

DOI: 10.5846/stxb202108082175

陕永杰,魏绍康,原卫利,苗圆.长江三角洲城市群“三生”功能耦合协调时空分异及其影响因素.生态学报,2022,42(16):6644-6655.

Shan Y J, Wei S K, Yuan W L, Miao Y. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of coupling coordination of “production-living-ecological” functions in Yangtze River Delta urban agglomeration. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(16): 6644-6655.

长江三角洲城市群“三生”功能耦合协调时空分异及其影响因素

陕永杰*, 魏绍康, 原卫利, 苗 圆

山西师范大学 地理科学学院, 太原 030031

摘要:长江三角洲城市群是中国城市化水平和经济发展水平最高的城市群,其“三生”功能问题和矛盾日益凸显,“三生”功能耦合协调分析是国土空间规划及区域可持续发展的基础。以长江三角洲城市群为研究区,从农业生产、非农业生产、生活水平、生活保障、生态压力和生态保障六个方面筛选 31 项指标构建“三生”功能评价指标体系,采用熵权法和 AHP 法组合确定评价指标权重。并引入耦合协调度模型,以 2000—2019 年为研究时段进行“三生”功能评价及其耦合协调度分析,并运用面板数据模型和 Robust 回归分析影响研究区“三生”功能的主要因素。结果表明:(1)研究区 2000—2019 年间生产、生活、生态功能整体上稳步提升,其中,生产功能东西部发展优于中部,低值区缩减;生活功能东部优于西部,南部优于北部;生态功能随时间呈现由西南部到东南部最优的变化特征。“三生”功能总体表现为“东部优于西部,南部优于北部,东南部发展最优”格局,空间差异明显;(2)生产-生活严重失调城市占比由 23.08% 缩减为 0,基本协调城市占比由 11.54% 提高到 46.15%,中度协调城市占比由 0 提高到 53.85%,耦合协调性提高显著;生产-生态中度失调城市占比由 57.69% 降为 4.8%,基本协调城市占比由 19.23% 提升为 88.46%;生活-生态耦合严重和中度失调城市占比由有到无,中度协调城市占比由 0 提升为 88.46%,上海市升为高度协调城市;生产-生活-生态功能耦合协调度逐步提高,在空间上呈现东部、东南部为主要高值区,沿海优于内陆的分布格局;(3)地均农业机械总动力、地均固定资产投资、城镇常住居民人均可支配收入、草地面积、绿地覆盖率等因素对研究区“三生”功能耦合协调发展起到了巨大的推动作用,而农村常住居民人均可支配收入对“三生”功能耦合协调起到了限制作用。研究结果能为其社会经济稳定发展与国土空间资源利用可持续发展提供参考依据。

关键词:长江三角洲城市群;“三生”空间功能;耦合协调;时空分异;影响因素

Spatial-temporal differentiation and influencing factors of coupling coordination of “production-living-ecological” functions in Yangtze River Delta urban agglomeration

SHAN Yongjie*, WEI Shaokang, YUAN Weili, MIAO Yuan

School of Geography, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, China

Abstract: The urban agglomeration in the Yangtze River Delta is the one with the highest level of urbanization and economic development in China. Its “production-living-ecological” function problems and contradictions have become increasingly prominent. The coupling and coordination analysis of “production-living-ecological” functions is the basis of land space planning and regional sustainable development. Taking the Yangtze River Delta urban agglomeration as the research area, 31 indicators were selected from six aspects of agricultural production, non-agricultural production, living standards, living security, ecological pressure and ecological security to construct the evaluation index system of “

基金项目:山西省哲学社会科学规划项目(2018B050);2020 年度山西省研究生教育改革(指令性)研究课题项目(2020YJJG159)

收稿日期:2021-08-08; 网络出版日期:2022-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 210426271@qq.com

production-living-ecological " functions. The entropy weight method and AHP method were used to determine the weight of the evaluation index. The coupling coordination degree model was introduced to evaluate the "production-living-ecological " functions and analyze its coupling coordination degree from 2000 to 2019. The panel data model and Robust regression were used to analyze the main factors affecting the "production-living-ecological " functions in the study area. The results show that: (1) The production, living and ecological functions of the study area have improved steadily from 2000 to 2019. Among them, the development of production function in the east and west is better than that in the middle, and the low value area is reduced.; The living function of the east is better than that of the west, and that of the south is better than that of the north.; The ecological function shows the best change characteristics from southwest to southeast over time. The overall performance of ' production-living-ecological ' functions is ' the east is better than the west, the south is better than the north, and the southeast is the best ' pattern, with obvious spatial differences; (2) The proportion of cities with severe production-life imbalance decreased from 23.08% to 0, the proportion of cities with basic coordination increased from 11.54% to 46.15%, the proportion of cities with moderate coordination increased from 0 to 53.85%, and the coupling coordination increased significantly; The proportion of cities with moderate production-ecological imbalance decreased from 57.69% to 4.8%, and the proportion of cities with basic coordination increased from 19.23% to 88.46%; the proportion of cities with severe and moderately unbalanced life-ecological coupling ranges from existence to none; the proportion of moderate coordinated cities increased from 0 to 88.46%, and Shanghai increased to highly coordinated cities; The coupling coordination degree of production, living and ecological functions gradually increased. The spatial distribution pattern showed that the eastern and southeastern regions were the main high-value regions, and the coastal regions were better than the inland regions. (3) Factors such as total power of agricultural machinery per land, investment in fixed assets per land, per capita disposable income of urban residents, grassland area, green coverage rate and other factors have contributed to the coordinated development of the "production-living-ecological " functions in the study area, having a huge driving force, and the per capita disposable income of rural residents has restricted the function of production-living-ecological coupling and coordination. The results can provide a reference basis for the stable development of its social economy and the sustainable development of land space resources utilization.

Key Words: Yangtze River Delta urban agglomeration; "production-living-ecological" spaces functions; coupling and coordination; temporal and spatial differentiation; influencing factors

国土空间是国民生存发展的载体^[1],根据用途划分为生产、生活、生态三种空间,分别承担生产功能、生活功能和生态功能(简称“三生”功能),准确把握“三生”功能变化及相互关系是开展国土空间规划工作的基础。近年来随着社会经济的不断发展和城市化水平的不断提高,“三生”空间相互争夺与冲突日趋激烈,“三生”功能问题和矛盾日益凸显^[2-4]。为此,十九届五中全会明确提出推进“三生”功能协调可持续发展、全面优化国土空间格局的要求^[5]。

“三生”功能研究成为当前国内外研究的热点,其研究可以分为两个阶段,第一阶段主要研究“三生”空间及功能概念界定和特征识别等理论框架^[6-9]。张景鑫指出国土空间利用是人们为了特定的目的,对国土空间具有的生产、生活、生态的属性与功能的使用、改造和保护等^[10]。生产空间是以提供农产品为主要功能的国土空间类型;生活空间是以提供工业品、居住和社会公共服务为主要功能的国土空间类型,侧重于第二和第三产业;生态空间指自然生态空间,以提供生态产品、生态服务和生态涵养为主要功能的国土空间类型。黄金川等认为生产空间是以主要提供工业品、农产品和服务产品为主导功能的区域;生活空间是以提供人类居住、消费、休闲、娱乐等功能的区域;生态空间是以提供生态产品或服务为主导功能的区域^[11]。李广东等也提出了一套三生功能界定,与前面研究者的主要区别在于生产功能和生活功能的内涵上。中共十八大报告指出三生空间的发展目标,生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀^[12]。本研究认为第一产业和第

二产业均提供产品,第三产业为商业服务业。因此将前述生产空间扩展为包含第一和第二产业为主占用的土地空间,生活空间是以居住和社会公共服务等第三产业为主要功能的国土空间类型。各类空间存在多种功能,形成一主多辅的功能集成,“空间”与“功能”之间是多对多的关系^[13]。

“三生”功能区域特征研究主要体现在两方面:一方面是对研究区域单元内部“三生”功能冲突和协调问题研究。金星等研究指出闽三角城市群三生空间时空分异格局:生产、生活空间分布于东部沿海地区,生态空间分布于西部山地,内部三生空间协调性较差。另一方面是区域单元之间“三生”功能差异研究^[5]。李慧燕研究了京津冀城市群三生空间协调发展水平,指出部分城市“三生”功能两极分化严重,并且空间协调发展程度偏低,优势城市空间带动作用不足。“三生”功能存在着时空异质性,同时也存在“三生”功能之间相互促进、胁迫和消长关系,这两方面研究都对区域国土空间规划与区域可持续发展具有重要的指导意义^[14]。

第二阶段主要表现为“三生”功能相互关系和区域协调为主。多聚集在“三生”功能划分、功能评价和分布特征及模型方法等方面。刘沛等以土地利用空间划分为基础,建立了土地利用功能评价指标体系,包括了生产功能、社会功能和生态功能三个功能类型^[15]。牛雅萱等对新疆县市“三生”功能时空变化及耦合协调性进行探究^[16];赵宏波等对郑州市“三生”功能分布特征进行探究^[17];康庆等对山西省“三生”功能时空特征和影响因素进行探究^[18];庞丽等对广西省“三生”功能变化特征及耦合程度进行探究^[19];窦睿音等利用耦合协调度对中国资源型城市三生系统的演化特征和影响因素进行分析^[20];关婧文等利用耦合协调度对典型旅游型城镇三生空间进行探究^[21];李欣等对江苏省县域“三生”功能时空变化及协同关系进行了分析^[22]。上述研究者构建的“三生”功能评价指标体系并不统一,主要受区域差异、评价单元差异和对“三生”功能的界定差异的影响,学者们在“三生”功能间耦合协调研究方面也进行了积极的探索。

长江三角洲城市群(即长三角城市群)是亚太地区重要的国际门户,定位为全球重要的现代服务业和先进制造业中心的世界级城市群。其国土空间“三生”功能时空变化剧烈,导致该地区的自然、经济、社会等因素的区域变化明显增强,对国土空间规划编制和实施提出了更高的要求^[23]。综上所述,本文基于耦合协调度模型构建长三角城市群“生产-生活-生态”功能指标体系,探讨研究区 2000—2019 年“三生”功能及其耦合协调度的时空分异特征,并基于耦合协调发展指标应用面板数据回归模型^[24](OLS 模型^[25]、FE 模型^[26]、RE 模型^[27])和 Robust 回归^[28]对“三生”功能的耦合协调发展的影响因素进行分析,为区域经济社会可持续发展和国土空间资源合理利用提供理论依据。

1 研究区概况

长三角城市群地处长江下游入海口,属中国华东地区,由上海、苏南(南京、苏州、无锡等 9 个市)、浙北(杭州、嘉兴、湖州等 8 个市)、皖南(合肥、宣城、池州等 8 个市)共 26 个城市组成(图 1)。经纬度大致位于东经 115°46′—123°25′,北纬 32°34′—29°20′,属亚热带季风气候。长三角城市群作为长江经济带科技创新、经济、金融、贸易、交通等的优势区域,近年来研究区国民生产总值 GDP、全国“双一流”高校数量约占全国 25% 左右;在发明专利有效数、科研技术等经费支出比例方面居中国城市群之首,约占 33% 左右。研究区是中国长江经济带和 21 世纪海上丝绸之路的重要交汇区,是中国城市化程度最高、城镇分布最密集、经济发展水平最高的城市群。

截止 2019 年底,长三角城市群国土面积约 21.17 万 km²,占全国面积 2.3%,年末常住人口约 2.25 亿,

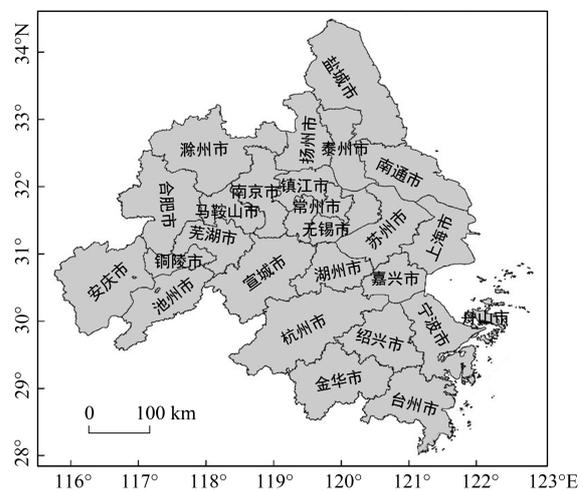


图 1 长三角城市群行政区划图

Fig. 1 Administrative division map of the Yangtze River Delta City Group

2019 年研究区 GDP 约 19.72 万亿元。近年来随着社会经济的迅猛发展和建设用地面积的不断扩张,土地供需矛盾日趋紧张、生态环境恶化趋势未得到有效遏制^[29],土地供需矛盾和用地结构优化面临的“三生”空间功能的有序协调发展问题,成为新一轮国土空间规划亟需解决的问题。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本文以长江三角洲城市群 26 个地级市为研究对象,数据来源如表 1 所示。部分经济、社会、生态环境数据借鉴了理想值、经验值以及通过查阅相关文献资料进行了补充。

表 1 数据来源和说明

Table 1 Data source and description

数据类型 Type of data	数据来源 Data sources	说明 Instructions
草地面积 Grassland area	地理空间数据云 (http://www.gscloud.cn)	空间分辨率为 30 m×30 m,使用 Landsat 8 TM 遥感影像数据和 DEM 数据,并通过 ENVI 5.3 已验证遥感分类精度为 96.23%
建成区面积 Built-up area	中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn)	依据中国土地利用现状国家分类标准系统 ^[30] ,根据土地利用空间分辨率为 30 m×30 m 数据分析计算建成区用地类型,利用 ArcGIS 10.6 平台重分类后得到各市建成区用地面积,并通过 ENVI 5.3 已验证遥感分类精度为 95.45%
社会经济指标 Socio-economic indicators	江苏省、浙江省、安徽省、上海市统计年鉴;《中国城市统计年鉴》、长三角城市群统计年鉴	时间段为 2000—2019 年,来源于公开出版物
部分经济、社会、生态环境数据 Part of economic, social and ecological environmental data	4 省、26 市统计公报等	来自长三角城市群各省市的国民经济和社会发展统计公报、相关部门的森林覆盖率、地均固定资产投资、人均公园绿地面积数据

2.2 研究方法

2.2.1 评价指标体系构建

“三生”功能是由社会经济系统和自然系统协同耦合所产生的,包含直接间接生产、文化美学精神和生物物理过程的满足程度等因素^[31]。基于对“三生”功能耦合协调相关内涵和影响因素的深入探究,借鉴前人已有的研究成果^[32—35],遵循科学性、实用性、可操作性、区域性原则,构建了包含生产功能、生活功能和生态功能 31 项指标的“三生”功能评价指标体系(表 2)。

生产功能指提供农业品和工业产品的能力。农产品生产受到科技水平、投入水平和土地资源禀赋的影响。针对研究区发展现状,选择人均耕地面积、农林牧渔业单产、地均农业机械总动力 3 项指标反映农业生产功能,非农业生产功能涉及面广且种类较多,主要特点是运用资本和资源投入完成非农生产,以及非农业生产效率指标来反映,为此选择财政收入增长率、地均固定资产投资、建成区面积、单位 GDP 能耗、产业贡献率和经济密度等指标反映非农业生产功能。

生活功能指土地在人类生存发展中为人类提供生活水平和基本保障的能力,包括人口承载状况、居民收入、消费水平、就业水平、能源供应水平等等。结合相关文献,选择人均 GDP、人口自然增长率、城镇失业率、恩格尔系数、人口密度、人口结构、人均生活用电量和人均可支配收入等指标反映生活功能。

生态功能特指为居民提供生态产品、服务以及避免外部影响,维持生态健康发展的能力^[36]。包括生态压力功能和生态保障功能两方面,为此选择农用化肥施用量反映农业生产环境压力,工业三废排放量反映工业生产环境压力,道路交通噪声均值和区域环境噪声等级反映区域生产生活压力。通过森林覆盖率、草地面积反映区域郊区生态保障功能,建成区绿化率、人均公园绿地面积指标反映城区生态保障功能;通过工业废水排放达标率和废弃物利用水平指标反映工业排放生态保障功能。

2.2.2 确定权重

为了有效避免主观赋权法的主观随意性^[37]和客观赋权法忽视决策者主观信息^[38]的缺点,本研究采用客观赋权法的熵权法和主观赋权法的层次分析法结合而成的组合赋权法确定指标权重。

表 2 “三生”功能评价指标与权重

Table 2 “production system-life system-ecosystem” function evaluation index and weight

功能 Function	一级指标能 First level indicator	二级指标 Secondary indicators	属性 Attributes	熵权法权重		
				Entropy weight method weight	层次法权重 Hierarchical weight	组合权重 Combination weights
生产功能 Production function	农业生产功能 C_1	C_{11} 人均耕地面积/($\text{hm}^2/\text{人}$)	+	0.0149	0.0165	0.0157
		C_{12} 农林牧渔业单产/万元	+	0.0460	0.0393	0.0427
		C_{13} 地均农业机械总动力/万 kW	+	0.2792	0.2144	0.2468
	非农业生产功能 C_2	C_{21} 财政收入增长率/%	+	0.0045	0.0087	0.0066
		C_{22} 地均固定资产投资/亿元	+	0.0485	0.0449	0.0467
		C_{23} 建成区面积/ km^2	-	0.0012	0.0023	0.0018
		C_{24} 单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	-	0.0097	0.0158	0.0128
		C_{25} 第一产业贡献率/%	+	0.0205	0.0237	0.0221
		C_{26} 第二产业贡献率/%	-	0.0017	0.0062	0.0040
生活功能 Life function	生活水平功能 C_3	C_{31} 人均 GDP/(元/人)	+	0.0238	0.0240	0.0231
		C_{32} 人口自然增长率/%	-	0.0035	0.0086	0.0061
		C_{33} 城镇登记失业率/%	-	0.0069	0.0140	0.0105
	生活保障功能 C_4	C_{34} 恩格尔系数/%	-	0.0077	0.0132	0.0105
		C_{41} 户籍人口占总人口比重/%	-	0.0106	0.0184	0.0145
		C_{42} 人口密度/(人/ km^2)	-	0.0016	0.0047	0.0032
		C_{43} 人均生活用电量/kW h	-	0.0028	0.0061	0.0045
		C_{44} 城镇常住居民人均可支配收入/元	+	0.0259	0.0201	0.0230
		C_{45} 农村常住居民人均可支配收入/元	+	0.0297	0.0197	0.0247
生态功能 Ecological function	生态压力功能 C_5	C_{51} 农用化肥施用量/万 t	-	0.0048	0.0129	0.0089
		C_{52} 工业废水排放量/万 t	-	0.0035	0.0104	0.0070
		C_{53} 工业废气排放总量/亿 m^3	-	0.0011	0.0046	0.0029
		C_{54} 工业固体废物产生量/万 t	-	0.0015	0.0031	0.0023
		C_{55} 城市道路交通噪声均值/dB	-	0.0020	0.0069	0.0045
	生态保障功能 C_6	C_{56} 区域环境噪声平均声效等级/(LeqdB(A))	-	0.0094	0.0188	0.0141
		C_{61} 森林覆盖率/%	+	0.0146	0.0195	0.0171
		C_{62} 草地面积/ hm^2	+	0.0586	0.0619	0.0603
		C_{63} 建成区绿化覆盖率/%	+	0.1177	0.1309	0.1243
		C_{64} 人均公园绿地面积/ m^2	+	0.1347	0.1317	0.1332
		C_{65} 工业废水排放达标率/%	+	0.0366	0.0064	0.0215
		C_{66} 工业废弃物综合利用率/%	+	0.0013	0.0062	0.0038

“+”、“-”为指标属性,即指标正负向,“+”代表正向指标,“-”代表负向指标

2.2.3 “三生”功能耦合协调度模型

(1) “三生”功能耦合度和耦合协调度

本文在结合长三角城市群实际情况和前人研究成果基础上^[39],构建研究区“三生”功能耦合协调度测度模型,具体函数公式为:

$$Y = 3 \times \left\{ \frac{Q_i \times F_i \times L_i}{(Q_i + F_i + L_i)^3} \right\}^{1/3} \quad (1)$$

$$Y_1 = 2 \times \left\{ \frac{Q_i \times F_i}{(Q_i + F_i)^2} \right\}^{1/2}, Y_2 = 2 \times \left\{ \frac{Q_i \times L_i}{(Q_i + L_i)^2} \right\}^{1/2}, Y_3 = 2 \times \left\{ \frac{F_i \times L_i}{(F_i + L_i)^2} \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$$T = \sqrt{Y \times Z}, Z = \delta Q + \alpha F + \beta L \quad (3)$$

$$Z_1 = \delta_1 Q + \alpha_1 F, Z_2 = \delta_2 Q + \beta_2 L, Z_3 = \alpha_3 F + \beta_3 L \quad (4)$$

式中, Y 为“三生”功能三者的耦合度, $Y \in [0, 1]$, Y 值越小,“三生”功能间相互作用越小,反之越大,数值大小并不能代表利弊。

Q_i, F_i, L_i 代表“三生”功能的生产功能、生活功能、生态功能的综合评价值。

T 为耦合协调度, Z 为“三生”功能三者的耦合协调度; δ, α, β 为待定系数。本文在参照相关“三生”功能文献中各具体指标的权重测算^[40-42]和专家意见基础上,将待定系数划定为: $\delta=0.4, \alpha=0.3, \beta=0.3; \delta_1=0.55, \alpha_1=0.45; \delta_2=0.55, \beta_2=0.45; \alpha_3=0.5, \beta_3=0.5$ 。

依据研究区存在的实际情况,参考已有研究结果^[43-46],利用非等间距方法根据耦合协调度 T 值分为 5 个协调等级(表 3):

表 3 “三生”功能评价标准与安全等级

Table 3 “production system-life system-ecosystem” function standard and safety level

耦合协调度 T Coupling coordination degree	协调等级 Coordination level	协调大类 Coordination category	耦合协调度 T Coupling coordination degree	协调等级 Coordination level	协调大类 Coordination category
(0.0,0.1)	极度失调	严重失调	[0.5,0.6)	勉强协调	中度协调
[0.1,0.2)	严重失调		[0.6,0.7)	初级协调	
[0.2,0.3)	中度失调	中度失调	[0.7,0.8)	中级协调	
[0.3,0.4)	轻度失调		[0.8,0.9)	良好协调	高度协调
[0.4,0.5)	濒临失调	基本协调	[0.9,1.0)	优质协调	

(2) 面板数据回归模型。

为提高截面数据的样本容量值和模型的精确度,引入面板数据的二维数据来得到回归模型的统一数据^[47]。为了有效规避回归模型存在的“伪回归”弊端,对面板数据进行检验分析。本研究采用面板模型的 OLS 模型(POOL 面板数据模型)、FE 模型(面板固定效应模型)、RE 模型(面板随机效应模型)进行检验分析。模型公式如下:

$$y_{it} = \delta_i + \alpha x_{it} + u_{it} \quad (5)$$

式中, i 代表界面量, $i \in [1, 2, \dots, n]$; t 代表时间符号, $t \in [1, 2, \dots, T]$, x_{it} 为 $K \times 1$ 的解释变量; α 是 $K \times 1$ 的数量向量; δ_i 为个体 i 不根据时间变化而改变的影响因素; u_{it} 是随着时间更迭和截面变更所不可预测出现的影响因子^[48]。

根据检验结果: F 检验呈现出 5%水平的显著性 $F(25, 47) = 1.748, P = 0.049$,意味着相对 OLS 模型而言,FE 模型更优。BP 检验并未呈现出显著性 $\chi(1) = 0.445, P = 0.505$,意味着相对 RE 模型而言,OLS 模型更优。Hausman 检验并未呈现出显著性 $\chi(31) = 4.548, P = 1.000$,意味着相对 FE 模型而言,RE 模型更优。综合上述分析,最终以 FE 模型作为最终结果。根据 FE 模型结果,除了 $C_{27}, C_{32}, C_{34}, C_{42}, C_{43}, C_{51}, C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{66}$ 不平稳外,其余 21 个变量所对应的水平方程均为零阶单整序列 $I(0)$ 。

(3) Robust 回归分析。

对自变量 $C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26}, C_{31}, C_{33}, C_{41}, C_{44}, C_{45}, C_{55}, C_{56}, C_{61}, C_{62}, C_{63}, C_{64}, C_{65}$ 和耦合协调度 T 值进行 Robust 回归分析(表 4),由此得出 Robust 回归分析中拟合优度 R^2 为 0.96,表明该模型效果较好。

表 4 面板数据检验及回归分析

Table 4 Panel data inspection and regression analysis

面板模型结果汇总 Summary of panel model results				Robust 回归分析结果 Robust regression analysis results				
变量	OLS 模型	FE 模型	RE 模型	变量	回归系数	标准误	<i>t</i> 统计量	<i>P</i>
<i>T</i>	0.082 * (2.269)	0.007 (0.079)	0.064 (1.381)	<i>T</i>	0.007	0.033	-0.225	0.822
<i>C</i> ₁₁	0.043 ** (2.922)	0.048 * (2.514)	0.050 ** (3.251)	<i>C</i> ₁₁	0.009	0.019	0.508	0.612
<i>C</i> ₁₂	0.082 ** (5.020)	0.056 * (2.637)	0.063 ** (3.635)	<i>C</i> ₁₂	0.087	0.022	3.877	0.000 **
<i>C</i> ₁₃	0.267 ** (12.832)	0.263 ** (10.770)	0.266 ** (13.241)	<i>C</i> ₁₃	0.293	0.027	10.955	0.000 **
<i>C</i> ₂₁	0.039 ** (4.252)	0.043 ** (4.668)	0.043 ** (5.446)	<i>C</i> ₂₁	0.048	0.012	3.977	0.000 **
<i>C</i> ₂₂	0.129 ** (9.118)	0.131 ** (8.527)	0.131 ** (9.992)	<i>C</i> ₂₂	0.161	0.019	8.566	0.000 **
<i>C</i> ₂₃	0.048 (1.681)	0.076 * (2.066)	0.063 * (2.245)	<i>C</i> ₂₃	0.09	0.031	2.926	0.003 **
<i>C</i> ₂₄	0.100 ** (10.241)	0.087 ** (6.171)	0.092 ** (8.590)	<i>C</i> ₂₄	0.076	0.013	5.66	0.000 **
<i>C</i> ₂₅	0.049 ** (4.982)	0.040 ** (3.071)	0.038 ** (3.579)	<i>C</i> ₂₅	0.041	0.012	3.477	0.001 **
<i>C</i> ₂₆	0.032 * (2.372)	0.037 * (2.107)	0.038 ** (2.695)	<i>C</i> ₂₆	0.048	0.016	2.974	0.003 **
<i>C</i> ₂₇	0.071 * (2.106)	0.067 (1.412)	0.059 (1.623)	<i>C</i> ₃₁	0.08	0.026	3.049	0.002 **
<i>C</i> ₃₁	0.072 ** (3.522)	0.069 * (2.533)	0.075 ** (3.482)	<i>C</i> ₃₃	0.04	0.012	3.492	0.000 **
<i>C</i> ₃₂	0.017 (1.948)	0.003 (0.254)	0.007 (0.732)	<i>C</i> ₄₁	0.07	0.012	5.84	0.000 **
<i>C</i> ₃₃	0.041 ** (4.408)	0.044 ** (4.250)	0.043 ** (4.926)	<i>C</i> ₄₄	0.162	0.056	2.907	0.004 **
<i>C</i> ₃₄	0.012 (0.722)	0.026 (1.102)	0.024 (1.392)	<i>C</i> ₄₅	-0.099	0.043	-2.301	0.021 *
<i>C</i> ₄₁	0.043 ** (4.662)	0.059 ** (3.877)	0.054 ** (4.474)	<i>C</i> ₅₅	0.062	0.016	3.831	0.000 **
<i>C</i> ₄₂	-0.130 ** (-5.318)	-0.015 (-0.208)	-0.100 ** (-2.772)	<i>C</i> ₆₅	0.029	0.01	2.893	0.004 **
<i>C</i> ₄₃	0.008 (0.889)	0.000 (0.026)	0.001 (0.161)	<i>C</i> ₆₁	0.042	0.008	5.373	0.000 **
<i>C</i> ₄₄	0.136 ** (3.075)	0.194 ** (3.467)	0.170 ** (3.928)	<i>C</i> ₆₂	0.244	0.024	10.348	0.000 **
<i>C</i> ₄₅	-0.089 ** (-2.706)	-0.133 ** (-3.696)	-0.121 ** (-4.032)	<i>C</i> ₆₃	0.136	0.017	7.821	0.000 **
<i>C</i> ₅₁	0.026 ** (3.214)	0.009 (0.757)	0.014 (1.596)	<i>C</i> ₆₄	0.133	0.019	6.971	0.000 **
<i>C</i> ₅₂	0.012 (1.461)	0.002 (0.134)	0.005 (0.509)	<i>C</i> ₆₅	0.048	0.02	2.427	0.015 *
<i>C</i> ₅₃	0.027 (1.865)	0.003 (0.181)	0.015 (0.989)					
<i>C</i> ₅₄	-0.007 (-0.503)	-0.000 (-0.013)	0.004 (0.288)					
<i>C</i> ₅₅	0.032 * (2.471)	0.030 * (2.213)	0.030 * (2.560)					
<i>C</i> ₅₆	0.021 ** (2.831)	0.024 * (2.450)	0.023 ** (3.071)					
<i>C</i> ₆₁	0.063 ** (8.542)	0.052 ** (2.687)	0.059 ** (4.831)					
<i>C</i> ₆₂	0.110 ** (5.991)	0.150 ** (5.470)	0.129 ** (6.058)					
<i>C</i> ₆₃	0.129 ** (10.092)	0.128 ** (10.130)	0.129 ** (11.796)					
<i>C</i> ₆₄	0.146 ** (10.019)	0.138 ** (8.463)	0.140 ** (10.085)					
<i>C</i> ₆₅	0.034 * (2.360)	0.041 * (2.488)	0.038 ** (2.707)					
<i>C</i> ₆₆	0.015 (1.420)	0.010 (0.834)	0.011 (1.129)					
<i>R</i> ²	0.99	0.993	0.992					
调整 <i>R</i> ²	0.985	0.984	0.988					
样本量 Sample size	104	104	104					
检验 Test	<i>F</i> (31,72)= 225.182 , <i>P</i> =0.000	<i>F</i> (31,47)= 202.897 , <i>P</i> =0.000	<i>X</i> ² (31)= 8414.168 , <i>P</i> =0.000					

因变量:耦合协调度 *T* 值; **P*<0.05, ***P*<0.01; 括号里面为 *t* 值

3 结果与分析

3.1 长三角城市群“三生”功能时空特征分析

根据 ArcGIS 10.6 平台自然断点法将评价结果分为 4 大类,即低值、中低值、中高值、高值。长三角城市群“三生”功能综合评价时空分布如图 2 所示。

生产功能:2000—2019 年间研究区生产功能整体上呈现逐步上升态势,东部、西部发展态势优于中部。

生产功能低值区稳步下降,中低值区呈现逐步扩大态势;研究期末安庆市、台州市、舟山市提升为生产功能中高值区,上海市发展成为生产功能高值区。

生活功能:2000—2019 年间研究区生活功能呈现逐步上升的态势。其中东部最发达、东部优于西部、南部优于北部。研究期末仅滁州市处于低值区,西部的安庆市、合肥市等城市位于中低值区,上海市、苏州市、南京市、杭州市等东部城市发展为高值区。

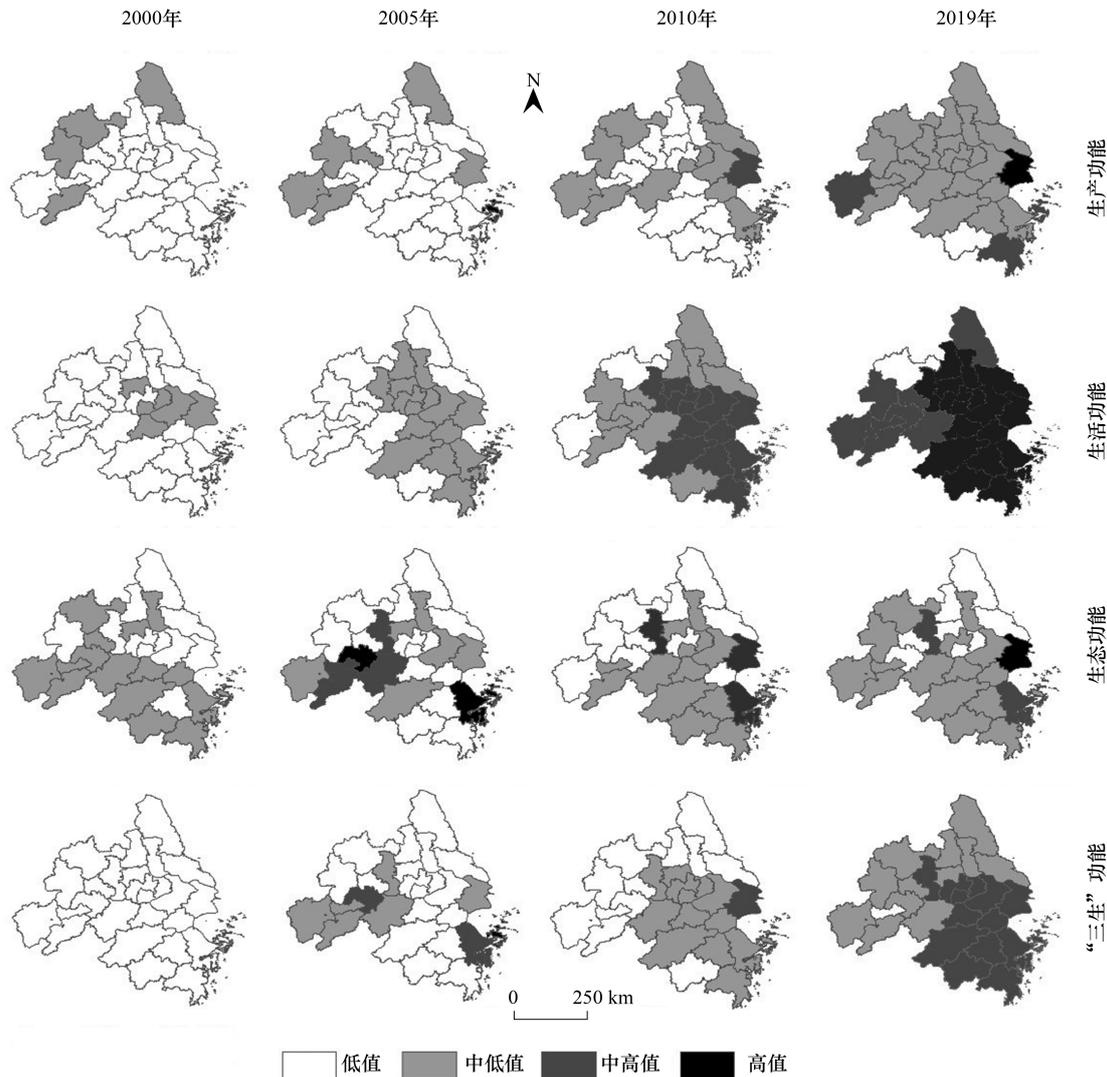


图2 “三生”功能评价空间分布图

Fig.2 “production system–life system–ecosystem” function evaluation spatial distribution map

生态功能:2000—2019 年间研究区生态功能呈现由西南部最优到东南部最优的转移、南部优于北部的趋势。上海市 2000—2019 年间生态功能逐步上升为研究区生态功能最优的城市。北部和西部的盐城市、合肥市等属于生态功能低值市,南京市和宁波市生态功能始终处于长三角城市群前列。

“三生”功能:2000—2019 年间,“三生”功能均呈现出上升趋势。2000 年研究区“三生”功能均处于低值区,2005 年东部和西部部分区域出现中低值和中高值,舟山市、宁波市、芜湖市为代表的高值、中高值市“三生”功能发展较好。2010 年和 2019 年发展为东南部优于西部、北部的趋势,基本形成“三生”功能统筹协调发展的新格局^[10]。而西部、北部由于经济发展相对较弱,人地矛盾突出,多以生产活动为主,导致生产功能、生活功能和生态功能间矛盾冲突^[49]。

3.2 长三角城市群“三生”功能耦合协调度时空分异

根据 ArcGIS 10.6 平台制作研究区 2000、2005、2010、2019 年“三生”功能耦合协调度时空分布图(图 3)。2000—2019 年间,研究区“三生”功能耦合协调度整体上呈现逐步上升态势,耦合协调性增强。

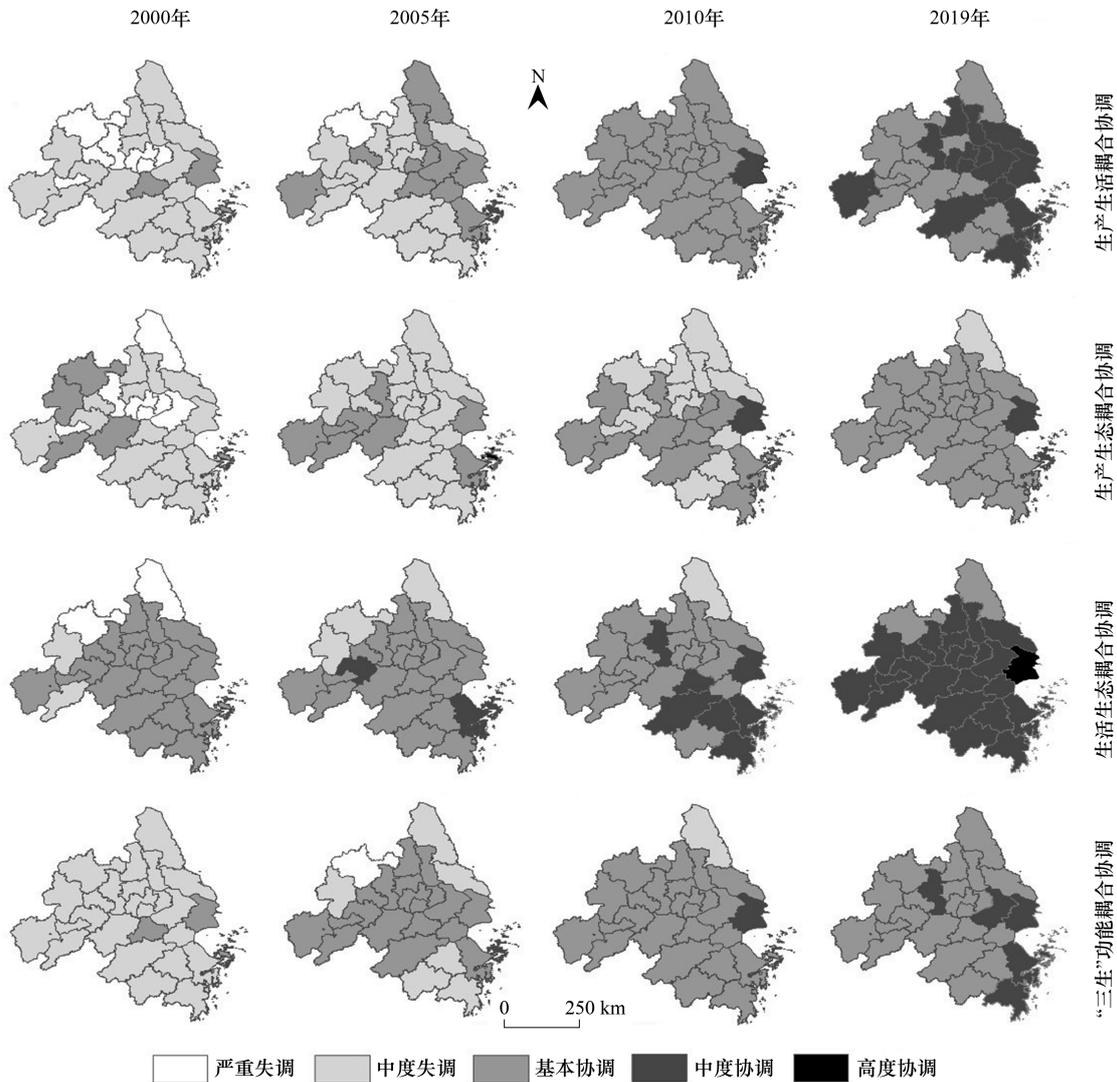


图 3 “三生”功能耦合协调度空间分布图

Fig.3 Spatial distribution map of “production system-life system-ecosystem” functional coupling and coordination degree

生产-生活耦合协调性: 2000 年严重失调、中度失调、基本协调市占比分别为 23.08%、65.38%、11.54%, 严重失调城市主要分布于研究区西北部, 中度失调城市分布范围广泛, 而基本协调市分布在研究区的东部上海市、舟山市和湖州市。2005 年严重失调城市占比下降到 3.85%, 基本协调市占比上升到 38.46%, 舟山市由基本协调上升到中度协调。2010 年研究区全部在基本协调及以上, 耦合协调度提升显著, 其中上海市上升到中度协调。2019 年变化不大, 中度协调市占比上升到 53.85%, 其余均为基本协调市。由生产功能所创造的社会经济进步促进居民生活质量的增高, “生产-生活”功能耦合协调度逐步提高。

生产-生态耦合协调性: 2000 年严重失调、中度失调、基本协调市占比分别为 23.08%、57.69%、19.23%, 严重失调城市主要分布于研究区中北部、北部和西部, 而基本协调市为东部合肥市、滁州市、池州市和宣城市。2005 年研究区生产-生态耦合协调度东部、西部优于中部和北部, 基本协调市分布在东部和西部, 中部和北部失调城市分布范围较广, 舟山市由基本协调市上升到高度协调市。2010 年基本协调城市比例上升到 46.15%,

上海市由基本协调上升到中度协调,中度失调类主要分布在北部和中南部。2019年研究区基本协调类占比88.46%,耦合协调度提升显著,上海市和舟山市为中度协调,仅盐城市为中度失调。总体而言,2000—2019年间研究区生产-生态耦合协调性逐步向好,各个城市积极实施生产节能减排、农业生产可持续发展、落实绿色GDP发展^[50]。

生活-生态耦合协调性:2000年基本协调城市分布广泛,占比84.62%,主要分布在研究区中部、东南部;中度失调城市包括合肥市和池州市;严重失调城市为盐城市和滁州市。2005年盐城市、滁州市提升为中度失调城市,合肥市维持中度失调状态。芜湖市、宁波市和舟山市提升为中度协调城市;其余城市为基本协调城市,占比76.92%。2010年中度失调城市仅剩盐城市,基本协调城市占比65.38%;中度协调城市由2005年的3个城市增加为中部的南京市和东南部的上海市等8个城市,占比30.77%。2019年全部消除失调城市,基本协调城市仅有滁州市和盐城市;中度协调城市占比88.46%;上海市提升为高度协调城市。总体而言,2000—2019年间研究区生活-生态耦合协调性呈现逐步增长的特征,整体上东部优于西部、南部优于北部。研究区生活功能和生态功能可以相互促进发展。

生产-生活-生态耦合协调性:2000年基本协调城市只有上海市和湖州市;其余城市为中度失调城市。2005年除滁州市由中度协调降为严重失调外,中度失调城市分布在南部、西北部和东北部,占比23.08%;基本协调城市占比上升到69.23%;舟山市提升为中度协调城市。2010年消除中度失调城市,中度失调城市仅为盐城市,上海市提升为中度协调城市,其余城市均为基本协调。2019年基本协调城市占比为76.92%;中度协调城市增加到6个。整体而言,2000—2019年间研究区生产-生活-生态耦合协调性整体上东部优于西部、南部优于北部,耦合协调性逐步提升。“三生”功能均呈现良好互动的可持续发展。

3.3 长三角城市群“三生”功能耦合协调发展影响因素分析

根据模型分析结果(表4),长三角城市群“三生”功能耦合协调度 T 和21个自变量存在平稳关系。在生产功能影响因素中,各项指标值与耦合协调度有相关关系,对生产功能的耦合协调发展起到了推动作用。其中 C_{13} 、 C_{22} 的回归系数分别为0.293、0.161,均大于0.15,表明农业机械总动力推进农业现代化发展,对生产功能的耦合协调将起到促进作用;固定资产投资通过加快非农产业的快速发展,促进了“三生”功能的耦合协调性。

在生活功能影响因素中, C_{31} 、 C_{33} 、 C_{41} 、 C_{44} 这4项指标与“三生”功能耦合协调发展呈现正相关关系。近20年来随着经济社会的发展和城镇居民收入的提高促进了“三生”功能协调发展。

在生态功能影响因素中, C_{55} — C_{56} 、 C_{61} — C_{65} 这7项指标的增加与耦合协调发展均呈现正相关关系。其中 C_{62} 、 C_{63} 、 C_{64} 的回归系数分别为0.244、0.136、0.133,均大于0.13,这三项指标均为城市环境基础设施建设。其中草地面积(C_{62})直接反映区域绿地覆盖率,建成区绿化覆盖率(C_{63})、人均公园绿地面积(C_{64})反映城市休憩绿地覆盖水平,在调节城市温度、净化空气、改善人居环境等方面极大的促进了生态功能耦合协调发展。

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1)上海市应继续发挥自身在生产、经济、文化等方面的优势。一方面注重自身的自然环境、生态质量方面的建设,加强区域生态环境保护力度,带动区域国土空间“三生”功能实现可持续发展;另一方面继续强化自身在经济金融方面的优势辐射带动研究区区域经济社会发展。

(2)南京市、苏州市、杭州市等经济社会发展较好的城市应依托临近长三角城市群优势加大产业结构化调整,注重区域生态环境朝着高质量可持续化方向迈进,在生态环境保护和经济社会发展间找到一个平衡点推动“三生”功能的良性发展。

(3)长三角城市群西部、北部部分城市在保护当地生态环境质量促进人地协调发展同时,进一步推动适宜当地发展的优势产业促进经济发展,加大社会保障和基础设施的发展力度,实现区域“三生”功能良性

互动。

4.2 结论

本文从“三生”功能视角构建长三角城市群评价指标体系,并运用耦合协调度模型、Robust 回归分析探究“三生”功能发展状况及其影响因素,结论如下:

(1)2000—2019 年间,“三生”功能整体稳步提升,在区域内呈现“东部优于西部,南部优于北部,东南部发展最优”的分布格局,上海市处于“三生”功能发展高值区。

(2)2000—2019 年间,“三生”功能耦合协调度逐步提高,区域内呈现东部、东南部为主要高值区、沿海优于内陆的分布格局。西部、北部部分城市生态环境问题依然严峻,土地矛盾日趋激烈,产业结构优化滞后等都制约着“三生”功能协调发展。

(3)地均农业机械总动力、地均固定资产投资、城镇常住居民人均可支配收入、草地面积、建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积等因素对研究区“三生”功能耦合协调发展起到了明显推动作用;而农村常住居民人均可支配收入对“三生”功能耦合协调起到了限制作用,可能原因是农村居民收入的提高加快了农村宅基地的建设,而农村宅基地利用的规划缺失导致农村建设道路、绿化、企业环评的滞后,出现脏乱差现状。从而导致“三生功能”协调度降低。

参考文献 (References):

- [1] 张衍毓, 陈美景. 国土空间系统认知与规划改革构想. 中国土地科学, 2016, 30(2): 11-21.
- [2] 张路路, 郑新奇, 孟超, 张蓬涛. 湖南省土地多功能耦合协调度时空分异. 中国土地科学, 2019, 33(3): 85-94.
- [3] Zhang Y N, Long H L, Tu S S, Ge D Z, Ma L, Wang L Z. Spatial identification of land use functions and their tradeoffs/synergies in China: implications for sustainable land management. Ecological Indicators, 2019, 107: 105550.
- [4] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 郭柏枢, 杨俊. 2005-2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [5] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 祁新华, 胡国建, 李欣. 闽三角城市群生产-生活-生态时空格局演化与功能测度. 生态学报, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [6] Luo G P, Zhou C H, Chen X, Li Y. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: a case study of Sangong River watershed, Xinjiang, China. Journal of Environmental Management, 2008, 88(4): 775-783.
- [7] Li Y R, Cao Z, Long H L, Liu Y S, Li W J. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban-rural development: the case of Mu Us Sandy Land, China. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 697-715.
- [8] Xie G D, Zhen L, Zhang C X, Deng X Z, Koenig H J, Tscherning K, Helming K. Assessing the multifunctionalities of land use in China. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(4): 311-318.
- [9] Tang Z. An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment. Tourism Management, 2015, 46: 11-19.
- [10] 张景鑫. 基于“三生空间”的区域国土空间利用质量及耦合协调度评价——以苏南城市群为例. 农业科学研究, 2017, 38(3): 57-63.
- [11] 黄金川, 娜英. 哈萨克斯坦城镇化与生态环境耦合过程与机理分析. 干旱区地理, 2021, 44(4): 1141-1152.
- [12] 李广东, 方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65.
- [13] 黄安, 许月卿, 卢龙辉, 刘超, 张益宾, 郝晋珉, 王惠. “生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展. 地理科学进展, 2020, 39(3): 503-518.
- [14] 李慧燕. “三生”空间理念下京津冀城市群新型城镇化协调发展研究. 生态经济, 2021, 37(5): 92-98.
- [15] 刘沛, 段建南, 王伟, 曾敏. 土地利用系统功能分类与评价体系研究. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(1): 113-118.
- [16] 牛雅萱, 吴世新, 郭晨宇, 庄庆威, 谢聪慧, 张子慧, 罗格平. 新疆县市“三生”功能时空变化及耦合协调性分析. 干旱区地理, 2021, 44(06): 1821-1835.
- [17] 赵宏波, 魏甲晨, 孙东琪, 王爽, 刘雅馨, 谭俊涛. 大城市内部“生产-生活-生态空间”多尺度耦合协调度——以郑州市为例. 资源科学, 2021, 43(5): 944-953.
- [18] 康庆, 郭青霞, 秦明星, 许彩彩, 张曼玉, 赵辰, 张扬. 山西省“三生”功能耦合协调度时空分异. 江苏农业科学, 2021, 49(7): 209-216.
- [19] 庞丽, 周兴, 韦芦桂. 2009—2018 年广西国土空间“三生”功能评价及耦合协调性分析. 水土保持通报, 2021, 41(1): 237-244, 251-251.
- [20] 窦睿音, 张生玲, 刘学敏. 中国资源型城市“三生系统”耦合协调时空分异演变及其影响因素分析. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2021, 57(3): 363-371.

- [21] 关婧文, 石丹. 基于 GM-ES 的旅游型城镇三生空间耦合协调度预测. 数学的实践与认识, 2021, 51(16): 279-288.
- [22] 李欣, 方斌, 殷如梦, 荣慧芳. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2363-2377.
- [23] 洪惠坤, 谢德体, 郭莉滨, 胡蓉, 廖和平. 多功能视角下的山区乡村空间功能分异特征及类型划分. 生态学报, 2017, 37(7): 2415-2427.
- [24] 唐燕, 刘小榕, 李健. 京津冀城市群“新四化”协调性评价及优化路径. 统计与决策, 2021, 37(12): 174-177.
- [25] 肖晔, 赵林, 吴殿廷. 中国会展业与会展教育耦合协调度评价及影响因素. 经济地理, 2020, 40(3): 119-128.
- [26] 王春艳, 张景翔, 龙洁, 刘毅. 基于面板数据回归模型的家庭水-能消费时空特征与影响因素. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(3): 614-626.
- [27] 张正岩, 宁兆硕, 高延雷, 王志刚. 农业补贴对化肥投入量的影响究竟如何? ——基于省区主要补贴作物面板数据的分析. 数理统计与管理, 2021, 40(4): 720-736.
- [28] 王立平, 陈俊. 中国雾霾污染的社会经济影响因素——基于空间面板数据 EBA 模型实证研究. 环境科学学报, 2016, 36(10): 3833-3839.
- [29] 陈晓丽, 罗玛诗艺. 长江经济带“三生”空间功能耦合协调的时空演化特征研究. 国土资源科技管理, 2019, 36(6): 1-12.
- [30] 陈百明, 张凤荣. 我国土地利用研究的发展态势与重点领域. 地理研究, 2011, 30(1): 1-9.
- [30] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 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. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [32] 郭天威, 陆春锋, 王君儒, 刘瑞程, 周生路. 基于三生空间耦合的生态安全格局构建与优化——以扬州市为例. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2021, 45(5): 133-142.
- [33] 窦睿音, 张生玲, 刘学敏. 中国资源型城市“三生系统”耦合协调发展研究. 统计与决策, 2021, 37(2): 98-102.
- [34] 梁雪玮, 张宇. 山东省乡村三生空间耦合协调时空格局演化特征. 江苏农业科学, 2021, 49(1): 20-27.
- [35] 刘小波, 王玉宽, 李明, 刘勤, 张宇欣, 祝愿媛. 典型山区农户生计策略与土地“三生”功能耦合协调度分析. 山地学报, 2020, 38(4): 596-607.
- [36] 金贵. 国土空间综合功能分区研究——以武汉城市圈为例[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- [37] 宋光兴, 杨德礼. 基于决策者偏好及赋权法一致性的组合赋权法. 系统工程与电子技术, 2004, 26(9): 1226-1230, 1290-1290.
- [38] 姚绍红. 熵权法在多因素评估系统中的应用与研究. 电脑知识与技术, 2015, 11(27): 200-201, 209-209.
- [39] 朱彩霞, 孙海清. 生态文明视角云南省森林生态经济耦合系统协调发展研究. 林业经济问题, 2019, 39(5): 482-489.
- [40] 关靖云, 瓦哈甫·哈力克, 赵恒山, 姚一平, 赵佳丽, 伏吉芮. 新疆各县市自我发展能力测算及时空演变分析. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2015, 49(6): 958-966.
- [41] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化. 地理研究, 2018, 37(6): 1100-1114.
- [42] 倪维秋. 中国三大城市群城市土地利用经济、社会、生态效益的耦合协调性及其空间格局. 城市发展研究, 2016, 23(12): 69-77.
- [43] 李秋颖, 方创琳, 王少剑. 中国省级国土空间利用质量评价: 基于“三生”空间视角. 地域研究与开发, 2016, 35(5): 163-169.
- [44] 安悦, 周国华, 贺艳华, 毛克彪, 谭雪兰. 基于“三生”视角的乡村功能分区及调控——以长株潭地区为例. 地理研究, 2018, 37(4): 695-703.
- [45] 方创琳, 贾克敬, 李广东, 王岩. 市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析. 生态学报, 2017, 37(15): 5198-5209.
- [46] 林佳, 宋戈, 张莹. 国土空间系统“三生”功能协同演化机制研究——以阜新市为例. 中国土地科学, 2019, 33(4): 9-17.
- [47] 樊欢欢, 刘荣. EViews 统计分析与应用(第二版). 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [48] 黄木易, 程志光. 区域城市化与社会经济耦合协调发展度的时空特征分析——以安徽省为例. 经济地理, 2012, 32(2): 77-81.
- [49] 李维维, 陈田, 马晓龙. 中国旅游化与城市化耦合协调关系的省际格局及形成机制分析. 旅游科学, 2018, 32(5): 14-29, 80-80.
- [50] 匡文慧. 新时代国土空间格局变化和美丽愿景规划实施的若干问题探讨. 资源科学, 2019, 41(1): 23-32.