

基于土地利用变化的洱海流域生态系统 服务价值评估与变化分析

刘浩 孙丽慧 吕文魁 舒昶 张惠远¹

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

【摘要】: 基于土地利用数据, 分析了 2010—2015 年洱海流域土地利用演变特征、生态系统服务价值变化特征以及人类活动对生态系统格局及服务价值变化的影响。结果表明: (1) 洱海流域土地利用类型主要由生态用地向非生态用地转移, 其中城镇扩张明显, 而生态用地面积有所减少。(2) 洱海流域主要生态系统服务类型为调节服务, 生态系统服务总价值由 2010 年的 656.03 亿元增加至 2015 年的 709.40 亿元, 增长率为 8.14%。(3) 洱海流域生态系统格局及服务价值变化主要驱动因素为生态建设工程、城镇扩张和农业开发等人类活动, 其中对生态系统及其价值变化的正向影响(54.01%) 大于负面影响(45.99%)。

【关键词】: 洱海流域 生态系统服务价值 土地利用 驱动力

【中图分类号】: X196; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)01-147-06

生态系统服务价值(ecological service values, ESV)主要指人类直接或间接地通过生态系统的结构、过程和功能获得的产品和服务^[1], 开展生态系统服务价值评价研究有利于正确认识生态系统特征, 对制定合理的区域开发策略、生态保护政策, 实现区域可持续发展具有重要意义。自 20 世纪 90 年代起国内外学者针对生态系统服务价值评估开展了大量研究^[2,3,4], 当前生态系统服务价值评估方法大致可分为两类, 分别为基于单位面积价值当量因子的评价方法(当量因子法)^[2,4]和基于单位服务功能价格的评估方法(功能价值法)^[5,6]。其中, 功能价值法主要基于生态系统服务功能量的多少和功能量的单位价格得到总价值, 该方法可以建立单一服务功能与局部生态环境变量之间的生产过程, 常被用于模拟小区域的生态系统服务功能^[7]。土地利用变化是生态系统服务变化的主要驱动因素, 尤其是在当前城市化快速发展的背景下, 土地利用格局及利用方式的转变会对生态系统服务产生直接影响, 为明晰各类生态系统服务间的关联特征, 对生态系统服务进行综合把握, 实现区域生态系统服务价值最大化, 统筹推进区域生态保护与经济可持续发展, 开展生态系统服务价值评估及驱动力分析研究尤为必要。

洱海流域位于澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带, 地处青藏高原与云贵高原接合部, 是我国生态安全屏障中黄土高原—川滇生态屏障的重要组成部分, 肩负着西部高原、长江流域生态安全屏障的建设任务^[8]。而洱海流域同时属于生态环境敏感脆弱地区, 近年来洱海富营养化、水质恶化等环境问题突出, 湖滨带内生态系统破坏极其严重^[9], 因此, 对洱海流域开展生态系统服务价值评估及其驱动力分析研究尤为迫切和必要。张馨方^[10]等采用当量因子法对洱海生态系统服务价值进行了评估, 但相关研究表明基于当量因子法的生态系统服务价值核算结果高于平均值, 基于功能价值法的生态系统服务价值核算结果更为准确^[11]。由于评估方法和评估模型的复杂性, 目前尚未有学者利用功能价值法对洱海流域生态系统服务价值变化开展相关评价研究。

作者简介: 刘浩, 硕士, 助理研究员, 研究方向为土地覆被变化。E-mail:liu.hao@craes.org.cn;孙丽慧, 硕士, 工程师, 研究方向为资源环境遥感。E-mail:sunlh@craes.org.cn

基金项目: 国家自然科学基金“典型生态脆弱区景观多功能权衡及生态风险调控机理研究”(41871196)

为深入认识洱海流域生态系统服务价值及其变化规律,本文利用土地利用数据分析洱海流域生态系统变化,并结合构建生态系统服务价值核算框架,采用功能价值法对区域生态系统服务进行价值化核算,最后结合生态系统变化特征及产业结构特征等因素对生态系统服务价值变化的驱动因素进行分析,以期揭示人类活动对生态系统服务价值的影响效应,进而为土地利用结构调整、流域生态系统保护规划与科学管理提供决策参考,为生态系统服务价值提升、生态产品价值实现提供数据基础与理论依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

洱海位于云南省大理白族自治州内(100° 05' E~100° 17' E、25° 36' N~25° 58' N),是云南省第二大高原淡水湖泊,洱海流域面积 2565km²,具有饮用水源、旅游景观、水利灌溉、生态及渔业等多种功能,是大理苍山洱海国家级自然保护区和风景名胜区的组成部分,有“高原明珠”之称,在《全国生态功能区划(2015 年修编)》中被划分为生物多样性保护与水源涵养重要区^[12]。为便于数据收集与处理,本文选取洱海流域所在的大理市和洱源县为研究区(图 1),研究区总面积约为 4274.18km²,研究区属于少数民族聚集地,以白族为主,常住人口为 94.2 万人,地区生产总值为 388.06 亿元。

1.2 数据来源

生态系统变化研究所使用的数据为 2010 年与 2015 年全国土地利用现状遥感监测数据(<https://www.resdc.cn/>),空间分辨率为 30 米,该数据集基于 Landsat8 遥感影像通过人工目视解译生成,一级生态系统类型综合评价精度达到 94.3%以上^[13,14]。由于该数据二级分类系统数据过于庞杂,考虑到区域尺度上生态系统类型较为单一,因此,本文按照 LUCC(land use cover change)分类体系将其重分类为林地、草地、耕地、水域、建设用地和裸地共六大类。

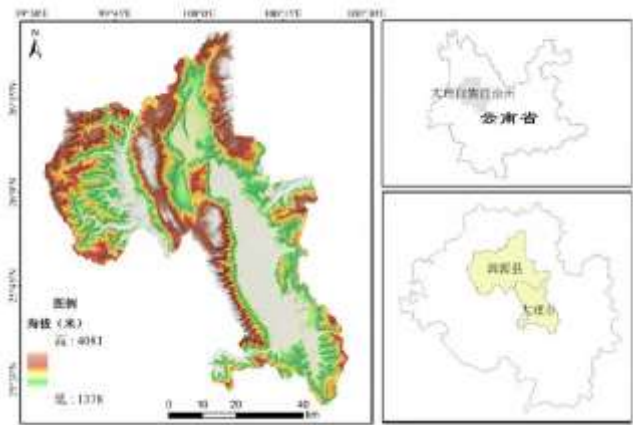


图 1 洱海流域地理区位及地形图

生态系统服务价值评估的数据来源包括野外调查数据、历史监测和统计数据、生态系统过程和生态位模型模拟结果三类。其中,野外调查数据包括土壤调查数据、生物量监测数据等。多年监测数据包括森林资源调查、湿地资源调查、野生动植物调查数据、历史气候数据、水文监测数据、遥感监测数据、通量网监测数据等历史数据。模型输出数据包括土壤水含量、珍稀野生动物种群密度分布等。

2 土地利用变化分析

2.1 土地利用分析

2.1.1 土地转移矩阵

通过土地利用转移矩阵研究土地利用转移方向及特征。土地利用转移矩阵不仅能够揭示区域某一时时间点的土地利用结构，同时还可以定量描述研究初期和末期各土地利用类型相互转化的动态过程，能够很好地刻画各类用地变化方向^[15]，其表达式为：

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$
$$i, j = 1, 2, 3, \cdots, n$$

式中：S 表示面积； S_{ij} 表示转移前 i 地类转移成 j 地类的面积；n 为转移前后土地利用类型种类；i 和 j 分别表示转移前和转移后的土地利用类型。

2.1.2 土地利用变化动态度

土地利用变化主要指土地利用的类型和面积变化，单一土地利用动态度可以用来表示在一定时间范围内某种土地利用类型的变化速度^[16]，其表达式为：

$$K = \left(\frac{U_b - U_a}{U_a} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中：K 为某一土地利用类型的年变化率； U_a 、 U_b 分别为某土地利用类型在研究初期及末期的面积；T 为研究期时段长度，此处为 5。

2.2 土地利用变化特征

2.2.1 土地利用空间分布特征

洱海流域土地利用主要以林地为主，如图 2 所示。2015 年洱海流域林地面积约为 2386.55km²，约占流域总面积的 55.84%，广泛分布于区域内山地地区。其次为耕地，面积约为 817.92km²，约占流域总面积的 19.14%，主要分布于洱海沿岸及上游的平原地区。草地面积与耕地面积约为 804.78km²，约占区域总面积的 14.15%，集中分布于洱海西侧以及西北部地区山地与平原交界处的平原地区。水域和建设用地面积相对较少，分别占流域总面积的 6.44% 和 4.37%，其中，水域主要为分布于研究区南部的洱海以及位于洱源县境内的茈碧湖。裸地面积最少，占比不到 1%。

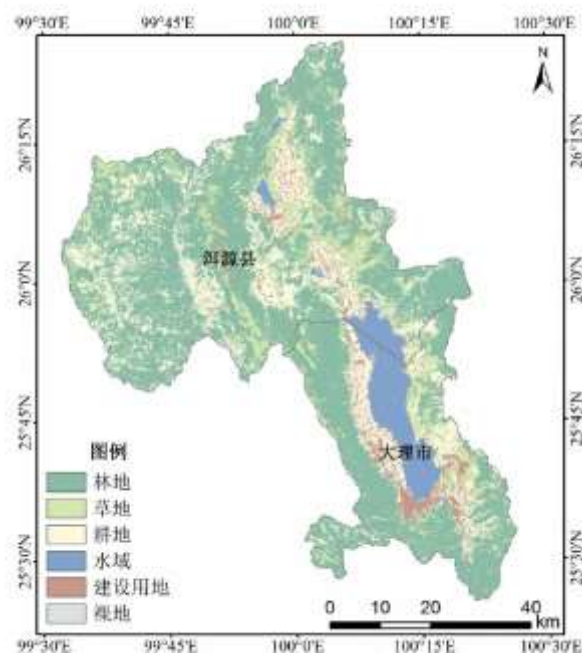


图 2 洱海流域 2015 年土地利用图

2.2.2 土地利用格局变化特征

2010—2015 年洱海流域土地利用转移矩阵如表 1 所示。从土地利用类型转入转出方向来看，减少的草地主要转为了耕地、建设用地和林地，其中转入林地的面积最大，为 62.36km²，约占草地总转出面积的 57.40%。减少的耕地主要转为草地、耕地和林地，同样转入林地的面积最大，为 44.88km²，约占草地总转出面积的 44.60%。减少的建设用地主要转为了耕地，面积为 14.52km²。减少的林地主要转为了草地和耕地，其中，林地面积为 61.29km²，耕地面积为 46.74km²。

表 1 洱海流域 2010—2015 年土地利用变化转移矩阵

2015 年	2010 年							年变化率
	草地/km ²	耕地/km ²	建设用地/km ²	林地/km ²	裸地/km ²	水域/km ²	总计/km ²	
草地	510.92	28.81	2.67	61.29	0.04	1.05	604.78	-0.51%
耕地	28.04	726.71	14.52	46.74	0.30	1.61	817.92	-0.29%
建设用地	18.25	26.93	127.26	12.99	0.08	1.25	186.75	5.21%
林地	62.36	44.88	2.87	2275.40	0.12	0.91	2386.55	-0.45%
裸地	0.00	0.16	0.05	0.08	2.29	0.38	2.96	-0.26%
水域	0.94	2.40	0.80	0.80	0.16	270.12	275.22	-0.01%
总计	620.52	829.89	148.16	2397.29	3.00	275.33	4274.18	—

由于研究区内水域面积与裸地面积相较其他土地利用类型面积占比过小，因此水域和裸地与其他土地利用类型间的转换并不明显，整体来看，2010—2015 年洱海流域土地利用类型变化主要为生态用地(林地、耕地、草地)^[17]向非生态用地(建设用地)转移(图 3)。其中，草地面积共减少 15.74km²，耕地面积共减少 11.97km²，林地面积共减少 10.74km²。而建设用地增加明显，5 年间流域内建设用地面积共增加了 38.59km²，增长幅度为 26.05%，增加区域沿洱海沿岸呈明显的带状分布，尤其是在洱海东南部地区沿岸建设用地扩张尤为明显。

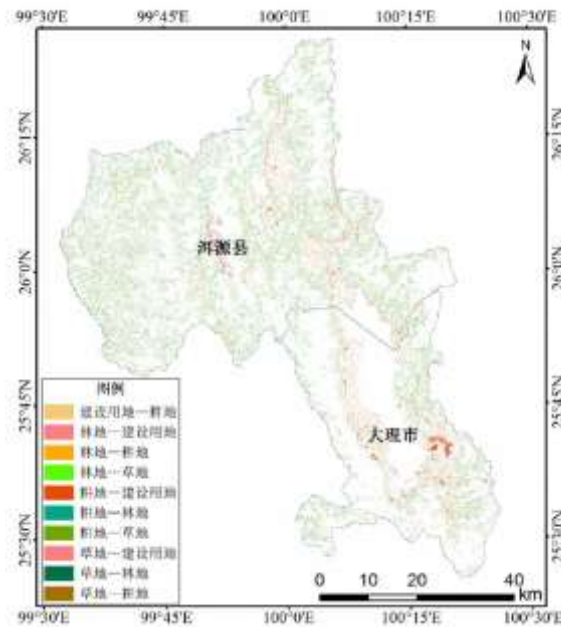


图 3 洱海流域 2010—2015 年土地利用变化图

3 生态系统服务价值评估及变化分析

3.1 生态系统服务价值评估

生态产品及其价值具有多样性，为便于对生态产品价值进行评估，需要对生态产品价值类型进行划分。生态产品来源于生态系统服务分类方式，因此，本文借鉴利用生态系统服务分类方式，基于联合国评估计划(MA)将生态系统服务及其对应的生态产品分为四类(图 4)，即供给服务、调节服务、支持服务、文化服务^[18]。相较于狭义的生态系统服务^[19,20]，本文采用广义的生态系统服务概念并选取国内外在生态系统服务评估使用频度较高的实用性指标，在此基础上综合考虑洱海流域生态系统、社会和经济特点，并充分考虑数据获取的可行性，按照生态系统供给服务、调节服务、支持服务和文化服务等功能，研究构建了适用于洱海流域的生态系统服务价值评估指标体系，在此基础上形成包含供给服务、调节服务、支持服务和文化服务等属性在内的生态产品物质量和生态产品价值量的多维支柱评价框架体系。其中根据不同生态产品价值评估模型核算区域生态产品物质量(包括资源量和功能量)，根据物质量核算结果，结合研究区相关社会经济统计数据根据价值量参数和各种价值化方法，核算洱海流域生态产品价值量。

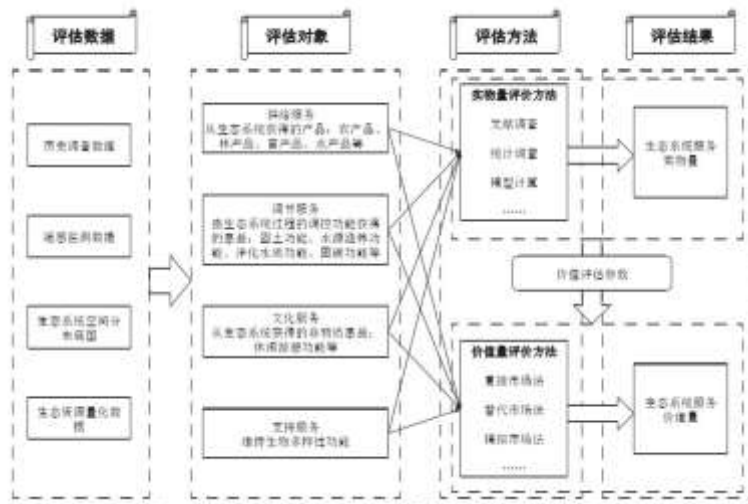


图 4 生态系统服务价值评估技术流程图

3.2 生态系统服务价值变化特征

3.2.1 生态系统服务构成

2015 年，洱海流域生态系统服务总价值为 709.4 亿元。按照生态系统服务类型构成来看，洱海流域主要生态系统服务类型为调节服务，2015 年调节服务价值为 306.55 亿元，约占总价值的 43.21%，包括固土功能、保肥功能、水源涵养功能、净化水质功能等；其次为支持服务和文化服务，价值量分别为 199.01 亿元和 160.14 亿元，分别占总价值的 28.05% 和 22.57%。供给服务价值最小，为 43.7 亿元，仅占总价值的 6.16%，主要包括农产品、林产品、畜牧产品和水产品等。

2015 年，大理市生态系统服务总价值为 309.29 亿元。其中调节服务为大理市主要生态系统服务类型，其价值量为 130.69 亿元，占区域总价值的 42.25%。其次为文化服务和支持服务，分别占区域总价值的 26.32% 和 23.20%。供给服务价值最小，为 25.45 亿元，占区域总价值的 8.23%。2015 年洱源县生态系统服务总价值为 395.61 亿元，与流域生态系统服务价值构成相同，调节服务是该地区的主要服务类型，其价值量为 171.36 亿元，占地区总价值的 43.32%，支持服务、文化服务和供给服务的价值量依次为 127.26 亿元、78.74 亿元和 18.25 亿元，分别占区域总价值的 32.17%、19.90% 和 4.61%。

3.2.2 生态系统服务价值变化

洱海流域 2010 年和 2015 年生态系统服务价值分别为 656.03 亿元、709.4 亿元。2010 年供给服务、调节服务、支持服务、文化服务价值分别为 31.78 亿元、288.93 亿元、199.83 亿元及 135.49 亿元，占 2010 年生态系统服务总价值的比例分别为 4.84%、44.04%、30.46%、20.65%。2015 年供给服务、调节服务、支持服务、文化服务较 2010 年分别增长了 11.92 亿元、17.62 亿元、-0.82 亿元、24.65 亿元，其价值分别为 43.7 亿元、306.55 亿元、199.01 亿元、160.14 亿元。从单位面积生态系统服务价值来看，2015 年单位面积生态系统服务价值较 2010 年的 1537.49 亿元/ km^2 增加了 7.45%，两个年份生态系统服务价值对比见图 5。

从图 6 可以看出，2010—2015 年洱海流域大部分生态系统服务的价值量有所增长。从生态系统服务价值变化量来看，固碳释氧服务、土壤保持服务和供给服务的价值量增长最为明显，其中林地、耕地和草地对对应服务的增长贡献度最大。而生物多样性服务、气候调节服务和水源涵养服务的价值量有所减少，且气候调节服务价值量减少尤为明显，其中，林地气候调节服务价值共减少了 15.06 亿元。从生态系统服务价值变化率来看，增长的生态系统服务价值类型中，水域和裸地对应的固碳释氧服务、水

域对应的土壤保持服务以及耕地和草地对应的供给服务的价值量增长率最大，而除裸地外的各类生态系统对应的气候调节服务、林草耕对应的水源涵养服务与林地对应的供给服务的价值量下降率较大，尤以气候调节服务为主。

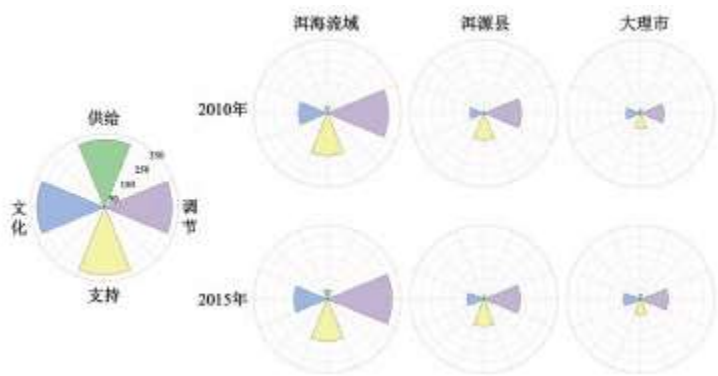


图 5 2010—2015 年洱海流域生态系统服务价值变化图

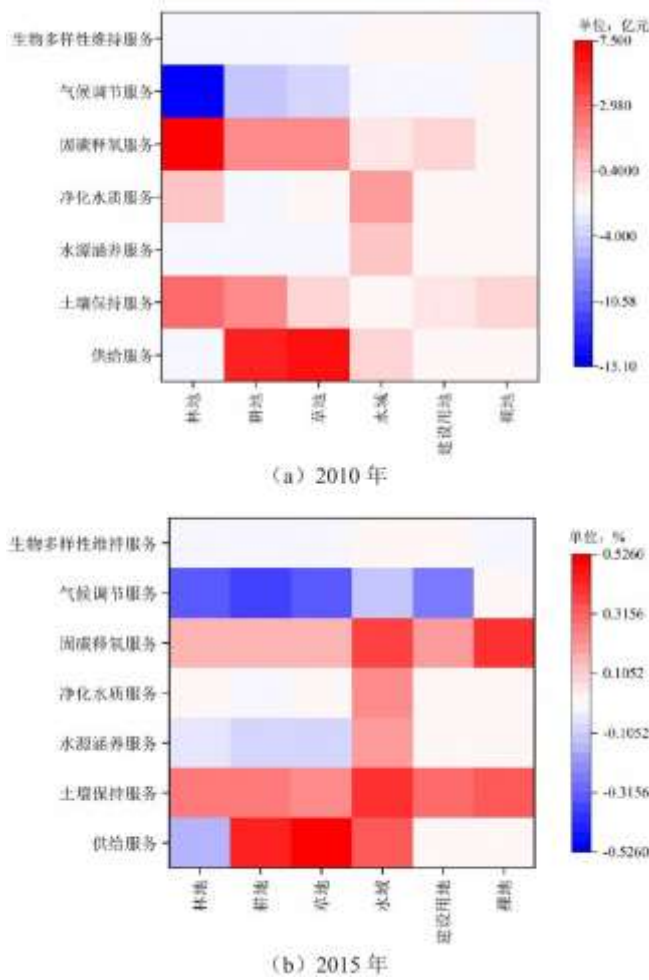


图 6 洱海流域生态系统服务价值变化量和变化率热力图

4 驱动机制分析

生态系统变化的驱动力因素主要包括人为因素和自然因素，而在短时间内，生态系统服务价值主要受人为因素影响，因此，本文基于土地利用变化数据以人类活动因素为主对生态系统类型变化因素进行分析，进而对洱海流域生态系统服务价值变化做出解释。

2010—2015 年洱海流域生态系统格局变化主要受生态恢复工程、农田开垦、城镇扩张等人类活动因素影响。洱海流域是中国西南生态屏障的重要组成部分，是全国重要的生物多样性宝库，近年来大理州政府为加强洱海流域保护和实现流域转型发展，围绕退耕还林、湿地修复建设、森林资源管护等开展了大量生态保护修复工作，助推流域生态修复，研究期间生态恢复工程共恢复林草面积 141.59km²，约占受人类活动影响生态系统变化面积的 48.98%，其中林地面积共恢复 110.11km²。而导致洱海流域生态用地减少的主要人为因素为城镇扩张和农业开发。一方面，如同大多数地区一样，洱海流域近年来加速城市化进程，城市的快速扩张使得基础设施建设用地需求增加，进而导致对生态用地的挤压，2010—2015 年，洱海流域城镇扩张共占用生态用地面积 58.17km²，约占受人类活动影响生态系统变化面积的 20.12%，其中约一半新增建设用地由耕地变化而来。另一方面，农业是洱海流域的基础产业，担负为流域居民提供绝大部分基本生活资料以及为流域加工业提供基本原材料的重任，2010—2015 年洱海流域农业开发共占用生态用地面积 74.78km²，约占受人类活动影响生态系统变化面积的 25.87%。

不同生态系统类型的能量交换、水分循环等生态过程有所差异，因此生态系统的变化必将影响生态系统服务的提供，而不同生态系统类型对应的生态级别亦有高低之分，相关研究表明，包括河流、湖泊与湿地在内的水域生态系统生态级别最高，而裸地生态系统的生态级别最低，其他生态系统的生态级别由高至低分别是林地、草地、耕地和建设用地^[21]。因此，结合洱海流域生态系统转移方向(表 2)和流域土地利用转移变化矩阵可以发现，尽管 2010—2015 年洱海流域生态用地面积有所减少，建设用地扩张明显，但在人类活动影响下，其中 54.01%的变化是由低生态等级向高生态等级转移，而高生态等级的生态系统类型其生态意义越高，同时其对应的生态系统服务价值相对更高，因此，整体上洱海流域包括供给服务、调节服务和文化服务在内的生态系统服务价值在城市化背景下生态系统服务价值仍能保持增长的变化态势。而对于支持服务(维持生物多样性功能)，本文采用香农指数与当量因子法相结合的方式进行核算，由于城镇建设用地的维持生物多样性功能价值当量一般默认为零，因此研究区维持生物多样性功能价值即支持服务价值整体略有减小。

表 2 人类活动影响下洱海流域生态系统转移方向

驱动因素	生态系统类型		转化面积/km ²	比例/%	转移方向
生态恢复	草地	林地	62.36	21.57	+
	耕地	林地	44.88	15.53	+
	耕地	草地	28.81	9.97	+
	建设用地	草地	2.67	0.92	+
	建设用地	林地	2.87	0.99	+
城镇扩张	林地	建设用地	12.99	4.49	-
	耕地	建设用地	26.93	9.32	-
	草地	建设用地	18.25	6.31	-
农业开发	林地	耕地	46.74	16.17	-
	草地	耕地	28.04	9.70	-

	建设用地	耕地	14.52	5.02	+
--	------	----	-------	------	---

注：+指生态系统类型由低生态级别向高生态级别转移，表示生态恢复；-指生态系统类型由高生态级别向低生态级别转移，表示生态退化。

5 结论与建议

本研究结合洱海流域实际情况，充分考虑其承担水源涵养、生物多样性维护和水土保持等重要生态功能的特点，基于国内外生态系统服务核算的理论和方法，在深入调研的基础上，构建了区域生态系统服务价值核算框架和指标体系，充分利用流域内土地利用状况等多重综合数据，核算了 2010—2015 年洱海流域生态服务价值，分析了其变化趋势，并结合土地利用变化及区域产业结构等因素从宏观的角度对流域生态系统服务价值变化的驱动因素进行了探讨。结论和相关建议如下：

(1) 2010—2015 年洱海流域生态系统变化明显，变化方向为生态用地向非生态用地转变，除建设用地外，林地、草地、耕地和水域等其他生态系统类型面积均有所减少，洱海湖滨带建设用地增加明显，2015 年建设用地较 2010 年增加 26.05%。

(2) 洱海流域主要生态系统服务类型为调节服务。洱海流域 2010 年和 2015 年生态系统服务价值分别为 656.03 亿元、709.4 亿元。其中，大理市生态系统服务价值由 2010 年的 274.45 亿元增加至 2015 年的 309.29 亿元，共增加了 34.84 亿元，洱源县生态系统服务价值由 2010 年的 381.57 亿元增加至 2015 年的 395.61 亿元，共增加了 14.04 亿元。

(3) 洱海流域生态系统及生态系统服务价值变化主要受生态恢复工程、城镇扩张、农业开发、人类活动等因素影响。整体上生态恢复工程对生态系统及其服务价值的正向作用(54.01%)要强于城镇扩张和农业开发带来的负面影响(45.99%)，整体上生态系统由低生态等级向高生态等级转移，与之对应，生态系统服务价值呈现增长的变化态势。

(4) 根据生态服务价值评估结果，林地和水域是调节服务价值的主要来源，建议重点加强生态服务价值高、单位面积生态服务价值高区域的生态保护和修复、管理和监管。以生态服务价值减少和生态功能下降较明显区域为重点实施山水林田湖草生态系统修复，加大生态系统修复力度。

(5) 以“两山”基地创建为抓手，推动生态产品价值实现。探索差异化的生态服务价值资产化、资本化途径，推动区域协调、均衡、绿色发展。洱海流域已着手打造“洱海绿色食品品牌”，开展全域旅游引领“绿色旅游”升级，推动了生态产品价值提升。在生态产品和生态旅游等基础上，对于林草湿等生态系统产生的调节服务价值实现，建议围绕调节服务价值实现路径进行探索：一是政策方面，制定生态补偿、生态移民等政策以及标准等；二是市场方面，建立碳汇交易、碳排污权交易机制等；三是积极创建全国“两山”实践创新基地。

参考文献：

[1]Daily G C.Nature’ s services:Societal dependence on natural ecosystem[M].Washington D C:Island Press,1997.

[2]Costanza R,D’ Arge R,De Groot R,et al.The value of the world’ s ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,387(15):253-260.

[3]欧阳志云，王效科，苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报，1999(5)：19-25.

-
- [4]谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003(2): 189-196.
- [5]赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003(4): 443-452.
- [6]国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范: LY/T 1721—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7]Kareiva P, Marvier M. Conserving biodiversity coldspots: Recent calls to direct conservation funding to the world's biodiversity hotspots may be bad investment advice[J]. American Scientist, 2003, 91(4): 344-351.
- [8]储昭升, 高思佳, 庞燕, 等. 洱海流域山水林田湖草各要素特征、存在问题及生态保护修复措施[J]. 环境工程技术学报, 2019(5): 507-514.
- [9]李维佳. 洱海流域生态安全格局研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- [10]张馨方. 洱海流域土地利用与生态系统服务价值变化研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2014.
- [11]邵卫东, 陈末, 刘浩然. 功能价值法和当量因子法在生态价值核算中的比较[J]. 农业与技术, 2021(1): 105-107.
- [12]环境保护部, 中国科学院. 关于印发《全国生态功能区划(修编版)》的公告[EB/OL]. (2015-11-23). http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201511/t20151126_317777.htm.
- [13]徐新良, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国 5 年间隔陆地生态系统空间分布数据集(1990—2010)内容与研发[J]. 全球变化数据学报, 2017(1): 52-59.
- [14]徐新良等. 土地利用/覆被变化时空信息分析方法及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2014.
- [15]刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学, 2010(8): 1544-1550.
- [16]李忠锋, 王一谋, 冯毓荪, 等. 基于 RS 与 GIS 的榆林地区土地利用变化分析[J]. 水土保持学报, 2003(2): 97-99.
- [17]喻锋, 李晓波, 张丽君, 等. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报, 2015(14): 4931-4943.
- [18]Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Our human planet: Summary for decision-makers[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [19]刘焱序, 傅伯杰, 赵文武, 等. 生态资产核算与生态系统服务评估: 概念交汇与重点方向[J]. 生态学报, 2018(23): 8267-8276.
- [20]侯鹏, 付卓, 祝汉收, 等. 生态资产评估及管理研究进展[J]. 生态学报, 2020(24): 8851-8860.
- [21]邵全琴, 刘纪远, 黄麟, 等. 2005—2009 年三江源自然保护区生态保护和建设工程生态成效综合评估[J]. 地理研究, 2013(9): 1645-1656.