

基于 LUCC 的汤浦水库流域生态价值变化过程研究

李奇宸¹, 王敏¹, 万甜¹, 施练东², 程文¹

(1. 西安理工大学 西安理工大学省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 绍兴市汤浦水库有限公司, 浙江 上虞 312364)

摘要: [目的] 探究水库开发建设及管理活动对汤浦水库流域土地利用及生态环境效应的影响, 为水库地水库污染防治及运行管理提供参考。[方法] 通过 ENVI 遥感解译水库流域从建库前至今 5 个不同时期的土地利用状况, 分析水库流域 LUCC 转移矩阵和生态价值指数, 并基于 ArcGIS 空间分析, 对流域内主要污染监测控制区进行识别, 同时对水库流域内现有居民搬迁后流域生态价值指数变化趋势进行预测。[结果] 流域主要 LUCC 表现为林地—草地—林地; 近 20 a 流域生态价值指数呈 N 字形趋势, 在 2008 年达到最高, 流域中部山地林区的生态价值指数高于其他区域且生态价值较为稳定; 流域重点监控区应设在沿 S212 省道东西走向一段及王坛镇区域; 逐步实施流域生态搬迁以后, 流域相对生态价值指数上升趋势先慢后快。搬迁地的生态价值指数由 0.015 增加至 0.081, 相应的, 全流域的生态价值指数提高 11.2%。[结论] 水库流域近 20 a 生态环境保护良好, 退耕还林工程的实施以及人类活动是影响水源地水库保护区生境质量变化的主要原因。

关键词: 汤浦水库流域; LUCC 转移矩阵; 生态价值指数; 水库监测; 生态移民

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)04-0184-06

中图分类号: X87, F301

文献参数: 李奇宸, 王敏, 万甜, 等. 基于 LUCC 的汤浦水库流域生态价值变化过程研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4):184-189. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.029; Li Qichen, Wang Min, Wan Tian, et al. Change process of ecological value of Tangpu reservoir basin based on LUCC[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4):184-189.

Change Process of Ecological Value of Tangpu Reservoir Basin Based on LUCC

Li Qichen¹, Wang Min¹, Wan Tian¹, Shi Liandong², Cheng Wen¹

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Shaoxing Tangpu Reservoir Co., Ltd., Shangyu, Zhejiang 312364, China)

Abstract: [Objective] The impacts of Tangpu reservoir development and management activities on watershed land use and eco-environmental effects were studied in order to provide reference for pollution prevention and operation management of water source reservoirs. [Methods] Through ENVI remote sensing interpretation of the land use status of the reservoir basin in five different periods, the LUCC transfer matrix and ecological value index of the reservoir basin were analyzed. Based on the spatial analysis of ArcGIS, the main pollution monitoring and control areas in the basin were identified, and the trend of the ecological value index of the basin after the relocation of existing residents in the reservoir basin was predicted. [Results] The main LUCC in the basin was forest land-grassland-forest land; the ecological value index of the basin in the past 20 years showed an "N" shape trend, which reached the highest in 2008; The ecological value index of mountainous forest areas in the basin was higher than other areas and the ecological value was relatively stable; The key monitoring area of the basin should be located along the east-west section of the S212 provincial road and the area of Wangtan Town, after the implementation of the ecological resettlement of the basin, the relative

收稿日期: 2019-04-02

修回日期: 2019-04-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“曝气充氧对黑臭河道沉积物—水界面扩散边界层影响机理及生态效应研究”(51809211), “好氧生物流化床流体力学特性对水处理效果的影响机理研究”(51679192), “城市河道水体中典型 PPCPs 的光降解特征及作用机制研究”(2018M633548), “渭河陕西段水环境特征及水质演变过程分析”(2016slkj-10); 中国博士后科学基金项目(2018M633548); 陕西省水利科技项目(2016slkj-10)

第一作者: 李奇宸(1995—), 女(满族), 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向为流域生态环境遥感研究。E-mail: 418502955@qq.com。

通讯作者: 王敏(1984—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 讲师, 主要从事河流湖泊水污染控制与生态修复研究。E-mail: wangmin@xaut.edu.cn。

ecological value index of the basin would increase slowly then quickly. The ecological value index of relocation increased from 0.015 to 0.084 and the ratio of whole basin increased 11.2%. [Conclusion] The reservoir had been in good ecological environment for nearly 20 years. The implementation of the project of returning farmland to forests and human activities were the main reasons affecting the changes in habitat quality of reservoirs in water source areas.

Keywords: Tangpu reservoir basin; LUCC transfer matrix; ecological value index; reservoir monitoring; ecological migration

人类活动是影响地表形态和土地利用类型变化的主要原因,进而直接或间接影响着全球和区域生态环境有关要素的改变,对生物多样性及生态系统的结构和功能也会造成重要影响^[1-2]。在社会发展过程中,各类水利工程的建设在防止洪涝灾害、农业灌溉、城镇供水、水力发电、水产养殖及发展旅游等发挥了重大作用^[3-4],但于此同时,水库尤其是大型水库的建设深刻改变流域的天然形貌,对流域生态环境也产生了重要影响。水库建成后水域面积增加,导致库区周围小气候环境改变,植被分布状况也会随之改变,生态系统结构也会与原始状况有所差别^[5-6];此外,库区水域面积的扩大,其它土地面积就会减少,流域内原始状态下土地利用格局就会随之改变,而且随着水库管理的日益严格,流域内的居民区、工业区也会逐步搬迁,流域内城镇建设用地、工业用地及耕地会进一步减少,土地利用格局的变化也会更加显著^[7-8]。作为重要的生态环境要素,流域土地利用类型的改变势必引起流域生态环境变化。为探讨水库建设所引起的流域生态环境的变化,刘冰等^[9]基于土地类型变化状况对南湾湖污染源进行解析并研究了其生态价值;赵明月等^[10]基于土地利用类型对水府庙水库流域生态安全进行了评价,研究了生态调控措施。近年来随着空间技术和地理信息技术的快速发展及应用,利用遥感影像统计分析土地覆被/利用变化(land use and land cover change, LUCC),研究流域LUCC的时空演变、驱动力分析、情景模拟和预测以及生态环境价值(效应)评价等,是当前流域生态环境问题研究的热点^[11-14]。但针对饮用水水库建设前后及运行管理期土地利用变化和生态效应的研究较少。因此,本文基于1998—2018年共5期遥感影像数据,对一水源地水库LUCC时空变化进行定量分析,从土地利用类型的转移和生态价值指数的变化等方面评价水库流域各阶段生态效应;基于GIS缓冲区分析和空间叠加分析,划分水源地水库流域污染监控区;并在此基础上研究流域内居民搬迁方案,模拟预测逐步实施居民搬迁计划后,流域生态价值指数变化趋势。为该流域生态环境保护及水源地水库管理与供水安全的保障提供参考。

1 研究区概况

汤浦水库位于浙江省绍兴市汤浦镇,兴建于1997年12月,总库容 $2.35 \times 10^9 \text{ m}^3$,水面面积 14 km^2 ,多年平均径流量 $11.6 \text{ m}^3/\text{s}$,设计日供水规模达 $1.00 \times 10^6 \text{ t}$,属国家大(II)型水库。为虞绍平原170万人解决生活、生产用水问题。水库流域位于会稽山脉东南部,属浙东低山丘陵区。地理坐标为东经 $120^\circ 24' - 120^\circ 55'$,北纬 $29^\circ 30' - 29^\circ 57'$ 之间。研究区东西长 30.8 km ,南北宽 32.6 km ,土地面积 460 km^2 ,地势西南高东北低,处于亚热带季风气候,平均气温 $16.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 、流域多年平均降水量 1564.4 mm ,3月、6月、9月为多雨季,枯水期一般为10月到次年2月之间。流域土壤种类以红壤、黄壤、黄棕壤为主。主要植被为乔木层,马尾松为优势种。东面G104国道、G329国道位于西北,中间S212省道穿过研究区。上游流域设定为饮用水水源二级保护区、涉及到6个乡镇,85个行政村,人口约12万。

2 数据来源与处理

研究区土地利用变化数据主要来源于1998、2003和2008年的Landsat TM影像,以及2013年、2018年的Landsat 8影像数据。为了避免季节、天气等影响,选取同一季节相近月份、无云质量较好影像作为源数据。通过ENVI 5.3对遥感影像的辐射校正、大气校正、图像融合、图像剪裁等预处理,最大似然法监督分类与NDVI的非监督分类相结合的方式划分土地利用^[15]。再经过小斑块去除、聚类处理等分类后处理,并对分类结果进行精度验证,其Kappa系数均达到允许判别0.7的要求。利用中科院资源环境信息数据库发布的2004年1:100000土地利用现状图;1:5万土壤图和1:5万植被图为辅数据,以及实地调查对土地利用类型进行修正。最终得到汤浦水库流域1998—2018年共5期土地利用图。土地利用分类采用中科院资源环境信息数据库的6类分类法,将土地利用与类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地6个类型。

3 研究方法

3.1 土地利用/覆盖类型转移矩阵

通过计算 k 时期与 $k+1$ 时期的不同土地利用类型之间的转换情况求得的二维矩阵,能够描述利用类型之间在不同时相时的面积变化和转移方向,了解变化的总体趋势和土地利用的结构变化。转移矩阵使用的是马尔科夫模型,其不仅可以定量的表示类型之间的转化情况,同时还能揭示类型之间的转移速率^[16]。

$$C_{ij} = A_{ij}^k \times 10 + A_{ij}^{k+1} \quad (1)$$

(土地利用类型 < 10 时适用)

式中: C_{ij} —— k 时期到 $k+1$ 时期的土地利用转移变化 (km^2); A_{ij}^k —— k 时期 i 种土地利用类型转移成为 $k+1$ 时期 j 种土地利用类型的面积 (km^2)。

3.2 面积净变化指数

分析同一土地利用类型面积随时间尺度的净变化指数^[17]。计算公式为:

表 1 研究区不同土地利用类型的相对生态价值

元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
对应的生态系统	农田	森林	草地	水体和湿地	荒漠	荒漠
相对生态价值 EVI	0.316	1	0.331	0.782	0.035	0.015

其中,由于研究区水体内部物种构成较为简单,生态结构较为单一,实际上的生态服务功能应该低于林地,其赋值相应降低^[16]。

生态价值指数 EVI 是综合考虑该土地利用类型的相对生态价值和该类型在研究区域内的面积比,定量的表示出该研究区在某一时间参数下的生态环境质量的总体状况,其数学表达式为^[22]:

$$EVI_i = V_i S_i, \quad EVI = \sum_{i=1}^n EVI_i \quad (3)$$

式中: EVI_i ——第 i 种土地利用类型的生态价值指数; S_i ——第 i 种土地利用类型在该时期所占总研究区面积的面积比; EVI ——总研究区在该时期的生态价值指数; n ——土地利用类型的数量。

3.4 缓冲区分析与空间叠加分析

利用 GIS 缓冲区分析,参考《饮用水水源保护区划分技术规范(HJ338-2018)》对保护区的划分并结合库区实际空间分布,将研究区流域划分为Ⅲ级监控区域,为大Ⅱ型饮用水水库——汤浦水库库区管理提供直观的流域监控范围和梯度,以便监控资源的合理分配。其中距水库库区 500 m 范围内作为Ⅰ级监控区,2 000 m 范围内作为Ⅱ级监控区。流入水库的河流水质是影响水库水质的主要原因之一,因此将主要河流两岸 200 m 范围内划分为Ⅰ级监控区,2 000 m 范围

$$N_i^k = \frac{S_i^{k+1} - S_i^k}{S_i^k} \times 100\% \quad (2)$$

式中: N_i^k —— k 时期第 i 种土地利用类型的净变化指数; S_i^k —— k 时期第 i 种土地利用类型的面积 (km^2); S_i^{k+1} —— $k+1$ 时期第 i 种土地利用类型的面积 (km^2)。

3.3 生态价值指数(ecological value index, EVI)

生态服务价值是指经济社会体直接或间接从生态系统得到的利益,主要包括向社会体提供的有价值的物质和能量;接纳和转化来自社会体的废弃物;为人类直接提供的(干净的空气、舒适的环境)服务^[18]。区域生态服务的价值会因为区域土地利用的生态进程和服务间的相互作用产生影响^[19]。相对生态价值指数参照谢高地^[20]等提出的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”之间的比例关系,并结合研究区实际情况进行调整确定,进行研究区生态效应评估^[21-22](表 1)。

内划分为Ⅱ级监控区,流域其他地区作为Ⅲ级监控区。结合建筑用地、耕地在研究区的分布,利用 GIS 空间叠加三级监控区域分析,按建筑用地与耕地所在位置对水库进库河流水质可能造成的影响大小先后搬迁,为水库流域中滞留的 12 万人提供三期搬迁规划;将Ⅰ级监控区内的建筑用地、耕地等作为一期搬迁,依次类推。

4 结果与分析

4.1 土地利用/覆盖动态变化度量标准

利用汤浦水库流域 1998—2018 年这 20 a 间共 5 期的土地利用分类结果,从土地利用类型相互转换的面积和速率等方面分析其变化。

由 1998 和 2018 年的土地利用分类结果计算得该流域 20 a 来 LUCC 转移矩阵(表 2)。由表 2 可以看出 1998 年和 2018 年研究区的主要利用类型都是林地和草地,分别占总研究区面积的 60% 和 25% 以上;相比较来说 2018 年的草地面积比 1998 年上涨了 2.8%,约 12.96 km^2 ,林地总体面积下降了 3.9%,约 17.37 km^2 ,其中有 16.2% 的草地由林地转化而来,约 47.65 km^2 ,主要集中在研究区西南部位;研究区内林地与草地的相互转换为 LUCC 的主要转换类型;由于水库蓄水的原因,水域面积增加 9.78 km^2 ,主要由耕地

和草地转移而来,其中耕地占 36.1%、草地占 40.1%;建设用地区与未利用地面积没有较大变化,但其中居民

用地位置由分散转变为集中,主要聚集地为水库库区的西南面(王坛镇)和库区东南面(古来镇)。

表 2 汤浦水库流域 1998—2018 年土地利用类型转移矩阵

km²

土地利用类型	2018 年面积						
	耕地	林地	水域	建设用地	草地	未利用地	土地利用
耕地	11.95	0.60	0.04	1.36	6.30	0.07	20.09
林地	0.36	244.24	0.02	0.71	31.59	0.02	276.99
水域	3.80	0.53	0.48	1.03	4.22	0.74	10.53
1998 年 建设用地	3.28	0.87	0.13	9.24	3.24	0.17	16.80
草地	5.53	47.65	0.06	4.51	70.29	0.30	129.52
未利用地	0.33	0.47	0.01	0.10	0.92	0.06	1.46
土地利用	25.25	294.36	0.75	16.95	116.56	1.36	0.00
总转移面积	-5.16	-17.37	9.78	-0.15	12.96	0.09	0.00

为进一步分析这 20 a 间的各土地利用类型之间的转变过程,由 1998,2003,2008,2013 和 2018 年这 5 个时段土地利用类型的面积净变化指数(图 1)可以得出,面积净变化指数最大的是 1998—2003 年的水域变化,是由于 1999 年水库蓄水的原因,指数变化达 12.28;2008—2013 年的建筑用地有一个显著的增长,指数达 1.10,但由于 1998—2008 年的建筑用地缓慢减少总体面积无较大变化,分析卫星遥感图得是由于村庄、小范围居民聚集地等面积减少,但乡镇、县等城市用地、道桥等交通用地增加导致;1998—2003 年居民地、耕地附近的未利用地多转移为耕地,后 2003—2013 年有部分草地、水域、林地转移为未利用地(多为遭到破坏的植被和库区水位下降形成的裸地),2013—2018 年靠近城镇的未利用地逐渐转移为建筑用地和草地,遂未利用地呈先减后增再减趋势;除林地与草地的相互转换,草地多向建筑用地(道桥)和耕地转变,其中草地转移为耕地约 6.30 km²,主要分布为居民地附近和沿道路用地(S212 省道)两边,转移为建设用地约 3.24 km²,主要集中在较大城镇周围。结合表 2 与图 1 分析研究区 LUCC 主要活跃区域为流域西南部,表现为 2008—2013 年流域西南部有大范围密林转变为疏林和草地、植被遭到破坏,后 2013—2018 年逐渐有小范围的恢复,但林地利用面积与 2008 年相比依然趋向于碎片化。经过现场调研和遥感影像推断,主要原因是 2010 年绍兴市遵照“十一五”规划,全面开展退耕还林政策,原研究区西南部种植有大面积茶园,为积极响应“十一五”规划,西南部位的茶园被“还林”为乔木树苗,但由于树苗才种植,枝叶还不繁茂、生态还未恢复,主要土地利用以稀疏草地为主,因此林地利用面积有所下降,2013—2018 年,退耕还林地区生态逐渐恢复,则林地利用面积缓慢回升,但树木还未成林,利用面积趋向于碎片化。

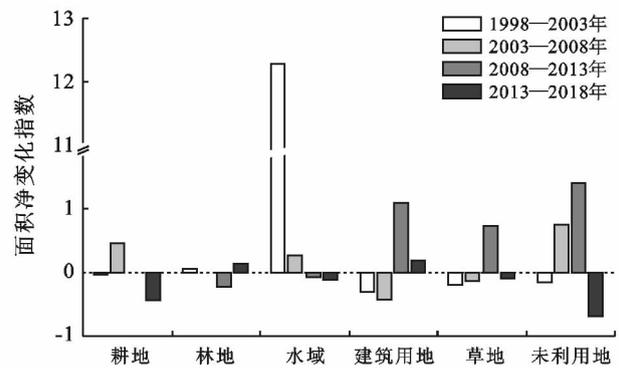


图 1 1998—2018 年汤浦水库流域土地利用面积净变化指数

4.2 土地利用/覆盖变化的生态环境效应分析

从图 2 分析研究区相对生态价值指数变化,1998—2018 年呈先升后降再升趋势(N 字形),2018 年相较 1998 年略降低了 4.1%,总指数最高为 2008 年(0.800),最低为 2013 年(0.688)。主要价值贡献类型为林地,2003 年最高贡献率 86.9%,2013 年最低为 78.1%,第二大贡献类型为草地,林地与草地贡献率占总指数的 93%以上,其总面积占比 85%以上;区域 EVI 波动最大为 2008—2013 年,下降 16.2%,其中因林地变化减少 28.9%;未利用地与建筑用地呈先减少后增加趋势,其 EVI 贡献率占总指数的 0.2%以下,对整体流域 EVI 变化无较大影响。结合土地利用分类图从空间分布角度分析,计算 5 期单位面积 EVI 均值,利用 GIS 自然断点法进行重分类。研究区 EVI 高值区(>0.75)主要集中在研究区中部山地、丘陵地区和研究区东北部水库库区;EVI 中值区(0.75~0.3)主要分布在研究区西南部,除林地之外有部分草地、耕地和疏林分布;EVI 低值区(<0.3)零星分布在研究区东部、东南、西部和库区西南部位,主要为居民地、道桥用地等。其中 1998—2018 年 EVI 高值区较为稳定;EVI 低值区呈中心向四周扩张

形小幅度增长;EVI 中值区较为活跃,主要分布在研究区西南、东南部,距离主要城镇距离较近、地势较为平缓、交通较为便利区域,随时间变化土地利用变化较大。需要注意的是生态价值指数是包含了研究时段的所有土地利用类型变化的综合指标,不同土地利用类型的改变所带来生态价值的影响也是不同的,生态环境的改善与退化两种趋势是并存的,不能因为总研究区生态价值指数的增加而忽略单个利用类型的贡献值减少,反之亦然。例如,2013—2018 年总流域的相对生态价值指数 EVI 增加 4.8%,而水域面积减少导致水域相对生态价值贡献量减少 1.1%,但由于林地面积增加生态价值贡献量增加 9.1%的幅度更大,所以总 EVI 值是增加的。

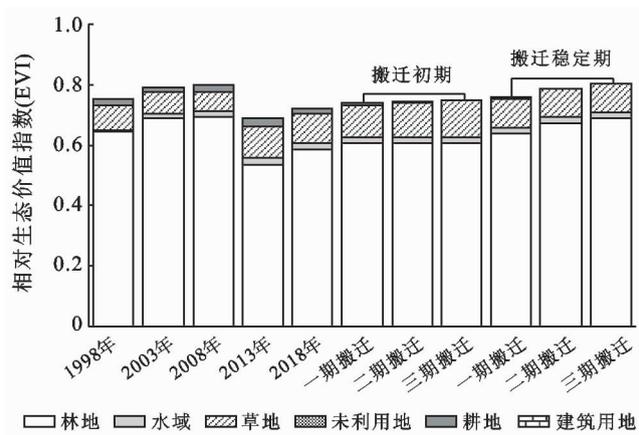


图 2 汤浦水库流域相对生态价值指数

4.3 水库流域监控区划分与搬迁生态效应预测

水库库区周围主要地貌为山地/林地,水库水质主要受入库河流的水质影响。流域内居民地生活污染和耕地农业面源污染作为影响河流水质主要污染源,主要沿河流两岸分布。对汤浦水库流域按照上文中的划分原则划分为三级监控区(如附图 1 所示)。研究区内共有三条主要入库河流,其中库区西北部河流径流量最小,Ⅰ级监控区内主要分布为耕地,居民地较少;研究区南部走向河流,沿两岸耕地面积较多,且经过较大城镇王坛镇;研究区中部东西走向河流径流量最大,部分与 S212 省道走向重合,沿途分布有较多的居民地,且从中间穿过位于Ⅰ级监控区的王坛镇后与南部走向河流汇流进入水库。从空间分布和近 20 a 的 LUCC 转移速率角度分析,主要环境污染重点监控区域应设在研究区中部(S212 省道东西走向段)和水库库区西南方向(王坛镇)方向,耕地、居民地面积逐年增大,且均位于Ⅰ级监控区、距离库区近、河流径流量大,防止居民生活污染以及耕地非点源污染水库水质。

通过 GIS 空间叠加三级流域监测区分析,结合水库管理目标,制定流域内生态移民搬迁计划,分三期实施:一期搬迁建设用地 6.91 km²,约占总建设用地 41.13%,主要为沿河两岸居民用地,其中王坛镇与研究区中部东西走向河流段两岸分布较多;二期搬迁 12.80 km²(含一期搬迁面积),约占 76.19%,此次沿河居民用地基本完成搬迁,包括研究区内三个主要城镇(王坛镇、古来镇、稽东镇);三期搬迁 16.80 km²,主要为流域内少量分布在研究区西南、西北部位的分散居民,至此完成流域内全部居民搬迁;同时耕地面积分期转化量为 6.64 km²(一期)、16.93 km²(二期)和 20.09 km²(三期),占流域耕地总面积 33.05%,84.27%和 100%,搬迁位置分布与搬迁居民地的位置分布基本一致。利用区域生态价值指数模型,对搬迁后因 LUCC 导致的流域 EVI 变化进行预测,结果如附图 1 所示。参照研究区流域西南部 2008—2018 年茶园退耕还林区域生态演变的规律,模拟流域内搬迁后土地利用变化状况:搬迁初期(<5 a),搬迁地土地利用逐步由建设用地/耕地转变为草地和疏林;搬迁稳定期(>5 a)土地利用类型逐步由草地/疏林向林地转变。通过分别计算搬迁地在搬迁前、搬迁初期和搬迁稳定期的生态价值指数可知移民搬迁对区域价值指数的影响。对搬迁地而言,移民搬迁计划实施前搬迁地的耕地和建设用地生态价值指数贡献量共为 0.015,搬迁初期(耕地和建设用地转变为草地)生态价值指数为 0.027,较搬迁前增加了 76.1%;搬迁稳定期(耕地和建设用地转变为林地)生态价值指数为 0.081,较搬迁初期增加了 202.1%,搬迁后生态价值共增加了 0.066,是原生态价值指数的 4.3 倍。对全流域而言,由于草地的相对生态价值指数略高于耕地,在搬迁初期(<5 a)流域相对生态价值呈缓慢上升趋势,由搬迁前(2018 年)0.721 增长至 0.747。到搬迁稳定期(>5 a),搬迁地的生态环境完全恢复,土地利用类型由草地转变为林地,区域相对生态价值指数有较大提升,由 0.747 增长至 0.802,且搬迁稳定期生态价值指数增长速率提高,是搬迁前的 3.06 倍,流域总生态价值指数比搬迁之前增加了 11.2%。搬迁稳定期林地面积共增加 36.89 km²,占总流域面积 68.9%,对流域内相对生态价值指数贡献量增加 17.6%。

5 结论

(1) 汤浦水库流域近 20 a 土地利用类型以林地为主,林地与草地的相互转换为研究区 LUCC 的主要转换类型,人为因素是土地利用类型变化主要驱动力;研究区 LUCC 主要活跃区域为流域西南部,表现

为林地—草地—林地变化。

(2) 1998—2018年流域生态价值指数均呈N字形变化。区域相对生态价值指数高为2008年(0.800),最低为2013年(0.688)。

(3) EVI高值区主要位于研究区中部山地林区和水库库区,EVI低值区零星分布在研究区东部、东南、西部和库区西南部位,主要为建设用地和未利用地。

(4) 流域内环境污染重点监控区应设在研究区中部沿S212省道东西走向段和库区西南角王坛镇方向;

(5) 依据流域Ⅲ级监控区划分,逐步实施库区生态搬迁移民后,共将减少建设用地16.80 km²,耕地20.09 km²;因此,搬迁地的生态价值指数由0.015增加至0.081,全流域的生态价值指数由0.721增加至0.802,提高了11.2%。

[参 考 文 献]

- [1] Raju R, Zhang Y, Basanta P, et al. Land use and land cover dynamics and assessing the ecosystem service values in the Trans-Boundary Gandaki River basin, Central Himalayas[J]. Sustainability, 2018,10(52):3052-3074.
- [2] Wang Xuechao, Dong Xiaobin, Liu Huiming, et al. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: A case study of the Manas River basin of Xinjiang, China[J]. Ecosystem Services, 2017,27:113-123.
- [3] 王行斌. 水库建设过程中生态修复与水土保持生态分析研究[J]. 环境与发展, 2018,30(2):143-144.
- [4] Yu Zhilei, Qin Tianling, Yan Dengming, et al. The impact on the ecosystem services value of the ecological shelter zone reconstruction in the upper reaches basin of the Yangtze River in China[J]. Public Health, 2018,15(10):2273-2292.
- [5] 杨新文. 水库建设对生态环境的影响分析[J]. 科技与创新, 2014(1):147-147.
- [6] 童笑笑,陈春娣,吴胜军,等. 三峡库区澎溪河消落带植物群落分布格局及生境影响[J]. 生态学报, 2018,38(2):571-580.
- [7] 汤傅佳,黄震方,徐冬,等. 水库型旅游地生态安全时空分异及其关键影响因子分析:以溧阳市天目湖为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018,27(5):1114-1123.
- [8] 田锡文,王新军,卡迪罗夫 K G,等. 近40年凯拉库姆库区土地利用/覆盖变化及景观格局分析[J]. 农业工程学报, 2014,30(6):232-241.
- [9] 刘冰,樊勇,李清飞,等. 基于土地类型的水库污染源解析及生态价值研究[J]. 环境科学与技术, 2017,40(2):31-38.
- [10] 赵明月. 基于土地利用的水府庙水库流域生态安全评价与生态调控研究[D]. 辽宁 大连:辽宁师范大学, 2015.
- [11] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1997, 25(1):3-15.
- [12] Rwanga S S, Ndambuki J M. Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS [J]. International Journal of Geosciences, 2017,8(4):611-622.
- [13] 田鹏,史小丽,李加林,等. 杭州市土地利用变化及生态风险评价[J]. 水土保持通报, 2018,38(4):280-287.
- [14] 范丽娟,田广星. 1995—2015年上海市土地利用及其景观格局变化[J]. 水土保持通报, 2018,38(1):287-292.
- [15] 廖顺宝,岳艳琳. 基于时序NDVI图谱库提高土地覆盖分类精度的方法[J]. 农业工程学报, 2018,34(7):241-248.
- [16] 彭建,王仰麟,张源,等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应:以云南省永胜县为例[J]. 地理学报, 2004,59(4):629-638.
- [17] 马倩. 新疆甘家湖湿地土地利用变化及其生态环境效应[J]. 干旱区资源与环境, 2012,26(1):189-193.
- [18] 四川省统计局. 四川省统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2003.
- [19] 王成,魏朝富,邵景安,等. 区域生态服务价值对土地利用变化的响应:以重庆市沙坪坝区为例[J]. 应用生态学报, 2006,17(8):1485-1489.
- [20] 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):189-196.
- [21] ZHAO Zhilong, WU Xue, ZHANG Yili, et al. Assessment of changes in the value of ecosystem services in the Koshi River basin, Central High Himalayas based on land cover changes and the CA-Markov model [J]. 资源与生态学报:英文版, 2017,8(1):67-76.
- [22] 万利,孙丽慧,谭靖,等. 北京郊区土地利用变化及其生态效应研究[J]. 水土保持研究, 2015,22(5):92-99.