

近20年昆明盘龙江流域土地利用及景观格局演变研究

Study on the Evolution of Land Use and Landscape Pattern in the Panlong River Basin during the Past 20 Years

魏 雯 林 军 李瑞敏
WEI Wen LIN Jun LI Ruimin

(昆明理工大学建筑与城市规划学院, 昆明 650500)
(Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China, 650500)

摘 要

流域是人口与城市集中分布的区域, 与人类的生存及可持续发展息息相关。基于昆明盘龙江流域2000年、2007年、2013年和2020年4期遥感影像, 定量分析流域近20年的土地利用和景观格局演变特征, 结果表明: (1) 林地一直是盘龙江流域的主要用地类型, 研究期内建设用地一直处于增长状态, 林地面积前期持续减少, 2013年之后由于相关保护政策的实施, 面积有所增加; (2) 各用地类型之间的转换较为频繁, 林地转出面积最多, 在2013年后转出量明显减少; (3) 各类景观的破碎化程度均有所增加, 建设用地的形状日趋复杂, 2000–2007年其最大斑块指数快速增加, 呈连片分布的趋势; (4) 林地和耕地是研究区的景观基质, 整体景观异质性较好, 20年间流域整体连通性有所降低, 但2013年以来这种趋势得到遏制, 生态环境呈好转态势。

关键词

土地利用; 景观格局; 景观演变; 盘龙江流域

Abstract

Basin is the area where population and cities were concentrated, and it is closely related to human survival and sustainable development. Based on the four remote sensing images of the Panlong River Basin in 2000, 2007, 2013 and 2020, the characteristics of land use and landscape pattern evolution in the Panlong River Basin in the past 20 years were quantitatively analyzed. The result shows that: (1) Forest land has always been the main land type in the Panlong River Basin. During the study period, the area of construction land has been increasing, and the area of forest land has continued to decrease in the early stage. After 2013, due to the implementation of relevant protection policies, the area has increased. (2) The conversion between various land types was relatively frequent, and the area of forest land transferred was the largest. After 2013, the amount of forest land transferred has been significantly reduced. (3) The degree of fragmentation of various landscape types has increased, and the shape of construction land has become increasingly complex. The largest patch index increased rapidly from 2000 to 2007, indicating a trend of continuous distribution. (4) Forest land and cultivated land were the landscape matrix of the study area, and the overall landscape heterogeneity was good. During the study period, the overall connectivity of the watershed has decreased, but this trend has been curbed since 2013, and the ecological environment has shown an improvement trend.

Keywords

land use; landscape pattern; landscape evolution; Panlong River Basin

文章编号: 1000-0283(2022)02-0100-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2022. 02. 0100. 014
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-06-23
修回日期: 2021-11-29

魏 雯

1982年生/女/甘肃兰州人/博士/副教授, 硕士生导师/研究方向为地景规划与生态修复

林 军

1995年生/男/福建宁德人/硕士/研究方向为地景规划与生态修复

李瑞敏

1994年生/女/云南大理人/硕士/研究方向为地景规划与生态修复

流域是以水为纽带, 综合自然要素与人口、社会、经济等人文要素, 使其相互关联, 相互作用而构成的自然—社会—经济复合系统^[1]。自古人类择水而居, 纵观人类发展的历史进程, 流域不仅是人类文明的发源地, 也是当今人口与城市集中分布的区域, 与人

基金项目:
国家自然科学基金项目“滇池流域水岸带景观演变及其对生态安全的影响研究”(编号: 51868028)

类的生存和可持续发展息息相关^[2-3]。在快速城市化背景下,流域内的土地利用/土地覆被不断发生改变,直接影响流域内的自然过程和生态安全^[4-5]。景观格局研究能够从看似无序的景观镶嵌单元中发现潜在的规律,对流域的土地利用和景观格局演变特征进行分析,可以有效保护和管理流域的生态环境^[6-7]。

盘龙江是昆明的母亲河,流经整个昆明市主城区。盘龙江流域位于城市和山林的过渡地带,容易受到城市扩张的冲击,生态环境较为脆弱和敏感^[8]。近年来,随着城市化进程的加快,流域内土地利用和景观格局发生了剧烈变化。而以往对盘龙江流域的研究多集中在河段水质与水量耦合关系^[9]、径流模拟等方面^[10],从流域整体视角开展土地利用及景观格局演变的研究极少。因此,及时开展流域景观格局演变及生态环境影响评价的研究十分必要,研究成果可以为流域制定合理的土地利用规划、建立良好的生态安全格局提供重要科学依据。

1 研究区概况

盘龙江流域位于昆明市中部(25° 3′ — 25° 27′ N, 102° 40′ — 103° 57′ E),南北长约42 km,东西宽约25 km,属于金沙江水系。流域位于低纬度高原山地,年均气温14.5℃。年均降水量974.3 mm,主要集中在6~9月。海拔在1 825~2 808 m之间,呈北高南低的分布特征。从地理位置上看,盘龙江流域主要分布在昆明市盘龙区和嵩明县,少部分位于五华区、官渡区和寻甸回族彝族自治县,跨越不同行政边界(图1)。流域内主河盘龙江是入滇河道中径流量最大、最长的河流,全长105 km。

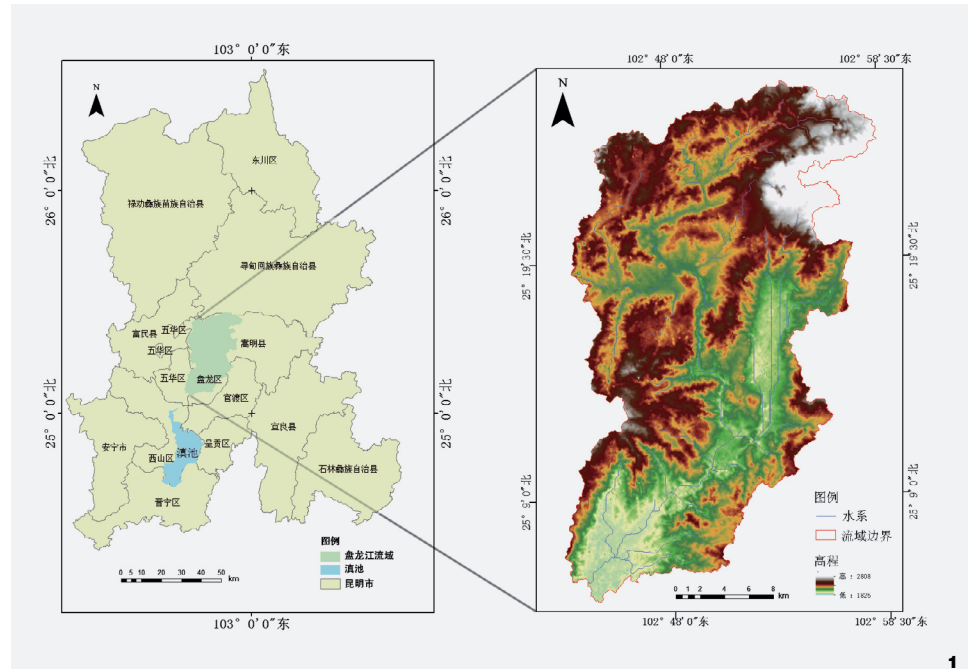


图1 研究区地理位置

Fig. 1 The geographical location of study area

2 研究数据与方法

2.1 数据来源与处理

选取2000年、2007年、2013年和2020年4个时期的遥感影像作为基础数据,其中,2013年数据来源于地理空间数据云,其余三期数据来源于美国地质调查局(USGS)网站,4期影像数据云量低,季相一致,质量较好,影像的空间分辨率均为30 m×30 m。通过ENVI5.3对数据进行辐射定标、大气校正、镶嵌等预处理后,利用水文分析法提取流域边界并进行裁剪,通过监督分类和目视解译,提取研究区土地利用数据。结合Google Earth及实地调研,参考《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017),将研究区土地利用类型划分为6类:林地、耕地、草地、水域、建设用地和未利用地。对分类后的影像进行精度验证,Kappa系数均达到0.88以上,满足研究的精度要求。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化研究

(1) 单一土地利用动态度。单一土地利用动态度能够反映研究区某一时段内土地利用类型的数量与面积变化情况^[11],计算方法见公式(1)。

$$k = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, k 为研究时间段内某特定土地利用类型动态度, U_a 、 U_b 分别为研究起始时间与终结时间内土地利用类型的面积, T 为研究时长。

(2) 土地利用转移矩阵。借助土地利用转移矩阵,可以定量分析研究区特定时段内土地利用类型的转移情况^[12],矩阵形式见公式(2)。

$$S_{ij} = \begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

式中, S 为研究区内土地面积, n 为土地利用类型的数量, i, j 分别为研究初期和研究末期的土地利用类型序列号。

2.2.2 景观格局演变研究

景观格局指数能高度浓缩景观格局特征, 是反映景观内部结构组成和空间配置特征的定量指标^[13]。本研究在参考前人研究的基础上^[14-15], 结合研究区实际情况, 从类型水平和景观水平选取相关指数(表1), 采用Fragstats4.2软件对研究区景观格局演变特征进行分析。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用结构变化特征

如图2所示, 近20年, 耕地和林地一直是盘龙江流域的主要用地类型, 二者之和占整个流域面积的80%以上。从土地利用动态度计算结果来看(表2), 研究区的土地利用/土地覆被一直处于动态变化中。研究期内建设用地面积持续增加, 其中2000-2007年增加速度较快, 动态度达到6.05%, 后期增长速度有所减缓, 动态度分别为1.03%和2.20%。2000-2013年, 耕地面积有不同程度地增加, 2013年之后面积又趋于减少。草地的变化趋

表1 景观格局指数选取 Tab. 1 Selection of landscape pattern index		
研究层次 Research level	研究侧重点 Research focus	指数选取 Index selection
类型水平	景观破碎度	斑块数量 (NP)、斑块密度 (PD)
	景观形状	面积加权分维数 (FRAC_AM)、面积加权平均形状因子 (SHAPE_AM)
	景观优势度	景观类型百分比 (PLAND)、最大斑块指数 (LPI)
景观水平	景观破碎度	斑块数量 (NP)、平均斑块面积 (AREA_MN)
	景观边缘效应	边缘密度 (ED)、景观形状指数 (LSI)
	景观异质性	香农多样性指数 (SHDI)、香农均匀度指数 (SHEI)
	景观连通性	聚集度 (AI)、蔓延度 (CONGTAG)

势和耕地一致, 但变幅更大。林地的变化趋势则与之相反, 在2000-2007年、2007-2013年快速减少, 减幅分别为1.58%和0.66%, 自2013年开始以每年1%的动态度增加, 这是退耕还林政策实施后产生的效果, 也体现出人们对生态环境保护的意识提高。水域的变化趋势与林地一致, 侧面反应了林地涵养水源的生态功能。

3.1.2 土地利用转移特征

由表3-5可知, 20年间林地转出面积最多, 三个时段分别转出64.36 km²、45.53 km²和27.11 km², 主要转化为草地和耕地, 以2000-2007年最明显, 转入草地和耕地面积分别为22.82 km²和39.16 km², 产生这一变

化的原因主要在于人口增长带来粮食压力, 导致林地被侵占。2013年以来, 随着《云南省滇池保护条例》的出台, 研究区内的林地转出面积明显减少, 林地总面积也逐年增加。20年间, 耕地的转出面积持续增加, 其中转化为建设用地的面积最多, 为12.93 km², 表明城市发展建设侵占了耕地, 是快速城市化的作用结果。其次是林地和草地, 转出面积分别为9.62 km²和5.80 km²。20年间, 草地转出总量持续增加, 三个时段内分别为18.49 km²、21.57 km²和33.03 km², 主要去向为耕地和林地, 而草地的转入在2013年前主要是来自林地, 即林地被砍伐后土地的退化, 2013年后主要来源为耕地, 这一变化和退耕还林/草政策的实施相关。

表2 2000-2020年盘龙江流域土地利用面积及动态度
Tab. 2 The land use area and dynamics of the Panlong River Basin from 2000 to 2020

用地类型 Land type	2000年	2007年	2013年	2020年	2000-2007年		2007-2013年		2013-2020年	
	面积 Area/km ²	面积 Area/km ²	面积 Area/km ²	面积 Area/km ²	面积变化 Area change/km ²	动态度 Dynamic rate/%	面积变化 Area change/km ²	动态度 Dynamic rate/%	面积变化 Area change/km ²	动态度 Dynamic rate/%
耕地	198.81	223.57	229.62	213.71	24.76	1.78	6.05	0.45	-15.91	-0.99
林地	401.93	357.44	343.33	367.3	-44.49	-1.58	-14.11	-0.66	23.97	1
水域	8.81	5.52	4.1	5.18	-3.29	-5.33	-1.42	-4.3	1.08	3.77
建设用地	26.87	38.26	40.63	46.88	11.39	6.05	2.37	1.03	6.25	2.2
未利用地	5.86	6.73	11.22	10.82	0.87	2.12	4.49	11.13	-0.41	-0.52
草地	39.03	49.03	51.66	37.42	10	3.66	2.63	0.89	-14.23	-3.94

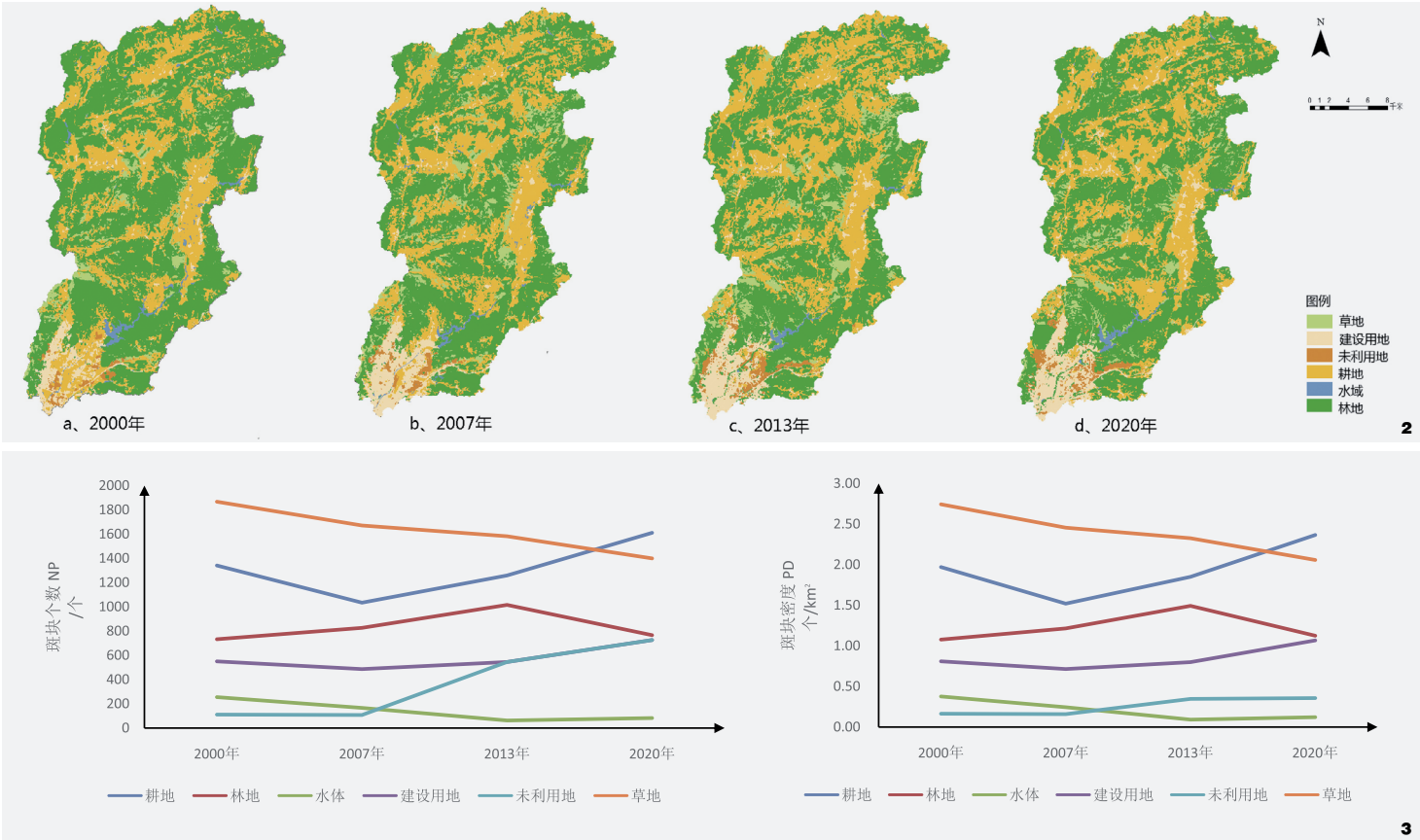


图2 盘龙江流域2000年、2007年、2013年及2020年土地利用图
Fig. 2 Land use map of Panlong River Basin in 2000, 2007, 2013 and 2020

图3 类型水平景观破碎度指数变化
Fig. 3 Changes in the landscape fragmentation index at the type level

3.2 景观格局演变分析

3.2.1 类型水平上的景观格局分析

(1) 景观破碎度分析。由图3可知，20年间，耕地和建设用地的斑块数量(NP)和

斑块密度(PD)呈先减少后增加的趋势，且均在2020年达到最大值，表明耕地和建设用地的破碎化程度不断加剧，究其原因主要是经济快速发展的同时，耕地被侵占导致地块

割裂，产生大量碎小斑块；与此同时，在城市建设过程中，废弃地的增加也导致未利用地的NP值和PD值增大，破碎化程度逐年加剧。林地的NP值和PD值呈先增加后减少的趋势，转折点出现在2013年，表明在经历了开垦林地、退耕还林等行为之后，林地景观逐渐趋于完善。草地和水体的NP值和PD值呈现持续减少趋势，表明这类景观的破碎度有所降低，斑块形状日趋规整。

(2) 景观形状分析。如图4所示，耕地、林地和建设用地的面积加权分维数(FRAC_{AM})较高，表明其用地形状较为复杂，而未利用地、水域和草地的用地形状相对简单。

表3 2000-2007年盘龙江流域土地利用转移矩阵(单位: km²)
Tab. 3 The land use transfer matrix of the Panlong River Basin from 2000 to 2007 (unit: km²)

2000年 2007年	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	建设用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	未利用地 Unutilized land
草地	20.02	10.02	0.31	7.99	0.02	0.15
耕地	5.80	166.97	12.93	9.62	0.76	2.92
建设用地	0.05	4.54	20.16	0.50	0.20	1.27
林地	22.82	39.16	1.63	337.47	0.18	0.57
水域	0.07	2.58	0.43	1.50	4.03	0.02
未利用地	0.04	0.50	2.75	0.57	0.20	1.80

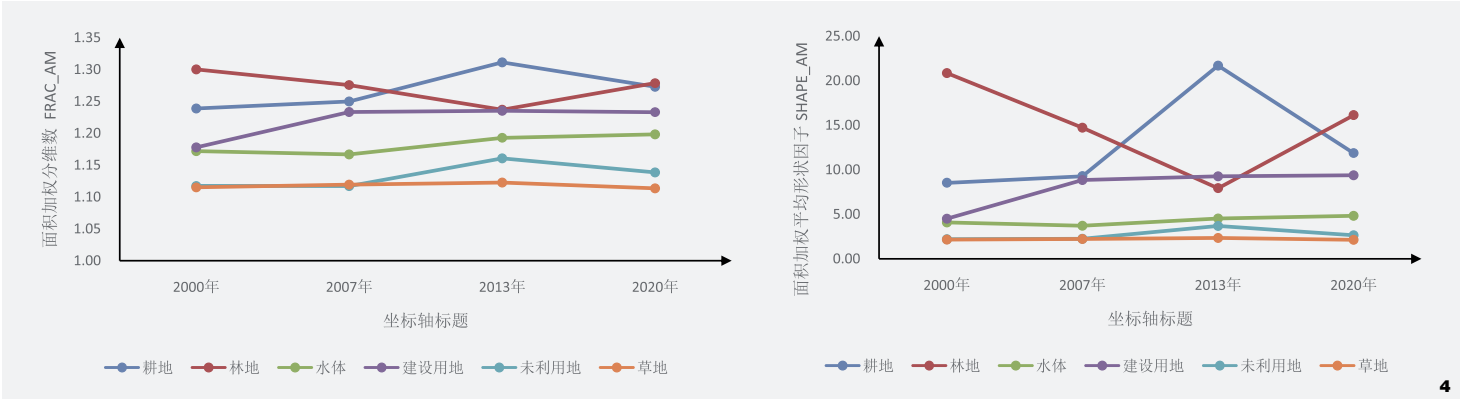


图4 类型水平景观形状指数变化
Fig. 4 Changes in the landscape shape index at the type level

从变化趋势来看，耕地的面积加权平均形状因子 (SHAPE_AM) 呈先增加后减少的变化趋势，表明耕地的形状经历从逐渐复杂到趋于规整，体现人类行为对景观的改造作用。林地的SHAPE_AM值与耕地相反，呈现“V”字形，转折点出现在2013年，表明林地斑块形

状有复杂化的趋势。建设用地的SHAPE_AM值在2007年之前快速上升，表明其用地形状日趋复杂，2007年之后趋于稳定。

(3) 景观优势度分析。如图5所示，20年间，林地一直是盘龙江流域的主要景观类型且处于优势地位，从变化趋势来看，其最

大斑块指数 (LPI) 在2000-2013年持续降低，之后又快速回升，这一点和景观破碎度分析结果相一致。研究期内，建设用地的景观类型百分比 (PLAND) 和LPI值总体增加，表明在城市扩张的过程中，建设用地持续增加且有呈连片分布的发展态势，其景观优势度有所提高。与其他类型相比，水域的PLAND值和LPI值总体较小，且呈先减少后增加的变化趋势，表明流域内的水域受自然环境和人为活动影响景观优势度有所降低，但在2013年之后有缓慢回升的趋势。

3.2.2 景观水平上的景观格局分析

由表6可知，20年间，盘龙江流域的斑块数量 (NP) 先减少后增加，呈现“V”字形变化，而平均斑块面积 (AREA_MN) 变化趋势与NP值相反，表明在研究期内，盘龙江流域景观经历了由破碎到完整，2007年之后又趋于破碎化的过程，侧面反映出城市化进程对流域内土地利用的影响，导致景观整体破碎化程度加剧。

边缘密度 (ED) 和景观形状指数 (LSI) 可以表征盘龙江流域景观边缘效应演变特征。总体看来，20年间研究区的ED值和LSI值一

表4 2007–2013年盘龙江流域土地利用转移矩阵（单位：km ² ） Tab. 4 The land use transfer matrix of the Panlong River Basin from 2007 to 2013 (unit: km ²)						
2007年 2013年	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	建设用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	未利用地 Unutilized land
草地	27.22	9.53	0.19	11.54	0.02	0.29
耕地	7.12	188.53	9.25	16.01	0.32	2.53
建设用地	0.45	3.60	27.62	2.45	0.10	3.99
林地	16.49	26.47	1.10	312.12	0.57	0.90
水域	0.17	1.04	0.28	0.78	3.11	0.01
未利用地	0.04	0.40	2.20	0.61	0.01	3.48

表5 2013–2020年盘龙江流域土地利用转移矩阵（单位：km ² ） Tab. 5 The land use transfer matrix of Panlong River Basin from 2013 to 2020 (unit: km ²)						
2013年 2020年	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	建设用地 Construction land	林地 Woodland	水域 Water area	未利用地 Unutilized land
草地	18.46	13.44	0.08	18.63	0.37	0.51
耕地	13.57	177.31	8.60	28.26	0.60	1.23
建设用地	0.18	3.22	31.66	2.52	0.12	2.94
林地	5.14	18.24	1.65	316.40	0.42	1.66
水域	0.04	0.14	0.21	0.12	3.62	0.00
未利用地	0.12	0.81	4.61	1.17	0.05	4.43

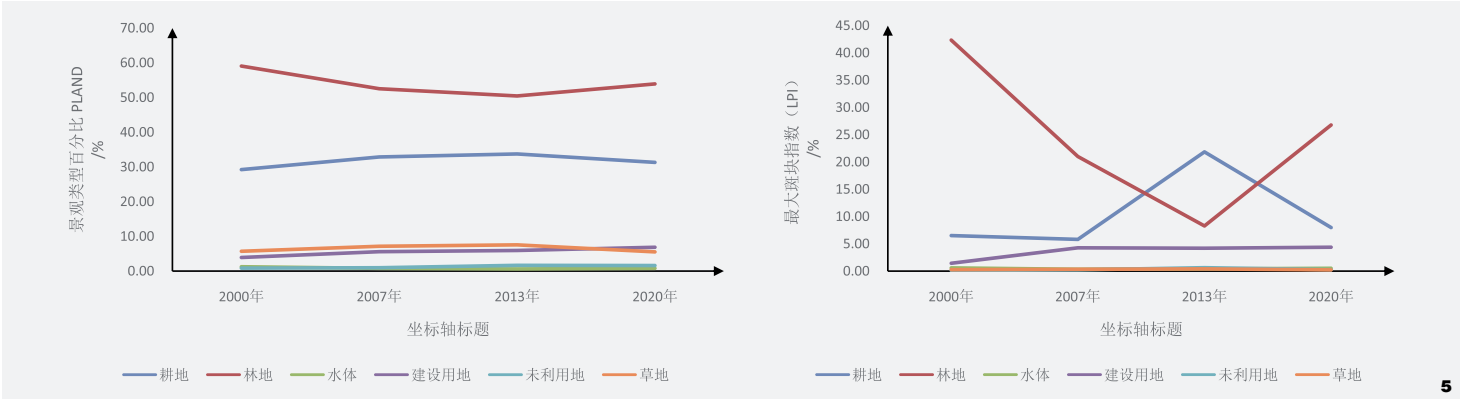


图5 类型水平景观优势指数变化
Fig. 5 Changes in the landscape dominance index at the type level

直处于增长的趋势，但2013年后增长速度有所减缓。究其原因，主要是人类对于流域高强度的开发活动，使各用地类型受到影响而不断发生变化，增加了景观形状的复杂性。2013年后，随着后期城市建设发展趋于稳定，居民点连片分布，对于林地的保护与耕地的稳定劳作均使得边缘效应逐渐趋于规整。

从景观异质性变化来看，20年间，研究区的香农多样性指数 (SHDI) 和香农均匀度指数 (SHEI) 均呈先增加后减少的变化趋势。表明在自然环境和人为活动的双重作用下，盘龙江流域内的景观多样性经历了先增加后减少的变化，但流域内景观异质性程度总体在升高。

连通性是区域可持续发展和生物保护研究的重要指标，本研究运用斑块聚集度指数 (AI) 和蔓延度指数 (CONGTAG) 来表征

研究区的景观连通性。可以看出，20年间盘龙江流域的AI值和CONGTAG值均呈现缓慢减少的趋势，表明斑块的分布逐渐离散，相互邻接程度有所减弱，侧面反映出研究区的景观连通性呈逐渐降低的趋势，但2013年后，CONGTAG值有所回升，AI值减少趋势也变缓，表明随着人们生态环境保护意识的提高，整体景观连通性有逐渐好转的趋势。

4 结论

本研究基于盘龙江流域2000年、2007年、2013年和2020年4期影像，定量分析盘龙江流域2000-2020年土地利用变化和景观格局时空演变特征，得到以下结论：

(1) 20年间，林地一直是盘龙江流域的主要用地类型，其次是耕地。研究期内流域

土地利用变化显著。建设用地一直处于增长状态，增长速度前期快后期逐渐变缓，林地在2013年之前持续减少，之后由于相关保护政策的出台，面积有所增加。

(2) 从土地利用转移矩阵分析结果来看，各用地类型之间的转换较为频繁，20年间，林地转出面积最多，2013年后转出量明显减少。

(3) 从类型水平的景观格局分析结果可知，各类景观的破碎化程度均有所增加，建设用地的形状日趋复杂，2000-2007年最大斑块指数快速增加，有连片分布的趋势。

(4) 从景观水平的景观格局分析结果来看，盘龙江流域的整体景观异质性较好，研究期内流域整体连通性降低，但2013年以来这种趋势得到缓解，生态环境呈好转的趋势。

表6 景观水平盘龙江流域景观格局指数变化
Tab. 6 Changes in the landscape pattern index of the Panlong River Basin at the landscape level

	斑块个数/个 Number of plaques	平均斑块面积 Average patch area /km ²	边缘密度 Edge density / (m/hm ²)	景观形状指数 Landscape shape index	香农多样性指数 Shannon diversity index	香农均匀度指数 Shannon uniformity index	蔓延度指数 Sprawl index /%	聚集度指数 Aggregation index /%
2000年	4 861	14.00	54.77	37.78	1.06	0.59	60.81	91.75
2007年	4 295	15.85	56.94	39.20	1.14	0.64	58.19	91.43
2013年	4 700	14.48	60.88	41.76	1.17	0.66	56.59	90.84
2020年	4 828	14.10	61.14	41.93	1.14	0.64	57.48	90.80

5 讨论

5.1 盘龙江流域景观格局演变的驱动因素分析

在过去的20年间, 盘龙江流域的土地利用和景观格局发生了较大变化。究其原因, 一方面是人口增长导致对粮食和建设用地的需求增加, 另一方面相关保护政策的实施也是主要驱动因素。据统计, 2000-2019年, 研究区人口由67.5万增长到120.3万人, 增加了78.2%, 人口快速增长的同时, 势必需要更多的居住用地, 于是大量的耕地转变为建设用地, 研究期内建设用地面积增加了20.01 km²。与此同时粮食的需求量也快速增加, 为了满足基本生活需求, 林地被砍伐, 草地被开垦为耕地, 加速了流域内土地利用类型之间的转换, 改变了流域的景观格局, 导致研究区的景观趋于破碎化。伴随着林地面积的大量减少, 一定程度上削弱了盘龙江流域水源涵养的服务功能, 导致水土流失加剧, 生态环境呈恶化趋势。2013年以来, 随着《云南省滇池保护管理条例》的实施, 以及退耕还林、封山育林等相关工作的开展, 截至2020年, 林地面积增加了23.97 km², 其水源涵养功能开始发挥作用, 水域面积也同步增长, 盘龙江流域的生态环境恶化趋势得到遏制, 并初步呈现好转的发展态势, 这也是近年来生态环境治理取得的初步成效。

5.2 盘龙江流域景观格局演变对生态环境的影响

中国云贵高原分布着众多的高原湖泊, 它们不仅能够调节当地气候, 同时也为高原生态系统提供支撑服务。滇池是云贵高原上第一大淡水湖, 素有“高原明珠”的美誉。滇池流域是昆明乃至云南省经济社会最活跃的地区, 是城乡建设与发展的集中区域, 为当地的经济、旅游、生态提供重要保障。近年

来, 随着城市化进程的加快, 滇池流域的生态系统服务功能遭到破坏, 出现了一系列生态问题, 已有多位学者以滇池流域为研究对象, 开展了相关工作: 曹晓峰^[16]探讨了滇池流域景观格局演变对水体水质的影响, 赵世民^[17]等对滇池流域的土地资源进行了适宜性的评价, 李志英^[18]通过对滇池流域1992-2010年城市扩张研究, 发现城市建设用地增长主要表现为边缘增长和道路影响增长两种。盘龙江流域是滇池流域的子流域, 位于城市的上游, 对滇池的水源具有重要的补给作用, 在滇池流域的综合治理与保护开发中, 发挥着举足轻重的作用。通过研究发现, 由于城市化的影响, 导致近20年盘龙江流域的整体景观格局趋于破碎化, 景观连通性逐年降低, 但随着2013年相关保护政策的实施, 这种趋势已经得到遏制, 生态环境逐步趋于好转。这不仅是近年来云南省“争当生态文明排头兵”取得的初步成效, 同时也是践行“绿水青山就是金山银山”生态理念的真实写照。

今后, 随着城市化进程的不断加快, 人类活动还将继续改变盘龙江流域的土地利用, 对流域景观格局产生影响。为保护盘龙江流域的生态安全, 维持流域的可持续发展, 应遵循“山水林田湖草”生命共同体理念, 进一步加强对林地资源的保护, 发挥其涵养水源方面的生态系统服务功能价值^[19]; 维护流域景观格局的完整性, 避免破碎化程度加剧; 同时随着建设用地扩张, 应规划配置相应的绿地景观斑块, 通过构建生态廊道, 加强整体景观的连通性。

参考文献

[1] 赵斌. 流域是生态学研究的最佳自然分割单元[J]. 科技导报, 2014, 32(01): 12.

- [2] 任嘉衍, 刘慧敏, 丁圣彦, 等. 伊河流域景观格局变化及其驱动机制[J]. 应用生态学报, 2017, 28(08): 2611-2620.
- [3] 杨钦, 胡鹏, 王建华, 等. 1980-2018年扎龙湿地及乌裕尔河流域景观格局演变及其响应[J]. 水生态学杂志, 2020, 41(05): 77-88.
- [4] 万玮, 魏伟, 钱大文, 等. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, 46(04): 361-372.
- [5] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等. 流域生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 284-292.
- [6] 吕乐婷, 张杰, 彭秋志, 等. 东江流域景观格局演变分析与变化预测[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6850-6859.
- [7] 方神光, 冯子洋, 刘晋高, 等. 西江中游典型河段岸线带景观格局分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(12): 134-138.
- [8] 余中元, 李波, 张新时. 湖泊流域社会生态系统脆弱性时空演变及调控研究——以滇池为例[J]. 人文地理, 2015, 30(02): 110-116.
- [9] 高伟, 严长安, 李金城, 等. 基于水量—水质耦合过程的流域水生态承载力优化方法与例证[J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 755-762.
- [10] 杨丽萍, 邹进, 潘锋. 基于SWAT模拟的盘龙江流域径流模拟[J]. 水资源保护, 2015, 31(5): 19-23.
- [11] 魏雯, 李哲惠, 黄贞珍. 城市河岸带土地利用和景观格局演变研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(11): 2127-2133.
- [12] 傅家仪, 臧传富, 吴锦婉. 1990-2015年海河流域土地利用时空变化特征及驱动机制研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(05): 131-139.
- [13] 李子君, 刘金玉, 鲁成秀, 等. 基于土地利用变化的沂河流域景观格局与径流关系的分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(10): 11-19.
- [14] 杜金龙, 朱记伟, 解建仓, 等. 近25a关中地区土地利用及其景观格局变化[J]. 干旱区研究, 2018, 35(01): 217-226.
- [15] 曹瑞娜, 齐伟, 李乐, 等. 基于流域的山区景观格局分析和分区研究——以山东省栖霞市为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(07): 859-865.
- [16] 曹晓峰, 孙金华, 黄艺. 滇池流域土地利用景观空间格局对水质的影响[J]. 生态环境学报, 2012(02): 364-369.
- [17] 赵世民, 房晟忠, 杨树平, 等. 滇池流域土地资源适宜性评价[J]. 地球与环境, 2011(01): 80-84.
- [18] 李志英, 刘涵妮, 田金欢, 等. 基于SLEUTH模型的滇池流域城市扩展模拟分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(10): 1360-1366.
- [19] 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(04): 81-88.