

DOI: 10.5846/stxb202102240512

严长安, 杨汝兰, 付潇华, 刘艳, 吴文俊. 土地利用变化对滇池流域生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2023, 43(15): 6194-6202.

Yan C A, Yang R L, Fu X H, Liu Y, Wu W J. Impact of land-use change on ecosystem services value in Dianchi Lake Basin. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6194-6202.

土地利用变化对滇池流域生态系统服务价值的影响

严长安¹, 杨汝兰¹, 付潇华², 刘艳¹, 吴文俊^{3,4,5,*}

1 云南省生态环境科学研究院, 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 昆明 650034

2 昆明市生态环境科学研究院, 昆明 650032

3 生态环境部环境规划院, 国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012

4 生态环境部环境规划院, 生态环境与经济核算中心, 北京 100012

5 生态环境部环境规划院, EOD 创新中心, 北京 100012

摘要: 随着社会经济的快速发展, 土地利用变化日趋剧烈, 对生态系统及其服务价值产生重要影响, 探究土地利用变化与生态系统服务价值之间的定量响应关系, 对区域生态环境建设具有重要意义。以 2010 年和 2016 年滇池流域土地利用数据为基础, 基于生态系统服务价值核算体系, 定量评估了滇池流域土地利用变化及其转化对生态系统服务价值的影响。结果表明: ①2010 年和 2016 年滇池流域生态系统服务价值分别为 688.16 亿元和 729.31 亿元, 6 年间增加了 41.15 亿元。从各地类的生态系统服务价值来看, 由大到小排序为林地>水域>耕地>建设用地>草地>裸地。②2010—2016 年, 滇池流域土地利用变化的剧烈程度由强到弱为建设用地>耕地>草地>林地>裸地>水域, 耕地和建设用地的土地利用动态度较高, 其中耕地面积减少了 52.71 km², 建设用地面积增长了 93.25 km²。③2010—2016 年, 滇池流域土地利用相互间的转化导致生态系统服务价值增加了 3.88 亿元, 其中耕地、草地、城镇用地和裸地面积的变化增加了生态系统服务价值 54.62 亿元, 林地和湿地面积的变化减少了生态系统服务价值 50.74 亿元。研究成果可为滇池流域协同推进经济社会高质量发展和生态环境高水平保护提供重要借鉴。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务价值; 价值损益; 土地利用动态度; 滇池流域

Impact of land-use change on ecosystem services value in Dianchi Lake Basin

YAN Chang'an¹, YANG Rulan¹, FU Xiaohua², LIU Yan¹, WU Wenjun^{3,4,5,*}

1 Yunnan Key Laboratory for Pollution Processes and Control of Plateau Lake-Watersheds, Yunnan Academy of Ecological and Environmental Sciences, Kunming 650034, China

2 Kunming Institute of Eco-Environmental Sciences, Kunming 650032, China

3 State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China

4 The Center for Eco-Environmental Accounting, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China

5 The Innovation Center for Eco-environment-Oriented Development, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China

Abstract: With the rapid development of social economy, land use types change dramatically which has an important impact on the ecosystem service value. Therefore, quantitatively estimating the impact of land use change on the ecosystem service value is of great significance to restore and construct regionally ecological environment. Based on the ecosystem service value accounting system and the land use data of Dianchi Lake Basin in 2010 and 2016, the influence of land use change and its mutual transform on ecosystem service value was evaluated. The results show that, the annual ecosystem

基金项目: 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (202105AC160015); 国家自然科学基金 (41761093); 中国工程院重点项目 (JS2022XZ04)

收稿日期: 2021-02-24; **采用日期:** 2023-01-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuwj@caep.org.cn

service value of Dianchi Lake Basin grew from 68.816 billion to 72.931 billion Yuan during the period of 2010 and 2016. The order of the ecosystem services value from different land use types was: forest land>water area>cultivated land>built-up land>grassland>bare land. The order of the land use change degree was: built-up land>cultivated land>grassland>forest land>bare land>water area. The structure of land use changed significantly from 2010 to 2016. The type with the greatest dynamic degree was built-up land which had been increased by 93.25 km². The following was cultivated land which had been decreased by 52.71 km². During the period of 2010 and 2016, the ecosystem services value of Dianchi Lake Basin due to mutual transition among land use was increased by 0.388 billion Yuan. The ecosystem services value increased by 5.462 billion Yuan because of the changes in cultivated land, grassland, built-up land, and bare land, and decreased by 5.074 billion Yuan because of the changes in forest land and wetland. This study can provide an important reference for the coordinated promotion of high-quality economic and social development and high-level eco-environmental protection in Dianchi Lake Basin.

Key Words: land-use change; ecosystem service value; Gain or loss on value; dynamic degree; Dianchi Lake Basin

生态系统是人类生存和发展的基础,对生态系统服务价值进行核算可以量化生态系统对人类社会的贡献^[1]。1997年,Daily教授出版了《Nature's services: societal dependence on natural ecosystems》,首次为生态系统服务给出了较为系统、综合的定义,同年 Costanza教授在 Nature 杂志上发文首次对全球生物圈的生态系统服务开展了价值核算,显示1994年全球生态系统服务价值约为33万亿美元^[2]。随后,生态系统服务价值相关研究引起了国际上广泛关注,并成为了生态经济学领域的热点研究话题。土地利用变化是引起全球环境变化的主要原因^[3],它通过改变生态系统类型、格局、以及生态过程直接影响生态系统服务,对生态系统服务功能的维持起决定性的作用^[4-5]。已有研究表明,土地利用的变化直接影响生态系统提供的服务类型及服务强度^[6]。

当前全球城市化快速发展,土地利用面积及类型发生急剧变化,对生态系统服务产生严重影响^[7-12],众多学者在全球不同区域不同尺度对土地利用变化和生态系统服务价值相互间关系进行了大量的研究。早期学者通过对比分析土地利用和生态系统服务价值的时空变化情况,探索目标区域土地利用变化对生态系统服务总价值的影响^[13-19],以为优化区域土地利用结构和实现土地资源优化配置提供参考建议,近期学者多关注生态系统服务价值变化的内部驱动因素的研究,大多学者运用土地利用转移矩阵和价值当量因子法评估土地利用相互间转移引起的各类生态系统服务价值的变化^[20-24],然而,由于生态系统的异质性,基于价值当量因子法的各类生态系统服务价值评估弱化了特殊区域内各类生态系统的实际价值^[25-26],尤其是在具有复合系统的高原“城市-河湖湿地生态系统”的滇池流域,而且关于土地利用变化与生态系统服务价值内在相互关系的研究在滇池流域鲜有涉猎。

滇池流域位于云贵高原中部,是昆明市人口最多,社会经济最发达的区域。滇池流域面积占云南省的0.78%,却集中了全省40%的大中型企业,承载了全省18%的人口和23%的GDP。然而由于地形复杂、立体气候突出等原因,滇池流域湖滨生态系统十分脆弱,一旦破坏很难恢复^[27-28]。其次随着工业化、城镇化以及滇中城市群的发展,滇池流域生态环境的压力日益增大,资源的不合理开发与城市化带来的生态环境问题,对滇池流域可持续发展带来了挑战。因此,本文以滇池流域2010年和2016年土地利用数据为基础,通过土地利用动态度、土地利用转移矩阵、生态系统服务价值损益矩阵等方法定量评估滇池流域土地利用变化对生态系统服务价值及其流向的影响,以为滇池流域高质量发展和高水平保护提供决策支持,也为滇池流域探索“绿水青山”向“金山银山”的转化路径提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇池流域位于云南省昆明市,是云南省经济、政治、社会、文化的中心区域。滇池流域气候类型复杂多样,

年温差小、日温差大、干湿季节分明、气温随地势高低垂直变化异常明显。近年来,随着城镇化的不断推进,城镇建设用地、居民点用地迅速扩张,土地利用变化剧烈,滇池流域的经济发展与生态环境保护的矛盾越来越激烈,因此特殊的地理位置决定了滇池流域土地利用变化对生态环境产生深远的影响,滇池流域土地利用类型与区位分布见图 1。

1.2 数据来源

文中所涉及到的地理空间矢量行政区数据和土地利用数据的来自于《地理国情监测云平台》(<http://www.dsac.cn/DataProduct/Detail/3025>),降雨数据来自于昆明市气象局提供的逐日降雨数据,蒸散发数据来自于昆明市气象局提供的气象站点的插值数据,土壤参数数据来自于董磊等^[29]《基于 USLE 和 GIS/RS 的滇池流域土壤侵蚀研究》报告,其他社会经济资料来自于《昆明市统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值

生态系统服务价值,又称为生态系统生产总值(GEP),是生态系统为人类提供的产品及最终服务价值的总和,是生态系统为人类福祉提供的产品和服务及其经济价值总量,包括生产系统产品提供价值、生态调节服务价值和生态文化服务价值^[30]。生态系统产品包括生态系统提供的可为人类直接利用的食物、木材、纤维、淡水资源、遗传物质等。生态系统服务包括形成与维持人类赖以生存和发展的条件等,包括调节服务和文化服务。滇池流域生态系统生产总值的计算模型可以表示为:

$$GEP = EPV + ERV + ECV = \sum V_{pi} + \sum V_{ri} + \sum V_{ci} \quad (1)$$

式中,GEP 为滇池流域生态系统生产总值;EPV 为滇池流域生态系统产品价值,ERV 为滇池流域生态系统调节服务价值,ECV 为滇池流域生态文化服务价值。 $\sum V_{pi}$ 、 $\sum V_{ri}$ 、 $\sum V_{ci}$ 则表示各服务指标价值之和。由于产品提供服务价值和文化服务价值的核算受社会经济的影响大,因此本研究中 GEP 的核算只涉及生态系统调节服务价值的核算,且为了检验生态保护成效和生态效益,只对自然资源的生态系统生产总值进行核算,旨在为后续滇池流域生态补偿研究提供科学的数据支持,具体的核算指标及方法见表 1。

1.3.2 土地利用动态度

土地利用动态度可以反映土地利用变化的强弱程度,动态度是指某一时空范畴内某一类的土地利用方式面积变化的强弱程度^[32]。动态度的绝对值越大,说明该类土地利用类型向其他地类转移的变化程度越强烈;该值的绝对值越小,则表明该种土地利用类型是研究区范围内比较稳定的类型。其计算公式为:

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

式中:K 表示土地利用动态度; U_a 是研究区初期某一土地利用类型面积, U_b 是末期该土地利用面积; T 为时长,当时长为年时,则 K 值表示的是年动态度。

1.3.3 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵反映了某一区域某一时段期初和期末各地类面积之间相互转化的动态过程信息,它不但包括静态的一定区域某时间点的各地类面积数据,而且含有更为丰富的期初各地类面积转出和期末各地类

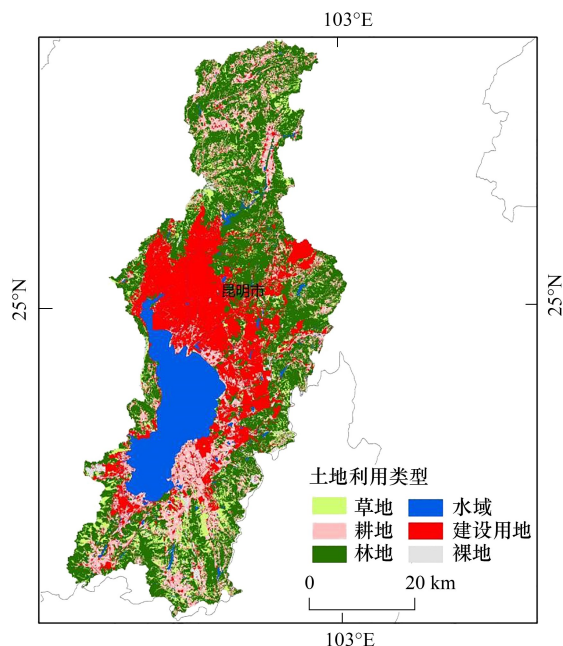


图 1 滇池流域土地利用类型与区位分布

Fig. 1 Types and location distribution of land use of Dianchi Lake Basin

面积转入的信息^[37]。土地利用转移矩阵通用形式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: S 代表面积; n 代表转移前后的土地利用类型数; $ij (i, j=1, 2, \dots, n)$ 分别代表转移前与转移后的土地利用类型; S_{ij} 表示转移前的 i 地类转换成转移后的 j 地类的面积。

表 1 滇池流域生态系统生产总值核算公式表

Table 1 The calculation formula and parameter explanation of ecosystem total output value of Dianchi Lake Basin

服务功能 Services	指标 Indexes	计算公式 Formula	参数说明及取值 Description
调节服务 Regulating services	水源涵养	$Q_w = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \div 1000$ $V_w = Q_w \times C$	P_i 为降雨量 (mm); R_i 为暴雨径流量 (mm); ET_i 为蒸散发量 (mm), 取值 1238.64 mm; A_i 为 i 类生态系统的面积 (m^2), V_w 为蓄水保水的价值 (元/a) Q_w 为水源涵养量 (m^3/a); C 为水库单位库容的工程造价 (元/ m^3) ^[31] 。
	土壤保持	$V_{sd} = V_s + V_d$ $V_s = \lambda \times \frac{A_s}{\rho} \times C$ $V_d = \sum_{i=1}^3 A_s \times C_i \times P_i$	V_{sd} 为土壤保持价值 (元/a); V_s 为减少泥沙淤积价值 (元/a); V_d 为减少面源污染价值 (元/a)。 λ 为泥沙淤积系数; A_s 为土壤保持量 (t/a); ρ 为土壤容重 (t/m^3), 取值 1.23 t/m^3 ; C 为水库清淤工程费用 (元/ m^3) ^[32] , i 为面源污染物类型; C_i 为土壤中氮、磷的纯含量 (%); P_i 为氮和磷的环境工程降解成本 (元/t) ^[33] 。
	洪水调蓄	$V_f = \sum_{i=1}^j C_i \times C$	V_f 为减轻洪水威胁价值 (元/a); i 为研究区第 i 类生态系统类型; j 为研究区生态系统类型数; C_i 为湿地 (湖泊、沼泽) 洪水调蓄能力 (m^3/a); C 为水库单位库容的工程造价 (元/ m^3) ^[31] 。
	空气净化	$V_a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times C_j$	V_a 为生态系统空气净化价值 (元/a); i 为生态系统类型, 无量纲; j 为大气污染物类别, 无量纲; Q_{ij} 为第 i 类 (森林、灌丛、草地) 生态系统第 j 种大气污染物的净化量 (t/a); C_j 为第 j 类大气污染物的单位治理成本 (元/t) ^[33] 。
	水质净化	$V_w = \sum_{i=1}^n Q_i \times C_i$	V_w 为生态系统水质净化价值 (元/a); i 为污染物类别, 无量纲; Q_i 为第 i 类水质污染物的净化量 (t/a); C_i 为第 i 类水质污染物的单位治理成本 (元/t) ^[33] 。
	固碳释氧	$V_{co} = V_c + V_o$ $V_c = \text{NEP} \times C_m$ $V_o = Q_o \times C$	V_{co} 为生态系统固碳释氧价值 (元/a); V_c 为生态系统固碳价值 (元/a); V_o 为生态系统释氧价值 (元/a), NEP 为生态系统固碳总量 (t/a); C_m 为造林成本 (元/t) ^[31] 。 Q_o 为生态系统氧气释放量 (t/a); C 为制氧成本 (元/t) ^[34] 。
	气候调节	$V_c = \sum_{i=1}^n Q_i \times p$	V_c 为生态系统气候调节的价值 (元/a); i 为生态系统类型, 无量纲; Q_i 为第 i 类生态系统降温增湿消耗的能量 (kWh/a) ^[35-36] ; p 为电价 (元/kWh), 取值 0.45 元/kWh。

1.3.4 生态系统服务价值损益矩阵

利用土地利用转移矩阵和生态系统生产总值的核算结果, 可对不同土地利用类型间相互转化而造成的生态系统生产总值损益进行定量化^[38-39], 本研究根据滇池流域不同时期 (2010—2016) 土地利用数据, 分别计算各个时期生态系统生产总值的损益。计算公式如下:

$$P_{ij} = (V_{ci} - V_{cj}) \times A_{ij} \quad (4)$$

式中, P_{ij} : 土地利用类型由 i 类转为 j 类时的生态系统生产总值损益; V_{ci} 、 V_{cj} : i 地类 j 地类的单位面积生态系统服务价值; A_{ij} : i 地类转为 j 地类的面积。

2 结果与讨论

2.1 滇池流域生态系统服务价值

根据生态系统生产总值核算方法得到滇池流域 2010—2016 年生态系统服务价值,2010 年和 2016 年滇池流域生态系统服务价值分别为 688.16 亿元和 729.31 亿元,6 年间增加了 41.15 亿元。从图 2 得知,滇池流域生态系统服务价值的增加主要受土壤保持功能价值变化的影响,6 年间土壤保持功价值增加了约 57 亿元,主要因为在“十二五”期间,滇池流域通过“四退三还”工程的实施,加大了面山植被生态修复工作力度,从而有效减少了由水土流失引起的氮磷面源流失量,表明了通过生态建设与修复,可以加强土壤保持功能,进而有效增加生态系统服务价值。

滇池流域单位面积生态系统服务价值平均约 23.94 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,略低于龚相瀚^[40]在滇池流域的研究成果(2016 年 27.40 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)和高程^[41]在抚仙湖流域的研究成果(2016 年 29.29 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$),远高于朱治州^[42]在长江流域的研究成果(2015 年 2.09 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)和全国平均值^[43](2010 年 4.0 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$),表现出滇池流域属于生态资产高值区^[44]。

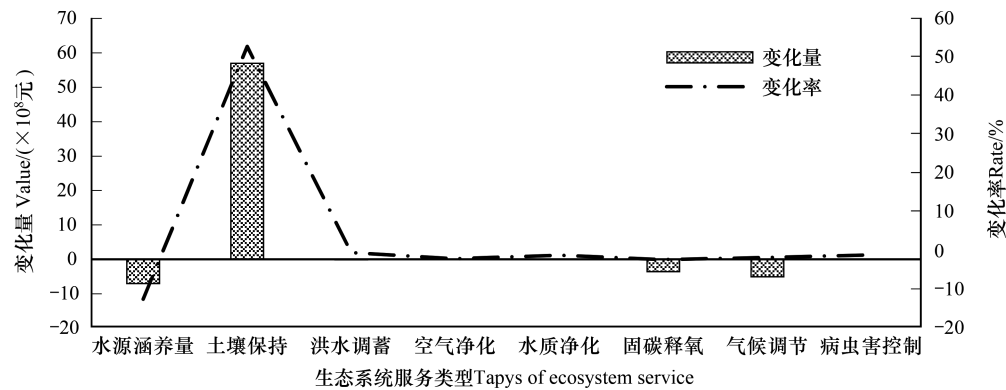


图 2 2010—2016 年滇池流域生态系统各类服务价值量的变化

Fig.2 Changes of ecosystem service value of Dianchi Lake basin in 2010 and 2016

利用 ArcGIS 对运行结果进行分析,得到滇池流域 2010—2016 年不同土地利用类型对应的生态系统服务价值,并根据不同地类的服务价值综合分析滇池流域不同土地利用类型生态系统服务价值的时间变化规律。

表 2 滇池流域各土地利用的生态系统服务价值变化

Table 2 Changes of ecosystem service value of land use in Dianchi Lake basin

土地利用类型 Land use types	2010 年		2016 年		2010—2016 年 变化量/亿元 Variation
	生态系统 服务价值/亿元	单位面积服务 价值/(亿元/ km^2)	生态系统 服务价值/亿元	单位面积服务 价值/(亿元/ km^2)	
耕地 Croplands	52.12	0.09	52.67	0.10	0.55
林地 Forest	314.61	0.27	341.28	0.30	26.67
草地 Grassland	30.00	0.16	34.11	0.19	4.11
水域 Water	247.77	0.72	244.50	0.72	-3.26
建设用地 Construction land	39.67	0.07	51.87	0.08	12.20
裸地 Bare land	3.99	0.09	4.88	0.11	0.89
合计 Total	688.16	0.25	729.31	0.26	41.15

如图 3 和表 2 所示,滇池流域各地类的生态系统服务价值中,林地的生态系统服务最大,为 341.28 亿元,其次为水域的 244.5 亿元。生态系统服务价值由大到小排序为林地>水域>耕地>建设用地>草地>裸地。从单位面积生态系统服务价值来看,大小依次为水域>林地>草地>耕地>裸地>建设用地。由此可见水域及林地

对生态系统服务价值的贡献最大,主要是因为水域和林地提供更高的生态系统调节服务价值,与谢高地等^[31]研究的中国生态系统服务价值的结论相一致。

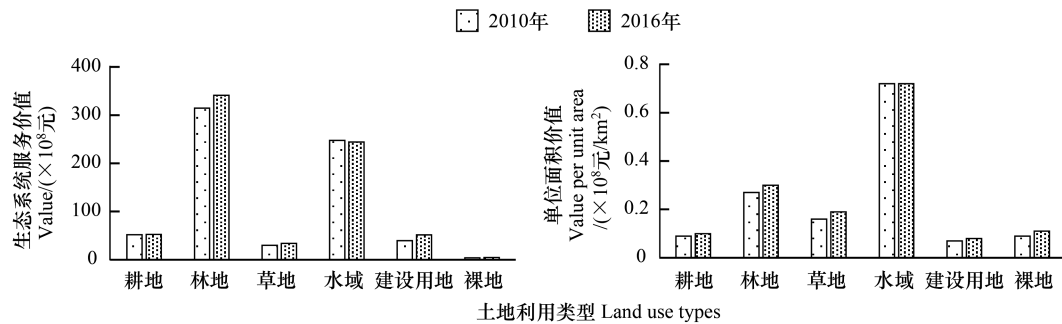


图3 滇池流域不同土地利用的生态系统服务价值变化图

Fig.3 Changes of ecosystem service value of land use in Dianchi Lake basin

因此,紧紧围绕“绿水青山就是金山银山”的新发展理念,建议实施重大生态工程建设,统筹推进山水林田湖生态保护和修复,通过推动退耕还林还草等林地生态建设、逐步恢复自然水域面积、加大湿地保护与建设力度、加强石漠化地区、矿山开发区、水土流失区等生态脆弱区的修复与重建、全面开展水土流失的防治与治理等工作,不断恢复生态系统服务价值更高的林地和水域,稳步提高森林覆盖率,全面提升生态系统质量和稳定性,筑牢生态安全屏障。

2.2 土地利用格局及变化

(1) 土地利用动态度

土地利用动态度反映 2010—2016 年滇池流域土地利用类型的变化面积和变化速率。根据滇池流域 2010 年和 2016 年土地利用现状,其土地利用类型主要以林地和耕地为主,两者占滇池流域总面积的 55% 以上,6 年间土地利用格局发生了一定程度的变化。通过计算滇池流域 2010—2016 年土地利用变化得到滇池流域土地利用类型年度变化表和土地利用动态度,如表 3 所示。

表3 2010—2016 年滇池流域土地利用变化动态度/km²

Table 3 Dynamic degree of land use change of Dianchi Lake Basin from 2010 to 2016

土地利用类型 Land use types	耕地 Croplands	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land
2010 年	563.27	1167.65	186.66	345.42	532.53	44.17
2016 年	510.56	1140.52	180.77	341.4	625.78	43.05
变化面积 Change area	-52.71	-27.13	-5.89	-4.02	93.25	-1.12
变化率 Rate/%	-9.36	-2.32	-3.16	-1.16	17.51	-2.54
动态度 Dynamic attitude/(%/a)	-1.56	-0.39	-0.53	-0.19	2.92	-0.42

由表 3 可知,在 2010—2016 年,流域耕地的面积减少了 52.71 km²,是六个地类中面积减少最多的土地利用类型,其次为林地,面积减少了 27.13 km²。而建设用地面积增长了 93.25 km²,是六个地类中面积唯一增加的土地利用类型。

根据动态度分析,变化的剧烈程度由强到弱为建设用地>耕地>草地>林地>裸地>水域。耕地和建设用地的土地利用动态度较高,其他土地利用类型变化不明显,水域动态变化量相对较小,是较为平稳的地类。耕地面积的减少是由于滇池流域实施的退耕还林、退耕还湖等政策,而建设用地的动态度变化剧烈则是因为滇池流域不断发展的社会经济造成的。

(2) 土地利用转移

土地利用转移矩阵可以全面的说明区域土地利用在一定时期内变化的结构特征,有助于了解各类土地类型相互间转换情况。表 4 反映了具体生态系统类型的转移流向变化,6 年间,转移面积最大的是耕地,主要转化为林地,转移面积为 119.16 km², 占总转移面积的 16.02%;其次为林地,主要转化为耕地,转移了 118.9 km², 占总转移面积的 15.98%。耕地向城镇的转移面积也较大,转移了 90.36 km², 占总转移面积的 12.15%。

表 4 滇池流域 2010—2016 年土地利用类型转移矩阵表/km²

Table 4 Transfer matrix of land use types of Dianchi Lake Basin from 2010 to 2016

2010	2016						
	耕地 Croplands	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land	转出面积 Area increase
耕地 Croplands	—	119.16	17.13	9.72	90.26	3.29	239.56
林地 Forest	118.9	—	65.7	9.41	62.67	9.23	265.91
草地 Grassland	17.19	65.85	—	1.46	12.17	4.23	100.9
水域 Water	7.88	9.54	1.71	—	10.78	0.26	30.17
建设用地 Construction land	40.09	33.28	6.27	5.27	—	2.06	86.97
裸地 Bare land	2.63	9.22	3.98	0.25	4.24	—	20.32
转入面积 Area decrease	186.69	237.05	94.79	26.11	180.12	19.07	—

从土地利用类型的转移流向来看,2010—2016 年期间,滇池流域耕地面积较大幅度减少,其他地类的面积呈现不同程度的减少,只有建设用地的面积增加。可见随着城镇化进程的不断加快,呈现着耕地的面积不断转化为城镇面积的趋势。

2.3 生态系统服务价值流向分析

为了分析各类土地利用变化对生态系统服务价值的影响,本研究采用生态系统服务价值流向的方法定量分析土地利用之间转移导致的生态系统相互间服务价值的流向。根据土地利用转移数据及滇池流域各类生态系统的生态系统服务价值,计算得到滇池流域各时期生态系统服务价值流向损益情况,横向表示各土地利用类型转出面积的价值量变化,纵向表示各土地利用类型补给面积的价值量变化。

表 5 滇池流域 2010—2016 年生态系统服务价值损益表/亿元

Table 5 The profit and loss statement of ecosystem service value of Dianchi Lake Basin from 2010 to 2016

2010 年	2016 年						
	耕地 Croplands	林地 Forest	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land	合计 Total
耕地 Croplands	0.00	24.63	1.65	6.06	-0.87	0.07	31.54
林地 Forest	-19.77	0.00	-5.31	4.20	-11.69	-1.44	-34.01
草地 Grassland	-0.99	9.12	0.00	0.81	-0.95	-0.20	7.80
水域 Water	-4.84	-3.99	-0.90	0.00	-6.84	-0.16	-16.73
建设用地 Construction land	1.15	7.48	0.72	3.38	0.00	0.08	12.81
裸地 Bare land	0.03	1.92	0.39	0.16	-0.03	0.00	2.47
合计 Total	-24.42	39.17	-3.46	14.62	-20.38	-1.65	3.88

由表 5 可知,6 年间,滇池流域土地利用之间的转化导致生态系统服务价值增加了 3.88 亿元,尽管滇池流域高强度的城市开发在一定程度上对生态环境效益产生负面影响,但合理的城市空间发展布局和生态环境保护政策提升了生态系统服务价值^[45],体现出滇池流域经济社会高质量发展和生态环境高水平保护的成效。从转移总量与结构上来看,林地和水域的价值增加是造成滇池流域生态系统服务价值变化的主要原因。滇池流域生态系统服务价值变化主要受耕地、林地、水域和建设用地的影响,其中,耕地和林地的变化分别增加了 7.12 亿元和 5.16 亿元,水域和建设用地的变化分别减少了 2.11 亿元和 7.57 亿元。值得关注的是,耕地的面

积减少幅度最大,反而增加了生态价值,可能是由于耕地主要转换为单位生态价值更高的林地和水域,表明在滇池流域内进行的退耕还林、退耕还湖等举措取得了较大的生态效益,对于滇池流域生态系统的可持续发展有较好的作用,并且要加强对林地生态系统的保护,适当的增加林地面积,使区域生态系统向高质量的方向发展。

3 结论

(1) 2010 年和 2016 年滇池流域生态系统服务价值分别为 688.16 亿元和 729.31 亿元,6 年间增加了 41.15 亿元,主要受土壤保持功能价值变化的影响,流域单位面积生态系统服务价值平均约 $23.94 \text{ 万元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。从各地类的生态系统服务价值来看,林地的生态系统服务最大,为 341.28 亿元,其次为水域的 244.5 亿元,生态系统服务价值由大到小排序为林地>水域>耕地>建设用地>草地>裸地。从单位面积生态系统服务价值来看,大小依次为水域>林地>草地>耕地>裸地>建设用地。

(2) 6 年间滇池流域土地利用格局发生了不同程度的变化,主要表现在耕地面积的大幅减少,建设用地面积增加。土地利用的转移矩阵揭示了转移面积最大的是耕地,其主要转化为林地,转移面积为 119.16 km^2 ,占总转移面积的 16.02%;其次为林地转化为耕地,转移了 118.9 km^2 ,占总转移面积的 15.98%。

(3) 根据生态系统服务价值流向损益矩阵,林地和水域的价值增加是引起滇池流域生态系统服务价值变化的主要驱动力。滇池流域土地利用之间的转化导致生态系统服务价值增加了 3.88 亿元。由林地、湿地等土地利用类型转化为耕地、建设用地等造成的生态系统服务价值损失较多,损失为 62.1 亿元;而由耕地、建设用地等土地利用类型转化为林地、湿地等使得生态系统服务价值增加较多,增加了 136.85 亿元。

参考文献 (References):

- [1] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [2] 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.
- [3] 陈浮, 葛小平, 陈刚, 彭补拙. 城市边缘区景观变化与人为影响的空间分异研究. 地理科学, 2001, 21(3): 210-216.
- [4] Liu X P, Chen X, Hua K P, Wang Y J, Wang P, Han X J, Ye J Y, Wen S Q. Effects of land use change on ecosystem services in arid area ecological migration. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(5): 894-906.
- [5] Fu Q, Li B, Hou Y, Bi X, Zhang X S. Effects of land use and climate change on ecosystem services in central Asia's arid regions: a case study in Altay Prefecture, China. *Science of the Total Environment*, 2017, 607-608: 633-646.
- [6] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响. 热带地理, 2010, 30(6): 603-608, 621-621.
- [7] Tolessa T, Senbeta F, Kidane M. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 2017, 23: 47-54.
- [8] Gong J, Li J Y, Yang Y X, Li S C, Tang W W. Land use and land cover change in the Qinghai Lake region of the Tibetan Plateau and its impact on ecosystem services. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(7): 818.
- [9] Ligate E J, Chen C, Wu C Z. Evaluation of tropical coastal land cover and land use changes and their impacts on ecosystem service values. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2018, 4(8): 188-204.
- [10] Gashaw T, Tulu T, Argaw M, Worqlul A W, Tolessa T, Kindu M. Estimating the impacts of land use/land cover changes on ecosystem service values: the case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 219-228.
- [11] 王雅, 蒙古军. 黑河中游土地利用变化对生态系统服务的影响. 干旱区研究, 2017, 34(1): 200-207.
- [12] 秦艳丽, 时鹏, 何文虹, 霍春平, 李鹏, 李占斌, 杨殊桐, 冯朝红. 西安市城市化对景观格局及生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2020, 40(22): 8239-8250.
- [13] 魏慧, 赵文武, 张骁, 王新志. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例. 生态学报, 2017, 37(11): 3830-3839.
- [14] 刘伟. 现代黄河三角洲演变及其对土地利用景观格局的影响[D]. 济南: 山东师范大学, 2015.
- [15] 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.

- [16] 石龙宇, 张雅京, 杨职优. 沿海城市土地利用/覆被变化及其驱动力分析. 环境科学与技术, 2010, 33(S2): 94-97, 110-110.
- [17] 王伟林, 黄贤金, 钟太洋. 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应——以南京市为例. 水土保持研究, 2009, 16(1): 212-215, 221-221.
- [18] Meyer W B, Turner II B L. Human population growth and global land-use/cover change. Annual Review of Ecology and Systematics, 1992, 23: 39-61.
- [19] 兰紫橙, 贾岚, 程煜. 闽江流域生态系统服务价值评估及权衡协同关系. 生态学报, 2020, 40(12): 3909-3920.
- [20] 李晓, 郑庆荣, 胡砚秋, 高艳珍, 罗淑政. 淳沱河上游地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响. 安徽农学通报, 2021, 27(2): 108-112, 143-143.
- [21] 任钰覃, 吴勇. 阆中市土地利用变化对生态系统服务价值影响. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2020, 41(4): 404-412.
- [22] 刘凤莲, 杨人懿. 武汉市土地利用变化及对生态系统服务价值的影响. 水土保持研究, 2021, 28(3): 177-183, 193-193.
- [23] 侯春飞, 韩永伟, 孟晓杰, 刘丽香. 雄安新区 1995—2019 年土地利用变化对生态系统服务价值的影响. 环境工程技术学报, 2021, 11(1): 65-73.
- [24] 李辉丹, 叶长盛, 华吉庆. 南昌市土地利用变化对生态系统服务价值影响. 水土保持研究, 2020, 27(3): 277-285, 293-293.
- [25] 杨倩, 孟广涛, 谷丽萍, 方波, 张正海, 蔡雨新. 草地生态系统服务价值评估研究综述. 生态科学, 2021, 40(2): 210-217.
- [26] 於方, 杨威杉, 马国霞, 周颖. 生态价值核算的国内外最新进展与展望. 环境保护, 2020, 48(14): 18-24.
- [27] 董云仙, 赵磊, 陈异晖, 余艳红, 赵润, 杨广萍. 云南九大高原湖泊的演变与生态安全调控. 生态经济, 2015, 31(1): 185-191.
- [28] 李东梅, 高正文, 付晓, 吴晓青, 吴钢. 云南省生态功能类型区的生态敏感性. 生态学报, 2010, 30(1): 138-145.
- [29] 董磊, 彭明春, 王崇云, 杜建海, 陈振亮, 孔维琳. 基于 USLE 和 GIS/RS 的滇池流域土壤侵蚀研究. 水土保持研究, 2012, 19(2): 11-14, 18-18.
- [30] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [31] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [32] 桑潇, 国巧真, 潘应阳, 付盈. 基于 TM 和 OLI 数据山西省潞城市土地利用动态变化分析与预测. 国土资源遥感, 2018, 30(2): 125-131.
- [33] 国务院. 排污费征收标准管理办法(国家发展和改革委员会、财政部、环保总局、经贸委令第 31 号 2003-07-01). 北京: 国务院, 2003.
- [34] 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. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [35] 冯程程, 姜永雷, 唐探, 李太兵, 黄晓霞. 昆明市十五种绿化树种降温增湿效应研究. 北方园艺, 2015, (13): 76-80.
- [36] 张彪, 高吉喜, 谢高地, 王艳萍. 北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估. 生态学报, 2012, 32(24): 7698-7705.
- [37] 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. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.
- [38] 荣益, 李超, 许策, 严岩. 城镇化过程中生态系统服务价值变化及人类活动影响的空间分异——以黄骅市为例. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1374-1381.
- [39] 刘亚茹, 王聪, 严力蛟. 华北平原农区土地利用变化对生态系统服务的影响——以河南省商丘市为例. 应用生态学报, 2018, 29(5): 1597-1606.
- [40] 龚相瀚. 滇池流域生态资产评估及生态补偿研究[D]. 昆明: 云南大学, 2018.
- [41] 高程, 王金亮, 刘广杰. 区域生态资产价值评估研究——以抚仙湖流域为例. 环境科学导刊, 2018, 37(2): 12-17.
- [42] 朱治州. 长江经济带土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2019.
- [43] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [44] 陈百明, 黄兴文. 中国生态资产评估与区划研究. 中国农业资源与区划, 2003, 24(6): 20-24.
- [45] 乔蕻强. 兰州市城市化与生态系统服务价值的耦合关系定量研究. 水土保持通报, 2017, 37(4): 333-337, 344-344.