



奉婷,余筱东,董仁玲,张凤荣,李灿. 耦合视角下广西北部湾经济区“三生”功能协调度的时空演变与影响因素[J]. 中国农业大学学报,2024,29(12):303-316.
FENG Ting, YU Xiaodong, DONG Rengling, ZHANG Fengrong, LI Can. Spatial-temporal evolution and influencing factors of the coordination degree of “production-living-ecological” functions in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone from the coupling perspective[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024,29(12):303-316.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.12.26

耦合视角下广西北部湾经济区“三生”功能协调度的时空演变 与影响因素

奉婷¹ 余筱东¹ 董仁玲¹ 张凤荣² 李灿³

(1. 广西大学 公共管理学院, 南宁 530004;

2. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193;

3. 华南农业大学 公共管理学院, 广州 510642)

摘要 为揭示广西北部湾经济区“生产—生活—生态”功能耦合协调关系及其影响因素时空差异,构建2010—2020年国土空间“三生”功能评价指标体系,运用耦合协调度模型剖析功能关系,采用时空地理加权回归模型探讨“三生”功能协调度影响因素时空异质性。结果表明:1)北部湾经济区区县生产、生活功能逐步提升,生产与生活功能空间呈“中、东、南高一西、北低”空间格局,生态功能小幅下降,空间格局与生产、生活功能相反;南宁城区生产、生活功能高值区具有扩散效应,玉林、沿海城区生产、生活功能高值区处极化阶段。2)生产、生活功能提升推动“三生”功能耦合协调度提高,由基本协调向中度协调迈进,“三生”功能冲突逐步减小。各区县“三生”功能基本协调为主导型,中度协调呈扩散阶段,高度协调初现极化。3)地形是“三生”功能耦合协调关系空间格局形成基础,人均GDP为关键因素;人口城镇化、土地城镇化、产业结构二元性、全社会固定资产投资、农业劳动力、农业机械总动力、耕地保护强度与生态保护强度对“三生”功能耦合协调度作用程度及范围既与区域社会经济发展阶段有关,也存在区域差异。广西北部湾经济区“三生”功能耦合协调关系及其影响因素具有时空分异性,区县生产、生活功能提升是功能协调的关键。研究结果可为区域以“三生”功能协调发展为目标的国土空间高效及可持续利用提供参考依据。

关键词 “三生”功能; 耦合协调; 时空演变; 时空地理加权回归; 广西北部湾经济区

中图分类号 F301.2;K902

文章编号 1007-4333(2024)12-0303-14

文献标志码

Spatial-temporal evolution and influencing factors of the coordination degree of “production-living-ecological” functions in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone from the coupling perspective

FENG Ting¹, YU Xiaodong¹, DONG Rengling¹, ZHANG Fengrong², LI Can³

(1. School of Public Policy and Management, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. School of Public Administration, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract In order to reveal the coupling coordination relationship of “production-living-ecological” functions and the spatial-temporal difference of its influencing factors in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone, the study constructs the evaluation index system of the national space of “production-living-ecological” functions

收稿日期: 2024-04-16

基金项目: 广西自然科学基金项目(2021GXNSFBA220009); 广东省自然科学基金面上项目(2021A1515011696)

第一作者: 奉婷(ORCID:0009-0009-6897-3347), 博士, 讲师, 主要从事土地利用与保护研究, Email: fting@gxu.edu.cn

from 2010 to 2020, and analyzes the function relationship by using the coupling coordination degree model. The spatial-temporal heterogeneity of the factors influencing the functional coordination of "production-living-ecological" is then discussed by using the geographically and temporally weighted regression model. The results show that: 1) The production and living functions of counties in the Beibu Gulf Economic Zone are gradually improved, and the spatial pattern of production and living functions is "high in the middle, east and south, low in the north and west". The ecological function is slightly decreased, and the spatial pattern is opposite to the production and living functions. The high-value areas of production and living functions in Nanning city have diffusion effect, and the high-value areas of production and living functions in Yulin and coastal city are at the polarization stage. 2) The improvement of production and living functions promotes the coupling coordination degree of "production-living-ecological" functions to improve, from basic coordination to moderate coordination, and the functional conflict of "production-living-ecological" is gradually reduced. The basic coordination of the "production-living-ecological" functions in each district and county is the dominant type, the moderate coordination is the diffusion stage, and the high coordination is the initial polarization. 3) Terrain is the basis for the formation of the spatial pattern of the coupling coordination relationship between "production-living-ecological" functions, and per capita GDP is the key factor. Population urbanization, land urbanization, duality of industrial structure, total investment in fixed assets, agricultural labor, total power of agricultural machinery, cultivated land protection intensity and ecological protection intensity have effects on the coupling coordination degree of "production-living-ecological" functions, which are not only related to the stage of regional social and economic development, but also have regional differences. In Guangxi Beibu Gulf Economic Zone, the coupling coordination relationship of "production-living-ecological" functions and its influencing factors are spatial-temporal, and the improvement of production and living functions is the key to functional coordination. The research results can provide reference for the efficient and sustainable utilization of territorial space aiming at the coordinated development of "production-living-ecological" functions.

Keywords "production-living-ecological" functions; coupling and coordination; spatial-temporal evolution; geographically and temporally weighted regression model; Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

国土空间作为人类社会经济活动与生态文明建设的重要空间载体,是开展生产、生活及生态活动的基础与依托^[1]。随着我国工业化、城镇化的持续推进,导致城镇区域无序扩张及城乡资源要素配置失衡,国土空间格局演变剧烈,各功能用地关系日趋紧张^[2]。党的十八大首次明确新一轮国土空间规划坚持生产发展、生活富裕、生态良好“三生”共赢理念^[3]。土地利用中“生产—生活—生态”功能分类体系可有效衔接国土“三生”空间规划,是国土空间有序开发和综合效益提升的新视角^[4-5]。优化国土空间格局应准确把握国土空间“三生”功能相互关系变化及其原因。

国土空间功能是国土空间结构满足人类各类空间利用需求时所体现出的承载特性与能力响应,地理学将空间功能解释为自然环境可提供商品与服务,且具有对人类或自然产生现实与潜在变化的能力^[6]。国外有关多功能概念源于农业多功能并逐步扩展至土地利用多功能^[7],国内国土空间功能研

究则源于土地利用多功能^[8]。在国土空间规划坚持“三生”共赢理念与政策导向下,近年国内已有研究对国土空间“三生”功能进行内涵界定,即生产功能以土地为载体向人类提供产品与服务,生活功能为人类居住、经济发展及公共服务提供空间承载,生态功能为人类提供生态产品及服务,并承载资源消耗与环境退化带来的压力^[9-10]。基于以上“三生”功能内涵界定,“三生”功能测度以“识别—分类—评价”的研究范式运用广泛^[11],通过采用地类归并或赋分^[12-13]、指标量化^[14-15]、空间叠加^[16]等识别方法,构建功能分类评价指标体系,采用加权求和法^[17]、TOPSIS模型^[18]等评价“三生”功能,数据多源自统计数据、空间面板数据,且逐渐由单一数据来源评价转为多源时空数据综合评价^[19]。在“三生”功能关系上,功能的相互作用能够反映土地利用之间复杂的空间组织关系^[20]。“三生”功能关系的优劣是国土空间各组织之间有序共生或竞争冲突的结果。有研究在功能测度及协同演化机理的基础上,对

“三生”功能展开耦合协调^[21-22]及权衡协同^[23]等交互量化研究,并关注“三生”功能关系的空间特征及规律性。研究表明“三生”功能的耦合协调发展可发挥功能之间的协同效应,推动国土空间高效与高质量利用^[24]。同时,有研究发现“三生”功能时空特征及其关系演变是区域自然禀赋、社会经济与政策导向多因素综合作用结果^[25],已有研究多采用空间回归模型^[26-27]、主成分分析法^[8]、地理探测器模型^[28]等方法剖析“三生”功能变化影响因素的作用,识别主要因素及因素交互关系,较少关注“三生”功能竞争或协调关系形成的原因。“三生”功能耦合协调发展关系不仅因各类影响因素作用会存在区域差异,同时各影响因素作用的时间积累效应也不可忽视^[29]。由地理加权回归模型^[30]扩展衍生的时空地理加权回归模型^[31]在考量空间差异基础上兼顾时间效应,借此可从时间、空间 2 个维度探究影响因素在不同区域与社会经济发展阶段下,各自对功能关系作用变化。

广西北部湾经济区地处华南、西南和东盟经济圈结合部,是中国面向东盟的战略前沿及西南地区最便捷海上通道,具“沿海沿边”区位优势。该区域为云贵高原向东南沿海丘陵的过渡地带,山海陆交错,自然资源丰富,生态环境容量大,人口承载力高,发展潜力大。近年,作为我国面向东盟开放合

作的窗口,广西北部湾经济区深度融入共建“一带一路”,区域产业结构转型升级、劳动力资源集聚、经济总量快速增长。经济区国土空间开发利用变化剧烈,空间功能关系复杂,已有研究开始关注到北部湾经济区国土空间“三生”功能及其耦合协调关系演变^[32-33],而对该区域“三生”功能耦合协调关系变化影响因素作用研究鲜有涉及。本研究选择广西北部湾经济区区县单元作为研究对象,对 2010、2015、2020 年 3 个时间节点国土空间“三生”功能评价,运用耦合协调度模型揭示功能关系时空演化规律,通过时空地理加权回归模型剖析影响“三生”功能耦合协调关系时空分异的因素,以期探索广西北部湾经济区国土空间功能提升与协调发展路径,为区域可持续发展提供思路。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

广西北部湾经济区位于广西南部(图 1(a))。经济区中部为南宁、东部为玉林、西部为崇左以及南部沿海北海、钦州、防城港,共 6 市(图 1(b))、38 个区县(市)(图 1(c)),行政区面积约 4.25 万 km²。地形呈“西北高一中部、东南部低”态势,南宁盆地、玉林盆地与南流江三角洲地势平坦,西部喀斯特地貌广布(图 1(c))。境内水资源、森林资源丰富,左

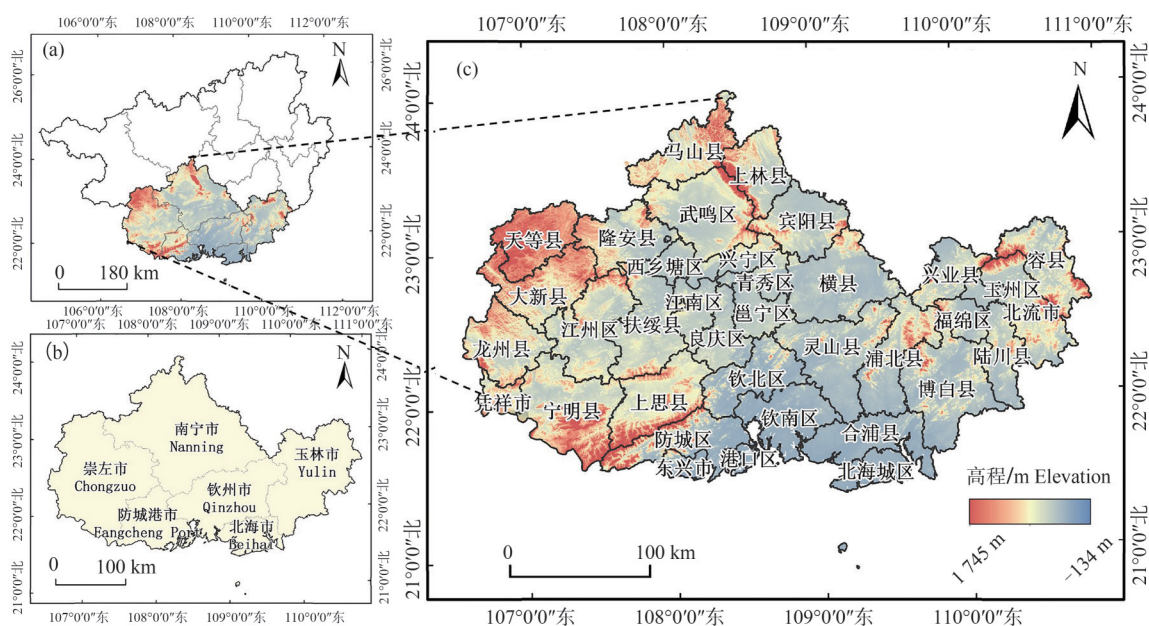


图 1 广西北部湾经济区地理位置(a)及其地级市(b)地级市与区县(c)

Fig. 1 Geographic location of Guangxi Beibu Gulf Economic Zone (a) and its cities (b) and counties (c)

江、右江、邕江顺势由西北向东南汇入珠江和北部湾,森林覆盖率达50%以上。2020年,区域常住人口为2 282.86万人,占广西总人口数45.41%,首府南宁及东部玉林人口聚集。经济区生产总值为10 694.10亿元,占广西GDP总量40.67%,三大产业结构比例为3:6:11。“一带一路”倡议实施以来,依托区位优势,区域工业化与城镇化高速转型,社会经济发展为国土空间开发与利用带来深刻影响。

1.2 数据来源及处理

以2010、2015、2020年为时间节点,区县(市)为研究单元,各类数据获取途径如下:1)社会经济、农业生产数据来源于《广西统计年鉴》《中国县域统计年鉴》以及经济区各市统计年鉴;2)矢量数据:行政区边界、交通路网数据、水系来源于中国科学院资源与环境数据中心(<https://www.resdc.cn/>);3)栅格数据:土地利用现状遥感监测数据、植被类型空间分布数据、DMSP/OLS和NPP-VIIRS卫星夜光遥感影像数据,均来自中国科学院资源与环境数据中心,空间分辨率均为1 km,均通过面积加权求和法转为面板数据;4)植被净初级生产力来自MODIS产品MOD17A3HGF,空间分辨率为500

m,通过面积加权求和法转为面板数据;5)碳排放数据来源于中国碳核算数据库(<https://www.ceads.net.cn/>);6)POI数据源自高德地图API接口,通过数据筛选,选取有效POI,利用ArcGIS将其转换为空间数据(<https://lbs.amap.com/>);7)通过Python软件在人民政府门户网站分别根据“耕地红线”“基本农田保护”“高标准基本农田建设”与“生态保护”“生态红线”等关键词爬取各时间节点前后共3年的耕地、生态保护政策公文。

2 研究框架与方法

2.1 研究框架

本研究遵循“功能评价-耦合协调-影响因素”分析框架(图2):基于“三生”功能内涵界定与相互关系剖析,构建“三生”功能评价指标体系并进行功能评价;以“三生”功能评价为基础,引入可表征功能之间相互作用、相互协调状况的耦合协调度模型,定量测算功能相互配合、良性互动水平;最后,借助时空地理加权回归模型,探究自然禀赋、社会经济与政策导向各影响因素对“三生”功能耦合协调度演变作用的时空差异性。

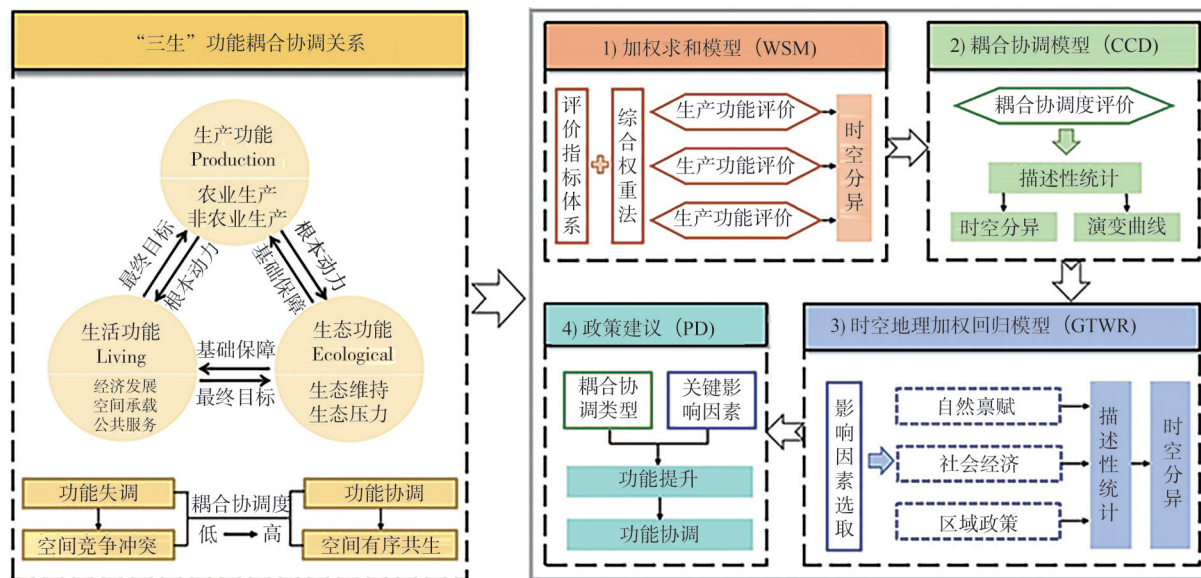


图2 “三生”功能耦合协调关系及研究框架

Fig. 2 Coupling coordination relation and analysis framework for "production-living-ecological" functions

2.2 研究方法

2.2.1 “三生”功能评价指标体系

国土空间是人类社会经济活动重要载体,因自然本底、要素组成结构差异,各类空间可分为生产、生活与生态3种主导功能^[8]。明确“三生”

功能内涵与关系,参考已有研究^[9-10,25],结合区域兼具喀斯特及海岸带自然地理特征,咨询专家及多轮筛选基础上,遵循科学性、实用性、可操作性与区域性原则,最终确定“三生”功能评价指标体系(表1)。

表 1 “三生”功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of "production-living-ecological" functions

目标层 Destination layer	准则层 Criterion layer	指标层 Index level	指标说明或计算方法 Index description or calculation method	单位 Unit	指标权重 Index weight	属性 Property
生产功能 Production function	农业生产	粮食生产力	粮食总产量/耕地面积	t/hm ²	0.064	+
		复种指数	农作物总播种面积/耕地面积	%	0.060	+
		地均农业机械 总动力	农业机械总动力/耕地面积	kW·h/hm ²	0.102	+
		地均一产产值	一产产值/土地总面积	万元	0.135	+
	非农业生产	工矿建设用地占比	工矿建设用地/土地总面积	%	0.180	+
		地均二、三产产值	二、三产产值/土地总面积	万元/km ²	0.335	+
		二、三产增加值占比	二、三产增加值/区域生产总值	%	0.122	+
生活功能 Living function	经济发展	城乡均衡发展指数	城镇居民人均可支配收入 /农村居民人均可支配收入		0.086	—
		人均社会消费品零 售额	社会消费品零售额/区域常住人口	元/人	0.196	+
	空间承载	建成区面积	城镇、农村居民点建成区面积	km ²	0.116	+
		公路网密度	公路里程数/土地总面积	km/km ²	0.090	+
		夜间灯光强度	反映人类活动强度与聚集性		0.176	+
	公共服务	千人中小学拥有量	中小学数量/区域常住人口	所/10 ³ 人	0.136	+
		万人医疗床位拥 有量	医院床位数/区域常住人口	张/10 ⁴ 人	0.094	+
万人公园广场拥 有量		公园广场(POI)/区域常住人口	个/10 ⁴ 人	0.106	+	
生态功能 Ecological function	生态维持	水域面积占比	水域面积/土地总面积	%	0.241	+
		生物丰度指数 ^[8]	反映生物多样性丰贫程度		0.150	+
		植被净初级生产力	区域碳循环水平(以碳计)	g/(m ² ·a)	0.285	+
	生态压力	地均碳排放量 ^[17]	反映产业碳排放效率	kt/km ²	0.145	—
		耕地碳足迹 ^[34]	反映农业生产碳排放	kt	0.110	—
		土地退化程度	反映区域盐碱化、石漠化程度	%	0.069	—

注：“+”表示正向指标；“—”表示负向指标。土地退化程度＝盐碱地与裸岩石砾地面积/土地总面积。

Note: + indicates a positive index and — indicates a negative index. The degree of land degradation is the ratio of saline-alkali land and bare rock and gravel land to the total land area.

2.2.2 “三生”功能指数评价模型

为消除量纲不同的影响,采用极差法对指标原始数据进行标准化处理,取值范围[0,1],同时考虑到主观赋权法主观随意性及客观赋权法未兼顾决策者主观信息问题,采用熵权法结合层次分析法而得的组合赋权法确定指标权重^[25],最终采用加权求和测度模型计算“三生”功能指数^[26]。其计算公式如下:

$$S_p = \sum_{a=1}^n u_a \times p_a \tag{1}$$

$$S_l = \sum_{b=1}^n u_b \times l_b \tag{2}$$

$$S_e = \sum_{c=1}^n u_c \times e_c \tag{3}$$

式中: S_p 、 S_l 、 S_e 分别为生产、生活和生态功能评价价值; p_a 、 l_b 、 e_c 分别为“三生”功能中各指标标准化值; u_a 、 u_b 、 u_c 分别为各功能的指标权重, a 、 b 、 c 分别为各功能的指标个数。

2.2.3 “三生”功能耦合协调度模型

耦合协调度可表征2个及以上系统相互作用过程中关系的协调程度,本研究引入耦合协调度模

型,测度生产、生活与生态功能之间协调发展水平,“三生”功能协调发展水平越高,功能关系趋向有序共生,功能之间矛盾冲突趋缓减弱^[35]。耦合协调度计算公式如下:

$$C = 3 \times \left\{ \frac{S_p \times S_l \times S_e}{(S_p + S_l + S_e)^3} \right\}^{1/3} \tag{4}$$

$$T = \alpha \times S_p + \beta \times S_l + \gamma \times S_e \tag{5}$$

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{6}$$

式中: C 为“三生”功能的耦合度,取值范围为[0,1]; S_p 、 S_l 、 S_e 分别为北部湾经济区各县区生产、生活、生态功能的评价价值; T 为“三生”功能的综合发展度,取值范围为[0,1]; α 、 β 、 γ 分别为生产功能、生活功能、生态功能的待定系数,确定待定系数为 $\alpha=\beta=\gamma=1/3$; D 为生产功能、生活功能、生态功能的耦合协调度。通过参考相关文献^[17,21-22],并根据研究区“三生”功能的发展水平与实际情况,将耦合协调类型分为严重失调、中度失调、基本协调、中度协调和高度协调5大类型(表2)。

表2 “三生”功能耦合协调度类型划分

Tab. 2 Classification of coupling coordination degrees of "production-living-ecological" functions

类型 Type	耦合协调度 Coupling coordination degree	特征 Characteristic
严重失调 Severe disorder	[0.00, 0.40]	均呈低水平,功能关系无序、冲突性强。
中度失调 Moderate disorder	[0.40, 0.50]	存在某两种功能滞后,功能关系相互制衡。
基本协调 Basic coordination	[0.50, 0.60]	向中等水平发展,功能关系存在某种功能滞后的制约性。
中度协调 Moderate coordination	[0.60, 0.70]	提升至较高水平,功能关系逐步改善并走向有序。
高度协调 High coordination	[0.70, 1.00]	均为高水平状态,功能关系步入持续有序、良性发展阶段。

2.2.4 时空地理加权回归模型

时空地理加权回归(GTWR)兼顾回归系数时间和空间非平稳性,实现对地理现象时空差异机制同步解释^[31]。本研究运用时空地理加权回归模型,探讨“三生”功能耦合协调度受各因素作用时空差异,计算公式为:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^P \beta_k(u_i, v_i, t_i) \times x_{ik} + \epsilon_i \tag{7}$$

式中: Y_i 为观测值; (u_i, v_i, t_i) 为第*i*个区县单元的时空坐标; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ 为回归的常数项; $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$ 为

第*i*个样本点在第*k*个变量的回归系数; P 为变量总数; x_{ij} 为第*k*个自变量在第*i*个样本点的值; ϵ_i 为第*i*个观测点的随机误差。

3 结果与分析

3.1 “三生”功能时空分异

根据“三生”功能评价指标体系,测度北部湾经济区2010、2015、2020年的“三生”功能指数,具体时空分异特征如图3。

3.1.1 生产功能

由图 3(a)~(c)可见空间上,2010—2020 年生产功能呈“中部、东部、南部高一西部低”格局。其中:首府南宁青秀区、西乡塘等城区生产功能中高值连片,玉林玉州区及沿海北海、钦州与防城港城区为生产功能高值区零星分布,这些区县多地处盆地及三角洲平原,地势平缓且水热充足,农业生产条件优越,产业集群并基础良好;北部马山、上林及西部大新、龙州、宁明等区县生产功能为低值,这些区县多分布喀斯特山区,地形受限下农业生产条件差、产业基础薄弱并缺乏动力。时间上,2010—2020 年区域生产功能均值分别为 0.17、0.22 与 0.26,生产功能稳步上升。首府及沿海城区已形成生产功能增长极,产业发展与融合初见成效,然仍近半数区县为低值与较低值区,生产功能亟需提升。

3.1.2 生活功能

由图 3(d)~(f)可见:空间上,2010—2020 年生活与生产功能空间分异相近,总体呈“中部、东部、南部高一西部低”格局。生活功能高值区在首府各城区由极化现象转向扩散阶段,经济加速、产业转型下人口集聚,居民收入提升,公路网密度、建成区面积持续扩张,公共服务与基础配套逐步完善。而沿海各城市主城区及玉林城区作为生活功能高值区尚处极化阶段。北部马山、上林因城乡发展欠均衡,农民收入渠道有限,公路网密度低,生活功能持续低下,大新、龙州等区县经济发展滞后,公共服务水平与空间承载能力较低,长期为生活功能低值区;时间上,2010—2020 年区域生活功能均值分别为 0.22、0.30 与 0.37。生活功能虽有所提升,然生活功能高低分化显著,较生产功能而言,生活功能

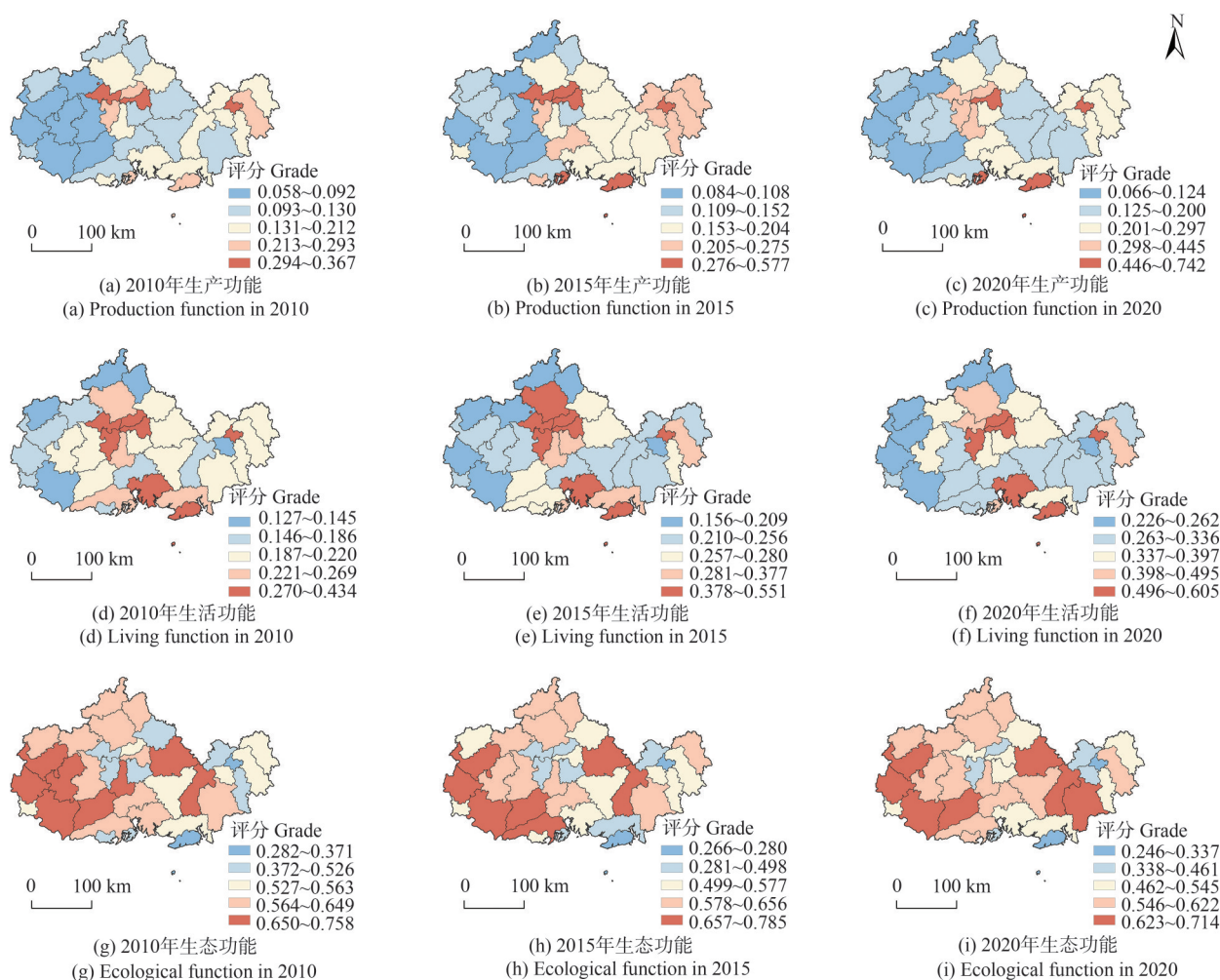


图 3 广西北部湾经济区“三生”功能时空分异格局

Fig. 3 Spatial and temporal differentiation pattern of "production-living-ecological" functions in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

低值与较低值区县占比更严峻。

3.1.3 生态功能

由图 3(g)~(i)可见:空间上,2010—2020 年生态功能空间格局与生产、生活功能格局相反,为“西高一中部、东部、南部低”。这与北部湾经济区地形有较大关系,且深受生产、生活功能状况影响。生态功能高值区多为西南喀斯特山区,这些区县森林覆盖率高、生物多样性丰富,因地形限制区域人口总量低且分布散,生产与生活活动对生态环境压力小。南宁与玉林分别地处南宁、玉林盆地,因地势平坦,其城区长期为人口高度密集区,城镇化扩张不断挤压生态空间,生产与生活功能增加,区域生态承载力降低。沿海区县地处海岸带生态敏感区,土地盐碱化程度高,钢铁、石油等临港产业集群下环境污染严重,土地退化隐患增加;时间上,2010—2020 年生态功能均值分别为 0.58、0.57 与 0.55,尽管各时期经济区生态功能均值较生产、生活功能均值更高,但区域生态功能整体呈下降态势,表明生态功能总体合理却有恶化倾向。

3.2 “三生”功能耦合协调度时空演变

基于 2010—2020 各区县“三生”功能评价结果,借助耦合协调度模型测算“三生”功能耦合协调度,运用频数分析法结合耦合协调类型统计结果拟合成演变曲线,同时通过 ArcGIS 平台对区县耦合协调度进行空间可视化,结果见图 4 和表 3。由表 3 可见:2010、2015、2020 年区县“三生”功能耦合协调度指数平均值分别为 0.51、0.56、0.59;2010 年,县域“三生”功能耦合协调度指数均处于[0.43,0.67],中度失调、基本协调、中度协调区县占比分别为 41.66%、52.78%、5.56%,基本协调与中度失调为“三生”功能耦合协调主要类型;2015 年,区县“三

生”功能耦合协调指数介于[0.45,0.71],中度失调、基本协调、中度协调、高度协调区县所占比例分别为 19.44%、58.34%、19.44%、2.78%,中度失调区县占比大幅减少,基本协调类型占比跃居首位,出现高度协调。2020 年,区县“三生”功能协调指数均处于[0.48,0.76],中度失调、基本协调、中度协调、高度协调区县占比分别为 8.33%、55.56%、30.55%、5.56%,基本协调仍为主要类型,中度协调扩张。根据耦合协调度演变曲线可得:相较于 2010 年,2015、2020 年演变曲线以基本协调阶段为峰值的特征更加凸显,与 2015 年相比,2020 年曲线尾端中度协调类型与高度协调类型占比呈增长趋势;研究期内区县“三生”功能耦合协调演变曲线从基本协调阶段向中度、高度协调阶段演进,中度失调减幅最大,中度协调增幅最大,区县国土空间冲突逐步减少,“三生”功能整体向有序良性关系发展(图 4)。

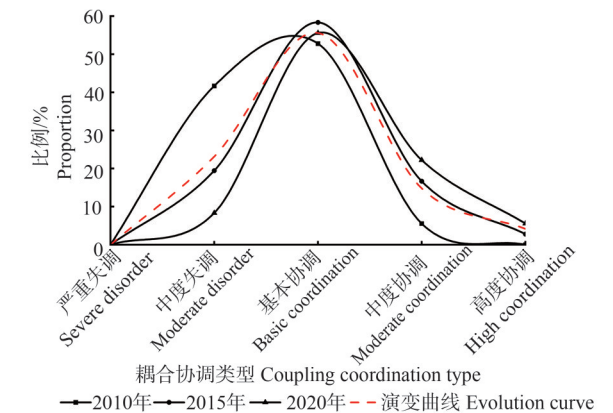


图 4 广西北部湾经济区“三生”功能耦合协调度演变曲线
Fig. 4 Evolution curve of the coupling coordination degree of "production-living-ecological" functions in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

表 3 “三生”功能耦合协调度描述性分析

Table 4 Descriptive analysis of coupling coordination degrees of "production-living-ecological" functions

年份 Year	分布范围 Distribution range	平均值 Mean	耦合协调类型所占比例/% Proportion of each coupling coordination type				
			严重失调 Severe disorder	中度失调 Moderate disorder	基本协调 Basic coordination	中度协调 Moderate coordination	高度协调 High coordination
2010	[0.43,0.67]	0.51	—	41.66	52.78	5.56	—
2015	[0.45,0.71]	0.56	—	19.44	58.34	19.44	2.78
2020	[0.48,0.76]	0.59	—	8.33	55.56	30.55	5.56

2010—2020 年区县“三生”功能耦合协调度逐步提升,尤以首府南宁、玉林与沿海城区提升显著。图 5(a)~(c)为各时期耦合协调度空间分异结果:2010 年耦合协调度空间为“西部、北部中度失调-东部基本协调”,西部及北部山区县均为中度失调,仅南宁城区中度协调呈“带状”分布,其余区县多为基本协调。2015 年部分西部山区县县转为基本协调,西部与北部其余山区县仍以中度失调为主,基本协调区县由东向西连片扩张,东部玉林及沿海城区转为

中度协调,南宁城区中度协调组团扩张、出现高度协调。2020 年各区县基本协调为主导类型,并逐步向西全域覆盖,中度协调在南宁、玉林城区及周边辐射扩张,首府城区与沿海城区呈高度协调型。2010—2015 年区县“三生”功能基本协调类型向西扩散,中度协调区县多处极化阶段,仅在南宁周边扩散;2015—2020 年基本协调向北扩散,中度协调于南宁、玉林城区周边辐射发展,高度协调于南宁与沿海呈现极化现象。

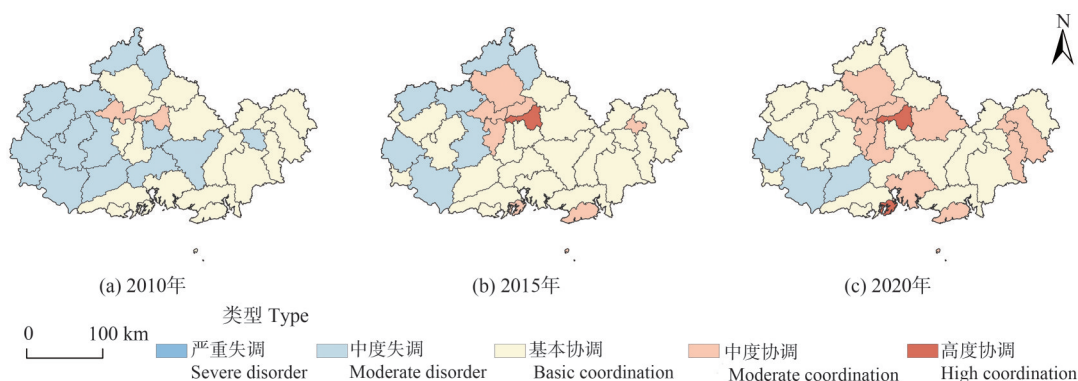


图 5 广西北部湾经济区“三生”功能耦合协调度时空分异格局

Fig.5 Spatial-temporal differentiation pattern of the coupling coordination degree of "production-living-ecological" functions in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

3.3 “三生”功能耦合协调时空分异影响因素

研究区水热充足,气候适宜性均衡,地形差异是决定人类活动与国土空间格局关键。研究期间区域经济总量增长,产业转型升级,劳动力集聚,社会经济发展对空间格局及功能影响深刻。同时,国土空间开发受财政引导与政策规制,各区县功能主导性存在差异。多因素致使功能动态博弈,进而推动功能耦合协调关系演变。本研究从自然禀赋、社会经济与政策导向 3 个方面选取地形起伏度(X_1)、农业劳动力(X_2)、农业机械总动力(X_3)、人均 GDP(X_4)、人口城镇化(X_5)、土地城镇化(X_6)、产业结构二元性(X_7)、全社会固定资产投资(X_8)、耕地保护强度(X_9)、生态保护强度(X_{10}) 10 个指标作为影响变量,其中耕地与生态保护强度以研究区各区县相关关键词爬取的政府公文频数表征。考虑到区域与社会发展阶段存在差异,影响因素对功能作用有所不同,采用时空地理加权回归模型探究各影响因素对研究区“三生”功能耦合协调度时空分异影响程度与范围。

3.3.1 GTWR 模型实证结果

本研究使用 SPSS 26 构建 OSL 模型对变量进行共线性诊断,指标 VIF 方差膨胀因子均 <5 ,通过多重共线性检验。基于 SPSS 26 构建的 OSL 模型与 GTWR_Beta1.1 构建的 GWR、GTWR 模型,选取 R^2 、Adjusted R^2 与 AIC 准则测量不同模型拟合程度并进行比较,GTWR 模型的 R^2 与 Adjusted R^2 均大于 OSL、GWR 模型,AIC 小于 OSL、GWR 模型,说明 GTWR 模型拟合程度最优,就各变量对北部湾经济区“三生”功能耦合协调度影响更具解释性(表 4)。

表 4 基于 OSL、GWR、GTWR 模型的 R^2 及 AIC

Table 4 R^2 and AIC based on the OSL, GWR and GTWR models

指标 Index	OSL	GWR	GTWR
R^2	0.894	0.945	0.965
Adjusted R^2	0.883	0.926	0.962
AIC	-161.923	-130.958	-487.451

运用GTWR模型对各时期区县“三生”功能耦合协调度影响因素进行参数估计,统计结果显示(表5):研究期内各因素回归系数分布于-0.055~0.414,耦合协调度影响因素回归系数变异存在差异,需从局部分析“三生”功能耦合协调关系时空动态性原因。

表5 基于GTWR模型的回归系数统计结果
Table 5 Statistical results of regression coefficient based on the GTWR model

影响因素 Influence factor	2010—2015年					2015—2020年				
	均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	中值 Mid	标准差 Std	均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	中值 Mid	标准差 Std
X_1	0.003	-0.041	0.072	0.001	0.023	-0.002	-0.048	0.082	-0.008	0.028
X_2	0.066	0.011	0.177	0.058	0.037	0.063	0.015	0.160	0.061	0.032
X_3	0.094	0.034	0.169	0.088	0.036	0.097	0.039	0.168	0.088	0.036
X_4	0.162	0.057	0.414	0.120	0.109	0.158	0.061	0.409	0.118	0.104
X_5	0.038	-0.027	0.086	0.045	0.028	0.041	-0.017	0.086	0.048	0.027
X_6	0.094	0.026	0.164	0.088	0.035	0.087	0.017	0.155	0.085	0.032
X_7	0.033	-0.052	0.175	0.026	0.052	0.037	-0.055	0.184	0.028	0.056
X_8	0.060	0.026	0.145	0.054	0.023	0.056	0.020	0.152	0.049	0.024
X_9	0.042	0.015	0.077	0.040	0.013	0.041	0.015	0.072	0.039	0.012
X_{10}	0.003	-0.041	0.023	0.005	0.014	0.002	-0.043	0.021	0.005	0.014

3.3.2 “三生”功能耦合协调度影响因素分析

GTWR模型解释影响因素回归系数随时空变化存在差异,作用程度及范围存在时空异质性(图6)。地形起伏度在中部、沿海区县回归系数为负值,中部南宁盆地及沿海平原地势平坦利于生产、生活空间落地,产业集群与城镇扩张下生产、生活功能值升高促进功能协调度提升,随地形起伏度增大,当生产、生活空间开发与利用受限,生产、生活功能降低,功能协调度下降;而东、西部山区多正值,是因为深山区县尽管生产、生活功能较低,但生态资源充沛优渥、功能值高,耦合协调度因生态功能强势而升高;回归系数显示,随时间推移,地形起伏度正、负向作用加深。人均GDP均为正作用,较其他因素显著,由西北山区向东南沿海递减;时间上,人均GDP回归系数降低、对各区县正作用力减弱。人口城镇化多为正影响力,且由南向北、从沿海向山区作用降低,对西部、北部少部分喀斯特山区县为负影响力;从回归系数看,时间序列上人口城镇化正向作用逐步增强。土地城镇化前后时期空间均呈“西北高一东南低”;与2010—2015年相

比,2015—2020年该因素在西部与北部影响范围更广。产业结构二元性正负作用空间分异显著,正向作用由东南向西北递减,负向作用多为北部深山区县,产业结构对东部及沿海区县耦合协调度提升作用显著;随时间推移,产业结构二元性正、负向作用略加深,正向作用呈向西北部推移态势。全社会固定资产投资为正作用,呈“东南高一西北低”,对东部及沿海区县功能协调度提升受其影响较大。农业劳动力与农业机械总动力两个时期作用格局稳定,回归系数均为正值,由中部盆地、沿海平原向东、西部山区递增,助推东、西部农业县生产效益进而提升及功能协调性提升关键。“三生”功能变化要考虑政策规制影响,尤以耕地与生态保护政策限制性较强。耕地保护强度回归系数均为正,由东、西部向中部递减,对东、西部农业区县作用较大;时间序列上耕地保护强度作用减弱。生态保护强度作用存在正负向,沿海区县均为正作用力且影响较大,西部与北部山区为负作用力,负向作用范围呈扩张态势,可适度挖掘山区自然资源,因地制宜发展特色产业及生态旅游。

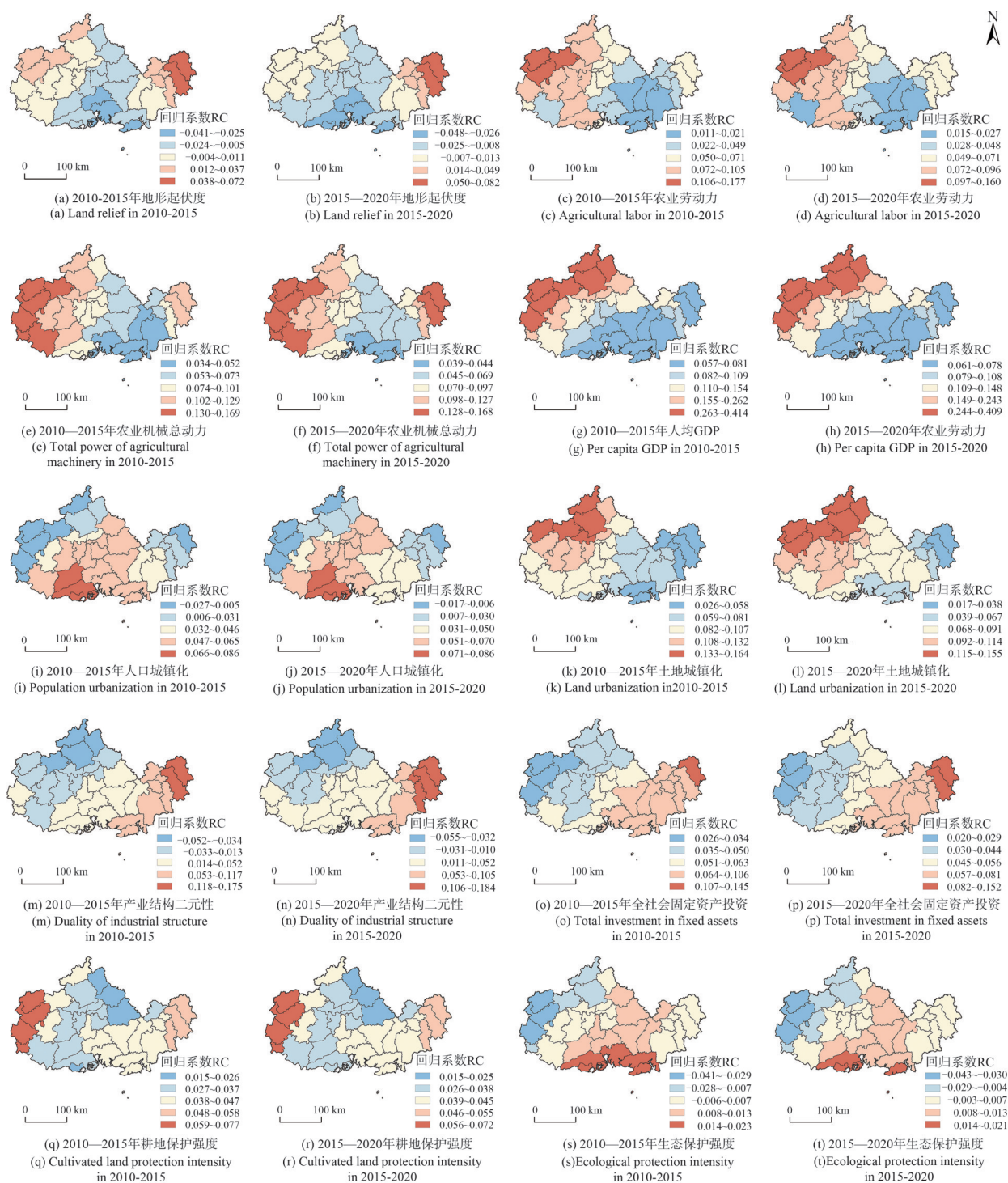


图 6 广西北部湾经济区“三生”功能耦合协调度 GTWR 模型的回归系数时空分异格局

Fig.6 Spatial-temporal differentiation pattern of regression coefficients in the GTWR model of the coupling coordination degree of "production-living-ecological" functions in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

4 建议与结论

4.1 不同“三生”功能协调度类型区域的提升建议

根据“三生”功能耦合协调类型现况,结合不同

区位资源禀赋及影响因素作用差异,明确区县“三生”功能协调发展策略,本研究提出建议如下:

1) 中度失调型:多为西南丘陵、山区农业县,石山分布多且较广,地形限制下工业产业水平整体滞

后。其中崇左龙州、宁明通过加快适应性农机研发与应用、宜机化地块改造,实施农机补贴,推进以甘蔗为首的农业生产机械化率,利用自身沿边及糖业优势,拓展糖业产业链、打造高端糖品价值链,提升生产空间功能;防城港上思可利用十万大山林业资源及生态优势,因地制宜打造绿色农产品特色品牌,发展林下经济,探索一二三产融合,实现“绿水青山”向“金山银山”转化。

2)基本协调型:西部与北部为深山区县,地形制约生产、生活功能,其森林覆盖率高、生态资源优渥,适度开发农林特色产业与生态旅游,拓宽产业增收渠道。土地城镇化对功能协调作用最强,尤以首府城区北部县域为甚,应加强农村公路网建设、注重城乡空间要素有效衔接,促进区县人口流动;中部及沿海区县,多因生活功能较低限制功能协调性,这些区县紧邻南宁与沿海城区增长极,是未来农业人口重要转移区域,推进基础设施及公共服务均等化以满足日益增长的人口城镇化需求。中部与东部之间区县同时因生产功能不足制约功能关系,通过全社会固定资产投资引导与调整社会资源分配,实现产业结构优化与技术升级;东部区县多为工业生产基地与农业大县,是经济区人口高度密集区,“三生”空间竞争性强,“三生”功能均一般且互相制衡。当前这些区县人口与土地城镇化作用较弱。未来在人口承载与空间权衡下,注重空间规划与内涵挖潜,提升空间资源利用效率,推广绿色低碳生活方式,保障生态环境质量。

3)中度/高度协调型:多为首府南宁、东部玉林及沿海3市城区,是生产、生活高值区,生产、生活空间挤占生态空间,生态系统压力增加。各城区人口与产业聚集,区域碳排放高,应强化绿色、水域等生态空间均衡性与连通性。目前耕地保护作用不凸显,可结合耕地红线划定与基本农田建设,尝试打造农业多功能复合型生态体系,提升生态系统服务供给;生态保护政策对沿海作用显著,沿海生态敏感脆弱,在生产、生活功能持续发展下,严控沿海工业企业与生活排污,完善环境保护与污染治理基础设施,加强生态环境监测与评估,同时促进滨海湿地治理与修复、增强生物多样性与生态系统稳定性。

4.2 结论

本研究基于多源时空数据构建“三生”功能评

价指标体系,剖析功能互动关系影响因素时空异质性。主要结论如下:

1)2010—2020年经济区国土空间生态功能>生活功能>生产功能,生产功能与生活功能逐步提升,生态功能下降。生产与生活功能高低值区具有高度重叠性,空间均呈“中、东、南高一西、北低”格局,生态功能反之。首府南宁城区生产、生活功能高值连片且向外扩散发展,东部玉林与南部沿海城区生产、生活功能高值区尚处极化阶段,生态功能于西部及北部山区县高值区连片,然南宁、玉林与沿海城区为生态功能“洼地”。

2)2010—2020年生产、生活功能提升推动“三生”功能耦合协调度提高,由基本协调向中度协调迈进,“三生”功能冲突逐步减小。2010年空间呈“西、北中度失调—中、东、南基本协调”格局,中度失调为主导类型。2015年整体由中度失调向基本协调迈进,基本协调由东向西显著扩张,首府南宁、南部沿海与东部玉林城区多为中度协调,且南宁城区开始出现高度协调。2020年中度协调于南宁、沿海与玉林城区周边逐步扩张,沿海城区出现高度协调,仅西南部少数区县中度失调。区域基本协调为主导型,中度协调呈扩散阶段,高度协调初现极化。

3)“三生”功能耦合协调度影响因素作用程度及范围具有时空异质性,既与区域社会经济发展阶段有关,也存在显著区域差异。地形是“三生”功能耦合协调度空间格局形成的基础性因素,人均GDP作用显著,是功能关系变化关键。人口城镇化对中部及沿海区县功能协调提升影响大。土地城镇化对西部、北部山区县功能协调作用强。产业结构二元性与全社会固定资产投资是东部及沿海功能协调重要因素。农业劳动力、农业机械总动力与耕地保护强度对东、西部农业县正作用力强,通过助推农业效率改进功能协调发展。生态保护强度作用有正负向,沿海区县为正作用且显著,西部与北部山区为负影响。

参考文献 References

- [1] 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[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 23-32
- Kuang W H. Issues regarding on spatial pattern change of national land space and its overall implementation on beautiful vision in new era [J]. Resources Science, 2019, 41(1): 23-32

- [2] 岳文泽, 钟鹏宇, 王田雨, 夏皓轩. 国土空间规划视域下土地发展权配置的理论思考[J]. 中国土地科学, 2021, 35(4): 1-8
Yue W Z, Zhong P Y, Wang T Y, Xia H X. Theoretical thinking on allocation of land development rights from the perspective of territorial space planning[J]. *China Land Science*, 2021, 35(4): 1-8
- [3] 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
- [4] 黄安, 许月卿, 郝晋珉, 孙丕苓, 刘超, 郑伟然. 土地利用多功能性评价研究进展与展望[J]. 中国土地科学, 2017, 31(4): 88-97
Huang A, Xu Y Q, Hao J M, Sun P L, Liu C, Zheng W R. Progress review on land use functions evaluation and its prospects[J]. *China Land Sciences*, 2017, 31(4): 88-97
- [5] 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106
Yang Q K, Duan X J, Wang L, Jin Z F. Land use transformation based on Ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 97-106
- [6] Zhou D, Xu J C, Wang L, Lin Z L. Assessing urbanization quality using structure and function analyses: A case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay (UAHB), China[J]. *Habitat International*, 2015, 49: 165-176
- [7] 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[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 107: 105550
- [8] 谢晓彤, 李效顺. 河南省“三生”功能时空演变特征及影响因素[J]. 农业工程学报, 2021, 37(22): 243-252
Xie X T, Li X S. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of “production-living-ecological” functions in Henan Province, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(22): 243-252
- [9] 段亚明, 许月卿, 黄安, 卢龙辉, 冀正欣. “生产-生活-生态”功能评价研究进展与展望[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2): 113-124
Duan Y M, Xu Y Q, Huang A, Lu L H, Ji Z X. Progress and prospects of “production-living-ecological” functions evaluation [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2): 113-124
- [10] 段亚明, 黄安, 卢龙辉, 冀正欣, 许月卿. “生产-生活-生态”空间的概念与理论研究[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(4): 170-182
Duan Y M, Huang A, Lu L H, Ji Z X, Xu Y Q. Analysis on concept and theories of “Production-Living-Ecological” spaces[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(4): 170-182
- [11] 纪璇, 李琳娜, 程明洋. 安徽省县域乡村“三生”功能及耦合协调时空格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(10): 150-161
Ji X, Li L N, Cheng M Y. The spatio-temporal pattern of rural “production-living-ecological” function and coupling coordination at county level of Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(10): 150-161
- [12] 襄银娣, 叶玮怡, 李伯华. 旅游驱动型传统村落“三生”空间功能更新的特征、模式与逻辑: 以湖南省张谷英村为例[J]. 热带地理, 2022, 42(1): 136-147
Dou Y D, Ye W Y, Li B H. Features, models and logic of function renewal of “living-production-ecological” space in tourism-driven traditional villages: A case study of Zhang guying village, Hunan Province [J]. *Tropical Geography*, 2022, 42(1): 136-147
- [13] Duan Y M, Wang H, Huang A, Xu Y Q, Lu L H, Ji Z X. Identification and spatial-temporal evolution of rural “production-living-ecological” space from the perspective of villagers’ behavior: A case study of Ertai Town, Zhangjiakou City[J]. *Land Use Policy*, 2021, 106: 105457
- [14] 周侗, 王佳琳. 中原城市群乡村“三生”功能分区识别及调控路径[J]. 地理科学, 2023, 43(7): 1227-1238
Zhou T, Wang J L. Classifying and regulation pathway of rural “production-living-ecology” regional area in the Center Plains Urban Agglomeration[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2023, 43(7): 1227-1238
- [15] Zhou D, Xu J C, Lin Z L. Conflict or coordination? Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis[J]. *The Science of the Total Environment*, 2017, 577: 136-147
- [16] 徐磊, 王建鹏, 张贵军, 马立军. 环京津地区“三生”功能演化特征及分区调控研究[J]. 城市问题, 2022(10): 35-44
Xu L, Wang J P, Zhang G J, Ma L J. Functional evolution characteristics and zoning control of the “Production-Living-Ecological” function in the region around Beijing and Tianjin[J]. *Urban Problems*, 2022(10): 35-44
- [17] 林树高, 陆汝成, 叶宗达, 刘少坤. 中越边境地区国土空间功能时空演变与耦合协调[J]. 中国土地科学, 2022, 36(9): 90-101
Lin S G, Lu R C, Ye Z D, Liu S K. Spatial evolution and coupling coordination of territorial space functions in China-Vietnam border area [J]. *China Land Science*, 2022, 36(9): 90-101
- [18] 田超, 程琳琳, 殷婷婷. 一村一策, 确定乡村“三生”功能建设、提升人居环境质量工作重点[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 201-209
Tian C, Cheng L L, Yin T T. One village, one strategy, set priorities for the construction of rural production-living-ecological function and improvement of human settlement environment quality [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(9): 201-209
- [19] 徐凯, 房艳刚, 周宇航. 基于“三生”视角的镇域乡村功能空间分化研究: 以山东省为例[J]. 地理科学进展, 2023, 42(4): 644-656
Xu K, Fang Y G, Zhou Y H. Spatial differentiation of rural functions from the perspective of production-living-ecological functions at the township level: A case study of Shandong Province [J]. *Progress in Geography*, 2023, 42(4): 644-656
- [20] 刘超, 许月卿, 孙丕苓, 刘佳. 土地利用多功能性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2016, 35(9): 1087-1099
Liu C, Xu Y Q, Sun P L, Liu J. Progress and prospects of multi-functionality of land use research[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(9): 1087-1099
- [21] Li J S, Sun W, Li M Y, Meng L L. Coupling coordination degree of production, living and ecological spaces and its influencing factors in the Yellow River Basin [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 298: 126803
- [22] 程宪波, 陶宇, 欧维新. 江苏省乡村三生功能耦合协调时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(1): 222-233
Cheng X B, Tao Y, Ou W X. Spatio-temporal characteristics and evolutions of rural production-living-ecological function and coupling coordination in Jiangsu [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(1): 222-233
- [23] 康庆, 郭青霞, 丁一, 张扬. 山西省“三生”功能协同/权衡关系分析[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1195-1207
Kang Q, Guo Q X, Ding Y, Zhang Y. Tradeoffs/synergies analysis of

- “Production-Living-Ecological” functions in Shanxi Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1195-1207
- [24] 张扬, 陈雨露, 张杨, 张莹, 龚杰. 成渝城市群“三生空间”时空格局与耦合协调分析[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(5): 119-125
Zhang Y, Chen Y L, Zhang Y, Zhang Y, Gong J. Coupling coordination and spatio-temporal pattern analysis of the “Production-Living-Ecological” space in Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration [J]. *Areal Research and Development*, 2022, 41(5): 119-125
- [25] 梁浩源, 李晶, 殷守强, 冯琳, 邵嘉豪, 李生财. 辽中南-哈长城市群“三生”功能耦合协调时空演变及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(9): 218-233
Liang H Y, Li J, Yin S Q, Feng L, Shao J H, Li S C. Spatial-temporal evolution and influencing factors analysis of coupling coordination of “production-living-ecological” functions in central-southern Liaoning and Harbin-Changchun urban agglomeration [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(9): 218-233
- [26] 康庆, 郭青霞, 丁一, 张扬, 胡毅, 陈水英. 山西省2005—2018年“三生”功能的时空分异特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 327-337
Kang Q, Guo Q X, Ding Y, Zhang Y, Hu Y, Chen S Y. Temporal and spatial evolution and driving factors of production-living-ecological functions of Shanxi Province during 2005-2018[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(5): 327-337
- [27] 陈万远, 赵锐锋. “三生”功能视角下甘肃省土地利用时空演变及影响因素[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(2): 262-274, 281
Chen W Y, Zhao R F. Spatial-Temporal evolution of land use and its influencing factors from the perspective of production-living-ecological function in Gansu Province [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2024, 59(2): 262-274, 281
- [28] 逯承鹏, 纪薇, 刘志良, 毛锦凰, 李京忠, 薛冰. 黄河流域甘肃段县域“三生”功能空间时空格局及影响因素识别[J]. 地理科学, 2022, 42(4): 579-588
Lu C P, Ji W, Liu Z L, Mao J H, Li J Z, Xue B. Spatial-temporal pattern and influencing factors of the “production-living-ecological” functional space of the Yellow River Basin at county level in Gansu, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(4): 579-588
- [29] 丁孝媛, 叶长盛, 胡海平, 肖蔚, 刘金花. 环鄱阳湖城市群土地利用功能转型及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2024, 40(7): 298-308.
Ding X Y, Ye C S, Xiao W, Liu J H. Land use function transformation and its driving mechanism in Poyang Lake City cluster of China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2024, 40(7): 298-308
- [30] Brunsdon C, Fotheringham A S, Charlton M E. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity[J]. *Geographical Analysis*, 1996, 28(4): 281-298
- [31] Huang B, Wu B, Barry M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(3): 383-401
- [32] 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[J]. 水土保持通报, 2021, 41(1): 237-244
Pang L, Zhou X, Wei L G. Function evaluation an coupling coordination analysis of land space “productive-living-ecological” in Guangxi Zhuang Autonomous Region during 2009-2018[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(1): 237-244
- [33] 凌子燕, 李延顺, 蒋卫国, 廖超明, 凌玉荣. 山江海交错带城市群国土三生空间动态变化特征: 以广西北部湾城市群为例[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 18-24
Ling Z Y, Li Y S, Jiang W G, Liao C M, Ling Y R. Dynamic change characteristics of “production-living-ecological spaces” of urban agglomeration interlaced with mountains, rivers and sea: A case study of the Beibu Gulf urban agglomeration in Guangxi [J]. *Economic Geography*, 2022, 42(2): 18-24
- [34] 钱凤魁, 徐欢, 逢然然, 王大鹏, 贾艳萍, 顾汉龙. 基于三维生态足迹模型辽宁省耕地生态补偿额度估算分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(6): 97-109
Qian F K, Xu H, Pang R R, Wang D P, Jia Y P, Gu H L. Estimation and analysis of cultivated land ecological compensation in Liaoning Province based on three-dimensional ecological footprint model [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(6): 97-109
- [35] 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[J]. 中国土地科学, 2019, 33(3): 85-94
Zhang L L, Zheng X Q, Meng C, Zhang P T. Spatio-temporal difference of coupling coordination degree of land use functions in Hunan Province [J]. *China Land Science*, 2019, 33(3): 85-94
- [36] 沈杨, 汪聪聪, 高超, 丁镭. 基于城市化的浙江省湾区经济带碳排放时空分布特征及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(2): 329-342
Shen Y, Wang C C, Gao C, Ding L. Spatio-temporal distribution and its influencing factors of carbon emissions in economic zone of Zhejiang Bay Area based on urbanization [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(2): 329-342

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 奉婷, 广西桂林人, 博士, 广西大学公共管理学院讲师、硕士生导师, 广西科技专家库在库专家。主要从事耕地利用与保护、国土空间规划相关教学研究工作。目前主持国家社会科学基金项目1项、省部级项目2项, 作为主要成员参与国家自然科学基金1项、省部级课题1项。先后在《中国农业大学学报》、《农业工程学报》和 *Marine Policy* 等国内外核心期刊以第一作者或者非第一作者发表学术论文10余篇。