

抚仙湖流域土地利用变化及其生态系统生产总值影响

赵筱青, 苗培培, 普军伟, 李思楠, 王茜, 谭琨, 卢飞飞, 易琦

(云南大学 资源环境与地球科学学院, 昆明 650000)

摘要:为了研究抚仙湖流域土地利用变化对其生态系统生产总值产生的影响。基于 2005 年、2010 年、2015 年抚仙湖流域 3 期遥感影像数据,采用 ArcGIS 技术,生态价值评估方法,分析了 2005 年、2010 年、2015 年抚仙湖流域土地利用变化对生态系统生产总值时空变化的影响。结果表明:(1)近 10 年流域土地利用结构以水域、耕地和林地为主。建设用地和林地面积呈持续增加的趋势,耕地、草地持续减少,水域面积基本保持不变,耕地向建设用地和林地转移;(2)时间上,土地利用变化使抚仙湖流域生态系统生产总值呈逐年上升趋势。2005 年、2010 年、2015 年生态系统生产总值分别为 193 252.63 万元、283 174.04 万元和 513 769.28 万元。空间上,近 10 年单位面积生态系统生产总值在空间上由湖泊向外围区域逐渐增加,湖泊北部、南部供给服务价值增加最多,右所镇北部、湖泊西部、路居镇南部调节服务价值增加较为明显,而文化服务价值沿湖泊周边逐渐增加;(3)流域生态系统生产总值以生态系统供给服务价值为主,分别占生态系统生产总值的 47.61%,55.22%,53.55%,调节服务价值分别占生态系统生产总值的 33.49%,21.76%,12.24%,而文化服务价值最少,分别占生态系统生产总值的 18.90%,23.02%,34.21%。其中,生态系统供给服务价值以 2005 年和 2010 年的贡献最大,到 2015 年逐渐减少。生态系统的调节服务价值则逐渐降低。生态系统的文化服务价值比例较小,但逐年增加;(4)从不同的生态系统类型来看,各价值增量体现为林地>耕地>草地>水域>建设用地,其中林地、耕地的价值增量最大,而草地、水域、建设用地价值增量较少。

关键词:土地利用变化;生态系统生产总值;时空变化;抚仙湖流域

中图分类号:F301.24;X196

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0291-09

Land Use Change and Its Impact on the Gross Ecosystem Product in Fuxian Lake Basin

ZHAO Xiaoqing, MIAO Peipei, PU Junwei, LI Sinan, WANG Qian, TAN Kun, LU Feifei, YI Qi
(College of Resources, Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650000, China)

Abstract: In order to study the impact of land use change on the gross ecosystem product (GEP) in the Fuxian Lake Basin, based on the interpretation data of the three remote sensing images of Fuxian Lake Basin in 2005, 2010 and 2015, the land use change of Fuxian Lake Basin in 2005, 2010 and 2015 was analyzed by using ArcGIS technology and ecological value assessment method. The results showed that: (1) the land use structure of the basin in the past decade was dominated by water body, cultivated land and forestland; the areas of construction land and forestland continue to increase, the cultivated land and grassland continue to decrease, the water area remains basically unchanged, and the cultivated land was transferred to construction land and forestland; (2) land use changes made the ecosystem production value of Fuxian Lake Basin increase year by year in terms of the time scale; in 2005, 2010 and 2015, the total ecosystem production value was 1 932.526 3 million yuan, 2 831.740 4 million yuan and 5 137.692 8 million yuan, respectively; in terms of space, the total GEP per unit area in the past ten years had gradually increased from the lake to the peripheral area, and the values of supply services in the northern and southern parts of the lake had increased the most, the value of regulating services in the north of the right town, the western part of the lake, and the southern

收稿日期:2019-04-18

修回日期:2019-05-06

资助项目:云南省科技厅—云南大学联合基金[2018FY001(-017)];云南大学一流学科—地理学学科建设项目(C176210215;C176210103);云南省教育厅科学研究资助项目(2018Y001)

第一作者:赵筱青(1969—),女,云南大理人,博士,教授,主要从事土地利用/覆被变化的生态环境效应与景观生态安全格局研究。E-mail: xqzhao@ynu.edu.cn

通信作者:易琦(1966—),男,云南开远人,硕士,副教授,主要从事水资源利用与保护、水循环与地表产流过程、城市环境研究。E-mail: yiqi@ynu.edu.cn

part of the road had increased; it was more obvious, and the values of cultural services gradually increased along the periphery of the lake; (3) the total GEP of the Fuxian Lake Basin was mainly based on the supply value of ecosystem products, accounting for 47.61%, 55.22% and 53.55% of the total GEP, respectively; the values of regulated services accounted for 33.49%, 21.76% and 12.24% of the total ecosystem production, respectively, while the value of cultural services was the least, accounting for 18.90%, 23.02% and 34.21% of the total ecosystem production, respectively; Among them, the values of ecosystem supply services were the largest in 2005 and 2010, and gradually decreased by 2015; the value of the regulation service of the ecosystem gradually reduced; the proportion of cultural service value of ecosystems was small, but it increased year by year; (4) from the perspective of different ecosystem types, the value increments decreased in the order: forest land > cultivated land > grassland > water area > construction land, and the values of forestland and cultivated land increased while the values of grassland, water body and construction land increased less.

Keywords: land use change; gross ecosystem product; time and space change; Fuxian Lake watershed

近年来,国家在区域发展战略上将具有重要生态服务功能的区域规划为重点生态功能区,旨在加强生态保护,保障生态系统服务功能的持续性。重点生态功能区生态系统提供的产品和服务对当地及周边地区人类福祉产生深远的影响^[1]。党的十八大提出把生态文明建设放在突出地位,把生态、资源、环境纳入经济社会发展评价体系,在进行评估生态保护成效时,选用生态系统生产总值(GEP)作为考核指标,评估当地生态资产与生态系统服务功能的变化;党的十九大报告中把“坚持人与自然和谐共生”作为新时代坚持和发展中国特色社会主义的基本方略之一,将“统筹山水林田湖草系统治理”纳入其中,并指出人与自然是生命共同体,提出“人与自然和谐共生的现代化”要求,这表明了生态文明建设在最高层决策者中间成为了重要考量因素。在此背景下我国学者欧阳志云等^[2]提出“生态系统生产总值”概念,即生态系统为人类提供的产品与最终服务价值的总和,包括产品供给价值、调节服务价值、文化服务价值 3 类^[3],通过建立国家或区域 GEP 的核算制度,评估人类从生态系统获得的效益如气候调节、水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、污染物净化等,并将生态产品与服务转化为经济价值的形式,来衡量和展示生态系统的状况及其变化。因此研究与建立一个独立的核算生态系统为人类提供产品与服务的方法与体系,是当前社会各界广泛关注的热点。研究开展以生态效益为基础的生态系统生产总值核算,可以考核政府在生态保护、恢复和管理所取得的成效,明确生态环境效益关键区域,为揭示区域生态系统为人类福祉和经济社会发展贡献提供了新的手段。

抚仙湖流域自 2007 年起政府实施《云南省抚仙湖保护条例》^[4],采取“一退耕、二调优、三保护”战略

思想,2014 年抚仙湖实施“四退三还”保护政策后,土地利用发生很大变化,必然对区域的生态功能产生很大影响。研究从 2005 年、2010 年、2015 年 3 个时段,分析土地利用变化及其对生态系统生产总值^[5]产生影响,研究结果对保护政策的制定和完善提供参考,为抚仙湖流域生态文明建设提供一定的理论依据。流域位于云南省玉溪市境内,居滇中盆地中心,其中流域跨澄江、华宁两县和江川一区,地理位置为 102°39′—103°00′N,24°13′—24°46′E。流域属中亚热带半湿润季风气候,常年平均气温 15.5℃,年降雨量 800~1 100 mm,全年 80%~90% 的雨量集中在 5—10 月份的雨季。地形以高原、丘陵地貌为主,土壤类型以红壤为主,植被以云南松林、华山松针叶林为主,其次是禾草灌丛及石灰岩灌丛。森林和湖泊是抚仙湖流域两个主要的生态系统类型。研究区总面积 672.78 km²,共有 42 个行政村。2015 年末总人口 165 940 万人,农村人口占总人口的 68.25%^[6]。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

抚仙湖流域 2005 年、2010 年、2015 年土地利用现状图由目视解译 Landsat 遥感影像得到;产品统计资料和旅游收入数据主要来源于玉溪市统计局、林业局、水务局、旅游局等部门;气象数据来源于中国气象数据网。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用变化研究方法 采用土地利用类型面积绝对值变化量、土地类型转移来反映流域的土地利用变化情况;应用土地利用动态度分析土地利用类型的动态变化,反映区域土地利用/覆盖中土地利用类型的变化剧烈程度;运用马尔柯夫转移矩阵等分析

方法,对土地利用转移进行分析。

1.2.2 生态系统生产总值研究方法 结合抚仙湖流域生态系统特征、结构和生态过程的特点,以生态系统服务功能价值核算的理论和方法为基础,将抚仙湖流域生态系统的 GEP 核算分为生态系统产品供给服务价值、调节服务价值和文化服务价值 3 大类 12 项功能指标(表 1)。

(1) 生态系统产品供给服务价值。生态系统产品供给服务是指流域生态系统为人类提供的最终产品。研究区核算的产品有农业产品、林业产品、畜牧业产品、渔业产品以及水电。运用市场价值法^[7-8]对以上产品的价值进行评估。研究以 2005 年、2010 年、2015 年农林牧渔水电净产值作为研究区生态系统给人们提供的产品供给服务的价值。

(2) 生态系统调节服务价值。生态系统调节服

务是形成与维持人类生存和发展的条件^[9],包括气候调节、水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、固碳释氧、水质净化 6 个方面(表 2)。

表 1 抚仙湖流域生态系统生产总值核算方法

| 核算项目 | 核算指标 | 价值量评估方法 |
|--------|-------|---|
| 产品供给服务 | 农业产品 | 市场价值法 |
| | 林业产品 | |
| | 畜牧业产品 | |
| | 渔业产品 | |
| 调节服务 | 水电 | 替代工程法 替代成本法 工业制氧、造林成本法 替代成本法 影子工程法 防治费用法 |
| | 水源涵养 | |
| | 土壤保持 | |
| | 固碳释氧 | |
| | 气候调节 | |
| | 洪水调蓄 | |
| 文化服务 | 水质净化 | 旅游费用法 |
| | 景观游憩 | |

表 2 生态系统调节服务价值核算

| 核算功能 | 功能 | 价值 | 公式 | 公式说明 |
|----------|---|-----------|---|---|
| 土壤保持功能价值 | 土壤保持价值从减少泥沙淤积和保持土壤肥力的价值两个方面进行评估 ^[10] | 减少泥沙淤积的价值 | $V_a = \lambda \times \frac{A_q}{\rho} \times C$ | 式中: V_a 为减少泥沙淤积价值(元/a); A_q 为土壤保持量(t/a) ^[11] ; C 为水库清淤工程费用(元/ m^3) ^[12] ; ρ 为土壤容重 ^[13-14] (t/m^3); λ 为泥沙淤积系数 ^[15] |
| | | 保持土壤肥力的价值 | $E_f = \sum_i A_q \times C_i \times S_i \times P_i$ | 式中: E_f 为土壤肥力的经济效益(元/a); A_q 为单位面积上的年土壤保持量(t/a); C_i 为土壤氮,磷,钾的元素含量(%) ^[16] ; S_i 为折算后的化肥系数 ^[17-18] ; P_i 为市场价格(元/t)($i = N, P, K$) |
| 水源涵养功能价值 | 研究水源涵养的总价值为森林、农田水源涵养价值之和 ^[19] | 水源涵养功能价值 | $W = W_f + W_a$ $E_w = W \times P$ | 式中: W 为区域内总的水源涵养量(m^3); W_f 为森林生态系统水源涵养量(m^3); W_a 为农田生态系统水源涵养的物质质量(m^3); E_w 为水源涵养总价值量(元/a); P 为建设单位库容的投资价格[元/($m^3 \cdot a$)] |
| 洪水储蓄功能价值 | 选用湖泊、水库总的可调节洪水量表征研究区洪水调蓄服务的功能量 ^[20] | 洪水储蓄功能价值 | $C_t = E^{6.636} \times A^{0.678} \times T$ $C_r = C_t \times 0.35$ $V_t = (C_t + C_r) \times P_w$ | 式中: C_t 为湖泊洪水调蓄能力(万 m^3/a); $E^{6.636}$ 为常量, $E^{6.636} = e^{6.636}$; A 为湖泊总面积(km^2); T 为湖泊换水次数(次),取值 1, C_r 为水库洪水调蓄能力(万 m^3/a); C_t 为水库总库容(万 m^3/a); V_t 为洪水调蓄价值(元/a); P_w 为水库单位库容的工程造价(元/ m^3) |
| 气体调节价值 | 固碳量和释氧量 ^[21] 可以通过固碳速率、植被净初级生产力(NPP) ^[22] 计算 | 气体调节价值 | $E_{CO_2} = NPP \times 1.63 \times R_{CO_2} \times P_{CO_2}$ $E_{O_2} = NPP \times 1.2 \times P_{O_2}$ | 式中: E_{CO_2} 为植被年固碳价值(元/a); NPP 为净初级生产力($g C/m^3$), 1.63 为计算系数; R_{CO_2} 为 CO_2 中碳的含量为 27.27%; E_{O_2} 为植被年释氧(元/a), 1.2 为计算系数; P_{O_2} 产氧价格和 P_{CO_2} 固氮价格分别为为 352.93, 71.15 元/t, 根据《森林生态系统服务功能评估规范》确定 |
| 水质净化功能价值 | 研究区生态系统对 COD 和氨氮净化能的价值 ^[23] | 水质净化功能价值 | $V = Q_i \times \rho$ | 式中: V 为水质净化价值(t/万元); Q_i 为排放量(万 t)($i = COD$ 或氨氮); ρ 为 COD 与氨氮处理的费用(元/t) |
| 气候调节功能价值 | 选用生态系统蒸腾蒸发消耗的能量作为研究区气候调节功能量的评价指标 ^[24] 。 | 气候调节功能价值 | $E_c = E_v + E_w$ $E_w = W_a \times E_p \times \beta \times P_c$ $E_v = (F_a + G_a) \times H_a \times \rho \times P_c \times A$ | 式中: E_c 为气候调节总价值量(万元); E_v 为植物蒸腾价值量(万元); E_w 为水面蒸发价值量(万元); F_a 为森林面积(km^2); G_a 为耕地面积(km^2); H_a 为单位绿地面积吸收的热量(kJ/km^2); ρ 为常数; P_c 为电价[元/($kW \cdot h$)]; A 为空调效能比。 W_a 为水体面积(m^2); E_p 为年平均蒸发量(m); β 为蒸发单位体积的水消耗的能量 |

(3) 生态系统文化服务价值。生态系统的文化服务功能是指人们通过精神感受、知识获取和消遣娱乐等体验从生态系统中获得的非物质利益。研究只考虑景观游憩的价值,运用旅行费用法,依据旅游总人次、旅游总收入等对抚仙湖流域景观游憩的价值进行评估。

2 结果与分析

2.1 抚仙湖流域土地利用变化研究

根据遥感解译得到 3 期抚仙湖流域土地利用

表 3 各土地利用类型的面积绝对变化量和变化速率

| 土地利用类型 | 面积/hm ² | | | 面积绝对变化量/hm ² | | | 土地利用变化速率/% | | |
|--------|--------------------|----------|----------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2005 年 | 2010 年 | 2015 年 | 2005—2010 年 | 2010—2015 年 | 2005—2015 年 | 2005—2010 年 | 2010—2015 年 | 2005—2015 年 |
| 耕地 | 16520.55 | 15544.87 | 15026.46 | -975.68 | -518.41 | -1494.09 | -5.90 | -3.33 | -9.04 |
| 水域 | 21762.69 | 21748.11 | 21693.68 | -14.58 | -54.43 | -69.01 | -0.06 | -0.25 | -0.31 |
| 草地 | 5388.87 | 5187.85 | 4912.53 | -201.02 | -275.32 | -476.34 | -3.73 | -5.31 | -8.84 |
| 林地 | 20856.17 | 21452.54 | 21969.32 | 596.37 | 516.78 | 1113.15 | 2.85 | 2.40 | 5.33 |
| 建设用地 | 2740.44 | 3344.35 | 3948.73 | 603.91 | 604.38 | 1208.29 | 22.03 | 18.07 | 44.09 |
| 总计 | 67277.72 | 67277.72 | 67277.72 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

流域综合土地利用动态度较高的区域为湖泊北岸、西岸中部以及湖泊周边。由于最近几年旅游业的大力发展,人们对抚仙湖湖泊周边的土地开发利用较为显著。在 2014 年政府出台保护湖泊政策后,后五年抚仙湖流域土地利用动态度高的区域少于前 5 年(图 1)。

从土地利用类型转移看,流域 2005—2015 年耕地转为其他用地类型最多,其他用地类型转为建设用地的面积最多。其中耕地面积转为林地面积为 912.48 hm²最多,耕地转为建设用地为 904.86 hm²,耕地面积减少较为明显。草地转建设用地 253.64 hm²,林地转为建设用地 456.19 hm²,建设用地面积增加显著(表 4)。

变化状况,计算各土地利用类型的面积绝对变化量和变化速率(表 3)。流域土地利用结构以水域、耕地、林地为主。由于城镇扩张和退耕还林政策,林地和建设用地面积呈持续增加的趋势,而耕地和草地呈不断减少趋势。2005—2015 年林地面积增加 1 113.15 hm²,建设用地面积增加 1 208.29 hm²;耕地、草地则持续减少,2005—2015 年耕地面积减少 1 494.09 hm²,草地面积减少 476.34 hm²。水域面积基本保持不变。

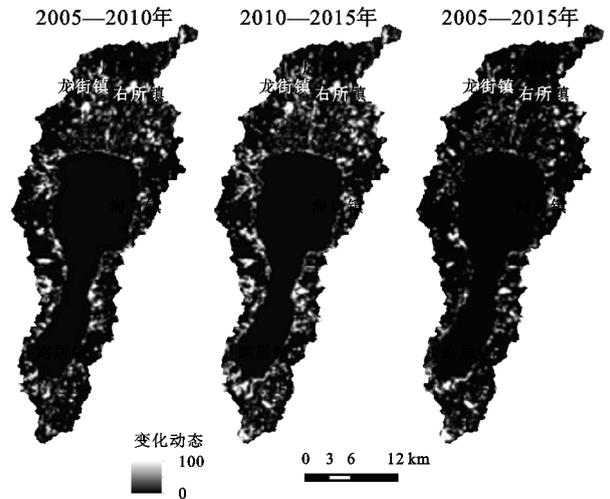


图 1 土地利用变化动态度

表 4 土地利用转移矩阵

| 土地利用类型 | 2015 年 | | | | | | 总计 |
|-----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----|
| | 草地 | 耕地 | 建设用地 | 林地 | 水域 | 总计 | |
| 2005 年 草地 | 4535.12 | 62.10 | 253.64 | 537.51 | 0.46 | 5388.86 | |
| 耕地 | 63.64 | 14627.73 | 904.86 | 912.48 | 11.81 | 16520.54 | |
| 建设用地 | 58.64 | 183.99 | 2304.91 | 172.73 | 20.15 | 2740.44 | |
| 林地 | 249.00 | 132.49 | 456.19 | 20017.70 | 8.83 | 20865.16 | |
| 水域 | 5.10 | 22.29 | 26.94 | 55.87 | 21652.40 | 21762.69 | |
| 总计 | 4912.52 | 15028.62 | 3946.57 | 21696.31 | 21693.67 | 67277.72 | |

从土地利用类型的空间格局变化看,流域 2005—2010 年由其他用地类型转变为建设用地主要分布在凤麓镇南部、右所镇的南部以及路居镇的北部,沿抚仙湖两岸水域转为建设用地较多,其他用地类型转变为林地主要在右所镇东部区域、流域的西部和路居镇的南部;2010—2015 年其他用地类型转变为建设用地主要分布在海口镇北部、凤麓镇的

西部以及路居镇的南部,其他用地类型转变为林地主要为路居镇的北部区域、流域西部。总之,耕地向建设用地转移、耕地向林地转移是抚仙湖流域的主要用地转移类型。

2.2 生态系统生产总值的时间变化特征

2.2.1 生态系统生产总值变化的总体特征 抚仙湖流域 2005—2015 年的生态系统生产总值呈逐年上升

趋势。其中,供给服务价值呈现上升趋势,从 2005 年的 92 021 万元上升到 2015 年的 275 136 万元;调节服务价值呈下降趋势,从 2005 年的 64 711.69 万元下

降到 2015 年的 62 847.94 万元,而文化服务价值呈现上升趋势,从 2005 年的 36 519.94 万元上升到 2015 年的 175 785.34 万元(表 5)。

表 5 抚仙湖流域生态系统生产总值变化

万元

| 核算项目 | 服务功能 | 核算指标 | 2005 年产值 | 2010 年产值 | 2015 年产值 | 2005—2010 年 价值变化量 | 2010—2015 年 价值变化量 | 2005—2015 年 价值变化量 |
|--------|----------|----------------|----------|-----------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 供给服务价值 | 种植业产品总值 | 粮食及其他作物蔬菜、园艺作物 | 69219.00 | 111338.00 | 179776.00 | 42119.00 | 68438.00 | 110557.00 |
| | 林业产品总值 | 林木培育、种植、竹木采运 | 674.00 | 1094 | 1547.00 | 420.00 | 453.00 | 873.00 |
| | 畜牧业产品总值 | 牛、羊、猪家禽 | 18899.00 | 37539 | 74303.00 | 18640.00 | 36764.00 | 55404.00 |
| | 渔业产品总值 | 鱼类、虾蟹类 | 1970.00 | 2578 | 5596.00 | 608.00 | 3018.00 | 3626.00 |
| | 水电值 | 水力发电量 | 1259.00 | 3846.20 | 13914.00 | 2587.2 | 10067.80 | 12655.00 |
| 合计 | 总值 | | 92021.00 | 156395.20 | 275136.00 | 64374.20 | 118740.80 | 183115.00 |
| 调节服务价值 | 土壤保持功能价值 | 土壤保持总价值 | 77.10 | 67.29 | 88.83 | -9.81 | 21.54 | 11.73 |
| | 水源涵养功能价值 | 森林、农田总价值 | 4731.59 | 3544.72 | 4492.12 | -1186.87 | 947.4 | -239.47 |
| | 洪水调蓄功能价值 | 湖泊、水库总价值 | 44725.03 | 44918.31 | 44328.73 | 193.28 | -589.58 | -396.30 |
| | 固碳释氧功能价值 | 固碳、产氧总价值 | 13745.03 | 11534.51 | 12412.80 | -2210.52 | 878.29 | -1332.23 |
| | 水质净化功能价值 | 净化 COD、氨氮总价值 | 426.01 | 495.99 | 522.48 | 69.98 | 26.49 | 96.47 |
| | 气候调节功能价值 | 植物蒸腾、水面蒸发总价值 | 1007.02 | 1006.02 | 1002.98 | -1.00 | -3.04 | -4.04 |
| | 合计 | 总值 | | 64711.69 | 61566.84 | 62847.94 | -3661.97 | 3118.74 |
| 文化服务价值 | 景观游憩 | 抚仙湖旅游年收入 | 36519.94 | 65212.00 | 175785.34 | 28693.00 | 110573.34 | 139265.70 |
| 合计 | 总值 | | 36519.94 | 65212.00 | 175785.34 | 28693.00 | 110573.34 | 139265.70 |

从不同的生态系统类型来看,2005—2015 年各价值增量大小依次为:林地>耕地>草地>水域>建设用地(表 6),其中林地、耕地的价值增量最大,草地、水域和建设用地次之,2005—2015 年林地总价值增加 140 436.41 万元,耕地总价值增加 108 574.16 万元,草地总价值增加 55 521.77 万元,水域总价值增加 15 972.16 万元,建设用地总价值增加 11.58 万元。

2.2.2 不同核算项目服务价值

(1) 生态系统产品供给服务价值。研究区生态系统产品供给服务总价值从 2005—2015 年增加较为明显(表 5)。2005—2015 年流域生态系统产品供给服务总价值增加 183 115 万元,其中农、林、牧、渔、水力发电产品价值分别增加 110 557 万元、873 万元、55 404 万元、3 626 万元、12 655 万元。虽然流域耕地面积在不断减少,但由于农业复种指数、种植花卉和烟叶用地不断增加,使得流域农业供给服务价值不断增加。退耕还林政策的实施,使得林地面积不断增加,林地供给服务价值不断增加。由于研究区经济的快速发展,畜牧业、渔业、水力发电产品价值不断增加。

(2) 生态系统调节服务价值。2005 年、2010 年、2015 年研究区生态系统土壤保持总价值呈现先减少后增加的趋势(表 5)。2005—2010 年生态系统土壤保持总价值减少 9.81 万元;2010—2015 年生态系统土壤保持总价值增加 21.54 万元;2005—2015 年生态系统土壤保持总价值减少 11.73 万元。从不同的生态系统类型来看,2005—2010 年期间耕地、草地的面积不断减

少,耕地、草地的土壤保持价值呈减少趋势,而 2010 年年均降雨量均小于 2005 年和 2015 年,使得 2010 年土壤保持价值持续减少,2010—2015 年林地面积的持续增加、年均降雨量的增加,使得 2010—2015 年土壤保持价值保持总体上升趋势(表 6)。

2005 年、2010 年、2015 年研究区生态系统水源涵养价值呈现先减少后增加的趋势(表 5)。2005—2010 年生态系统水源涵养价值减少 1 186.87 万元;2010—2015 年生态系统水源涵养价值增加 947.4 万元;2005—2015 年生态系统水源涵养价值减少 239.47 万元。研究区水源涵养价值主要为森林、农田土壤对雨水的拦截、渗透与储藏,而 2010 年年均降雨量均小于 2005 年和 2010 年,使得研究区生态系统水源涵养价值呈现先减少后增加的趋势。从不同的生态系统类型来看,其中林地生态系统的水源涵养价值大于农田(表 6)。

2005 年、2010 年、2015 年研究区生态系统洪水储蓄价值呈现先增加后减少的趋势,但整体趋势变化不大(表 5)。2005—2010 年生态系统洪水储蓄价值增加 193.28 万元;2010—2015 年生态系统洪水储蓄价值减少 589.58 万元;2005—2015 年生态系统洪水储蓄价值减少 396.30 万元。由于水域面积变化在不断减少,使得洪水储蓄价值在整体呈现减少趋势。从不同的生态系统类型来看,湖泊是抚仙湖流域生态系统的主要类型之一(表 6)。至 2015 年抚仙湖流域湖泊面积约占总面积的为 32%,抚仙湖流域广阔的水域生态系统具有巨大的洪水调蓄能力,为抚仙湖流域人民减免洪灾危害做出了巨大的贡献。

表 6 抚仙湖流域各生态系统类型总价值核算结果

万元

| 核算项目 | 核算内容 | 年份 | 总价值 | | | | |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-------|
| | | | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 |
| 供给服务 | 供给服务 | 2005 | 69219.00 | 674.00 | 18899.00 | 3229.00 | — |
| | | 2010 | 111338.00 | 1094.00 | 37539.00 | 6424.20 | — |
| | | 2015 | 179776.00 | 1547.00 | 74303.00 | 19510.00 | — |
| | 供给服务价值变化值 | 2005—2010 | 42119.00 | 420.00 | 18640.00 | 3195.20 | — |
| | | 2010—2015 | 68438.00 | 453.00 | 36764.00 | 13085.80 | — |
| | | 2005—2015 | 110557.00 | 873.00 | 55404.00 | 16281.00 | — |
| 土壤保持功能 | 土壤保持功能 | 2005 | 11.79 | 24.59 | 28.35 | 0.10 | 12.27 |
| | | 2010 | 9.79 | 21.80 | 24.9 | 0.07 | 10.73 |
| | | 2015 | 13.42 | 33.07 | 27.94 | 0.10 | 14.30 |
| | 土壤保持价值变化值 | 2005—2010 | -2.00 | -2.79 | -3.45 | -0.03 | -1.54 |
| | | 2010—2015 | 3.63 | 11.27 | 3.04 | 0.03 | 3.57 |
| | | 2005—2015 | 1.63 | 8.48 | -0.41 | 0 | 2.03 |
| 洪水调蓄 | 洪水调蓄 | 2005 | — | — | — | 44725.03 | — |
| | | 2010 | — | — | — | 44918.31 | — |
| | | 2015 | — | — | — | 44328.73 | — |
| | 洪水调蓄价值变化值 | 2005—2010 | — | — | — | 193.28 | — |
| | | 2010—2015 | — | — | — | -589.58 | — |
| | | 2005—2015 | — | — | — | -396.30 | — |
| 固碳产氧 | 固碳产氧 | 2005 | 3975.00 | 9104.00 | 635.74 | 11.41 | 19.39 |
| | | 2010 | 2052.00 | 8902.13 | 543.00 | 11.25 | 26.13 |
| | | 2015 | 1988.09 | 9635.45 | 753.92 | 6.40 | 28.94 |
| | 固碳产氧价值变化值 | 2005—2010 | -1923.00 | -201.87 | -92.74 | -0.16 | 6.74 |
| | | 2010—2015 | -63.91 | 733.32 | 210.92 | -4.85 | 2.81 |
| | | 2005—2015 | -1986.91 | 531.45 | 118.18 | -5.01 | 9.55 |
| 水质净化 | 水质净化 | 2005 | — | — | — | 426.01 | — |
| | | 2010 | — | — | — | 495.99 | — |
| | | 2015 | — | — | — | 522.48 | — |
| | 水质净化价值变化值 | 2005—2010 | — | — | — | 69.98 | — |
| | | 2010—2015 | — | — | — | 26.49 | — |
| | | 2005—2015 | — | — | — | 96.47 | — |
| 气候调节 | 气候调节 | 2005 | 0.45 | 163.56 | + | 843.00 | — |
| | | 2010 | 0.42 | 165.60 | + | 840.00 | — |
| | | 2015 | 0.41 | 170.59 | + | 832.00 | — |
| | 气候调节价值变化值 | 2005—2010 | -0.03 | 2.04 | + | -3.00 | — |
| | | 2010—2015 | -0.01 | 4.99 | + | -8.00 | — |
| | | 2005—2015 | -0.04 | 7.03 | + | -11.00 | — |
| 水源涵养 | 水源涵养 | 2005 | 16.83 | 4714.76 | + | + | — |
| | | 2010 | 15.29 | 3529.43 | + | + | — |
| | | 2015 | 19.31 | 4472.81 | + | + | — |
| | 水源涵养价值变化值 | 2005—2010 | -1.54 | -1185.33 | + | + | — |
| | | 2010—2015 | 4.02 | 943.38 | + | + | — |
| | | 2005—2015 | 2.48 | -241.95 | + | + | — |
| 景观游憩 | 景观游憩 | 2005 | + | 36519.94 | + | + | + |
| | | 2010 | + | 65212.00 | + | + | + |
| | | 2015 | + | 175785.34 | + | + | + |
| | 文化服务变化值 | 2005—2010 | + | 28692.06 | + | + | + |
| | | 2010—2015 | + | 110573.34 | + | + | + |
| | | 2005—2015 | + | 139265.40 | + | + | + |

注：“+”代表具有该项服务功能但量少此次不纳入核算，“-”代表不具有该项服务功能。

2005年、2010年、2015年研究区生态系统固碳释氧价值呈现持续减少的趋势(表5)。2005—2015年生态系统气体固碳释氧调节价值减少1332.23万元。固碳释氧价值的影响因子有降雨、气温、太阳辐射强度、NDVI、人类活动等因素,研究区2010年年均降雨量、NDVI均低于2005年和2015年导致2010年固碳释氧价值低于2005年、2015年。从不同的生态系统类型来看,林地占其他生态系统类型主要地位。因受其他影响因子因素2005—2010年林地面积的增加短时间内并没有使林地价值增加而减少了201.87万元。而耕地和草地面积的减少使得耕地草地的价值随之减少(表6)。

2005年、2010年、2015年研究区生态系统水质净化价值呈现逐年上升的趋势(表5)。2005—2010年生态系统水质净化价值增加69.98万元;2010—2015年生态系统水质净化价值增加26.49万元;2005—2015年生态系统水质净化价值增加96.47万元。随着近几年研究区COD量、氨氮量排放的增加,使得水质净化价值呈现逐年上升的趋势(表6)。

2005年、2010年、2015年研究区生态系统气候调节价值呈现逐年下降的趋势(表5)。2005—2010年生态系统气候调节价值减少1万元;2010—2015年生态系统气候调节价值减少3.04万元;2005—2015年生态系统气候调节价值减少4.04万元。由于流域的水域面积呈现逐年下降的趋势,研究区生态系统气候调节价值也呈现逐年下降的趋势。从不同的生态系统类型来看,水域生态系统的气候调节占据主要地位,抚仙湖流域水域在气候调节上为人类提供巨大的福祉。由于退耕还林政策的实施,使得林地生态系统的气候调节不断增加(表6)。

(3) 生态系统文化服务价值。2005年、2010年、2015年研究区文化服务的价值呈逐年增加的趋势(表5)。2005—2010年生态系统文化服务价值增加28692.06万元;2010—2015年生态系统文化服务价值增加110573.34万元;2005—2015年生态系统文化服务价值增加139265.40万元。随着抚仙湖流域周边近几年大力发展旅游业,旅游景点、旅游人数、景点收入的增多,使得文化服务价值逐年增加。

2.3 生态系统生产总值的空间变化特征

2.3.1 单位面积生态系统生产总值空间变化 从图2可以看出,研究区单位面积生态系统生产总值空间变化呈以下特点:2005—2015年,单位面积生态系统生产总值在空间上基本呈整体增长趋势,分布由湖泊向外围区逐渐增加。虽然湖泊面积不断减少,但其使研究区在供给服务、调解服务、文化服务价值不断增加,使得其单

位面积生态系统生产总值增加。虽然湖泊周边建设用地面积不断增加,但其供给服务、文化服务基本不变,调解服务增加很少,使得单位面积生态系统生产总值变化不大,主要分布在路居镇、凤麓镇湖泊北部、海口镇北部;湖泊北部、南部为耕地,虽然耕地面积不断减少,但为研究区提供的农产品不断增加,使其单位面积生态系统生产总值不断增加。研究区外围多为草地、林地单位面积生态系统生产总值增加较为明显。

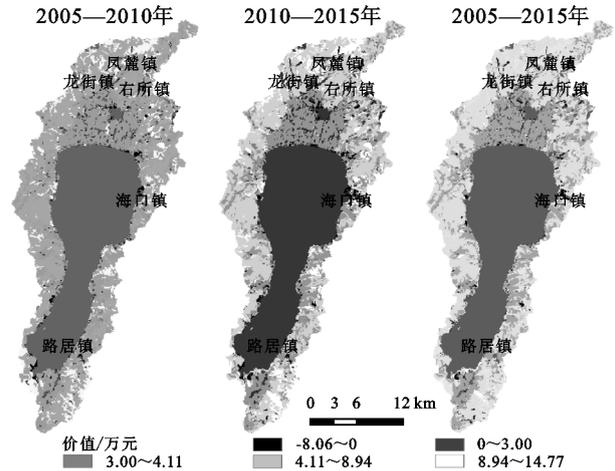


图2 单位面积生态系统服务价值总值空间变化

2.3.2 单位面积供给服务价值空间变化 由图3可以看出,研究区单位面积生态系统供给服务价值空间变化呈以下特点:2005—2015年,湖泊北部、南部的单位面积生态系统供给服务价值不断增加。因其大面积耕地提供了很多农产品。湖泊为生态系统提供了水产品、水力发电等,因湖泊面积变化不大,其供给服务变化不显著。

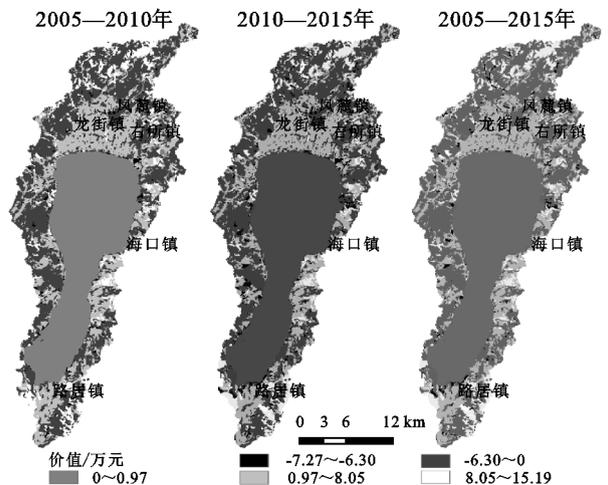


图3 单位面积供给服务价值空间变化

2.3.3 单位面积调节服务价值空间变化 由图4可以看出,研究区单位面积生态系统调节服务价值空间变化呈以下特点:(1) 2005—2015年,湖泊西部、南部和凤麓镇北部单位面积生态系统调节服务价值不断

减少。增加较为明显的是右所镇北部、路居镇南部, 这些区域均为其他用地类型转为林地(图 2), 林地面积不断增加, 使其价值不断增加。(2) 2005—2010 年, 因水源涵养价值、气候调节价值和固碳产氧价值不断减少, 整个流域单位面积生态系统调节服务价值不断减少, 湖泊东北部、西部有较少增加。(3) 2010—2015 年固碳产氧价值、水源涵养价值不断减少, 使得湖泊南部、东部单位面积生态系统调节服务价值不断减少。湖泊北部、南部有较少增加。

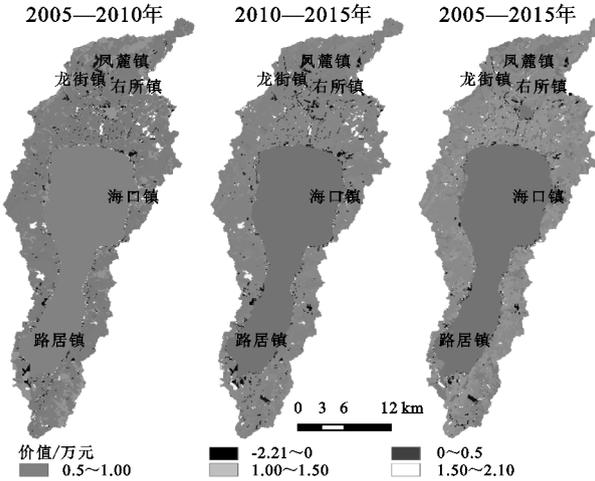


图 4 单位面积调节服务价值空间变化

2.3.4 单位面积文化服务价值空间变化 由图 5 可以看出, 研究区生态系统文化服务价值单位面积总值空间变化呈以下特点: 2005—2015 年, 生态系统文化服务价值单位面积总值空间分布基本沿湖泊周边呈逐渐增加的趋势且增加较为明显。因湖泊周边旅游景区的不断扩建、景点的不断增多, 湖泊周边的文化服务价值不断增加。

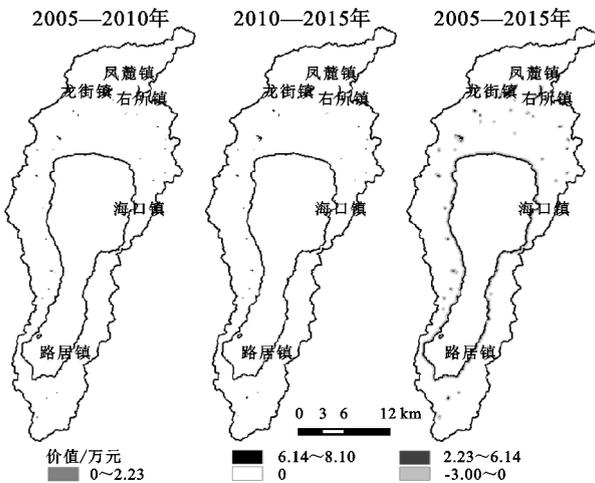


图 5 单位面积文化服务价值空间变化

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 从研究方法上看, 由于生态系统生产总值是

比较新的概念, 尽管已有个别区域开展了相关的探索与案例研究, 但尚未形成标准的核算体系和方法。多数学者将生态系统生产总值分为供给服务价值、调节服务价值、文化服务价值、支持服务价值^[24-26]。本研究以欧阳志云^[2]提出的生态系统生产总值核算为理论依据, 选取符合湖泊流域的实际的指标, 将指标分为供给服务价值、调节服务价值、文化服务价值, 采用市场价值法、影子工程法、替代成本法和旅游费用法等方法核算, 在结果的空间表达上, 采用赋值方法可以较好地对比抚仙湖流域生态系统生产总值进行核算。因此, 从评估指标和评估方法的选择来看, 本研究评估结果具备一定的合理性。

(2) 通过与其他区域的研究结果对比, 本研究区的单位面积生态系统生产总值与其他研究结果基本处于同一数量级, 说明本研究结果具有一定的准确性和科学性。欧阳志云^[5]核算 2010 年甘孜藏族自治州生态系统生产总值为 4.94 万元/hm², 而本研究 2010 年生态系统生产总值为 4.20 万元/hm², 欧阳志云^[1]核算阿尔山市的 2014 年生态系统生产总值为 7.29 万元/hm², 而本研究区 2015 年生态系统生产总值为 7.63 万元/hm², 研究的区域、时间、生态系统类型以及采用的指标体系和计算方法不同, 导致研究结果不同, 但大体相差不大。因此, 在今后的研究中, 还需对生态系统生产总值核算方法、关键参数、核算范围、指标体系等方面进行规范, 以便实现生态系统生产总值核算结果的可比性和系统性。

3.2 结论

(1) 近 10 年流域土地利用结构以水域、耕地和林地为主。建设用地和林地面积呈持续增加的趋势, 耕地、草地持续减少, 水域面积基本保持不变。建设用地增加主要分布在凤麓镇南部、右所镇南部以及路居镇北部。林地增加主要分布在右所镇东部区域、流域西部和路居镇南部。耕地向建设用地转移、耕地向林地转移是抚仙湖流域的主要用地转移类型。

(2) 研究区的生态系统生产总值 2005—2015 年呈逐年上升趋势。供给服务价值从 2005 年的 92 021 万元上升到 2015 年的 275 136 万元; 调节服务价值从 2005 年的 64 711.69 万元下降到 2015 年的 62 847.94 万元; 文化服务价值从 2005 年的 36 519.94 万元上升到 2015 年的 175 785.34 万元。2005—2015 年, 生态系统服务价值单位面积总值空间分布由湖泊向湖泊外圈逐渐增加。

(3) 就不同生态系统服务类别而言, 生态系统的

产品供给服务价值以 2005 年和 2010 年的贡献最大,而 2010—2015 年供给服务价值逐渐减少;生态系统的调节服务价值对生态系统服务总价值的贡献仅次于供给服务价值,2005 年、2010 年、2015 年占比逐渐降低;生态系统的文化服务价值逐渐增加。

(4) 就不同生态系统服务类型而言,调节服务中的主要决定因子是洪水调蓄、固碳产氧、水源涵养三大类,占全部调节服务的 90% 以上,说明这 3 项服务是抚仙湖流域调节服务价值提供的核心服务,同时也论证了水域、森林生态系统的重要性,重点保护水域和森林生态系统,以实现抚仙湖流域生态、经济、社会的可持续发展。

(5) 在土地利用变化前后,研究区整体上生态系统生产总值不断增加,生态系统正在向积极方面的发展,政策的实施对生态保护产生了良好的效益,但在调节服务价值方面不断降低,水源涵养、固碳释氧、洪水调蓄等相关因子方面在政策制定的时候应该多给予调整。

参考文献:

[1] 欧阳志云.国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究:以阿尔山市为例[J].中国人口·资源与环境,2017,27(3):146-154.

[2] 欧阳志云.生态系统生产总值核算概念、核算方法与案例研究[J].生态学报,2013,33(21):6747-6761.

[3] Daily G C,欧阳志云,郑华,等.保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响[J].生态学报,2013,33(3):669-685.

[4] 云南省环保厅.2013 年省人民政府抚仙湖保护治理工作会议重点任务分解方案[N].玉溪日报,2014-02-11(12).

[5] 欧阳志云.甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究[J].生态学报,2017,37(19):6302-6312.

[6] 玉溪市统计局.玉溪市统计公报[N].玉溪市统计年鉴,2015.

[7] 胡雪梅.中国国民经济核算体系发展现状及改进建议[J].首都经济贸易大学学报,2015,17(5):94-98.

[8] 白杨,李晖,王晓媛,等.云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究[J].自然资源学报,2017,32(7):1100-1112.

[9] 欧阳志云.保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响[J].生态学报,2013,33(3):669-685.

[10] 张伟.关中天水经济区土地生态系统水土保持价值[J].干旱区研究,2013,30(6):1136-1143.

[11] 欧阳志云.海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估[J].生态学报,2000,20(4):552-558.

[12] 许月卿.基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算:以贵州省猫跳河流域为例[J].北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.

[13] 赵世民.基于 USLE 和 GIS 的阳宗海流域土壤侵蚀量预测研究[J].环境科学导刊,2007,26(4):1-4.

[14] 杨梁伟.基于 GIS 和 USLE 的土壤侵蚀控制效果研究:以陕西省吴旗县柴沟流域为例[D].北京:北京林业大学,2005.

[15] 杨子生.云南省金沙江流域土壤流失方程研究[J].山地学报,2002,20(1):1-9.

[16] 王文娟.基于 GIS 和 USLE 的三江平原土壤侵蚀定量评价[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):112-117.

[17] Onori F, Bonis P D, Grauso S. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily(southern Italy)[J]. Environmental Geology,2006,50(8):1129-1140.

[18] 徐勇.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.

[19] 王保乾,李伟.GEP 核算体系探究:以江苏省水资源生态系统为例[J].水利经济,2015,33(5):14-18.

[20] 欧阳志云.重庆市森林生态系统服务功能价值评估[C].华东师范大学生态与环境学报,2014:216-223.

[21] 刘向越.基于 GEP 测度的黑龙江国有林区生态文明贡献研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.

[22] 朱文泉.中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J].植物生态学报,2007,31(3):413-424.

[23] 国家发展计划委员会,财政部,环保总局,等.排污费征收标准管理办法(2003 年 31 号令)[Z].北京,2003.

[24] 白杨.云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究[J].自然资源学报,2017,32(7):1100-1112.

[25] 金丹,卞正富.基于能值和 GEP 的徐州市生态文明核算方法研究[J].中国土地科学,2013,27(10):88-94.

[26] 孟祥江,侯元兆.森林生态系统服务价值核算理论与评估方法研究进展[J].世界林业研究,2010,23(6):8-12.