增强。

(2) 从全时段看,12 a 间研究区的土地利用变化整体呈不平衡状态,各用地类型间的变化趋势与状态差异较为显著;具体到分时段看,随时间演进,受林地外延扩张态势减弱及耕地缩减幅度不断增加的共同驱动,研究区土地利用变化的稳定性有所增强但各用地类型间的变化趋势与状态差异略显增加,各地类  $P_i$  间的标准差由 0.5 增至 0.53。

(3) 2005—2017 年,研究区生态状况整体改善,生态等级指数从 2.879 降至 2.269;相较而言,研究区生态状况的变动存在一定的国别分异,中、老、缅 3 国段土地利用的生态综合功能虽均不断改善但增幅有所差异,其中老挝段增幅有所下降,缅甸段增幅持续

较高而中国段增幅则明显上升;12 a 间,研究区各国段间的生态状况差异显著减小,各国生态等级指数的标准差由 2005 年的 0.165 降至 2017 年的 0.053。

(4) 研究区生态状况的空间分异较为显著,12 a 间,老挝段生态状况整体较优,缅甸段次之而中国段的生态状况相对较差,这与各国段间的自然地理条件、社会经济发展及人为干扰程度密切相关。从与研究区 3 国交界处不同距离范围看,2005—2017 年,与 3 国交界处不同距离区域间的生态状况变动有所差异,生态综合功能高值区与 3 国交界处间的距离整体减小,这在一定程度上体现出 3 国对其接壤地带生态本底功能的修复与提升工作正不断增强。

(5) 基于土地利用/覆被变化对多国地缘交界区演变过程及生态状况的评估,可为后续揭示不同国情背景下区域资源利用与生态环境子系统的时空变化规律、驱动机制及重组与优化路径的研究提供借鉴。随“澜湄合作”及“替代种植”等的深入与推进,综合考虑地缘政治、经济、文化及生态等多重视角,进一步探究此类地区的合作与共生治理体系,促进区域土地保护与生态安全是本文进一步研究重点。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘权,张柏. 辽河中下游流域土地利用/覆被变化、环境效应及优化调控研究[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 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.
- [3] 张琪,罗格平,李龙辉,等. 基于土地利用/覆被变化表征的现代绿洲演变过程:以天山北坡三工河流域为例[J]. 地理学报,2016,71(7):1157-1171.
- [4] 孟紫琪,凌波,余倩楠,等. 基于土地利用/覆盖变化的中国大陆沿海地区生态状况评价[J]. 应用生态学报,2018,29(10):3337-3346.
- [5] 巩杰,谢余初,高彦净,等. 1963—2009 年金塔绿洲变化对绿洲景观格局的影响[J]. 生态学报,2015,35(3):603-612.
- [6] Jia Baoquan, Zhang Zhiqiang, Ci Longjun, et al. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 11-26.
- [7] 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):451-457.
- [8] 王林林,刘普幸. 近 38 年来格尔木河中下游绿洲时空演变及其与人类活动的关系[J]. 土壤,2016,48(3):597-605.
- [9] Seto K C, Fragkias M. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics [J]. Landscape Ecology, 2005, 20(7): 871-888.
- [10] 王涛,张超. 1998—2014 年阿克苏河流域耕地景观时空变化研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学版),2017, 37(2):171-178.

- [11] Luo G P, Zhou C H, Chen X, et al. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: A case study of Sangong River watershed, Xinjiang, China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 775-783.
- [12] 王新源, 连杰, 杨小鹏, 等. 玛曲县植被覆被变化及其对环境要素的响应[J]. *生态学报*, 2019, 39(3): 923-935.
- [13] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 等. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(10): 1806-1820.
- [14] 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): 3465-3474.
- [15] 梁二敏, 张军民, 杨卫红. 新疆玛纳斯河流域绿洲景观生态脆弱性时空分异[J]. *干旱区研究*, 2017, 34(4): 950-957.
- [16] 井云清, 张飞, 陈丽华, 等. 艾比湖湿地土地利用/覆被—景观格局和气候变化的生态环境效应研究[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(9): 3590-3601.
- [17] 钱大文, 颜长珍, 修丽娜. 高寒草甸矿区土地覆被变化及景观格局脆弱性响应: 以青藏高原木里矿区为例[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(3): 670-678.
- [18] 廖湛娅, 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): 1785-1797.
- [19] 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): 191-202.
- [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): 21-33.
- [21] 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): 148-154.
- [22] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 63-72.
- [23] 邵全琴, 赵志平, 刘纪远, 等. 近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征[J]. *地理研究*, 2010, 29(8): 1439-1451.
- [24] Li Yurui, Cao Zhi, Long Hualou, et al. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban-rural development: The case of Mu Us Sandy Land, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 697-715.
- [25] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.

(上接第 244 页)

- [10] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J]. *地理学报*, 2016, 71(1): 49-65.
- [11] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究: 以江苏省为例[J]. *地理科学*, 2013, 33(12): 1442-1449.
- [12] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(1): 97-106.
- [13] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. *地理研究*, 2018, 37(6): 1100-1114.
- [14] 苏珍来, 周兴, 李丹婷, 等. 广西土地利用多功能评价及时空差异分析[J]. *大众科技*, 2019, 21(9): 19-22.
- [15] 陈德强, 周兴. 贵港市土地利用多功能评价研究[J]. *现代农业科技*, 2017(3): 291-295.
- [16] 刘定惠, 杨永春. 区域经济—旅游—生态环境耦合协调度研究: 以安徽省为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(7): 892-896.
- [17] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J]. *地理学报*, 2016, 71(5): 817-828.
- [18] 刘浩, 张毅, 郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价: 以环渤海地区城市为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(10): 1805-1817.
- [19] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J]. *地理科学*, 2014, 34(9): 1108-1116.
- [20] 张荣天, 焦华富. 泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(5): 719-727.
- [21] 魏金义, 祁春节. 农业技术进步与要素禀赋的耦合协调度测算[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(1): 90-96.
- [22] 梁威, 刘满凤. 我国战略性新兴产业与传统产业耦合协调发展及时空分异[J]. *经济地理*, 2017, 37(4): 117-126.
- [23] 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 沈阳经济区经济与环境系统动态耦合协调演化[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2673-2680.
- [24] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307.
- [25] 张浩, 冯淑怡, 曲福田. 耕地保护、建设用地集约利用与城镇化耦合协调性研究[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 1002-1015.
- [26] 段云龙, 周静斌, 申晓静. 基于熵权 TOPSIS 法的房地产项目后评价模型研究[J]. *项目管理技术*, 2011, 9(9): 40-44.
- [27] 丛晓男. 耦合度模型的形式、性质及在地理学中的若干误用[J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 18-25.