

曹善浩,曹秀婷,王志强,等.浏阳河流域土地利用景观动态及生态环境质量响应[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2023,38(2):19-26. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.02.003

CAO S H, CAO X T, WANG Z Q, et al. On Dynamics of Land Use Landscape and Response of Ecological Environment Quality in Liuyang River Basin[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 38(2): 19-26. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.02.003

浏阳河流域土地利用景观动态及生态环境质量响应

曹善浩^{1,2}, 曹秀婷², 王志强^{1*}, 周宇航¹, 房乐³

(1.湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201; 2.嘉兴市国土空间规划研究有限公司,浙江 嘉兴 314050;
3.长三角(嘉兴)城乡建设设计集团有限公司,浙江 嘉兴 314001)

摘要:为研究浏阳河流域的生态环境质量变化特征,在遥感和 GIS 技术支持下,利用 1985 年、2000 年和 2015 年的遥感影像获取浏阳河流域内的土地利用/覆盖类型数据,应用景观生态学相关知识和土地利用转型的生态环境效应模型,揭示 1985 年—2015 年浏阳河流域土地利用景观的空间格局和变化趋势,探讨该流域的生态环境质量变化及驱动机制.结果表明:(1)土地利用的整体变化特征表现为林地、草地面积缩减,耕地、人工表面面积增加;(2)生态环境质量空间分布东西差异大,总体特征是西部低,东部、南部高;(3)整体的生态环境质量指数从 1985 年的 0.292 4 持续下降至 2015 年的 0.279 8,生态环境质量退化明显;(4)存在生态环境质量改善和退化 2 种过程,且退化过程大于改善过程,生态环境质量退化的主要因素包括林地转化为人工表面和林地转为耕地.

关键词:遥感;GIS;浏阳河流域;生态环境;退化;改善

中图分类号:K909;X144

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2023)02-0019-08

On Dynamics of Land Use Landscape and Response of Ecological Environment Quality in Liuyang River Basin

CAO Shan hao^{1,2}, CAO Xiuting², WANG Zhiqiang¹, ZHOU Yuhang¹, FANG Le³

(1. School of Resources & Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Jiaxing Institute of Territorial Space Planning, Jiaxing 314050, China;

3. Yangtze River Delta (Jiaxing) Planning & Design Group Co., Ltd., Jiaxing 314001, China)

Abstract: In order to study the characteristics of the ecological environment quality change in the Liuyang River Basin, this paper uses remote sensing images in 1985, 2000 and 2015 to obtain three-phase land use type data in the basin with the support of remote sensing and GIS technology, and applies the knowledge of landscape ecology and the ecological environment effect model of land use transition. It reveals the spatial pattern and change trend of the land use landscape in the Liuyang River Basin from 1985 to 2015, and discusses the changes in the ecological environment quality of the basin and its driving mechanism. Results show: (1) The characteristics of land use change in the watershed are characterized by the reduction of forest land and grassland area, and the increase of cultivated land and artificial surface area; (2) The spatial distribution of the ecological

收稿日期:2020-07-24

修改日期:2022-10-19

基金项目:湖南省水利科技项目资助(湘水科计[2017]230-12)

*通信作者, E-mail: 369250740@qq.com

environment safety quality of the Liuyang River Basin is different from east to west. The spatial distribution is low in the west, high in the east and south; (3) The ecological environment quality index of the Liuyang River Basin continues to decline from 0.292 4 in 1985 to 0.279 8 in 2015, and the quality of the ecological environment is degrading; (4) There are two processes of ecological environment quality improvement and degradation in the Liuyang River Basin, and the effect of the degradation process is greater than the improvement process. The main factors of the ecological environment quality degradation are the conversion of forest land to artificial surface and forest land to cultivated land.

Keywords: remote sensing; GIS; Liuyang River Basin; ecological environment; degradation; improvement

土地利用/土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式^[1],是人类活动干预地球陆表自然生态系统的主要过程^[2].研究土地利用变化的空间格局不仅可以表征人地关系在不同地域空间上的作用强度与作用模式,还是探究地表生态环境质量状况及其空间特征的重要途径^[3-4].快速工业化和城镇化背景下,我国的土地资源需求日益增加,优质耕地、林地、草地等生产生态用地被占用、污损,不仅使人地关系处于高度紧张而又敏感的状态,而且对生态环境质量也产生了深远影响^[5].例如,部分地区农村劳动力外流使大量耕地撂荒、闲置,农村人口与耕地的平衡关系被打破,严重制约农村的可持续发展^[6];城市化进程的加快导致不透水表面积增加,从而促进非点源污染物通过地表径流的运输和积累^[7];农业增长和集约化导致森林砍伐、水土流失、土地质量退化和生物多样性减少等问题^[8].同时,部分地方对土地资源保护的监管薄弱,致使区域生态环境质量持续恶化.因此,开展土地利用覆盖变化规律及其生态环境质量响应的研究,对加强流域生态环境质量管理和决策、协调流域人地关系及维护流域生态安全等都具有重要意义,因而成为流域生态环境管理和生态安全建设的热点内容之一^[9].

浏阳河是湘江的一级支流河,主要位于长沙市域内,自20世纪80年代以来,工业、城镇建设的土地以前所未有的速度扩张,改变了浏阳河流域土地利用的空间格局,对流域内土地利用管理和生态环境产生了重大影响.因此,该流域成为近年来湖南省生态整治和水生态文明建设的重点之一,并入选水利部首批建设的全国17个示范河湖之一.针对该流域的研究局限于生态系统服务价值的空间异质性^[10]、径流对土地利用和气候变化的协同响应^[11]及极端降水变化^[12]等,而在流域土地覆盖时空演变规律和流域生态环境质量评价方面的研究较为缺乏,从而影响流域生态环境的科学管理、规划和精准决策.本文以浏阳河流域为研究对象,分析1985年—2015年浏阳河流域内土地利用景观的变化过程,并运用土地利用转型的生态环境效应模型探讨浏阳河流域生态环境质量的变化趋势,定量分析各功能用地转型对生态环境质量的影响,从而为更好地认识浏阳河流域的土地资源空间开发结构和规范土地开发秩序,为浏阳河流域的生态环境保护、管理、规划和决策提供理论依据.

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

浏阳河流域主要位于湖南省长沙市,流域面积有4 243.7 km².浏阳河起源于大围山镇的浏河源村,最后流入湘江,全长223.6 km.流域东部、北部边缘和南部边缘地形多为丘陵,森林覆盖率高,西部和中部地形平坦,人口密集,土地覆盖类型较为复杂.自20世纪80年代以来,受自然因素和人为因素的影响,流域内的土地覆盖变化较大,土地质量有所退化,水土流失较为严重,人地矛盾日益突出,对该区域的工农业生产和社会经济发展产生很大影响.本文对浏阳河流域土地利用结构的变化特征及其转型的生态环境效应进行研究,为流域的土地资源开发和生态环境保护提供借鉴.

1.2 数据来源

以Landsat1-3 MSS, Landsat4-5 TM和Landsat8 OLI卫星的3期多光谱影像为数据源,统一采用西安80坐标系,并在ENVI中进行多波段影像合成与几何校正(误差控制在1个像元以内).根据中科院遥感数

据中心提出的遥感解译土地覆盖分类体系,采用监督分类结合目视解译的方法,将研究区内的土地覆盖分为林地、草地、湿地、耕地、人工表面和裸地这6类.研究区的位置如图1所示.结合野外实地调查进行解译,获得3期土地利用空间分布的矢量数据.采用标准误差矩阵计算3期解译数据的总体分类精度,其精度范围为81%~85%,满足分析的精度要求.结合土地主导功能,将浏阳河流域的土地利用数据以“生产-生态-生活”主导的作为一级地类,依据相关文献对二级地类进行生态环境质量指数赋值,并归一化处理^[13-14],具体分类和赋值见表1.

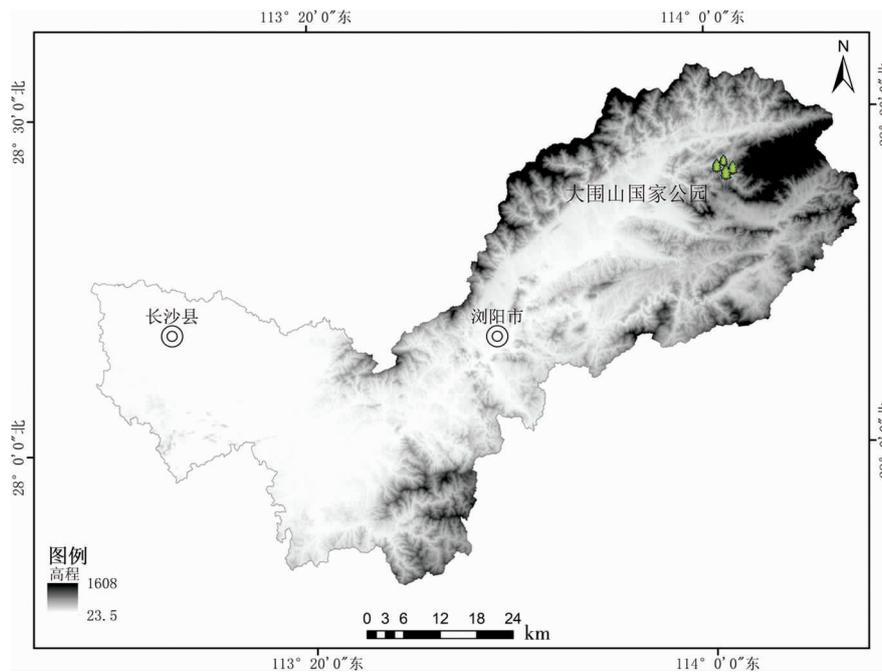


图1 研究区的位置

表1 土地利用主导功能分类及其生态环境质量指数

“生产-生态-生活”土地利用主导功能分类		土地利用分类系统的	
一级地类	二级地类	二级地类	生态环境指数
生产用地	农业生产用地	耕地	0.12
	林地生态用地	林地	0.35
生态用地	牧草生态用地	草地	0.17
	水域生态用地	水体	0.26
	其他生态用地	裸地	0.02
生活用地	居民生活用地	人工表面	0.07

1.3 研究方法

土地利用转型的生态环境效应模型包括土地利用生态环境质量指数模型和土地利用功能转型的生态贡献率指数模型.土地利用转型的生态环境效应模型不仅考虑研究区内不同土地覆盖类型的面积比例及其相应的生态环境质量,还量化土地利用转型对研究区生态环境质量的影响.因此,该模型既可以定量表征研究区的整体生态环境质量状况和不同土地利用转型过程对研究区生态环境质量的影响,还可以分析流域生态环境的变化趋势及探讨土地利用转型对流域生态环境的影响^[15].

1.3.1 土地利用生态环境质量指数模型

土地利用/土地覆被是研究区域生态环境的基础信息,该模型以土地利用/土地覆被为基础,用面积加权法定量建立土地覆盖类型与生态环境质量之间的数量关系,以分析研究区生态环境质量的总体状况,表达式^[16-18]为

$$E_t = \frac{\sum_{i=1}^n U_i C_i}{T} \quad (1)$$

式中: E_t 为研究区第 t 期的生态环境质量指数; n 为研究区的土地利用类型数量; U_i 和 C_i 分别为研究区第 t 期第 i 类土地利用类型的面积和生态环境指数; T 为研究区的总面积。

1.3.2 土地利用功能转型的生态贡献率指数模型

土地利用类型间的转化影响着生态环境质量的退化或改善,该指数不仅建立用地类型变化与生态环境质量变化的数量关系,而且量化不同用地类型间的转化导致研究区生态环境质量退化或改善的贡献率,表达式^[19-21]为

$$I = \frac{(E_{t+1} - E_t)A}{T} \quad (2)$$

式中: I 为研究区土地利用功能转型对生态环境质量的贡献率; E_{t+1} 为某种土地利用类型变化末期所具有的生态环境指数; E_t 为某种土地利用类型初期所具有的生态环境指数; A 为该变化类型的面积。

2 结果分析

2.1 浏阳河流域土地利用景观结构变化总体特征

1985年—2015年浏阳河流域土地利用景观组分变化趋势如图2所示。综合1985年、2000年、2015年3期的土地利用数据可知浏阳河流域的土地利用景观的结构呈现以下特征:林地是该流域的优势土地利用/覆盖景观,在3个不同年度,该类型的面积占比都高达71%以上,结合其空间分布来看,林地具有较好的连通性,对整个流域景观要素也具有较高的控制程度,是构成整个流域景观的基底;其次是耕地,近年来面积占比在20%左右,在空间上呈团聚式分布格局;其他景观要素占比小(在整个景观面积中占比<10%),其中草地、人工表面和裸地以斑块的形式呈散斑状格局;水体主要是浏阳河及其支流构成该流域景观的主要自然廊道。

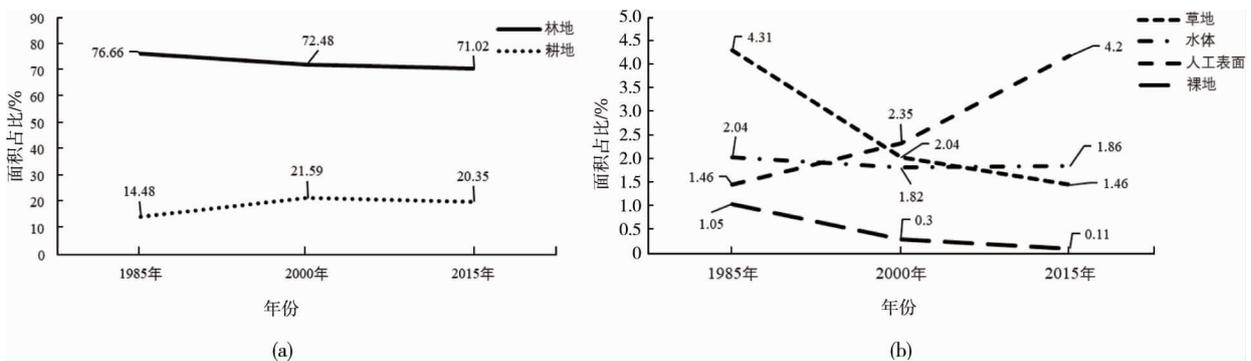


图2 土地利用景观组分变化趋势(1985年—2015年)

在整个研究时段内,景观要素的数量结构发生了明显的变化:林地面积在不同时段内都在减少,且经历了快速减少过渡到缓慢减少或基本稳定的变化过程(图2a),草地和裸地也经历类似的减少过程(图2b),而耕地和人工表面的变化都过程经历了较大的增长过程,耕地的增长主要在1985年—2000年,而在2000年—2015年有小幅下降(图2a).这主要是由于在20世纪80年代初,农村开始实行家庭联产承包责任制,农民积极开垦林地和未利用地,导致耕地面积快速增加,而在20世纪90年代末期以后,随着城镇化的加速,以及因政府保护环境实行退耕还林等,导致耕地面积有所减少.人工表面在2个时段的增幅都比较大,且后一时段的增幅更大(图2b),反映了在研究时段中后期,该流域的城市化进程仍在加速推进。

2.2 浏阳河流域总体生态环境质量变化特征

浏阳河流域土地利用景观格局变化必然会引起生态环境质量的改善或退化.在ArcGIS10.2中根据

表 1 对该流域不同土地利用类型的生态环境指数赋值,导出附有用地类型面积和相应生态环境指数的属性表,在 Excel 中利用式(1)计算 3 期浏阳河流域的土地生态环境质量指数,结果如图 3 所示.由图 3 可知:浏阳河流域的总体生态环境质量指数从 1985 年的 0.292 4 持续下降至 2015 年的 0.279 8,反映出研究期间该流域内的土地利用变化整体趋势为由高生态环境指数的地类转向低生态环境指数的地类,说明浏阳河流域的整体生态环境质量有所退化,而且第二阶段的退化趋势有所缓和.

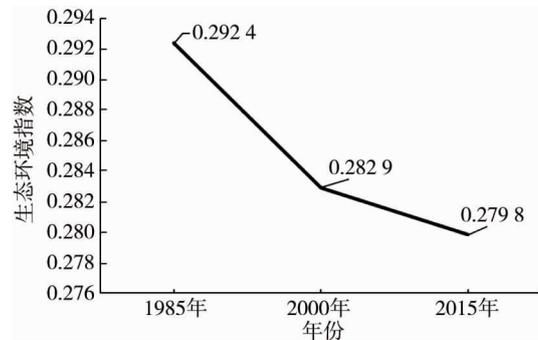


图 3 1985 年—2015 年浏阳河流域土地利用生态环境质量指数

2.3 浏阳河流域生态环境质量空间分布及变化特点

在浏阳河流域内选择合适的评估单元,不仅可以直观地反映出该流域生态环境质量的整体分布及变化特点,还有利于发现局部的变异特征.本文以浏阳河流域内的乡镇行政区为评估单元,在 ArcGIS10.2 中用各评估单元分割不同时期的土地利用数据,并导出附有土地利用面积及对应生态环境质量指数的属性表,在 Excel 中计算各单元的土地利用生态环境质量,并以 0.25, 0.30 为界,将评估单元分为生态环境质量低值区、中值区和高值区.经计算后,浏阳河流域内属于长沙市的街道在整个研究期间都属于生态环境质量低值区,因此,将其合并为长沙市,便于下文分析.图 4 为浏阳河流域乡镇级单元的生态环境质量空间分布格局.

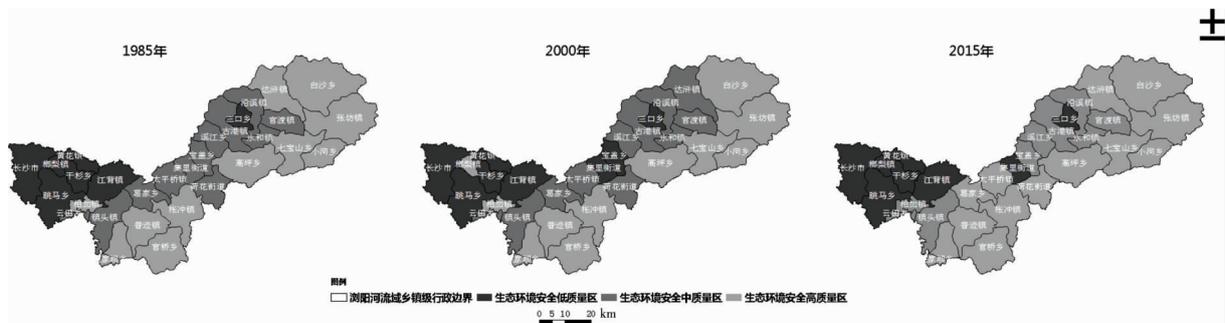


图 4 浏阳河流域生态环境质量空间分布

由图 4 可知:浏阳河流域生态环境质量的空间分布东西差异较大,总体呈西部低,东部、南部高,并由西向东部、南部递减的特点.西部地区生态环境质量低的主要原因是该区域的经济水平发展和城镇化水平较高,土地利用类型主要为生态环境指数较低的耕地和人工表面.东部、南部地区生态环境质量高的主要原因是林地景观是该区域的优势景观,相比西部地区,人类活动对该区域的自然生态环境干预较少,自然景观的保存相对完整.

1985 年—2015 年,浏阳河流域的生态环境质量的空间分布变化表现为整体保持相对稳定,局部区域存在变异的特点.1985 年—2000 年,集里街道的生态环境质量有所恶化,主要原因是人工表面的面积增加和林地面积的减少.2000 年—2015 年,柏加镇的生态环境质量有所恶化,主要原因是林地面积的减少和耕地面积的增加,太平桥镇、荷花街道和葛家镇的生态环境质量有所好转,主要原因是林地面积的增加和耕地面积的减少.1985 年—2015 年,宝盖乡和达浒镇的生态环境质量呈现先恶化后好转的变化特点,其中,

林地面积减少、耕地面积增加是导致生态环境恶化的主要原因,林地面积增加、耕地面积减少是生态环境好转的主要原因。

2.4 浏阳河流域各功能用地转型对生态环境质量影响的贡献度

区域生态环境质量变化是生态环境改善和退化2种过程共同作用的结果,在一定程度上这2种过程可以相互抵消,生态贡献率指数可以定量描述上述2种过程的作用程度.结合浏阳河流域的土地类型转移矩阵及相应的生态环境指数变化,应用式(2)计算出不同时期影响流域生态环境质量的用地转型及贡献率.表2为1985年—2015年浏阳河流域导致生态环境质量改善和退化的主要土地功能变化类型的质量指数变化和贡献率。

表2 影响生态环境质量的主要用地转型和贡献率

模式	土地变化类型		贡献率指数		贡献占比/%	
	1985年—2000年	2000年—2015年	1985年—2000年	2000年—2015年	1985年—2000年	2000年—2015年
导致生态环境改善	耕地→林地	耕地→林地	0.000 653	0.016 865	63	85
	人工表面→林地	人工表面→林地	0.000 145	0.001 085	14	5
	耕地→水体	草地→林地	0.000 110	0.000 594	11	3
	人工表面→耕地	裸地→林地	0.000 065	0.000 515	6	3
	人工表面→水体	水体→林地	0.000 026	0.000 281	3	1
	人工表面→草地	耕地→水体	0.000 010	0.000 263	1	1
	水体→林地	人工表面→耕地	0.000 008	0.000 167	1	1
	裸地→人工表面	人工表面→水体	0.000 006	0.000 120	1	1
	合计		0.001 023	0.019 890	100	100
	导致生态环境退化	林地→人工表面	林地→耕地	-0.001 923	-0.007 532	47
林地→耕地		林地→人工表面	-0.001 632	-0.007 182	41	39
耕地→人工表面		耕地→人工表面	-0.000 198	-0.002 269	5	13
林地→水体		人工表面→裸地	-0.000 109	-0.000 419	3	3
林地→裸地		林地→水体	-0.000 061	-0.000 283	2	2
水体→人工表面		水体→耕地	-0.000 024	-0.000 209	1	1
水体→耕地		草地→人工表面	-0.000 022	-0.000 191	1	1
合计		-0.003 969	-0.018 085	100	100	

由表2可知:在第一阶段(1985年—2000年),浏阳河流域生态环境质量改善的主要因素是耕地转为林地和人工表面转为林地,2种变化过程对生态环境质量改善的贡献占比达77%,其中,贡献率最高的转移过程是耕地转为林地,为63%,导致生态环境质量退化的主要因素是林地转为人工表面和林地转为耕地,贡献占比达89%;在第二阶段(2000年—2015年),浏阳河流域生态环境质量改善的主要因素是耕地转为林地,其贡献占比达84%,导致生态环境质量退化的主要因素是林地转为耕地和林地转为人工表面,贡献占比达80%.总体而言,浏阳河流域内存在生态环境质量改善和退化2种过程,且退化过程的作用大于改善过程,致使浏阳河流域的生态环境质量整体有退化的趋势。

3 讨论

自然因素和社会因素是影响浏阳河流域生态环境质量变化的两大方面,自然因素包括气象、地质和地貌等因素,但在几十年的时间尺度内,这些自然因素的变化小,对景观格局和生态环境质量的变化影响较小,而社会的经济与政策等因素直接影响着人们在土地利用上的决策,进而对区域的土地利用变化产生影响,最终导致生态环境质量发生变化。

1)经济因素.在1985年—2015年,浏阳市城镇人口从10万人增加到69.49万人,国民生产总值从6.27亿元锐增到1112.8亿元,长沙市市区人口从115.72万人增加到318.49万人,国民生产总值从45.08亿元锐增到8510.13亿元.随着城镇人口的迅速增长,城市化进程的推进,经济发展对建设用地的需求越来越大,使得城镇居住用地和交通用地等建设用地不断扩张,导致大量农业用地和林地被占用,加上重开发轻保护、重建设轻管护等粗犷的土地利用模式,致使浏阳河流域的土地生态环境有所恶化.

2)政策因素.1980年—1990年,农村家庭联产承包责任制的实行调动了广大农民的生产经营积极性,大量林地和未利用地被开垦成为耕地(包括旱地),从1985年—2000年,林地面积减少了175 km²,草地、水体和裸地都经历了不同程度的减少,而耕地面积增加260 km²,导致浏阳河流域的土地生态环境质量下降.2000年—2015年,由于土地生态环境保护意识的增强,湖南省在土地和环境方面的政策也由增加耕地的目标向促进村镇建设科学合理发展和注重生态环境保护的转变.浏阳市于2000年出台了《2000年达标排放工作方案》《污染物总量控制实施纲要》等文件,集中力量治理由工业导致的土地环境污染,到2015年,该市工业废水排放达标率达93%,城镇生活污水处理率达83.3%,修复重金属污染耕地与种植结构调整试点面积达41.4 km²,因而该时段内浏阳河流域生态环境质量的退化趋势得到有效遏制.

4 结论与建议

1)1985—2015年,浏阳河流域土地利用分布的整体特征为林地是优势景观,是构成流域景观的基底,耕地在空间上呈团聚式分布格局,以浏阳河为主的水体构成流域景观的主要自然廊道,草地、人工表面和裸地以斑块的形式呈散斑状格局.土地利用整体变化特征总体表现为林地、草地面积缩减,耕地、人工表面面积增加.

2)1985—2015年,浏阳河流域生态环境质量的空间分布东西差异较大,总体呈西部低,东部、南部高,并呈现出由西向东部、南部递减的特点,分布变化表现为整体保持相对稳定,局部区域存在变异的特点.

3)1985—2015年,浏阳河流域内存在生态环境质量改善和退化2种过程,且退化过程的作用大于改善过程,浏阳河流域生态环境质量整体有所退化.在第一阶段,生态环境质量改善的主要因素是耕地转为林地和人工表面转为林地,生态环境质量退化的主要因素是林地转为人工表面和林地转为耕地;在第二阶段,生态环境质量改善的主要因素是耕地转为林地,导致生态环境质量退化的主要因素是林地转为耕地和林地转为人工表面.

4)浏阳河流域中林地面积占比高达71%以上,在控制该流域景观稳定性,预防水土流失、泥石流等自然灾害中起着关键性作用,因此,林地是浏阳河流域生态保护的重点对象.保护林地资源,要优化浏阳河流域内的人口空间布局,降低人类活动对林地资源的破坏.适量降低农业种植开垦相关产业的比重,缓解开荒、采伐以及畜牧等经济活动对生态环境造成的压力.

5)林地转为耕地是导致浏阳河流域生态环境退化的主要因素之一,因此,不适宜扩大耕地规模,应转向对现有耕地进行保护:保护地势平坦、水利设施较好的耕地,使其承担应有的粮食生产任务;对于受自然条件限制较强的耕地,应适当进行退耕还林还草等生态管理,合理平衡农业活动与生态环境保护之间的关系,促进浏阳河流域土地的可持续利用.

参考文献:

- [1] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等.20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J].地理学报,2014,69(1):3-14.
- [2] MOONEY H A, DURAIAPPAH A, LARIGAUDERIE A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs[J].Proceedings of the National Academy of Sciences,2013,110(S1):3665-3672.
- [3] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003(1):1-12.

- [4] 肖笃宁,李秀珍.景观生态学的学科前沿与发展战略[J].生态学报,2003(8):1615-1621.
- [5] 王琪,王永生,杜国明,等.基于人地关系的干旱区耕地流转空间分异特征与驱动机制的地理探测[J].农业资源与环境学报,2021,38(2):241-248.
- [6] 李书娟,曾辉,夏洁,等.景观空间动态模型研究现状和应重点解决的问题[J].应用生态学报,2004,15(4):701-706.
- [7] 世界银行.2007年世界发展报告——发展与下一代[M].北京:清华大学出版社,2007.
- [8] XIAN G, CRANE M, SU J. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(4):965-976.
- [9] 焦利民,刘耀林.可持续城市化与国土空间优化[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(1):1-11.
- [10] 王明宽,莫宏伟.浏阳河流域空间异质性对生态系统服务价值影响研究(英文)[J].Journal of Resources and Ecology, 2018,9(2):209-217.
- [11] YACHONGTOU BOUNHEUANG,梁婕,曾光明,等.基于SWAT模型的浏阳河流域径流对土地利用和气候变化的协同响应[J].水资源与水工程学报,2019,30(2):88-94.
- [12] 于泽兴,胡国华,陈肖,等.近45年来浏阳河流域极端降水变化[J].水土保持研究,2017,24(5):139-143.
- [13] 袁悦,井立蛟,杨鸿雁,等.昌黎县土地利用转型对生态环境效应的影响[J].水土保持研究,2019,26(2):194-201.
- [14] 谭静,官冬杰,虎帅.重庆三峡库区土地利用时空转型及其生态环境响应研究——以重庆市忠县为例[J].资源开发与市场,2017,33(3):311-315.
- [15] 李晓文,方创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应——以甘肃河西地区为例[J].第四纪研究,2003(3):280-290.
- [16] 阿迪莱·如则,阿依吐尔逊·沙木西,古丽米热·艾尔肯.开都-孔雀河流域土地利用转型及其功能变化特征[J].水土保持通报,2020,40(4):244-251.
- [17] 张芳怡,邢元志,濮励杰,等.苏州市土地利用变化的生态环境效应研究[J].水土保持研究,2009,16(5):98-103.
- [18] 张杨,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].地理科学,2011,31(10):1280-1285.
- [19] 张福庆,陈文波.鄱阳湖区土地利用的生态效应[J].生态学杂志,2007(7):1058-1062.
- [20] 胡锋,安裕伦,赵海兵.基于土地利用转型视角的“亚喀斯特”区域生态环境效应研究——以黔中部分地区为例[J].地球与环境,2016,44(4):447-454.
- [21] 崔佳,臧淑英.哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J].地理研究,2013,32(5):848-856.