

基于熵权 TOPSIS 法的武汉市土地利用多功能性评价

柳梦琪, 曾忠平

(华中科技大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: [目的] 从经济、社会、生态 3 个维度对武汉市 2005—2017 年土地利用多功能性及其障碍度进行评价, 以提高土地利用效率, 促进区域土地合理利用, 实现区域可持续发展。[方法] 根据目标层—指标层—要素层框架构建评价指标体系, 运用熵权 TOPSIS 法确定指标权重并计算障碍度。[结果] ① 研究期间武汉市土地利用综合功能呈现总体上升的态势, 功能协调性呈 Z 型式下降, 功能变化优势度呈波浪式下降, 土地利用日益多样化。② 经济、社会、生态功能有着不同程度的增长, 其中经济功能、社会功能均经历了低级—中级—良好—优质的发展阶段, 整体增长快速; 生态功能经历了低级—中级—优质的发展阶段, 虽小有波动, 但总体大幅增长。③ 经济功能、社会功能障碍度有所下降, 而生态功能的障碍度不断上升。其中, SO₂ 年均浓度、经济密度、人均 GDP、卫生机构密度、人均水资源量等障碍因子影响较大。[结论] 武汉市应当注重生态功能的提升, 转变经济发展方式, 推进产业升级, 实施清洁生产, 减少三废污染, 同时注重水资源的保护, 实现土地的可持续利用。

关键词: 土地利用多功能; 熵权 TOPSIS; 障碍度; 武汉市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2021)02-0314-08

中图分类号: F301.24

文献参数: 柳梦琪, 曾忠平. 基于熵权 TOPSIS 法的武汉市土地利用多功能性评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 314-321. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.041; Liu Mengqi, Zeng Zhongping. Evaluation of multi-functionality of land use based on entropy-weight TOPSIS method in Wuhan City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 314-321.

Evaluation of Multi-functionality of Land Use Based on Entropy-weight TOPSIS Method in Wuhan City

Liu Mengqi, Zeng Zhongping

(School of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: [Objective] The multi-functionality of land use and its obstacles in Wuhan City during 2005—2017 was evaluated in terms of economy, society and ecology in order to improve the efficiency of land use and promote the rational regional land use and achieve regional sustainable development. [Methods] According to the target layer, index layer and element layer framework, an evaluation index system was constructed, and the entropy weight TOPSIS method was used to determine the index weight and calculate the obstacle degree. [Results] ① During the study period, the comprehensive function of land use in Wuhan City showed an overall upward trend, the coordination of functions showed a Z-shaped decline, the dominance of functional changes showed a wavy decline, and land use became increasingly diversified. ② The economic, social and ecological functions had different growth levels. Among them, the economic and social functions experienced low-intermediate-good-quality development stages, and the overall growth was rapid; the ecological functions experienced low-intermediate-quality development. At this stage, although there were small fluctuations, the overall growth was substantial. ③ The degree of economic and social dysfunction declined, while dysfunction of ecological functions continued to rise. [Conclusion] Wuhan City should pay attention to the improvement of ecological functions, transform the economic development mode, promote industrial upgrading, implement cleaner production, reduce the pollution of the three wastes, and pay attention to the protection of water

收稿日期: 2020-07-24

修回日期: 2021-01-15

第一作者: 柳梦琪(1995—), 女(汉族), 江西省九江市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用变化。Email: 1083748244@qq.com。

通讯作者: 曾忠平(1972—), 男(汉族), 福建省武平县人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用变化和土地信息系统研究。Email: zpzheng@hust.edu.cn。

resources and realize the sustainable use of land.

Keywords: multifunctional land use; entropy-weight TOPSIS; obstacle degree; Wuhan City

土地是人类赖以生存的根本载体,土地科学有效利用是关系到人类可持续发展的历史大计。城镇化的高速发展,导致城市发展对土地需求过旺,土地的供给性稀缺成为当前经济社会可持续发展的重要掣肘。如何利用有限的土地为人类社会提供更多更优质的产品与服务,即对土地利用多功能性的充分挖掘,成为当前土地利用的研究热点。

多功能性研究起源于农业部门,20 世纪 90 年代后期随着农业的变化成为一个重要课题,经济合作与发展组织(OECD)于 2001 年对农业土地多功能性进行了规范性的概念界定^[1]。而后研究发现多功能性在非农业功能的土地利用中同样具备适配性,多功能农业概念逐渐发展成为一个更通用、更全面的多功能土地利用概念^[2]。2004 年,欧盟 SENSOR 项目首次明确了土地利用多功能的概念,提出了土地利用功能框架,用以评估政策对土地可持续性的影响^[3]。自此,土地利用多功能性研究成为可持续利用研究的基础和内核,吸引了国内外学者的关注。国外学者对土地利用多功能性的研究经历了由农业领域^[4-5]逐渐向景观生态领域^[6-7]转变的过程,但研究落脚点依旧聚焦于其对可持续利用的影响评估上,如 Xue 等^[8]采用参与性影响评估框架和家庭调查全面评估不同土地管理方案对土地利用功能和地方可持续发展的影响;Reidsma 等^[9]基于 SENSOR 的方法框架结合定量和定性方法以太湖流域作为典型地区以评估土地利用政策对发展中国家可持续发展的影响。国内相关研究起步较国外晚,目前尚处于研究早期,研究内容主要集中于区域时空分异及影响研究^[10]、功能分类及评价指标体系研究^[11]、绩效评价及障碍因子诊断^[12],其中后者为当前研究重心。国内已有研究多从全国、省域、县域等尺度展开,研究区多集中于东部、北部地区,对中部关注较少,且对评价指标权重的确立多采用主观赋权法。

开展土地利用多功能性的研究是在掌握土地利用水平的基础上,对土地利用各功能间的协调性进行测度,并判别其障碍因素,为改善土地利用、促进区域经济社会生态的可持续发展提供科学依据,从而制定合理有效的政策措施。2005 年既是“十五”规划的收官之年,又是“十一五”规划的部署之年,同时也是“中部崛起”战略的发力之年。自此,武汉市以“大武汉”建设进入新世纪快速发展的高速车道,意在通往“中部崛起”的先行道路,成为中部城市的引领力量。在谋求经济高速增长和城市发展转型的背景下,土地利用变化

剧烈,并由此引发一系列的经济、社会和生态问题,该区域的土地利用多功能变化亟待关注。鉴于此,本文以中部城市——武汉市为例,从经济、社会、生态 3 个维度构建指标体系,采用客观赋权法熵权法及改进的 TOPSIS 模型作为评价模型对 2005—2017 年武汉市土地利用多功能性及其障碍度进行评价和分析,在掌握土地利用多功能性动态变化特征的基础上,探究其变化规律和制约因素,为未来武汉市土地多功能利用提供决策支持,为区域土地利用多功能性评价提供参考,同时也为中部其他地区的土地可持续利用提供借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

武汉市是湖北省省会,地处长江中下游平原,是长江与汉水的交汇处,地理位置为北纬 29°58′—31°22′,东经 113°41′—115°05′,是中部唯一的副省级市、特大城市,处于九省通衢的重要节点位置,是中部的交通和工业中心,也是全国重要的工业基地、科教基地和综合交通枢纽。下辖 13 个区,土地总面积 8 569.15 km²,占湖北省总面积的 4.6%。截至 2019 年,常住人口 1 121.2 万人,地区生产总值 1.62×10¹² 元,居中部城市第一,同时在本省内经济首位度和人口首位度稳居第一。在社会发展、经济腾飞的过程中,武汉市的土地利用变化剧烈,建设用地显著增加,耕地、草地、湿地等持续性减少,因而生态环境问题日益凸显,逐渐成为限制城市协调发展的重要因素。

1.2 数据来源

本文数据主要来源于《武汉统计年鉴(2006—2018 年)》《武汉市国民经济和社会发展统计公报(2005—2017 年)》;水资源数据来源于《武汉市水资源公报》与《湖北省水资源公报》;SO₂ 浓度数据与部分废污水排放量数据来源于《武汉市环境质量状况公报》;水土流失数据来源于《武汉市水土保持公报》与《湖北省保持公报》。部分年份缺失的数据由相邻年份数据推算所得。

2 研究方法

2.1 土地利用多功能类型划分

土地利用多功能性指一个区域土地利用功能及其环境、经济和社会功能的状态和表现,是评价土地利用变化对其功能影响的重要概念和方法体系^[13],保持土地利用的多功能性是制定土地多功能政策的目标。经济、社会、生态是构成土地利用的三大基本要素,同时也是土地利用多功能的集中体现,土地利

用多功能性评价应综合考虑土地利用的经济、社会、生态效应,以是否能达到促进经济增长、社会和谐、生态可持续发展的要求为衡量指标。因而本文应用目标层、准则层、要素层框架,将土地利用多功能划分为经济、社会、生态三大功能。其中,经济功能即稳定农业生产、保障经济发展和保障城市交通的能力,包括农业生产、经济发展和交通保障功能;社会功能即提供社会保障、稳定就业、改善居住环境、建设休闲娱乐设施的能力,实现社会和谐发展和社会产品的有效供给,包括社会保障、就业、居住家园和文化休闲功能;生态功能即调节生态环境、为人类生产生活提供必需的环境条件和原材料的功能,包括资源供给、环境变化和环境维持功能。

2.2 指标体系构建

为了实现土地利用多功能性的有效评价,就必须构建全面、系统、科学的评价指标。本文以代表性、综合性、可行性、科学性为原则,此外,鉴于地区差异,增加以下原则:①侧重反映功能产出的指标,如人均GDP、粮食单产等。②侧重反映社会福祉的指标,如卫生机构密度、人均公共图书馆藏书册数等。③侧重考虑生态可持续发展的指标,如废污水排放强度、SO₂ 年均浓度等。并在借鉴相关已有研究成果^[14]的基础上,从人口与经济社会、资源环境协调发展的角度出发,综合考虑武汉市可持续发展的要求,构建了包括 27 个指标的武汉市土地利用多功能评价指标体系(表 1)。

表 1 武汉市土地利用多功能评价指标体系

目标层	子目标层	准则层	指标层	属性	指标解释	
经济功能	农业生产功能		人均粮食拥有量(X_1)	+	粮食总产量/区域总人口	
			土地垦殖率(X_2)	+	耕地面积/区域土地总面积	
			粮食单产(X_3)	+	来自统计年鉴	
	经济发展功能		经济密度(X_4)	+	地区生产总值/区域土地总面积	
			三产占比(X_5)	+	第三产业产值/地区生产总值	
			人均 GDP(X_6)	+	地区生产总值/区域总人口	
	交通功能		人均拥有道路面积(X_7)	+	来自统计年鉴	
			公路密度(X_8)	+	公路用地面积/区域土地总面积	
	土地利用功能	就业功能		从业人口密度(X_9)	+	总从业人数/区域土地总面积
				城镇登记失业率(X_{10})	-	来自武汉市国民经济和社会发展统计公报
			三产从业人员比重(X_{11})	+	第三产业人口数/总从业人数	
社会保障功能			城乡收入平衡指数(X_{12})	+	农民人均纯收入/城镇居民人均可支配收入	
			万人拥有的卫生机构床位数(X_{13})	+	卫生机构床位数/区域总人口	
			卫生机构密度(X_{14})	+	卫生机构数/区域土地总面积	
居住家园功能			人口密度(X_{15})	+	来自统计年鉴	
			城区人均住房建筑面积(X_{16})	+	来自统计年鉴	
			人口城镇化率(X_{17})	+	区域城镇人口/区域总人口	
文化休闲功能			人均公园绿地面积(X_{18})	+	来自统计年鉴	
		建成区绿化覆盖率(X_{19})	+	来自统计年鉴		
生态功能	资源供给功能		人均水资源量(X_{21})	+	水资源总量/区域总人口	
			人均耕地面积(X_{22})	+	耕地面积/区域户籍人口	
	环境变化功能		废污水排放强度(X_{23})	-	废污水排放总量/区域土地总面积	
			单位耕地化肥使用量(X_{24})	-	农业化肥施用量/耕地面积	
			SO ₂ 年均浓度(X_{25})	-	来自武汉市环境质量状况公报	
	环境维持功能		水土流失率(X_{26})	-	水土流失面积/区域土地总面积	
			森林覆盖率(X_{27})	+	来自武汉市国民经济和社会发展统计公报	

注:“+”表示正向作用指标,“-”表示负向作用指标。

2.3 土地利用多功能性评价

(1) 计算指标权重。本文采用熵值法确定各指标的权重。在信息论中,信息熵是系统无序程度的度量,某项指标的指标值变异程度越大,信息熵越小,该

指标提供的信息量越大,该指标的权重也应越大;反之,某项指标的指标值变异程度越小,信息熵越大,该指标提供的信息量越小,该指标的权重也越小。熵值法可以有效避免主观性、随机性等主观赋权法无法避

免的问题,结果更加精确和可靠,且计算过程相对简单。

①数据同趋势化处理,采用倒数法将负指标正向化处理

$$X_{ij} = 1/x_{ij} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第*i*个指标第*j*年的指标值; X_{ij} 为正向化处理后的指标值。

②数据无量纲化处理

$$Y_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2} \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 是无量纲化后的指标值。

③计算指标的信息熵

$$E_i = -1/\ln(n) \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (3)$$

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{j=1}^n Y_{ij}$$

式中: P_{ij} 是第*i*个指标第*j*年的无量纲化后指标值占第*i*项指标之和的比重; E_i 为指标的信息熵; n 为评价年数。

④计算指标的熵权

$$\omega_i = (1 - E_i) / \sum_{i=1}^m (1 - E_i) \quad (4)$$

式中: ω_i 为指标权重。

(2)构建评价模型。TOPSIS模型为系统工程中有限方案多目标决策分析的一种常用的决策技术,是一种距离综合评价法^[15],它能对原始数据给予的信息进行充分挖掘和利用,达到精准反映评价方案间异同的效果。与传统的TOPSIS法相比较,改进的TOPSIS法主要是对评价对象与正理想解和负理想解的评价公式进行了改良^[16],具备赋值客观、计算简易、应用广泛等特点,

①构建加权决策矩阵

$$V = \omega_i \cdot Y_{ij} = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1j} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{i1} & v_{i2} & \cdots & v_{ij} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中: V 为无量纲化的指标值矩阵与熵权值构建的加权决策矩阵。

②确定正负理想解

$$V^+ = \{\max v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\} \quad (6)$$

$$V^- = \{\min v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\}$$

式中: V^+ 为正理想解; V^- 为负理想解; m 为指标数量。

③计算距离

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

式中: D^+ 为评价指标到正理想解的距离; D^- 为评价

指标到负理想解的距离;

④计算各功能值

$$O = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (8)$$

式中: O 为各土地利用功能值,即一个区域土地利用及其环境、经济、社会功能的状态及表现的定量表征,取值范围 $[0, 1]$,其值越大说明土地利用的多功能性越高。本文根据已有的研究成果^[17],将土地利用功能值划分为4个等级标准(表2),以此表征土地利用多功能性的优劣。

表 2 土地利用多功能性评判标准

功能值	0.00~0.30	0.31~0.60	0.61~0.80	0.81~0.10
功能性	低级	中级	良好	优质

2.4 土地利用功能变化动态度及协调性测算

为对土地利用功能值在研究期内的变化进行分析和度量,参考土地利用变化动态度采用土地利用功能变化动态度(d)测算不同时期土地利用功能变化的相对程度,其计算公式为:

$$d = (O_{t+1} - O_t) / Q_t \times 100\% \quad (9)$$

式中: O_{t+1} , O_t 分别为*t*+1和*t*时期的功能值。

采用土地利用功能标准差(σ)测度土地利用功能值间的差异,以反映各功能间的协调性。其计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\sum (O - \bar{O})^2 / N} \quad (10)$$

式中: \bar{O} 为功能值均值; N 为功能数; σ 值越小,表示土地利用多功能协调度越高。

采用土地利用功能变化优势度(S)表征某期间土地利用多功能性变化的差异。 S 越大,说明期间土地利用多功能变化差异越大,土地利用越趋于单一化。其计算公式为:

$$S = |d|_{\max} / \sum |d| \quad (11)$$

式中: $|d|_{\max}$ 为动态度绝对数最大值; $\sum |d|$ 为动态度绝对值之和。

2.5 障碍度测算

在土地利用功能性评价的基础上,为更好地厘清影响土地利用多功能的影响因素,识别障碍因子,以便对土地资源合理利用的政策行为提供更有针对性的决策依据,提高土地利用的可行性和有效性,本文构建障碍因子诊断模型,系统地分析各项指标的障碍因子。其计算公式为:

$$Z_i = R_i W_i / (\sum_{i=1}^m R_i W_i) \quad (R_i = 1 - Y_{ij}) \quad (12)$$

式中: R_i 为指标偏离度; W_i 为每个指标对土地利用总功能性的影响程度; Z_i 为障碍度,即单项指标对土地利用多功能性的影响程度。

3 结果与分析

3.1 土地利用功能整体变化分析

武汉市 2005—2017 年土地利用多功能性评价结果(表 3)由上文公式的计算得出。由表 3 可以看出,2005—2017 年武汉市的土地利用功能发展状况良好,呈现总体向好的态势。结合上文表 2 的多功能性评判标准可以看出,2005—2009 年经济功能值处于高速增长阶段,但最大峰值仍然低于 0.31,处于低级水平,2010—2013 年处于中级水平,2014—2015 年处于良好水平,2016—2017 年处于优质水平。经济功能值逐年上升,由低级水平向优质水平逐级过渡;2005—2010 年社会功能值处于低级水平;2011—2014 年逐年稳步增长,处于中级水平,2015—2017 年稳中有进,由良好水平平稳过渡到了优质水平。社会功能值与经济功能值的变化趋势较为相似,均呈现逐年增长态势。2005—2013 年生态功能值有所波动,但功能值始终低于 0.31,处于低级水平,2014—2015 年处于中级水平;2016—2017 年增长迅速,直接从中级水平跨越到了优质水平。

本文以 3 a 为周期计算武汉市土地利用多功能变化动态度、功能标准差及变化优势度(图 1,表 4)。由图 1 可知,土地利用经济功能、社会功能变化动态度在 4 个 3 a 期内均呈现增长态势,其中,社会功能在第一个 3 a 期动态度变化最大;生态功能变化动态度在第一个 3 a 期有所下降,其他均有不同程度的增长;综合功能变化动态度增长较为稳定。2005—2008 年,武汉已进入中部崛起的实质性推进阶段,城镇化加速发展,城乡医疗等公共服务设施建设水平不断提升,人民生活 and 居住条件不断改善,社会功能增长尤为突出;2008—2011 年,土地利用各大功能发展较均衡但总体增长缓慢;2011—2014 年,武汉市将生态保护上升到地方法律层面,生态功能成为土地利用关注的重

中之重;2014—2017 年,各大功能发展较为均衡,生态功能仍然是重点。根据表 4 发现,武汉市功能标准差呈现 U 形上升趋势,先经历 2008 年和 2011 年的连续下降,后经历 2014 和 2017 年的连续增长。研究期间功能标准差呈扩大趋势,说明土地功能间的差异逐渐拉大,各功能间的协调性有所减弱。2005—2017 年功能变化优势度呈现逐渐下降的趋势,且下降程度较为显著,说明研究期间土地利用多功能变化差异在缩小,土地利用渐趋于多样化。

表 3 武汉市土地利用多功能评价结果

年份	经济功能	社会功能	生态功能	综合功能
2005	0.062 8	0.011 9	0.072 1	0.068 9
2006	0.080 1	0.041 2	0.032 9	0.053 8
2007	0.121 9	0.135 0	0.044 7	0.079 0
2008	0.210 0	0.216 6	0.069 4	0.130 3
2009	0.268 7	0.265 7	0.076 8	0.163 9
2010	0.343 8	0.285 2	0.214 3	0.256 5
2011	0.377 2	0.362 7	0.081 5	0.220 3
2012	0.503 1	0.398 9	0.191 7	0.316 7
2013	0.578 4	0.423 4	0.158 1	0.333 6
2014	0.657 0	0.492 2	0.346 9	0.458 6
2015	0.790 6	0.754 4	0.452 3	0.561 3
2016	0.871 0	0.827 3	0.886 8	0.880 9
2017	0.963 4	0.985 4	0.787 2	0.821 9

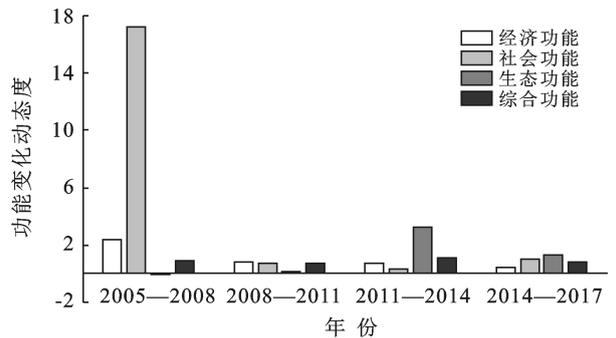


图 1 武汉市土地利用多功能变化动态度

表 4 武汉市土地利用功能标准差及变化优势度

功能标准差					功能变化优势度			
2005 年	2008 年	2011 年	2014 年	2017 年	2005—2008 年	2008—2011 年	2011—2014 年	2014—2017 年
0.296 6	0.213 1	0.197 6	0.252 6	0.374 5	0.871 1	0.409 6	0.406 0	0.271 7

3.2 土地利用功能各单项变化分析

根据图 2—4,武汉市近 13 a 来土地利用各项功能变化呈现如下特点:①经济功能。由图 2 可以看出,武汉市农业生产功能表现为连年下降态势,并于 2017 年趋近于零。经济发展功能和交通功能呈现总体上升趋势,其中经济发展功能呈直线式稳步提升,交通功能在 2005—2010 年逐年增长,于 2011 年降至

谷底后触底反弹,大幅上涨,最终追平经济发展功能。2005—2017 年期间,武汉市以人口城镇化、土地城镇化为表征步入城镇化的高速发展阶段,尤其是在 2007 年武汉市成为配套改革试验区,加速了武汉的城镇化进程。城镇化的发展致使大量耕地被占用,农业人口被迫进城,这无疑引致了农业生产功能的退化。作为中部的龙头城市,中部崛起战略的部署和实

施、开放型经济新体制的试点以及自贸区建设为武汉打造中心都市圈和内陆经济高地提供了历史机遇,武汉市牢牢把握机遇,经济得到了长足发展。武汉市作为全国首个综合交通枢纽研究试点城市,交通枢纽地位不言而喻。在经济发展的助力下,政府注重并加大对交通基础设施的投资和建设,以对接“一带一路”建设、国家长江经济带建设和长江中游城市群战略,推进中部崛起。②社会功能。由图 3 可以看出,武汉市就业、社会保障、和文化休闲功能发展趋势较为吻合,总体为增长态势。其中,就业功能在 2005—2017 年稳步上升,主要是由于武汉市经济增长所激发的就业岗位需求,从业人口密度增加和城镇登记失业率的下降,以及近年来的产业结构的转型,使得第三产业从业人口数增加,综合作用下促进就业功能在研究期间不断上升。社会保障功能在研究期间总体呈上升趋势,但主要分为两个阶段:一是 2005—2014 年,缓慢增长阶段;二是 2014—2017 年,快速增长阶段;主要是由于城乡收入平衡指数在研究期内经历了先降低后增加再降低的过程。居住家园功能在 2005—2015 年稳步提升,2016—2017 年迂回式增长,整体增长迅速,随着人民生活条件不断得到改善,城区人均住房建筑面积和人口城镇化率不断增加,居住家园功能也逐渐提高。文化休闲功能整体呈现大幅度增长的趋势,其中 2010 年有所下降,是建成区绿化覆盖率、人均公共图书馆藏书册数同时下降造成的结果。③生态功能。由图 4 可以看出,武汉市环境变化功能和环境维持功能总体呈上升态势,而资源供给功能则为下降趋势,经历了两次倒 V 形下降,第一次是 2009—2011 年,第二次是 2015—2017 年。在城镇化的快速发展中,湖泊被迫成为牺牲品,填湖造地导致人均水资源不断减少,期间经历了 2010 年和 2016 年的两个小增长,主要是由于武汉保护湖泊的法规经历了两次“收紧”,填湖造地得到了相应的控制,加上降水量与地表地下水量突增,而后又由于 2017 年武汉市水资源总量骤降,加之人均耕地面积持续减少,资源供给能力跌落至较低水平。环境变化功能持续增长,且 2013—2017 年的增长幅度大于 2005—2012 年。前期增长幅度缓慢是由于废污水排放强度不断增强,SO₂ 年均浓度和单位耕地化肥使用量虽有减少但不明显。后期是由于武汉市大气污染防治力度的不断加强,SO₂ 年均浓度下降幅度增大。尤其是 2013 年城市环境空气质量达标规划和 2016 年大气污染防治强化措施方案的顺利制定和有效实施。环境维持功能总体而言呈上升状态,其中 2005—2013 年因为森林覆盖率在持续提高而水土流失率在逐渐减少而稳步上升,

2015—2017 年小有回落主要是由于 2016 年起森林覆盖率数据统计方式根据全省统一要求进行了调整。

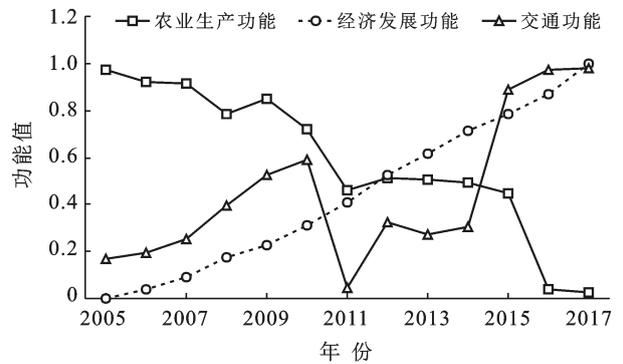


图 2 武汉市经济功能变化

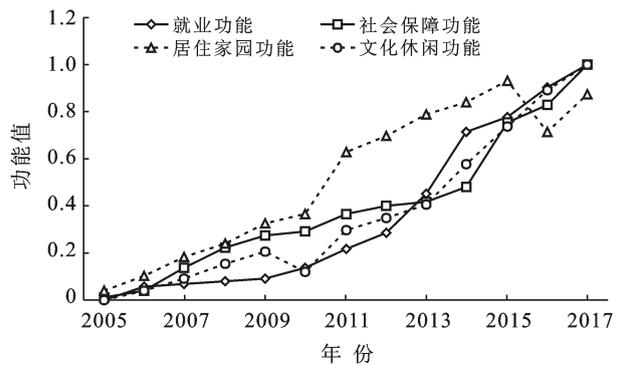


图 3 武汉市社会功能变化

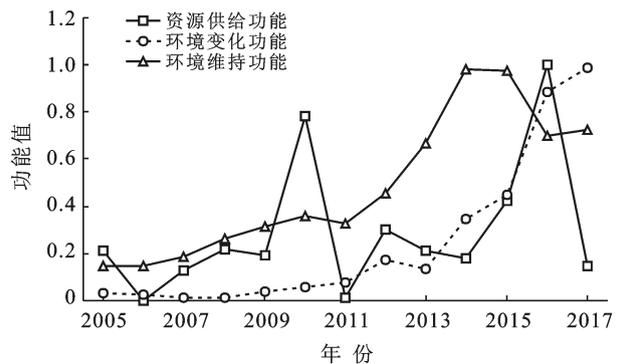


图 4 武汉市生态功能变化

3.3 土地利用功能障碍因子诊断

利用公式(12)对武汉市各功能子目标层、指标层各指标的障碍因子及其障碍度进行测算(图 5),并对土地利用多功能产生较大影响的障碍因子进行诊断识别,本文仅对影响程度处于前 5 位的障碍因子予以排列展示(表 5)。

3.3.1 子目标层障碍度 由图 5 可以发现,经济、社会功能这两个子目标的障碍度变化趋势较为相似,总体发展趋势为缓慢下降,而生态功能的障碍度则呈现上升势头。其中,经济功能子目标的障碍度在

2005—2013 年较为稳定,2014—2017 年出现了不同程度的涨跌,主要是因为粮食单产、经济密度、人均拥有道路面积的制约;社会功能的障碍度经历了 2005—2010 年的平稳发展后于 2011 年有所下降,而后又进入了第 2 个平稳期,最后在 2016 年短暂上升后于 2017 年大幅度下降,整体由 0.35 下降至 0.05,期间的波动主要是受到城区人均住房建筑面积、人均公园绿地面积的影响;生态功能的障碍度在 2005—2009 年基本保持稳定不变的状态,2010—2015 年逐年稳步增长,2016 年大幅度下降后 2017 年又有了更大幅度提高,整体由 0.32 上升到 0.78,且在 2010 年之后生态功能子目标成为土地利用多功能的主要障碍。整体上来看,2005—2017 年经济功能和社会功能子目标的平均值为 0.29 左右,而生态功能子目标的平均值为 0.41,说明 3 类功能子目标对土地利用多功能都有一定的限制作用,但前二者较小,后者较大。因此在武汉市要实现土地资源的可持续利用,提升土地利用的多功能性,则必须加强对生态功能的响应,做好生态环境的保护和修复,划定“三区三线”,使土地资源得到高效且合理的利用。

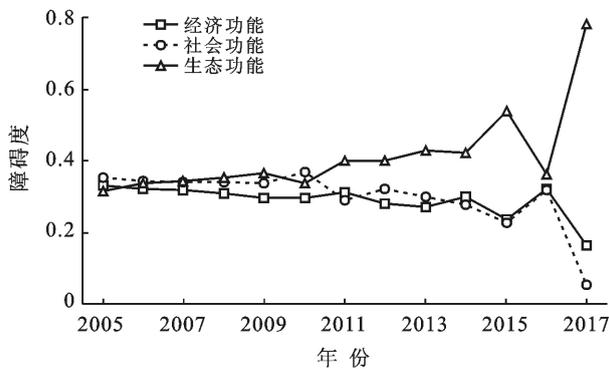


图 5 武汉市土地利用多功能力子目标层障碍度

3.3.2 指标层主要障碍因子及其障碍度 由表 5 可以看出,2005—2017 年期间只有 2005,2006 和 2010 年以社会功能为主,其余年份均以生态功能为主。 SO_2 年均浓度(X_{25})、经济密度(X_4)、卫生机构密度(X_{14})、人均 GDP(X_6)、人均水资源量(X_{21})在前五位的障碍因子中出现的频率较高。研究期间,武汉市在土地利用的过程中,主要侧重于经济发展,其各项指标均朝着正向发展且受到的障碍度略小;而对土地的社会功能关注相对较少,如人居环境等。同时,一定程度上忽略了土地的生态功能,所以表 5 中位于首位的均是生态功能相关指标。其中,2005—2008 年排名前五的障碍因子没有发生改变,表明该时间段内各类土地利用功能相对较为平衡;2013—2017 年障

碍因子排名前两位的为生态功能的指标,其中 SO_2 年均浓度对武汉市土地利用多功能的影响最大,且该影响一直持续到 2016 年,而人均水资源量由于不稳定也存在着较大的障碍度。这表明在此期间,武汉市对生态环境质量的保护没有达到足够的重视程度,长久来看,生态功能的实现将成为制约武汉市土地利用多功能性有效发挥的首要因素,生态功能应当得到更高层级的重视。

表 5 武汉市土地利用多功能指标层主要障碍因子及障碍度

年份	项目	指标排序				
		1	2	3	4	5
2005	障碍因子	X_{25}	X_4	X_6	X_{13}	X_{14}
	障碍度	0.192 0	0.143 1	0.108 8	0.094 3	0.090 8
2006	障碍因子	X_{25}	X_4	X_6	X_{13}	X_{14}
	障碍度	0.194 5	0.138 7	0.104 7	0.095 1	0.086 8
2007	障碍因子	X_{25}	X_4	X_6	X_{13}	X_{14}
	障碍度	0.208 7	0.138 4	0.103 5	0.094 5	0.078 9
2008	障碍因子	X_{25}	X_4	X_6	X_{13}	X_{14}
	障碍度	0.226 2	0.135 9	0.099 2	0.094 7	0.074 7
2009	障碍因子	X_{25}	X_4	X_6	X_{13}	X_{21}
	障碍度	0.232 8	0.137 7	0.099 2	0.088 9	0.077 8
2010	障碍因子	X_{25}	X_4	X_{13}	X_6	X_{14}
	障碍度	0.251 1	0.135 4	0.099 5	0.097 6	0.080 6
2011	障碍因子	X_{25}	X_4	X_{21}	X_8	X_6
	障碍度	0.237 7	0.110 5	0.100 4	0.095 4	0.080 4
2012	障碍因子	X_{25}	X_4	X_{14}	X_{21}	X_{13}
	障碍度	0.255 0	0.107 5	0.088 8	0.084 9	0.081 8
2013	障碍因子	X_{25}	X_{21}	X_{14}	X_4	X_8
	障碍度	0.285 1	0.103 0	0.101 2	0.092 7	0.089 6
2014	障碍因子	X_{25}	X_{21}	X_{14}	X_8	X_4
	障碍度	0.268 2	0.134 2	0.125 0	0.105 9	0.088 9
2015	障碍因子	X_{25}	X_{21}	X_4	X_{14}	X_6
	障碍度	0.354 5	0.147 3	0.103 9	0.082 6	0.071 2
2016	障碍因子	X_{25}	X_{27}	X_{14}	X_4	X_1
	障碍度	0.132 5	0.128 4	0.120 9	0.113 5	0.098 8
2017	障碍因子	X_{21}	X_{27}	X_1	X_{23}	X_{26}
	障碍度	0.504 1	0.151 3	0.129 3	0.073 1	0.044 7

4 讨论与结论

4.1 结论

(1) 从整体看,研究期间武汉市土地利用总功能不断增强,发展状况良好。经济、社会、生态功能均呈现不同程度的增长态势。功能标准差呈 U 形上升趋势,各功能间差异渐大,功能间协调性减弱。功能变化优势度逐渐下降,土地利用渐趋多样化。

(2) 从子目标层看,研究期间武汉市的经济功能和社会功能都经历了由低级水平向优质水平的逐级

平稳过渡,生态功能相较前两者增长更为迅速,但与前两者的功能值仍有一定差距。

(3) 研究期间武汉市经济和社会功能的障碍度发展脉络一致,均为下降趋势,而生态功能障碍度则呈上升态势,并于2011年起与经济、社会功能逐渐拉开差距,成为土地利用多功能发挥的最主要障碍。其中,经济密度、人均GDP、卫生机构密度、人均水资源量和SO₂年均浓度等障碍度较大。

4.2 讨论

土地利用多功能变化具有显著的时间异质性和空间异质性,借助土地利用多功能性评价,可以有效洞悉其变化及变化趋势,识别不相匹配的土地功能,并剖析其影响因素及可能的缘由,从而有针对性地提高土地利用多功能性,为构塑区域土地利用行为的协调性、科学性和可持续性提供有效指导。武汉市在发展中更多地将土地作为资产不断变现,这加剧了土地利用的生态风险,限制了土地利用多功能的协调发展,最终将影响区域绿色发展。未来武汉市应当将重点聚焦在生态功能的提升上,与此同时仍要关注经济功能和社会功能中的薄弱点。根据本文分析结果对武汉市未来的发展提出几点建议:①牢牢把握中部崛起的机遇,利用突出的产业基础和商务环境打造具有独特资源禀赋优势的武汉城市圈,带动城市圈各城市、各中部城市的发展,成为内陆地区新一轮经济增长极。②应依托经济发展提高卫生资源的存量供给,合理配置存量卫生资源,优化卫生资源的城乡配置,更多地向农村倾斜,缩小城乡差距,提高卫生资源的利用率和合理配置率。③转变经济发展方式,推进产业升级,实施清洁生产,减少三废污染;创新城市生态治理方式,加快发展绿色和循环经济;严格落实河湖长制,健全“三长联动”机制,优化整合全市生态水网,落实最严格的水资源管理考核制度,推动水资源综合整治常态化。

[参 考 文 献]

[1] Maier L, Shobayashi M. Multifunctionality: Towards an Analytical Framework [M]. Organization for Economic Cooperation and Development, 2001.

[2] Oostindie H, Roep D, Renting H. Definitions, references and interpretations of the concept of multifunctionality in the Netherlands [J]. European Series on Multifunctionality, 2006,10:41-81.

[3] Pérez-Soba M, Petit S, Jones L, et al. Land Use Functions: A Multifunctionality Approach to Assess the Impact of Land Use Changes on Land Use Sustainability [M]// Sustainability Impact Assessment of Land Use

Changes. Berlin Heidelberg: Springer, 2008:375-404.

- [4] Antonio G, Alberto G. A comprehensive assessment of multifunctional agricultural land use systems in Spain using a multi-dimensional evaluative model [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007,120(1):82-91.
- [5] Van Huylenbroeck G, Durand G. Multifunctionality and Rural Development: A General Framework [M]// Multifunctional Agriculture: A New Paradigm for European Agriculture and Rural Development Aldershot (UK): Ashgate Publishing, 2003:1-16.
- [6] Stockdale A, Barker A. Sustainability and the multifunctional landscape: An assessment of approaches to planning and management in the Cairngorms National Park [J]. Land Use Policy, 2009,26(2):479-492.
- [7] Liang Xinyuan, Jin Xiaobin, Ren Jie, et al. A research framework of land use transition in Suzhou City coupled with land use structure and landscape multifunctionality [J]. Science of The Total Environment, 2020, 737: 139932.
- [8] Xue Z, Zhen L, Miah M G, et al. Impact assessment of land use functions on the sustainable regional development of representative Asian countries: A comparative study in Bangladesh, China and Japan [J]. Science of the Total Environment, 2019,694:133689.
- [9] Reidsma P, Konig H, Feng S, et al. Methods and tools for integrated assessment of land use policies on sustainable development in developing countries [J]. Land Use Policy, 2011,28(3):604-617.
- [10] 刘愿理,廖和平,李涛,等.山区土地利用多功能时空分异特征及影响因素分析[J].农业工程学报,2019,35(21):271-279.
- [11] 刘超,许月卿,刘焱序,等.基于系统论的土地利用多功能分类及评价指标体系研究[J].北京大学学报(自然科学版),2018,54(1):181-188.
- [12] 王枫,董玉祥.基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断:以广州市为例[J].自然资源学报,2015,30(10):1698-1713.
- [13] 甄霖,曹淑艳,魏云洁,等.土地空间多功能利用:理论框架及实证研究[J].资源科学,2009,31(4):544-551.
- [14] 高洁芝,郑华伟,刘友兆.基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用多功能性诊断[J].长江流域资源与环境,2018,27(11):2496-2504.
- [15] 李灿,张凤荣,朱泰峰,等.基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J].农业工程学报,2013,29(5):217-227.
- [16] 邱根胜,邹水木,刘日华.多指标决策 TOPSIS 法的一种改进[J].南昌航空工业学院学报(自然科学版),2005,19(3):1-3,37.
- [17] 雷勋平, Robin Qiu, 刘勇.基于熵权 TOPSIS 模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J].农业工程学报,2016,32(13):243-253.