

DOI: 10.5846/stxb201803020415

马赫, 石龙宇, 付晓. 泸沽湖生态系统格局变化与驱动力分析. 生态学报, 2019, 39(10): - .

Ma H, Shi L Y, Fu X. Ecosystem spatial changes and their driving forces in the Lugu Lake Area. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(10): - .

泸沽湖生态系统格局变化与驱动力分析

马 赫^{1,2}, 石龙宇^{1,*}, 付 晓³

1 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

摘要: 运用遥感影像与地理信息系统技术结合, 采用生态系统信息分类提取方法和景观指数方法对 1990 年至 2015 年泸沽湖风景区生态系统构成与格局变化进行分析, 并进一步探析引起各类生态系统变化的驱动力因素, 为泸沽湖风景区进一步生态与环境规划提供科学和理论依据。25 年间, 泸沽湖风景区内主要生态系统类型可分为农田、森林、草地、水域和人居环境等五类生态系统, 1990 年至 2005 年, 主要表现为农田、森林、草地 3 个生态系统之间相互转化; 2005 年至 2015 年, 主要表现为森林、草地、水域生态系统整体流向农田、人居环境系统。总体上泸沽湖景观破碎化与复杂程度呈下降趋势, 连通性和整体性逐渐增强, 但各生态系统类型之间比例差异增大。农田生态系统变化的主要驱动力是政策导向; 森林与草地生态系统变化的主要驱动力是退耕还林还草工程与人类活动; 水域生态系统变化主要驱动因素是湿地造林与人类活动入侵; 人居环境系统变化的主要驱动因素为人类用地需求的增涨。最后, 针对泸沽湖生态系统变化存在的问题提出了几点相应的规划建议。

关键词: 生态系统; 生态系统变化; 景观指数; 驱动力

Ecosystem spatial changes and their driving forces in the Lugu Lake Area

MA He^{1,2}, SHI Longyu^{1,*}, FU Xiao³

1 Key lab of Urban Environmental and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: The composition and spatial changes of the ecosystems in the Lugu Lake Scenic Area from 1990 to 2015 were analyzed in this study. With the goal of providing a scientific and theoretical basis for ecological and environmental planning in the Lugu Lake area, we used the classification and extraction of ecosystem information method and landscape index method to explore the ecosystem spatial changes and their pattern by integrating remote sensing with GIS technology. Furthermore, we analyzed the driving forces behind those changes. During this 25-year period, the main type of ecosystems in the Lugu Lake scenic area could be divided into five types, including farmland ecosystem, forest ecosystem, grassland ecosystem, water ecosystem, and human settlement system. From 1990 to 2005, the conversion between farmland, forest, and grassland ecosystems occurred. However, from 2005 to 2015, extensive areas of forest, grassland, and water ecosystems changed to farmland and human settlement systems. Landscape fragmentation and the complex degree declined, whereas connectivity and integrality of the scenic area was gradually enhanced. However, there was a larger difference between the proportion of each ecosystem type. Policy guidance was the main driving force for the farmland ecosystem. The Returning Farmland to Forest and Grass Project and human activities were the main driving forces for the forest and grassland ecosystems. Wetland afforestation and human activities were the main driving forces for water ecosystem. The increasing

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0503601); 国家自然科学基金(71874174)

收稿日期: 2018-03-02; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyshi@iue.ac.cn

demand for human settlements was the main driving force for the human settlement systems. Finally, several planning suggestions were proposed to solve the existing problems in the Lugu lake ecosystems.

Key Words: ecosystem; ecosystem spatial change; landscape index; driving forces

生态系统构成与格局是指生态系统组成单元的类型、数目以及空间分布与配置,反映各类生态系统自身的空间分布规律和空间结构关系,也是决定生态系统服务功能整体状况及其空间差异的重要因素^[1-2]。认识与了解生态系统状况,明确生态系统格局是认识我国生态国情、制定生态保护策略与生态文明建设政策与措施的基础和依据^[3]。

生态系统空间格局的动态与土地利用/覆被变化紧密相连,土地覆被变化是导致生态系统类型转变和格局变化的重要因素,也是导致生态系统服务变化的直接动力^[4]。随着遥感和地理信息系统技术的发展,近年来很多研究把两者结合起来探讨生态系统构成与格局变化及其规律^[5-11]。

泸沽湖是中国著名高原淡水湖泊之一,属于摩梭母系文化区,具有文化景观的唯一性。正是由于泸沽湖自然与人文景观的相互衬托,使泸沽湖流域具有独特的旅游价值。旅游业发展导致人类活动增加,也带来了一系列的环境问题,直接体现在湖泊水体的有机污染日趋严重,当地生态环境质量下降^[12-13]。另外,由于全球气候变化与人类活动的负面效应相叠加,流域环境的生态调节和自我恢复能力下降,将严重制约泸沽湖区域的社会经济可持续发展,威胁流域性生态系统安全。近年来,针对泸沽湖区域的生态研究主要集中在生态安全评价^[14]、水质健康^[12]以及可持续生态规划^[13,15-17]。生态系统及环境要素变化规律是生态学研究的重点之一,对于生态系统及其类型变化进行的研究有助于区域资源合理利用与可持续发展决策,能够实时、科学地将自然生态系统变化与社会经济发展态势集成起来进行深入研究是实现区域可持续发展的重要前提条件。研究的主要目的在于通过对泸沽湖区域生态系统类型及其结构功能进行周期性观测,感知其动态变化的态势与机理,对其生态系统构成、生态系统景观格局以及生态系统类型转化特征进行定量分析,为泸沽湖区域生态系统可持续发展提供科学和理论基础。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

泸沽湖位于云南省西北部宁蒗县和四川省西南部盐源县的交界处,其地理座标为 $100^{\circ}44' - 100^{\circ}51'E$, $27^{\circ}39' - 27^{\circ}45'N$ 之间,属雅砻江水系,湖面海拔 2692.2 m,湖水面积 49.5 km²,平均湖深 40 m,最深处约 70 m。泸沽湖湖水水质符合国家地面水 I 类标准,为贫营养型外流高原淡水湖泊。该地区多年平均降水量为 940 mm,多年平均气温 12.8℃,山地土壤主要以棕壤和红棕壤为主^[13]。研究区规划范围以《泸沽湖旅游区总体规划(修编)》(2002)中所划定的泸沽湖旅游区范围为依据,北端至永宁温泉瓦拉别村,东面至温泉河与省界、永宁坝顺公路沿线至拖支,湖区西面和南面基本上以山脊成为边界,所围合的范围包含了湖区的水体、山体、竹地和永宁坝,总面积 509.6 km²(图 1)。

1.2 数据来源

采用 1990 年至 2015 年,平均每 5 年 1 期,共计 7 景 Landsat TM/ETM 卫星遥感影像数据进行泸沽湖流域生态系统信息提取的基础数据。这些数据在应用于信息提取之前,均经过辐射校正、大气校正处理,并采用研

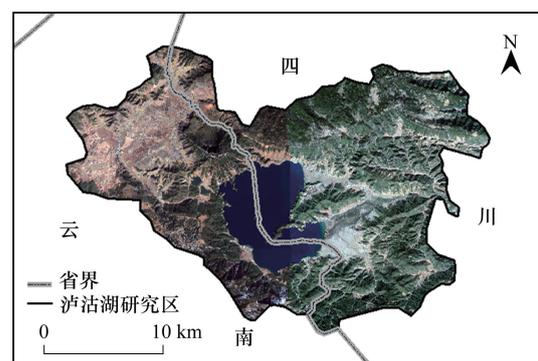


图 1 泸沽湖研究区

Fig.1 The Lugu lake study area

究区 1:5 万标准分幅地形图进行配准。研究所采用卫星影像数据见表 1 所示。

表 1 研究采用卫星遥感影像数据

Table 1 The satellite remote sensing image data

数据类型 Data type	数据来源 Data source	分辨率/比例尺 Resolution/Scale	数据特点 Characteristics	使用目的 Purpose
卫星影像 Satellite image	Landsat-5 TM 多光谱波段 1990 年 1 月 13 日, 1995 年 1 月 11 日, 2001 年 1 月 19 日, 2005 年 1 月 6 日, 2010 年 12 月 22 日, 2015 年 11 月 9 日	30 m	0.45—0.52 蓝色 0.52—0.60 绿色 0.63—0.69 红色 0.76—0.90 近红外 1.55—1.75 短波红外 10.4—12.5 热红外	生态系统类型信息提取
	Landsat-7 ETM+ 全色波段 2001 年 1 月 19 日	15 m	0.520—0.90	数据融合 信息提取

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统信息分类提取

生态系统空间信息来源于卫星遥感影像数据。通过综合分析对比,选择了分辨力中等,几何精度高,波段范围宽,利于计算机处理,分类能力强,价格中等的 Landsat TM/ETM+图像作为基本信息源。由于研究区域上空多云频率极高,获得完整清晰的可利用影像十分困难,通过比对决定采用该地区冬季的影像数据。

生态系统类型分类是基于土地利用分类系统,并参照景观生态分类方法进行的。既保持与现行土地利用分类系统一致,又结合景观生态学和生态系统服务功能评价的实际应用目的,建立了面向生态系统服务功能的生态系统,分类系统分类结果适宜于生态系统服务功能的科学研究与评价。依据泸沽湖区域的植被类型、土地利用特点,划分 23 种土地利用类型和生物群落,确立了遥感影像分类的判读标识。并根据表 2 规则进行聚类,将泸沽湖区域主要生态系统类型分为农田生态系统、森林生态系统、草地生态系统、水域生态系统 4 个自然生态系统,以及 1 个人居环境系统,共计 5 种类别。

表 2 泸沽湖研究区生态系统分类体系

Table 2 The Lugu lake area ecosystem classification system

	农田 Farmland	森林 Forest	草地 Grassland	水域 Water	人居环境 Human settlement
分类 Classification	水浇地 水稻田 旱地 望天田	云冷杉林 丽江云杉林 云南松幼龄林 云南松中龄林 阔叶林 寒湿性灌木林 经济林	高山草甸 低山草甸 弃耕地	泸沽湖 其他湖泊 水库 河流 沼泽	居民地 道路 采矿场 公共用地

1.3.2 景观指数分析

景观格局是指不同的景观嵌块体在一定区域的景观空间上的排列组合,其既能体现区域景观的异质性,也可是自然生态系统与人类社会的不同尺度上相互作用、相互影响的成果。现代科学技术的发展,特别是 3S 技术的共同结合,使得从遥感影像中获取的景观指数能够高度浓缩景观结构、功能和变化,时其成为探讨区域景观格局演变过程特征及规律的重要手段,同时也对区域的合理规划建设管理、环境保护研究以及资源优化配置有着关键作用^[18]。

为掌握泸沽湖流域景观格局变化规律,研究采用 FRAGSTATS 4.2.1 软件对对泸沽湖区域不同时期遥感影

像进行分析,提取相应时期不同生态系统类型的景观特征因子,从景观结构、功能和变化这3个彼此连接又相互作用的方面,对泸沽湖区域在自然的和人为的多种因素相互作用所产生的景观格局变化及规律进行综合分析,探讨景观格局变化及其对泸沽湖生态环境体系的综合反映。

2 结果与讨论

2.1 泸沽湖生态系统变化分析

在生态系统变化过程中,各种生态系统类型的比例结构变化研究显得尤为突出。表3列出了泸沽湖流域不同生态系统类型在不同年代所占的面积与比例。从研究区整体来看,从1990年至2015年多年间研究区内的各个生态系统面积比例在不断地发生变化。在多年变化中,森林生态系统占比最大,占整个研究区域面积的45%以上;人居环境面积比例变化最大,在1990—2005年仅为0.5%—1%左右,但于2005—2015年期间急剧增长,其占比提升到22%。2015年,各类生态系统占比依次为20.2:45.4:4.4:8:22(农田:森林:草地:水域:人居),若以各类生态系统面积比例多年平均值为各系统之间的稳定状态,则其比例应该为13.5:61.4:7.8:11.4:5.9(农田:森林:草地:水域:人居)。

表3 泸沽湖生态系统类型面积

Table 3 The area of Lugu lake ecosystem types

类型 Type	1990		1995		2001		2005		2010		2015		平均比例 Average proportion/ %
	面积 Area/ km ²	%											
农田 Farmland	28.8	5.7	89.7	17.6	86.8	16.8	51.3	10.1	54.8	10.8	103.1	20.2	13.5
森林 Forest	340.7	66.9	317.6	62.3	333.2	65.5	351.3	68.9	301.2	59.1	231.4	45.4	61.4
草地 Grassland	72.9	14.3	24.2	4.7	26.6	5.3	37.4	7.3	54.4	10.6	22.4	4.4	7.8
水域 Water	64.3	12.6	75.1	14.7	59.9	11.8	64.6	12.7	44.0	8.6	40.8	8.0	11.4
人居 Human settlement	2.8	0.6	2.9	0.6	3.0	0.6	5.0	1.0	55.1	10.8	111.8	21.9	5.9

总体上,泸沽湖多年间生态系统类型变化主要分为两个阶段。第一个阶段为1990—2005年,该阶段特征主要体现为农田、森林以及草地生态系统的相互转化,至第一阶段末,即2005年,泸沽湖区域各生态系统类型面积大小顺序依次为森林、水域、农田、草地以及人居。第二个阶段为2005—2015年,该阶段中泸沽湖区域各类生态系统的相对面积比例发生较大变化,主要体现为农田、人居环境系统的迅速扩张并入侵其他生态系统,至第二阶段末,即2015年,各生态系统类型面积占比依次为森林、人居、农田、水域以及草地。

根据以上两个阶段,通过构建1990年至2015年泸沽湖流域的生态系统面积变化矩阵(表4、表5),进一步分析区内各类主要生态系统的相互转化态势。1990—2005年阶段,农田、草地与森林生态系统之间的相互转移占据其生态系统变化的主要部分。农田生态系统分别从森林和草地转入18.61 km²和9.58 km²,净增长22.5 km²;森林生态系统分别从草地和农田转入37.18 km²和3.88 km²,净增长10.56 km²;草地生态系统分别向森林和农田转出37.18 km²和9.58 km²,净减少35.51 km²。相比之下,其他生态系统类型之间的转化均没有超过3 km²,因而在该阶段内泸沽湖区域生态系统类型主要的变化发生在农田、森林与草地生态系统之间。而至2005—2015年阶段,森林、草地及水域生态系统整体向农田生态系统及人居环境系统转化的趋势成为主导。森林、草地及水域生态系统在此阶段内分别净减少124.84 km²、11.88 km²和14.54 km²,农田生态系统与人居环境系统45.47 km²和105.79 km²。1990—2005年各类生态系统的稳定性状态排序由强到弱依次为森林、草地、水域、农田以及人居,其中,人居环境系统表现出极不稳定的特点,有97.8%的区域发生了变化。2005—2015年各类生态系统的稳定性排序依次为水域、森林、农田、人居环境系统以及草地,其中,草地表现出极不稳定的特点,有82.7%的区域发生了变化。

表 4 1990—2005 年生态系统类型面积变化矩阵/km²

Table 4 Lugu lake ecosystem types change matrix from 1990 to 2005

		2005 年				
		农田	森林	草地	水域	人居环境
1990 年	农田	21.67	3.88	1.71	0.17	0.26
	森林	18.61	320.12	11.11	2.04	0.48
	草地	9.58	37.18	18.92	1.21	0.42
	水域	0.15	2.91	0.03	55.48	0.04
	人居环境	0.48	0.65	0.13	0.00	0.06

表 5 2005—2015 年生态系统类型面积变化矩阵/km²

Table 5 Lugu lake ecosystem types change matrix from 2005 to 2015

		2015 年				
		农田	森林	草地	水域	人居环境
2005 年	农田	29.08	6.92	2.46	0.04	17.8
	森林	55.97	202.80	15.76	0.26	76.56
	草地	10.41	11.74	5.68	0.01	10.46
	水域	3.80	3.76	2.26	40.41	5.03
	人居环境	2.51	1.29	0.26	0.00	1.60

2.2 泸沽湖景观指数分析

研究通过引入景观指数进一步分析泸沽湖生态系统格局结构变化和异质性。以研究区整体为尺度来看, 主要分为两大阶段。第一阶段 1990—2001 年间泸沽湖区域斑块密度及景观形状指数波动上升, 平均斑块面积波动下降, 主要体现为景观破碎化加剧。第二阶段中, 在 2001—2015 年期间, 泸沽湖区域斑块密度、景观形状指数及多样性指数波动下降, 平均斑块面积与波动上升。区域景观破碎化程度呈下降趋势, 各生态系统类型之间差异逐渐增大(表 6)。

表 6 不同时期泸沽湖区域景观指数

Table 6 Lugu lake area landscape index in different years

年度 Year	斑块密度 Patch density	边界总长度 Boundary length/km	景观形状指数 Landscape shape index	平均斑块面积 Mean patch area/km ²	多样性指数 Diversity index
1990	15.8	2324.4	28.9	6.3	1.28
1995	10.9	1734.5	21.8	9.2	1.28
2001	24.7	2493.4	30.9	4.1	1.27
2005	12.7	1744.4	21.9	7.9	1.25
2010	13.3	2032.4	26.9	5.2	1.24
2015	12.9	1781.2	21.5	7.4	1.23

以泸沽湖区内各类生态系统类型为尺度来看, 1990 年至 2015 年期间, 农田、森林、草地和水域生态系统的斑块边界密度与形状指数逐年降低, 除农田生态系统外, 森林、草地、水域生态系统斑块数均有大幅下降, 这些景观指数的降低表明泸沽湖区域景观破碎化程度多年总体上降低, 各生态系统类型之间的连通性越来越高、整体性越来越强, 而这也导致景观多样性指数呈现连续下降态势的原因之一。此外, 农田生态系统经过土地整理后, 为便于集约化生产和管理, 大大提高了农业生产的集约化程度, 形成集中连片格局。同时, 随着泸沽湖经济水平的提高和旅游开发的迅速发展, 人居环境系统的景观指数变化幅度最大, 斑块总面积、数目和边界密度急剧增加, 变化率分别为 3280.7%、463.4% 和 141.3%, 具体空间分布上主要集中在沿湖部分旅游开发过热的村庄, 如落水村、里格村等。这反映了泸沽湖区域人居环境系统景观的破碎化程度在此期间急速增加。

而人居环境系统的斑块的增多,是随着旅游业的发展所形成的道路、宾馆、游憩场所的增多的作用结果(表7)。

表7 泸沽湖区域5类生态系统景观指数

Table 7 Lugu lake landscape index of different ecosystem types

类型 Type	年度 Year	斑块数 Patch number	边界密度 Boundary density	形状指数 Landscape shape index	平均面积 Mean area/km ²
农田 Farmland	1990	1713	26.15	52.98	1.7
	2015	2358	19.43	46.13	1.6
森林 Forest	1990	1039	44.79	39.47	14.6
	2015	386	28.47	29.83	18.7
草地 Grassland	1990	2262	16.33	59.82	0.4
	2015	1176	16.32	48.62	0.6
水域 Water	1990	1403	15.47	21.11	4.5
	2015	898	6.74	15.38	4.2
人居 Human settlement	1990	424	2.01	22.48	0.2
	2015	2389	4.85	39.52	1.2

2.3 生态系统变化驱动因素分析

2.3.1 农田生态系统变化驱动因素分析

1990—2005年阶段,泸沽湖区域农田生态系统面积先增加后减少但总体增加,主要分别从森林、草地生态系统净转入14.73 km²和7.87 km²,总体占比增加4.4%(图2)。以2000年泸沽湖退耕还林工程实施为分界线,2000年以前泸沽湖地区根据《永宁乡土地利用总体规划》重视基本农田保护,防止随意侵占和浪费耕地,农田面积逐年增加;2000年至2005年间农田生态系统所占比例下降6.7%,其中向森林流出比例最高,说明退耕还林工程在一定程度上限制了农田生态系统的扩张。

2005年至2015年阶段,农田生态系统迅速扩张,分别从森林、草地以及水域净转入49.05 km²、7.95 km²和3.76 km²,总体占比增加10.1%(图3)。泸沽湖当地土地利用规划政策的农田重视导向,加之随着旅游业的开发与社会经济发展,当地农田土地开发的需求和能力也大大增加,而毁林开荒成为农田面积增长的最主要方式。

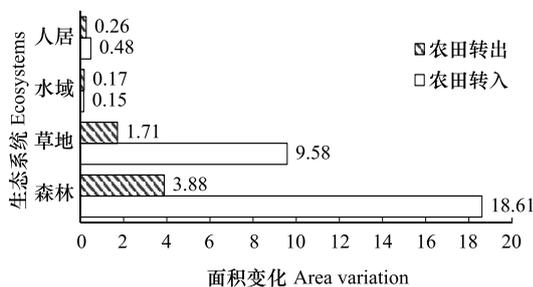


图2 1990—2005年农田生态系统变化/km²

Fig. 2 The transformation of farmland ecosystem during 1990—2005

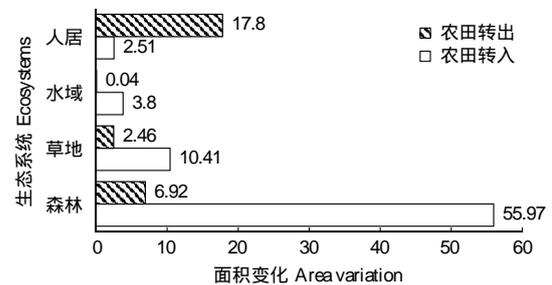


图3 2005—2015年农田生态系统变化/km²

Fig. 3 The transformation of farmland ecosystem during 2005—2015

总体上,农田生态系统在25年间现增加后减少再增加,呈现波动增长态势,面积增加74.3 km²,总体占比增加14.5%,其变化主要涉及从森林、草地的转入以及向人居环境系统的转出,主要驱动因素为政策导向。

2.3.2 森林生态系统变化驱动因素分析

1990—2005 年阶段, 泸沽湖区域森林生态系统面积先减少后增加但整体增加, 主要从草地生态系统净转入 26.07 km², 向农田生态系统净转出 14.73 km², 总体占比增加 2% (图 4)。1995 年至 2005 年森林面积逐年呈增加态势, 宁蒗县天然林资源保护工程实施过程中, 从 1999 年就将天然林采伐产量已调减为零, 而进一步的植树造林工程使得森林覆盖率逐年增加, 使得部分草地转化为林地。

然而 2005—2015 年阶段, 森林又开始呈现逐年减少的趋势, 向人居环境系统与农田生态系统分别净转出 75.27、49.05 km², 总体占比减少 23.5% (图 5)。随着旅游业和社会经济的发展, 以往的森林保护政策与工程影响逐渐减弱, 造成人居、农田对森林生态系统的不断入侵, 森林面积大幅减少。

森林生态系统在 25 年间总体上先增加后减少, 其面积减少 109.3 km², 其总体占比减少 21.4%, 其变化主要涉及从草地的转入以及向人居、农田的转出, 主要驱动因素为政策保护与毁林开荒。

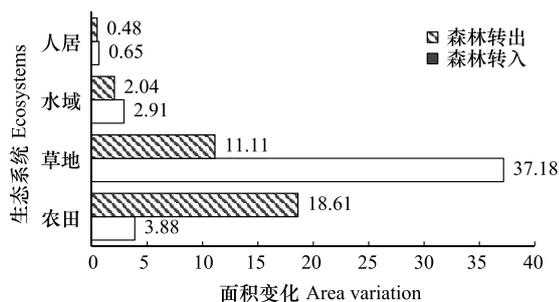


图 4 1990—2005 年森林生态系统变化/km²

Fig.4 The transformation of forest ecosystem during 1990—2005

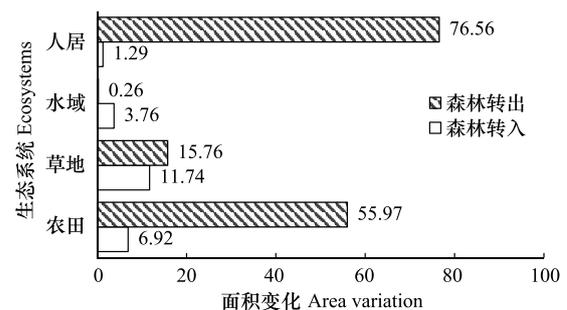


图 5 2005—2015 年森林生态系统变化/km²

Fig.5 The transformation of forest ecosystem during 2005—2015

2.3.3 草地生态系统变化驱动因素分析

1990—2005 年阶段, 草地生态系统面积波动减少, 向森林、农田生态系统分别净转出 26.07、7.87 km², 总体占比减少 7% (图 6)。1990—1995 年间草地生态系统净转出 48.7 km², 总体占比减少 9.6%; 1995—2005 年间草地生态系统增加 13.2 km², 总体占比增长 2.6%。植树造林是草地生态系统面积减少的主要原因, 而从 2000 年起实施的退耕还林还草工程也在一定程度上促使草地生态系统面积的增加。

2005—2015 年阶段, 草地生态系统呈现多年减少趋势, 其面积减少 15 km², 总体占比减少 2.9%, 转化为农田、森林和人居环境分别为 10.41、11.74 km² 和 10.46 km², 其中, 向农田及人居环境分别净转出 7.95、10.2 km², 从森林生态系统净转入 4.02 km² (图 7)。农田及人居环境系统入侵是草地生态系统减少的主要原因。

草地生态系统在 25 年间先减少后增加再减少, 其面积减少 50.5 km², 其总占比减低 9.9%, 其变化主要涉及向森林、人居及农田的转出, 主要驱动因素为植树造林与土地开发。

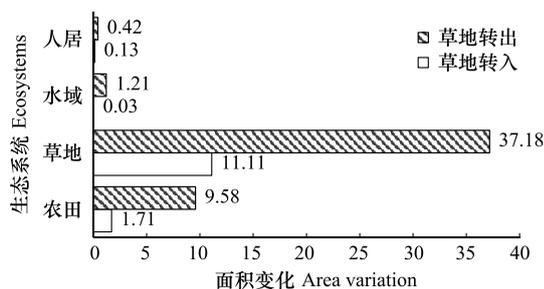


图 6 1990—2005 年草地生态系统变化/km²

Fig.6 The transformation of grassland ecosystem during 1990—2005

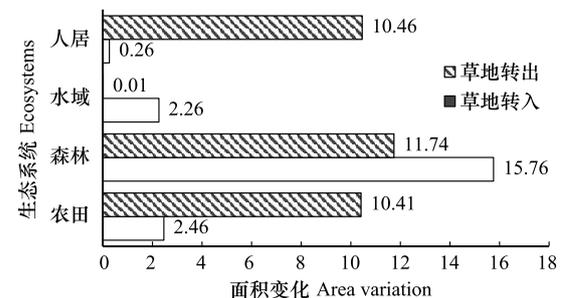


图 7 2005—2015 年草地生态系统变化/km²

Fig.7 The transformation of grassland ecosystem during 2005—2015

2.3.4 水域生态系统变化驱动因素分析

1990—2005 年阶段,水域生态系统稳定波动,从草地净转入 1.18 km²,向森林净转出 0.87 km²,总体占比增加 0.1%(图 8)。从 1990 到 1995 年间呈现增加态势,而 1995 到 2001 年呈现减少态势,其原因主要是 1995 年以后实施的永宁乡开基河的河道整治工程,有 5%水域生态系统转化为森林生态系统大幅度减少了河漫滩水体的面积;但从 2001 年起,水域生态系统面积又有所增长,主要源于草海湿地出水口淤积大量水草后抬高水位引起的水面增加。

而 2005—2015 年阶段,水域生态系统呈逐年减少态势,向森林、草地、农田生态系统以及人居环境系统净转出分别为 3.5、2.25、3.76 km²和 5.03 km²,其总体占比减少 4.7%(图 9)。26.1%水域生态系统转化为其它生态系统,从空间位置来看主要集中在原有的河、湖漫滩湿地上,主要是由于在湿地大面积造林和人类活动造成的。

水域生态系统在 25 年间呈波动减少态势,其面积减少 23.5 km²,其总体占比减少 4.6%,其变化主要涉及向森林、人居及农田的转出,主要驱动因素为湿地造林与人类活动入侵。

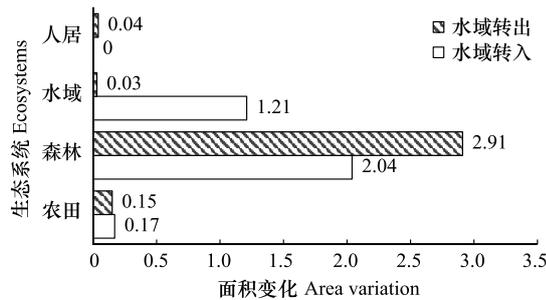


图 8 1990—2005 年水域生态系统变化/km²

Fig.8 The transformation of waters ecosystem during 1990—2005

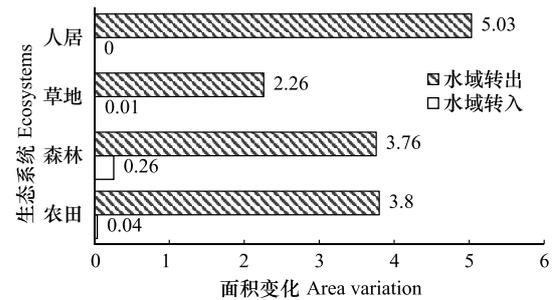


图 9 2005—2015 年水域生态系统变化/km²

Fig.9 The transformation of waters ecosystem during 2005—2015

2.3.5 人居环境系统变化驱动因素分析

1990—2005 年阶段,人居环境系统面积占比不足 5%且基本稳定,分别向森林、农田生态系统净转出 0.17、0.22 km²,从草地生态系统净转入 0.29 km²(图 10)。在此阶段,泸沽湖区域旅游业及社会经济发展落后,人迹罕至,而当地常住人口数较少,村落建设不发达。

而 2005—2015 年阶段,人居环境系统呈现激增态势,分别从农田、森林、草地及水域生态系统净转入 15.29、75.27、10.2 km²和 5.03 km²,其总面积增加 106.8 km²,其总体占比增加 20.9%(图 11)。近年来旅游业开发,带来更多的人居环境用地需求,其具体表现为各类生态系统整体流向人居环境系统。

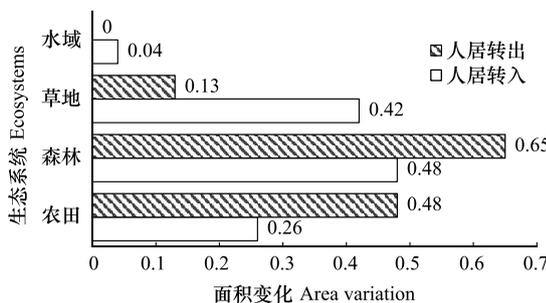


图 10 1990—2005 年人居环境系统变化/km²

Fig.10 The transformation of human settlements system during 1990—2005

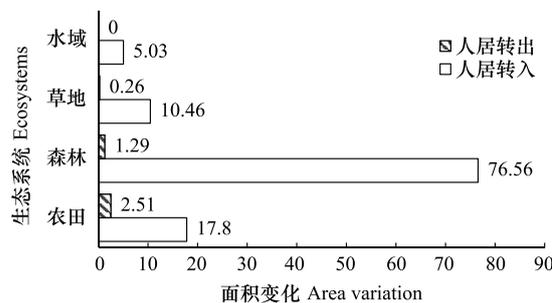


图 11 2005—2015 年人居环境系统变化/km²

Fig.11 The transformation of human settlements system during 2005—2015

人居环境系统在 25 年间总体上持续增加,特别是近年来呈现激增趋势,其面积增加 109 km²,其总体占比增加 21.3%,其变化主要涉及森林、农田生态系统的转入,主要驱动因素为人类用地需求。

3 结论

本文将 1990—2015 年多时相遥感影像与地理信息系统技术结合,采用生态系统信息分类提取方法和景观指数方法对泸沽湖风景区生态系统构成与格局变化进行分析,进一步探讨引起各类生态系统变化的驱动力因素,为泸沽湖风景区的生态与旅游规划提供科学和理论基础。通过研究结果分析,主要结论如下:

泸沽湖风景区多年生态系统变化主要分为两个阶段:1990 年至 2005 年,主要表现为农田、森林、草地三个生态系统之间相互转化;2005 年至 2015 年,主要表现为森林、草地、水域生态系统整体流向农田、人居环境系统。

泸沽湖风景区多年景观格局演变主要分为两个阶段:1990—2001 年泸沽湖区域景观破碎化趋势加剧;2001—2015 年区域景观破碎化与复杂程度呈下降趋势,各生态系统类型之间差异逐渐增大。

泸沽湖风景区 1990—2015 年间,农田、森林、草地以及水域生态系统连通性及整体性不断增强,景观破碎化程度降低;人居环境系统景观指数变化幅度最大,其景观破碎化程度急速增加。

农田生态系统变化的主要驱动力是政策导向;森林与草地生态系统变化的主要驱动力是退耕还林还草工程与人类活动;水域生态系统变化主要驱动因素是湿地造林与人类活动入侵;人居环境系统变化的主要驱动因素为人类用地需求的增涨。

4 建议

从泸沽湖多年整体生态系统演变过程来看,人居环境系统及农田生态系统的扩张,已经导致其他生态系统的退化减少,特别是森林及水域的减少,严重影响了泸沽湖生态系统健康及生态系统服务功能的完整性。因而,如何进一步改善生态系统构成与格局是泸沽湖区域的当务之急,应当从以下几点建议出发考虑。

4.1 湖滨生态带建设

泸沽湖湖滨缓冲带土地利用结构不尽合理,很有可能导致湖体面积进一步被人居环境系统侵蚀。因此,开展湖滨海岸带生态修复建设,保护环湖沿岸湖滨生态系统服务功能的完整性,严格限制湖滨旅游开发项目和建设,控制旅游区内建房挤占湖滨生态带的空间对保护和维持泸沽湖水域生态系统健康具有十分重要的意义。

4.2 封山造林与退耕还林并重

泸沽湖近年来植被破坏严重,主要体现为农田及人居环境系统不断入侵,加之区内人工造林成活率较低,使得区域内森林覆盖率的大幅降低。因此,鉴于泸沽湖区内森林多生于山地,有封山育林的条件,可以 3600 m 等高线为界,高于此界的范围建议设为生态保护区,严禁毁林开荒与砍材伐薪,同时大面积开展植树造林与坡耕地退耕还林工程,确保区内森林覆盖率稳步提升。

4.3 环境物联网建设

泸沽湖区域的生态系统变化过程趋于无序的发展,缺少系统的规划与调控。物联网环境体系可以通过实时、长期的环境监测,客观真实的反映泸沽湖景区生态系统构成及其格局状态,并对区内生态系统变化进行系统的实地监测与记录。此外,基于完整、系统的环境数据库管理,可以进一步对泸沽湖景区内生态系统变化的主要压力源进行科学合理的分析解释。在生态修复治理工程进行前、进行中及完成后都能对其进展和成效进行及时的反馈与分析,对生态修复工作的内容及范围给予直接支持,为环境保护与治理工作及最终实现区域可持续发展提供基础和保障。

参考文献 (References):

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用(第二版). 北京: 科学出版社, 2011.

- [2] 肖笃宁, 布仁仓, 刘秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, 1997, 17(5): 453-461.
- [3] 欧阳志云. 我国生态系统面临的问题与对策. 中国国情国力, 2017, (3): 5-10.
- [4] 傅伯杰, 吕一河. 生态系统评估的景观生态学基础. 资源科学, 2006, 28(4): 5-5.
- [5] Alqurashi A F, Kumar L. Investigating the Use of remote sensing and GIS techniques to detect land use and land cover change; a review. *Advances in Remote Sensing*, 2013, 2(2): 193-204.
- [6] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, Hoffmann M J, Deadman P. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(2): 314-337.
- [7] Butt A, Shabbir R, Ahmad S S, Aziz N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: a case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2015, 18(2): 251-259.
- [8] Homer C G, Dewitz J, Yang L M, Jin S M, Danielson P, Xian G Z, Coulston J, Herold N, Wickham J, Megown K. Completion of the 2011 National Land Cover Database for the Conterminous United States-Representing a Decade of Land Cover Change Information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2015, 81(5): 345-354.
- [9] 蒋冲, 王德旺, 罗上华, 李岱青, 张林波, 高艳妮. 三江源区生态系统状况变化及其成因. *环境科学研究*, 2017, 30(1): 10-19.
- [10] 邓伟, 刘红, 袁兴中, 张跃伟, 齐静. 三峡库区水源涵养重要区生态系统格局动态演变特征. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(4): 661-668.
- [11] 李雪冬, 杨广斌, 张旭亚, 李冰, 王茂阳. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特山区生态系统构成与格局及转化分析——以贵州毕节地区为例. *中国岩溶*, 2014, 33(1): 82-90.
- [12] Wu G, Zhang Q X, Zheng X X, Mu L F, Dai L M. Water quality of Lugu Lake: changes, causes and measurements. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2008, 15(1): 10-17.
- [13] 李春明, 孙晓泽, 董仁才, 赵景柱. 泸沽湖里格生态环境管理决策机制与成效分析. *环境科学与技术*, 2010, 33(8): 196-199.
- [14] 范玟, 胡文英, 李捷. 泸沽湖景区生态安全评价. *云南地理环境研究*, 2008, 20(2): 78-81, 93-93.
- [15] Zhao J Z, Jia H Y. Strategies for the sustainable development of Lugu Lake region. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2008, 15(1): 71-79.
- [16] 董云仙, 谭志卫, 王俊松. 泸沽湖生态系统问题分析. *环境科学导刊*, 2011, 30(1): 39-43.
- [17] 田军, 庞云平. 泸沽湖生态旅游建设研究. *云南环境科学*, 2001, 20(2): 8-11.
- [18] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 121-125.