

引用格式: 刘超, 张祚, 纪旭, 等. 基于土地功能强弱对比的三生空间识别与优化: 以襄阳市为例[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1366–1379. [Liu C, Zhang Z, Ji X, et al. Identification and optimization of production-living-ecological spaces based on the comparison of strengths and weaknesses of land functions: A case study of Xiangyang City[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1366–1379.] DOI: 10.18402/resci.2023.07.07

基于土地功能强弱对比的三生空间识别与优化 ——以襄阳市为例

刘超^{1,2}, 张祚¹, 纪旭¹, 汤妮文¹, 郝美晶¹

(1. 华中师范大学政治学部公共管理学院, 武汉 430079;

2. 山东大学国家治理研究院, 济南 266200)

摘要:【目的】精准识别三生空间类型, 协调优化三生空间格局, 可为国土空间格局优化开发和主体功能区战略精准落地提供参考。【方法】采用土地功能格网化计算方法、力学平衡模型、比较优势指数等方法构建三生空间识别与优化的技术方法体系, 有效解决三生空间识别与优化过程中对土地功能强弱关系考虑不足、尺度精细化程度不够的问题。【结果】①2000、2019年襄阳市存在3种功能主导型空间中, 生态主导型空间面积最大, 生活主导型空间面积最小, 但前者呈增加、后者呈减少的态势; 12种功能复合型空间中, 生态主-生活弱-生产劣空间面积最大, 生活主-生产弱-生态劣空间面积最小, 二者均呈增加趋势; ②生产主导型空间集中分布在中东部地区, 生态主导型空间主要分布在西部和南部, 生活主导型空间集聚分布在各县(区、市)的中心城区。同时, 功能复合型空间的集聚格局与程度也表现出明显异质性; ③基于现实情况和未来发展需求将襄阳市划分为生态保育区、农业生产区、乡村改善区和城镇发展区, 与襄阳市主体功能区规划具有整体一致性与局部差异性。【结论】全面考虑土地功能强弱关系, 科学识别格网尺度的三生空间并制定差异化的优化方案具有良好的实用性和科学性, 有助于理解三生空间的功能复合性与时空异质性, 是促进襄阳市主体功能区精准施策、国土空间均衡发展的重要途径。

关键词: 三生空间; 土地功能; 力学平衡模型; 比较优势指数; 襄阳市

DOI: 10.18402/resci.2023.07.07

1 引言

随着建立国土空间规划体系上升为国家重大战略, 国土空间不同类型功能区的划分工作相继展开^[1]。以三生(生产、生活、生态)视角为切入点是分析国土空间格局、制定功能分区方案的一个重要领域。三生空间自党的十八大报告首次从国家战略高度明确以来, 国土空间开发由强调生产空间为主向三生空间协调统筹转变^[2,3]。然而, 快速城镇化与工业化引致区域社会-生态系统要素发生剧烈变化, 国土空间开发失序, 土地功能退化严重, 三生空

间冲突日益严峻。因此, 对三生空间进行科学识别与协同优化成为国土空间治理精细化、主体功能区战略落实深化的重要基础^[4], 业已成为中国政府及学术界瞩目的关键科学议题。

三生空间研究的不断深入使得三生空间的理论内涵日渐丰富^[4,5]。空间所发挥的功能大小是空间识别的关键所在^[6], 以土地主导功能为基础, 采用土地类型归并法和指标量化测算法识别单一功能空间, 是三生空间识别的主流思路^[7,8]。在三生空间识别的基础上, 学者围绕三生空间的时空演变^[9]、生

收稿日期: 2023-02-23; 修订日期: 2023-06-17

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(42101282); 湖北省教育厅哲学社会科学基金项目(22G015); 山东大学国家治理研究院研究课题(23C05)。

作者简介: 刘超, 男, 河北唐山人, 博士, 讲师, 主要研究方向为土地资源评价与国土空间治理等。E-mail: liuchaoznd@163.com

通讯作者: 纪旭, 女, 内蒙古扎兰屯人, 硕士生, 主要研究方向为土地资源管理。E-mail: 1583868775@qq.com

态环境效应^[10]、影响因素^[11]及空间质量^[12]等方面展开了系列研究。对于三生空间优化的理论和方法的讨论如火如荼,基于土地利用现状分类^[13]、适宜性评价^[14,15]、人类行为特征^[16]及土地多功能性角度^[8],结合用地功能主导性与人工主观判定方法进行三生空间优化分区等仍处于探索阶段。诚然,功能集聚形成的三生空间兼具生产、生活和生态等多种功能,单一主导功能空间虽较好地反映了功能优势度,但空间与功能之间存在“一对多”的关系,如何基于三生功能进行功能复合型空间识别仍是难点之一。与此同时,生产、生活和生态功能存在不同强弱程度和优劣关系,仅以土地功能主导性进行三生空间优化分区容易忽视对非主导功能特别是弱势功能的优化,不利于三生空间的统筹协调发展。因此,将三生功能的强弱对比关系融入三生空间的识别与优化研究,对丰富三生空间内涵,提高其实践性意义重大。

鉴于此,本文基于土地功能强弱关系的对比视角,采用力学平衡模型、比较优势指数,构建三生空间识别与优化的技术方法体系,并以湖北省襄阳市为例,厘清2000、2019年三生空间类型及其时空分异特征,协调优化三生空间并提出优化方向与路径,为推动襄阳市及全国类似地区主体功能区建设与国土空间格局优化开发提供参考依据。

2 数据来源、研究区概况与研究方法

2.1 数据来源与处理

本文中2000年和2019年土地利用数据来自中

中国科学院资源环境科学数据中心,分辨率为 30 m (<https://www.resdc.cn>),土地利用类型被重新划分为耕地、林地、草地、水域、城镇建设用地、农村居民点用地、其他建设用地和未利用地^[17]。气象数据(包括降水、气温、日照时数等)来源于中国气象科学数据共享服务网站(<http://cdc.cma.gov.cn>),并在 ArcGIS 10.6 软件平台采用样条法进行内插,将点数据转换成栅格数据,分辨率为 30 m。DEM 数据来源于地理空间数据云,分辨率为 30 m。土壤数据(包括有机质含量、土壤质地等)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn>)。夜间灯光数据来源于 Li 等^[18]的研究结果。社会经济数据(包括第二产业产值、第三产业产值、粮食产量、年末人口数、公交客运周转量等)来自襄阳(襄樊)统计年鉴(2001 年和 2020 年)。道路和景区(3A 级及以上)数据均来源于襄阳市交通局和文化旅游局。

2.2 研究区概况

襄阳市(110°45'E—113°43'E, 31°14'N—32°37'N)位于湖北省西北部,居汉水中游、秦岭大巴山余脉(图1)。全市土地总面积1.97万 km²,辖3区、3县、3市。地貌类型多样,包括西部山地,中部岗地、平原,东部低山丘陵等3个基本地理单元,山、水、洲、林、园、耕要素齐备,土地利用以林地、耕地为主,分别占土地总面积的48.36%和42.84%。2019年末全市总人口约589.80万人,GDP约4812.84亿元。随着国家长江经济带战略和汉江生态经济带发展战略的实施,作为“襄十随神”城市群和省域副

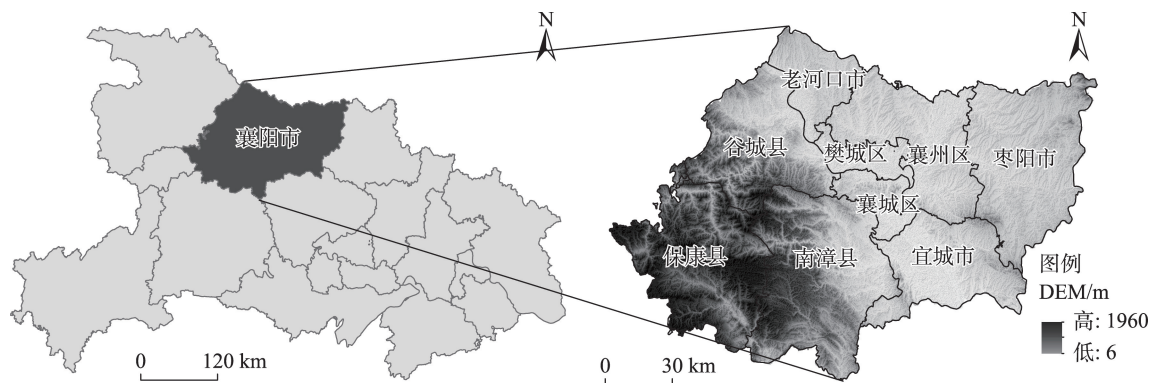


图1 襄阳市地理区位图

Figure 1 Location of Xiangyang City

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)3333号标准地图制作,底图边界无修改。

中心城市、国家重要农产品生产基地的襄阳市,土地开发与建设力度逐渐加强,土地供需矛盾日趋突出,三生功能之间冲突愈加激烈,生产、生活与生态空间的冲突愈发尖锐。

2.3 研究方法

2.3.1 三生功能测度方法

遵循三生空间的系统性、指标的相对稳定性、数据的可获取性等原则,从生态保护、城市建设和粮食安全等发展需求出发,结合三生空间理论,将襄阳市国土空间功能划分为生产、生活和生态功能。在此基础上,参考已有研究^[8,19,20],考虑到空间识别单元的最佳粒度及其优化的精细化落位,本文初步构建了襄阳市1 km×1 km格网尺度的三生功能计算指标体系(表1)。在计算上述各功能指标的基础上,首先,采用极值法对指标进行无量纲化处理,使各指标值范围为0~1。其次,运用层次分析法(AHP)来确定各功能指标的权重^[21]。最后,采用线性加权求和模型和空间叠置法计算各单项功能值^[22],使三生功能在格网尺度上具有可比性。

2.3.2 三生功能强弱关系测度方法

(1) 力学平衡模型

力学平衡模型以笛卡尔坐标系不同方向的矢

量力及其合力与所处象限表征系统内部子系统及其状态与特征,可用来测度土地功能之间的强弱关系。如图2a所示,在其他条件均质的假设前提下,将生产、生活和生态功能的关系定义为笛卡尔坐标系中3个方向的作用力 OA 、 OB 和 OC ,若合力(F)为0,落于圆心 O 处(平衡点)。采用极坐标(F, θ)表征三生功能之间关系,其中极径 F 表征偏离距离,极角 θ 表征偏离方向,其计算方法详见参考文献[28]。分别沿 OA 、 OB 和 OC 作反向延长线,记为 OA' 、 OB' 和 OC' ,作为生产、生活和生态功能的逆向发展矢量方向,将结果空间划分为6个象限(图2b),其中每个象限分别由一个正向和一个负向矢量状态的土地功能构成。据极角 θ 及其所处的象限,判别最具优势功能和最为劣势功能,其中正向矢量的土地功能为强势功能,负向矢量的土地功能为弱势功能(表2)。

(2) 比较优势指数

考虑到力学平衡模型仅能够识别出三生空间中的某两种功能的强弱关系,特引入比较优势指数以弥补力学平衡模型对3种功能强弱关系考虑不足的缺点。比较优势指数能够实现研究对象在不同区域动态、连续的比较及面板数据分析,具有实现时空连续比较的优点^[29],能够科学有效地确定三生

表1 三生功能表征指标的测度模型

Table 1 Measurement model for production-living-ecological functions

功能	指标	计算方法	指标解释	权重
生产功能	农业生产	$Grain_i = \frac{Grain_j}{NPP_j} \times NPP_i$	$Grain_i$ 为格网 i 的粮食产量; $Grain_j$ 和 NPP_j 分别为县(区、市) j 的粮食产量和植被净初级生产力; NPP_i 为格网 i 的植被净初级生产力 ^[22,23]	0.48
	非农生产	$G23_i = \sum \frac{G23_j}{S_j} \times S_i \times (1 + I_i)$	$G23_i$ 为格网 i 的二三产业产值; $G23_j$ 为县(区、市) j 的二三产业产值; S_j 和 S_i 分别为县(区、市) j 和格网 i 的灯光区(平均夜间灯光强度>0)面积和城乡建设用地面积之和; I_i 为格网 i 的平均夜间灯光强度 ^[24]	0.52
生活功能	居住承载	$POPD_i = \frac{POP_j}{URL_j} \times URL_i \times \left(1 + \frac{URNL_i}{NL_j}\right)$	$POPD_i$ 为格网 i 的人口密度; POP_j 为县(区、市) j 的总人口数; URL_j 和 URL_i 分别为县(区、市) j 和格网 i 的城乡建设用地面积; NL_j 和 $URNL_i$ 分别为县(区、市) j 和格网 i 的城乡建设用地平均夜间灯光强度之和 ^[20]	0.35
	出行保障	$TRG_i = \frac{LEN_i}{A_j} \times PAS_j$	TRG_i 为格网 i 公路客运量; LEN_i 为网格 i 内公路的总长度; A_j 为县(区、市)面积; PAS_j 为县(区、市) j 的公路客运量	0.34
	休闲娱乐	$FRS_i = \frac{SCE_i}{SCEA_j} \times VIS_j$	FRS_i 为格网 i 旅游人数; SCE_i 为格网 i 景区面积; $SCEA_j$ 为县(区、市) j 的景区总面积; VIS_j 为县(区、市) j 的接待国内旅游人数	0.31
生态功能	碳固持	InVEST 碳储量模块	计算方法详见参考文献[20,25,26]	0.19
	水源涵养	InVEST 产水量模块		0.22
	生境维持	InVEST 生境质量模块		0.20
	土壤保持	RUSLE 模型		0.21
	洪水调蓄	$\ln Cr_i = 1.0115 \ln(B_i) + 0.5688$	Cr_i 为格网 i 的湖泊可调蓄水量; B_i 为格网 i 的湖泊面积 ^[27]	0.18

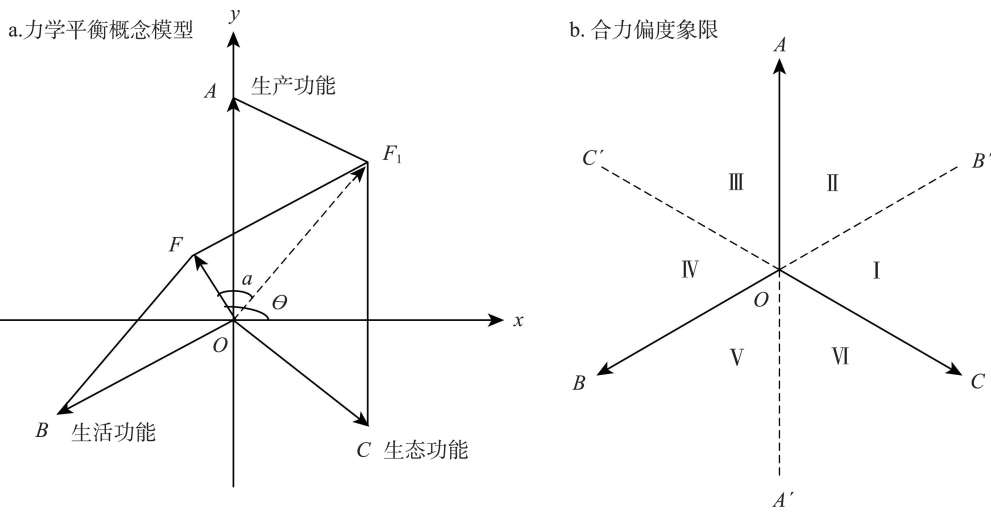


图2 力学平衡概念模型(a)及其合力偏度象限(b)

Figure 2 The conceptual model (a) and quadrants of forces skewness (b)

表2 三生功能强弱关系判定

Table 2 Strong and weak relationships of production-living-ecological functions

功能优劣判定		判断依据					空间功能特征状态描述
强势功能	弱势功能	极角 θ	象限	矢量动力状态			
				生产	生活	生态	
生态	生活	$[11\pi/6, 2\pi] \cup [0, \pi/6)$	I	——	-	+	生态功能正向,符合预期目标;生活功能逆向,低于预期目标;生产功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中
生产	生活	$[\pi/6, \pi/2)$	II	+	-	——	生产功能正向,符合预期目标;生活功能逆向,低于预期目标;生态功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中
生产	生态	$[\pi/2, 5\pi/6)$	III	+	——	-	生产功能正向,符合预期目标;生态功能逆向,低于预期目标;生活功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中
生活	生态	$[5\pi/6, 7\pi/6)$	IV	——	+	-	生活功能正向,符合预期目标;生态功能逆向,低于预期目标;生产功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中
生活	生产	$[7\pi/6, 3\pi/2)$	V	-	+	——	生活功能正向,符合预期目标;生产功能逆向,低于预期目标;生态功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中
生态	生产	$[3\pi/2, 11\pi/6)$	VI	-	——	+	生态功能正向,符合预期目标;生产功能逆向,低于预期目标;生活功能无论是否符合预期目标均可能出现在这个象限中

注: +表示矢量方向为正, -表示矢量方向为负, —表示矢量方向正负均有可能。

空间中强势功能与弱势功能。计算公式为:

$$NRCA_{im} = (X_{im}/Y_i) - (X_{wm}/Y_w)$$

式中: $NRCA_{im}$ 表示格网单元*i*的*m*种功能的比较优势水平; X_{im} 表示格网单元*i*的*m*种功能值; Y_i 表示格网单元*i*的3种功能值总和; X_{wm} 表示*w*城市的*m*种功能值总和; Y_w 表示*w*城市的3种功能值总和。若 $NRCA$ 值 > 0, 说明该格网此功能存在比较优势; 若 $NRCA$ 值 ≤ 0, 说明其不存在比较优势。

2.3.3 三生空间识别方法

以往研究将主导功能类型与三生空间一一对

应的分类方法,简单化了生产-生活-生态功能间作用关系,却忽视了三生空间的复杂多功能性及其强弱关系。三生功能在空间上存在交叠性且具有强弱之分,而功能叠加与竞争共生过程正是单一型地域功能和复合型地域功能分化的关键因素^[30,31]。因此,本文综合考虑三生功能的强弱关系研判三生空间类型(图3),包括功能主导型和功能复合型的三生空间,二者均以土地多功能性为出发点,功能主导型三生空间是以功能复合型三生空间为基础划分的,但前者侧重空间的单一性,而后者强调空间

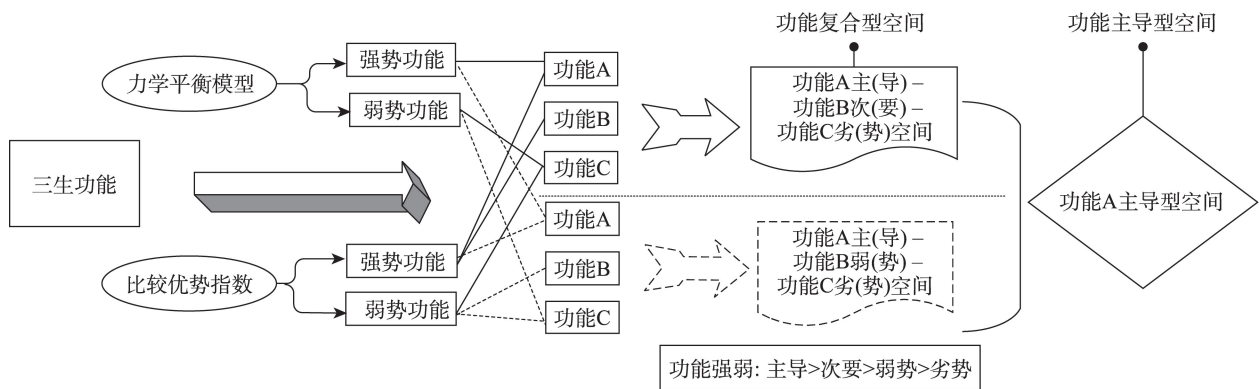


图3 三生空间识别与分类体系图谱

Figure 3 A map of the production-living-ecological space identification and classification system

的复合性。

经计算发现,力学平衡模型与比较优势指数对强势和弱势功能的计算结果相一致,依据功能强弱,对功能复合型三生空间类型进行如下划分:①功能A主(导)-功能B次(要)-功能C劣(势)空间。若NRCA计算得出两种强势功能,一种弱势功能,其中将与力学平衡模型计算得到的同一种强势功能定义为主导功能,同一种弱势功能,即为劣势功能;将另一种强势功能定义为次要功能。②功能A主(导)-功能B弱(势)-功能C劣(势)空间。若NRCA计算得出一种强势功能,两种弱势功能,其中将与力学平衡模型计算得到的同一种强势功能,即为主导功能,同一种弱势功能,即为劣势功能;另一种弱势功能定义为弱势功能。在此基础上,根据功能主导性,可将功能A主(导)-功能B次(要)-功能C劣(势)空间和功能A主(导)-功能B弱(势)-功能C劣(势)空间定义为功能A主导型空间。

2.3.4 三生空间优化思路

土地功能的协调关系是三生空间均衡发展的基础^[32]。以三生空间识别结果为基础进行三生空间优化,针对不同单元提出优化方向与调控路径(图4),具体方法思路如下:①选定优化理论。以比较优势理论和“木桶”理论为支撑,分别为三生空间中强势功能开发利用、弱势功能改善提升提供理论依据。以空间均衡理论为目标,为三生空间功能协调发展提供指导思想。②识别三生空间。采用力学平衡模型与比较优势指数对功能复合型三生空间类型进行识别。③划定优化单元。为保证三生空

间优化结果精准化落地,以1 km×1 km 格网作为优化单元。④制定优化原则。根据比较优势、“木桶”、空间均衡等理论,结合襄阳市的实际和未来发展需求,以功能整合、均衡发展理念,基于强化主导功能、改善劣势功能的目标,制定了生态优先、比较优势、空间均衡等原则。其中,生态优先原则强调维持自然生态系统安全稳定是根本,改善人居环境是目标、发展生态经济是手段,应将生态功能为主导的格网单元划为生态保育区。比较优势原则突出同一格网空间内功能的优劣差异,应发挥主导功能对区域空间发展的引领带动作用。空间均衡原则强调三生空间优化不仅要发挥主导功能优势,更需要补齐短板功能,从而实现生产-生活-生态功能协调发展。⑤确定优化方案。以比较优势原则为依据,采用归类合并方法,根据功能复合型空间中土地主导功能划定优化分区;依据空间均衡原则,提出强化主导和次要功能,改善弱势和劣势功能的优化方向;根据生态优先原则,制定以维护自然生态系统的安全稳定为根本,通过发展生态经济等手段,实现人居环境改善的目标策略。

3 结果与分析

3.1 三生空间数量变化

襄阳市有生产主导型、生活主导型和生态主导型等3种功能主导型空间和12种功能复合型空间(表3),其面积及变化存在差异性,体现了襄阳市国土空间具有多功能复合利用的趋势。

从功能主导型空间来看,2000年和2019年襄阳市生态主导型空间最大,面积占比由41.95%增加至

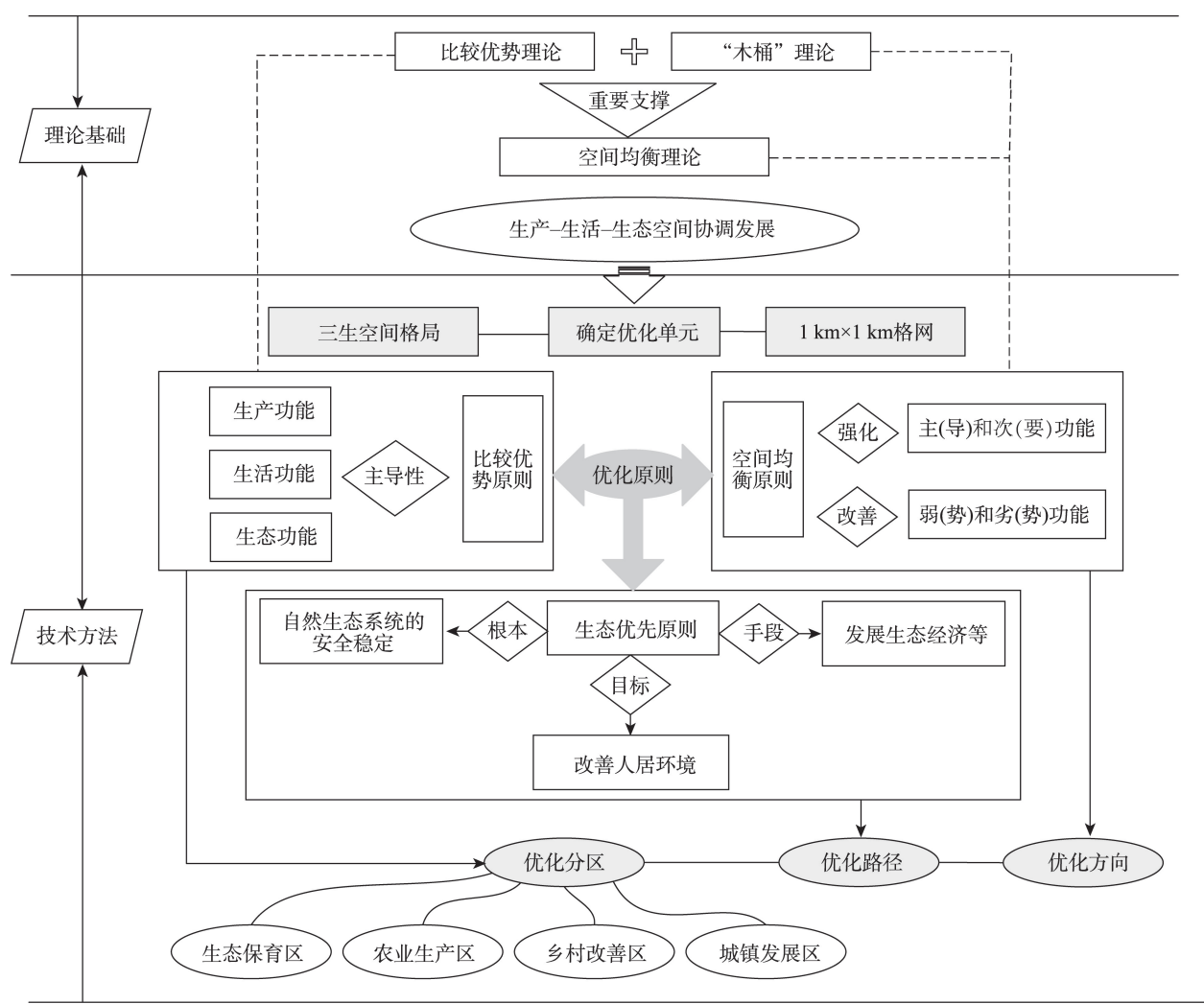


Figure 4 Optimization framework for production-living-ecological spaces

表3 2000、2019年襄阳市三生空间数量变化情况

Table 3 Changes in the amount of production-living-ecological spaces in Xiangyang City, 2000 and 2019

功能主导型空间类型	功能复合型空间类型	2000年		2019年	
		面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
生产主导	生产主-生活弱-生态劣	1728	8.67	1667	8.36
	生产主-生态弱-生活劣	3415	17.13	4029	20.20
	生产主-生活次-生态劣	1864	9.35	1724	8.65
	生产主-生态次-生活劣	212	1.06	237	1.19
生活主导	生活主-生态弱-生产劣	291	1.46	270	1.35
	生活主-生产弱-生态劣	75	0.38	77	0.39
	生活主-生产次-生态劣	745	3.74	1013	5.08
	生活主-生态次-生产劣	3246	16.28	2487	12.47
生态主导	生态主-生产弱-生活劣	2153	10.80	2244	11.25
	生态主-生活弱-生产劣	4958	24.86	5067	25.41
	生态主-生活次-生产劣	1152	5.78	1024	5.14
	生态主-生产次-生活劣	102	0.51	102	0.51

42.31%;其次是生产主导型空间,其面积占比由36.20%增加至38.40%;生活主导型空间最小,面积占比由21.85%降至19.29%。从功能复合型空间来看,生态主-生活弱-生产劣空间最大,面积占比由24.86%增长至25.41%;其次是生产主-生态弱-生活劣空间,其面积占比由17.13%增加至20.20%;生活主-生产弱-生态劣空间最小,其面积占比仅由0.38%增加至0.39%。值得注意的是,2000、2019年,生态主-生活次-生产劣空间、生产主-生活次-生态劣空间、生产主-生活弱-生态劣空间、生活主-生态次-生产劣空间和生活主-生态弱-生产劣空间面积占比分别降低了0.64%、0.70%、0.31%、3.81%和0.11%。这从侧面反映了在襄阳市生态环境保护力度加大、城镇化快速推进过程中,不同功能之间的共生与竞争频繁发生,使得三生空间内部结构不断调整。

3.2 三生空间格局变化

3.2.1 功能主导型三生空间格局变化

核密度估计法常用于刻画研究对象的空间密度特征和集聚趋势^[8]。本文采用核密度估计法分析襄阳市三生空间格局变化情况。如图5所示,2000年生产主导型空间主要位于中东部是老河口市、襄州区、枣阳市和宜城市,2019年在襄州区、樊城区的

扩张现象最为明显。2000年生活主导型空间集聚分布在各县(区、市)的中心城区,值得注意的是,受生产主导型空间扩张影响,2019年襄城区、樊城区生活主导型空间缩减较为明显。2000、2019年生态主导型空间分布无显著变化,集中分布在西部谷城县和南部的保康县、南漳县。

3.2.2 功能复合型三生空间格局变化

2000年和2019年襄阳市三生空间格局集聚特征明显,集聚程度存在差异(图6)。具体特征如下:①呈“组团式”空间集聚特征,包括生产主-生活弱-生态劣空间、生产主-生态弱-生活劣空间、生产主-生活次-生态劣空间、生态主-生产弱-生活劣空间、生态主-生活弱-生产劣空间和生态主-生活次-生产劣空间,连片分布在襄阳市东北部和西部,其中除生产主-生活弱-生态劣空间和生产主-生活次-生态劣空间集聚程度增强以外,其他空间类型的集聚程度减弱。②呈“一带多核式”空间集聚特征,包括生产主-生态次-生活劣空间和生态主-生产次-生活劣空间,以汉江水系为轴带,与其走向保持一致,空间分布较分散,集聚程度降低。③呈“满天星式”空间分布特征,包括生活主-生态弱-生产劣空间、生活主-生产弱-生态劣空间、生活主-生产次-生态劣空间和生活主-生态次-生产劣空间,多分散

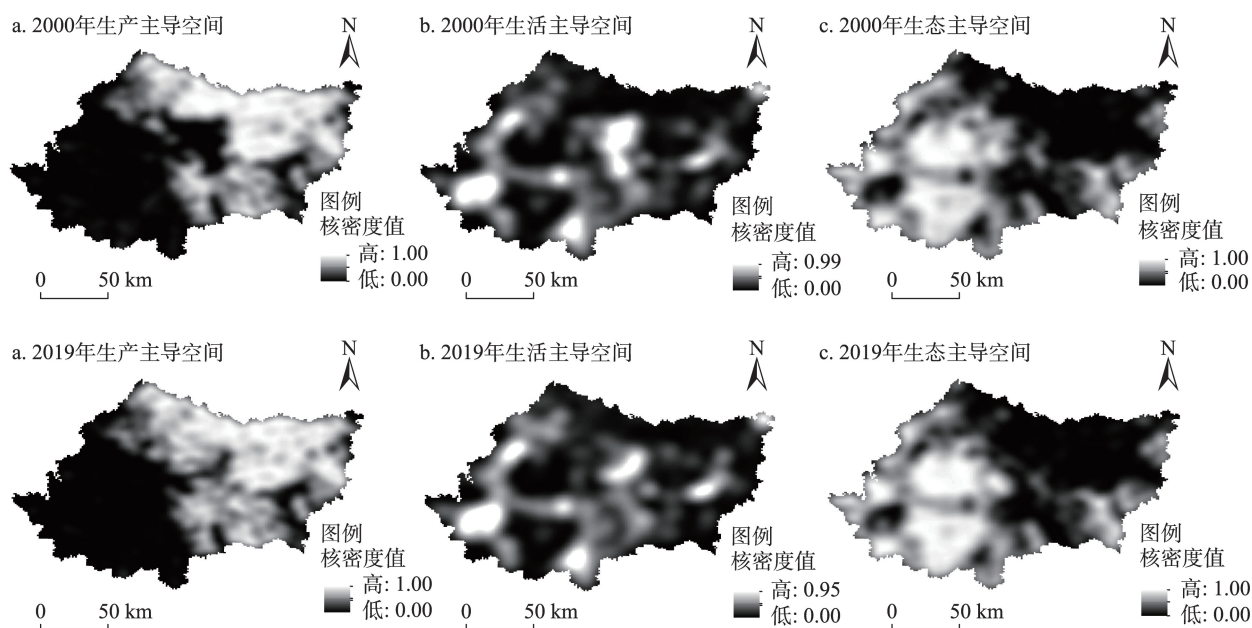


图5 2000、2019年襄阳市功能主导型三生空间核密度空间分布图

Figure 5 Spatial distribution of kernel density of dominant functional production-living-ecological spaces in Xiangyang City, 2000 and 2019

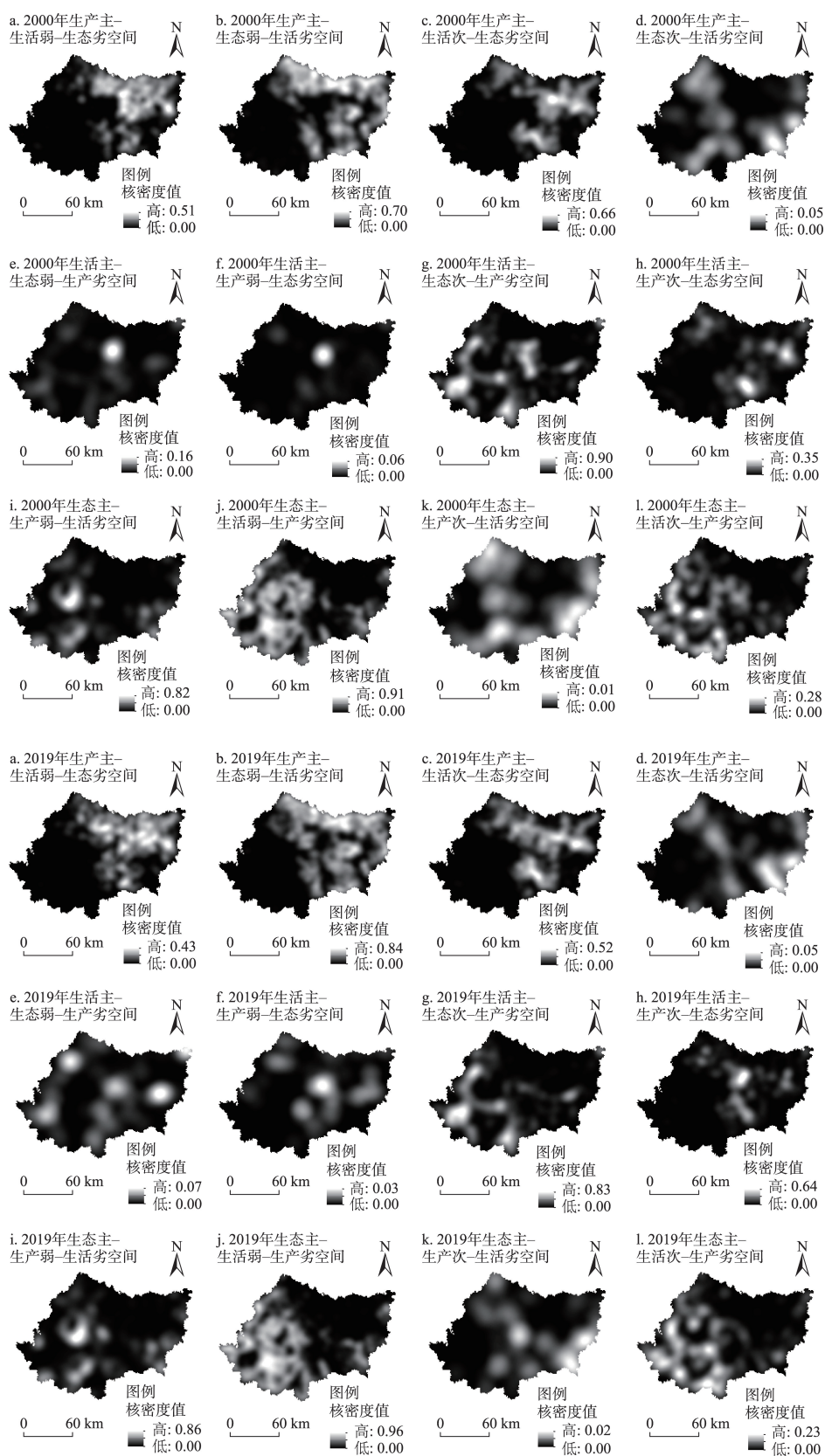


图6 2000、2019年襄阳市功能复合型三生空间核密度空间分布图

Figure 6 Spatial distribution of kernel density of compound functional production-living-ecological spaces in Xiangyang City, 2000 and 2019

分布在各县(区、市)中心城区,集聚程度有所减弱,这与当地城乡建设用地扩张及人口外流有关。

3.3 三生空间优化分析

3.3.1 三生空间优化分区

以1 km×1 km 格网为空间单元,遵循前文中三生空间优化思路,结合襄阳市位于鄂西北秦巴山区,生态功能突出,不适宜大规模工业化、城镇化开发的现状,以及保护生态环境、发展高质量农业、促进城乡融合发展、提高中心城区品质的规划定位,将襄阳市三生空间优化为生态保育区、农业生产区、乡村改善区和城镇发展区(图7)。其中,生态保育区包括生态主-生产弱-生活劣、生态主-生活弱-生产劣、生态主-生活次-生产劣和生态主-生产次-生活劣等空间类型(表4),占襄阳市总面积42.31%,表现为生态功能主导,生活、生产功能较弱的特征,主要分布在襄阳市西部和南部,如谷城县、保康县和南漳县。该区域地处荆山山脉和武当山余脉,多为高山丘谷,森林覆盖率较高,具有水土保持、生物多样性等重要生态功能,但也存在水土流失严重和贫困多发等问题。

农业生产区包括生产主-生态次-生活劣、生产主-生活弱-生态劣、生产主-生态弱-生活劣等空间类型(29.75%),表现为生产功能主导,生活和生态功能较弱的特征,主要分布在老河口市、襄州区和枣阳市北部。该类区域处于汉江冲积平原,土壤深厚肥沃,拥有较好的耕地资源,农业生产优势显著。

乡村改善区包括生活主-生态次-生产劣、生活

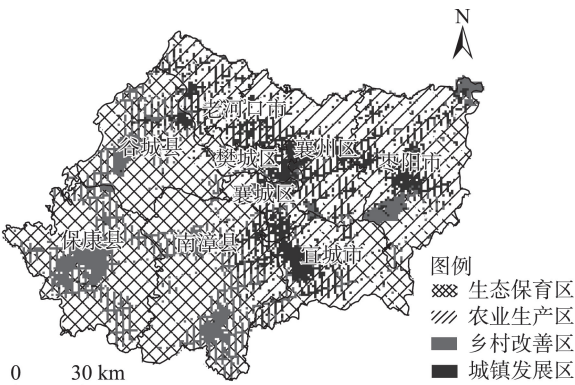


图7 基于格网尺度的襄阳市三生空间优化方案

Figure 7 Grid-scale optimization scheme of production-living-ecological spaces in Xiangyang City

表4 襄阳市三生空间优化分区情况

Table 4 Optimization zone of production-living-ecological spaces in Xiangyang City

优化分区	空间类型	面积/km ²	占比/%
生态保育区	生态主-生产弱-生活劣空间	8437	42.31
	生态主-生活弱-生产劣空间		
	生态主-生活次-生产劣空间		
	生态主-生产次-生活劣空间		
农业生产区	生产主-生态次-生活劣空间	5933	29.75
	生产主-生活弱-生态劣空间		
	生产主-生态弱-生活劣空间		
乡村改善区	生活主-生态次-生产劣空间	2834	14.21
	生活主-生态弱-生产劣空间		
	生活主-生产弱-生态劣空间		
城镇发展区	生产主-生活次-生态劣空间	2737	13.73
	生活主-生产次-生态劣空间		

主-生态弱-生产劣、生活主-生产弱-生态劣等空间类型(14.21%),表现为生活功能主导,生产、生态功能较弱的特征,主要分布在广大农村地区及风景名胜区。该类区域为农业人口集聚区,但经济发展能力弱,人居环境条件较差。

城镇发展区包括生产主-生活次-生态劣、生活主-生产次-生态劣等空间类型(13.73%),表现为生产和生活功能主导,生态功能较弱的特征,主要分布在各县(区、市)中心城区。该地区是城市经济发展的核心,城市人口密度最高,基础公共设施较完善,但城区无序扩张会侵占耕地和生态用地,同时城区工业和生活污染易破坏生态环境。

3.3.2 三生空间优化路径

三生空间在功能需求、资源分配和发展阶段等方面有所不同,为平衡城市发展的多重目标,基于“强化主(导)功能和次(要)功能、改善弱(势)功能和劣(势)功能”的目标,针对不同空间分区的现状问题与未来需求提出了相应的优化路径,以实现资源利用的最大化价值,满足不同地区的发展需求。

生态保育区,以保护生态为主(强化生态功能),兼顾改善民生和发展生态产业(改善生活和生产功能)。在提高生态系统韧性的基础上适度发展林特色产业,如谷城县、保康县和南漳县等中低山区适宜种植杉木、茶叶等林特产品,宜城市东部和枣阳市南部等丘陵地区适宜发展区域特色林果茶业;有条件地进行易地扶贫搬迁,逐步有序退出生态保

2023年7月

育区内的农村宅基地,改善扶贫后续的村民生活质量。

农业生产区,以农业综合开发为主(强化生产功能),重视保护生态环境(改善生态和生活功能)。稳固农业生产,打造优质中、短纤维棉花产业带和专用小麦生产基地,推进农业机械化和现代化;发展林特产品等特色生态农业,提高农业综合生产效益;强化耕地特别是基本农田的保护,充分发挥耕地的生产及生态功能,防治汉江水域农业污染。

乡村改善区,注重改善生活服务设施条件(强化生活功能),发展乡村旅游经济(改善生产和生态功能)。创新农村节约、集约用地模式,合理布局教育、医疗、体育、文化、旅游等公共设施,构建美丽乡村人居环境;利用乡村旅游资源如谷城湫山国家森林公园、熊河水库等郊野公园,发展农旅融合、绿色增收的乡村特色旅游业,既增加农民收入,又保护生态环境。

城镇发展区,强调优化城镇和产业布局体系(强化生产和生活功能),改善城市环境质量(改善生态功能)。继续发挥区域经济中心的辐射作用,统筹安排各业用地,进一步优化城市体系,提高居民生活质量;以工业园区如东津农产品加工、襄阳机电、余家湖能源化工仓储等为载体,发展低耗能、集约化的高新技术产业;同时,加强工业“三废”治理,增加城市绿地面积,推广垃圾分类和绿色低碳的生活理念,改善城市生态环境。

3.3.3 与襄阳市主体功能区规划比较

由《湖北省主体功能区规划》可知,襄阳包括省级层面重点开发区域(襄城区、樊城区和襄州区)、国家层面农产品主产区(枣阳市、宜城市、老河口市和谷城县)和大别山水土保持生态功能区(保康县和南漳县),是国家层面重点生态功能区(图8)。

从总体布局来看,本文襄阳市三生空间优化方案与主体功能区规划布局基本趋同,局部有所差异。其中,城镇发展区,即重点开发区域集中分布在襄城区、樊城区、襄州区、枣阳市和宜城市,是湖北省汽车产业、高新技术产业以及电力、纺织和化工工业的主要集聚区。农业生产区,即农产品主产区集中连片分布在老河口市、襄州区、枣阳市和宜



图8 襄阳市主体功能区规划图

Figure 8 Map of major function-oriented zoning in Xiangyang City 城市,是湖北省重要的粮、棉、油基地。生态保育区,即重点生态功能区主要分布在谷城县、保康县和南漳县,是鄂西北重要的生态功能区。因此,本文三生空间优化方案与主体功能区规划契合程度较高,体现了其良好的科学性和实用性。

从内部差异性来看,各县域内部均有4种优化类型,但面积占比不同(表5)。若以面积占优确定主体功能区,谷城县生态保育区面积占比最多(66.02%),应划为生态保育区,与主体功能区划中的国家农产品主产区划定存在差异,可能原因是谷城县位于荆山和武当山余脉,耕地资源虽丰富,但多为坡耕地,生态功能更为重要。襄州区和樊城区面积占比最多的是农业生产区,其次是城镇发展区,应划为农业生产区,与主体功能区划中的省级

表5 襄阳市县域三生空间优化分区面积占比情况(%)

Table 5 Ratio of optimization zones of production-living-ecological spaces at the county level in Xiangyang City (%)

县(区、市)名称	生态保育区	农业生产区	乡村改善区	城镇发展区
保康县	71.61	0.39	27.55	0.45
谷城县	66.02	9.70	18.72	5.56
老河口市	14.19	57.33	4.82	23.65
南漳县	65.52	9.86	19.28	5.35
襄城区	22.01	29.99	17.28	30.72
樊城区	18.98	41.48	6.33	33.22
襄州区	3.54	67.75	3.09	25.62
宜城市	35.18	38.73	5.88	20.21
枣阳市	18.89	53.21	9.34	18.56

重点开发区域划定不一致。这是因为襄州区和樊城区位于汉江河谷平原,耕地面积大于建设用地面积,但是,其作为全市城镇化核心区,社会经济辐射作用更为显著。以上反映出即使同一县域单元内,地形条件、社会经济发展水平的异质性也会导致区域内部功能定位和发展方向的显著差异。因此,基于格网尺度的三生空间优化分区通过微观分区与宏观调控相结合的方式,对行政单元尺度的主体功能区划有效地进行空间降尺度传导,为实现全域范畴的三生共赢提供了新的方法途径。这既丰富了三生空间统筹优化的科学基础与技术框架,也为区域国土空间治理精细化、主体功能区战略落实深化提供决策参考。

4 结论

本文从土地功能强弱关系的对比视角出发,通过构建基于力学平衡模型与比较优势指数的三生空间判别方法体系,对襄阳市2000、2019年格网尺度的三生空间进行识别,并分析其时空变化特征。在此基础上,提出襄阳市三生空间的优化方案。主要结论如下:

(1)2000、2019年襄阳市有3种功能主导型空间和12种功能复合型空间,在数量变化和分布格局上差异显著。生态主导型和生活主导型空间分别占功能主导型空间中最大和最小的面积,但前者呈增加、后者呈减少的态势。生态主-生活弱-生产劣和生活主-生产弱-生态劣空间分别占功能复合型空间中最大和最小的面积,且均呈现增加趋势。从分布格局来看,生产主导型空间集中分布在中东部地区,生态主导型空间主要发生在西部和南部,生活主导型空间集聚分布在各县(区、市)中心城区。同时,功能复合型空间的集聚格局与程度也表现出明显异质性,是襄阳市国土空间多功能权衡结果的体现。

(2)将三生空间优化为以保护生态为主,兼顾改善民生和发展生态经济的生态保育区;以农业综合开发为主,重视保护生态环境的农业生产区;注重改善生活服务设施条件,发展乡村旅游经济的乡村改善区;建立健全城镇和产业布局体系,改善城市环境质量的城镇发展区。这与襄阳市主体功能区规划具有整体一致性与局部差异性,特别是同一

区域的内部也存在不同类型功能区。格网尺度的三生空间优化分区方法具有良好的实用性,也体现了功能分区的复杂性与精细化,能够为襄阳市主体功能区精准施策、国土空间格局优化提供参考依据。

本文借助多源数据和多种技术方法的融合应用,在测度土地功能强弱关系的基础上,进行三生复合功能空间的识别与优化,侧重权衡三生功能之间的优劣关系和竞争共生,为准确刻画三生空间的功能复合性和时空异质性提供了新的方法借鉴。国家和省级的主体功能区是采取主导的、主要的地域功能划分的,遵循空间尺度越大、地域功能识别的精度越低、功能类型越简单的准则,以县级行政区作为划分单元。但是,随着空间尺度的降低,在地市和县乡尺度,就需要细化地域功能^[33,34]。新时代优化国土空间格局提出,细化主体功能区划分,实现主体功能区战略和各类空间管控要素精准落地,制定差异化政策的新要求,本文将研究单元从行政区细化至格网单元,并针对不同功能分区提出相应优化路径,是缓解区域三生空间冲突的重要手段,有利于三生空间格局优化策略的精准化落位,对新一轮国土空间规划工作开展具有重要借鉴意义。但是,本文仍存在不足之处,因受数据可获得性的影响,数据搜集难以穷极三生功能可能涵盖的所有方面,选取了具有代表性的10项指标进行空间量化,如何更全面地表征三生功能是未来研究仍需努力方向。

参考文献(References):

- [1] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546. [Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 534-546.]
- [2] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391. [Huang J C, Lin H X, Qi X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 378-391.]
- [3] 欧名豪,丁冠乔,郭杰,等.国土空间规划的多目标协同治理机制[J].中国土地科学,2020,34(5):8-17. [Ou M H, Ding G Q,

2023年7月

- Guo J, et al. Multi-objective collaborative governance mechanism of territorial space planning[J]. *China Land Science*, 2020, 34(5): 8-17.]
- [4] Ana Maria Fernandez-Maldonado. ICT and spatial planning in European cities: Reviewing the new charter of Athens[J]. *Built Environment*, 2012, 38(4): 469-483.
- [5] 江东, 林刚, 付晶莹. “三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1085-1101. [Jiang D, Lin G, Fu J Y. Discussion on scientific foundation and approach for the overall optimization of “Production-Living-Ecological” space[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1085-1101.]
- [6] Appolloni L, Sandulli R, Vetrano R, et al. A new approach to assess marine opportunity costs and monetary values-in-use for spatial planning and conservation; the case study of Gulf of Naples, Mediterranean Sea, Italy[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 152: 135-144.
- [7] 武子豪, 祖健, 史云扬, 等. 城市职能视角下“三生”空间的识别与评价: 以京津冀城市群为例[J]. *资源科学*, 2022, 44(11): 2247-2259. [Wu Z H, Zu J, Shi Y Y, et al. Identification and evaluation of production-living-ecological space from the perspective of urban function: Taking the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration as an example[J]. *Resources Science*, 2022, 44(11): 2247-2259.]
- [8] 冀正欣, 刘超, 许月卿, 等. 基于土地利用功能测度的“三生”空间识别与优化调控[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(18): 222-231. [Ji Z X, Liu C, Xu Y Q, et al. Identification and optimal regulation of the production-living-ecological space based on quantitative land use functions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(18): 222-231.]
- [9] 李江苏, 孙威, 余建辉. 黄河流域三生空间的演变与区域差异: 基于资源型与非资源型城市的对比[J]. *资源科学*, 2020, 42(12): 2285-2299. [Li J S, Sun W, Yu J H. Change and regional differences of production-living-ecological space in the Yellow River Basin: Based on comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities[J]. *Resources Science*, 2020, 42(12): 2285-2299.]
- [10] 孔冬艳, 陈会广, 吴孔森. 中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1116-1135. [Kong D Y, Chen H G, Wu K S. The evolution of “Production-Living-Ecological” space, eco-environmental effects and its influencing factors in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1116-1135.]
- [11] 焦庚英, 杨效忠, 黄志强, 等. 县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析: 以江西婺源县为例[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1252-1267. [Jiao G Y, Yang X Z, Huang Z Q, et al. Evolution characteristics and possible impact factors for the changing pattern and function of “Production-Living-Ecological” space in Wuyuan County[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1252-1267.]
- [12] 刘鹏飞, 孙斌栋. 中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析[J]. *地理研究*, 2020, 39(1): 13-24. [Liu P F, Sun B D. The spatial pattern of urban production-living-ecological space quality and its related factors in China[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(1): 13-24.]
- [13] 吴清, 冯嘉晓, 陈刚, 等. 山岳型乡村旅游地“三生”空间演变及优化: 德庆金林水乡的案例实证[J]. *生态学报*, 2020, 40(16): 5560-5570. [Wu Q, Feng J X, Chen G, et al. The spatial evolution and optimization of Production-Living-Ecology space in mountainous rural tourism destinations: A case study of Jinlin watery area in Deqing County, Guangdong Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(16): 5560-5570.]
- [14] 冯佳凝, 刘荣娟, 濮励杰, 等. 基于陆海统筹的南通市国土空间开发适宜性评价[J]. *资源科学*, 2022, 44(2): 299-308. [Feng J N, Liu R J, Pu L J, et al. Suitability evaluation of territorial spatial development from the perspective of land-sea coordination: A case study of Nantong City, China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(2): 299-308.]
- [15] 张云路, 李雄, 孙松林. 基于“三生”空间协调的乡村空间适宜性评价与优化: 以雄安新区北沙口乡为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(1): 116-124. [Zhang Y L, Li X, Sun S L. Evaluation and optimization of rural space suitability based on “the Production, Living and Ecological Space Coordination”: Take beishakou township, the Xiongan New Area as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(1): 116-124.]
- [16] 刘春芳, 王奕璇, 何瑞东, 等. 基于居民行为的三生空间识别与优化分析框架[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2113-2122. [Liu C F, Wang Y X, He R D, et al. An analysis framework for identifying and optimizing ecological-production-living space based on resident behavior[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2113-2122.]
- [17] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China[J]. *Land Use Policy*, 2006, 23(4): 372-384.
- [18] Li X C, Zhou Y Y, Zhao M, et al. Harmonization of DMSP and VIIRS nighttime light data from 1992-2020 at the global scale[R/OL]. (2021-05-25) [2023-02-05]. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9828827.v5>.
- [19] Liu C, Lu X H, Cheng L, et al. Trade-offs analysis of land use functions in a hilly-mountainous city of northwest Hubei Province: The interactive effects of urbanization and ecological construction[J]. *Habitat International*, 2023, DOI: 10.1016/j.habitatint.2022.102705.
- [20] Fan Y T, Gan L, Hong C Q. Spatial identification and determi-

- nants of trade-offs among multiple land use functions in Jiangsu Province, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145022.
- [21] 曾荣, 赵荣, 梁勇. AHP-灰色关联度分析法的耕地质量评价: 以湖北省襄阳市为例[J]. *测绘科学*, 2018, 43(8): 90-96. [Zeng R, Zhao R, Liang Y. Cultivated land quality assessment based on AHP-grey correlation analysis: Taking Xiangyang City of Hubei Province as an Example[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2018, 43(8): 90-96.]
- [22] Liu C, Xu Y Q, Huang A, et al. Spatial identification of land use multifunctionality at grid scale in farming-pastoral area: A case study of Zhangjiakou City, China[J]. *Habitat International*, 2018, 76: 48-61.
- [23] Zhang Y N, Long H L, Tu S S, et al. Spatial identification of land use functions and their tradeoffs/synergies in China: Implications for sustainable land management[J]. *Ecological Indicators*, 2019, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105550.
- [24] 刘超, 许月卿, 卢新海. 生态脆弱贫困区土地利用多功能权衡/协同格局演变与优化分区: 以张家口市为例[J]. *经济地理*, 2021, 41(1): 181-190. [Liu C, Xu Y Q, Lu X H. Spatio-temporal evolution and optimization regionalization of trade-off and synergy of land use functions in ecologically fragile and poverty areas: A case study of Zhangjiakou City[J]. *Economic Geography*, 2021, 41(1): 181-190.]
- [25] Peng J, Tian L, Wu J S. Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Thresholds identification[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607: 706-714.
- [26] Tallis L, Coleman M, Gardiner T, et al. Assessment of the consistency of H2O line intensities over the near-infrared using sun-pointing ground-based Fourier transform spectroscopy[J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2011, 112(14): 2268-2280.
- [27] 林瑒焱, 徐昔保. 长三角地区生态系统生产总值时空变化及重要生态保护空间识别[J]. *资源科学*, 2022, 44(4): 847-859. [Lin Y Y, Xu X B. Spatiotemporal variations of gross ecosystem product and identification of important ecological protection spaces in the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2022, 44(4): 847-859.]
- [28] 秦明星, 康庆, 郭青霞, 等. 山西省土地多功能利用水平及动态变化研究: 基于综合分析法[J]. *地域研究与开发*, 2023, 42(3): 142-147. [Qin M X, Kang Q, Guo Q X, et al. Study on level and dynamic change of multi-functional of land use in Shanxi Province based on comprehensive analysis[J]. *Areal Research and Development*, 2023, 42(3): 142-147.]
- [29] 文艳, 孙根年, 冯庆. 国际旅游服务贸易比较优势动态演进及中国贸易平衡贡献[J]. *资源科学*, 2021, 43(8): 1675-1686. [Wen Y, Sun G N, Feng Q. Dynamic change of comparative advantage of international tourism service trade and China's contribution to trade balance[J]. *Resources Science*, 2021, 43(8): 1675-1686.]
- [30] 盛科荣, 樊杰. 地域功能的生成机理: 基于人地关系地域系统理论的解析[J]. *经济地理*, 2018, 38(5): 11-19. [Sheng K R, Fan J. The formation mechanism of regional function: An analysis based on the theory of Man-Earth areal system[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 11-19.]
- [31] 龙花楼, 陈坤秋. 基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J]. *地理学报*, 2021, 76(2): 295-309. [Long H L, Chen K Q. Urban-rural integrated development and land use transitions: A perspective of land system science[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 295-309.]
- [32] 周浩, 金平, 夏卫生. 省级国土空间“三生”功能评价及其分区研究: 以河南省为例[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(8): 10-17. [Zhou H, Jin P, Xia W S. Functional zoning of territorial space in provincial level based on the production-living-ecological functions: A case of Henan Province[J]. *China Land Science*, 2020, 34(8): 10-17.]
- [33] 樊杰, 周侃. 以“三区三线”深化落实主体功能区战略的理论思考与路径探索[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(9): 1-9. [Fan J, Zhou K. Theoretical thinking and approach exploration on deepening the implementation of major function zoning strategy with “Three-zones and Three-lines”[J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 1-9.]
- [34] 魏小芳, 赵宇鸾, 李秀彬, 等. 基于“三生功能”的长江上游城市群国土空间特征及其优化[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(5): 1070-1079. [Wei X F, Zhao Y L, Li X B, et al. Characteristics and optimization of geographical space in urban agglomeration in the upper reaches of the Yangtze River based on the function of “Production-Living-Ecological”[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(5): 1070-1079.]

Identification and optimization of production–living–ecological spaces based on the comparison of strengths and weaknesses of land functions: A case study of Xiangyang City

LIU Chao^{1,2}, ZHANG Zuo¹, JI Xu¹, TANG Niwen¹, HAO Meijing¹

(1. Faculty of Political Science, College of Public Administration, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;

2. Institute of State Governance, Shandong University, Jinan 266200, China)

Abstract: [Objective] Identifying production-living-ecological spaces (PLES) and analyzing their spatiotemporal characteristics, as well as optimizing PLES pattern provide scientific references for the rational development of the territorial space and precise implementation of major function-oriented zoning strategy. [Methods] The methods of this research include calculation method for land functions at the grid scale, mechanical equilibrium model, and comparative advantage index, which effectively solve the problems of insufficient consideration of the strong and weak relationships between land functions and insufficient scale refinement in identifying and optimizing PLES. [Results] (1) Between 2000 and 2019, there were three dominant functional spaces Xiangyang City, of which the ecology dominant space and the living dominant space had the largest and the smallest area, respectively, but the former increased and the latter decreased. There were twelve compound functional spaces, in which the ecology dominant-living weak-production inferior space and living dominant-production weak-ecology inferior space had the largest and the smallest area, respectively, and both of which showed an increasing trend. (2) The production dominant space was concentrated in the central and eastern regions, the ecology dominant space mainly occurred in the west and the south, and the living dominant space was concentrated in the urban centers of the counties. Also, the compound functional spaces' pattern and degree of agglomeration exhibited obvious heterogeneity. (3) The PLES can be optimized into urban development zone, rural improvement zone, and agricultural production and ecological conservation zones, which showed overall consistency and local differences with major function-oriented zoning of Xiangyang City. [Conclusion] It is reasonable and scientific to identify PLES at the grid scale and formulate a differentiated optimization plan by taking into account the strong and weak relationships of land functions. This study contributes to understanding the functional compounding and spatiotemporal heterogeneity of PLES, which is an important reference for promoting the precise implementation of major function-oriented zoning and balanced development of territorial spaces in Xiangyang City.

Key words: production-living-ecological spaces; land function; mechanical equilibrium model; comparative advantage index; Xiangyang City