

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.011

清水河水库工程影响区生态系统服务价值评价

马士龙¹, 段妍¹, 孟繁斌²

(1. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222; 2. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要:以云南省文山州清水河水库为例, 对其环境影响区域内土地利用变化进行分析, 全面预测研究区生态系统服务价值和变化情况。结果表明: 清水河水库实施后, 研究区内土地利用类型并未发生显著变化, 旱地依旧是主要的土地利用类型, 生态系统总体格局并未发生改变; 研究期间虽然生态系统服务总价值呈上升趋势, 但工程建设对多数生态系统功能价值会有一些的负面影响, 因此在生产建设和管理中, 要加强林地保护, 尽量降低生态系统的损失; 清水河水库下闸蓄水后, 水域生态系统服务价值的变化将会对研究区生态系统服务总价值将产生较大影响; 研究区内生态系统服务之间存在显著的协同关系。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务; 敏感性分析; 权衡与协同; 清水河水库工程

中图分类号: S718.557; TV697.25 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)05-0061-09

引文格式: 马士龙, 段妍, 孟繁斌. 清水河水库工程影响区生态系统服务价值评价[J]. 林业调查规划, 2023, 48(5): 61-69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.011

MA Shilong, DUAN Yan, MENG Fanbin. Evaluation of Ecosystem Service Value in Qingshuihe Reservoir Impact Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(5): 61-69. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.05.011

Evaluation of Ecosystem Service Value in Qingshuihe Reservoir Impact Area

MA Shilong¹, DUAN Yan¹, MENG Fanbin²

(1. China Water Resources Beifang Investigation, Design & Research Co., Ltd, Tianjin 300222, China;
2. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Beijing 100120, China)

Abstract: This paper analyzed the land use changes in the environmental impact area of Qingshuihe Reservoir in Wenshan Prefecture, Yunnan Province, and comprehensively predicted the value and changes of ecosystem services in the study area. The results found that the type of land use in research area was as same as before, and dry farm was still the major type, and the overall ecosystem pattern was not changed; the ecosystem service value increased after reservoir construction, however, some ecosystem function values were impacted by negative effect, which was necessary to strengthen forest land protection and minimize ecosystem losses as much as possible; water ecosystem service value would be impact the whole value after reservoir construction; there was significant synergy relationships among multiple ecosystem services in research area.

Key words: land use change; ecosystem service; sensitivity analysis; trade-off and synergy; Qingshuihe reservoir project

收稿日期: 2022-03-17; 修回日期: 2022-10-12.

第一作者: 马士龙(1980-), 男, 河北唐山人, 高级工程师. 主要从事水土保持与生态环境规划设计工作.

生态系统服务价值是生态功能区划、生态环境保护、生态补偿决策和环境经济核算的重要依据和基础^[1-4]。根据 2005 年联合国组织发布的“千年生态系统测评”(MA)报告,生态系统与生态过程所形成的人类赖以生存的自然环境条件与效用可分为支持功能、供给功能、调节功能和文化功能^[5]。随着社会的不断发展,生态系统不断受到侵占,提高生态系统服务供给、保护生态系统,成为目前全球面临的一个共同挑战^[6],关于生态系统服务价值的评价也成为当前科学研究的热点。目前大多数国内学者在 Costanza^[7]提出的生态系统服务价值核算理论上,结合谢高地等^[8-9]创建的中国生态系统服务价值当量因子表,通过研究土地利用类型的变化,进而对不同生态系统服务价值进行评价^[10-11],但是研究范围多集中于全国^[6]、区域^[12-16]、流域^[17-18]以及单个生态系统^[8]等宏观尺度,对于生产建设项目影响区生态系统服务价值研究甚少。

水库工程作为保障人民生命财产安全,提供清洁能源,发展流域和区域经济的重要举措,一直以来都是国家基础设施建设的重要组成部分。水库工程一般具有规模大、工期长、投资高、技术复杂、影响面广等特点,工程建设对工程征占地范围内以及建设影响区域的生态系统将产生巨大影响,直接关系到当地国民经济的发展,其生态系统服务价值评价对现实工作具有十分重要的指导作用,更能准确分析工程建设引起的效益和损失,为国家在决策过程中提供参考和依据,引导投资的有效性和针对性。针对水库工程,基于工程环境影响评价范围内土地利用转移矩阵,参考谢高地等提出的改进单位面积价值当量因子^[19],对工程区内土地类型变化情况和生态系统服务价值变化情况进行分析和预测评价,以期为水利水电工程环境影响损益分析和生态补偿标准的确定提供支撑和借鉴,更好地开发和利用水资源,保护生态环境服务。

1 工程及研究区概况

研究区范围主要根据工程环境影响评价报告中陆生生态影响评价范围确定,陆生生态影响评价范围需充分考虑生态完整性、区域敏感目标,并需涵盖水利枢纽工程的直接和间接影响区域。工程陆生生态评价范围为:清水河水库库尾(古登寨)上游 1 km 至清水河坝址以下 2 km 河段两岸第一重山脊线以内,砚山、丘北、珠琳方向输水管线两侧 500 m 范围及沿线施工区,以及 5 个移民安置点占地范围和 7

个调蓄水库库周 500 m 范围。研究区地处云贵高原南部,山峦起伏,形成壮观的高原中山—低山丘陵地形。研究区出露地层主要为古生界石炭系与二叠系、中生界三叠系地层。主要土壤类型为红壤、赤红壤和水稻土 3 类。研究区自然植被垂直分布带不明显,大片次生云南松林和云南松与栎类、旱冬瓜混交林组成了典型的高原云南植被类型,植物种类较为丰富。气候类型属亚热带季风气候,雨水充沛,雨量集中,干湿季节分明。根据丘北气象站资料统计,研究区多年平均降水量 1 151 mm,多年平均气温 16.3℃。年无霜期 275 d,多年平均水面蒸发量 1 034 mm(E601),多年平均相对湿度 78%,多年平均风速 2.1 m/s,最大风速 20 m/s。

清水河水利枢纽工程位于云南省文山州北部,水库坝址位于清水江支流南丘河上,在丘北县天星乡平老村上游约 700 m,地理坐标为 104°22'30"E, 23°54'26"N,库区及枢纽建设区涉及丘北县、广南县和砚山县。清水河水利枢纽工程总库容为 1.264 亿 m³,电站共 3 台机组,总装机容量为 7.0 MW,多年平均发电量为 2 187 万 kW·h。输水线路水平投影干线总长 130.21 km,全线设 12 座泵站。利用已建的干龙潭等 7 座水库进行调节,以削减管道流量,并作为生活和工业事故备用工程。根据施工安排,本工程 2024 年水库下闸蓄水。工程总投资 499 099 万元,工程静态总投资为 495 974 万元,建设期融资利息 3 125 万元。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

对清水河水库陆生生态影响范围进行调查,通过收集评价范围内 2017 年卫星影像数据(Landsat TM/ETM/OLI 影像,分辨率 30 m),室内解译判读研究区植被覆盖及土地利用类型,并现场核实判读的正误率,获得研究区土地利用数据。研究区总面积为 21 117.77 hm²,土地利用类型根据现场调查并参考谢高地等^[19]生态系统分类可细分为针叶林地、灌木林地、灌草丛、水田、旱地、水体和建筑 7 类。旱地是研究区内分布面积最大的土地利用类型;针叶林地次之,其他依次为灌木林地、灌草丛、水田、建筑和水体等。依据水库淹没影响情况以及工程布置,最终确定水库下闸蓄水后(2024 年)土地利用类型变化情况。社会经济数据主要涉及研究区域的耕地产值,其数据主要来源于当地各个县的统计资料。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵

土地转移矩阵法是一种数学过程,脱胎于生态学中马尔可夫链。利用土地利用转移矩阵能详细地分析研究区内各用地类型变化的方向与土地利用变化的数量结构特征^[20-21],其优点是能同时表示某种土地利用类型的储存量和流动量,准确描述各种土地利用类型之间的相互转换情况,为定量分析土地利用转变提供基础数据。土地利用转移矩阵在土地利用变化研究中应用广泛,可以反映出研究区域土地类型的具体流向与各种土地利用类型的转入与转出面积。具体数学表达形式为:

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

式中: S_{ij} 代表研究初期(2017 年)土地利用类型 i 向研究末期(2024 年)土地利用类型 j 的转变量; S_{ii} 代表土地利用类型 i 保持不变的量; n 代表土地利用类型数。

2.2.2 生态系统服务价值

目前,关于生态系统服务价值估算可以大致分为基于单位服务功能价格方法(功能价值法)^[22-25]和基于单位面积价值当量因子法(当量因子法)^[6,8,19]两类。功能价值法是基于不同生态系统所提供的服务功能及其功能单价进行计算,其输入参数较多,计算过程也较复杂,而且功能单价的确定标准难以统一,造成其估算结果差异较大。当量因子法是基于谢高

地等^[9]提出的生态系统服务价值当量因子表,结合当量因子的经济价值(1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年研究区平均粮食单产市场价值的 1/7)计算生态系统服务价值系数。相对于功能价值法而言,当量因子法具有方法简单、数据直观、计算便捷等优点,应用较广泛。基于谢高地等通过改进提出的“单位面积生态系统服务价值当量因子”^[19],结合研究区实际情况计算生态系统服务价值系数,并应用 Costanza 等制定的生态系统服务价值模型,最终对研究区内生态系统服务价值进行评估。

1) 生态系统服务价值当量因子

研究区内涉及 5 个一级生态系统类型和 7 个二级生态系统,对应单位面积生态系统服务价值当量分别确定本区域内各个生态系统服务价值当量因子^[19]。Costanza 等认为建设用地生态系统服务价值为 0,实际上建设用地通过影响其他因素也具有一定的生态服务功能,因此研究将建设用地等同于裸地确定其当量因子。

2) 生态系统服务价值系数

研究区涉及云南省文山州丘北县、广南县和砚山县,根据市场调查,各县统计文献及《云南省国土资源厅关于公告实施<云南省十五个州(市)征地补偿标准>(修订)的通知》,研究区种植农作物主要为水稻和玉米,经济作物主要为三七、辣椒和烟草。丘北县耕地统一产值 20 910 元/hm²,砚山县 23 715 元/hm²,广南县 15 210 元/hm²,计算研究区单位面积当量因子的经济价值可取 2 849 元/hm²,进而得到生态系统服务价值系数(表 1)。

表 1 研究区生态系统服务价值系数
Tab.1 Value coefficient of ecosystem services in the research area 元/(hm²·a)

生态系统服务		农田		林地		草地	水域	建设用地
		旱地	水田	针叶	灌木	灌草丛	水系	建筑
供给服务	粮食生产	2421.59	3874.54	626.76	541.30	1082.59	2279.14	0
	原料生产	1139.57	256.40	1481.44	1225.04	1595.40	655.25	0
	水资源供给	56.98	-7492.68	769.21	626.76	883.17	23617.62	0
调节服务	气体调节	1908.78	3162.31	4843.18	4016.99	5612.39	2193.68	56.98
	气候调节	1025.61	1623.89	14444.07	12050.97	14842.92	6524.05	0
	净化环境	284.89	484.32	4244.90	3646.63	4900.16	15811.55	284.89
	水文调节	769.21	7749.09	9515.42	9543.91	10882.91	291274.46	85.47
支持服务	土壤保持	2934.40	28.49	5868.79	4900.16	6837.43	2649.50	56.98
	维持养分循环	341.87	541.30	455.83	370.36	512.81	199.43	0
	生物多样性	370.36	598.28	5355.99	4472.82	6210.66	7264.77	56.98
文化服务	美学景观	170.94	256.40	2336.12	1965.76	2734.97	5384.48	28.49

3) 生态系统服务价值模型

利用 Costanza 等学者提出的生态系统服务价值分析模型计算研究区生态系统服务价值(ESV),其公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum_{f=1}^m (A_{fi} \times VC_{fi}) \quad (3)$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务总价值; A_i 为 i 类土地利用类型面积; VC_i 为 i 类土地利用类型生态系统服务价值系数; ESV_f 为 i 类土地利用类型 f 类生态系统服务价值; A_{fi} 为 f 类生态系统功能 i 类土地利用类型面积; VC_{fi} 为 f 类生态系统功能 i 类土地利用类型生态系统服务价值系数; n 为土地类型数量; m 为生态系统类型数量。

2.2.3 生态系统服务价值敏感性

由于采用生物群系替代土地利用类型具有不确定性,为验证研究区生态系统服务价值系数(VC)的精确性以及生态系统服务价值(ESV)对其依赖程度。借助经济学中弹性理论,采用敏感性系数(CS)来分析研究区生态系统服务价值对生态系统服务价值系数的敏感程度,其公式^[26-27]为:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{fi} - VC_{fi}) / VC_{fi}} \right| \quad (4)$$

式中:CS 为敏感性指数;ESV 为生态系统服务总价值;VC 为生态系统服务价值系数; i 和 j 分别代表初始价值和生态系统服务价值系数调整后的价值; f 为某种生态系统功能。

生态系统服务价值敏感性指数计算方法为将各类生态系统服务价值系数上下变动 50%,用于验证生态系统服务总价值敏感性指数的变化情况; $CS > 1$,说明某种土地利用类型的 ESV 有弹性,生态系统服务价值系数准确度较低,其变化将会引起研究区 ESV 发生变化,CS 越大,则生态系统服务价值系数准确度对 ESV 影响程度越大; $CS < 1$,说明 ESV 缺乏弹性,研究结果具有稳健性,生态系统服务价值系数的准确性较高,对生态系统服务价值的估算越准确。

2.2.4 生态系统服务权衡与协同

采用相关分析法分析 2017—2024 年研究区内各个生态系统服务功能的权衡和协同关系,如果相关系数为正值且通过 0.05 水平的显著性检验,则表示生态系统服务功能之间为协同关系,反之,当相关系数为负值且通过 0.05 水平的显著性检验,则表示生态系统服务功能之间为权衡关系^[28-30]。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用结构

研究区总面积为 21 117.77 hm^2 ,土地利用类型主要包括针叶林地、灌木林地、灌草丛、水田、旱地、水体和建筑 7 类。研究区 2017—2024 年土地利用类型并未发生显著变化,旱地依旧是主要的土地利用类型,生态系统总体格局并未发生改变,但是水体和建筑面积相对于工程施工前有所增加,这与工程施工后水库的蓄水、水利枢纽建设、移民安置点以及输水线路泵站等建筑物有关(图 1)。

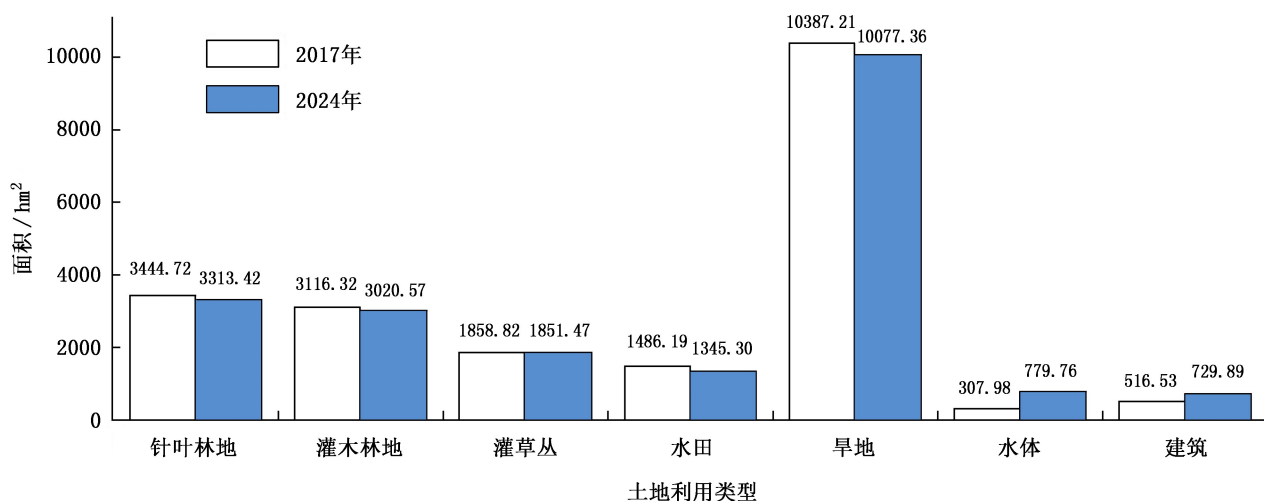


图 1 工程建设前后研究区土地类型

Fig. 1 Land types in the research area before and after project construction

3.1.2 土地利用变化程度

根据土地利用转移矩阵可以看出(表 2),工程建设过程中研究区各土地利用类型间均出现了不同程度的相互转化,主要是从旱地、水田和针叶林地在水体和建筑转移。旱地总失去量 309.85 hm²,其中转为水体 175.11 hm²,转为建筑 134.74 hm²;水田总失去量 140.89 hm²,其中转为水体 122.52 hm²,转为建筑 18.37 hm²;针叶林地总失去量 131.30 hm²,其

中转为水体 84.14 hm²,转为建筑 47.16 hm²。这主要因为水田和旱地主要分布在清水河两岸,水库蓄水淹没造成这部分土地永久转移为水体,而建筑物为避免大量开挖回填,一般会选择较为平坦区域布置,造成旱地被永久征收占用。另外,通过土地利用转移矩阵还可以看出,研究区水体表现为净转入特征,建筑为转入与转出交叉特征,其余土地类型为净转出特征。

表 2 研究区土地利用类型转移矩阵
Tab. 2 Transfer matrix of land use types in the research area

土地利用类型		2024 年							合计	失去量
		针叶林地	灌木林地	灌草丛	水田	旱地	水体	建筑		
2017 年	针叶林地	3313.42					84.14	47.16	3444.72	131.30
	灌木林地		3020.57				52.22	43.53	3116.32	95.75
	灌草丛			1851.47			7.35		1858.82	7.35
	水田				1345.30		122.52	18.37	1486.19	140.89
	旱地					10077.36	175.11	134.74	10387.21	309.85
	水体						307.98		307.98	
	建筑						30.44	486.09	516.53	30.44
合计		3313.42	3020.57	1851.47	1345.30	10077.36	779.76	729.89	21117.77	715.58
获得量							471.78	243.80	715.58	

分析水库下闸蓄水后(2024 年)研究区土地变化程度可以看出,与 2017 年相比,研究区内水体面积变化最剧烈,其面积增加 471.78 hm²,增长率为 153.18%;其次为建筑,其面积增加 213.36 hm²,增长率为 41.31%;其余土地类型均为减少趋势,但减少的数量有限,对整个研究区生态系统并未构成较大影响(图 2)。

3.2 生态系统服务价值分析

根据研究区土地利用类型以及生态系统服务价值模型可以计算出清水河水库 2017—2024 年生态系统服务价值总价值及其变化情况。从土地利用类型和生态系统功能类型两方面对研究区生态系统服务总价值进行分析。

3.2.1 土地利用类型

研究区 2017—2024 年生态系统服务总价值为增长趋势,增长量为 15 272.75 万元,增长率为 23.24%。2017 年研究区生态系统服务总价值为 65 709.09 万元,其价值结构排序为林地(46.74%)>农田(20.57%)>水域(16.77%)>草地(15.87%)>建设用地(0.05%);2024 年水库下闸蓄水后,研究区生

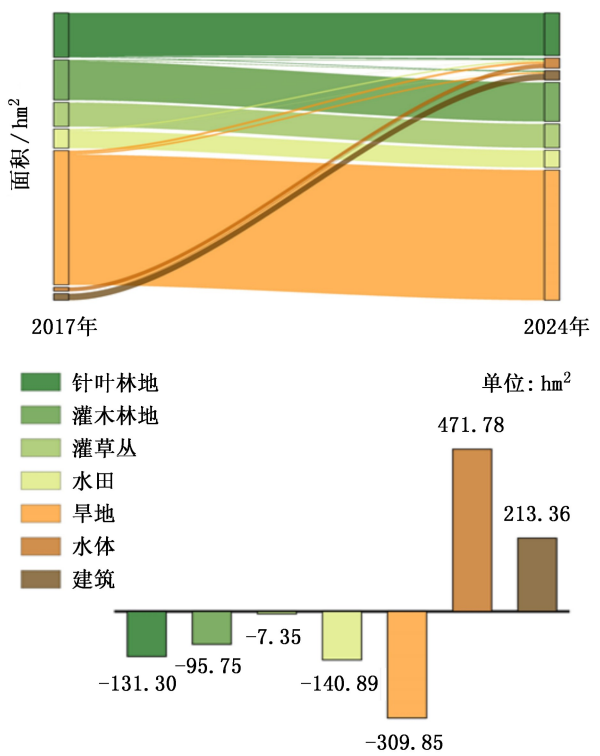


图 2 研究区土地变化程度
Fig. 2 Degree of land change in the research area

态系统服务总价值为 80 981. 84 万元,其价值结构排序为林地 (36. 60%) > 水域 (34. 46%) > 农田 (16. 06%) > 草地 (12. 83%) > 建设用地 (0. 05%) (表 3)。

表 3 研究区不同土地类型生态系统服务价值

Tab. 3 Ecosystem services value of different land types in the research area

生态系统分类		2017 年		2024 年		2017—2024 年	
一级生态系统	二级生态系统	ESV/万元	贡献率/%	ESV/万元	贡献率/%	ESV/万元	变化率/%
农田	旱地	11866. 87	18. 06	11512. 86	14. 22	-354. 01	-2. 98
	水田	1647. 10	2. 51	1490. 94	1. 84	-156. 16	-9. 48
林地	针叶林地	17203. 96	26. 18	16548. 22	20. 43	-655. 74	-3. 81
	灌木林地	13512. 90	20. 56	13097. 73	16. 17	-415. 17	-3. 07
草地	灌草丛	10427. 38	15. 87	10386. 14	12. 83	-41. 24	-0. 40
水域	水系	11021. 46	16. 77	27904. 36	34. 46	16882. 90	153. 18
建设用地	建筑	29. 42	0. 05	41. 59	0. 05	12. 17	41. 37
合计		65709. 09	100. 00	80981. 84	100. 00	15272. 75	23. 24

虽然水库工程建设造成水域和建设用地面积扩大,林地和农田面积减少,但是研究区林地生态系统服务价值仍占有相当重要的地位,所以在工程建设和管理中,要加强林地保护,维持生态系统平衡。

3. 2. 2 生态系统功能类型

2017—2024 年研究区各项生态系统功能服务价值贡献率均不同程度降低,只有水资源供给功能和水文调节功能有所增加,这是由水库蓄水引起水域面积增加所致(图 3,表 4)。

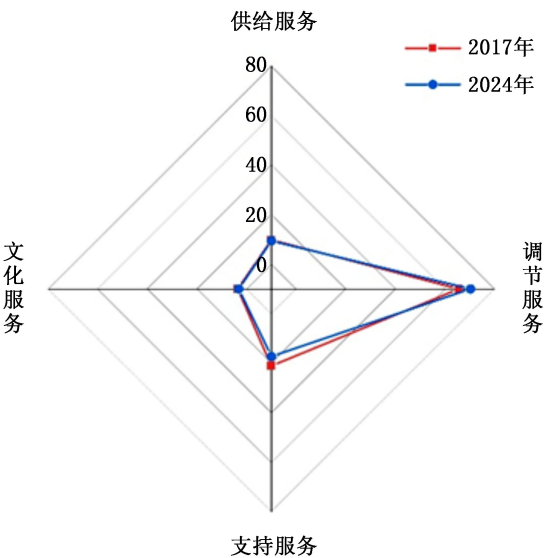


图 3 研究区不同生态系统功能服务价值贡献率

Fig. 3 Contribution rate of different ecosystem services value in the research area

表 4 研究区不同生态系统功能服务价值

Tab. 4 Different ecosystem services value in the research area

生态系统功能		2017 年		2024 年		贡献率变化 /%
		ESV /万元	贡献率 /%	ESV /万元	贡献率 /%	
供给服务	粮食生产	3747. 30	5. 70	3710. 99	4. 58	-1. 12
	原料生产	2430. 68	3. 70	2390. 31	2. 95	-0. 75
	水资源供给	297. 47	0. 45	1498. 75	1. 85	1. 40
	小计	6475. 45	9. 85	7600. 05	9. 38	-0. 47
调节服务	气体调节	6486. 73	9. 87	6381. 58	7. 88	-1. 99
	气候调节	12997. 99	19. 78	12935. 18	15. 97	-3. 81
	净化环境	4379. 20	6. 66	5021. 33	6. 20	-0. 46
	水文调节	19201. 15	29. 22	32587. 44	40. 24	11. 02
支持服务	小计	43065. 07	65. 53	56925. 53	70. 29	4. 76
	土壤保持	7956. 63	12. 11	7862. 51	9. 71	-2. 40
	维持养分循环	809. 47	1. 23	790. 75	0. 98	-0. 25
	生物多样性	5093. 74	7. 75	5300. 07	6. 54	-1. 21
文化服务	小计	13859. 84	21. 09	13953. 33	17. 23	-3. 86
	美学景观	2308. 73	3. 53	2502. 93	3. 10	-0. 43
合计		65709. 09	100. 00	80981. 84	100. 00	

水库工程项目实施可能会引起某些生态系统功能价值提升,但是对多数生态系统功能价值会有一些的负面影响,因此在水库工程项目前期策划和实施过程中,应充分论证,加强生态保护,尽量降低对生态系统的损失。

3.3 敏感性分析

2017—2024 年研究区生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)敏感性指数均小于 1,表明研究区内生态系统服务价值评估结果具有稳健性,各项生态系统服务价值系数(VC)的准确性较高。工程实施后,研究区各土地利用类型敏感性指数排序为:水域>林地>农田>草地>建设用地,说明生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)依赖程度逐渐降低(表 5)。

表 5 研究区生态系统服务价值敏感性
Tab. 5 Sensitivity of ecosystem service value in the research area

生态系统分类		2017 年	2024 年
一级生态系统	二级生态系统		
农田	旱地	0.0993	0.0765
	水田	0.0127	0.0093
林地	针叶林地	0.1506	0.1138
	灌木林地	0.1146	0.0880
草地	灌草丛	0.0862	0.0685
水域	水系	0.0915	0.2081
建设用地	建筑	0.0002	0.0003

表 6 研究区生态系统二级功能相关系数
Tab. 6 Correlation coefficient of ecosystem secondary functions in the research area

生态系统功能	A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	K
A	1										
B	0.873	1									
C	0.831	0.808	1								
D	0.904	0.921	0.893	1							
E	0.715	0.809	0.908	0.931	1						
F	0.849	0.807	0.995	0.920	0.928	1					
G	0.860	0.793	0.995	0.905	0.901	0.998	1				
H	0.832	0.979	0.872	0.949	0.907	0.874	0.854	1			
I	0.965	0.926	0.791	0.956	0.783	0.821	0.816	0.895	1		
G	0.821	0.819	0.985	0.937	0.963	0.994	0.985	0.896	0.822	1	
K	0.840	0.813	0.993	0.927	0.941	0.999	0.995	0.883	0.822	0.998	1

注:A~K 分别代表粮食生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观等生态功能。下同。

3.4 权衡与协同关系

通过相关分析可以发现研究区内生态系统功能之间具有显著的协同关系,在显著水平(5%)检验下,协同关系在研究区处于主导地位(图 4)。

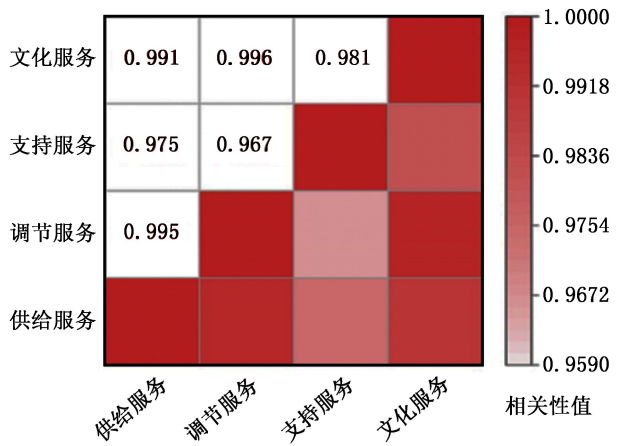


图 4 研究区生态系统一级功能相关性
Fig. 4 Correlation of ecosystem primary functions in the research area

根据相关系数可以看出不同的生态系统服务功能之间相关程度有所不同(表 6,图 5),粮食生产与气体调节、维持养分循环相关紧密;原料生产与气体调节、土壤保持、维持养分循环相关紧密;水资源供给与气体调节、土壤保持、维持养分循环相关较弱;气体调节仅与水资源供给相关较弱;气候调节与粮食生产、原料生产、维持养分循环相关较弱;净化环

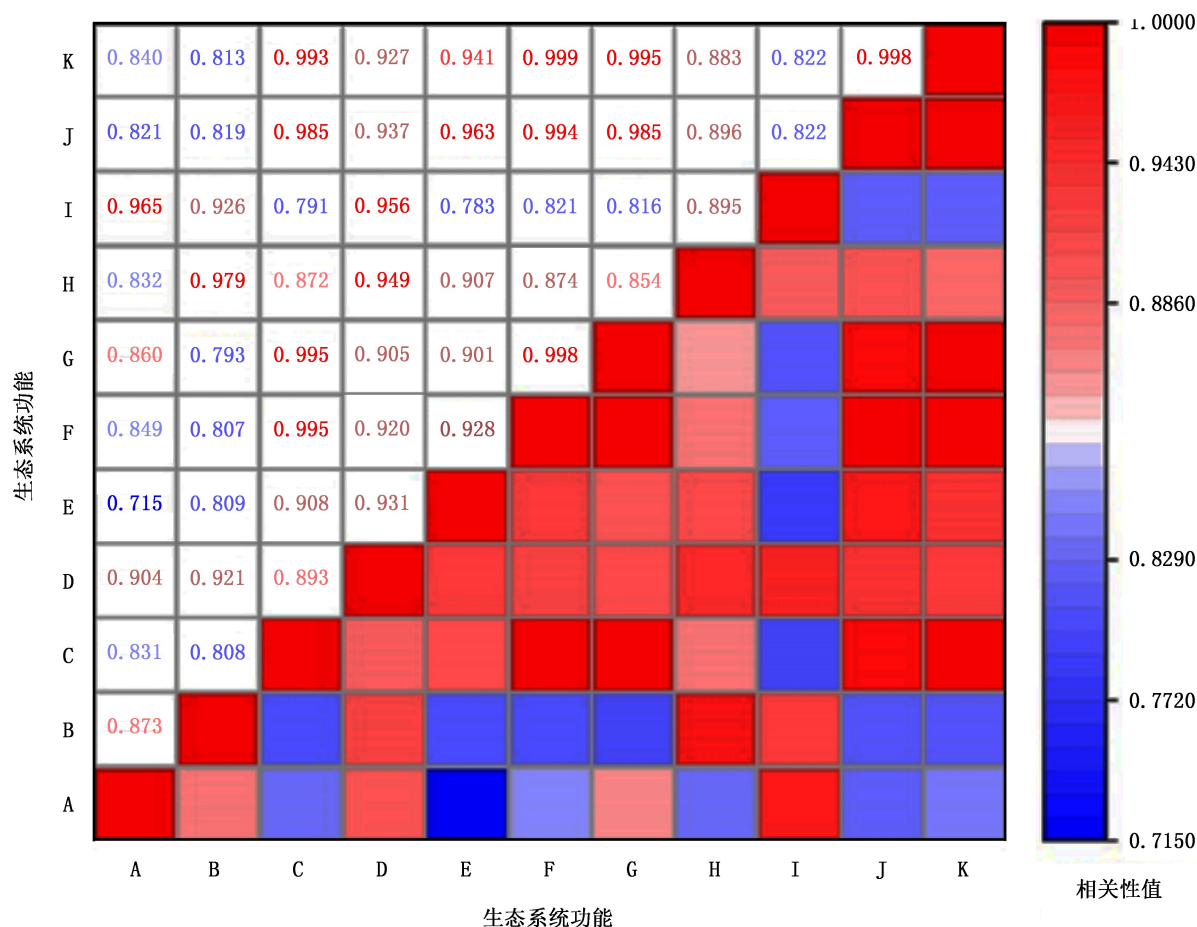


图 5 研究区生态系统二级功能相关性

Fig. 5 Correlation of ecosystem secondary functions in the research area

境与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱;水文调节与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱;土壤保持与原料生产、气体调节、气候调节相关紧密;维持养分循环与粮食生产、原料生产、气体调节相关紧密;生物多样性和美学景观与粮食生产、原料生产、土壤保持、维持养分循环相关较弱。

4 结论与讨论

1) 清水河水库实施后,研究区内土地利用类型并未发生显著变化,旱地依旧是主要的土地利用类型,生态系统总体格局并未发生改变。

2) 水库工程建设造成水域和建设用面积扩大,其他土地利用类型减少,但是研究区生态系统服务总价值呈上升趋势。研究期间林地生态系统服务价值占有相当重要的地位,水资源供给功能和水文调节功能价值有所提高,但工程建设对多数生态系统功能价值会有一定的负面影响,因此在生产建设

和管理中,要加强林地保护,尽量降低生态系统的损失,维持生态系统平衡。

3) 研究期内生态系统服务价值(ESV)对各项生态系统服务价值系数(VC)敏感性指数均小于1,表明研究区内生态系统服务价值评估结果具有稳健性。清水河水库下闸蓄水后,敏感性指数排序为:水域>林地>农田>草地>建设用地,因此水域生态系统服务价值的变化将会对研究区生态系统服务总价值产生较大影响。

4) 研究区内各种生态服务功能之间存在显著的协同关系,但不同生态系统功能之间相关程度有所差异。

生态系统服务价值受多种因素的影响,本研究得出的结果虽然具有一定的参考价值,但是在将来水库施工过程中生态系统会处于一个动态变化中,各种因素也会发生动态变化,对最后的分析结果造成一定的影响,后续将会考虑其他影响生态系统服务价值的因素,以便使估算结果更加准确。

参考文献:

- [1] DAILY G C. The value of nature and the nature of value [J]. Science, 2000, 289(5478):395-396.
- [2] EGOH B, ROUGET M, REYERS B, et al. Integrating ecosystem services into conservation assessment: A review [J]. Ecological Economics, 2007, 63:714-721.
- [3] LAUTENBACH S, KUGEL C, LAUSCH A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data [J]. Ecological Indicators, 2011, 11: 676-687.
- [4] WAINGER L A, KING D M, MACK R N, et al. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? [J]. Ecological Economics, 2010, 69:978-987.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [6] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值 [J]. 资源科学, 2015, 37(9):1740-1746.
- [7] COSTANZA R, DARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [8] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3):10-13.
- [9] 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, 18(2):189-195.
- [10] 刘春腊, 刘卫东, 徐美. 基于生态价值当量的中国省域生态补偿额度研究 [J]. 资源科学, 2014, 36(1):148-155.
- [11] 张乐勤, 荣慧芳, 曹先河. 两种森林生态系统价值评估方法实证评述 [J]. 水土保持通报, 2011, 31(1):169-174.
- [12] 于媛, 李明玉, 韩旭龙, 等. 边境地区景观格局演变及生态系统服务价值响应 [J]. 水土保持研究, 2021, 28(1):315-322.
- [13] 董会忠, 姚孟超. 成渝经济区土地利用变化对生态系统服务价值的影响 [J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 213-220.
- [14] 汤姚楠, 王佳, 周伟奇. 城市生态系统服务价值评估方法体系探索 [J]. 林业经济, 2020, 3(4):27-38.
- [15] 张辰, 易扬, 孙浩. 典型山区土地利用及生态系统服务价值变化 [J]. 亚热带水土保持, 2020, 32(4):9-18.
- [16] 吴健生, 岳新欣, 秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建 [J]. 地理研究, 2017, 36(3):429-440.
- [17] 周子靖, 姜文达, 史作琦, 等. 东南沿海土地利用转型的生态服务价值研究 [J]. 水土保持通报, 2020, 40(2):308-316.
- [18] 黄艳霞, 梁志鑫, 王玉杰, 等. 生态服务价值当量法的适用性研究 [J]. 中国水土保持, 2020(1):43-47.
- [19] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(8):1243-1254.
- [20] 肖红克, 李洪忠, 王莉, 等. 粤港澳大湾区土地利用及生态系统服务价值的变化 [J]. 水土保持研究, 2020, 27(1):290-297.
- [21] 周增荣, 黄金良, 周培. 土地利用系统转移分析方法及其应用 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2012, 7(4):28-38.
- [22] 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, 18(4):443-452.
- [23] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价 [J]. 生态学报, 2004, 24(6):1101-1110.
- [24] 王景升, 李文华, 任青山, 等. 西藏森林生态系统服务价值 [J]. 自然资源学报, 2007, 22(5):831-841.
- [25] 王兵, 鲁绍伟. 中国经济林生态系统服务价值评估 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(2):417-425.
- [26] 林静雅, 朱颖. 基于 Costanza 模型的苏州湿地生态服务价值评估 [J]. 中国城市林业, 2019, 17(1):47-51.
- [27] 刘玉卿, 彭俊, 宋晓谕. 张掖市甘临高地区生态系统服务价值变化及其敏感性分析 [J]. 西北师范大学学报 (自然科学版), 2014, 50(3):106-111.
- [28] 刘海, 武靖, 陈晓玲. 丹江口水源区生态系统服务时空变化及权衡协同关系 [J]. 生态学报, 2018, 38(13):4609-4624.
- [29] JOPKE C, KREYLING J, MAES J, et al. Interactions among ecosystem services across Europe: Bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns [J]. Ecological Indicators, 2015, 49:46-52.
- [30] 郑德凤, 郝帅, 吕乐婷, 等. 三江源国家公园生态系统服务时空变化及权衡协同关系 [J]. 地理研究, 2020, 39(1):64-78.

责任编辑: 杨焱熔