

吉林省西部“三生”功能及其耦合协调度演变特征

邓雨欣^{1,2}, 刘文新^{1,2}

(1.中国科学院 东北地理与农业生态研究所,
吉林 长春 130102; 2.中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 101408)

摘要: [目的] 评价吉林省西部“三生”功能并揭示各功能之间的耦合协调度演变特征, 为吉林省西部“三生”功能合理发展提供参考。[方法] 运用多指标综合法和耦合协调度模型, 分析吉林省西部 2000—2023 年“三生”功能及其时空演变特征, 研究 2000—2023 年“三生”功能、生产—生活功能、生产—生态功能以及生活—生态功能之间耦合协调度的时空变化趋势。[结果] ① 2000—2023 年吉林省西部“三生”功能呈现显著上升趋势, 从 20.34 提升至 44.19, 增长了 66.22%, 其中生产功能波动上升 105.90%, 生活功能增长 139.07%, 生态功能增长 14.63%; ② 2000—2023 年吉林省西部“三生”功能及各功能增长表现出显著的空间差异性。综合得分呈现增长趋势; 生产功能呈现东高西低后两极分化的演变特征, 生活功能东部及北部先行, 后东部及中部领先, 生态功能由南升北降转为西南递增; ③ 耦合协调度整体呈上升趋势, 2000—2023 年上升了 0.16, 由基本协调提升至中等协调。④ “三生”功能耦合协调水平空间上呈现出以宁江区和洮北区为中心向四周递减的格局, 生产—生活功能耦合协调水平呈现“东部高, 西部低”且聚集成片, 生产—生态功能耦合协调水平由四周向市辖区提升, 生活—生态功能耦合协调水平呈现波动上升, 整体表现为由东北部向西南部逐渐提高。[结论] 吉林省西部地区应发挥宁江区和洮北区的经济辐射带动作用, 提高周边地区的生产及生活功能, 同时继续保持对生态功能的高度重视。

关键词: “三生”功能; 多指标综合法; 耦合协调度; 时空演变; 吉林省西部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)06-0392-14

中图分类号: F292, X321

文献参数: 邓雨欣, 刘文新. 吉林省西部“三生”功能及其耦合协调度演变特征[J]. 水土保持通报, 2025, 45(6): 392-405. Deng Yuxin, Liu Wenxin. Production-living-ecological functions and evolution characteristics of coupling coordination degree in western Jilin Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(6): 392-405.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.006

CSTR: 32312.14.stbctb.2025.06.006

Production-living-ecological functions and evolution characteristics of coupling coordination degree in western Jilin Province

Deng Yuxin^{1,2}, Liu Wenxin^{1,2}

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102, China*; 2. *College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China*)

Abstract: [Objective] The production-living-ecological functions (PLEF) in western Jilin Province were evaluated, and the evolution characteristics of the coupling coordination degree (CCD) among these functions were revealed, in order to provide a reference for the rational development of the PLEF in this region. [Methods] Using the multi-indicator comprehensive method and CCD model, this study evaluated the PLEF and their spatiotemporal evolution characteristics in western Jilin Province from 2000 to 2023, and analyzed the spatiotemporal variations of the CCD among the PLEF, production—living functions (PLF), production—ecological functions (PEF), and living—ecological functions (LEF) from 2000 to 2023. [Results] ① From 2000 to 2023, the PLEF in western Jilin Province showed a significant upward trend, increasing from 20.34 to 44.19 with a growth rate of 66.22%. Specifically, the production function increased with fluctuations by 105.90%, the

收稿日期: 2025-05-07

修回日期: 2025-07-14

采用日期: 2025-07-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“吉林西部生态脆弱区水-能源-粮食系统可持续性评价与协同优化研究”(42071275)

第一作者: 邓雨欣(2001—), 女(汉族), 山东省莱州人, 硕士研究生, 研究方向为国土空间规划与治理。Email: dengyuxin@iga.ac.cn。

通信作者: 刘文新(1979—), 男(汉族), 山东省阳谷县人, 博士, 高级工程师, 主要从事区域发展与国土空间规划研究。Email: liuwx@iga.ac.cn。

living function increased by 139.07%, and the ecological function grew by 14.63%. ② From 2000 to 2023, the PLEF and the growth of each function in western Jilin showed significant spatial differences. The comprehensive scores were dominated by increases in the southeastern and central regions. The production function exhibited an evolution pattern of high values in the east and low values in the west, followed by polarization. The living function initially led in the eastern and northern regions and later in the eastern and central parts. The ecological function transitioned from a pattern of increase in the south and decrease in the north to a progressive increase in the southwestern region. ③ The overall CCD showed an upward trend, increasing by 0.16 from 2000 to 2023, rising from a basically coordinated level to a moderately coordinated level. ④ Spatially, the coupling coordination level of the PLEF exhibited a pattern centered on Ningjiang District and Taobei District, gradually decreasing towards the surrounding areas. The coupling coordination level of the PLF showed a pattern of high in the east and low in the west with clustered aggregation. The coupling coordination level of the PEF generally showed an improvement from the surrounding areas towards the urban districts. The coupling coordination level of the LEF showed a fluctuating upward trend, overall showing a gradual improvement from the northeast to the southwest. [Conclusion] The western Jilin region should enhance the economic radiation and driving effect of Ningjiang District and Taobei District, improve the production and living functions of surrounding areas, while continuing to maintain a strong emphasis on ecological functions.

Keywords: production–living–ecological functions; multi-indicator comprehensive method; coupling coordination degree; spatiotemporal evolution; western Jilin Province

国土空间是一种人地耦合系统,它以自然环境为基础,承载着经济社会活动,其发展变化受自然、经济社会、人群多元价值选择等因素的综合影响^[1]。“三生”功能(production-living-ecological functions)是指生产、生活、生态功能,是国土空间的三大主导功能^[2],而对“三生”功能的识别与评价是进行国土“三生”空间格局优化研究的基础^[3]。随着社会发展,特定地域在一定时期内土地利用形态变化引起土地系统结构的变化,进而导致土地系统功能变化^[4]。如何科学准确地开展国土空间“三生”功能评估并揭示其演化特征及变化规律,对新时期落实细化主体功能区战略、实施监督国土空间规划、实现区域协调发展等具有重要意义^[5]。

目前,国内针对“三生”空间及其功能的研究已涵盖多个尺度,方法日趋成熟。研究尺度包括国家^[6]、省域^[7]、流域^[8]、地级市^[9]、村域等^[10]。研究内容主要涉及生态系统服务^[11]、功能识别与空间划分^[12]、耦合协调分析^[13]、空间冲突^[14]以及“三生”功能的评估等^[15]。其中,“三生”功能评估作为国内研究的重点方向,通常基于土地利用分类体系构建“三生”空间功能评价方案计算评分^[16],或依托“三生”功能内涵构建评价指标体系进而确定“三生”功能得分^[17]。在权重确定方法上,研究普遍应用均方差法^[3]、层次分析法等^[12],通过赋权后计算综合评分结果。亦有学者针对不同权重方法进行了对比,有研究认为,在确定“三生”功能评价指标权重时,相比层次分析法,

均方差法、熵值法能够克服人为确定权重的主观性,客观地反映各指标要素之间的内部变化^[3]。近年来,农牧交错区“三生”功能评价得到广泛关注,以典型农牧交错区内蒙古自治区可镇为例,邹亚峰等^[18]研究表明该地农村居民点“三生”功能水平普遍较高,但生态环境状况不容乐观。吉林省西部作为农牧交错区之一,其“三生”功能演变也受到一定关注。例如杨东儒^[19]通过指标赋值对吉林省西部湿地生态系统“三生”功能进行评估,并对镇赉县、通榆县及前郭尔罗斯蒙古族自治县“三生”功能等级进行了划分。瞿羽娟^[16]通过分析吉林省西部“三生”空间变化并结合土地利用类型赋值,结果表明该地区2020年生态空间所能提供的生态功能较1990年减少了10.34%;刘相正^[20]对东三省“三生”功能的评价结果显示,吉林省西部地区的“三生”功能长期处于低值或中低值水平。与此同时,中国的土地利用正处于由单纯的生产用途转变为“三生”功能的阶段^[21]，“三生”功能耦合协调发展已成为国土空间规划有待解决的重要问题^[22]。学术界较为普遍运用的方法是耦合协调度模型等^[23],但现有的研究大多聚焦于“三生”功能的整体发展,而区域内两两功能之间的耦合协调关系缺少关注。

吉林省西部地区是世界三大苏打盐碱地集中分布区之一。过去数十年中,吉林省西部地区耕地开垦与生态用地保护的矛盾日益凸显。1976—2013年,该地区新增耕地 $3.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$,同时湿地面积显著萎缩^[24],生产功能和生态功能之间的冲突引发广泛关

注。针对这一问题,自2013年起吉林省西部地区开始实施河湖连通工程等生态修复工程。然而随着生态修复工程的推进,吉林省西部“三生”功能的演变特征及其耦合关系尚不明确。因此,本文使用多指标综合法和耦合协调模型,通过建立“三生”功能评价指标体系,计算2000—2023年吉林省西部“三生”功能、生产-生活功能、生产-生态功能以及生活-生态功能的耦合协调度演变特征,揭示“三生”功能及耦合协调度演变特征,为吉林省西部“三生”功能的合理发展提供参考与建议。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

吉林省西部地区地处 $121^{\circ}38'—126^{\circ}11'E, 43^{\circ}59'—46^{\circ}18'N$,包括松原市宁江区、扶余市、前郭尔罗斯蒙古族自治县(以下简称“前郭县”)、乾安县、长岭县、白城市洮北区、镇赉县、大安市、洮南市、通榆县,共计10个县(市、区),总面积约 $4.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。吉林省西部年平均降水量300~500 mm,区域内年蒸发量远大于降水量,春秋旱季多风,冬季持续时间长,属于半湿润-半干旱季风气候。该地区位于松嫩平原西南侧,科尔沁草原东部,属于生态脆弱带^[25]。区域内地势平坦,以耕地为主,河流数量较多^[26]。根据《吉林省统计年鉴(2024)》,2023年吉林省西部GDP约为 1.49×10^{11} 元,人均GDP约 4.13×10^4 元,不足全国人均GDP(8.86×10^4 元)的一半。与此同时,2023年吉林省西部人口数量 3.59×10^6 人,较2019年减少 1.04×10^6 人,人口流失问题严重。

1.2 数据来源

土地利用栅格数据来源于杨杰和黄昕团队发布在Zenodo上的数据^[27],包含2000年、2010年、2020年以及2023年的土地利用/土地覆盖,其中涵盖农田、森林、灌木、草原、水域、冰雪、裸地、不透水面、湿地等9种用地类型,其中“不透水面”即为建设用地。像元大小统一为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,使用2000国家大地坐标系下 42° 带坐标系。盐碱地、沙地数据来源于中国科学院资源环境科学数据平台的“中国多时期土地利用遥感监测数据集”(https://www.resdc.cn/)。

行政区划边界矢量数据基于中国标准行政区划数据GS(2024)0650号数据提取获得,并更换使用2000国家大地坐标系下 42° 带坐标系。

社会经济数据来源于《吉林省统计年鉴》《松原统计年鉴》《白城统计年鉴》以及各县(市、区)国民经济和社会发展统计公报信息,由于部分县(市、区)

2023年总病床数数据存在缺失。本文利用可获取的最新年份数据替换,并采用极值标准化的方法对数值进行归一化处理。

路网数据来源于OpenStreetMap(2023年),统一使用2000国家大地坐标系下 42° 带坐标系,并在ArcGIS 10.8中通过相交得到研究区内各研究单元的路网矢量数据。

2 研究方法

2.1 评价指标体系

根据系统性与层次性、科学性与合理性、实用性与易得性等指标选取原则,结合吉林省西部的地理位置条件、社会经济条件以及土地利用情况,参考前人对“三生”功能的研究^[28],最终确立了3个一级指标,即生产功能、生活功能、生态功能。以农业生产、工业生产、经济发展为生产功能的二级指标,空间承载、生活保障、社会保障为生活功能的二级指标,以生态维持、生态承载、环境维护为生态功能的二级指标,并且在此基础上进一步选取了22个评价指标(表1)。

以单个县(市、区)为1个评价单元,研究区内共计10个县(市、区),故设立10个评价单元。运用极值标准化对指标进行归一化处理,正向指标和负向指标的计算公式分别为

$$\text{正向指标: } Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_j}{\max X_j - \min X_j} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Z_{ij} = \frac{\max X_j - X_{ij}}{\max X_j - \min X_j} \quad (2)$$

式中: Z_{ij} 为第*i*类功能的第*j*个指标归一化后的值; X_{ij} 为第*i*类功能的第*j*个指标的实际值。

为避免指标权重的主观性,本文采用均方差决策法确定各指标权重(表2),计算公式为

$$E_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ij} \quad (3)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Z_{ij} - E_j)^2} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (5)$$

式中: E_j 为第*j*个指标的均值; σ_j 为第*j*个指标的均方差; W_j 为第*j*个指标的权重。

运用综合评价模型,对权重进行加权求和并放大100倍得到各一级指标值(F),计算公式为

$$F = \sum_{i=1}^m W_j \times X_{ij} \times 100 \quad (6)$$

表 1 吉林省西部“三生”功能评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for production-living-ecological functions in western Jilin Province

一级指标	二级指标	三级指标	单位	指标类型	含义	
生产功能	农业生产	土地垦殖率	%	+	耕地面积/评价单元面积×100%	
		农作物播种面积覆盖率	%	+	农作物播种面积/评价单元面积×100%	
		粮食单产	t/hm ²	+	粮食产量/粮食作物所占用的耕地面积	
	经济发展	地均第二产业产值	万元/km ²	+	第二产业产值/评价单元面积	
		地均第三产业产值	万元/km ²	+	第三产业产值/评价单元面积	
		地均GDP	万元/km ²	+	GDP/评价单元面积	
生活功能	空间承载	路网密度	m/km ²	+	道路里程/评价单元面积	
		人均生活空间面积	m ² /人	+	不透水面面积/人口	
		人口城镇化水平	%	+	城镇人口/总人口×100%	
		人口密度	人/km ²	+	人口数/评价单元面积	
	生活保障	人均社会消费品零售总额	元	+	社会消费品总额/人口数	
		人均GDP	万元/人	+	GDP/人口数	
	社会保障	千人中小学生在教数	人/千人	+	各评价单元中小学生在教数/1000	
		千人卫生机构床位数	张/千人	+	各评价单元卫生机构床位数/1000	
	生态功能	生态维持	森林覆盖率	%	+	森林面积/评价单元面积×100%
			湿地面积比例	%	+	湿地面积/评价单元面积×100%
水网密度			%	+	水体面积/评价单元面积×100%	
草地覆盖率			%	+	草地面积/评价单元面积×100%	
生态承载		地均生态系统服务价值	万元/hm ²	+	地均生态系统服务价值 $F = [\sum(S_n \times V_n)]/S$, S_n 是指第 n 类土地的面积; V_n 是指第 n 种类型土地生态服务功能服务价值系数; S 是指评价单元面积	
		盐碱地面积占比	%	-	盐碱地面积/评价单元面积×100%	
环境维护		沙地面积占比	%	-	沙地面积/评价单元面积×100%	
		生物丰度指数	生物丰度指数	-	+	生物丰度指数 = $Abio \times (0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水域湿地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{建设用地} + 0.01 \times \text{未利用地}) / \text{评价单元面积}$; $Abio$ 是生物丰富度指数的归一化系数,参考值为 511.264

将生产功能、生活功能、生态功能得分等权重相加,得到“三生”功能得分(S),计算公式为

$$S = \frac{1}{3}U_1 + \frac{1}{3}U_2 + \frac{1}{3}U_3 \quad (7)$$

式中: U_1, U_2, U_3 分别为生产、生活、生态功能评分值。

2.2 耦合协调度模型

本研究通过耦合协调度模型(CCDM)度量生产功能、生活功能与生态功能之间的耦合协调关系^[13]。耦合协调模型可用于分析事物的协调发展水平,表示两者或多者之间通过相互作用彼此影响,进而实现协调发展的动态关联关系。耦合度反映“三生”功能之间相互依赖、相互制约的程度,耦合度越大,表明三者之间的相互作用强度越大,但这种相互作用

无法体现系统之间的协调发展水平^[16]。因此,引入协调度来反映三者之间的良性耦合程度,体现其协调状况水平,计算公式为

$$C = 3 \left(\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (9)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 \quad (10)$$

式中: C 为“三生”功能的耦合度; D 为“三生”功能的协调度; T 为整体评价指数; α, β, γ 为三者的功能权重,本研究认为 3 种功能同等重要,因此取 $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$ 。同时,通过计算协调度来反映生产功能-生活功能、生产功能-生态功能、生活功能-生态功能两两之

间的耦合度以及协调度,计算公式为

$$C_{12} = 2 \left(\frac{U_1 \times U_2}{(U_1 + U_2)^2} \right)^{\frac{1}{2}}; C_{13} = 2 \left(\frac{U_1 \times U_3}{(U_1 + U_3)^2} \right)^{\frac{1}{2}};$$

$$C_{23} = 2 \left(\frac{U_2 \times U_3}{(U_2 + U_3)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$D_{12} = \sqrt{C_{12} \times T_{12}}; D_{13} = \sqrt{C_{13} \times T_{13}};$$

$$D_{23} = \sqrt{C_{23} \times T_{23}} \quad (12)$$

$$T_{12} = \alpha_1 U_1 + \beta_1 U_2; T_{13} = \alpha_1 U_1 + \beta_1 U_3;$$

$$T_{23} = \alpha_1 U_2 + \beta_1 U_3 \quad (13)$$

式中: $\alpha_1 = \beta_1 = 1/2$ 。

表2 “三生”功能评价指标权重一览表

Table 2 Checklist of evaluation indicator weights for production-living-ecological functions

一级指标	二级指标	权重
生产功能	土地垦殖率	0.187
	农作物播种面积覆盖率	0.164
	粮食单产	0.197
	地均第二产业产值	0.146
	地均第三产业产值	0.150
	地均GDP	0.156
生活功能	道路密度	0.115
	人均生活空间面积	0.117
	人口城镇化水平	0.132
	人口密度	0.136
	人均社会消费品零售总额	0.130
	人均GDP	0.152
	千人中小学生在校数	0.121
	千人卫生机构床位数	0.097
生态功能	森林覆盖率	0.095
	湿地面积比例	0.094
	水网密度	0.134
	草地覆盖率	0.116
	地均生态系统服务价值	0.132
	生物丰度指数	0.133
	盐碱地面积占比	0.135
	沙地面积占比	0.160

参考前人的划分标准^[16],本研究将耦合协调度进行等级划分(表3)。

表3 耦合协调度等级划分一览表

Table 3 Classification checklist of coupling coordination degree

协调类型	高度协调	中等协调	基本协调	中度失衡	严重失衡
耦合协调度	[0.8,1.0)	[0.6,0.8)	[0.4,0.6)	[0.2,0.4)	[0.0,0.2)

3 结果与分析

3.1 吉林省西部“三生”功能时空变化特征

3.1.1 “三生”功能随时间的变化特征

2000—2023年吉林省西部“三生”功能整体呈现逐步上升的趋势(图1),综合得分从2000年的20.34到2023年的44.19,增长了66.22%。其中,2000—2010年的上升趋势明显,增长31.72%,这主要得益于吉林省西部地区正处于快速发展阶段,人均GDP由 4.90×10^3 元/人提高至 3.13×10^4 元/人。而2010—2020年PLEF综合得分由35.02增长至36.07,仅增长了3.00%,2020—2023年吉林省西部PLEF综合得分增长了22.51%。

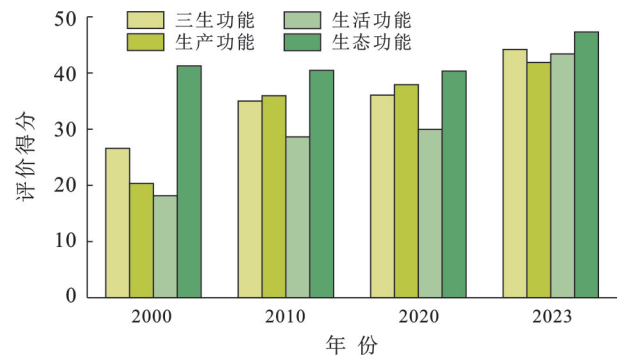


图1 2000—2023年吉林省西部整体“三生”功能得分
Fig.1 Overall production-living-ecological functions scores in western Jilin Province (2000—2023)

从生产功能来看,2000—2023年期间吉林省西部生产功能呈现出先快速发展后稳步提升的趋势,整体得分增长了105.90%。具体而言,2000—2010年吉林省西部整体生产功能增长了76.77%,主要表现为粮食单产的增加以及第二、三产业的快速发展,各县(市、区)平均粮食单产由 3.79 t/hm^2 提高至 6.78 t/hm^2 ,平均地均第二、三产业产值分别增长了 1.93×10^6 元/ km^2 和 1.25×10^6 元/ km^2 。2010—2020年生产功能增长幅度放缓,仅增长了5.47%,各县(市、区)平均土地垦殖率增长3.47%,但粮食单产下降至 6.45 t/hm^2 ,平均地均第二产业产值下降 1.44×10^6 元/ km^2 ,而平均地均第三产业产值提高了 7.17×10^5 元/ km^2 。2020—2023年生产功能增长10.45%,区域内各县(市、区)的平均地均第二、三产业产值分别增长了52.06%和11.31%。

研究结果表明,2000—2023年生活功能呈现出韧性重构的发展趋势,得分增长139.07%。2000—2010年,吉林省西部生活功能增长57.76%,其间10个县(市、区)的人口城镇化水平不同程度的提高,基础设施建设也逐渐完善。2010—2020年,生活功

能增长4.63%,区域内路网建设逐渐成熟,人均生活空间面积增大了204.64 m²/人,基础设施进一步完善,但居民消费水平下降。2020—2023年生活功能增长44.84%,居民消费水平回升,平均人口城镇化率从37.82%提升至48.31%。

2000—2023年生态功能呈现由持续衰退到快速提升的变化趋势,总体得分增长14.63%。2000—2010年,吉林省西部生态功能由41.27降至40.47,下降1.92%,湿地和水网均发生了不同程度的退化。2010—2020年生态功能从40.47下降到40.34,下降幅度减弱,水网密度由2.68%提升至3.42%,可见吉林省西部的河湖连通工程已取得了初步进展。2020—2023年生态功能得分显著提升,达到47.30,增长率为17.26%,森林、湿地、水网均发生不同程度的扩张,各县(市、区)分别平均增长了40.91%,300%,29.82%。同时,盐碱地面积缩减1.6%,表明吉林省西部生态修复工程取得了显著成果。

3.1.2 空间变化特征

2000—2023年吉林省西部10个县(市、区)“三生”功能得分均呈现正增长,但增长率存在显著的区域差异(图2a)。其中,宁江区在2000—2023年增长114.71%,增长率接近其他地区平均增长率的2倍,主要原因在于吉林省西部其他地区对传统农业的依赖度较高,而宁江区的二、三产业发展迅速,显著提高了区域经济发展水平。相比之下,前郭县和扶余市的增长幅度相对较小,分别增长43.71%和42.74%,限制两地发展的主要原因在于区域主导功能与经济发展间的矛盾。前郭县地处查干湖核心区,较大部分县域面积被纳入生态保护区,扶余市作为东北粮食安全核心区,其产业转型受到限制,导致该地区发展相对缓慢。图3表明,2000—2010年10个县(市、区)均呈现增长态势,在空间上表现为东南部增长率高于西北部。区域内平均增长率为30.66%,最高为宁江区,增长率为68.80%,最低为通榆县,增长率为17.88%。通榆县发展缓慢的主要原因在于2000—2010年该地区土地沙漠化问题严重,治理土地沙漠化问题是通榆县的首要任务。2010—2020年区域内东南部整体呈现下降趋势,10个县(市、区)的平均增长率仅为3.20%。增长率最高为洮北区和宁江区,分别上升16.44%和15.74%,其次是大安市,增长率为10.49%,这主要得益于2013年启动的河湖连通工程,该工程使得水网和湿地得到有效维护并呈现扩张趋势。2020—2023年,中部地区普遍呈现较大幅度的增长,10个县(市、区)的平均增长率达24.96%,其中增长率最高的是通榆县,为

46.10%,最低的是宁江区,为9.90%,主要原因在于宁江区作为松原市市辖区,常年保持较高得分水平,发展空间相对有限。

从生产功能来看(图2b),2000—2023年吉林省西部各县(市、区)普遍呈现大幅度增长,除长岭县、扶余市、洮北区外,其他地区的平均增长率为152.70%,其中大安市增长率高达204.93%,出现这一现象的主要原因可能是2018年“1号冷链”助力吉林省大安市生鲜产品开辟全国冷链仓储配送网络,带动了当地的经济的发展。结合生产功能各时段的增长率分布(图3),2000—2010年10个县(市、区)呈现整体正增长趋势,空间上表现为东部地区增长率高于西部地区,其中宁江区、前郭县、大安市的增长率相对更高,分别为110.76%,122.27%和134.71%。同时,2010—2020年区域增长呈现两极分化,东部及南部地区小幅下降,西部及北部地区则不同幅度上升。这主要受2017—2018年吉林省夏季热浪延长,暴雨和台风引发的洪水灾害影响^[29],导致东部及南部地区粮食单产小幅降低,而西部及北部地区粮食生产未受到显著影响。2020—2023年,区域生产功能均呈现小幅增长,平均增长率为11.22%,表明吉林省西部地区生产功能正在逐步恢复。

2000—2023年吉林省西部生活功能呈现显著上升趋势(图2c),区域内平均增长率达145.02%,整体发展态势良好。其中,洮南市和大安市得分分别从2000年的11.43和13.47增长至2023年的35.19和41.49,长岭县增长率最低,为97.52%。结合生活功能不同时段内的增长率分布(图3),2000—2010年吉林省西部整体呈现大幅度增长趋势,空间上呈现东部及北部地区高于西南部地区的格局,其中洮北区的增长率仅17.87%,其主要原因在于该地区基础设施建设较为缓慢。2010—2020年,生活功能空间分布呈现东部较大幅度下降,西部及西北部较小幅度上升的特征。其中前郭县、乾安县、扶余市生活功能分别下降了38.77%,25.56%和14.05%,主要原因在于部分地区基础设施建设不足,人口流失较为严重。2020—2023年,生活功能整体呈现增长趋势,在空间上表现为东部及中部地区的增长率高于西部、北部以及南部地区。其中,增长率最高的为前郭县,该地2020—2023年人口城镇化率提高,同时基础设施建设逐渐完善,居民消费水平提高,使得该地生活功能得到较大幅度的提升。宁江区和洮北区两大市辖区的生活功能增长率为11.59%和21.38%,出现这种差异的主要原因在于中心地区发展保持在较高水平,发展空间相较其他地区较为有限,其他地区的人口

城镇化水平的平均增长率为40.47%，而宁江区的人口城镇化水平分别下降了3.33%，洮北区则上升了20.67%，仅为其他地区平均增长率的一半。除此之

外，其他地区的平均人均社会消费品零售总额增长率为87.61%，洮北区上升49.75%，宁江区则下降17.39%。

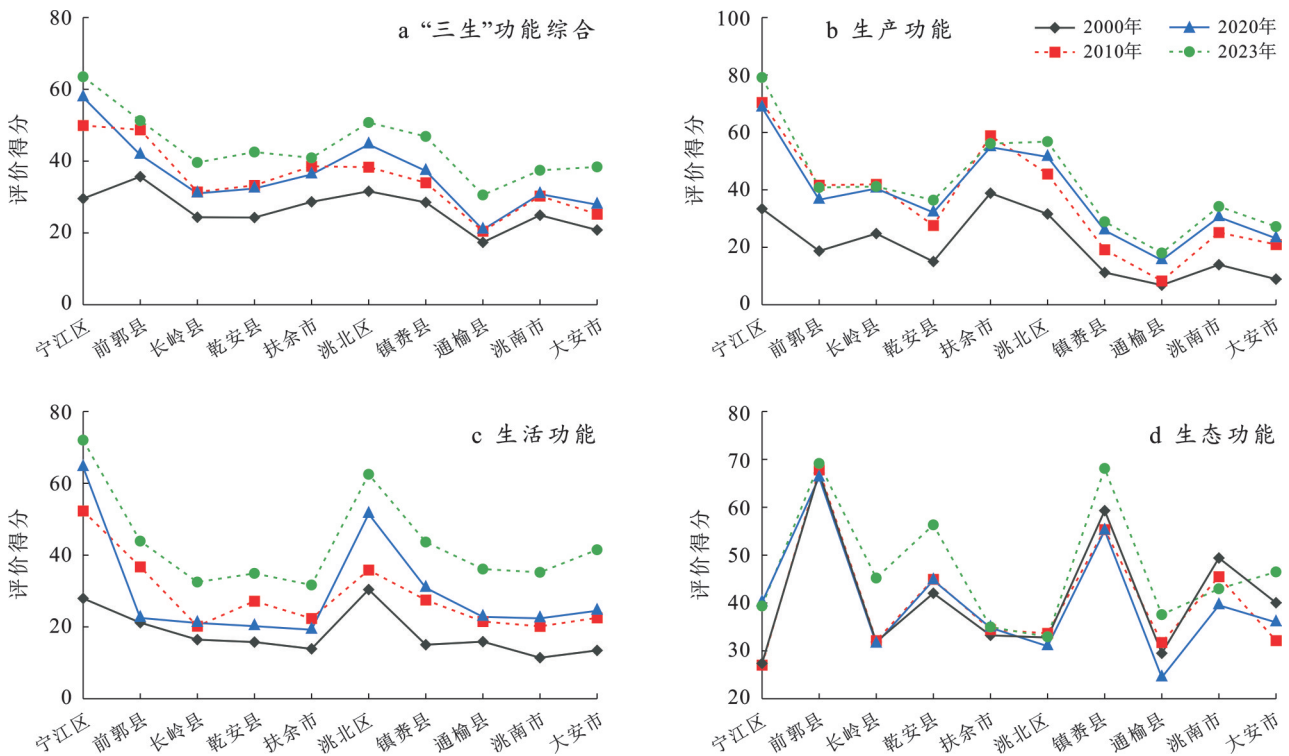


图2 2000—2023年吉林省西部“三生”功能得分变化趋势

Fig.2 Variation trends of scores of production-living-ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

从生态功能来看(图2d),2000—2023年吉林省西部整体生态功能呈现增长趋势,但增长幅度较小,区域内平均增长率为17.35%。其中宁江区和长岭县生态功能分别从2000年的27.38和31.88增长到2023年的39.36和45.21,增长率分别为43.78%和41.82%,增长率最低的是洮北区,为0.48%。结合生态功能增长率(图3)的分布情况,2000—2010年生态功能变化呈现西北部地区下降,南部地区小幅增高的特征。大安市的生态功能减弱幅度最大,降低了19.73%,其主要原因在于林地占用问题导致的森林覆盖率降低。2010—2020年,区域内生态功能大面积呈现负增长趋势,且下降幅度自东北向西南递增。值得注意的是,不同于其他地区的小幅度增长甚至负增长,宁江区生态功能增长48.45%。根据《宁江区国土空间生态修复规划(2021—2035年)》规划文本(征求意见稿),“十三五”期间,宁江区新增造林4000 hm²,水土流失面积减少20.93 km²,且河湖连通工程实施期间,宁江区水网密度由2.90%增长至4.25%,生态修复效果显著。2020—2023年,区域内生态功能整体有所提高,增长率呈现自东北向西南逐渐递增的空间特征。其中,通榆县增长率最高,为53.64%,其次是长岭县,为

43.50%,而宁江区生态功能下降1.93%,原因在于研究期内宁江区盐碱地面积和沙地面积分别扩张了9 km²和4 km²,导致生态功能小幅下降。

3.2 耦合协调度演变特征

3.2.1 “三生”功能耦合协调度随时间的变化特征

图4表明,2000—2023年吉林省西部“三生”功能耦合协调度呈持续上升趋势,由2000年的0.50提升至2023年的0.66,耦合协调水平由基本协调提升至中等协调水平。其中,2000—2010年为主要增长期,耦合协调度提升0.09。2010—2020年进入平缓增长阶段,上升至0.60,进入中等协调水平。2020—2023年增速再次加快,耦合协调度提升0.06,发展态势良好。

从生产—生活—生态两两功能之间耦合协调度来看,2000—2023年吉林省西部生产—生活功能耦合协调度呈现稳步上升趋势,由2000年的0.44提升至2023年的0.65,提高0.21,协调等级由基本协调提升至中等协调水平。其中,2000—2010年生产—生活功能耦合协调度提升幅度最大,从0.44上升至0.57,提升0.13。2010—2020年生产—生活功能耦合协调度小幅增长至0.58,2023年生产—生活功能耦合协调度大幅提升至0.65,耦合协调水平由基本协调提升至中等协调水平。

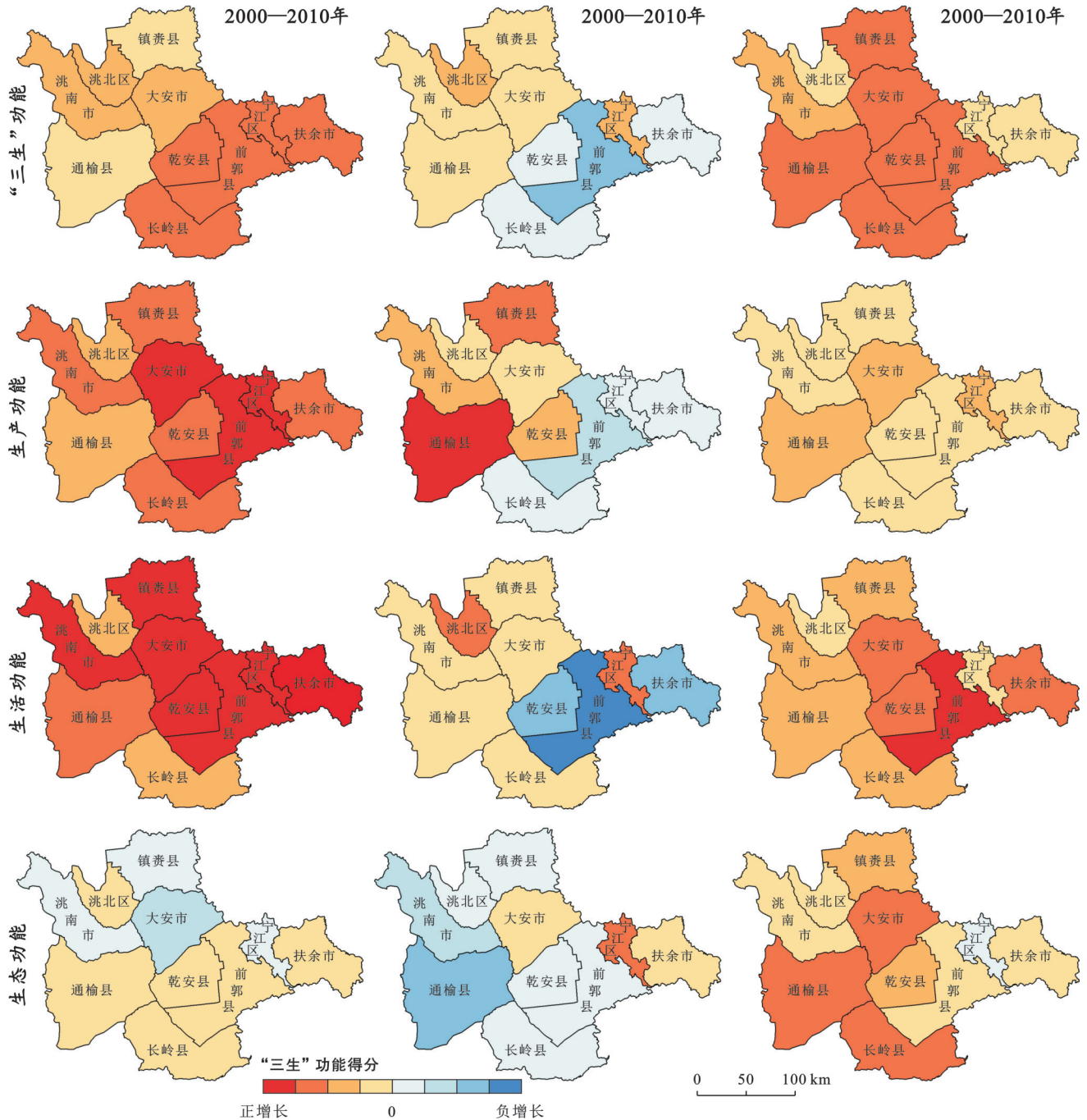


图3 2000—2023年吉林省西部“三生”功能得分增长情况

Fig.3 Growth of scores of production-living-ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

2000—2023年吉林省西部生产—生态功能耦合协调度呈现先快速提升后稳步上升的演变特征,由2000年的0.54提升至2023年的0.67,耦合协调水平由基本协调提升至中等协调。其中2000—2010年PEF耦合协调度提升幅度较大,从0.54提升至0.62,耦合协调水平提升至中等协调,2000—2020年生产—生态功能耦合协调度微弱提升,提升至0.63,而后在2023年进一步提升至0.67,延续了良好的发展态势。

2000—2023年吉林省西部生活—生态功能耦合

协调度呈现先缓慢上升后快速提升的变化特征,由2000年的0.52提升到2023年的0.67,提升0.15,耦合协调水平由基本协调提升至中等协调。其中,2000—2010年由0.52提升至0.58,2020年进一步提升至0.59,2023年实现跨越式增长,大幅提升至0.67,耦合协调水平提升至中等协调。

3.2.2 “三生”功能耦合协调度空间变化特征

由表4和图5可知,2000—2023年吉林省西部10个县(市、区)的PLEF耦合协调度均呈现上升趋势。其中通榆县由2000年的0.38提升至2023

年 0.54, 从中度失衡水平提升至基本协调水平, 其他地区的耦合协调水平均从基本协调提升至中等协调。具体而言, 2000 年, 吉林省西部普遍处于基本协调水平, 通榆县处于中度失衡水平。通榆县生态问题严重, 农业成本高, 且人口密度低, 综合发展水平较低。2010 年各县(市、区)耦合协调水平均达到基本协调和中等协调水平, 空间上形成以宁江区和洮北区为中心向四周递减的格局, 凸显两大市辖区的区位优势。2020 年空间格局保持稳定, 但区域内呈现不同的变化趋势, 宁江区、洮北区、镇赉县、通榆县、洮南市、大安市耦合协调度有所提升, 而前郭县、乾安县、扶余市耦合协调度则有所下降。2023 年区域整体进入中等协调水平, 宁江区和洮北区的辐射带动作用明显, 通榆县耦合协调度从 2020 年的 0.45 提升至 2023 年的 0.54, 展现出良好的发展趋势。

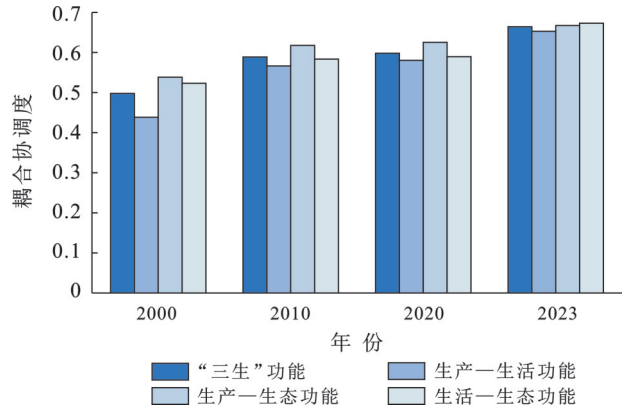


图 4 2000—2023 年吉林西部“三生”功能、生产—生活、生产—生态、生活—生态功能耦合协调度

Fig.4 Coupling coordination degree of production-living-ecological functions, production—living functions, production—ecological functions, and living-ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

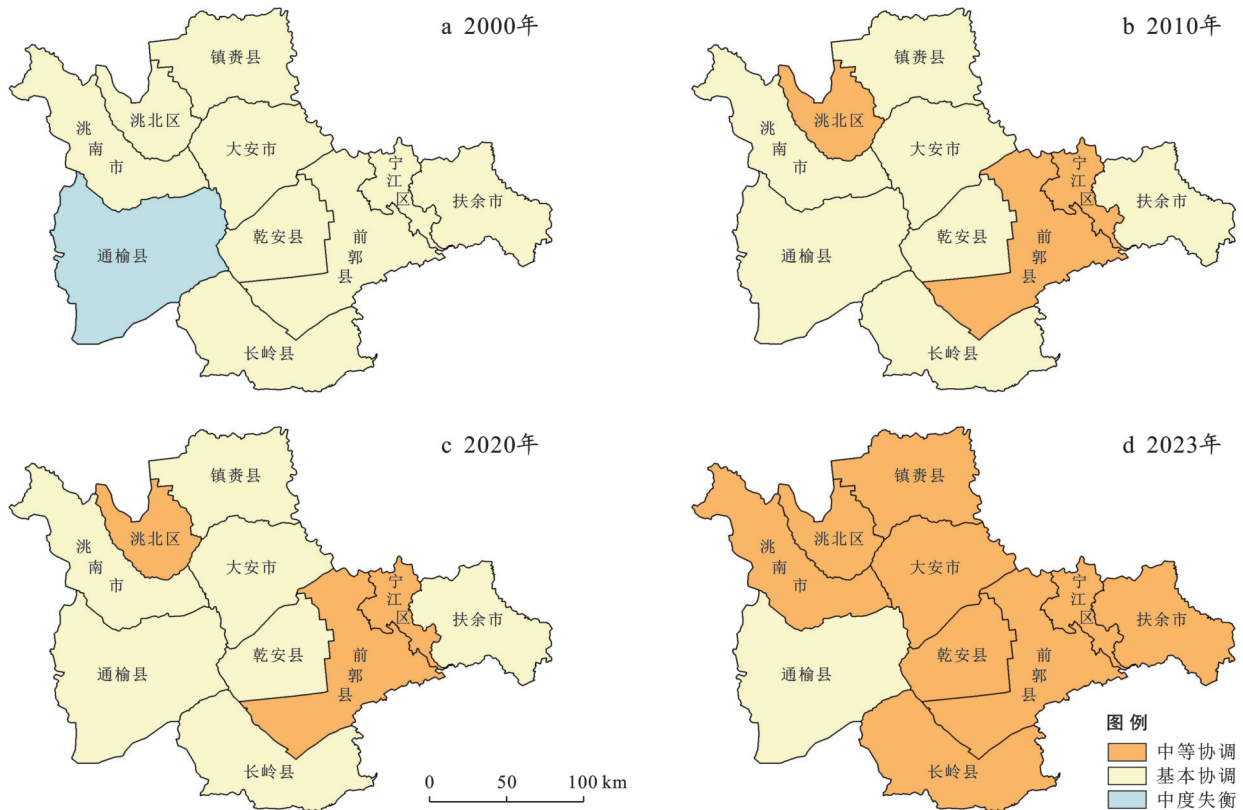


图 5 2000—2023 年吉林省西部“三生”功能耦合协调水平

Fig.5 Coupling coordination level of production-living-ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

结合表 4 和图 6 分析生产—生活—生态两两功能之间的耦合协调关系。从生产—生活功能耦合协调度来看, 2000—2023 年吉林省西部各县(市、区)均呈现增长趋势, 耦合协调水平均提升至少一个等级, 其中宁江区的增长最为显著, 从 2000 年的 0.55 提升至 2023 年的 0.87。

空间分异呈现“东部高, 西部低”的集聚特征。2000 年, 西部及西北部地区以中度失衡为主, 东部及南部地区则处于基本协调水平。2010 年, 宁江区和洮北区凭借其市辖区优势提高至中等协调水平, 且宁江区展示出较强的辐射带动作用, 带动了周边地区发展。2020 年受到疫情影响, 除两大市辖区以外,

其他地区均处于基本协调水平。宁江区处于高度协调水平,主要原因在于其医疗设施完善,人口城镇化率由2010年的59.84%提升至74.65%。2023年耦合

协调水平呈现“东南高,西北低”的空间格局,宁江区通过产业辐射带动了周边前郭县和扶余市的产业快速提升。

表4 2000—2023年吉林省西部“三生”功能、生产—生活、生产—生态、生活—生态功能耦合协调度
Table 4 Coupling coordination degree of production-living-ecological functions, production—living functions, production—ecological functions, and living-ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

县市区	“三生”功能				县市区	生产—生活功能			
	2000年	2010年	2020年	2023年		2000年	2010年	2020年	2023年
宁江区	0.54	0.68	0.75	0.78	宁江区	0.55	0.78	0.82	0.87
前郭县	0.55	0.69	0.62	0.71	前郭县	0.45	0.63	0.54	0.65
长岭县	0.48	0.55	0.55	0.63	长岭县	0.45	0.54	0.54	0.60
乾安县	0.46	0.57	0.55	0.64	乾安县	0.39	0.52	0.50	0.60
扶余市	0.51	0.60	0.58	0.63	扶余市	0.48	0.60	0.57	0.65
洮北区	0.56	0.62	0.66	0.70	洮北区	0.56	0.64	0.72	0.77
镇赉县	0.46	0.55	0.59	0.66	镇赉县	0.36	0.48	0.53	0.60
通榆县	0.38	0.42	0.45	0.54	通榆县	0.32	0.37	0.43	0.51
洮南市	0.45	0.53	0.55	0.61	洮南市	0.36	0.47	0.51	0.59
大安市	0.41	0.50	0.52	0.61	大安市	0.33	0.47	0.49	0.58

县市区	生产—生态功能				县市区	生活—生态功能			
	2000年	2010年	2020年	2023年		2000年	2010年	2020年	2023年
宁江区	0.55	0.66	0.72	0.75	宁江区	0.53	0.61	0.71	0.73
前郭县	0.60	0.73	0.70	0.73	前郭县	0.61	0.71	0.62	0.74
长岭县	0.53	0.61	0.60	0.66	长岭县	0.48	0.50	0.51	0.62
乾安县	0.50	0.59	0.62	0.67	乾安县	0.51	0.59	0.55	0.67
扶余市	0.60	0.67	0.66	0.67	扶余市	0.46	0.53	0.51	0.58
洮北区	0.57	0.63	0.63	0.66	洮北区	0.56	0.59	0.63	0.67
镇赉县	0.51	0.57	0.61	0.67	镇赉县	0.55	0.62	0.64	0.74
通榆县	0.38	0.40	0.44	0.51	通榆县	0.47	0.51	0.49	0.61
洮南市	0.51	0.58	0.59	0.62	洮南市	0.49	0.55	0.55	0.62
大安市	0.43	0.51	0.54	0.60	大安市	0.48	0.52	0.54	0.66

从生产-生态功能耦合协调度来看,2000—2023年吉林省西部各县(市、区)耦合协调度均有不同程度的提升,空间上呈现四周向市辖区提升的特征。2000年区域内以基本协调为主,通榆县因生态问题以及工业化滞后处于中度失衡;2010年,耦合协调水平呈现东南部高于西北部的格局,中等协调区集中在宁江区周边;2020年空间分异加剧,市辖区及周边地区高于其他地区;2023年形成“中部低,两端高”的空间分布,主要是两大市辖区的经济辐射效应带动了周边区域的发展,宁江区具有更为优势的经济条件,其辐射带动能力较洮北区更强。另一方面,随着我国生态修复建设的推进,生态环境得到改善,区域内生产和生态的协调关系相应加强。

从生活-生产功能耦合协调度来看,2000—2023年吉林省西部各县(市、区)耦合协调度波动上升,空

间上呈现由东北部向西南部逐渐提升的演变特征。2000年区域内以基本协调类型为主,前郭县位于查干湖生态区,生态功能突出,生活功能较其他地区更为突出,进而处于中等协调水平;2010年,随着生态修复工程的实施以及经济建设发展,区域内生态功能和生活功能增强,生活—生产功能耦合协调度全面提升。宁江区和镇赉县的耦合协调水平由基本协调提升至中等协调;2020年,中等协调区小幅扩张,主要分布于经济发达或生态优势明显的地区;2023年,中等协调类型区域进一步向西南扩张,除扶余市外均达到中等协调水平,扶余市因土地盐碱化问题在一定程度上限制了该地区的经济发展。

4 讨论

(1) 吉林省西部“三生”功能评价方法选择与应

用。目前,“三生”功能评价主要采用多指标评价法和土地利用类型赋值法两种方法,两类方法在理论基础和应用方式上存在显著差异。本研究选用多指标评价法通过构建综合评价指标体系对吉林省西部“三生”功能进行评价,该方法能够将复杂的评价问题分解为多个层次,从而进行系统性分析。土地利用类型赋值法则基于土地利用类型对不同功能进行赋值,通过空间分类系统划分生产—生活—生态空间,该方法

更注重空间表达且能够体现空间的多功能性。鉴于吉林省西部地区农村人口变化显著,土地盐碱化及土地荒漠化问题受到广泛关注,本研究选取了人口城镇化水平、盐碱地面积占比、沙地面积占比等关键指标对该区域的“三生”功能进行评价。相较于土地利用类型赋值法,多指标评价法能够更全面地反映“三生”功能的多维特性,通过分析时期内各指标的变化情况,探究吉林省西部“三生”功能的演变规律。

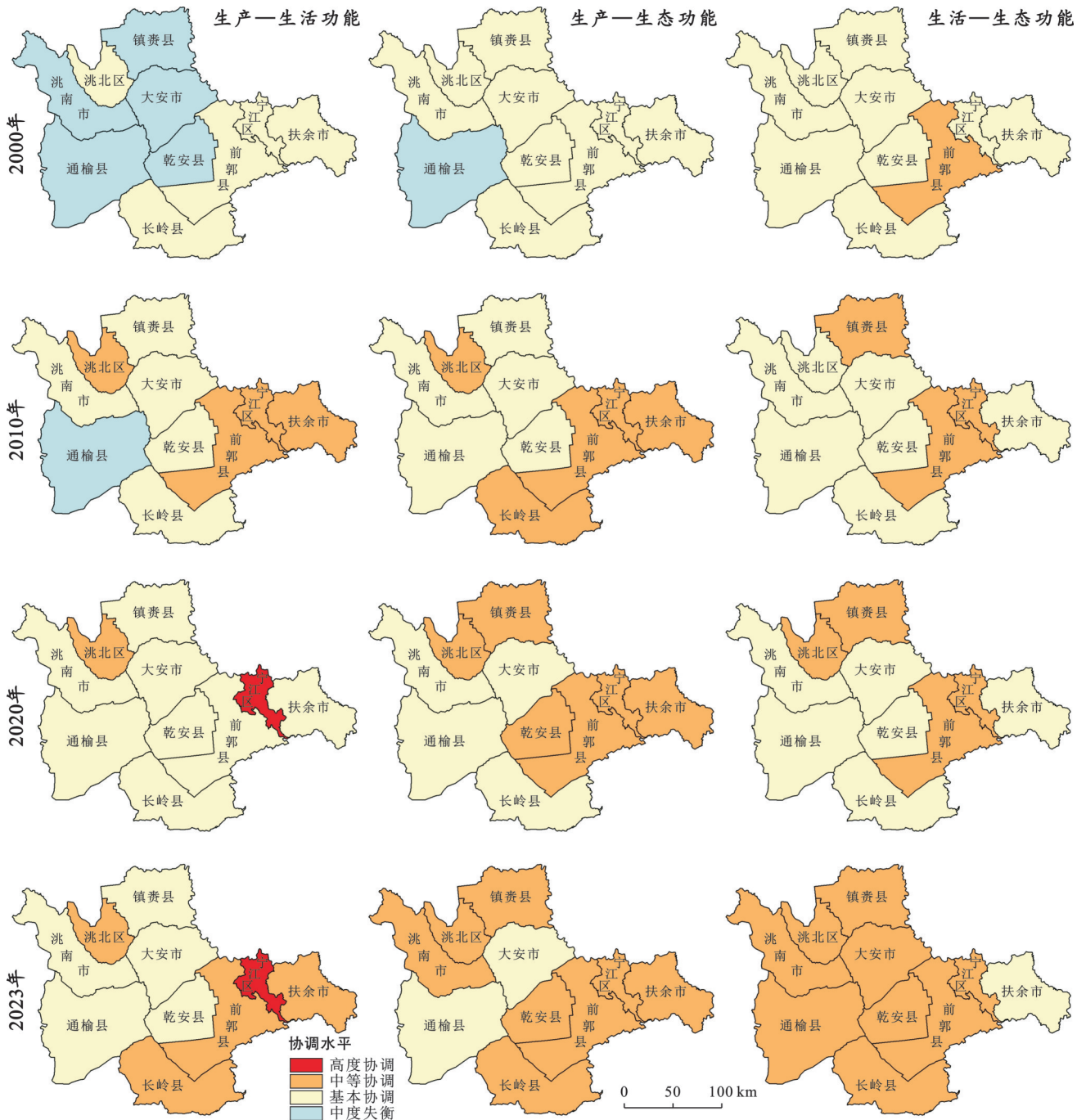


图6 2000—2023年吉林省西部生产—生活、生产—生态、生活—生态功能耦合协调水平
 Fig.6 Coupling coordination level of production—living functions, production—ecological functions, and living—ecological functions in western Jilin Province (2000—2023)

(2) 同类型地区生态功能演变对比存在显著差异。吉林省西部属于农牧交错带地区,其2000—2020年生态功能呈现缓慢上升的趋势,而新疆半农半牧地区2000—2021年生产功能呈现稳定上升趋势,生态功能则小幅度下降^[30]。通过对比发现,新疆半农半牧地区发生小幅度下降的关键原因在于该地区存在草地退化问题,而吉林省西部对生态安全问题十分关注,植树造林、退耕还湿、河湖连通工程等生态修复工程促进了该地区生态功能的提升。

(3) 吉林省西部“三生”功能耦合协调的空间格局受多重驱动因素的共同作用。区域中心城市凭借资源禀赋和区位优势,形成了产业集聚和经济辐射效应,这种效应随着空间距离的增加而衰减,直接塑造了“三生”功能耦合协调的中心—外围格局。具体而言,资源要素向中心城市集聚,增强了中心区域的生产功能,基础设施和公共服务设施在中心区域优先配置,提升了生活功能,技术创新和产业升级在中心区域率先实现,降低了经济发展对生态环境的压力,这种经济集聚效应导致的资源要素空间重组,是“三生”功能耦合协调呈现中心—外围格局的内在经济驱动力。在这一格局形成过程中,生态修复工程、经济集聚效应和政策辐射作用并非孤立存在,而是相互交织、相互强化。例如,经济发达地区往往拥有更强的生态修复能力和更完善的政策支持体系,形成良性循环,而外围地区则可能陷入资源外流、生态退化、政策支持不足的恶性循环。要打破这种中心—外围格局,建议强化区域联动发展机制,实施差异化的生态修复策略,优化政策资源空间配置,构建更加均衡协调的区域发展格局。

尽管本研究评估了该地区自2000年以来不同时间段内各功能的得分情况,并结合区域特征及相关政策分析了当前各县(市、区)所面临的问题,揭示了宁江区和洮北区的辐射带动作用对吉林省西部发展的影响,但在研究过程中仍存在不足。构建评价指标体系时,将草地、森林等土地利用类型划定为单一功能进行评估,而土地利用具有复杂的多功能性,未来需要将土地利用的多功能性纳入研究范围,进行更为细化的研究。另外,本研究对“三生”功能相互作用的动态机制探索不够深入,未来可加强系统动力学模型的构建,揭示不同功能间的反馈机制。

5 结论

(1) 2000—2023年吉林省西部“三生”功能整体呈现上升趋势,其中,2000—2010年的上升趋势明显。生产功能呈现快速提升后稳步上升的发展趋

势,2000—2010年东部地区增长率高于西部地区,2010—2020年区域内的变化情况呈现两极分化,东部及南部地区呈现小幅度下降趋势,西部及北部地区则呈现不同幅度的上升趋势,2020—2023年,区域内均呈现小幅度增长;生活功能呈现出韧性重构的变化趋势,2000—2010年吉林省西部呈现大幅度增长,空间上东部及北部地区高于西南部地区,2010—2020年呈现东部较大幅度下降,西部及西北部地区较小幅度上升,2020—2023年整体呈现增长趋势,东部及中部地区的增长率高于西部、北部以及南部地区;生态功能则呈现先缓慢上升后快速提升的发展趋势,2000—2010年呈现西北部地区下降,南部地区小幅度增高,2010—2020年区域内大面积生态功能呈现负增长,且下降幅度自东北向西南递增;2020—2023年增长率自东北向西南逐渐递增。

(2) 2000—2023年吉林省西部“三生”功能以及生产-生活-生态两两功能之间的耦合协调度均有所提升,由基本协调提升至中等协调水平。吉林省西部“三生”功能及生产—生活功能之间的耦合协调度呈现稳步上升趋势,分别呈现出以宁江区和洮北区为中心,耦合协调水平由四周向中心逐渐提高以及“东部高,西部低”且聚集成片的空间格局。生产—生态功能耦合协调度呈现快速提升后稳步上升的趋势,耦合协调水平整体呈现由四周向市辖区提升,生活—生态功能耦合协调度则呈现缓慢上升后快速提升的趋势,整体表现为由东北向西南逐渐提升。

参考文献(References)

- [1] 郝庆,彭建,魏冶,等.“国土空间”内涵辨析与国土空间规划编制建议[J].自然资源学报,2021,36(9):2219-2247.
Hao Qing, Peng Jian, Wei Ye, et al. The connotation of territory and the suggestions of drawing up spatial planning in the new era [J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(9): 2219-2247.
- [2] 段亚明,许月卿,黄安,等.“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 Yaming, Xu Yueqing, Huang An, et al. Progress and prospects of “production-living-ecological” functions evaluation [J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(2): 113-124.
- [3] 李雨彤.县域国土空间“三生”功能评价与格局优化研究[D].重庆:西南大学,2020.
Li Yutong. Study on the evaluation of “Production-Living-Ecological” functions and the pattern optimization of geographical space in county area [D]. Chongqing:

- Southwest University, 2020.
- [4] 杨锁华,李丽,马江德,等.“三生空间”视角下陕西省1990—2020年土地利用转型及梯度效应[J].干旱区研究,2024,41(7):1249-1258.
Yang Suohua, Li Li, Ma Jiangde, et al. Land use transitions and its terrain gradient effects based on production-living-ecological spaces in Shaanxi Province during 1990—2020 [J]. Arid Zone Research, 2024,41(7):1249-1258.
- [5] 冯晓娟,雷国平,马泉来,等.1990—2020年河南省黄淮海平原国土空间“三生”功能时空演变[J].水土保持通报,2022,42(4):357-364.
Feng Xiaojuan, Lei Guoping, Ma Quanlai, et al. Spatial-temporal evolution of production-living-ecological function in Huanghuaihai Plain of He'nan Province during 1990—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(4):357-364.
- [6] Fu Jingying, Bu Ziqiang, Jiang Dong, et al. Sustainable land use diagnosis based on the perspective of production-living-ecological spaces in China [J]. Land Use Policy, 2022,122:106386.
- [7] 王洁宁,王文超,海蒙蒙.基于PLUS模型的山东省土地利用变化模拟分析[J].国土与自然资源研究,2022(6):1-8.
Wang Jiening, Wang Wenchao, Hai Mengmeng. Simulation analysis of land use change in Shandong Province based on PLUS model [J]. Territory & Natural Resources Study, 2022(6):1-8.
- [8] Zhou Guangliang, Zhang Di, Zhou Qian, et al. Study on the spatiotemporal evolution characteristics of the “production-living-ecology” space in the Yellow River basin and its driving factors [J]. Sustainability, 2022, 14 (22):15227.
- [9] Li Jiayao, Zhang Xiaoping, Zhao Tingting, et al. Study on eco-environmental effects of land use function transition in Dingxi City from the perspective of “production-living-ecological space” [J]. Environment, Resource and Ecology Journal, 2024,8:90-98.
- [10] 杨政琨,张雪松,雷自耕,等.鄂北低丘岗地乡村三生空间功能耦合协调度时空变化研究:以湖北省广水市长岭镇为例[J].长江流域资源与环境,2024,33(6):1354-1368.
Yang Zhengkun, Zhang Xuesong, Lei Zigeng, et al. Spatial-temporal variation of the coupling coordination degree for rural production-living-ecology spatial functions in the low hilly area of northern Hubei Province: Take Changling Town, Guangshui City, Hubei Province as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(6):1354-1368.
- [11] Zhang Lili, Hu Baoqing, Zhang Ze, et al. Research on the spatiotemporal evolution and mechanism of ecosystem service value in the mountain-river-sea transition zone based on “production-living-ecological space”: Taking the Karst-Beibu Gulf in Southwest Guangxi, China as an example [J]. Ecological Indicators, 2023, 148:109889.
- [12] 冯琰玮,甄江红.国土空间功能演变及协同/权衡关系研究:以内蒙古呼包鄂地区为例[J].干旱区研究,2022,39(5):1642-1654.
Feng Yanwei, Zhen Jianghong. Study on the adaptation of the land's functions and its synergy/trade-off relationship: A case study of Hohhot-Baotou-Ordos region, Inner Mongolia [J]. Arid Zone Research, 2022,39(5):1642-1654.
- [13] Yang Yuanyuan, Bao Wenkai, Liu Yansui. Coupling coordination analysis of rural production-living-ecological space in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Ecological Indicators, 2020,117:106512.
- [14] Zhu Ziyi, Peng Shuangyun, Ma Xiaoliang, et al. Identification of potential conflicts in the production-living-ecological spaces of the central Yunnan urban agglomeration from a multi-scale perspective [J]. Ecological Indicators, 2024,165:112206.
- [15] 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 Hao, Jin Ping, Xia Weisheng. 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.
- [16] 翟羽娟,张艳红,姜琦刚,等.吉林省西部农牧交错区“三生空间”时空演变[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(3):1016-1026.
Zhai Yujuan, Zhang Yanhong, Jiang Qigang, et al. Spatial-temporal evolution pattern of “production-living-ecological space” in agro-pastoral ecotone of western Jilin Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022,52(3):1016-1026.
- [17] 庞晓菲,陆汝成,张利国,等.广西边境地区土地利用“三生”功能协调关系及分区优化[J].水土保持研究,2023,30(2):294-302.
Pang Xiaofei, Lu Rucheng, Zhang Liguang, et al. Study on coordination and zoning optimization of land use based on production-living-ecological functions in border areas of Guangxi [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):294-302.
- [18] 邹亚锋,易呈锋,杜平平,等.顾及三生功能与活力的农牧交错区不同类型农村居民点振兴路径[J].农业工程学报,2025,41(11):264-276.
Zou Yafeng, Yi Chengfeng, Du Pingping, et al. Revitalization paths for different types of rural settlements in

- the farming-pastoral ecotone considering “production-living-ecological” functions and vitality [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(11):264-276.
- [19] 杨东儒. 吉林省西部典型湿地生态系统三生功能耦合协调研究 [D]. 吉林 长春:东北师范大学, 2024.
Yang Dongru. Study on coupling and coordination of three functions of typical wetland ecosystem in western Jilin Province [D]. Changchun, Jilin: Northeast Normal University, 2024.
- [20] 刘相正. 东三省“三生”功能评价及耦合协调时空分异研究 [D]. 辽宁 沈阳:辽宁大学, 2023.
Liu Xiangzheng. Research on the function evaluation and coupling coordination spatiotemporal differentiation of “production-living-ecological” in the three northeastern provinces [D]. Shenyang, Liaoning: Liaoning University, 2023.
- [21] 应汝佳, 马田宇. 土地“三生”功能耦合协调度时空分布特征及其驱动因素研究:以江苏省为例 [J]. *江西农业学报*, 2025, 37(3):54-62.
Ying Rujia, Ma Tianyu. Study on spatiotemporal distribution characteristics and driving factors of coupling coordination degree of “production-living-ecological” functions of land: A case study of Jiangsu Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2025, 37(3):54-62.
- [22] 程佳琦, 林伊琳, 赵俊三, 等. 昆明市“三生空间”功能耦合协调时空特征与影响因素 [J]. *水土保持研究*, 2024, 31(3):299-310.
Cheng Jiaqi, Lin Yilin, Zhao Junsan, et al. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of functional coupling and coordination of ‘production living-ecological’ spaces in Kunming City [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(3):299-310.
- [23] 马炎生, 吴大放, 罗改改. 长株潭“三生”空间适宜性耦合协调度分析 [J]. *水土保持研究*, 2024, 31(5):389-398.
Ma Yansheng, Wu Dafang, Luo Gaigai. Analysis on the suitability coupling coordination degree of production-living-ecology space in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(5):389-398.
- [24] 史晓辰, 张超, 郟文聚. 有效缓解耕地开垦与湿地保护矛盾的对策:以吉林西部为例 [J]. *中国土地*, 2022(10):32-33.
Shi Xiaochen, Zhang Chao, Yun Wenju. Countermeasures to effectively alleviate the contradiction between cultivated land reclamation and wetland protection: A case study of western Jilin Province [J]. *China Land*, 2022(10):32-33.
- [25] 王晶滢. 吉林西部盐碱地开发利用的生态效应及其格局优化研究:以镇赉县为例 [D]. 吉林 长春:吉林大学, 2021.
Wang Jingying. Ecological effects and pattern optimization of the reclamation of saline-alkali land in west Jilin Province: A case study of Zhenlai County [D]. Changchun, Jilin: Jilin University, 2021.
- [26] 刘骅欣. 吉林西部盐碱区土壤有机碳时空变化及影响因素研究 [D]. 吉林 长春:吉林大学, 2024.
Liu Huaxin. Temporal and spatial changes of soil organic carbon and its influencing factors in saline-alkali areas of western Jilin Province [D]. Changchun, Jilin: Jilin University, 2024.
- [27] Yang Jie, Huang Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8):3907-3925.
- [28] Zhu Jiaheng, Shang Zhengyong, Long Cheng, et al. Functional measurements, pattern evolution, and coupling characteristics of “production-living-ecological space” in the Yangtze Delta region [J]. *Sustainability*, 2023, 15(24):16712.
- [29] Qin Yujia, Wang Lingzhi, Yu Ming, et al. The spatiotemporal evolution and transformation mode of human settlement quality from the perspective of “production-living-ecological” spaces: A case study of Jilin Province [J]. *Habitat International*, 2024, 145:103021.
- [30] 赵兰兰, 夏咏, 李先东, 等. 2000—2021年新疆牧区生态-生产-生活功能耦合协调效应及障碍因素诊断 [J/OL]. *农业资源与环境学报*, 2025: 1-17. (2025-02-28) [2025-05-07]. <https://link.cnki.net/doi/10.13254/j.jare.2024.0846>.
Zhao Lanlan, Xia Yong, Li Xiandong, et al. Diagnosis of coupling, coordination and obstacles of ecological-production-living functions of the Xinjiang pastoral area in 2000 to 2021 [J/OL]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025: 1-17. (2025-02-28) [2025-05-07]. <https://link.cnki.net/doi/10.13254/j.jare.2024.0846>.