抚仙湖流域生态用地时空演变及其驱动因素

尹 娟[1], 资本飞[2], 阳利永[1], 陈婧祎[1]

(1. 玉溪师范学院 地理与国土工程学院, 云南 玉溪 653100; 2. 玉溪市基础地理信息中心, 云南 玉溪 653100)

摘 要: [目的] 研究生态用地时空演变规律及形成机制,为维持区域生态平衡和保障生态文明建设提供科学参考。[方法] 运用土地利用变化幅度、洛伦兹曲线、基尼系数、回归分析及 GIS 技术等方法,分析 2010—2018 年抚仙湖流域生态用地时空演变特征及其形成机理。[结果] ①抚仙湖流域生态用地以耕地、林地和水域及水利设施用地为主。8 a 来,耕地面积减少 5.15 km^2,林地面积减少 1.94 km^2,草地面积减少 0.81 km^2,园地面积减少 0.19 km^2,其他土地面积减少 1.40 km^2,水域及水利设施用地面积增加 0.03 km^2。②流域各种生态用地空间分布差异较大,耕地、林地空间分布较均匀,洛伦兹曲线比较靠近绝对均匀线,基尼系数居 0～0.25 之间。草地、园地、水域及水利设施用地和其他土地分布相对集中,洛伦兹曲线下凹程度较大,基尼系数多处于 0.5 之上。生态用地空间分布不均的趋势有所加强。③从驱动机制来看,导致流域生态用地时空变化的主要驱动因素为人口密度、城镇化水平、政策、到主要公路距离、到水域距离、到城镇建成区距离。[结论] 研究时段内,抚仙湖流域生态用地时空变化较显著,其变化是自然条件、社会经济条件及空间区位条件多种因素协同作用的结果。

关键词: 生态用地; 时空演变; 驱动因素; 抚仙湖流域

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)06-0228-08 **中图分类号**: F301.24

文献参数: 尹娟, 资本飞, 阳利永, 等. 抚仙湖流域生态用地时空演变及其驱动因素[J]. 水土保持通报, 2020,40(6):228-235. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.033; Yin Juan, Zi Benfei, Yang Liyong, et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of ecological land use in Fuxian Lake basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(6):228-235.

Spatial-temporal Evolution and Driving Factors of Ecological Land Use in Fuxian Lake Basin

Yin Juan[1], Zi Benfei[2], Yang Liyong[1], Chen Jingyi[1]

(1. *College of Geography and Land Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan* 653100, *China*; 2. *Yuxi Geomatics Center, Yuxi, Yunnan* 653100, *China*)

Abstract: [Objective] The spatial and temporal evolution and formation mechanism of ecological land was studied in order to provide scientific reference for maintaining regional ecological balance and ensuring the construction of ecological civilization. [Methods] The land use change amplitude, Lorentz curve, Gini coefficient, regression analysis and GIS technology were used to comprehensively analyze the spatial-temporal evolution characteristics of ecological land in Fuxian Lake basin from 2010 to 2018, and discuss its formation mechanism. [Results] ① The main types of ecological land use in Fuxian Lake basin were cultivated land, forest land, water area and water conservancy facilities. In the past 8 years, the area of arable land, woodland, grassland, garden land and other land decreased by 5.15, 1.94, 0.81, 0.19 and 1.40 km^2, respectively, while the area of water and water conservancy facilities increased by 0.03 km^2. ② The spatial distribution of various ecological land in the river basin was quite different, the spatial distribution of cultivated land and forest land was relatively uniform. The Lorentz curve was relatively close to the absolute uniform line, and the Gini coefficient was 0～0.25. The distribution of grassland, garden land, water area

收稿日期:2020-07-25 **修回日期**:2020-09-18

资助项目:云南省教育厅科学研究项目"抚仙湖流域生态用地供需平衡与优化研究"(2020J0643); 云南省地方本科高校(部分)基础研究联合专项"基于改进生态足迹模型的抚仙湖流域土地承载力研究"(2017FH001-045)

第一作者:尹娟(1987—),女(汉族),四川省广安市人,硕士,讲师,主要从事土地利用与国土规划研究。Email:yinjuan696x@163.com。

and water conservancy facilities, unused land were relatively concentrated. The Lorentz curve was more concave, and the Gini coefficient was mostly above 0.5. The uneven spatial distribution of ecological land has strengthened. ③ From the perspective of driving mechanism, the main driving factors that driving the temporal and spatial changes of ecological land in the river basin were population density, urbanization level, policy, distance to major roads, distance to waters, and distance to urban built-up areas. [Conclusion] During the study period, the temporal and spatial changes of the ecological land in Fuxian Lake basin were significant, which is the result of the synergistic effect of various factors, such as natural conditions, socio-economic conditions and spatial location conditions.

Keywords: ecological land; spatial and temporal evolution; driving factors; Fuxian Lake basin

生态用地是发挥生态服务功能、提供生态产品的核心载体,是维持和稳定区域生态平衡的重要资源[1]。随着城市化和工业化的快速发展以及人口的持续增长,人类活动对生态环境的干扰和破坏程度也日渐增强[2]。大量具有重要生态功能的土地类型被转换成为建设用地,生态用地不断遭到侵袭,导致区域生态系统服务价值下降和生态系统服务功能衰退[3-5]。因此,确保一定数量和质量的生态用地是实现我国社会经济可持续发展的基础。面对全球性和区域性的生态环境问题,将生态用地作为科学问题加以研究和探讨具有非常重要的理论意义和现实意义[6]。从现有研究来看,对生态用地研究主要集中在生态用地类型的识别及格局演变上,如张红旗、邓小文和岳健等[7-10]对生态用地的内涵和分类进行了探讨;苏伟忠等[11]研究了长三角洲生态用地破碎度及演化机制,并定量分析生态用地破碎与坡度、水面和人为干扰与补偿的关系;张林波等[12]将景观生态概念模型与生态系统服务功能价值评估方法结合起来,在 GIS 技术的支持下,构建了城市最小生态用地空间分析模型。此外,还有学者[13-16]应用碳氧平衡法和景观安全格局测算生态用地需求量。由此可见,生态用地一直是国内外学者研究的核心内容。

抚仙湖流域作为我国西南地区和珠江流域重要的生态屏障,是我国"两屏三带"生态安全战略格局的重要组成部分,具有极其重要的生态战略地位[17]。流域内生态用地数量的多少和质量的好坏直接关系到区域、云南省乃至全国生态系统的安全。因此,开展抚仙湖流域生态用地演变及驱动因素研究对于协调流域经济—社会—生态全面发展,提升滇中地区生态资源承载力,保障云南生态文明建设具有一定现实意义。本文以抚仙湖流域生态用地为研究对象,借助土地利用变化幅度、洛伦兹曲线和基尼系数,分析 2010—2018 年流域生态用地时空变化特征,采用回归分析及 GIS 技术诊断时空变化的影响因素,为全面掌握流域生态用地演变规律,推动流域的可持续发展提供科学借鉴。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

抚仙湖流域位于云南省玉溪市境内,属滇中盆地中心,位于北纬 24°21′—24°38′,东经 102°49′—102°57′。流域面积 728.55 km^2,跨澄江、华宁、江川三县,含 8 个乡镇、43 个行政村。流域属中亚热带半干旱高原季风气候类型,常年平均气温 15.5 ℃,年均降水量 790～1 000 mm,降水集中在 5—10 月份,暴雨频发,破坏性大[18]。地形以高原、丘陵为主,区内森林覆盖率低,石漠化和水土流失严重。尽管目前抚仙湖处于贫营养状态,水质基本保持为Ⅰ类,但特殊的自然地理条件和以第一、二产业为主导的社会经济结构,使流域生态风险持续加大,生态功能提升与维护面临较大压力[19]。

1.2　生态用地界定

生态用地的分类一直是国内学术界研究的热点,学者们从不同的角度得出了不同的分类结果。总体上看,生态用地类型的划分主要有 3 种方式:从土地覆被类型角度划分[20-21]、从土地功能角度划分[22-25]和考虑多因素的综合划分方式[1,26]。本文在前人研究成果基础上,根据抚仙湖流域土地利用的实际情况以及 2017 年国土资源部组织修订的国家标准《土地利用现状分类(GB/T21010-2017)》,将生态用地划分为耕地、园地、林地、草地、水域及水利设施用地和其他土地 6 个二级地类,其他为非生态用地(表 1)。

1.3　数据来源

(1) 生态用地数据。以 2010—2018 年玉溪市江川区、华宁县、澄江县土地利用年度变更数据为基础,根据生态用地划分标准,整理出研究期抚仙湖流域各种生态用地面积;

(2) 空间分布数据。以 2010 和 2018 年 2 期 Landsat 影像为主要数据源,通过监督分类与目视修改,并到实地进行校对,得到 2010 和 2018 年抚仙湖流域生态用地空间分布图。

(3) 社会经济数据。采用 2010—2018 年澄江县、华宁县、江川区社会经济统计年鉴及实地调研数据,用以研究流域社会经济发展对生态用地演变的影响。

表 1 抚仙湖流域生态用地类型

一级地类	二级地类	三级地类
生态用地	耕 地	水田、水浇地、旱地
	园 地	果园、其他园地
	林 地	乔木林地、竹林地、灌木林地、灌木沼泽、其他林地
	草 地	其他草地
	水域及水利设施用地	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、内陆滩涂、沟渠
	其他土地	裸土地、裸岩石砾地、田坎
非生态用地		零售商业用地、批发市场用地、餐饮用地、旅馆用地、商务金融用地、娱乐用地、其他商服用地、工业用地、采矿用地、仓储用地、城镇住宅用地、农村宅基地、机关团体用地、新闻出版用地、教育用地、科研用地、医疗卫生用地、社会福利用地、文化设施用地、体育用地、公用设施用地、公园与绿地、监教场所用地、殡葬用地、风景名胜设施用地、公路用地、城镇村道路用地、交通服务场站用地、农村道路、港口码头用地、水工建筑用地、设施农用地

1.4 研究方法

1.4.1 生态用地变化分析

(1) 土地利用变化幅度。土地利用变化幅度可揭示研究区土地利用变化的总体态势和结构特征[18]。其表达式为:

$$\Delta U = U_b - U_a \tag{1}$$

式中:ΔU 为研究时段内某种生态用地面积的变化幅度;U_a,U_b 分别为研究初期和末期该种生态用地的面积。

(2) 洛伦兹曲线。洛伦兹曲线能直观反映各种生态用地在流域分配均匀程度,是分析生态用地空间分布的有效手段。根据研究区某种生态用地区位熵的大小,计算出累计百分比,以研究区土地总面积累计百分比为横坐标,某种生态用地累计百分比为纵坐标,绘制出生态用地分布的洛伦兹曲线。其中,区位熵的计算公式[27]为:

$$LQ = \frac{S_1/S_2}{S_3/S} \tag{2}$$

式中:LQ 为区位熵;S_1 为某行政村某种生态用地面积;S_2 为流域该种生态用地总面积;S_3 为某行政村土地总面积;S 为流域土地总面积。

(3) 基尼系数。基尼系数可以对各类生态用地分布的均匀程度进行定量分析。计算公式[28]为:

$$G = 1 - \frac{1}{n}\left(2\sum_{i=1}^{n-1} W_i + 1\right) \tag{3}$$

式中:G 为基尼系数;W_i 第一个行政村到第 i 个行政村某种生态用地占流域该种生态用地百分比累计量;根据研究区行政村的个数,$n=43$。基尼系数越小表明该种生态用地在研究区分布越均匀。

1.4.2 生态用地驱动力分析

(1) 回归分析。多元线性回归多用于分析因变量与自变量的统计学关系。采用多元线性回归,分析时间变化驱动因素与抚仙湖流域各种生态用地的数量关系,揭示生态用地时间变化的主导因素。研究中,因变量为流域各种生态用地面积(水域及水利设施用地在研究期变化量较小,不予以考虑)。生态用地面积的变化往往是自然、人文、社会、经济等多因素交互作用的结果。抚仙湖流域地处滇中,位于云南省经济发展的核心区域,人类活动强烈。而气候、地形、土壤等自然因素在较小时间尺度下相对稳定,对生态用地数量变化影响不明显。因此,根据科学性、数据的可获取性、相关性及因子的可定量化程度等原则,从经济水平、人口因素、产业结构、城镇发展 4 个方面进行选取自变量(表 2)。

表 2 抚仙湖流域生态用地时间变化驱动因素

驱动力	驱动因子	指标单位
经济水平	地区 GDP(x_1)	万元
	人均 GDP(x_2)	万元
	社会固定资产投资额(x_3)	万元
人口因素	人口密度(x_4)	人/km^2
	人口自然增长率(x_5)	‰
	非农业人口(x_6)	万人
产业结构	GDP 中三产构成(x_7)	%
	一产内部结构比(x_8)	%
	二产内部结构比(x_9)	%
	三产内部结构比(x_{10})	%
城镇发展	城镇化水平(x_{11})	%

(2) GIS 技术。参考以往学者的研究[29-31],结合抚仙湖流域实际,从自然条件、地理区位、经济区位三方面选取生态用地空间变化驱动因素(表 3)。采用 GIS 空间近邻分析法计算出 8 a 间转入、转出及内部

调整的生态用地图斑到主要公路、水域、城镇建成区、农村居民点的距离。根据距离、坡度及地形起伏度的大小,采用自然断点法划分出 5 级(表 3),分类统计出变化图斑在各级的数量及面积比重。

表 3　抚仙湖流域生态用地空间变化影响因素及其分级标准

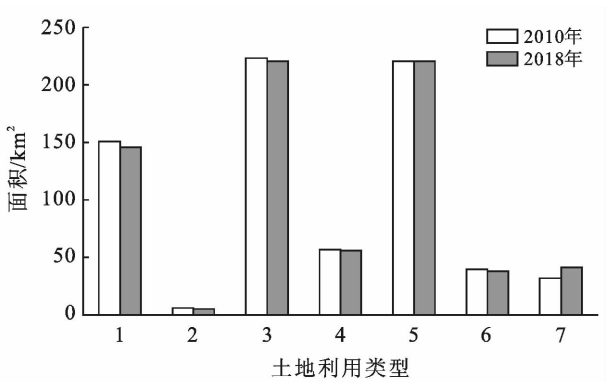
驱动力	驱动因子	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
自然条件	坡度/(°)	[0,8)	[8,15)	[15,25)	[25,35)	≥35
	地形起伏度/m	[0,200)	[200,400)	[400,600)	[600,800)	≥800
地理条件	到主要公路距离/m	[0,50)	[50,100)	[100,150)	[150,200)	≥200
	到水域距离/m	[0,110)	[110,200)	[200,300)	[300,500)	≥500
经济条件	到城镇建成区的距离/m	[0,100)	[100,200)	[200,300)	[300,500)	≥500
	到农村居民点的距离/m	[0,25)	[25,50)	[50,75)	[75,100)	≥100

2　结果与分析

2.1　抚仙湖流域生态用地变化分析

2.1.1　抚仙湖流域生态用地时间变化特征　研究结果显示(图 1),2010—2018 年,抚仙湖流域生态用地以耕地、林地和水域及水利设施用地为主,3 类用地面积占流域生态用地总面积比重一直处于 85%以上,构成了抚仙湖流域生态用地的基本格局。生态用地的变化整体上呈现“5 减 1 增”的现象,即耕地、林地、草地、园地、其他土地呈下降趋势,水域及水利设施用地面积略有增加。各种生态用地具体变化情况如下:耕地面积从 2010 年的 150.72 km^2 下降到 2018 年的 145.57 km^2,面积减少 5.15 km^2;林地面积从 2010 年的 222.88 km^2 下降到 2018 年的 220.94 km^2,面积减少 1.94 km^2;草地从 2010 年的 56.95 km^2 下降到 2018 年的 56.14 km^2,面积减少 0.81 km^2;园地从 2010 年的 5.76 km^2 下降到 2018 年的 5.56 km^2,面积减少 0.19 km^2;其他土地从 2010 年的 39.51 km^2 下降到 2018 年的 38.11 km^2,面积减少 1.40 km^2。水域及水利设施用地面积略有增加,增加量为 0.03 km^2。总体来看,8 a 间抚仙湖流域生态用地总量变化不大,年均减少量为 1.18 km^2,耕地是这一时期变化量最大的生态地类。生态用地的减少主要源于非生态用地的占用。随着生态用地的减少,非生态用地的增加,生态用地与非生态用地的比例由 2010 年的 22∶1 下降到 2018 年的 17∶1。

2.1.2　抚仙湖流域生态用地空间演变特征　通过观察 2010 和 2018 年两个时点各种生态用地的空间分布图(附图 13)、洛伦兹曲线(图 2)及基尼系数(表 4)可知,8 a 间抚仙湖流域各种生态用地空间分布差异较大且演变特征各有不同。从总体布局上看,耕地、林地空间上分布比较平均,其洛伦兹曲线比较靠近绝对均匀线,基尼系数居 0～0.25 之间;草地、园地、水域及水利设施用地和其他土地 4 类生态用地空间分布相对集中,洛伦兹曲线下凹程度较大,基尼系数多处于 0.5 之上。其中,草地、园地和其他土地多分布于抚仙湖的北岸和东岸,水域及水利设施用地在不考虑抚仙湖湖泊水面的情况下也多分布在湖泊以北的区域。空间分布的均匀程度表现为:耕地＞林地＞水域及水利设施用地＞其他土地＞草地＞园地。从空间变化上看:流域生态用地总体空间分布格局没有发生改变,但不均匀的趋势有所加强。具体表现为,除水域及水利设施用地以外,其余 5 类生态用地的洛伦兹曲线下凹程度变大,基尼系数均有不同程度的增加。其中,耕地因面积的不断减少,且减少耕地主要位于抚仙湖北岸,致使耕地分布范围缩小,基尼系数增加幅度最大,从 2010 年的 0.09 增加至 2018 年的 0.16,增加了 87.49%。林地、草地、园地和其他土地基尼系数也有 3%～5%的增加。与此同时,随着“四退三还”等一系列措施的实施使得水域及水利设施用地面积有所增加,其生态用地空间分布的均匀程度有一定提升,洛伦兹曲线下凹程度减小,基尼系数下降了 11.51%。基尼系数变化量表现为:耕地＞水域及水利设施用地＞园地＞林地＞其他土地＞草地。



注:1 耕地;2 园地;3 林地;4 草地;5 水域及水利设施用地;6 其他土地;7 非生态用地。

图 1　抚仙湖流域 2010 和 2018 年各种生态用地及非生态用地面积变化

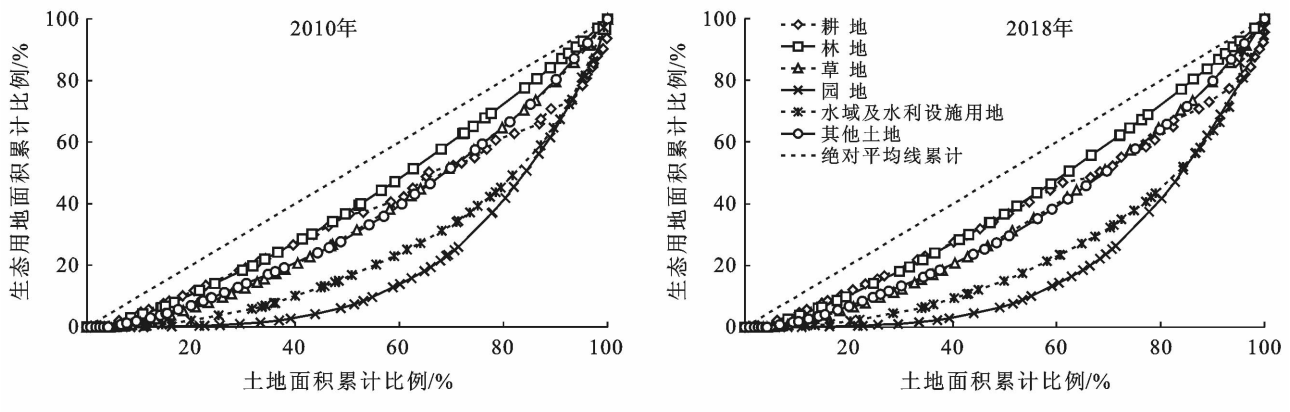


图 2 抚仙湖流域 2010 和 2018 年各种生态用地洛伦兹曲线

表 4 抚仙湖流域 2010 和 2018 年各种生态用地的基尼系数

年份	耕地	林地	草地	园地	水域及水利设施用地	其他土地
2010	0.09	0.24	0.53	0.56	0.50	0.51
2018	0.16	0.25	0.55	0.58	0.44	0.52

2.2 抚仙湖流域生态用地演变的驱动因素分析

2.2.1 *抚仙湖流域生态用地时间变化的驱动因素分析* 通过对流域 11 个社会经济指标进行逐步回归，剔除存在明显共线性的因子，将剩余指标与 5 种生态用地进行多元线性回归分析，进而诊断抚仙湖流域生态用地时间变化驱动机制。结果（表 5）显示所选因子与生态用地变化之间存在明显的相关性，模型中显著水平 p 值均小于 0.05，模型拟合优度较好，可以解释生态用地时间变化的驱动机制。在此基础上，以相关系数绝对值作为衡量生态用地变化主导影响因素的依据，绝对值越大说明驱动因子对用地变化影响越大[32]。根据相关性系数及回归模型可知，耕地变化的主要驱动因子为地区 GDP、人口密度和城镇化水平，且均呈负相关。一方面，人口增长、经济发展及城镇化水平的提高，使人们对住房和精神产品的需求增加，促使非农产业对土地需求增长速度快，进而引发耕地的大量流失。另一方面，随着经济发展，流域内农民收入来源由以农业生产为主向以农业生产、外出务工及旅游业收入等为主转变，多元化的生计方式使农民对耕地的依赖程度下降，致使部分耕地被闲置；林地主要受地区 GDP 的负向影响。经济的发展需要更多的生产承载空间，导致了林地的部分流失，表现为随经济发展水平的提高，林地呈不断下降的趋势；园地主要受地区 GDP、一产内部结构比的影响。其中地区 GDP 与园地呈负相关，作用机制与林地类似。一产内部结构比与园地呈正相关，其内部结构的调整对园地的扩张起着积极的促进作用。如以蓝莓、大樱桃、景观苗木、中药材为代表的高原特色农业取代烤烟、蔬菜等传统种植业，推进了传统农业向现代生态农业的转变，使园地得到一定的补充；草地主要受城镇化水平、社会固定资产投资额的影响，影响方向为负。随着流域城镇化的推进和旅游产业的发展，以酒店、别墅、特色小镇等旅游地产的兴建造成了草地的大量流失；其他土地主要受城镇化水平和人口密度的影响，城镇化水平的提高及人口密度的增加使其他土地中的裸土地部分被占用。综合来看，耕地、园地、草地和其他土地时间演变上受多种因素的影响，林地受单一因素的影响。研究期内流域产业结构优化不明显，对生态用地变化影响较小。因此，经济发展水平、人口密度、城镇化水平是抚仙湖流域生态用地时间变化的主要驱动力。通常，随着经济水平提高、人口数量增加及城市扩张，建设用地的需求不断增加，促进了生态用地向非生态用地的转换，导致生态用地数量与结构的改变。此外，政策因素也是影响流域生态用地数量变化的重要因素之一。抚仙湖流域自 2007 年实施《云南省抚仙湖保护条例》，2013 年实施《抚仙湖流域禁止开发控制区规划（2006—2020 年）》，2014 年实施“四退三还”保护政策后，生态用地数量与结构发生了较大变化。尤其是 2017 年抚仙湖山水林田湖生态保护修复工程被列入国家第二批山水林田湖草生态保护修复试点以来，流域内生态用地得到一定的补充。

2.2.2 *抚仙湖流域生态用地空间分布变化的驱动因素分析* 根据生态用地变化图斑在空间因素各级的面积比重，绘制出抚仙湖流域生态用地空间变化的主要影响因素图（图 3），因水域及水利设施用地变化不大且变化图斑主要集中于抚仙湖近水区域，本文不做讨论。

表 5　抚仙湖流域生态用地时间演变驱动因素回归分析结果

生态用地类型	主要驱动因子	p 值	相关性系数绝对值	回归模型
耕 地	地区 GDP、人口密度、城镇化水平	0.000 2	0.913/0.835/0.966	$y=1.32-1.66x_1-0.04x_4-0.77x_{11}$
林 地	地区 GDP	0.001 3	0.786	$y=2.37-0.78x_1$
园 地	地区 GDP、一产内部结构比	0.000 1	0.824/0.907	$y=-3.75-0.66x_1+2.24x_8$
草 地	城镇化水平、社会固定投资	0.002 7	0.815/0.884	$y=0.78-0.54x_{11}-1.08x_3$
其他土地	人口密度、城镇化水平	0.003 5	0.803/0.867	$y=1.05-1.17x_4-0.43x_{11}$

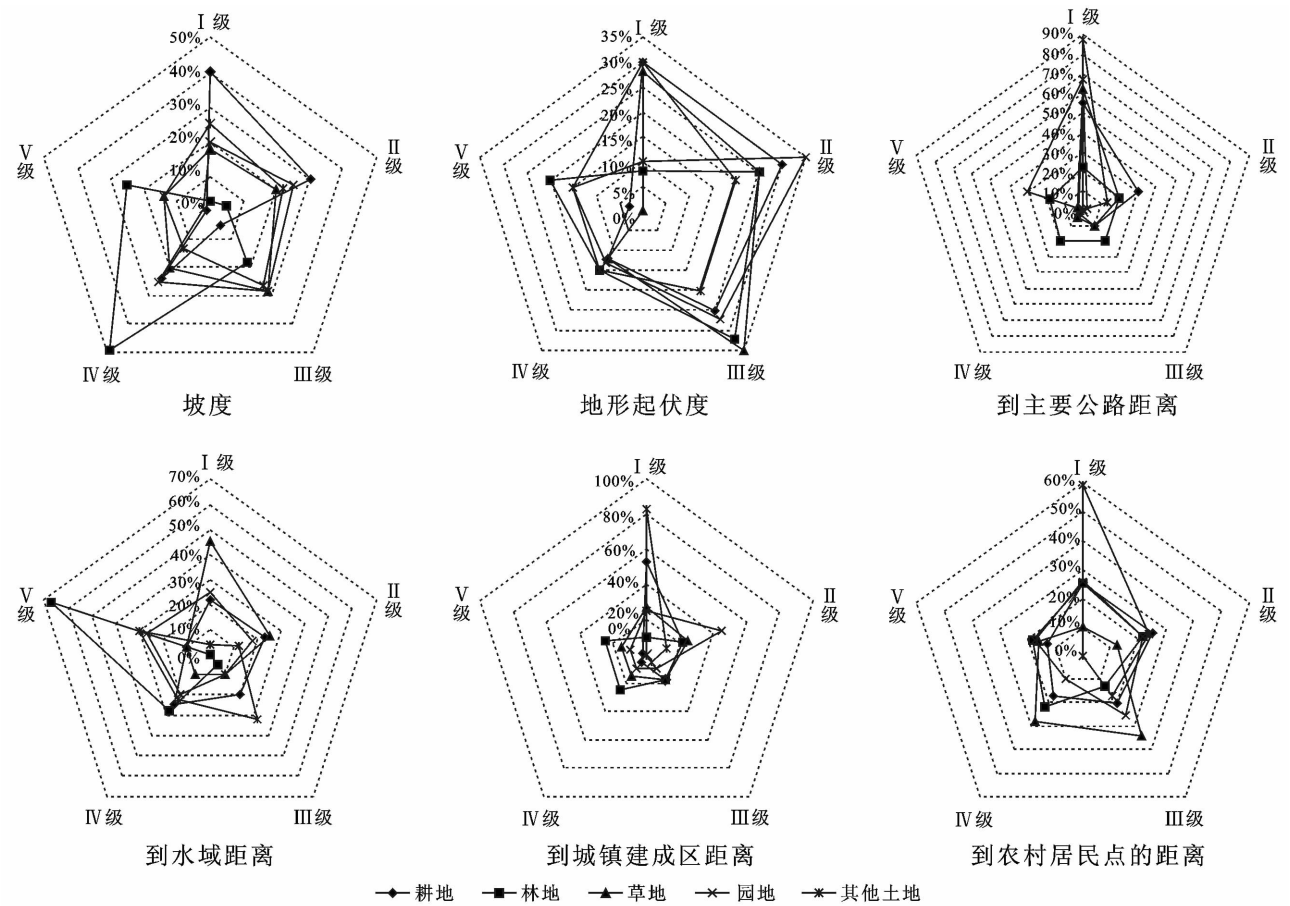


图 3　抚仙湖流域生态用地空间变化主要影响因素

从各因素对其余 5 种生态用地空间变化影响来看,坡度主要对耕地、林地空间变化产生影响,15°以下的坝区为耕地的主要流失区,25°以上的山地是林地的主要补充区;地形起伏度对各类用地空间格局变化影响不大,各级面积比重差异较小;道路交通对耕地、园地、草地、其他土地的分布影响显著,4 类用地空间变化主要集中在距主要公路 100 m 范围内。交通基础设施的建设不仅对沿线土地造成直接占用,还会带动沿线经济的发展,在更高土地利用利益的追求下,致使土地用途发生转变;到水域距离主要对林地、草地的空间格局产生影响,但影响方式各有不同:林地在远水区域变化较大,草地在近水区域变化明显。近年来,随着抚仙湖流域远水山区“退耕还林”和湖滨区“四退三还”工程的启动,使得草地在近水区域得到扩张,山区植被覆盖率有所增加;到城镇建成区距离对耕地、园地、其他土地的空间布局影响较大,耕地变化量的 75%,园地变化量的 70%,其他土地变化量的 95%集中在距城镇建成区 200 m 范围内;到农村居民点距离对其他土地影响明显,变化量的 83%分布于距农村居民点 50 m 范围内。综合来看,生态用地空间布局的变化是多因素协同作用的结果。耕地主要受坡度、到公路距离、到城镇建成区距离的影响,坡度小、交通通达度高、城镇距离近的耕地更易流失。通常,地势低平、自然条件较好的耕地因其开发成本低成为交通条件改善、城市扩张首先侵占的对象;林地主要受坡度等自然条件的影响,坡度大的山地是林地

的主要分布区，也是林业生态修复工程建设的重点区域；草地主要受道路交通及距水域远近的影响，在两因素的共同作用下使得草地延道路呈条带状减少同时又沿抚仙湖不同程度的增加；园地主要受到公路和城镇建成区距离的影响，园地变化量的 70％发生在公路两侧及城镇建成区附近；其他土地主要受道路、城镇及农村居民点扩张的影响。

此外，政策也对流域生态用地的空间分布变化也起着重要的推动作用。自《云南省抚仙湖保护条例》《抚仙湖流域禁止开发控制区规划(2006—2020 年)》开始实施，澄江县提出了“一城五镇多村”的布局思路，以广龙小镇、寒武纪小镇、小湾村为代表的特色村镇应运而生。同时，为了更好融入滇中城市经济圈，澄江县按照建成“四高两轨”和“三纵三横”的规划，不断加大了交通基础设施建设。以上政策的实施，使高西社区、广龙社区、矣旧村、小湾村成为生态用地流失的集中区域。由此可见，在多种因素的协同作用下，生态用地在城镇及农村居民点周边、交通沿线等区域出现流失，在地势低平的湖滨区及坡度陡峭的山区得到补充。生态用地空间变化的有限性，加剧了其分布的不均，引起洛伦兹曲线下凹程度的变大及基尼系数的增加。

2.2.3 抚仙湖流域生态用地演变的驱动机制 综合生态用地时间与空间演变的驱动因素不难发现，生态用地演变既受经济发展水平、人口密度和城镇化水平、政策等社会经济因素的影响，又受到主要公路距离、到水域距离、到城镇建成区距离等空间区位因素的影响。一方面，经济水平的提升为道路交通的改善及城市化的发展提供了资金支持与动力支持，加强了对人口的吸引，促使地区人口规模的增加，人口密度的提高，进而引发人们对建设用地需求的增加，推动着大量生态用地向公路用地、建制镇和村庄转变。在距离衰减作用的影响下，距公路、城镇、居民点近的用地转变量大于远的区域；另一方面，政策对生态用地变化起着补充与流失并存的双重影响：①抚仙湖综合保护治理的开展不仅放慢了生态用地转变非生态用地的步伐，而且使流域内政策重点区域的建设用地有序退出，生态用地得到补充。②政策的实施促使部分地区成为生态用地流失的集中区域，缩小了生态用地的空间布局，加剧了其分布的不均匀性。同时，自然环境条件对生态用地变化也具有一定影响力，但由于研究时段短，该条件相对稳定，以致其对生态用地变化的影响小于其他因素(图 4)。

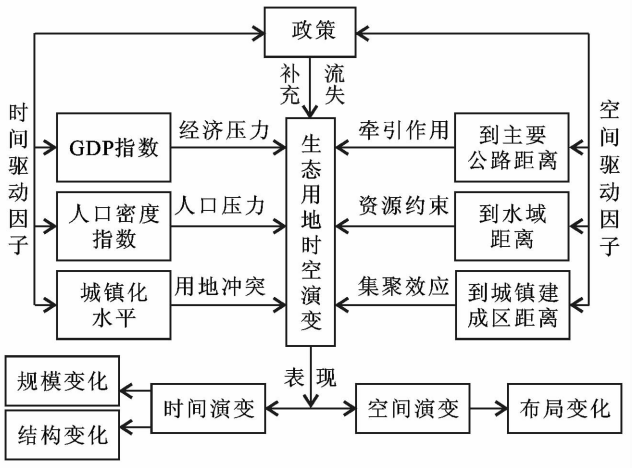


图 4 抚仙湖流域生态用地时空演变主要驱动因素作用机制

3 讨论与结论

3.1 讨 论

(1) 通过对抚仙湖流域生态用地进行分析，比较全面掌握了 2010—2018 年流域生态用地变化过程及驱动机理，可为构建流域生态安全格局，促进流域生态文明建设提供参考和借鉴。但是受数据获取的限制，研究中未能将生态用地时空变化全部影响因素加以分析。同时受政策因素量化难度的影响，仅对其做了定性分析，影响了驱动机制分析的准确度，后期研究需进一步完善。

(2) 抚仙湖流域不同生态用地时空演变特征及驱动机制各有不同，在生态用地的管理上应制定差别化的政策，严格控制用途转变。同时，需要重点关注流失量大的用地类型及区域，从驱动机制出发制定科学的空间规划。

(3) 本研究对象为抚仙湖流域生态用地，但生态用地的划分目前仍没有统一标准，尤其是耕地、园地是否纳入生态用地范畴还有一定的争议。不可否认的是两类用地均具有较强的生态服务功能，因此本文将其作为生态用地类型之一进行分析。

3.2 结 论

(1) 2010—2018 年，抚仙湖流域生态用地以耕地、林地和水域及水利设施用地为主。在时间变化上，耕地、林地、草地、园地、其他土地呈下降趋势，水域及水利设施用地面积略有增加。生态用地的流失速度大于补充速度，流域生态风险持续加大；在空间演变上，耕地、林地空间分布较均匀，草地、园地、水域及水利设施用地和其他土地分布相对集中。8 a 间，流域生态用地总体空间分布格局没有发生改变，但不均匀的趋势有所加强，这对现有生态用地的服务半径将提出更高要求。

(2) 抚仙湖流域生态用地时空演变主要受经济发展水平、人口规模、城镇化水平、到主要公路距离、到水域距离、到城镇建成区距离、政策等影响。由此可见,抚仙湖流域生态用地时空演变是多种因素协同作用的结果。自然因素具有基础性、累积性和相对稳定性,对生态用地变化影响较小,社会经济因素、空间因素是生态用地变化的主导驱动力,相关政策在短期内影响明显,也是重要的影响因素。需合理调控人类活动强度,充分发挥政策的积极引导作用,避免非生态用地的无序扩张,实现流域社会经济与生态环境的可持续发展。

[参 考 文 献]

[1] 费建波, 夏建国, 欧定华, 等. 乡村生态用地综合识别与分类[J]. 生态学杂志, 2020, 39(3): 1045-1055.

[2] Xie Hualin, Liu Zhifei, Wang Peng, et al. Exploring the mechanisms of ecological land change based on the spatial autoregressive model: A case study of the Poyang Lake eco-economic zone, China [J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2014, 11(1):583-599.

[3] 谭永忠,赵越,曹宇,等. 中国区域生态用地分类的研究进展[J]. 中国土地科学,2016,30(9):28-36.

[4] 邓红兵,陈春娣,刘昕,等. 区域生态用地的概念及分类[J]. 生态学报,2009,29(3):1519-1524.

[5] 管青春,郝晋珉,石雪洁,等. 中国生态用地及生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报,2018,33(2):195-207.

[6] 陶陶. 我国生态用地的研究进展与展望[J]. 地域研究与开发,2014,33(4):126-130,167.

[7] 张红旗,王立新,贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):10-13.

[8] 邓小文,孙贻超,韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则[J]. 应用生态学报,2005,16(10):2003-2006.

[9] 岳健,张雪梅. 关于我国土地利用分类问题的讨论[J]. 干旱区地理,2003,26(1):78-88.

[10] 喻锋,李晓波,张丽君,等. 中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报,2015,35(14):4931-4943.

[11] 苏伟忠, 杨桂山, 甄峰. 长江三角洲生态用地破碎度及其城市化关联[J]. 地理学报, 2007, 62(12): 1309-1317.

[12] 张林波, 李伟涛, 王维, 等. 基于 GIS 的城市最小生态用地空间分析模型研究:以深圳市为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 69-78.

[13] 张颖, 王群, 李边疆, 等. 应用碳氧平衡法测算生态用地需求量实证研究[J]. 中国土地科学, 2007, 21(6): 23-28.

[14] 陈宇, 单玉红, 陈银蓉. 碳氧平衡约束下武汉市土地利用结构优化情景模型研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(12): 2030-2037.

[15] 俞孔坚,乔青,李迪华,等. 基于景观安全格局分析的生态用地研究:以北京市东三乡为例[J]. 应用生态学报,2009,20(8):1932-1939.

[16] 文博,朱高立,夏敏,等. 基于景观安全格局理论的宜兴市生态用地分类保护[J]. 生态学报,2017,37(11):3881-3891.

[17] 牛远,胡小贞,王琳杰,等. 抚仙湖流域山水林田湖草生态保护修复思路与实践[J]. 环境工程技术学报,2019,9(5):482-490.

[18] 尹娟,柳德江,赵敏慧,等. 2000—2014 年抚仙湖流域土地利用动态变化研究[J]. 中国农学通报,2018,34(4):101-107.

[19] 彭建,吕丹娜,张甜,等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知[J]. 生态学报,2019,39(23):8755-8762.

[20] 龙花楼,刘永强,李婷婷,等. 生态用地分类初步研究[J]. 生态环境学报,2015,24(1):1-7.

[21] 张月朋,常青,郭旭东. 面向实践的生态用地内涵、多维度分类体系[J]. 生态学报,2016,36(12):3655-3665.

[22] 欧阳志云,李小马,徐卫华,等. 北京市生态用地规划与管理对策[J]. 生态学报,2015,35(11):3778-3787.

[23] 王志涛,哈凯,门明新. 沽源县生态用地重要性识别及生态用地类型划定[J]. 土壤通报,2016,47(4):769-776.

[24] 文博,朱高立,夏敏,等. 基于景观安全格局理论的宜兴市生态用地分类保护[J]. 生态学报,2017,37(11):3881-3891.

[25] 陈瑜琦,张智杰,郭旭东,等. 中国重点生态功能区生态用地时空格局变化研究[J]. 中国土地科学,2018,32(2):20-26.

[26] 唐秀美,陈百明,路庆斌,等. 北京市土地利用生态分类方法[J]. 生态学报,2011,31(14):3902-3909.

[27] 吴爱林,陈燕,燕彩霞,等. 基于洛伦茨曲线的长江三角洲土地利用结构时空变化分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2017,40(5):703-710.

[28] 张建华. 一种简便易用的基尼系数计算方法[J]. 山西农业大学学报(社会科学版),2007,6(3):275-278,283.

[29] 李进涛,刘彦随,杨园园,等. 1985—2015 年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究[J]. 地理研究,2018,37(1):37-52.

[30] 璩路路,刘彦随,周扬,等. 罗霄山区生态用地时空演变及其生态系统服务功能的响应:以井冈山为例[J]. 生态学报,2019,39(10):3468-3481.

[31] 李颖,冯玉,彭飞,等. 基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J]. 经济地理,2017,37(12):180-189.

[32] 李鹏,于书霞. 基于典型对应分析的滇池流域土地利用驱动力分析[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(3):123-126.