

DOI: 10.5846/stxb202007141835

包妲, 李杰, 刘锋, 胡金明. 1995—2015 年缅甸土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2021, 41(17): 6960-6969.

Bao D, Li J, Liu F, Hu J M. Impact of land-use/land-cover change on ecosystem service values in Myanmar from 1995 to 2015. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(17): 6960-6969.

1995—2015 年缅甸土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响

包 妲^{1,3}, 李 杰², 刘 锋^{1,3}, 胡金明^{1,3,*}

1 云南大学国际河流与生态安全研究院, 昆明 650500

2 云南财经大学城市与环境学院, 昆明 650221

3 云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 昆明 650500

摘要: 缅甸土地利用变化对其生态系统服务的影响与中缅绿色“一带一路”、中缅经济走廊建设等重大战略的长期合作息息相关。利用缅甸 1995 年和 2015 年的土地利用数据, 结合 Costanza 生态系统服务价值系数表, 分析缅甸土地利用变化对生态系统服务价值的影响。结果表明: (1) 1995—2015 年, 缅甸土地利用类型以林地(71%)和耕地(26%)为主, 林地和草地面积减少, 而其他地类增加; 林地和耕地之间的转化显著。 (2) 缅甸生态系统服务价值约 4600—4700 亿美元, 林地贡献最大; 调节(48%)和支持(29%)服务价值比重较大; (3) 生态系统服务总价值增加了 66.26 亿美元, 调节、供给和支持服务价值增加, 而文化服务价值减少; 生态系统服务二级类型中: 废物处理、食物供给、生境/避难所等增加, 气候调节、遗传资源、水土保持功能等减少; (4) 缅甸土地利用变化对生态系统服务总价值和生态系统服务一级类型总价值影响较小, 但生态系统服务二级类型价值的“此消彼长”会影响缅甸生态安全和生物多样性, 在未来中缅“一带一路”建设中需要重点关注。

关键词: “一带一路”; 土地利用; 生态系统服务价值; Costanza 价值系数; 缅甸

Impact of land-use/land-cover change on ecosystem service values in Myanmar from 1995 to 2015

BAO Da^{1,3}, LI Jie², LIU Feng^{1,3}, HU Jinming^{1,3,*}

1 Institute of International Rivers and Eco-security, Yunnan University, Kunming 650500, China

2 School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

3 Yunnan Key Laboratory of International Rivers and Transboundary Eco-security, Kunming 650500, China

Abstract: The impact of land use/land cover change (LUCC) in Myanmar on its ecosystem services values (ESV) is extremely relevant to the sustainable development of the “Belt and Road” and the construction of the China-Myanmar Economic Corridor. Based on the GlobCover in 1995—2015 and Costanza's ESV coefficient table, this study analyzed the impact of LUCC on ESV in Myanmar. The results showed that: (1) in 1995—2015, the main LUCC types were forest land (71%) and cropland (26%). The areas of forest land and grassland decreased while the areas of other land types increased, with an obvious conversion observed between forest land and cropland. And the hotspot change of forest land, cropland and built land is remarkable. The hotspot area of land use change in Myanmar is mainly distributed in the plain area of the central and southern regions with high population concentration and urbanization degree, as well as the mountainous hilly area in the north, cropland expansion and urban construction are the main reasons for land use change in

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFC0505206); 中缅生态环境保护联合实验室 (C176240208); 云南省基础研究计划项目 (202001BB050073)

收稿日期: 2020-07-14; 网络出版日期: 2021-06-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hujm@ynu.edu.cn

Myanmar in 1995—2015. (2) The total ESV in Myanmar approximately ranged from 4600×10^8 to 4700×10^8 \$ with the largest contribution from the forest land, then the contribution of wetland and cropland is close, the proportion is approximately 21%. Meanwhile, for the values of first-category ESV, regulating, supporting, provisioning and cultural services comprised a proportion of 48%, 29%, 13% and 10%, respectively. (3) The total ESV has increased by 66.26×10^8 \$ (1.43%). Specifically, the values of regulating, provisioning, and supporting services increased, while that of culture decreased. As for the values of second-category ESV, waste treatment (54.87×10^8 \$), food production (13.49×10^8 \$) and habitat/refugia (5.12×10^8 \$) increased, conversely, climate regulation (-12.31×10^8 \$), genetic resources (-5.03×10^8 \$) and erosion control (-0.62×10^8 \$) decreased. (4) The impacts of LUCC on the total ESV and the total of first-category ESV were relatively slight in Myanmar, but the trade-off of second-category ESV might affect ecological security and biodiversity. Thus, we should pay attention to the trade-off of the services in the construction of the “Belt and Road”. With the construction of China-Myanmar Economic Corridor and China-Myanmar Railway, it is expected that LUCC in the future will have a greater impact on ESV than in the past, so it is important to balance and ensure that the regulating and supporting services critical to the maintenance of ecological security and biodiversity conservation in Myanmar.

Key Words: the Belt and Road; land use; ecosystem service values; Costanza's value coefficients; Myanmar

生态系统服务价值是人类直接或间接地从生态系统功能中获得的有形或无形的利益的客观体现,是区域生态文明与可持续发展的重要表征^[1-2]。研究表明,土地利用变化与生态系统服务有着密切的联系^[3-5],不合理的土地利用方式将会对生态系统服务造成影响^[6-7]。近年来,随着土地利用变化和生态系统服务受到越来越多的关注,评估土地利用变化对生态系统服务价值的影响成为研究热点^[8-13]。

缅甸是全球生物多样性热点区,具有极高的生物多样性保护价值^[14],然而,缅甸中部又是典型的半干旱区域^[15],生态环境敏感且脆弱。缅甸生态系统及其服务的变化与区域生态安全维持、经济社会可持续发展息息相关,不合理的土地利用/覆盖变化可能会带来潜在的生态环境风险。而缅甸是我国经陆路通向“21 世纪海上丝绸之路”的捷径和重要节点,以中缅“一带一路”建设、中缅经济走廊建设等带动的系列重大合作,其总体空间布局从缅甸东北、中部、通向西部和南部直至印度洋,横贯缅甸经济社会发展中心地带和生态系统脆弱敏感地带。随着中缅系列重大战略合作的推进,这一中心地带将呈现快速的经济社会发展,必然会加剧缅甸土地利用/覆盖变化,从而对缅甸生态系统及其服务功能、价值等产生影响^[16-18]。以中缅“一带一路”建设、中缅经济走廊建设等主导的系列重大合作,必须高度关注不合理的土地利用/覆盖变化对区域生态系统及其服务产生的潜在负面影响,避免因生态环境问题引发国际争议而阻碍中缅重大战略合作。作为前车之鉴的中缅重大合作项目密松水电站建设,就因可能存在的生态环境风险引发争议而被缅甸政府叫停,导致中资企业和中缅两国都蒙受巨大经济损失^[19]。

目前,缅甸土地利用变化和生态系统服务价值的研究相对较少,有关土地利用变化研究主要集中于部分区域(单个省邦)或者某一地类^[20-23];而生态系统服务价值评估则主要针对某一类生态系统^[24-25]。本研究将分析 1995 年、2015 年缅甸的土地利用/覆被及其变化,估算两个时期的生态系统服务价值及其变化,进而揭示这一时期的缅甸土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响,为中缅深入推进“一带一路”建设等系列重大战略合作提供重要支撑信息。

1 研究区概况

缅甸位于 $8^{\circ}49'N$ — $28^{\circ}32'N$ 和 $92^{\circ}10'E$ — $101^{\circ}10'E$ 之间(图 1),国土面积约 67×10^4 km²,以林地(约占国土面积的 71%)和耕地(约占国土面积的 26%)为主。缅甸地势总体上为北高南低、东西高中部低;北、东、西以山地、丘陵及高原为主;中部以河谷平原为主。境内发育有伊洛瓦底江、萨尔温江水系及大量的湖泊水体。缅甸以热带季风气候为主,北部部分区域为亚热带季风气候。缅甸森林覆盖率达 43%,动植物物种丰富,

是全球最重要的生物多样性热点地区之一^[14]。缅甸下辖共 7 个省、7 个邦和 1 个联邦区,是一个典型的农业国家,总人口约为 5300 万,农业人口占全国人口的 77%^[26]。

2 数据与研究方法

2.1 数据

1995 年和 2015 年缅甸土地利用数据来源于欧空局的全球土地利用数据集(<http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>),空间分辨率为 300 m,该数据土地利用类型有 37 类。基于 Costanza 生态系统服务价值系数表^[27]和缅甸的实际土地利用状况,本研究将 37 个土地利用类型合并为 8 类,分别为耕地、林地、湿地(不含河湖等水体)、草地、裸地、建设用地、水体和冰川。缅甸基础地理和行政单元矢量等数据源于缅甸信息管理部(<https://themimu.info>)。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移变化

(1) 面积转移矩阵可以深入揭示区域土地利用类型变化的结构特征和方向,阐明不同土地利用类型之间的转移^[28]。因此,本研究利用这个指标来分析 1995—2015 年缅甸某一土地利用类型转为其他土地利用类型的面积(转出)、由其他土地利用类型转为某一土地利用类型的面积(转入)。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, S 代表面积, n 代表土地利用类型数($n=8$), i, j 分别是研究初期(1995 年)和研究末期(2015 年)的土地利用类型。

(2) 土地利用变化热点图的制作^[29]。基于 Arcgis10.3 软件,使用 Reclass by table 工具提取 1995 年、2015 年各地类图,用 Raster calculator 工具计算 2015—1995 年各地类空间变化面积,用 Fishnet 工具生成研究区 30 km×30 km 矢量网格作为各地类热点变化的基本单元,再利用 Zonal statistics 工具计算各地类在每个网格单元的变化面积,从而获得研究区该时段内各地类变化热点图,进而突出并识别缅甸土地利用变化显著区。

2.2.2 生态系统服务价值评估

Costanza 于 2014 年修订的生态系统服务价值系数表被许多学者用于全球范围内不同尺度、类型的生态系统服务价值量评估,能反映生态服务的稀缺性,是研究区域生境保护、环境功能区划、生态补偿政策、生态经济核算等的重要依据,该方法得到了广泛认可^[30-31]。本研究借鉴 Costanza 于 2014 年修订的生态系统服务价值系数表^[27],从而获得缅甸生态系统服务价值系数表(表 1),用于计算缅甸 1995、2015 年的生态系统服务价值。

缅甸生态系统服务价值计算方法如下:

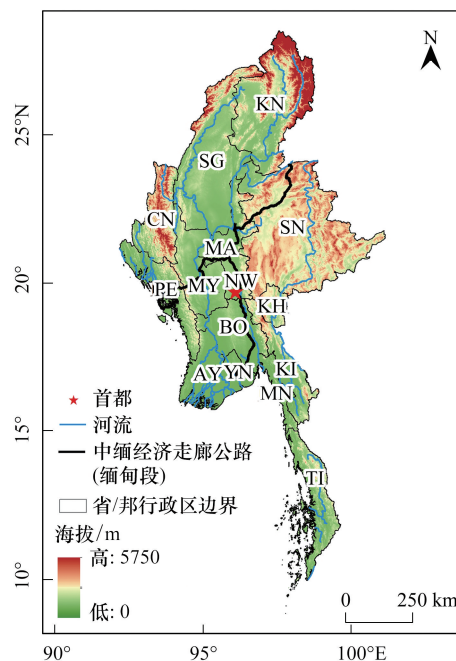


图 1 研究区示意图

Fig.1 The location, administrative units and topography of Myanmar

KN:克钦邦 Kachin State; SG:实皆省 Sagaing Region; CN:钦邦 Chin State; MA:曼德勒省 Mandalay Region; SN:掸邦 Shan State; RE:若开邦 Rakhine State; MY:马圭省 Magway Region; NW:内比都 Naypyitaw; KH:克耶邦 Kayah State; BO:勃固省 Bago Region; AY:伊洛瓦底省 Ayeyarwady Region; YN:仰光省 Yangon Region; KI:克伦邦 Kayin State; MN:孟邦 Mon State; TI:德林达依省 Tanintharyi Region

$$ESV_t = \sum_{k=1}^n (A_{kt} \times VC_k)$$

(2)

$$ESV_{cr} = \frac{ESV_{t2} - ESV_{t1}}{ESV_{t1}} \times 100\%$$

(3)

$$ESV_{ft} = \sum_{k=1}^n (A_{kt} \times VC_{fk})$$

(4)

式中, ESV_t 为缅甸 t 时期(1995 年、2015 年)生态系统服务总价值, A_{kt} 为缅甸 t 时期(1995、2015 年)第 k 类土地利用类型面积, VC_k 为第 k 类土地利用类型生态系统服务价值系数, n 为土地利用类型数($n=8$)。 ESV_{cr} 是缅甸生态系统服务价值变化率, ESV_{t1} 和 ESV_{t2} 分别是 $t1$ (1995 年)和 $t2$ (2015 年)缅甸生态系统服务总价值。 ESV_{ft} 为缅甸 t 时期(1995 年、2015 年)第 f 项二级生态系统服务价值($f=1, 2, 3, \dots, 17$), VC_{fk} 为缅甸第 k 类土地利用类型所对应的第 f 项二级生态系统服务的价值系数。

表 1 缅甸生态系统服务价值系数表/(\$ hm⁻² a⁻¹)

Table 1 The coefficient table of ESV in Myanmar									
一级类型 First category	二级类型 Second category	耕地 Cropland	林地 Forest land	湿地 Wetland	草地 Grassland	裸地 Bare land	建设用地 Built land	水体 Water land	冰川 Glacier
供给服务 Provisioning services	食物供给	2323	200	1111	1192	0	0	106	0
	原材料供给	219	84	358	54	0	0	0	0
调节服务 Regulating services	气体调节	0	12	0	9	0	0	0	0
	气候调节	411	2044	65	40	0	905	0	0
	干扰调节	0	66	5351	0	0	0	0	0
	水调节	0	8	0	3	0	16	7514	524
	水供应	400	27	1217	60	0	0	1808	471
	废物处理	397	120	162125	75	0	0	918	0
	水土保持	107	337	3929	44	0	0	0	0
支持服务 Supporting services	土壤形成	532	14	0	2	0	0	0	0
	营养循环	0	3	45	0	0	0	0	0
	授粉	22	30	0	35	0	0	0	0
	生物控制	33	11	0	31	0	0	0	0
	生境/避难所	0	39	17138	1214	0	0	0	0
	遗传资源	1042	1517	311	1214	0	0	0	0
	娱乐	82	867	2193	26	0	5740	2166	0
文化服务 Cultural services	文化	0	2	0	167	0	0	0	0
总计 Total		5568	5381	193843	4166	0	6661	12512	995

因为缅甸海岸线区域(若开邦、伊洛瓦底省、仰光省、孟邦、德林达依省)湿地以红树林为主,约占湿地总面积的 82%—84%,所以缅甸的湿地生态系统服务价值系数引用潮沼/红树林的系数;而冰川的生态系统服务价值系数则以 Costanza 水体的系数为基础,引用 Jiang 等人^[32]的冰川和水体生态系统服务系数的比例,进而得到缅甸冰川的生态系统服务价值系数。

3 结果分析与讨论

3.1 缅甸土地利用变化特征

3.1.1 土地利用转移态势

缅甸 1995、2015 年的两期土地利用类型空间分布和面积分别如图 2、表 2 所示。缅甸土地利用类型分布与地形地貌、河流水系等发育、人类社会经济活动空间等高度一致。林地是缅甸最主要的土地利用类型(约

占国土面积 70%—71%), 主要分布在北部、东部和西部山地、丘陵和高原区。其次是耕地(约占 26%), 耕地以及建设用地主要分布在中部及滨海平原。河湖水体约占国土面积的 1.3%, 主要分布在中部平原和中东部高原。湿地主要分布在滨海平原。

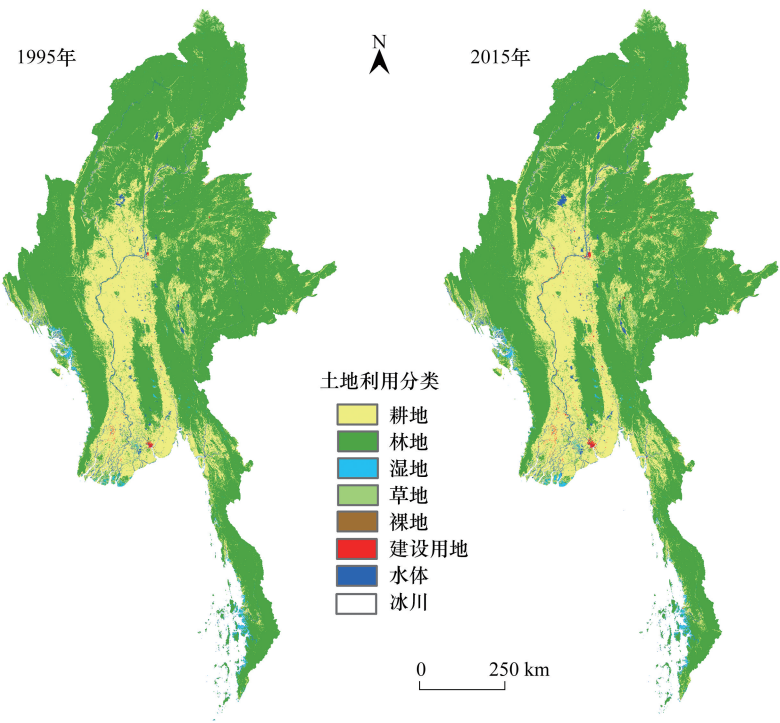


图 2 1995 年和 2015 年缅甸的土地利用/覆被变化图

Fig.2 The LUCC (land use/land cover change) pattern of Myanmar in 1995 and 2015

表 2 1995—2015 年缅甸土地利用/覆被变化转移矩阵/km²

		2015								总计 Total (1995)	转出 (1995)
		林地	耕地	建设用地	水体	湿地	草地	裸地	冰川		
1995	林地	469165.9	8176.07	89.08	105.40	455.52	153.44	2.51		478147.61	8982.02
	耕地	1103.11	170453.12	664.89	319.87	138.44	63.72	1.21		172744.36	2291.24
	建设用地	0.59	13.20	510.90	0.94					525.64	14.74
	水体	29.50	82.92	13.74	8534.55	26.84	23.32	0.08		8710.95	176.40
	湿地	143.03	73.94	0.62	21.37	4599.32	72.72			4910.99	311.67
	草地	63.08	312.56	2.59	60.80	17.55	5839.03	0.27		6295.87	456.84
	裸地							8.06		8.06	
	冰川								26.64	26.64	
总计 Total(2015)		470504.90	179111.81	1281.81	9042.93	5237.68	6152.23	12.12	26.64	671370.12	
变化 Area change (2015—1995)		-7642.71	6367.45	756.17	331.98	326.69	-143.64	4.06	0		
转入(2015)		1339.31	8658.69	770.91	508.38	638.36	313.20	4.06			

转出是指由 1995 年的某一土地利用类型转为 2015 年的其他土地利用类型的总面积,转入是指由 1995 年的其他土地利用类型转为 2015 年的某一土地利用类型的总面积

从两个时期各类土地利用类型总面积及空间分布来看,该时段缅甸土地利用未发生大的变化,总转移面积仅占缅甸国土面积 1.82%。不同土地利用类型(除冰川)间发生一定程度的转出和转入变化(表 2)。总体来看,林地、草地面积下降,而耕地、建设用地、湿地、水体、草地、裸地面积增加。其中,林地转出面积最大、转

入面积其次、减少面积最大 (-7642.71 km^2); 耕地转入面积最大、转出面积其次、增加面积最大 (6367.45 km^2); 建设用地面积增加 756.17 km^2 , 增幅最大 (143.86%)。

这一时期缅甸土地利用转移主要表现为自然景观向人工景观的转变, 其次是自然或人工景观内部转移, 以及人工景观向自然景观的逆转移。林地和草地面积下降, 转出林地面积的 91% 和转出草地面积的 68% 转为耕地。耕地增加面积最大, 转入的耕地主要源于林地 (94.43%), 以及草地 (3.61%)、水体、湿地等; 但转出耕地面积的 48.14% 、 29.02% 、 13.96% 、 6.04% 、 2.78% 分别转为林地、建设用地、水体、湿地、草地。转入的建设用地主要源于耕地 (86.25%), 以及林地 (11.56%)、水体 (1.78%) 等。

3.1.2 土地利用变化热点

图 3 显示了这一时期缅甸有变化的 7 个地类的土地利用变化强度空间分布特征。其中: 全国大部分省/邦林地面积都呈现下降, 其中部分省/邦 (如 KN、SG、SN、MN、TI) 为下降的热点区域, 少数省/邦 (如 NW、MY) 有一定增加。在中部和南部部分省/邦 (如 MA、MY、YN、KI) 草地面积有一定下降, 而在北部、西部、东部等山地、丘陵、高原区有小幅增加。大多数省/邦耕地面积都表现为增加趋势, 部分省/邦 (如 SG、KN、SN、MN、KI、TI) 增幅较大, 与林地下降的热点区域对应; 也有省/邦 (如 MA、MY、NW、AY 和 YN) 呈大幅减少, 与建设用地

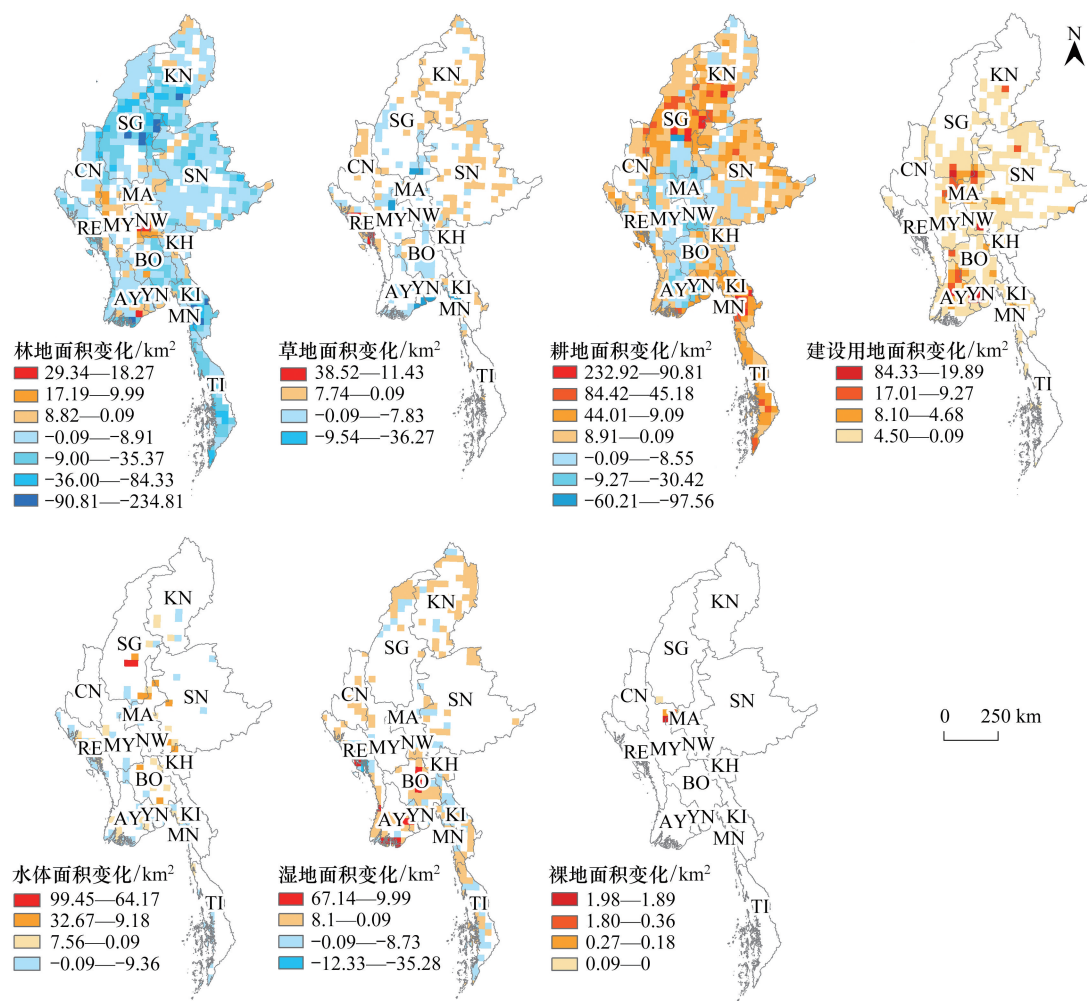


图 3 缅甸各地类土地利用/覆被变化热点图

Fig.3 The LUCC hotspots of various land types in Myanmar

KN: 克钦邦 Kachin State; SG: 实皆省 Sagaing Region; CN: 钦邦 Chin State; MA: 曼德勒省 Mandalay Region; SN: 掸邦 Shan State; RE: 若开邦 Rakhine State; MY: 马圭省 Magway Region; NW: 内比都 Naypyitaw; KH: 克耶邦 Kayah State; BO: 勃固省 Bago Region; AY: 伊洛瓦底省 Ayeyarwady Region; YN: 仰光省 Yangon Region; KI: 克伦邦 Kayin State; MN: 孟邦 Mon State; TI: 德林达依省 Tanintharyi Region

增加的热点区域对应。中部和南部平原、东部高原等省/邦的建设用地表现出增加趋势,而曼德勒市、内比都市和仰光市等大城市增幅大。水体增加的热点区域在北部山地丘陵区域(SG),水体减少的热点区域以中部和南部平原为主,但减幅不大。湿地增加的热点区域主要在伊洛瓦底江入海口区域(AY)和南部(BO、YN),其他山地、丘陵等局部区域小幅增加;减少的热点区域在西部若开邦,但在南部(KI、TI)表现出湿地的小幅下降。从土地利用变化绝对面积最大的林地、耕地和建设用地(表2)来看,这一时期缅甸土地利用变化的热点区域主要分布在人口集中、城市化程度高的中部、南部的平原区,以及北部山地丘陵区。耕地扩张和城市建设是缅甸土地利用变化的主要原因。

3.2 缅甸生态系统服务价值变化

3.2.1 缅甸生态系统服务价值构成

由表3可知,缅甸1995年、2015年生态系统服务价值(约4600—4700亿美元)构成中,以林地、湿地、耕地和水体的贡献为主,合计约贡献总服务价值的99.3%。林地占国土面积约70%—71%,其生态系统服务价值约占54%—56%。湿地面积虽小,占国土面积不到0.8%,且不到林地和耕地面积的1.2%、3.0%,但其贡献的生态系统服务价值约占缅甸生态系统服务价值的21%左右,与耕地的贡献度接近。从生态系统服务一级类型来看(表4),调节服务价值约占48%、支持服务价值约占29%,显著高于供给服务(约占13%)和文化服务(约占10%)价值。从生态系统服务二级类型来看(表4),气候调节、废物处理、遗传资源、食物供给、娱乐、水土保持的生态系统服务价值高。

表3 1995—2015年缅甸各类土地利用类型的生态系统服务价值及变化/亿美元

Table 3 ESV of various land types and the change from 1995 to 2015

年份 Year	占服 务值	耕地 Cropland	林地 Forest land	湿地 Wetland	草地 Grassland	裸地 Bare land	建设用地 Built land	水体 Water land	冰川 Glacier	总计 Total
1995		961.84	2572.91	951.96	26.23	0.00	3.50	108.99	0.03	4625.46
1995	%	20.79	55.63	20.58	0.57	0.00	0.08	2.36	0.00	100.00
2015		997.29	2531.79	1015.29	25.63	0.00	8.54	113.15	0.03	4691.72
2015	%	21.26	53.96	21.64	0.55	0.00	0.18	2.41	0.00	100.00
2015—1995		35.45	-41.13	63.33	-0.60	0.00	5.04	4.15	0.00	66.26
2015—1995	%	3.69	-1.60	6.65	-2.28	0.00	143.86	3.81	0.00	1.43

3.2.2 缅甸生态系统服务价值的变化

1995—2015年,缅甸生态系统服务总价值增加66.26亿美元,其中,价值增量贡献来自湿地(约95.58%),其次是耕地(53.50%)、建设用地(7.61%)、水体(6.26%);价值减量贡献来自于林地(-62.07%)、草地(-0.91%)。从生态系统服务一级类型来看(表4),调节服务价值增加量最高,约贡献总价值增量的74.69%;其次是供给服务(21.66%)和支持服务(4.19%)的价值增量贡献,而文化服务则贡献了价值减量。从生态系统服务二级类型来看(表4),废物处理、食物供给、生境/避难所、水供应、土壤形成、水调节等服务价值增加,而气候调节、遗传资源、水土保持、娱乐等服务价值下降。

3.3 讨论

3.3.1 可持续发展需权衡人工与自然景观生态系统服务价值

缅甸1995—2015年间土地利用的细微变化,未在宏观层面导致生态系统服务价值量的大幅波动(微小增幅),但仍使各生态系统服务之间出现此消彼长的价值流转。主要体现为:湿地面积小幅增加而升高的调节与支持服务价值,掩盖了因林地、草地面积减少而导致的调节与支持服务价值的降低。但湿地、林地、草地等自然景观单元所具备的生态功能各有不同,如果仅从价值量上判断其整体生态系统服务的优劣和变化趋势,可能会忽略因林地、草地面积减少所带来的相应生态功能降低的风险^[33-34]。如果林地、草地面积持续减少,则可能导致缅甸整体生态系统服务大的变化,特别是一、二级生态系统服务之间的失衡,从而对缅甸生态安全

维持、生物多样性保护造成一定的影响^[35-37]。同时,在区域社会经济发展进程中,往往会出现随着人口、产业聚集和城市化进程而导致自然景观向人工景观转变,如城市周边的林地、草地向耕地、建设用地转变等^[38]。从空间规划的角度来看,各地类的面积、以及空间格局的协调配置,应着重考虑各地类的生态系统服务的权衡^[39-40]。

表 4 1995—2015 年缅甸单项生态系统服务价值变化/亿美元

Table 4 The ESV change from 1995 to 2015

一级类型 First category	二级类型 Second category	1995	1995/%	2015	2015/%	2015—1995	2015—1995/%
供给服务 Provisioning services	食物供给	510.80	11.04	524.29	11.17	13.49	2.64
	原材料供给	80.09	1.73	80.96	1.73	0.87	1.09
	小计	590.89	12.77	605.24	12.90	14.35	2.43
调节服务 Regulating services	气体调节	5.79	0.13	5.70	0.12	-0.09	-1.55
	气候调节	1049.38	22.69	1037.07	22.10	-12.31	-1.17
	干扰调节	57.84	1.25	59.08	1.26	1.24	2.14
	水调节	69.32	1.50	71.76	1.53	2.44	3.52
	水供应	104.11	2.25	107.44	2.29	3.33	3.20
	废物处理	930.62	20.12	985.49	21.00	54.87	5.90
	小计	2217.06	47.93	2266.55	48.31	49.49	2.23
支持服务 Supporting services	水土保持	199.19	4.31	198.57	4.23	-0.62	-0.31
	土壤形成	98.61	2.13	101.89	2.17	3.28	3.33
	营养循环	1.66	0.04	1.65	0.04	-0.01	-0.60
	授粉	18.37	0.40	18.27	0.39	-0.10	-0.54
	生物控制	11.16	0.24	11.28	0.24	0.12	1.08
	生境/避难所	110.46	2.39	115.58	2.46	5.12	4.64
	遗传资源	914.52	19.77	909.49	19.39	-5.03	-0.55
	小计	1353.95	29.27	1356.73	28.92	2.78	0.21
文化服务 Cultural services	娱乐	461.54	9.98	461.21	9.83	-0.33	-0.07
	文化	2.01	0.04	1.97	0.04	-0.04	-1.99
	小计	463.55	10.02	463.17	9.87	-0.37	-0.08

缅甸既是全球生物多样性热点区域^[14],也是有害生物入侵较为严重的区域^[41]。而且,其中部、南部平原和北部高原人口密集、农业发展快、城市化进程快(图 3)、生态环境相对脆弱。生态系统调节和支持服务功能对保障缅甸生态安全和生物多样性保护具有至关重要的意义。随着中缅“一带一路”、中缅经济走廊、中缅铁路等推进,预期未来的土地利用变化对缅甸生态系统服务的影响必然比过去更大。在未来提升供给和文化服务(如耕地、建设用地、湿地拓展)同时,权衡并确保对缅甸生态安全维持和生物多样性保护至关重要的调节和支持服务功能不下降,就显得尤为关键。这也是我国与缅甸及其他“一带一路”沿线国家合作推进重大基础设施建设进程中备受国际社会关注的重点。

3.3.2 Costanza 价值系数在国家/地区尺度中应用的优劣

Costanza 价值系数被广泛应用于国家/地区尺度土地利用变化对生态系统服务价值影响的评估研究^[29,31,42],能为研究者提供全面有效的数据,以实现区域生态系统服务价值评估。其优点在于数据需求少、评估全面、方法相对简单、易操作,不需要复杂的模型计算和问卷调查,可以作为国家/区域尺度上生态系统服务价值评估的快速核算工具;还可以根据土地利用类型的变化评估生态系统服务价值的动态变化,分析其变化趋势。但 Costanza 价值系数是基于全球生态系统基本情况调查估算结果^[43],应用于国家/地区尺度时较易忽略了地区差异性,从而造成对某些生态系统服务价值估计误差,影响评价精度;而且在使用上述方法评估土地利用变化对生态系统服务价值的影响时,其价值量的变化不一定来自于土地利用类型的变化,而有可能因

为生态系统本身生物量的增减或者是货币汇率等原因,因此 Costanza 价值系数法对于精确评价国家/地区尺度生态系统服务价值存在一定的误差^[42]。

目前,对于国家/地区尺度生态系统服务价值评估常用的模型有 InVEST、ARIES、SolVES 等,其中 InVEST 模型适用范围很广,在国内外研究中得到了广泛的应用^[44-46]。InVEST 模型多应用于评估单个生态系统服务,对气温、降水、土壤以及其他社会经济数据的质量要求较高^[47]。但是对于缅甸而言,其基础研究与监测较为薄弱,无法支撑对于数据质量要求较高的模型运算,因此,在现阶段,基于 Costanza 价值系数的价值评估仍然是缅甸等发展中国家快速开展生态系统服务价值评估的主要方法。

本研究针对 1995—2015 年缅甸土地利用变化对生态系统服务价值的影响,能够了解其 20 年间整体生态系统服务价值的波动变化,以及各类生态系统对土地利用变化的响应,进而为“绿色丝路”的协调发展奠定基础。

4 结论

(1) 缅甸主要土地利用类型是林地和耕地,两者分别约占缅甸国土面积的 71%、26%;研究期内土地利用变化较小,其中林地和草地面积减少,耕地、建设用地、水体、湿地和裸地等土地利用类型的面积增加,林地和耕地之间的转化最显著。

(2) 2015 年缅甸生态系统服务总价值约 4691.72 亿美元,研究期内缅甸生态系统服务价值增加 66.26 亿美元(增幅 1.43%)。其中林地的生态系统服务价值约占 53.96%,湿地和耕地的生态系统服务价值接近,约占总量的 21%;生态系统服务一级类型中,调节、支持、供给和文化服务分别约占总价值的 48%、29%、13%、10%。研究期内一级类型中,调节、供给和支持服务价值增加,文化服务减少;二级类型中,废物处理、食物供给、生境/避难所等服务价值增加,而气候调节、遗传资源、水土保持等服务价值下降。

(3) 研究期内缅甸土地利用变化对生态系统服务总价值和一级类型生态系统服务价值的影响较小,缅甸生态系统服务和总价值保持稳定,但二级类型生态系统服务价值的“此消彼长”会对缅甸生态安全维持和生物多样性保护带来一定的压力。如何权衡人工与自然景观生态系统服务价值将成为中缅“绿色丝路”建设中不可忽视的问题。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] 王晓峰, 吕一河, 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. *自然杂志*, 2012, 34(5): 273-275, 298.
- [3] 王永琪, 马姜明. 基于县域尺度珠江-西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究. *生态学报*, 2020, 40(21): 7826-7839.
- [4] 张宇硕, 吴殿廷, 吕晓. 土地利用/覆盖变化对生态系统服务的影响: 空间尺度视角的研究综述. *自然资源学报*, 2020, 35(5): 1172-1189.
- [5] 雷金睿, 陈宗铸, 陈小花, 李苑菱, 吴庭天. 1980—2018 年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空变化. *生态学报*, 2020, 40(14): 4760-4773.
- [6] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [7] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. *生态学报*, 2013, 33(3): 726-736.
- [8] Costanza R, Daly H E. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, 1992, 6(1): 37-46.
- [9] Daly H E. Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, 1990, 2(1): 1-6.
- [10] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展. *世界科技研究与发展*, 2000, 22(5): 45-50.
- [11] Wang Y H, Dai E F, Yin L, Ma L. Land use/land cover change and the effects on ecosystem services in the Hengduan Mountain region, China. *Ecosystem Services*, 2018, 34: 55-67.
- [12] 赵文武, 刘月, 冯强, 王亚萍, 杨思琪. 人地系统耦合框架下的生态系统服务. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 139-151.
- [13] Woldeyohannes A, Cotter M, Biru W D, Kelboro G. Assessing changes in ecosystem service values over 1985-2050 in response to land use and land cover dynamics in Abaya-Chamo basin, Southern Ethiopia. *Land*, 2020, 9(2): 1-22.
- [14] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, da Fonseca G A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403

- (6772): 853-858.
- [15] 李红岩, 崔伟宏. 缅甸中部干旱地区土壤侵蚀的分析. 遥感学报, 2000, 4(3): 233-238.
- [16] 邹春萌. 中缅经济走廊建设的机遇与挑战. 世界知识, 2018, (2): 20-21.
- [17] 李晨阳. 2010 年大选之后的中缅关系: 挑战与前景. 和平与发展, 2012, (2): 29-37.
- [18] 周峻松, 李石华. 2012—2015 年中缅油气管道重要节点土地利用/覆被时空变化分析. 测绘通报, 2018, (3): 113-116.
- [19] 李晨阳. 缅甸政府为何搁置密松水电站建设. 世界知识, 2011, (21): 24-26.
- [20] Renner S C, Rappole J H, Leimgruber P, Kelly D S, Shwe N M, Aung T, Aung M. Land cover in the Northern Forest Complex of Myanmar: new insights for conservation. *Oryx*, 2007, 41(1): 27-37.
- [21] Songer M, Aung M, Senior B, DeFries R, Leimgruber P. Spatial and temporal deforestation dynamics in protected and unprotected dry forests: a case study from Myanmar (Burma). *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(4): 1001-1018.
- [22] Shimizu K, Ahmed O S, Ponce-Hernandez R, Ota T, Win Z C, Mizoue N, Yoshida S. Attribution of disturbance agents to forest change using a Landsat time series in tropical seasonal forests in the Bago Mountains, Myanmar. *Forests*, 2017, 8(6): 218.
- [23] Zhang Y C, Prescott G W, Tay R E, Dickens B L, Webb E L, Htun S, Tizard R J, Rao M, Carrasco L R. Dramatic cropland expansion in Myanmar following political reforms threatens biodiversity. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 16558.
- [24] Karki S, Thandar A M, Uddin K, Tun S, Aye W M, Aryal K, Kandel P, Chettri N. Impact of land use land cover change on ecosystem services: a comparative analysis on observed data and people's perception in Inle Lake, Myanmar. *Environmental Systems Research*, 2018, 7: 25.
- [25] Estoque R C, Myint S W, Wang C Y, Ishtiaque A, Aung T T, Emerton L, Ooba M, Hijioka Y, Mon M S, Wang Z, Fan C. Assessing environmental impacts and change in Myanmar's mangrove ecosystem service value due to deforestation (2000-2014). *Global Change Biology*, 2018, 24(11): 5391-5410.
- [26] Central Statistical Organization. Myanmar Statistical Yearbook 2017. Myanmar, 2017.
- [27] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [28] 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 王亚华. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例. 地理研究, 2013, 32(8): 1497-1507.
- [29] Arowolo A O, Deng X Z, Olatunji O A, Obayelu A E. Assessing changes in the value of ecosystem services in response to land-use/land-cover dynamics in Nigeria. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 597-609.
- [30] Sannigrahi S, Bhatt S, Rahmat S, Paul S K, Sen S. Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995-2015. *Journal of Environmental Management*, 2018, 223: 115-131.
- [31] 毕晓丽, 葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估. 山地学报, 2004, 22(1): 48-53.
- [32] Jiang W, Lü Y H, Liu Y X, Gao W W. Ecosystem service value of the Qinghai-Tibet Plateau significantly increased during 25 years. *Ecosystem Services*, 2020, 44: 101146.
- [33] Song W, Deng X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 705-719.
- [34] Wang X C, Dong X B, Liu H M, Wei H J, Fan W G, Lu N C, Xu Z H, Ren J X, Xing K X. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: a case study of the Manas River Basin of Xinjiang, China. *Ecosystem Services*, 2017, 27: 113-123.
- [35] 殷格兰, 邵景安, 郭跃, 党永峰. 林地资源变化对森林生态系统服务功能的影响——以南水北调核心水源区淅川县为例. 生态学报, 2017, 37(20): 6973-6985.
- [36] 卢慧婷, 黄琼中, 朱捷缘, 郑天晨, 严岩, 吴钢. 拉萨河流域生态系统类型和质量变化及其对生态系统服务的影响. 生态学报, 2018, 38(24): 8911-8918.
- [37] Feurer M, Heinimann A, Schneider F, Jurt C, Myint W, Zaehring J G. Local perspectives on ecosystem service trade-offs in a forest frontier landscape in Myanmar. *Land*, 2019, 8(3): 45.
- [38] 林美霞, 吝涛, 邱全毅, 孙彩歌, 邓富亮, 张国钦. 不同类型城市快速扩张区域人工景观对自然景观的生态安全胁迫效应比较. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1326-1336.
- [39] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 朱文博, 马程, 王珏. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390.
- [40] Lin S W, Wu R D, Yang F L, Wang J J, Wu W. Spatial trade-offs and synergies among ecosystem services within a global biodiversity hotspot. *Ecological Indicators*, 2018, 84: 371-381.
- [41] Naw May Lay Thant. 缅甸野生动物的绝地重生. 人与生物圈, 2019, (3): 64-68.
- [42] 魏同洋. 生态系统服务价值评估技术比较研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [43] 赵小汎. 土地利用生态服务价值指标体系评估结果比较研究. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 98-105.
- [44] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [45] Leh M D K, Matlock M D, Cummings E C, Nalley L L. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 165: 6-18.
- [46] 刘宥延, 刘兴元, 张博, 李妙莹. 基于 InVEST 模型的黄土高原丘陵区水源涵养功能空间特征分析. 生态学报, 2020, 40(17): 6161-6170.
- [47] 唐尧, 祝炜平, 张慧, 宋瑜. InVEST 模型原理及其应用研究进展. 生态科学, 2015, 34(3): 204-208.