

DOI: 10.5846/stxb201909201966

叶晶萍, 刘士余, 盛菲, 刘政, 杨敏, 李俊. 寻乌水流域景观格局演变及其生态环境效应. 生态学报, 2020, 40(14): 4737-4748.

Ye J P, Liu S Y, Sheng F, Liu Z, Yang M, Li J. Landscape pattern evolution and ecological environment effect of Xunwu watershed. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4737-4748.

寻乌水流域景观格局演变及其生态环境效应

叶晶萍^{1,2}, 刘士余^{1,2,*}, 盛菲^{1,2}, 刘政^{1,2}, 杨敏^{1,2}, 李俊^{1,2}

1 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045

2 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045

摘要: 土地利用变化引起的景观格局演变及其生态环境效应研究已成为诸多学者广泛关注的研究热点。为正确认识和评价土地利用变化对景观格局和生态环境的影响, 以寻乌水流域为研究对象, 选取 1995、2005 年 Landsat5 TM 影像和 2015 年 Landsat8 OLI 影像进行遥感解译, 得到 3 期的土地利用数据, 借助 ArcGIS10.2 和 Frgstats4.2 软件, 分析土地利用动态变化与景观格局演变特征。同时运用遥感生态指数 (RSEI) 对寻乌水流域 1995—2015 年期间生态环境质量时空演变进行评价。结果表明: (1) 近 20 年寻乌水流域园地 (增加 40.14%) 和林地 (减少 33.91%) 面积占比变化幅度最大, 水域 (减少 0.1%) 变化幅度最小。土地利用变化单向转换频繁, 园地“涨势”和林地“落势”十分明显, 整体处于不平衡状态。(2) 景观水平上, 流域的香农多样性指数 (SHDI)、修正 Simpon 均匀度指数 (MSIEI) 分别由 1995 年的 0.7083、0.2423 上升至 2015 年的 1.114、0.5247, 景观聚集度指数 (CONTAG) 由 1995 年的 72.93 下降至 2015 年的 58.13。流域的景观异质性增强, 破碎化程度提高。(3) 寻乌水流域 1995、2005 和 2015 年 RSEI 均值分别为 0.554、0.544 和 0.550, 呈先下降后上升趋势, 生态环境状况恶化后得到改善。寻乌果业发展引起的园地快速扩张对林地的占用是生态环境恶化的主因, 后期退果 (耕) 还林、保护生态林及植树造林等是生态环境改善的主因。研究成果可为流域的土地利用规划、良好的生态格局建立和生态环境保护提供重要科学依据。

关键词: 景观格局; 生态环境质量; 遥感生态环境指数 (RSEI); 寻乌水流域

Landscape pattern evolution and ecological environment effect of Xunwu watershed

YE Jingping^{1,2}, LIU Shiyu^{1,2,*}, SHENG Fei^{1,2}, LIU Zheng^{1,2}, YANG Min^{1,2}, LI Jun^{1,2}

1 College of Land Resources and Environment of Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2 Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, Nanchang 330045, China

Abstract: Landscape pattern evolution and ecological environment responses were intensively affected by land use change. This research field has become the study hotspot of many scholars. In order to exactly evaluate the impact of land use change on landscape pattern and eco-environment, this paper takes Xunwu watershed as the research object. Both landsat5 TM images in 1995 and 2005, and Landsat8 OLI images in 2015 were selected for remote sensing interpretation. Therefore, land use data of three periods were obtained. Meanwhile, the dynamic change of land use and the evolution characteristics of landscape pattern were analyzed by ArcGIS10.2 and Frgstats4.2. In addition, remote sensing ecological index (RSEI) was used to evaluate the temporal and spatial evolution of eco-environment quality in Xunwu watershed from 1995 to 2015. Firstly, the results indicated that the area of orchard land (increased by 40.14%) and forest land (decreased by 33.91%) in the Xunwu watershed changed the most in the past 20 years. The area of water body changed the least with a decrease of 0.1%. Land use change is frequent with one-way characteristics. The “rising trend” of orchard land and “falling trend” of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31960331) 收稿日期: 2019-09-20; 网络出版日期: 2020-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 397013250@qq.com

forest land are very obvious. Overall, changes were revealed as an unbalanced state. Secondly, the shannon's diversity index (SHDI) and modified simpson's evenness index (MSIEI) increased from 0.7083 and 0.2423 in 1995 to 1.114 and 0.5247 in 2015 at the landscape level, respectively. Index of CONTAG decreased from 72.93 in 1995 to 58.13 in 2015. Thus, landscape heterogeneity of the watershed is enhanced, and the fragmentation degree is also increased. Thirdly, the mean values of Xunwu watershed RSEI were 0.554, 0.544 and 0.550 in 1995, 2005 and 2015. It showed a trend of first decline and then increase. Eco-environment was improved suffering from degradation. The occupation of forest land is the main cause of the deterioration of eco-environment by the rapid expansion of orchard land. The primary causes of eco-environment improvement include returning orchard (cultivated) to forest, protecting ecological forest, and afforestation. This study would provide important scientific basis for land use planning, lucid waters and lush mountains pattern establishment, and ecological environment protection.

Key Words: landscape pattern; ecological environment quality; remote sensing ecological index (RSEI); Xunwu watershed

土地利用/覆被变化是当前土地变化科学和景观生态研究的热点和前沿问题,也是导致景观格局演变和生态系统变化的重要因素。经济社会的高速发展和人类生产活动的日益频繁深刻地影响着下垫面的变化,使得景观格局发生改变,同时也影响着生态系统结构、功能和生态过程,最终导致水土流失、生态恶化和环境污染等一系列生态环境问题^[1]。

国内外学者开展了大量土地利用变化、景观格局演变和生态环境效应的研究。吕乐婷等^[2]分析了东江流域 1990—2016 年土地利用和景观格局时空演变特征。结果表明,流域土地利用类型的变化引起了景观格局的改变,景观破碎化和多样性程度随之增加。奚世军等^[3]的研究揭示,频繁的人类活动会引起景观结构组分、功能及景观类型的演变,最终导致流域景观生态风险增高。涂小松等^[4]探究了鄱阳湖地区 2000—2010 年生态系统服务价值空间格局及其动态演化特征。结果显示,相对粗放的土地开发利用会威胁到区域的生态安全和可持续发展。Watanabe^[5]的研究显示,土地利用变化过程会影响水文和碳相关生态系统服务的产生。温仲明等^[6]对黄土丘陵区纸坊沟流域近 60 年来土地利用景观变化的环境效应研究发现,流域环境与土地利用景观变化密切相关。随着林草植被占优的景观格局演变为坡耕地占优的景观格局,流域环境状况逐步恶化。随着后期流域治理工作的开展,林草植被在景观中优势度逐渐增加,生态环境质量也随之得到恢复。Gao^[7]在黄土丘陵区长川流域的研究表明,优化后的土地利用空间格局能够有效起到减少土壤侵蚀、提高水资源利用效率和保护生态环境的作用。

目前,相关研究多集中在土地利用和景观格局的时空格局变化及驱动力分析、生态环境效应对土地利用变化/景观格局演变的响应以及土地利用系统和生态服务系统之间的相互作用关系等方面,而土地利用变化引起的景观格局演变和生态环境效应研究相对较少,值得进一步深入探讨。寻乌水流域为东江发源地和重要水源补给区,生态地位十分重要。近几十年来,该流域景观格局和生态环境变化十分显著,但相关研究鲜见报道。因此,及时开展其景观格局演变和生态环境质量评价研究十分必要,研究成果可为流域的土地利用规划、良好的生态格局建立和生态环境保护提供重要科学依据。

1 研究区概况

寻乌水为珠江流域东江水系源头,是东江水两大主要水系之一,发源于寻乌县三标乡榷髻钵山,自北向南流经寻乌县三标、水源、澄江、吉潭、南桥、留车、文峰 7 乡镇,出斗晏水库下行 120 m 入广东省境,主河道长 115.4 km,江西省境内流域面积 1841 km²。寻乌水流域地势呈东北、西北与东南高,向西南倾斜,地形似掇箕状,中山、低山、丘陵、岗地呈阶梯状分布。土壤类型主要有水稻土、潮土、紫色土、红壤、山地黄壤和山地草甸土等 6 种,其中红壤面积最大。植被类型以马尾松和杉木为主。流域属亚热带季风气候类型,多年平均降水

量约 1600mm,多年平均气温 18.9℃,年水面蒸发量 1090 mm,年径流量 15.1 亿 m³,悬移质年输沙量 43.4 万 t。寻乌县经济总量明显扩张,2015 年实现生产总值 558144 万元。2015 年末,寻乌县常住人口为 32.82 万人。

水背水文站(115°40'39.6"E, 24°47'57.2"N)位于寻乌县南桥镇,为寻乌水流域的主要控制站点,本研究选取该水文站的控制范围作为研究区,其控制流域范围约为 987 km²,河长 86 km。

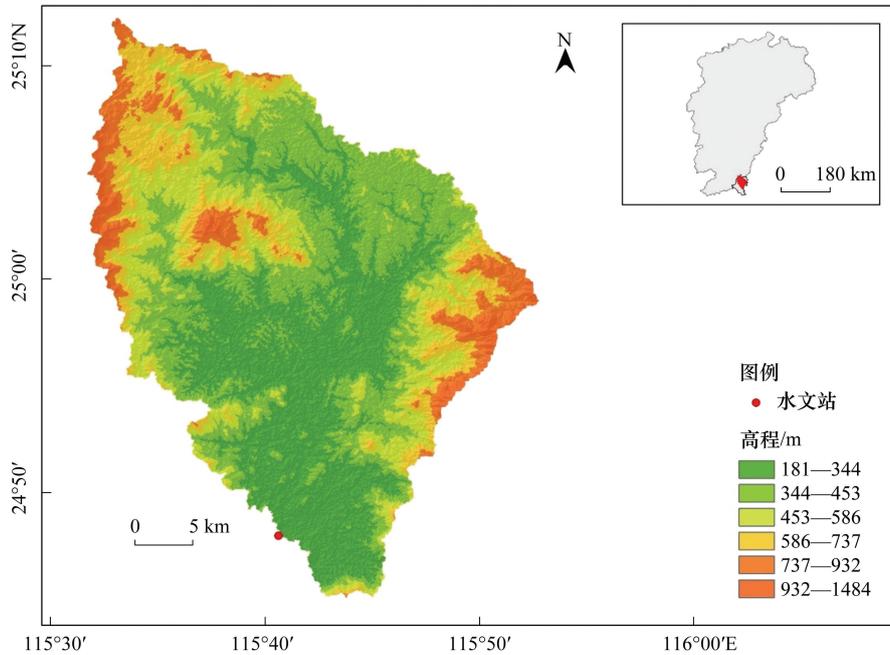


图 1 研究区地理位置及高程示意图

Fig.1 Location and elevation of the study area

2 数据来源及研究方法

2.1 数据获取及处理

本研究所需气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网,水文数据来源于江西省水文局,人口、经济数据从寻乌统计年鉴中获取。遥感数据来源于美国地质调查局(USGS)网站,选取 3 景 Landsat 遥感影像为数据源,轨道号为 121/43,影像获取时间分别为 1995-01-05(TM)、2005-01-16(TM)和 2015-02-13(OLI/TIRS),如图 2 所示。3 期影像数据云量低,季相一致,质量较好。

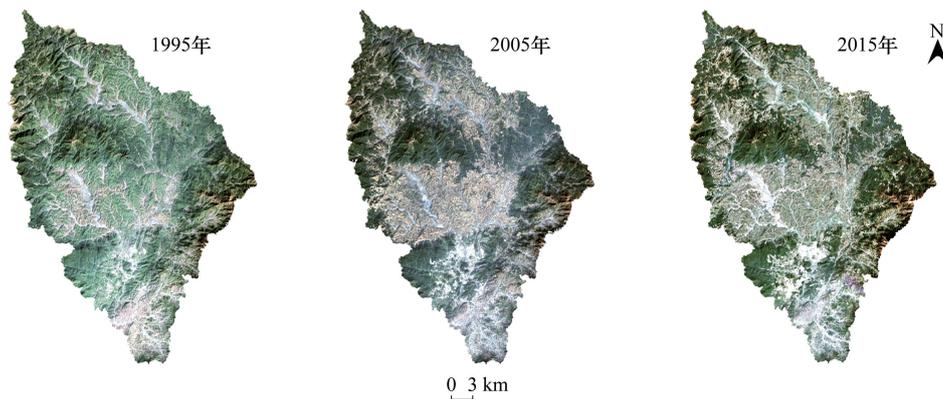


图 2 1995—2015 年研究区遥感影像

Fig.2 Remote sensing images of the study area from 1995 to 2015

遥感数据预处理过程如下:①采用 Envi 5.5.1 遥感处理软件对三景影像使用二次多项式和最邻近像元法进行几何校正,使其均方根误差小于 0.5 个像元以满足精度要求;②对影像进行辐射定标操作,将 DN 值转换为传感器处的反射率;③对辐射定标后的影像进行大气校正,消除大气和光照等因素对地物反射的影响;④利用流域边界矢量数据裁剪提取出研究区内多波段遥感图像。⑤在综合考虑遥感影像数据光谱信息和纹理特征的基础上,运用随机森林算法将研究区土地利用类型分为耕地、林地、园地、建设用地、水域和未利用地等 6 类。分类后的影像进行分类精度评估,Kappa 系数均大于 85%,满足精度要求。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移分析

本文借助转移矩阵进行土地利用类型内部转移分析,转移矩阵通用形式为^[8]:

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

式中,A 为转移矩阵, A_{ij} 为 k 时期的 i 种土地利用类型转变为 k+1 时期 j 种土地利用类型的面积。通过转移矩阵可计算 k 时期的 i 种土地利用类型转变为 k+1 时期 j 种土地利用类型的比例 B_{ij} ,计算公式为: $B_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{j=1}^n A_{ij}$,也可以计算 k+1 时期 j 种土地利用类型由 k 时期的 i 种土地利用类型转化而来的比例 C_{ij} ,计算公式为: $C_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{i=1}^n A_{ij}$ 。

2.2.2 景观格局分析法

景观格局分析对于研究景观的生态过程和功能变化具有重要意义^[9]。诸多景观格局分析法中,景观指数的应用最为广泛,景观指数可以体现其结构组成和空间配置等特征,能高度浓缩景观格局信息。利用 ArcGIS10.2 的空间分析模块将土地利用类型图转换为 Grid 格式,然后采用景观格局分析软件 Fragstats4.2 进行各景观组分的相关景观指数计算。本文选取景观面积比(PLAND)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、周长面积分维数(PAFRAC)、斑块凝聚度(COHESION)、香农多样性(SHDI)、景观聚集度指数(CONTAG)以及修正 Simpson 均匀度指数(MSIEI),以上指标可以反映各景观类型面积占比、形状复杂度、破碎度和异质性等,各景观格局指数计算公式和意义可参阅相关文献^[10-11]。

2.2.3 遥感生态指数(RESI)

随着 3S 技术的不断发展,诸多学者在生态环境评价中引入基于遥感反演的生态环境指标,不断地改进和发展着生态环境评价的指标和方法^[12-13]。2013 年徐涵秋首次提出的新型遥感生态指数(RSEI)^[14-16]可完全依靠遥感技术,具有资料获取方便、适用性强、受人为影响较小及研究结果更具客观性和科学性的优点。许多学者应用该方法在流域^[17]、湿地^[18]、城市^[19-22]、自然保护区^[23]和农牧交错带^[24]开展过研究。

遥感生态指数(RSEI)通过主成分分析技术耦合了湿度(WET)、绿度(NDVI)、温度(LST)和干度(NDSI)等 4 个生态评价的重要指标。湿度指标选取经过缨帽变换的湿度分量来表示;绿度指标选取应用最广泛的归一化植被指数代表;干度指标采用建筑指数(ABI)和土壤指数(SI)两者相结合生成的“建筑-裸土指数”来表示;热度指标采用地表温度表示,先从 Landsat 用户手册的模型计算亮度温度,再通过比辐射率校正计算而得。由于 4 个指标的量纲不一致,先对 4 个指标进行归一化,使其结果映射到 [0, 1] 区间。对归一化处理的指标进行主成分分析,通过主成分变换的结果构建原始的生态指数 $RSEI_0$,公式为 $RSEI_0 = PC [f(WET, NDVI, NDSI, LST)]$ 。为便于指标的度量与比较,对 $RSEI_0$ 进行归一化处理,最终得到遥感生态指数 RSEI,其值介于 [0, 1] 之间,RSEI 值越大,代表生态环境质量越好,反之则生态差。为进一步对 RSEI 进行定量化和可视化分析,将各年份的 RSEI 指数以 0.2 为间隔,划分为优、良、中等、较差、差 5 个等级。遥感生态指数 RSEI 计算流程详见图 3。

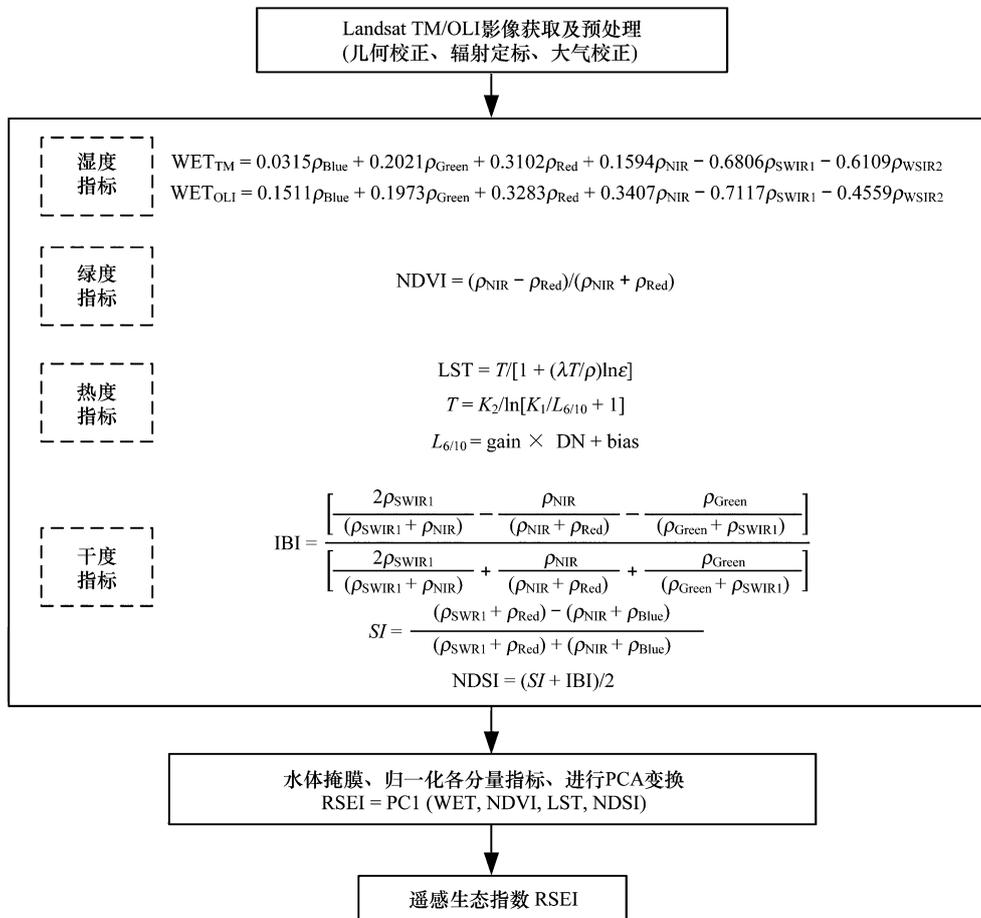


图3 RSEI 指数计算流程图

Fig.3 Computational flow chart of the RSEI

图中, ρ_{Blue} 、 ρ_{Green} 、 ρ_{Red} 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 为蓝、绿、红、近红、短波红外 1 和短波红外 2 波段, 分别对应 TM 影像中的第 1、2、3、4、5、7 波段和 OLI 影像中的第 2、3、4、5、6、7 波段。湿度计算中, WET_{TM} 、 WET_{OLI} 分别代表 Landsat TM 和 Landsat OLI 的湿度计算公式。地表温度计算中, 对于 Landsat TM 影像, 通过影像反演地表温度, L_6 为热红外波段像元在传感器处的辐射值; DN 为像元灰度值; gain 和 bias 分别为波段增益值(0.055)和偏置值(1.18243); K_1 和 K_2 分别为定标参数, $K_1 = 607.76W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ 、 $K_2 = 1260.56 K$; LST 为地表温度, λ 为热红外波段的中心波长(11.45 μm), $\rho = 1.438 \times 10^{-2} m \cdot K$; ϵ 为地表比辐射率, 根据 Sobrino 模型通过 NDVI 进行估算^[25]。对于 Landsat OLI 影像, 可通过 landsat 用户手册获取地面的真实辐射亮度经过大气层之后到达卫星传感器的能量、大气向上辐射亮度和大气向下辐射到达地面后反射的能量等参数, 通过 Envi5.5.1 中的插件计算得到地表温度

3 结果分析

3.1 土地利用变化特征

从流域的总体土地利用类型动态变化过程可知, 园地用地比例快速增加, 由 2.34% 增加至 42.48%, 自 2005 年之后, 上升趋势趋缓; 林地用地比例持续大幅下降, 自 2005 年之后, 下降趋势渐缓, 林地是园地扩张的主要来源; 建设用地增速相对较快, 建设用地总量涨幅近 2%, 且 2005 年之后的增速较前一段更快; 耕地、未利用地比例出现小幅下降, 且自 2005 年之后有加剧趋势, 水域面积小幅下降后又波动上升, 总体相对稳定。总而言之, 1995—2015 年寻乌水流域土地利用变化极其显著, 整体处于不平衡态, 以林地、耕地转出与园地转入为主要变化形式, 前十年土地利用变化趋势比后十年的更剧烈。

表 1 1995—2015 年寻乌流域土地利用类型总体构成及变化

Table 1 Scales and dynamics of land-use types from 1995 to 2015

土地利用类型 Land-use types	百分比 Percent/%			1995—2005 年均变化 Annual change rate/%	2005—2015 年均变化 Annual change rate/%
	1995 年	2005 年	2015 年		
耕地 Cultivated land	14.72	14.00	7.34	-0.07	-0.67
林地 Forest land	79.04	54.10	45.13	-2.50	-0.89
园地 Orchard land	2.34	28.09	42.48	2.58	1.44
建设用地 Construction land	0.26	0.44	2.06	0.02	0.16
水域 Water body	0.59	0.50	0.58	-0.01	0.01
未利用地 Unused land	3.05	2.87	2.41	-0.02	-0.04

经土地利用转移矩阵计算(表 2),寻乌流域 1995—2015 年期间各类土地利用类型都有转入和转出,且类型间相对转移量比较大。按绝对量计算,土地利用转出面积最多的是林地 34697.74hm²,其次是耕地 8650.96 hm²,最少的是建设用地 57.98 hm²,转出面积大小排序为:林地>耕地>未利用地>水域>园地>建设用地。转入面积最大的为园地 39651.52hm²,其次是建设用地 1785.38 hm²,最少的水域 310.77 hm²,转入面积大小排序为:园地>建设用地>林地>耕地>未利用地>水域。

表 2 1995—2015 年寻乌流域土地利用类型转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of land use types in Xunwu watershed from 1995 to 2015

类型 Land-use types	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	园地 Orchard land	建设用地 Construction	水域 Water body	未利用地 Unused land	小计 2015 Subtotal 2015
耕地/hm ²	5665.93	986.79	125.90	13.43	65.19	207.44	7064.69
B/%	39.57	1.28	3.57	5.42	11.75	7.12	
C/%	80.20	13.97	1.78	0.19	0.92	2.94	100
林地/hm ²	605.40	42438.00	57.85	5.47	56.75	728.83	43892.31
B/%	4.23	55.02	1.64	2.21	10.23	25.01	
C/%	1.38	96.69	0.13	0.01	0.13	1.66	100
园地/hm ²	6340.50	32347.79	3250.19	26.86	142.91	793.46	42901.71
B/%	44.29	41.94	92.06	10.85	25.76	27.22	
C/%	14.78	75.40	7.57	0.06	0.34	1.85	100
建设用地/hm ²	1208.46	434.97	65.89	189.63	41.78	34.29	1975.01
B/%	8.44	0.56	1.87	76.58	7.53	1.18	
C/%	61.19	22.02	3.34	9.60	2.12	1.74	100
水域/hm ²	83.26	190.29	1.39	1.92	239.24	33.91	550.01
B/%	0.58	0.24	0.04	0.78	43.12	1.16	
C/%	15.14	34.60	0.25	0.35	43.50	6.16	100
未利用地/hm ²	413.34	737.91	29.11	10.29	8.90	1116.73	2316.28
B/%	2.89	0.96	0.82	4.16	1.61	38.31	
C/%	17.85	31.86	1.26	0.44	0.38	48.21	100
小计 1995	14316.89	77135.75	3530.33	247.60	554.77	2914.66	98700

3.2 景观格局变化特征

3.2.1 类型水平上景观格局变化特征

由图 4 可知,在类型水平上,各土地利用类型的景观指数呈现出不同的变化趋势。从 1995—2015 年的景观百分比数据来看,林地景观组分对流域的控制作用减弱,由 1995 年的 79.04%减少到 2015 年的 45.13%,后期园地也成为了流域的优势景观组分。流域中耕地的斑块密度相对较高,未利用地则呈现持续下降趋势,园地和建设用地在 2005 年前后呈现先增加后减少的趋势,而林地和水域则呈现相反的变化趋势,表明流域内景观生态过程较活跃。从景观形状指数变化趋势可知,耕地、园地的景观形状指数较大且总体呈现上升趋势,林

地和建设用地呈现增加趋势且增速较快,未利用地和水域的景观形状指数呈现持续下降趋势。周长-面积分维数理论值范围为[1,2],值越大代表景观形态越复杂,值越接近 1.5 代表景观类型处于越不稳定的状态。从 1995—2015 年的周长-面积分维数变化趋势可知,各景观类型的周长-面积分维数值较接近,均介于[1.2—1.5]区间内,耕地、林地、未利用地周长-面积分维数值呈现下降趋势,表明其景观形态呈现简单化趋势,且越来越趋于稳定,建设用地、园地和水域景观形态越来越复杂,且处于不稳定状态。从 1995—2015 年的斑块凝聚度变化趋势可知,各景观类型的空间凝聚度指数都较大,表明流域内各景观类型的团聚程度较高。其中耕地、林地、园地最高,建设用地、未利用地次之,水域空间连通性最小。

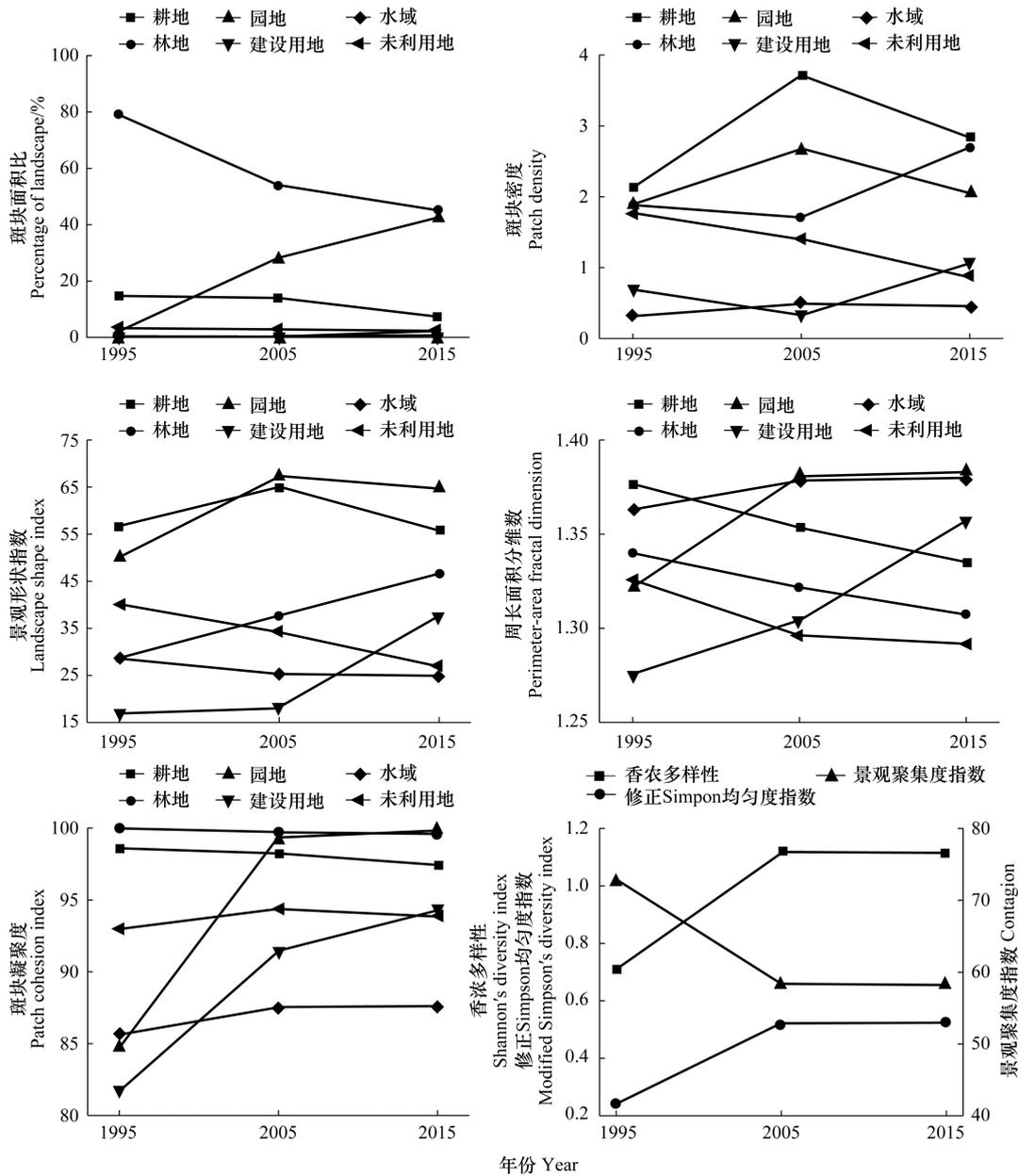


图 4 寻乌水流域类型水平、景观水平上景观格局指数变化特征

Fig.4 Landscape index variation characteristics of Xunwu watershed

3.2.2 景观水平上景观格局变化特征

由图 4 可知,1995—2015 年期间,流域的景观结构发生了显著变化。寻乌水流域的香农多样性指数总体

上呈现增加趋势,表明流域景观类型所占比例差异呈现减小趋势。流域的修正 Simpon 均匀度指数不高,但呈上升趋势,表明流域不同景观斑块分布均匀程度不高,各景观斑块之间差异较大。1995 年以来流域聚集度指数呈减少趋势,说明研究区内多元景观聚集程度一般,但景观异质性有所增强,破碎化程度有所升高。流域的景观结构变化在 1995—2005 年期间变化幅度更显著,2005—2015 年期间变化幅度更小,更加趋于稳定。

3.3 生态环境质量评价

3.3.1 遥感生态指数(RSEI)构建

本研究通过主成分分析技术集成湿度、干度和温度 4 个指标,以单一变量耦合多个指标,根据各指标对主成分的贡献率来客观地确定权重。先将各期标准化后的各指标进行波段合成,然后对合成后的图像进行主成分变换,得到各指标主成分分析结果。

表 3 1995—2015 年指标主成分分析

Table 3 Principal component analysis of indicators from 1995 to 2015

年份 Year	参量/Parameters	PC1	PC2	PC3	PC4
1995 年	湿度 WET	0.619	0.433	-0.646	-0.111
	绿度 NDVI	0.585	-0.761	0.095	-0.265
	干度 NDSI	-0.215	0.177	0.077	-0.957
	温度 LST	-0.478	-0.449	-0.754	-0.036
	特征值 Eigenvalue	0.116	0.040	0.021	0.001
	贡献率 Percent eigenvalue/%	65.08	87.61	99.3	100
2005 年	湿度 WET	0.605	0.324	0.727	-0.004
	绿度 NDVI	0.654	-0.722	-0.222	0.029
	干度 NDSI	-0.022	0.014	0.017	1.000
	温度 LST	-0.453	-0.611	0.649	-0.013
	特征值 Eigenvalue	0.164	0.023	0.016	0.000
	贡献率 Percent eigenvalue/%	80.56	91.90	99.85	100
2015 年	湿度 WET	0.546	-0.034	0.777	0.311
	绿度 NDVI	0.470	0.448	-0.529	0.547
	干度 NDSI	-0.548	-0.303	0.061	0.777
	温度 LST	-0.426	0.841	0.335	0.002
	特征值 Eigenvalue	0.210	0.030	0.015	0.002
	贡献率 Percent eigenvalue/%	81.55	93.10	99.08	100

由表 3 可知:①1995—2015 年,3 个时期各指标的第一主成分贡献率分别达到 65.08%、80.56%和 81.55%,说明第一主成分已集中了 4 个指标的大部分特征,且 3 个时期湿度的系数均为最大,说明湿度对生态环境质量的影响最大;②第一主成分中,湿度(WET)和绿度(NDVI)呈正值,说明它们对生态环境质量起到正面作用;反之,代表热度的 LST 和代表干度的 NDSI 对生态环境的影响是负面的。③除第一主成分之外,其他主成分的符号和大小不稳定,难以解释生态现象。因此使用第一主成分构建 RSEI。

3.3.2 寻乌水流域生态环境时空变化分析

从 3 期遥感生态指数图(图 5)相比较来看,相较于 1995 年,2005 年红色区域(生态环境质量差)明显增加,再到 2015 年,研究区中部生态环境质量明显得到改善,大部分红色区域已经被橙黄色和黄色所替代。同时,研究区深绿色区域(生态环境质量优)也有所增加。

由表 4 可知,RSEI 均值由 1995 年的 0.550 下降到 2005 年的 0.544,下降了 1.09%;再由 2005 年的 0.544 增加到 2015 年的 0.554,增加了 1.84%。寻乌水流域的遥感生态指数呈现出先下降再上升的特征,说明其生态环境变差后又有所改善。

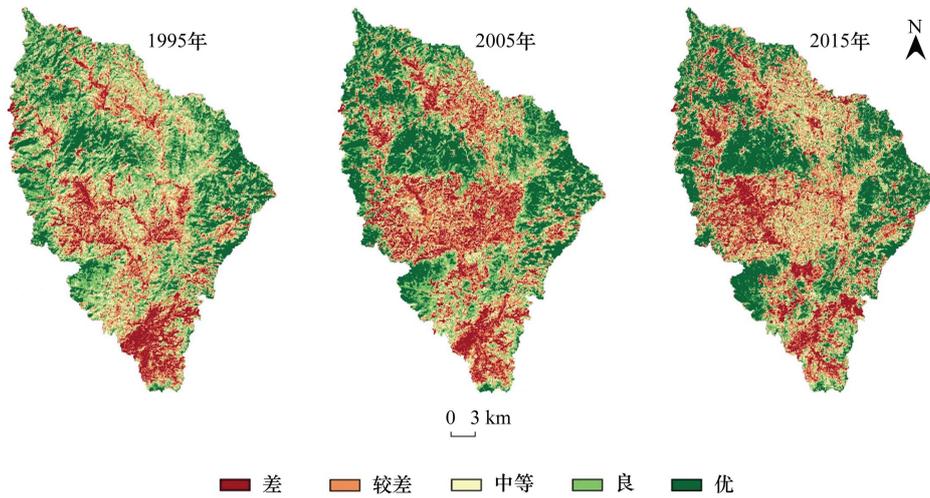


图 5 寻乌水流域遥感生态指数图

Fig.5 Remote sensing based ecological index map of Xunwu watershed

表 4 各年份 4 个指标和遥感生态指数 RSEI 的均值变化

Table 4 Variation of the mean of 4 indexes and RSEI in each year

年份 Year	湿度 WET	绿度 NDVI	干度 NDSI	热度 LST	遥感生态指数 RSEI
1995	0.616	0.671	0.875	0.684	0.554
2005	0.626	0.578	0.993	0.628	0.544
2015	0.633	0.731	0.583	0.538	0.550

经统计(表 5),寻乌水流域生态状况为优、良面积占比由 1995 年的 47.40%降至 2005 年的 47.33%再降至 2015 年的 45.13%,20 年间共下降 2.27%,下降幅度不大;与此同时,研究区生态状况为较差、差的区域占比由 1995 年的 28.83%上升到 2005 年 35.15%再到 2015 年的 35.09%,20 年间共上升 6.26%,这都说明了流域 20 年间的生态状况总体上呈现下降趋势。同时,寻乌水流域生态环境质量为优的面积占比明显增多,由 1995 年的 19.80%到 2005 年的 25.65%再到 2015 年的 28.06%。

表 5 研究区 1995—2015 年期间各 RSEI 等级面积统计

Table 5 Area statistic of RSEI level from 1995 to 2015 in study area

等级 Grade	1995		2005		2015	
	面积 Area/km ²	%	面积 Area/km ²	%	面积 Area/km ²	%
差 Bad	112.68	11.60	151.73	15.62	143.49	14.77
较差 Poor	167.32	17.23	189.70	19.53	197.33	20.32
中等 Moderate	230.95	23.78	170.20	17.52	192.11	19.78
良 Good	268.03	27.59	210.34	21.66	165.86	17.08
优 High	192.35	19.80	249.35	25.67	272.53	28.06

3.3.3 生态环境变化归因分析

生态环境是在自然因素和人类活动的综合作用下变化的。以湿度、绿度、干度和热度 4 个指标耦合的生态指数可较好地反映寻乌水流域生态环境质量状况。

(1) 自然因素对生态环境的影响

研究时段内,与生态环境呈正相关的湿度与生态环境呈负相关的温度对流域的遥感生态环境指数

(RSEI)的贡献率最大。从年降水量和年均气温变化特征可以看出,寻乌水流域 1995—2015 年期间年降水和年均气温均呈下降趋势。从年径流变化特征可以看出,径流深呈上升趋势,一定程度上增加了研究区的水汽含量,提高了土壤湿度。这与表 4 中各年份湿度、热度指标的 RSEI 均值变化趋势是一致的。

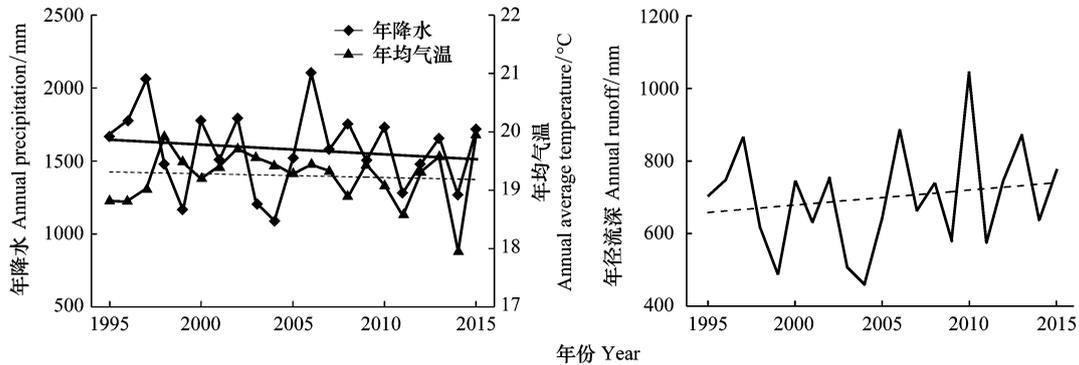


图 6 寻乌水流域年降水量、年均气温和年径流深变化趋势

Fig.6 The variation of annual precipitation, average temperature and runoff depth in Xunwu watershed

(2) 人类活动对生态环境变化的影响

研究表明,经济发展、产业结构、农业生产水平都有可能影响到生态环境的变化^[26]。寻乌县是名副其实的果业大县和果业强县,自 20 世纪 90 年代以来,寻乌果业大开发,果园规模扩张速度极快,率先在全省实现了农业人口人均果园 0.13hm²。据相关数据显示^[27],1995 年、2005 年和 2015 年寻乌县的果业总产值分别为 0.50 亿元、4.56 亿元和 16.62 亿元。果业总产值更是一度超过粮食总产值,成为县城潜力最大、分量最重的第一支柱产业。诸多研究表明,单位面积林地的气候调节、水源涵养、保土固碳、生物多样性保护等方面的生态系统服务价值远远高于园地^[28-30]。研究期间内寻乌水流域的大量林地转换为园地,其生态系统服务价值和生态环境质量都会大大降低。

与此同时,寻乌水流域生态环境质量为优的面积占比越来越多,由 1995 年的 19.80% 提高至 2015 年的 28.06%,从图 5 中可以看出,深绿色区域(生态环境质量优)面积明显增加,这些区域多为林地,这与寻乌县政府所做的一系列生态环保举措有着密不可分的联系。寻乌县先后出台实施了关于生态建设和环境保护的“十五”、“十一五”和“十二五”规划和《寻乌县生态县建设规划(2011—2020)》,并取得了一定的成效。经统计,全县近年来共完成造林面积 10323.9hm²,建设珠江防护林 2160 hm²,退耕还林 1666.7 hm²,退果还林 400.9 hm²,矿山治理及生态修复面积达 14km²。这些环保举措都为寻乌水流域的生态修复做出了巨大贡献。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过获取 1995、2005 和 2015 年三期影像,首先通过遥感解译得到相应的土地利用数据,再通过土地利用转移矩阵模型分析出土地利用动态变化特征,同时利用景观格局分析法计算类型水平和景观水平上景观格局指数,得到流域景观格局演变特征,最后利用 RSEI 对寻乌水流域的生态环境质量进行评价。主要结论如下:

(1) 1995—2015 年期间,园地(增加 40.14%)和林地(减少 33.91%)面积占比变化幅度最大,耕地(减少 7.38%)其次,水域(减少 0.1%)变化幅度最小。研究时段内园地“涨势”和林地“落势”十分明显,建设用地增速相对较快,耕地和未利用地呈小幅下降趋势。丰富的山地资源和独特的气候为寻乌果业的发展提供了优越的自然条件。自 90 年代以来,寻乌果园规模迅速扩张,这也是寻乌水流域土地利用变化显著且处于单向转换的不平衡状态的原因。

(2) 景观水平上, 流域的香农多样性指数 (SHDI)、修正 Simpon 均匀度指数 (MSIEI) 分别由 1995 年的 0.7083、0.2423 上升至 2015 年的 1.114、0.5247, 说明斑块类型趋于多样化, 景观丰富度在增加, 各景观类型占比趋于均衡化, 作为优势景观的林地对流域的控制作用减小, 景观异质性增强。景观聚集度指数 (CONTAG) 由 1995 年的 72.93 下降到 2015 年的 58.13, 说明其景观连通性变差, 景观破碎化程度提高。可知, 近 20 年来寻乌水流域土地利用变化深刻地影响着景观格局。

(3) 寻乌水流域 1995、2005 和 2015 年 RSEI 均值分别为 0.554、0.544 和 0.550, 呈先下降后上升趋势, 说明生态环境状况恶化后得到改善。寻乌果业发展引起的园地快速扩张对林地的占用是生态环境恶化的主因, 后期退果(耕)还林、保护生态林及植树造林等是生态环境改善的主因。

4.2 讨论

土地利用变化蕴含着大量人类活动的信息, 通过改变景观格局和生态系统结构、功能及生态过程直接影响生态环境状况, 是景观格局演变和生态环境变化的重要驱动力^[31-32]。井云清等^[33]在艾比湖湿地的研究表明, 当土地利用/覆被变化对生态环境改善的贡献率高于对生态环境恶化的贡献率时, 生态环境质量有一定的提高, 反之降低。即流域内生态环境状况是恶化和改善两种趋势相互抵消后的结果。这与本文寻乌水流域生态环境恶化后得到改善、但其生态环境质量总体上呈下降趋势的研究结果相吻合。

陈万旭等^[34-35]的研究显示, 土地利用程度对生态环境质量指数影响力显著高于其他因子, 土地利用变化是生态系统结构和功能变化的直接原因。毁林开荒及建设用地占用林地和耕地是导致生态系统功能恶化的重要原因, 退耕还林是生态系统功能改善的主要原因。欧维新等^[36]的研究表明, 土地利用变化是生态系统健康时空演变的主导因子, 且林地和水域对维持生态系统健康起着决定性作用。这与寻乌水流域土地利用变化深刻地影响着景观格局和生态环境状况的研究结果相一致。

参考文献 (References):

- [1] 陈利顶, 孙然好, 刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展. 生态学报, 2013, 33(4): 1042-1050.
- [2] 吕乐婷, 张杰, 彭秋志, 任斐鹏, 江源. 东江流域景观格局演变分析及变化预测. 生态学报, 2019, 39(18): 6850-6859.
- [3] 奚世军, 安裕伦, 李阳兵, 蔡沛伶, 龙立美, 陈啟英. 基于景观格局的喀斯特山区流域生态风险评估——以贵州省乌江流域为例. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 712-721.
- [4] 涂小松, 龙花楼. 2000-2010 年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化. 资源科学, 2015, 37(12): 2451-2460.
- [5] Watanabe M D B, Ortega E. Dynamic emergy accounting of water and carbon ecosystem services: a model to simulate the impacts of land-use change. Ecological Modelling, 2014, 271: 113-131.
- [6] 温仲明, 焦峰, 张晓萍, 杨勤科. 纸坊河流域近 60 年来土地利用景观变化的环境效应. 生态学报, 2004, 24(9): 1903-1909.
- [7] Gao Q Z, Kang M Y, Xu H M, et al. Optimization of land use structure and spatial pattern for the semi-arid loess hilly - gully region in China. CATENA, 2010, 81(3): 196-202.
- [8] 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 王亚华. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例. 地理研究, 2013, 32(8): 1497-1507.
- [9] 阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力. 生态学报, 2015, 35(13): 4357-4366.
- [10] 何鹏, 张会儒. 常用景观指数的因子分析和筛选方法研究. 林业科学研究, 2009, 22(4): 470-474.
- [11] 孙天成, 刘婷婷, 褚琳, 李朝霞, 王天巍, 蔡崇法. 三峡库区典型流域“源”“汇”景观格局时空变化对侵蚀产沙的影响. 生态学报, 2019, 39(20): 7476-7492.
- [12] 潘竟虎, 董磊磊. 2001—2010 年疏勒河流域生态系统质量综合评价. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2907-2915.
- [13] 孟岩, 赵庚星. 基于卫星遥感数据的河口区生态环境状况评价——以黄河三角洲垦利县为例. 中国环境科学, 2009, 29(2): 163-167.
- [14] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [15] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897.
- [16] 徐涵秋. 水土流失区生态变化的遥感评估. 农业工程学报, 2013, 29(7): 91-97.
- [17] 郭泽呈, 魏伟, 庞素菲, 李振亚, 周俊菊, 颀斌斌. 基于 SPCA 和遥感指数的干旱内陆河流域生态脆弱性时空演变及动因分析——以石羊河流域为例. 生态学报, 2019, 39(7): 2558-2572.
- [18] 王丽春, 焦黎, 来风兵, 张乃明. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价. 生态学报, 2019, 39(8): 2963-2972.

- [19] 张浩, 杜培军, 罗洁琼, 李二珠. 基于遥感生态指数的南京市生态变化分析. 地理空间信息, 2017, 15(2): 58-62.
- [20] 张灿, 徐涵秋, 张好, 唐菲, 林中立. 南方红壤典型水土流失区植被覆盖度变化及其生态效应评估——以福建省长汀县为例. 自然资源学报, 2015, 30(6): 917-928.
- [21] 温小乐, 林征峰, 唐菲. 新兴海岛型城市建设引发的生态变化的遥感分析——以福建平潭综合实验区为例. 应用生态学报, 2015, 26(2): 541-547.
- [22] 罗春, 刘辉, 戚陆越. 基于遥感指数的生态变化评估——以常宁市为例. 国土资源遥感, 2014, 26(4): 145-150.
- [23] 王士远, 张学霞, 朱彤, 杨维, 赵静瑶. 长白山自然保护区生态环境质量的遥感评价. 地理科学进展, 2016, 35(10): 1269-1278.
- [24] 张晓东, 刘湘南, 赵志鹏, 马彦云, 杨勇. 农牧交错区生态环境质量遥感动态监测——以宁夏盐池为例. 干旱区地理, 2017, 40(5): 1070-1078.
- [25] Sovrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [26] Ostwald M, Chen D L. Land-use change; impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China. Land Use Policy, 2006, 23(4): 361-371.
- [27] 杨永飞. 寻乌年鉴. 南昌: 江西高校出版社, 2008-2016.
- [28] 张雅昕, 刘娅, 朱文博, 李双成. 基于 Meta 回归模型的土地利用类型生态系统服务价值核算与转移. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 493-504.
- [29] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 田京京, 李静. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 373-381.
- [30] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.
- [31] Nelson E, Sander H, Hawthorne P, Conte M, Ennaanay D, Wolny S, Manson S, Polasky S. Projecting global land-use change and its effect on ecosystem service provision and biodiversity with simple models. PLoS One, 2010, 5(12): e14327.
- [32] Polasky S, Nelson E, Pennington D, Johnson K A. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. Environmental and Resource Economics, 2011, 48(2): 219-242.
- [33] 井云清, 张飞, 陈丽华, 张月, 王小平, 李哲, Kung H T. 艾比湖湿地土地利用/覆被-景观格局和气候变化的生态环境效应研究. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3590-3601.
- [34] 陈万旭, 李江风, 朱丽君. 长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析. 自然资源学报, 2019, 34(2): 325-337.
- [35] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 冉端, 杨斌. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理. 地理研究, 2019, 38(9): 2173-2187.
- [36] 欧维新, 张伦嘉, 陶宇, 郭杰. 基于土地利用变化的长三角生态系统健康时空动态研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 84-92.