西北林学院学报 2023,38(2):265-272
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2023.02.37

抚仙湖流域景观格局及生态系统服务价值的动态变化

马国强[1,2],李秋洁[3],张　蓉[1],肖剑平[1],杨书宇[1]

(1.国家林业和草原局 昆明勘察设计院,云南 昆明 650216;2.兰州大学 生命科学学院,甘肃 兰州 730000;
3.中国电建集团 昆明勘测设计研究院有限公司,云南 昆明 650051)

摘　要:抚仙湖作为我国高原大型深水型湖泊的典型代表,其景观格局的变化直接对该区域生态系统服务功能产生较大影响,因此探讨较大时间尺度背景下抚仙湖流域生态系统服务价值(ESV)随景观格局的演变具有重要意义,可为我国云南高原湖泊的可持续发展提供科学依据。使用当量因子法分析抚仙湖流域28 a间的景观格局时空演变特征,阐明其对生态系统服务价值产生的影响。结果表明,1)抚仙湖流域在28 a时间尺度内景观类型以湖泊为主,其次是乔木林地,而建设用地类的面积最小。1990—2018年,景观转换最频繁的为沼泽湿地,转出6 105.54 hm^2,转为人工湿地与工矿建设用地。2)抚仙湖流域ESV随时间尺度变化呈现先减少后增加趋势,2005年是分水岭,最低为62.46亿元。流域的总ESV贡献最大的景观类型为湖泊和乔木林地,两者价值量总占比超过85%。抚仙湖流域的景观格局演变对生态系统服务价值影响较大,因此合理调整土地结构,重视水体、林地等景观类型,才能充分发挥高原湖泊的生态系统服务价值。

关键词:抚仙湖流域;生态系统服务价值;景观类型;景观格局指数

中图分类号:TU985　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2023)02-0265-08

Dynamic Changes of Landscape Pattern and Ecosystem Service Value in the Fuxian Lake Basin

MA Guo-qiang[1,2], LI Qiu-jie[3], ZHANG Rong[1], XIAO Jian-ping[1], YANG Shu-yu[1]

(1. *Kunming Survey & Design Institute of National Forestry and Grassland Administration, Kunming* 650216, *Yunnan, China*;
2. *School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*; 3. *Power China Kunming Engneering Corporation Limted, Kunming* 650051, *Yunnan, China*)

Abstract: Fuxian Lake is a representative of large deep-water lakes in Yunnangui Plateau in China. The change of landscape pattern of the lake will directly impact on the ecosystem service function in this area. Therefore, it is significant to assess the ecosystem servie value (ESV) along the change of the landscape pattern in the Fuxian Lake Basin in a long time scale provide a scientific reference for the sustainable development of plateau lakes in Yunnan. This paper used the equivalent factor method to analyze the temporal and spatial evolution characteristics of landscape pattern in the basin in the past 28 years, and to assess its impact on the ESV. The results showed that 1) in the 28 year time scale, the landscape type of the basin was mainly water body, followed by arbor forest land, and the area of construction land was the smallest. The most frequent landscape transformation was swamp wetland, with 6 105.54 hm^2 transferred to artificial wetland and industrial & mineral land. 2) The ESV of the basin decreased between 1990—2005, and then increased after the year 2005. The year of 2005 was the watershed, with a minimum of ESV, 6.246 billion yuan. The landscape types with the largest contribution to the total ESV of the basin were water body and arbor forest land, which accounted for more than 85% of the total value. The evolution of landscape

收稿日期:2022-03-10　**修回日期**:2022-04-11
基金项目:中国科学院战略性先导专项(XDA2010010103);国家自然科学基金项目(31860603);国家林业和草原局林业软科学研究项目(2018-R14);云南省教育厅自然科学基金项目(2018Y116)。
第一作者:马国强,高级工程师。研究方向:自然保护地规划设计、自然资源调查监测等。E-mail:maguoqiang0825@163.com

pattern in the basin has a great impact on ESV. To bring into full play of the ESV of plateau lakes, it is important to adjust the land structure and pay more attention to landscape types such as water body and forest land.

Key words: Fuxian Lake Basin; ecosystem service value; landscape type; landscape pattern index

生态系统服务为人类提供其生存和发展所需的物质基础及能效[1-2]，其价值（ESV）体现了生态功能效用的变现能力，可以作为重要指标用来衡量区域生态环境质量[3-5]。生态系统服务价值评价反映的是土地利用的生态系统服务价值与区域经济发展相互影响关系[1,6-7]，随着全球气候变化和人为活动的加剧，土地利用时空变化过程成为影响生态系统服务价值的重要因素之一[8-9]。目前的研究主要集中在生态系统服务价值的理论方法创新[10]、定量化估算[11-12]、土地利用变化影响[13-14]、评估体系[15]、服务与景观相结合[16-19]等相关研究。

景观指数是度量景观格局的重要方法[20]，可以用来反映景观格局演变的定量分析，包括景观结构组成和空间配置特征等量化指标[29-30]。通过分析不同景观类型的结构空间分布特征，基于其时间维度上的变化来探索其演变趋势[21-22]。ESV 定量评估已经成为当前生态学、林学及全球气候变化研究的热点之一，在众多测算方法中，基于单位面积价值当量因子法更适合区域 ESV 的评估[23]，其特征是操作简单、数据易获取等，目前已在国内外的研究中广泛使用。有许多学者在景观格局与生态系统服务价值的耦合开展了研究，并取得了一定成果[24-25]，景观类型空间配置的不同会造成景观的空间异质性分化，经过功能的传导，会造成生态服务在空间上的变化，这是 ESV 的空间差异产生的主要原因[26]。伴随着人口的增长以及城市化的扩展，生态系统的结构和功能受景观类型的剧烈变化的影响，不可避免地影响生态系统服务价值及与当地的生态安全。

抚仙湖作为我国高原大型深水型湖泊的典型代表，也是我国重要的战略饮用水资源储备地，其景观格局的时空演变过程对其生态系统功能与服务价值的影响不可忽视，然而关于抚仙湖流域景观格局演变对生态系统服务价值的影响研究相对较少，尤其缺乏对其时间序列动态特征的分析研究。本研究通过分析抚仙湖流域 ESV 时空演变规律及景观格局演变对 ESV 的影响，为抚仙湖流域未来可持续经营管理、生态环境有效改善和区域的生态文明建设提供科学依据。

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

抚仙湖位于云南省玉溪市境内，居滇中盆地中心，属珠江流域南盘江水系，流域地跨澄江、江川和华宁三县。地理坐标 24°21′－24°38′N，102°49′－102°57′E。抚仙湖以断层溶蚀为主，湖面海拔高度为 1 723.35 m，面积 216.6 km^2，湖水平均深度为 95.2 m，最深处 158.5 m，湖容量达 206.2×10^8 m^3，湖岸线长约 100.8 km，水质和水量为云南九大高原湖泊之最，是我国蓄水量最大的深水贫营养淡水湖泊[27]。

1.2 数据来源与处理

抚仙湖流域遥感影像数据为 1990、1995、2000、2005、2010、2015、2018 年陆地卫星系列数据，底图坐标系是（GCS_China_Geodetic_Coordinate_System_2000），空间分辨率 15～30 m，对影像进行 RGB 波段合成和空间地理矫正。流域内的景观类型按照土地资源分类、林地分类等系统进行划分[28-29]，同时结合野外调查、现场访问和收集最新资料，综合分析后建立遥感判读标志，对抚仙湖流域景观类型进行分类，将抚仙湖流域景观类型分类为乔木林地、灌木林地、其他林地、草地、人工湿地、沼泽湿地、湖泊、耕地、其他建设用地、城乡居民建设用地、交通运输用地和工矿建设用地，通过镶嵌和裁剪等预处理及现地核实获得研究区的景观类型数据。

2 研究方法

2.1 景观类型变化分析

景观类型动态度指的是研究区一定时间范围内景观类型的数量变化情况，通过定量描述景观类型变化速度反映了人类活动对景观类型的影响程度[30]，预测发展趋势。公式为

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{1}$$

式中：K 为某一景观类型在某一时间内的动态度；U_a、U_b 分别为某景观类型在初期和末期的面积（hm^2）；T 为时间（a）。

2.2 景观格局分析

基于景观指数间的相关性[31]，从类型水平和景观水平分析景观格局。类型水平指标包括斑块数量（NP）、斑块面积（CA）、最大斑块指数（LPI）、景观形状指数（LSI）、聚集度（AI）。主要用来反映景观破碎度、多样性和聚散度[32]。

2.3 生态系统服务价值评估与分析

依据谢高地等[6]提出的基于单位面积价值当量因子法计算 ESV，ESV 的 1 个当量因子的经济价

值等同于研究区本年度平均粮食单产市场价值的1/7[33],由于本研究探讨的是景观尺度对生态系统服务价值的影响,为避免农作物价格波动的影响,研究区单位面积农作物生产的经济价值计算公式为

$$E_a=\frac{1}{7}\sum_{i=1}^{n}\frac{m_i p_i q_i}{M} \tag{2}$$

式中:E_a 为单位面积生态系统提供食物的经济价值(元/hm^2);i 表示第 i 种主要作物;m_i 表示其面积(hm^2);p_i 表示其全国平均价格(元/t);q_i 表示其单产(t/hm^2);M 表示主要作物总面积(hm^2)。

通过 2000－2018 年《玉溪年鉴》玉溪的主要 3 种粮食(稻谷、小麦和玉米)产量和种植面积,得到研究区的单位面积粮食均产量为 6 711.01 kg/hm^2,粮食价格根据《全国农产品成本收益资料汇编》中玉溪市主要粮食价格,得到平均粮食均价为 1.92 元/kg[34]。由上列公式计算出研究区单位面积农作物生产的经济价值为 1 524.75 (元/hm^2)。结合抚仙湖流域景观类型实际情况,景观类型与生态系统类型对应,虽建设用地对生态系统服务的影响不容忽视,但本研究暂时未将建设用地生态系统服务价值纳入评估体系,建设用地的生态系统服务价值为0[24,35]。对其他景观类型各项生态系统服务功能当量[36],对研究区的生态系统服务价值系数表进行了修正,构建适合抚仙湖流域非建设用地单位面积生态系统服务价值(表 1)。ESV 的计算公式为

$$E_{sv}=\sum(A_k\times V_{ck}) \tag{3}$$

$$E_{svf}=\sum(A_k\times V_{cfk}) \tag{4}$$

式中:E_{sv} 为生态系统服务价值;A_k 是景观类型 k 的面积,hm^2;V_{ck} 是景观类型 k 的生态系统服务系数,元/hm^2/a;E_{svf} 为生态系统第 f 单项服务功能价值;V_{cfk} 是景观类型 k 的第 f 项生态系统服务系数,元/hm^2/a。

表 1　抚仙湖流域景观类型单位面积生态系统服务价值

Table 1　Ecosystem service value per unit area of landscape types in Fuxian Lake Basin　　元/hm^2

一级分类	二级分类	乔木林地	灌木林地	其他林地	其他草地	人工湿地	沼泽湿地	湖泊	耕地
供给服务	食物生产	460.42	349.92	465.03	423.59	1 473.35	2 173.19	1 473.35	1 565.44
	原料生产	1 068.18	791.93	1 068.18	626.17	423.59	1 454.94	423.59	736.68
	水资源供给	1 657.52	405.17	552.51	368.34	15 267.61	15 838.53	15 267.61	36.83
调节服务	气体调节	3 517.63	2 596.78	3 513.02	2 228.44	1 418.10	5 046.23	1 418.10	1 233.93
	气候调节	10 516.05	7 790.35	10 511.45	5 874.99	4 217.47	13 812.68	4 217.47	663.01
	净化环境	3 075.62	2 357.36	3 080.23	1 933.77	10 221.38	13 389.09	10 221.38	184.17
	水文调节	6 887.92	6 169.66	6 878.71	4 309.55	188 294.39	195 329.64	188 294.39	497.26
支持服务	土壤保持	4 272.72	3 167.71	4 277.33	2 707.28	1 712.77	6 132.83	1 712.77	1 896.94
	维持养分循环	331.50	239.42	326.90	202.59	128.92	460.42	128.92	221.00
	生物多样性	3 904.38	2 891.45	3 895.17	2 467.86	4 696.31	8 711.19	4 696.31	239.42
文化服务	美学景观	1 712.77	1 270.77	1 708.17	1 086.60	3 480.79	5 248.82	3 480.79	110.50
合计		37 404.72	28 030.52	36 276.69	22 229.20	231 334.68	267 597.56	231 334.68	7 385.18

3　结果与分析

3.1　景观类型演变特征

抚仙湖流域景观类型中,湖泊面积占比最大,其次是以乔木林地、灌木林地和耕地,而建设类景观的面积最小(图 1)。

单一景观类型动态度变化中,湖泊面积稳定。林地类中,乔木林地面积呈先减少后增加再减少趋势,1990 年为 19 187.37 hm^2,2005 年为 19 109.52 hm^2,1990－2005 年共减少 77.85 hm^2;2015 年为 20 234.58 hm^2,2005－2015 年共增加 1 125.45 hm^2;2018 年为 19 463.58 hm^2,2015－2018 年共增加 771.39 hm^2。1990－2018 年,城乡居民建设用地增加了 1 241.19 hm^2,耕地面积呈先增加后减少的趋势,1990－2005 年共增加了 1 992.42 hm^2,2005－2018 年共减少了 1 403.37 hm^2。

综合景观类型随着年份增加动态度呈先增加后减少再增加趋势,6 个阶段综合景观类型动态度最大的是 2010－2015 年,动态度为 73.31%,最小的是 2000－2005 年,动态度为 10.16%(图 2)。1990－2018 年抚仙湖流域各景观类型间都有着频繁的相互转换过程(图 3)。由图 3a 可以看出,1990－2018 年转换最频繁的为沼泽湿地,共转出 6 105.54 hm^2,其中转向最大的景观类型为人工湿地与工矿建设用地,转出分别为 1 458.36 hm^2 和 2 803.13 hm^2,转换最大的时段为 2015－2018 年。其次为工矿建设用地,共转出 3 056.46 hm^2,主要转向人工湿地与沼泽湿地,分别为 1 357.79 hm^2 和 602.99 hm^2,转换最大时段为 2015－2018 年。人工湿地共转出 2 269.96 hm^2,主要转向其他草地和交通运输用地,分别为 741.34 hm^2 和 370.51 hm^2,转换最大的时段为 2015－2018 年。

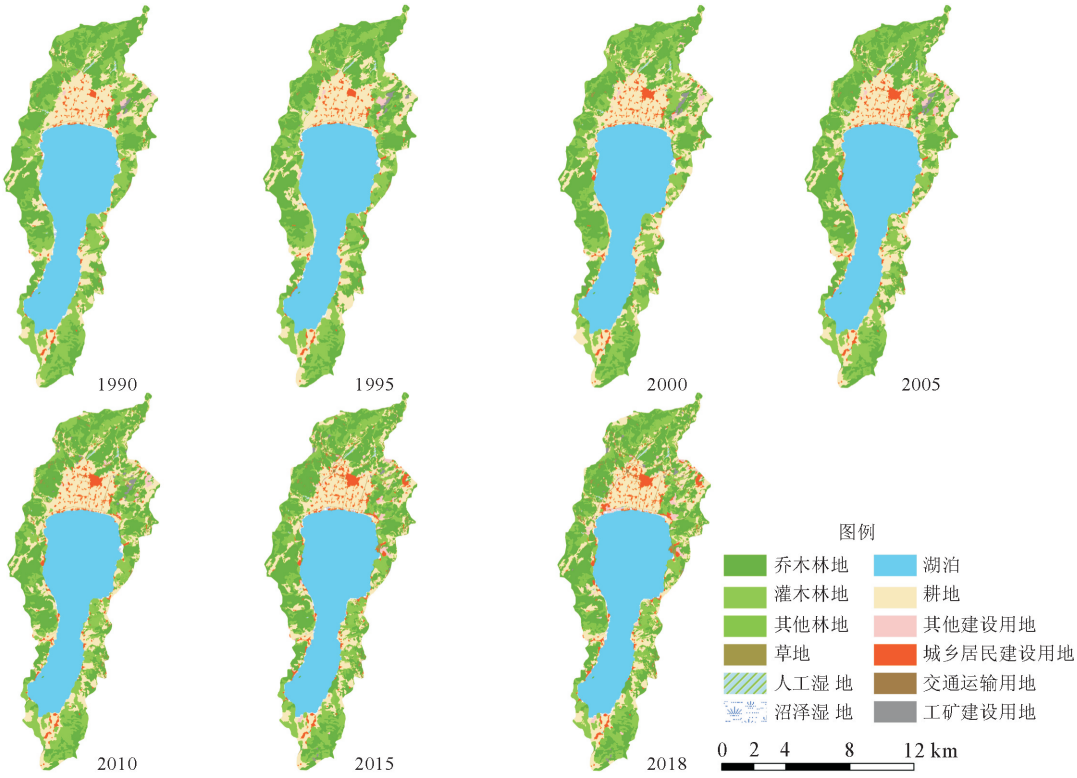

图 1 1990—2018 年抚仙湖流域景观类型空间结构变化

Fig. 1 Spatial structure changes of landscape types in Fuxian Lake Basin from 1990 to 2018

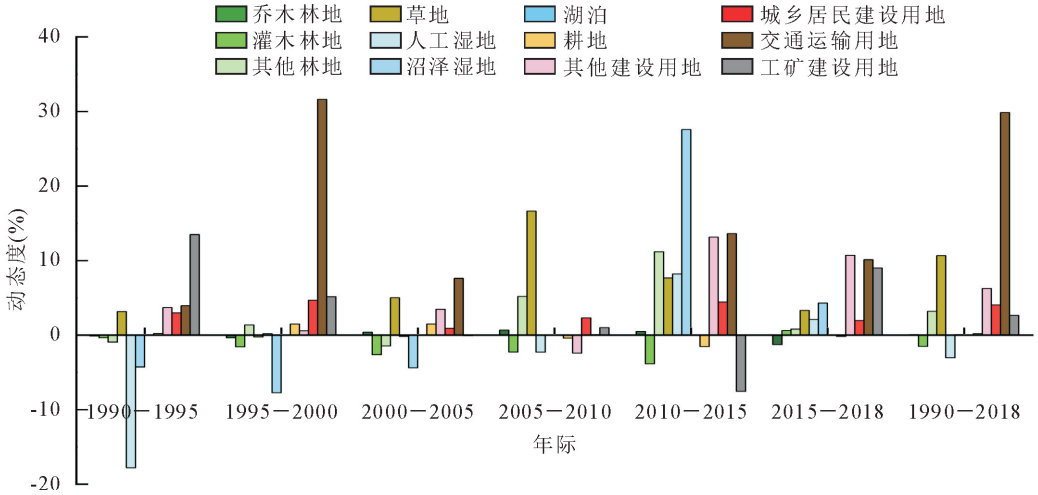

图 2 1990—2018 年抚仙湖流域景观类型年间面积变化动态度

Fig. 2 Annual area change dynamics of landscape types in Fuxian Lake Basin from 1990 to 2018

3.2 景观格局变化特征

由图 2 可以看出，抚仙湖流域主要景观类型是湖泊、乔木林地、耕地和灌木林地。

由图 3b 可以看出，乔木林地斑块个数呈先增加后减少再增加的趋势，从 1990 年的 193 个增加到 1995 年的 319 个，1995—2005 年减少了 133 个，2005—2018 年增加了 98 个；由图 3c 可以看出，斑块密度呈增加后减少再增加趋势，从 1990 年的 0.280 8 个/hm^2 增加到 1995 年的 0.464 2 个/hm^2，1995—2005 年减少了 0.193 6 个/hm^2，2005—2018 年增加了 0.142 6 个/hm^2；由图 3d 可以看出，景观形状指数呈增加趋势，从 1990 年的 25.71 增加到 2018 年的 33.60。总的来看，耕地斑块个数呈增加趋势，从 1990 年的 174 个增加到 2018 年的 488 个；斑块密度呈增加趋势，1990—2018 年增加了 0.456 8 个/hm^2；耕地景观形状指数从 1990 年的 24.24 增加到 2018 年的 37.63。

3.3 生态系统服务价值时空变化

1990—2018 年抚仙湖流域的生态系统服务价值呈现先减少后增加的趋势(表 2)，其中 1990 年为

67.91 亿元,1995 年为 63.59 亿元,2000 年为 62.85 亿元,2005 年为 62.46 亿元,2010 年为 62.51 亿元,2015 年为 63.49 亿元,2018 年为 63.49 亿元。1990—1995 年变化幅度最大,共减少了 4.32 亿元,变化率为 0.06%;2010—2015 年共增加了 0.98 亿元,变化率为 0.02%;1995—2000 年共减少了 0.74 亿元,变化率为 0.01%;2005—2010 年共减少了 0.39 亿元,变化率为 0.01%。

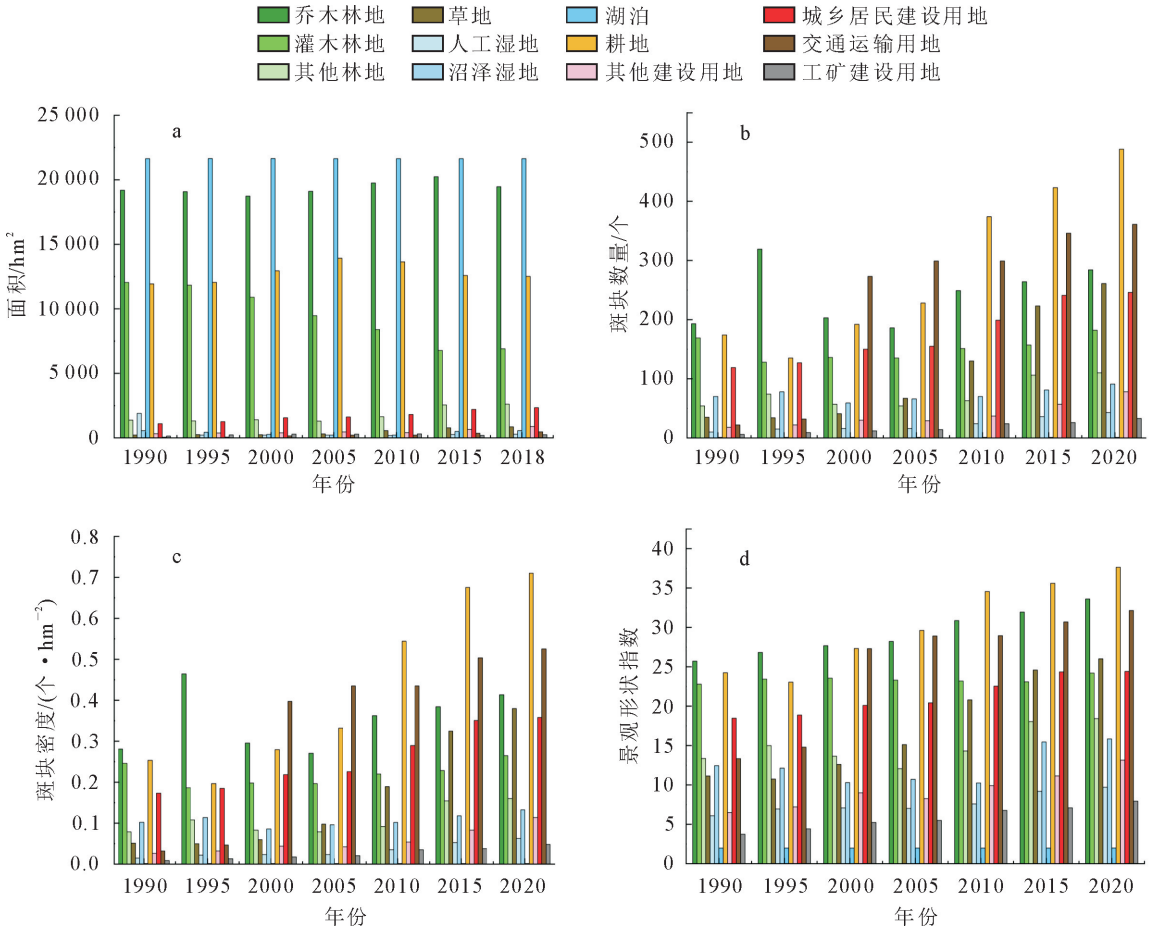

图 3　1990—2018 年抚仙湖流域景观类型景观指数变化

Fig. 3　Changes of landscape type and landscape index in Fuxian Lake Basin from 1990 to 2018

调节服务在研究区整个生态系统中处于优势地位,贡献最大的为水文调节和气候调节,两者价值量总占比超过 70%(表 2);各地类不同年际的 ESV 总量依次为湖泊>乔木林地>人工湿地>灌木林地>沼泽湿地>耕地>其他林地>草地(表 3)。

调节服务的 ESV 减少幅度也很明显,1990—2018 年总的 ESV 共减少 3.8 亿元。1990—2018 年湖泊 ESV 平均在 50.06 亿元。1990—2018 年人工湿地的生态系统服务价值减少 3.74 亿元,而 1990—2000 年减少最大,减少了 3.9 亿元。乔木林地的生态系统服务价值呈先减少后增加再减少的趋势,1990—2000 年减少了 0.17 亿元,2000—2015 年增加了 0.56 亿元,2015—2018 年减少了 0.29 亿元。耕地生态系统服务价值呈先增加后减少的趋势,1990—2005 年增加了 0.15 亿元,2005—2018 年减少了 0.11 亿元。

4　讨论

4.1　景观格局变化时空演变分析

景观格局的变化受到多方面因素的直接或间接的影响,如地形、气候、植被、人口增长、社会经济和政策等因素,人为影响与景观格局的演变是相互联系,交互影响[37]。基于抚仙湖的重要性及独特性,使其受到了高度保护,1990—2018 年,其湖泊面积变化波动较小。抚仙湖流域群山环抱,周围湖积平原狭窄,流域内农村人口分布和农业生产生活集中在湖滨 2 km 的范围内,1990—2018 年,建设用地面积逐年增长,而灌木林地面积逐年减少,主要是建设用地由环湖两侧向面山开阔的灌木林地段扩散,交通运输用地变化表现得最明显,交通运输用地面积由 1990 年的 49.86 hm^2 增加到了 2018 年的 416.43 hm^2。研究期间耕地景观类型呈先增加后

减少的趋势，建设用地面积增加，大量开垦灌木林地导致其面积减少。

抚仙湖流域综合景观类型受人为活动影响较为显著，特征是期变化动态度呈逐渐增长趋势，社会经济发展带来了景观格局的强烈变化。整体来看，1990－2018年景观类型转移频繁。主要是因为灌木林地与人工湿地面积持续减少，大量转成其他草地、其他林地和交通运输用地。抚仙湖流域灌木林地持续减少，是所有景观类型中减少速度最快的。建设用地几个景观类型在这几个时期内的变化趋势呈稳定增长的情况，其中交通运输用地相对于其他景观类型增长最稳定。主要是因为近年来城镇用地占用部分生态用地的节奏加快，造成建设用地面积大幅增加，而耕地面积明显减少。

表2 1990－2018年抚仙湖流域单项生态系统服务价值

Table 2 Values of individual ecosystem services in Fuxian Lake Basin from 1990 to 2018 10^8 元

生态系统服务类型		年份						
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
供给服务	食物生产	0.68	0.66	0.66	0.67	0.67	0.66	0.66
	原料生产	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
	水资源供给	4.06	3.78	3.75	3.74	3.74	3.81	3.81
调节服务	气体调节	1.55	1.51	1.48	1.46	1.47	1.49	1.47
	气候调节	4.26	4.14	4.02	3.94	3.98	4.04	3.99
	净化环境	3.42	3.22	3.17	3.14	3.15	3.20	3.20
	水文调节	47.63	44.20	43.81	43.61	43.58	44.29	44.40
支持服务	土壤保持	1.93	1.88	1.85	1.83	1.84	1.85	1.83
	维持养分循环	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	生物多样性	2.34	2.24	2.19	2.16	2.17	2.21	2.19
文化服务	美学景观	1.37	1.30	1.27	1.26	1.26	1.29	1.28
合计		67.91	63.59	62.85	62.46	62.51	63.49	63.46

表3 1990－2018年抚仙湖流域各类景观类型生态系统服务价值及变化

Table 3 Ecosystem service value and changes of various landscape types in Fuxian Lake Basin from 1990 to 2018

年份	指标	乔木林地	灌木林地	其他林地	草地	人工湿地	沼泽湿地	湖泊	耕地	总计
1990	ESV/(10^8 元)	7.18	3.38	0.50	0.05	4.39	1.48	50.06	0.88	67.91
1995	ESV/(10^8 元)	7.14	3.32	0.48	0.06	0.49	1.16	50.07	0.89	63.59
2000	ESV/(10^8 元)	7.01	3.05	0.51	0.05	0.49	0.71	50.07	0.96	62.85
2005	ESV/(10^8 元)	7.15	2.65	0.47	0.07	0.49	0.56	50.05	1.03	62.46
2010	ESV/(10^8 元)	7.39	2.35	0.59	0.12	0.43	0.56	50.06	1.01	62.51
2015	ESV/(10^8 元)	7.57	1.90	0.92	0.17	0.61	1.33	50.06	0.93	63.49
2018	ESV/(10^8 元)	7.28	1.93	0.95	0.19	0.65	1.50	50.05	0.92	63.46
1990－1995	ESV/(10^8 元)	－0.04	－0.06	－0.02	0.01	－3.9	－0.32	0.01	0.01	－4.32
	变化率(%)	0.00	－0.02	－0.04	0.20	0.00	－0.22	0.00	0.01	－0.06
1995－2000	ESV/(10^8 元)	－0.13	－0.27	0.03	－0.01	0	－0.45	0	0.07	－0.74
	变化率(%)	0.00	－0.08	0.06	－0.17	0.00	－0.39	0.00	0.08	－0.01
2000－2005	ESV/(10^8 元)	0.14	－0.4	－0.04	0.02	0	－0.15	－0.02	0.07	－0.39
	变化率(%)	0.00	－0.13	－0.08	0.40	0.00	－0.21	0.00	0.07	－0.01
2005－2010	ESV/(10^8 元)	0.24	－0.3	0.12	0.05	－0.06	0	0.01	－0.02	0.05
	变化率(%)	0.00	－0.11	0.26	0.71	0.00	0.00	0.00	－0.02	0.00
2010－2015	ESV/(10^8 元)	0.18	－0.45	0.33	0.05	0.18	0.77	0	－0.08	0.98
	变化率(%)	0.00	－0.19	0.56	0.42	0.00	1.38	0.00	－0.08	0.02
2015－2018	ESV/(10^8 元)	－0.29	0.03	0.03	0.02	0.04	0.17	－0.01	－0.01	－0.03
	变化率(%)	0.00	0.02	0.03	0.12	0.00	0.13	0.00	－0.01	0.00

4.2 生态系统服务价值对景观格局变化的响应

人类对自然资源的开发日益加强，从而导致景观类型发生变化[38]。伴随着人口的增长以及城市化的扩展，景观类型的剧烈变化改变了生态系统的结构和功能，也影响生态系统的服务价值。各地类不同年际的ESV总量依次为湖泊＞乔木林地＞人工湿地＞灌木林地＞沼泽湿地＞耕地＞其他林地＞草地。抚仙湖流域湖泊对生态服务价值增加的贡献

率最大,湖泊作为抚仙湖最主要的生境类型,1990—2018 年,其面积一直稳定,且最大,所以生态系统服务价值也一直稳定最大。主要是因为区域水资源的平衡受到保护,使得原来被水面所分离的景观被大面积清理,合并之前多个小斑块,增加了湖泊湿地的蓄水能力,将有利于原料生产、水供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、保持土壤肥力和提升美学景观价值[39]。

1990—2005 年,流域总 ESV 减少,而这期间,林地类景观面积减少,特别是以抚仙湖为中心的两侧面山林地,原有的生态用地大量开垦,主要转为耕地和建设用地。城镇用地的快速增长占用部分生态用地,林地面积明显减少,导致景观类型破碎化加剧,景观斑块个数和斑块密度均呈现增加的趋势,最终影响流域总 ESV。2005 年之后,流域总 ESV 增加,主要原因是依托珠江防护林、退耕还林、封山育林、"山水林田湖"综合治理重点工程项目的实施,采取多种措施加大抚仙湖面山生态保护和治理力度。这也说明政府政策能驱动景观格局变化,而对生态系统价值服务产生影响[40]。当地林地保护政策的实施,使得林地面积得到保护,使得景观类型优势度及连通性增加,同时,生态系统服务价值呈现增长的趋势。

5　结论

1990—2018 年抚仙湖流域景观类型变化较为明显,主要以湖泊和乔木林地为主。抚仙湖流域总的 ESV 呈先减少后增加的趋势。流域的总 ESV 贡献最大的景观类型为湖泊和乔木林地,两者价值量总占比超过了 85%。总 ESV 减少主要是林地向城乡居民建设用地和耕地转移的方式为主,占用了灌木林地景观类型面积,导致耕地生态系统服务价值持续减少的关键原因。通过流域生态保护和治理、退塘还湖及生态修复、抚仙湖补输水、"山水林田湖"综合治理等工程的实施,使得景观类型越丰富、景观形状越复杂,特别是林地类、湖泊景观类型,有利于提高区域 ESV 总额,而又使得区域总 ESV 增加。研究表明,抚仙湖流域生态功能具有一定的不稳定性,需采取针对性的措施,应严格控制建设用地的无节制扩张,保护流域重要的景观类型,协调抚仙湖流域经济与生态环境的发展,保障区域生态系统的健康与稳定,使区域生态环境逐渐改善,ESV 稳定增长。

参考文献:

[1] 王军,顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):798-808.

[2] 李子君,刘金玉,姜爱霞,等. 基于土地利用的祊河流域生态系统服务价值动态变化[J]. 水土保持研究,2020,27(2):269-275,283.
LI Z J,LIU J Y,JIANG A X,*et al*. Temporal and spatial dynamic of ecosystem service value in Benghe River Basin based on land use change[J]. Soil and water conservation research,2020,27(2):269-275,283. (in Chinese)

[3] OSTANZA R. Valuing natural capital and ecosy stem services toward the goals of efficiency,fairness,and sustainability[J]. Ecosystem Services,2020,43:101096.

[4] BRAAT L C,de GROOT R. The ecosystem services agenda:brid ging the worlds of natural science and economics,conservation and development,and public and private policy[J]. Ecosystem Services,2012,1(1):4-15.

[5] DAILY G C,POLASKY S,GOLDSTEIN J,*et al*. Ecosystem services in decision making:time to deliver[J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2009,7(1):21-28.

[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] 彭保发,郑俞,刘宇. 耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架[J]. 地理科学,2018,38(3):361-367.

[8] LAWLER J J,LEWIS D J,NELSON E,*et al*. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2014,111(20):7492-7497.

[9] ZHAO B,KREUTER U,LI B,*et al*. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island,China[J]. Land Use Policy,2004,21(2):139-148.

[10] BUCKLEY R. The economics of ecosystems and biodiver sity:ecological and economic foundations[J]. Austral Ecology,2011,36(6):34-35.

[11] POSNER S,VERUTES G,KOH I,*et al*. Global use of ecosystem service models[J]. Ecosystem Services,2016,17:131-141.

[12] GRAFIUS D R,CORSTANJE R,WARREN P H,*et al*. The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services[J]. Landscape Ecology,2016,31(7):1509-1522.

[13] KOZAK J,LANT C,SHAIKH S,*et al*. The geography of ecosystem service value:the case of the Des Plaines and Cache River wetlands,Illinois[J]. Applied Geography,2011,31(1):303-311.

[14] GHERMANDI A,SHEELA A M,JUSTUS J. Integrating simi-larity analysis and ecosystem service value transfer:results from a tropical coastal wetland in India[J]. Ecosystem Services,2016,22:73-82.

[15] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. 生态学报,2007,27(1):346-356.
ZHAO J,YANG K. Valuation of ecosystem services:characteristics,issues and prospects[J]. Journal of ecology,2007,27(1):346-356. (in Chinese)

[16] 刘桂林,张落成,张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2014,34(12):3311-3319.
LIU G L,ZHANG L C,ZHANG Q. Spatial and temporal of

land use and its influence on ecosystem service value in the Yangtze River Delta[J]. Journal of Ecology, 2014, 34(12): 3311-3319. (in Chinese)

[17] 熊侣英,师学义. 黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长河流域为例[J]. 水土保持研究,2018,25(2):335-340.

[18] 徐媛银,郭泺,薛达元,等. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变[J]. 生态学报,2019,39(1):1-9.
XU Y Y, GUO L, XUE D Y, *et al*. Land usestructure and dynamic evolution of ecosystem service value in gannan region, China[J]. Journal of Ecology, 2019, 39(1): 1-9. (in Chinese)

[19] 张天海,田野,徐舒,等. 滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2018,38(21):7572-7581.
ZHANG T H, TIAN Y, XU S, *et al*. The evolution of land use patterns in coastal cities and its influence on ecosystem service values[J]. Journal of Ecology, 2018, 38(21): 7572-7581. (in Chinese)

[20] UUEMAA E, MANDER U, MARJA R. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: a review[J]. Ecological Indicators, 2013(28): 100-106.

[21] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题[J]. 地理科学,2003(3):264-270.

[22] 闻国静,刘云根,王妍,等. 普者黑湖流域景观格局及生态风险时空演变[J]. 浙江农林大学学报,2017,34(6):1095-1103.
WEN G J, LIU Y G, WANG Y, *et al*. Temporal and spatial evolution of landscape patterns and ecological risk in the Puzhehei Lake Basin[J]. Journal of Zhejiang agriculture and Forestry University, 2017, 34(6): 1095-1103. (in Chinese)

[23] 岑晓腾. 土地利用景观格局与生态系统服务价值的关联分析及优化研究——以杭州湾南岸区域为例[D]. 杭州:浙江大学,2016.

[24] 朱颖,林静雅,胡义涛,等. 天目湖流域景观格局时空变化及生态系统服务价值分析[J]. 西北林学院学报,2018,33(4):239-245.
ZHU Y, LIN J Y, HU Y T, *et al*. Studies on spatiotemporal change of landscape pattern and ecosystem service value in Tianmu Watershed[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(4): 239-245. (in Chinese)

[25] 贾艳艳,唐晓岚,杨阳,等. 长江沿岸芜湖区段景观格局演变及生态系统服务价值分析[J]. 西北林学院学报,2019,34(6):249-258.
JIA Y Y, TANG X L, YANG Y, *et al*. Landscape pattern change and ecosystem service value in Wuhu section along the Yangtze River[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(6): 249-258. (in Chinese)

[26] 雷军成,王莎,汪金梅,等. 土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2019,39(9):3089-3099.
LEI J C, WANG S, WANG J M, *et al*. Effects of land use change on ecosystem service value of Xunwu County[J]. Journal of Ecology, 2019, 39(9): 3089-3099. (in Chinese)

[27] 中国建筑科学研究院. 云南玉溪抚仙湖国家湿地公园总体规划(2016 仙湖国家湿地公园总体规北京)[R]. 2015.

[28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫局,中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类:GB/T 21010-2017[B]. 北京:中国标准出版社,2017.

[29] 张文静,孙小银,单瑞峰,等. 1975-2018 年南四湖流域景观生态风险时空变化及其驱动因素研究[J]. 生态科学,2020,39(3):172-181.

[30] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.
WU L N, YANG S T, LIU X Y, *et al*. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River Basin since 1976[J]. Journal of Geography, 2014, 69(1): 54-63. (in Chinese)

[31] 钱佳洋,秦富仓,王迪海,等. 1998-2018 年永寿县景观格局变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报,2020,35(6):279-286.
QIAN J Y, QIN F C, WANG D H, *et al*. Changes and driving force of landscape pattern in Yongshou County during 1998-2018[J]. Journal of Northwest Forestry Universit, 2020, 35(6): 279-286. (in Chinese)

[32] 杨阳,唐晓岚,李哲惠,等. 长江流域土地利用景观格局时空演变及驱动因子——以 2008-2018 年为例[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):220-230.
YANG Y, TANG X L, LI Z H, *et al*. Spatial-temporal evolution of landscape pattern of land use in the Yangtze river basin and analysis of its driving factors——a case study from 2008 to 2018[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(2): 220-230. (in Chinese)

[33] 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.
XIE G D, LU C X, LENG Y F, *et al*. Ecological assets valuation of Tibetan Plateau[J]. Journal of natural resources, 2003, 18(2): 189-196. (in Chinese)

[34] 中共玉溪市委,玉溪市人民政府. 玉溪年鉴(2000-2018)[M]. 昆明:云南出版集团,2018.

[35] 董家华,舒廷飞,谢慧,等. 城市建设用地生态服务功能价值计算与应用[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(5):636-640.
DONG J H, SHU T F, XIE H, *et al*. Study on the evolution process of land use types in Liaohe river basin of Jilin Province[J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2007, 35(5): 636-640. (in Chinese)

[36] 邓舒洪. 区域土地利用变化与生态系统服务价值动态变化研究[D]. 杭州:浙江大学,2012.

[37] 陈功勋. 基于 CLUE-S 模型和 GIS 的土地利用变化模拟研究[D]. 南京:南京大学,2012.

[38] 张大伟,胡长群,何怀江,等. 吉林省辽河流域土地利用类型演变过程研究[J]. 森林工程,2020,36(5):45-53,61.
ZHANG D W, HU C Q, HE H J, *et al*. Calculative method for ecosystem services values of urban constructive lands and its application[J]. Forest engineering, 2020, 36(5): 45-53, 61. (in Chinese)

[39] 潘远珍,袁兴中,刘红,等. 重庆梁平区景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 园林,2021,38(4):81-88.

[40] 李月辉,常禹,胡远满,等. 人类活动对森林景观影响研究进展[J]. 林业科学,2006,42(9):119-126.
LI Y H, CHANG Y, HU Y M, *et al*. Research advance in effects of anthropogenic on forest landscape[J] Forestry science, 2006, 42(9): 119-126. (in Chinese)