

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.03.014.

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, 319.

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, 319.

昆明市“三生空间”功能耦合协调时空特征与影响因素

程佳琦^{1,2,3}, 林伊琳^{1,2,3}, 赵俊三^{1,2,3}, 覃彬桂^{1,2,3}

(1.昆明理工大学 国土资源工程学院, 昆明 650093; 2.智慧矿山地理空间信息集成创新重点实验室, 昆明 650093; 3.云南省高校自然资源空间信息集成与应用科技创新团队, 昆明 650211)

摘要: [目的]探究区域“三生空间”功能耦合协调关系及影响因素,对指导区域国土空间格局优化和实现高质量可持续发展具有重要意义。[方法]以昆明市为例,在构建“三生空间”功能评价指标体系的基础上,集成熵权法、线性加权法、三元图和耦合协调度模型等方法定量测算 2000—2020 年 5 个时段昆明市“三生空间”功能耦合协调的时空特征,并采用地理探测器探究影响昆明市“三生空间”功能发展的主导因素。[结果](1) 2000—2020 年昆明市生产—生活空间功能总体呈现上升趋势,生态空间功能呈现下降趋势,受政策措施、工程建设选址推动,城市功能定位发生变化,“三生空间”功能主要经历了生态—生活、生产—生活—生态优势均衡区,发现 2010 年是步入生产—生活—生态均衡发展的重要转折点;(2) 20 年来昆明市“三生”功能耦合协调度总体浮动较小,经历了基本协调和中度协调阶段,空间上呈现“四周高、中间低”的格局;(3) 影响昆明市“三生”功能耦合协调的主要因素是万人均粮食播种面积和林地面积,且因子交互后所产生的共同作用增加了对“三生”功能发展的解释力。[结论]生境质量在“三生”功能发展中稳定性较差,具有波动性。

关键词: “三生”功能; 耦合协调度; 地理探测器; 时空分异

中图分类号: X321

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)03-0299-12

Spatiotemporal Characteristics and Influencing Factors of Functional Coupling and Coordination of 'Production-Living-Ecological' Spaces in Kunming City

Cheng Jiaqi^{1,2,3}, Lin Yilin^{1,2,3}, Zhao Junsan^{1,2,3}, Qin Bingui^{1,2,3}

(1.Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2.Key Laboratory of Geospatial Information Integration Innovation for Smart Mines, Kunming 650093, China;

3.Spatial Information Integration Technology of Natural Resources in Universities of Yunnan Province, Kunming 650211, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the coupling and coordination relationship and influencing factors of regional production-living-ecological spaces (PLES) function, and to guide the optimization of regional land spatial pattern and realize high-quality sustainable development. [Methods] Kunming was taken as an example. Based on the construction of the evaluation index system of the spatial function of PLE, Entropy weight method, linear weighting method, ternary diagram and coupling coordination degree model were integrated to quantitatively measure the spatial and temporal characteristics of the coupling and coordination of the spatial function of PLE in Kunming from 2000 to 2020, and geographical detectors were used to explore the dominant factors affecting the development of the spatial function of PLE in Kunming. [Results] (1) From 2000 to 2020, the PL space function of Kunming City showed an overall upward trend, and the ecological space function showed a downward trend. Driven by

收稿日期: 2023-06-01

修回日期: 2023-07-06

资助项目: 云南省基础研究计划项目(202201AU070112); 昆明理工大学引进人才科研启动资助项目(KKZ3202021055)

第一作者: 程佳琦(1998—), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要从事国土空间规划研究。E-mail: 2935997725@qq.com

通信作者: 林伊琳(1991—), 女, 云南昆明人, 讲师, 硕士生导师, 主要从事 GIS、国土空间规划研究。E-mail: 601960754@qq.com

<http://stbcj.paperonice.org>

policy measures and project construction site selection, the urban function positioning changed. The PLES function mainly experienced the EL and PLE advantage equilibrium area, and it was found that 2010 was an important turning point for entering the balanced development of PLE. (2) In the past 20 years, the overall fluctuation of the functional coupling coordination degree of PLE in Kunming City had been small, and it had experienced the basic coordination and moderate coordination stages, showing a pattern of high level around and low level in the middle in space. (3) The main factors affecting the coupling and coordination of PLES functions in Kunming were the per capita sown area and forestland area, and the interaction of factors increased the explanatory power of the development of PLES functions. [Conclusion] Among them, the habitat quality is less stable and volatile in the development of PLES functions.

Keywords: production-living-ecological spaces (PLES); coupling coordination degree model; geographical detector; spatiotemporal evolution

生产空间、生活空间和生态空间简称“三生空间”,宏观尺度下的国土空间可借助“三生”功能进行界定,即生产功能、生活功能和生态功能^[1]。“三生空间”功能耦合协调发展是协调人地关系、促进可持续发展内涵的延伸。立足人地协调发展理念,对“三生空间”的合理配置是实现区域协调发展和科学开展国土空间规划的重要手段和前提^[2]。“三生空间”具有多功能性特征,功能空间竞合叠置,格局难以厘清,作为生态文明建设背景下的国土空间规划最直接、最重要的目标载体,“三生空间”功能耦合协调特征及其影响因素研究已成为学术前沿和国土空间规划亟待解决的重要实践问题^[3],且有助于了解国土空间格局发展状态,缓解不同空间功能矛盾,对推动高质量可持续发展和优化国土空间格局具有重要参考价值^[4]。

当前,国内外学者在“三生”空间功能方面多侧重于空间功能识别与演变^[5-6]、功能分区与优化、功能协调关系及其效应等^[7]领域,针对“三生”空间及其功能概念界定和特征识别理论框架^[8]、“三生空间”功能格局特征与优化^[9-11]和“三生空间”功能协调利用等^[12-13]方面;在研究方法上,主要以定量评价与表征为主,通过构建评价指标体系来量化生产、生活和生态功能特征,具备指标地域性和评价体系综合性强的特点,在功能识别上独占优势^[14-15],进而分析其时空演变规律^[16-17],但指标因子选取均较为普适性,缺乏反映生态空间功能多源指标的考量,一定程度上导致在功能定位上的不确定性,分析结论存在偏颇性,导致“三生空间”在实际管控中出现不均衡的现象。针对“三生空间”功能间相互作用关系的定量表征及其演化规律的研究亟需进一步注入新的思路进行探究。

昆明市正在加快建设国际化都市,推动城市功能布局更加完善,建设空间扩张迅速;同时昆明又作为长江经济带的重要组成部分,生态文明建设与经济社

会发展并重,加速了“三生空间”功能的转型。受各县区自然条件、经济水平、文化差异等多重因素影响,昆明土地利用结构和“三生空间”功能的区域差异愈发明显。鉴于此,本研究从“三生空间”功能视角,引入生态模型^[18-19]和碳储量、生境质量指数^[20],改进并建立指标体系表征“三生空间”功能,系统构建“三生空间”功能三元图和耦合协调度模型^[21],测算 2000—2020 年昆明市“三生空间”功能协调与冲突,检测功能在空间一时间上的转折点,揭示其耦合协调时空分异特征,运用地理探测器模型客观地测度“三生空间”功能发展的影响及其差异性,为探究“三生空间”功能的互动关系,以期为区域国土空间功能差异识别和发展模式优化提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

昆明市地处中国西南地区,云贵高原中部以及滇池盆地北部,属山原地貌,三面环山,南濒滇池,市中心海拔 1 891 m,处于低纬度高原山地季风气候区,受印度洋西南暖湿气流的影响,日照长、霜期短、年平均气温 15℃,年平均降雨量在 1 060 mm 左右,享有“春城”的美称(图 1),是中国西部地区重要的中心城市之一,也是云南省滇中城市群的核心城市。全市共有 14 个县级行政区,国土面积为 21 012.54 km²,市域内湖泊面积 377 km²,有林地面积 102 600 km²。2020 年总人口 846.3 万人,地区生产总值高达 6 733.8 亿元,位居云南省各州市首位,于 2020 年评为“特大城市”。昆明市作为云南省省会,是云南省政治、经济、文化、科技、交通的中心,形如云南省的心脏,同时也是我国与东南亚地区沟通的桥梁,是辐射南亚东南亚的区域性国际中心城市。

1.2 数据来源

本研究选用的数据包括:2000 年、2005 年、2010

年、2015 年和 2020 年昆明市土地利用数据,来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>);昆明市行政区划数据来自规划云(<http://www.guihuayun.com/>);社会经济数据和环境统计数据来源于《云南省统计年鉴》《昆明市统计年鉴》,经济社会统计数据是采用 ArcGIS 软件中的克里金插值法进行空间格网化处理。

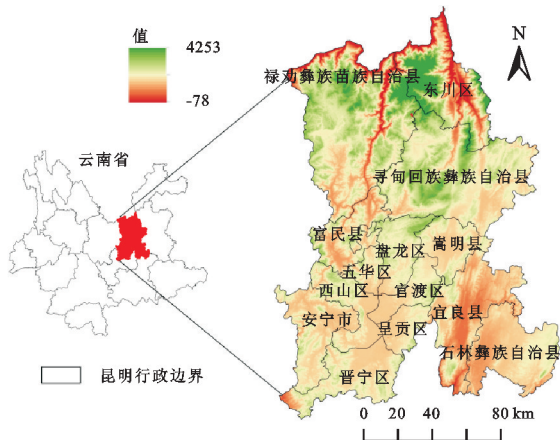


图 1 研究区地理图

Fig. 1 Geographic location map of the study area

2 研究方法

2.1 “三生”功能指标体系构建

“三生”功能指标体系是以生产、生活和生态功能为一级指标。在本研究中,生产功能是以农业、经济为主,表征的是农业生产、非农业生产的水平。生活

功能以生活保障、生活基础、人口承载为主,表征的是人民的基础生活水平以及配套设施完善的程度。生态功能对应的是生态基础、生态胁迫和生态维护,表征的是林地面积、生境退化度、生境质量、景观破碎程度及单位土地面积碳储水平等方面。

其中碳储水平、生境退化度、生境质量和景观分散指数作为部分生态检测指标。Fragstats 模型计算景观分散^[22]表征生态胁迫程度,即区域景观碎片化严重,反映区域生态系统风险病理程度严重,生态系统功能受胁迫程度较高。InVEST 模型中的生境质量、生境退化度和碳储计算模块,其中生境质量模块借助土地利用覆被数据测算对每种威胁源的敏感性、从而评估该地区景观的生境质量^[23]、退化水平等,从侧面表征生态环境情况,生境质量表征生态系统生物多样性,退化度表征生态环境胁迫程度;碳储量模块是利用土地覆被类型的空间分布格局及其对应的碳库直接评估区域生态系统碳储量,模型自动生成碳储量影响。评估结果有助于协调生态系统保护与经济发展之间的关系,维系社会和自然的利益平衡^[24]。

参考相关文献^[25-26],结合“三生”空间理论和研究区实际,考虑到研究指标的可获取性和稳定性,选取 22 项指标建立昆明市“三生”功能评价指标体系(表 1)。对各项指标进行统一量纲处理,运用熵值法计算出各项指标的综合权重,再通过线性加权法进行修正^[27-28],最后得到综合得分。

表 1 昆明市生产—生活—生态功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of Production-Living-Ecological functions in Kunming

准则层	因素层	指标层	单位	指标指向性	综合权重
生产功能	农业生产	万人均粮食播种面积 P_1	$\text{km}^2/\text{万人}$	正	0.169650
		粮食单产量 P_2	t	正	0.156887
		农林牧渔业总产值 P_3	亿元	正	0.176196
	非农业生产	人均国民生产总值 P_4	万元/人	正	0.169840
		人均社会消费品零售额 P_5	万元/人	正	0.176091
		二、三产业比重 P_6	%	正	0.151336
生活功能	生活保障	农民人均可支配收入 L_1	元/人	正	0.127823
		人均公共预算支出 L_2	元	正	0.128306
		人均粮食产量 L_3	t	正	0.129328
	生活基础	职工平均工资 L_4	万元	正	0.131602
		通自来水村个数 L_5	个	正	0.120303
		小学个数 L_6	个	正	0.125522
		人口城镇化率 L_7	%	正	0.122178
	人口承载	人口密度 L_8	—	负	0.114938
		生态基础	林地面积 E_1	km^2	正
	草地面积 E_2		km^2	正	0.138166
水域面积 E_3	km^2		正	0.140660	
生态功能	生态胁迫	景观破碎度(SPLIT) E_4	—	负	0.117209
		单位耕地面积农药使用量 E_5	万 t/ km^2	负	0.115341
		HQ 质量(生境质量) E_6	—	正	0.118994
	生态维护	单位土地面积碳储水平 E_7	t/ km^2	负	0.117880
		生境退化度 E_8	—	负	0.117890

2.2 基于三元图的三生功能图解

三元图是一种独立组分数为 3 的体系,主要是通过描述 X, Y, Z 列所代表的数据源间的比例关系来直观地对发展趋势进行定性分析。本研究选用生产功能、生活功能和生态功能作为数据源,将三生功能类型分为七大功能类型:生产型功能区(P)、生产—生态优势区(PE)、生态型功能区(E)、生态—生活优势区(EL)、生活型功能区(L)、生活—生产优势区(LP)以及生产—生活—生态均衡区(PLE),利用 Origin 数据分析软件绘制分区三元图(图 2)。

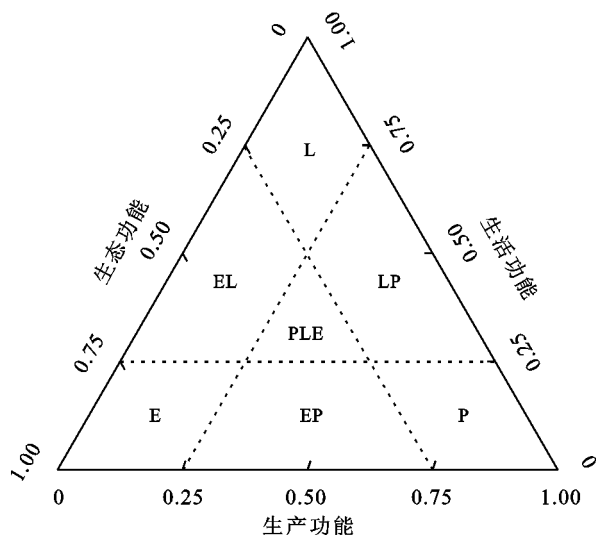


图 2 生产—生活—生态多功能分区三元图

Fig. 2 PLES multifunctional partition ternary diagram

2.3 三生功能耦合协调度模型

耦合协调度模型用来分析事物发展协调程度,研究各个体系之间的关联和依赖程度^[29-30]。耦合度(C)是耦合协调模型的核心部分,表示各个功能之间的相互作用的程度。本研究引入该模型主要是研究生产—生活—生态功能之间的相互作用和协调的程度。计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (1)$$

表 3 因子交互探测关系

Table 3 Factor interaction probe relationship

判断依据	交互关系
$q(X_1 \cap X_2) < \min[q(X_1), q(X_2)]$	非线性减弱(拮抗作用)
$\min[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2) < \max[q(X_1), q(X_2)]$	单因子非线性减弱(单拮抗作用)
$q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$	双因子增强(双协同作用)
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	相互独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强(协同作用)

3 结果与分析

3.1 昆明市三生功能时空变化分析

3.1.1 时间变化特征分析 2000—2020 年昆明市

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2 U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3}} = \frac{3 \sqrt[3]{U_1 U_2 U_3}}{U_1 + U_2 + U_3} \quad (2)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3,$$

$$\text{其中, } \alpha = \beta = \gamma = 1/3 \text{ 且 } \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (3)$$

式中: D 为协调发展度; C 为耦合度, 区间为 $[0, 1]$; T 为生产—生活—生态功能协调水平; U_i 为生产功能、生活功能、生态功能的综合指数; 参考相关研究成果^[31]并结合研究实际, 将三生功能耦合协调度分为 7 个等级(表 2)。

表 2 耦合协调度等级划分标准

Table 2 Classification Standard of the coupling coordination degree

耦合协调度	等级水平	过程阶段
$D \in [0, 0.2]$	严重失调	
$D \in (0.2, 0.3]$	中度失调	失调阶段
$D \in (0.3, 0.4]$	轻度失调	
$D \in (0.4, 0.5]$	基本协调	过渡阶段
$D \in (0.5, 0.6]$	轻度协调	
$D \in (0.6, 0.8]$	中度协调	协调阶段
$D \in (0.8, 1.0]$	高度协调	

2.4 地理探测器模型

2.4.1 因子探测 本研究借助地理探测器模型^[32-33], 结合表 1 建立的三生功能指标体系, 以县域为研究单元, 选取 22 个指标数据作为自变量, 三生功能作为因变量, 利用 q 值来解释各个自变量 X_i 对因变量空间功能 Y 的空间异质性, 其中 q 值越大, 则因子 X_i 对三生功能 Y 的空间分异的解释能力越强。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad q \in [0, 1] \quad (4)$$

2.4.2 交互探测 交互作用探测即识别不同风险因子 X 之间的交互作用, 即评估了不同因子之间共同作用是否会增加或者减弱对 Y 的解释能力。两个因子之前存在以下 5 种交互关系(表 3)。

14 个县市区三生功能评价综合评分如图 3 所示, 昆明市三生功能总体呈现上升趋势, 从 2000 年的 0.31 上涨至 2020 年的 0.47, 上涨幅度达 51.61%。由于各个县市区发展水平不一, 增长幅度也有所不同, 其中富民县

增速最为突出,增长幅度为 89.53%。其次为呈贡区,增长幅度为 80.51%。富民县和呈贡区分别作为昆明市的次核心发展区和主城区代表,充分发挥地区优势,提出“工业上山”和“特色农业”的两大政策,在工业和农业

发展上积极转型。此外,西山区的增长最慢,主要原因是生态功能的下降,西山区作为昆明市主城区之一,在西北城区开发中,大量的土地利用类型转变为建设用地,一定程度上影响了生态功能发展。

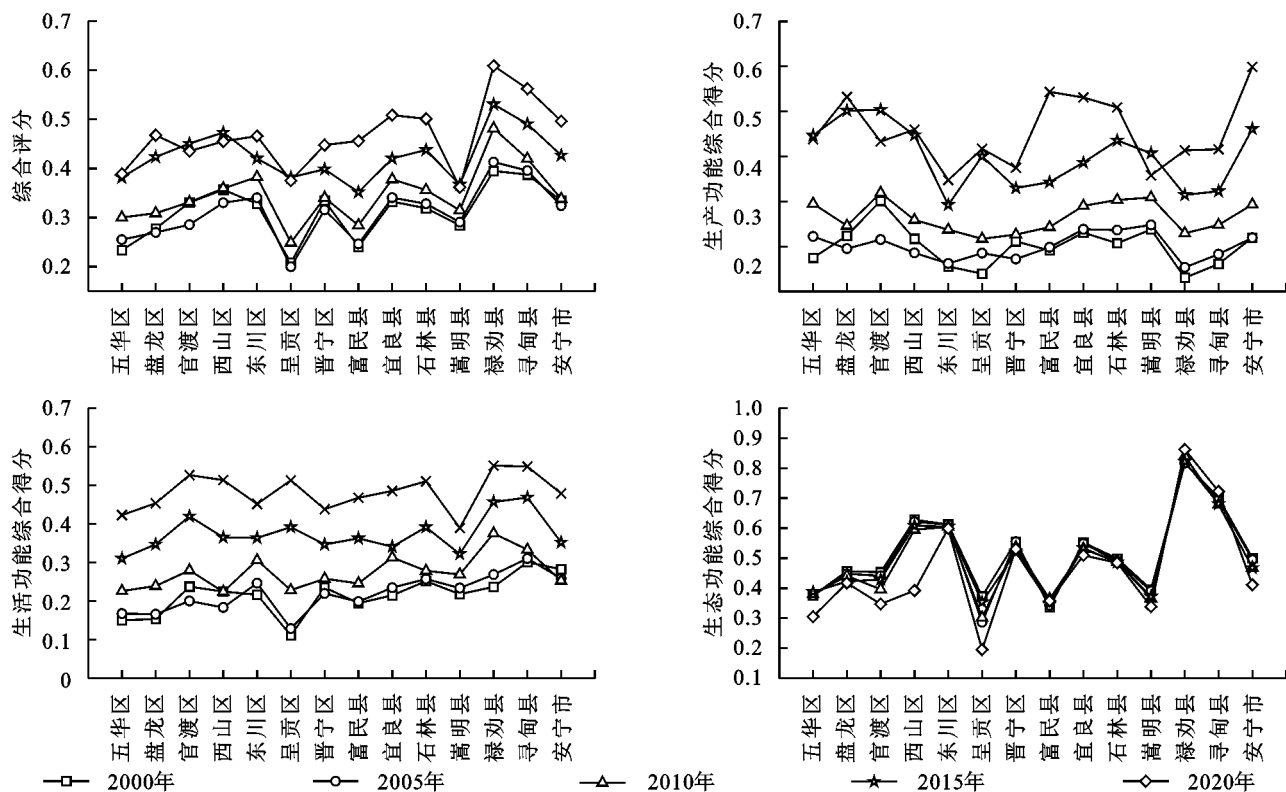


图3 2000—2020年昆明市及各县市区三生功能评价分值趋势

Fig. 3 Trend chart of evaluation scores of PLEFs in Kunming City and counties and cities from 2000 to 2020

从生产功能综合评价得分来看,2000—2010年,昆明市14个县区发展大致相同,呈现缓慢增长趋势;2010—2020年,昆明市14个县区在生产功能的发展呈大幅度提升,突出表现在次核心发展区,如富民县(上涨0.35)、安宁市(上涨了0.38)、宜良县(上涨0.31),以及主城区(均 >0.4)。从生活功能综合评价得分来看,2000—2005年,官渡区、盘龙区及西山区等部分主城区出现逆增长(下降高达0.04);2005—2010年,部分地区生活功能出现停滞,如寻甸县和安宁市典型的边缘农业县(停滞在0.31),其中寻甸县人口城镇化率极低(18.3%);2010—2020年,随着生产—生活空间功能的不断完善,昆明市14个县区生活功能呈现快速发展的态势,普遍达到中等发展水平(≥ 0.5),西山区和呈贡区更是达到0.64,表明西山区和呈贡区在城市转型以及土地转化中取得了良好的进展。从生态功能评价得分上看,2000—2020年,多数地区总体保持较高的发展水平,集中体现在禄劝县(0.86)、寻甸县(0.72)、东川区(0.59)以及宜良县(0.51)这类边缘县区;此外,由于城区开发转型导致生态功能下降幅度明显,西山区(下降0.38)和呈贡区

(下降0.47)。

从功能优势区上看(图4),昆明市2000—2020年三生功能发展经历了EL优势区和PLE均衡区的两个阶段。第一阶段2000—2010年主要以发展生活功能和生态功能为主,生产功能发展相对失衡。第二阶段2010—2020年表明生产—生活—生态功能处于均衡协调发展阶段,是一种稳定且有利的发展态势。发现2010年以后昆明市进入PLE均衡区,随后呈上升趋势,由此看出2010年是从不均衡发展到均衡发展的一个重要转折点。

3.1.2 空间变化特征分析 根据综合得分计算结果,按照“低(≤ 0.2)、较低(0.2~0.4)、中等(0.4~0.6)、较高(0.6~0.8)以及高(≥ 0.8)”5个等级进行划分,借助ArcGIS软件绘制空间等级分异图(图5)。

从生产功能发展情况来看,昆明市14个县区空间分异明显。2000年,昆明市主城区以及边缘县区的生产功能得分处于低水平,呈现“北部低,南部高”的空间格局。2010年之后,政府大幅度增加“三农”投入,推动实施了中低产田地改造、百亿斤粮食增产计划等重大工程;在工业上,大力推进结构调整,使

得昆明市在生产功能的发展有了大幅度的提升。到2020年,昆明市主城区以及边缘县区(如禄劝县,寻甸县及富民县等)从低水平上升为中等水平。

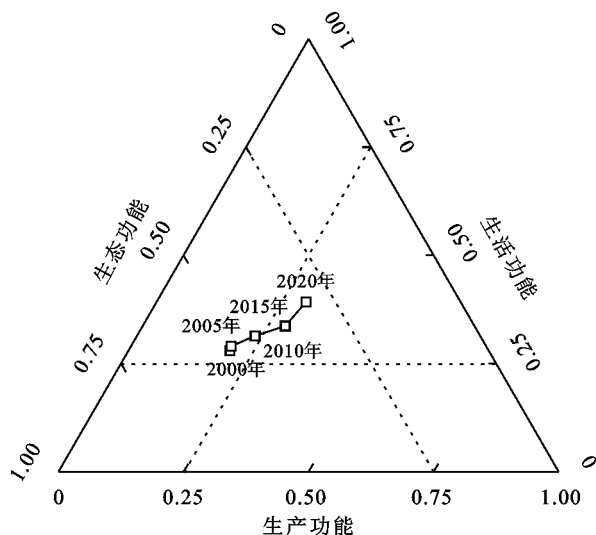


图4 2000—2020年昆明市生产—生活—生态功能发展阶段分布类型

Fig. 4 Distribution Types of PLEF Development Stages in Kunming from 2000 to 2020

从生活功能发展情况来看,2000年,由于各地区交通欠发达,生产发展受限,生活水平落后,各县市区处于低等级。2020年,昆明市多数县区步入“较高”等级,如呈贡区、西山区、官渡区等,主要原因是功能定位发生改变,如呈贡区由农业向科教中心转变;西山区则是由于“西拓”发展向生活中心转化;官渡区作为螺蛳湾国际商贸城、机场改扩建选址,基础设施日趋完善,生活功能完备。

从生态功能发展情况来看,20年间,昆明市14个县市区生态功能空间差异主要出现在南部地区,北部地区保持稳定的生态功能发展,呈现“北部高,南部低”的空间分布格局。禄劝县、寻甸县等城市边缘县区的生态功能由于天然的生态环境优势,林地和草地面积覆盖度较高(两地林地覆被度分别达58.8%,49.63%),生境质量优越,因此生态空间保持着相对较好的发展(均超过0.5,禄劝县高达0.86)。2020年,中部主城区的生态功能由“中等”水平下降为“较低”等级,以官渡区、西山区和呈贡区最为明显,主要是由于土地利用类型的转变导致生境质量下降,景观破碎化。

3.2 三生功能耦合协调关系分析

3.2.1 三生功能耦合协调时序变化特征 通过耦合协调度模型公式,计算得出耦合度和协调发展度,利用Origin数据分析软件绘制出雷达图(图6)。2000—2020年,14个县市区的耦合度均处于较高水平阶段,富民县、嵩明县在5个时段中的耦合度接近

重合且在数值上接近于1,表明两地耦合度变化幅度几乎不变,此外,三生功能的相互作用也愈发紧密。禄劝县、寻甸县和盘龙区耦合度波动较大,表明这些地区三生功能的关联度也呈现递增关系。值得注意的是呈贡区在2020年耦合度虽在平均值之上,但相较于2015年大幅下降,表明呈贡区三生功能之间的关联度有待提高。

通过测算5个时段的昆明市“三生空间”功能协调发展度发现,昆明市“三生空间”功能的协调发展度呈缓慢增加态势。2000—2005年,发展处于停滞阶段,协调发展度约为0.53,这一阶段生产功能变化幅度较小,生产—生活功能发展迟缓,与前文中的综合评分处于低评分等级一致。2005以后,协调发展度呈现增长趋势,昆明市推出了“城镇上山”、“工业上山”的政策,生产—生活功能大幅增长,均值由2005年的0.53增长至2020年的0.66。其中2010—2020年增长幅度最明显,生活功能涨幅94%,生产功能涨幅119%,实现了从基本协调阶段到中度协调阶段的过渡。

3.2.2 三生功能耦合协调空间分异特征 为进一步明晰各县区三生空间功能耦合协调度情况,将测算结果进行空间可视化,形成2000—2020年昆明市三生空间功能耦合协调度空间分布图(图7)。

2000—2020年、昆明市14个县市区的耦合协调度等级不断提高,发展趋势呈现由“四周向中心降低”的空间分异格局,昆明市边缘县区大于主城区,南部地区大于北部地区。协调度较高的地区主要是集中在昆明市边缘县区以及次核心发展区,如禄劝县(0.81)、寻甸县(0.74)、宜良县(0.71)、安宁市(0.70)、和石林县(0.71),其中禄劝县的三生功能耦合协调度整体水平最高,其主要是由于禄劝县政府“帮扶脱贫”政策,使得生产—生活功能快速发展缩短了与基础生态功能的差距,达到了高度协调的阶段。全市多数地区处在轻度协调和中度协调等级阶段,整体均处在三生功能的轻度协调以上的阶段,耦合协调水平较低;西山区、呈贡区和嵩明县三生功能耦合协调度整体水平较低,发展速率较为迟缓,主要是由于着重发展农业和工业,生态环境防护与治理的意识薄弱,使得生产—生活功能提升的同时,生态功能下降,耦合协调度相对较低。

3.3 昆明市三生功能耦合协调时空分异机制探测分析

3.3.1 主导因子探测分析 根据前文分析结果,2010年是昆明市三生功能发展的重要转折点,选取该年份作为研究时段的节点。对排名前10个因子进行驱动因子分析(表4)。

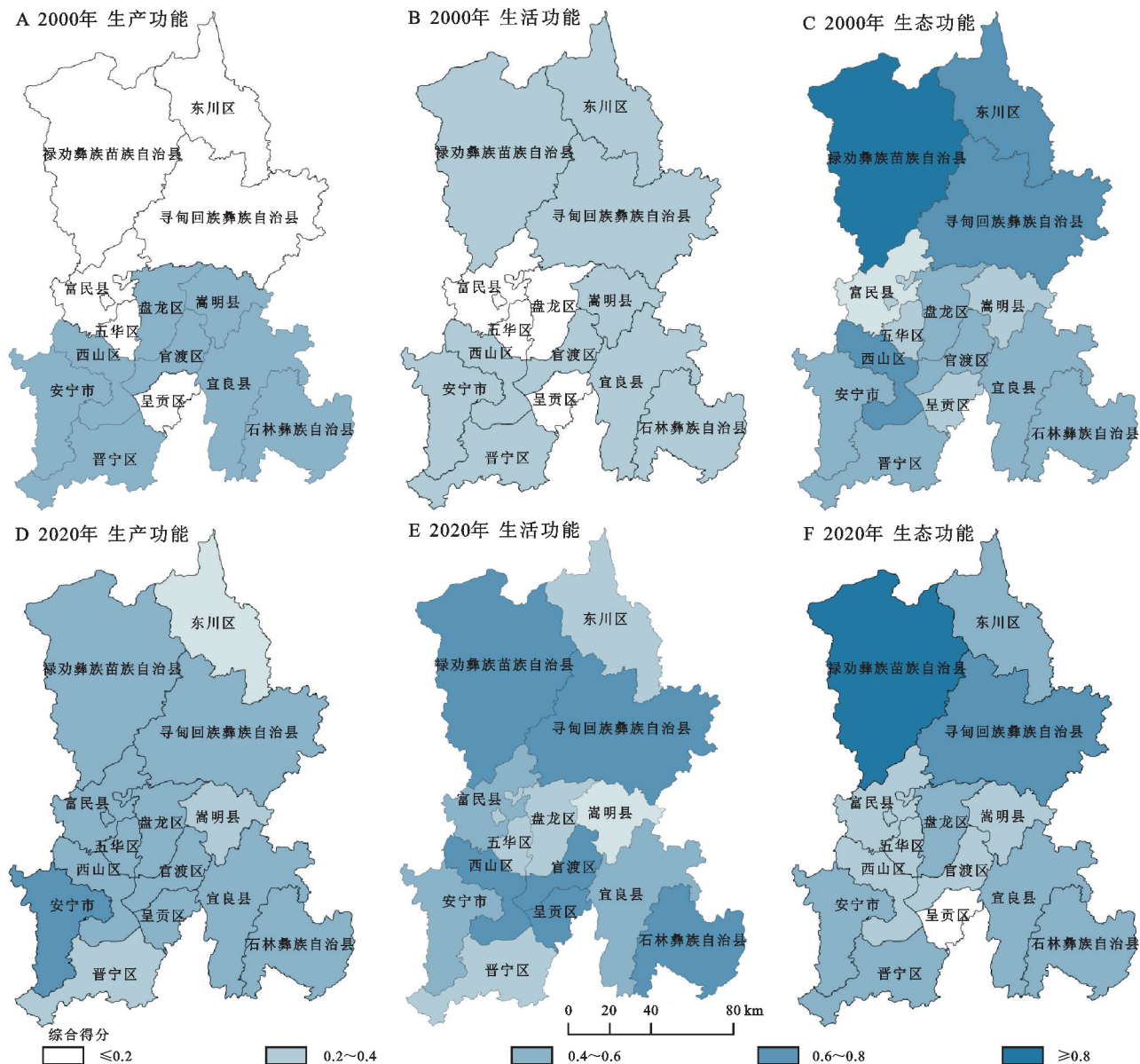


图 5 2000—2020 年昆明市三生功能评价空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of PLEFs evaluation in Kunming from 2000 to 2020

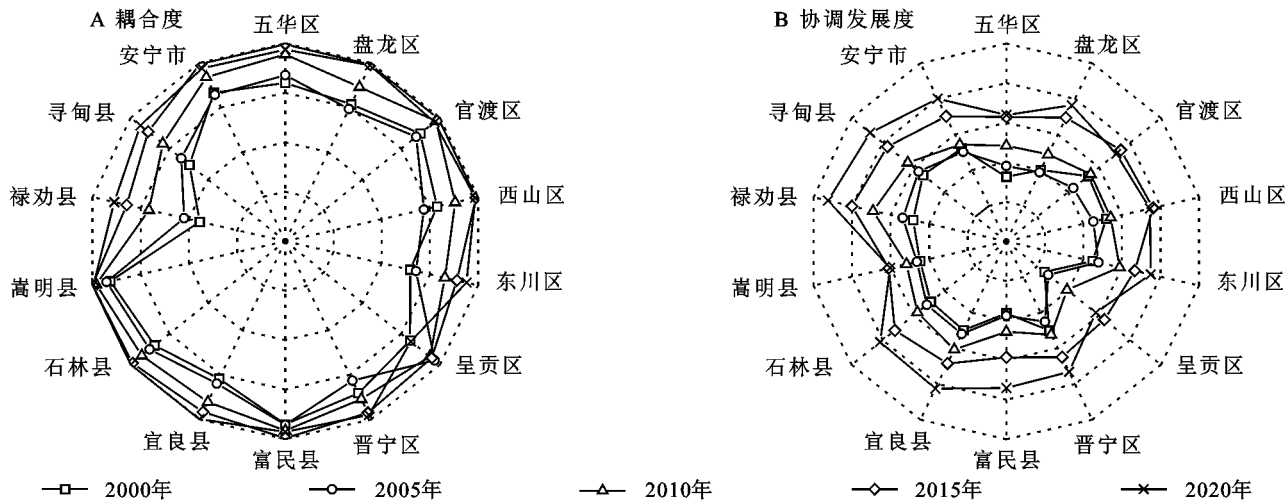


图 6 2000—2020 年昆明市生产—生活—生态功能发展耦合协调度

Fig. 6 Coupling Coordination Degree of PLEF Development in Kunming in 2000 and 2020

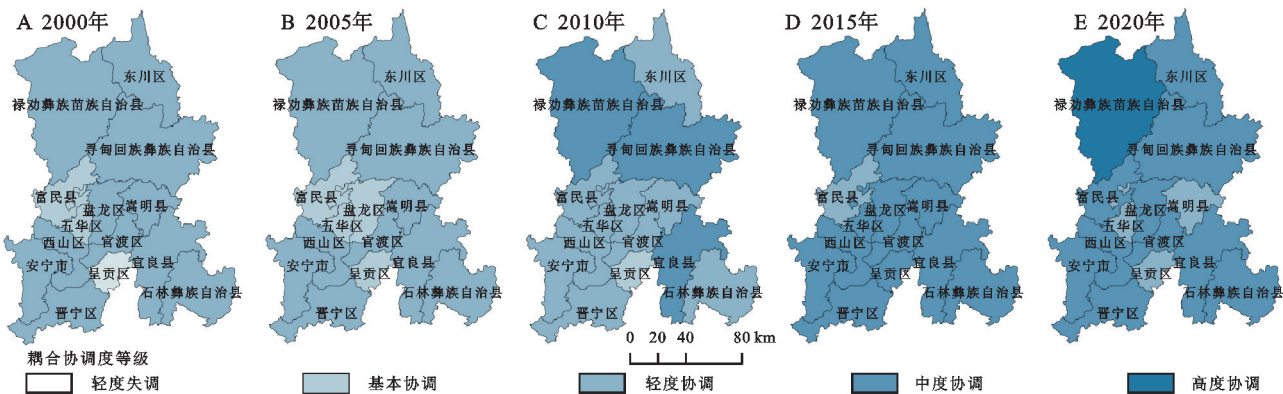


图 7 昆明市各县市区生产—生活—生态功能耦合协调度的时空格局分布

Fig. 7 Spatia land temporal distribution of the coupling coordination Degree of PLEF in counties and urban areas of Kunming

总体来看,万人均粮食播种面积 P_1 和林地面积 E_1 是影响昆明市三生功能时空分异的主要因素。2000 年,由于昆明市特殊的地理位置以及生活水平落后,单位耕地面积农药施用量 E_5 ,林地面积 E_1 和通自来水村数 L_5 对三生功能解释力较强,则该时段主要是以生态功能发展为主;2010 年作为昆明市由

EL 优势区到 PLE 均衡区的转折点,二、三产业比重 P_6 ,小学数量 L_6 和人口城镇化率 L_7 的 q 值逐渐增大,相较于 2000 年生产、生活功能的发展有所提升;2020 年,万人均粮食播种面积 P_1 ,林地面积 E_1 ,单位耕地面积农药使用量 E_5 以及二、三产业比重 P_6 等驱动因子影响力较大。

表 4 昆明市 2000—2020 年三生功能影响因子探测值(前 10 个)

Table 4 Detected values of factors influencing PLEF in Kunming from 2000 to 2020 (top 10)

	因子	E_5	P_1	E_1	L_5	E_3	L_6	P_5	L_1	E_2	E_6
2000 年	q 值	0.848	0.786	0.778	0.748	0.746	0.652	0.600	0.549	0.538	0.526
	因子	E_1	P_6	L_7	L_6	E_3	E_8	L_5	P_4	L_1	E_7
2010 年	q 值	0.873	0.866	0.839	0.829	0.786	0.787	0.782	0.765	0.758	0.741
	因子	E_1	P_1	P_6	E_5	P_2	L_1	E_4	L_5	E_8	L_7
2020 年	q 值	0.920	0.770	0.723	0.716	0.682	0.663	0.651	0.652	0.616	0.583

3.3.2 交互因子探测分析 2000—2020 年昆明市三生功能由不均衡向均衡阶段发展,因此对各个因子之间的交互关系研究更具有参考意义。由下三表中三生功能因子交互探测数据可以发现,各因子之间的交互作用均为双因子增强和非线性增强,说明任意两个因子的交互作用均会增强对昆明市三生功能空间分异的解释力,即三生功能空间分异是受到多个因子共同作用的结果。结果显示,2000 年主要表现为双因子增强,由于生产空间与生活空间在发展时存在脱节现象,因此生产功能与部分生活功能因子存在非线性增强的关系(表 5);2010 年因子的交互作用均为双因子增强关系,表明两因子交互作用的影响力均大于各单一因子的影响力(表 6);2020 年交互关系以双因子增强为主,但生境质量 E_6 和生产、生活功能之间存在非线性增强关系(表 7)。综合来讲,万人均粮食播种面积 P_1 ,林地面积 E_1 与其余驱动因子之间的解释力均较高(≥ 0.95),这两个因子与其余因子之间能较高度地解释三生功能空间分异特征。而生境质量 E_6 在三生功能发展中稳定性较差,受到其他因子影响的波动较为明显,因此在生态功能发展中仍需注意科学

稳定发展,长效有序的开展社会经济活动。

4 讨论与结论

4.1 讨论

通过对昆明市的研究发现,单一的功能发展不利于城市的健康发展,因此应对三生功能发展不均衡的地区进行宏观调控与建议优化。针对昆明市主城区及次核心发展区,协调“三生”功能应该加强对生态空间的维护和生境质量的保护,以城区转型为契机进一步推动适宜本地发展的特色产业带动经济发展,加大民生基础设施的建设力度,实现主城区和次核心发展区“三生”功能良性互动,以达到“三生”功能的均衡长效发展。城市边缘区作为城市外延的发展用地,要挖掘自身优势产业,加大产业结构调整,注重区域生态环境向高质量可持续化方向迈进,在经济社会发展与生态环境保护之间找到平衡支点推动“三生”功能的良性发展。

本文以昆明市为研究对象,在县域尺度进行三生功能的测算,选取各功能代表因子构建指标体系时,由于相关资料数据的局限性,指标在选取上有待完善,后续研究中将着重注意指标的选取及其相关指标

计算结果等级的划分,全面剖析三生空间在地域上的均衡发展,为区域国土空间格局优化和实现高质量发展情况,进而实现地区在生产—生活—生态空间的可持续发展提供科学依据。

表 5 2000 年昆明市“三生”功能因子交互探测

Table 5 Interaction detection of PLEF factors in Kunming in 2000																							
参数	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	
P_1	0.55																						
P_2	1.00	0.27																					
P_3	0.81	1.00	0.48																				
P_4	1.00	1.00	0.83	0.42																			
P_5	0.81	0.97	0.81	1.00	0.75																		
P_6	0.73	0.91	0.64	0.83	0.81	0.43																	
L_1	0.99	0.89	0.94	1.00	1.00	0.93	0.79																
L_2	0.62	1.00	0.64	0.83	0.81	0.57	0.99	0.42															
L_3	0.83	0.93	1.00	0.93	1.00	0.94	0.93	0.83	0.41														
L_4	1.00	0.93	1.00	0.82	1.00	0.97	0.90	0.74	0.89	0.40													
L_5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.97	0.85												
L_6	1.00	0.87	1.00	0.93	0.99	0.91	0.96	1.00	0.93	1.00	0.97	0.65											
L_7	0.74	0.87	0.94	0.93	1.00	0.79	0.90	0.48	0.76	0.74	1.00	0.79	0.39										
L_8	0.94	0.93	0.88	1.00	1.00	0.94	0.86	0.69	0.93	0.64	0.97	1.00	0.74	0.38									
E_1	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	0.93	0.93	1.00	0.78								
E_2	0.89	0.87	0.83	0.76	1.00	0.74	0.95	0.81	0.81	1.00	0.91	0.79	0.68	1.00	0.92	0.54							
E_3	0.92	0.97	1.00	1.00	0.97	0.94	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	0.75						
E_4	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	0.97	0.83	1.00	1.00	0.52					
E_5	1.00	0.92	1.00	1.00	0.97	1.00	0.93	1.00	1.00	0.97	0.97	0.96	0.96	0.71	1.00	0.96	0.96	1.00	0.60				
E_6	1.00	0.79	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.87	0.93	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53				
E_7	0.91	0.86	0.83	0.83	1.00	0.83	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.74	0.98	0.83	1.00	1.00	0.74	0.71	0.27		
E_8	0.79	1.00	0.97	1.00	1.00	0.97	0.91	0.53	0.89	0.71	0.88	1.00	0.53	0.67	1.00	0.79	1.00	0.98	0.97	1.00	0.91	0.40	

表 6 2010 年昆明市“三生”功能因子交互探测

Table 6 Interaction detection of PLEF factors in Kunming in 2010																							
参数	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	
P_1	0.54																						
P_2	0.87	0.37																					
P_3	0.96	0.79	0.69																				
P_4	0.87	1.00	0.92	0.76																			
P_5	0.95	0.86	0.92	0.93	0.68																		
P_6	0.95	1.00	0.97	0.94	0.97	0.87																	
L_1	0.95	0.90	0.96	0.95	0.83	0.99	0.76																
L_2	0.73	0.85	0.96	0.87	0.95	0.99	0.95	0.41															
L_3	0.93	1.00	0.97	0.97	0.85	0.95	1.00	0.93	0.62														
L_4	0.73	1.00	0.96	0.95	0.96	0.95	0.96	0.96	0.99	0.67													
L_5	0.89	1.00	0.94	0.94	0.84	1.00	0.96	0.89	0.87	0.96	0.78												
L_6	1.00	1.00	0.94	0.94	0.95	0.92	0.98	1.00	0.97	1.00	1.00	0.83											
L_7	0.95	1.00	0.96	0.95	0.95	0.98	0.95	0.95	1.00	0.96	0.96	1.00	0.84										
L_8	0.73	0.64	1.00	0.98	0.89	0.95	0.92	0.87	0.99	0.85	1.00	0.98	0.99	0.60									
E_1	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.98	0.95	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99	0.87								
E_2	0.93	0.90	0.97	0.93	0.87	0.94	0.87	0.93	0.90	0.98	0.90	0.93	0.99	0.99	0.95	0.74							
E_3	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.99	1.00	0.96	1.00	0.99	0.79						
E_4	0.93	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.93	0.97	0.93	1.00	1.00	0.81	0.98	0.93	0.99	0.58					
E_5	1.00	0.66	0.98	0.98	0.86	0.99	0.90	1.00	0.81	1.00	0.98	1.00	0.99	0.77	0.99	0.90	1.00	0.78	0.57				
E_6	0.93	1.00	0.99	0.99	0.88	1.00	0.93	0.93	0.74	1.00	0.87	0.99	1.00	0.93	1.00	0.93	1.00	0.93	0.87	0.51			
E_7	0.99	1.00	0.93	1.00	0.99	0.99	0.95	0.99	1.00	1.00	0.95	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.74		
E_8	0.90	1.00	0.95	0.88	0.98	0.99	0.94	0.90	1.00	0.99	0.98	0.95	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98	1.00	0.95	0.79	

表 7 2020 年昆明市“三生”功能因子交互探测

Table 7 Interaction detection of PLEF factors in Kunming in 2020

参数	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8
P_1	0.65																					
P_2	0.81	0.68																				
P_3	0.92	0.95	0.51																			
P_4	1.00	0.97	1.00	0.56																		
P_5	0.98	0.98	0.85	0.81	0.56																	
P_6	1.00	0.98	0.84	0.87	0.84	0.72																
L_1	0.95	0.97	0.95	0.72	0.81	0.91	0.66															
L_2	0.92	0.98	0.85	0.91	0.83	0.91	0.87	0.53														
L_3	1.00	0.98	0.67	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.34													
L_4	0.97	0.98	0.90	0.91	0.80	0.91	0.91	0.72	0.96	0.54												
L_5	0.90	0.98	0.76	0.95	0.82	0.83	0.91	0.94	0.98	0.98	0.65											
L_6	0.95	1.00	0.90	1.00	0.94	1.00	0.95	0.75	0.52	0.80	0.95	0.37										
L_7	0.93	0.95	0.93	0.87	0.81	0.87	0.87	0.77	0.96	0.89	0.94	0.95	0.58									
L_8	0.87	0.91	0.87	0.97	0.82	0.98	0.92	0.79	1.00	0.97	0.87	0.90	0.79	0.58								
E_1	0.99	0.99	0.98	1.00	0.98	1.00	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00	0.99	0.98	0.98	0.92							
E_2	0.95	0.98	0.94	0.76	0.90	0.93	0.74	0.93	1.00	0.93	0.94	0.88	0.93	0.81	0.98	0.57						
E_3	0.89	1.00	0.93	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.96	1.00	1.00	0.83	1.00	0.86	0.51					
E_4	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	1.00	1.00	0.77				
E_5	1.00	0.99	1.00	0.77	0.93	0.93	0.77	0.93	1.00	0.92	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	0.77	0.99	0.93	0.72			
E_6	0.99	0.91	0.95	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	1.00	0.90	1.00	0.54		
E_7	0.95	0.99	0.98	1.00	0.98	0.93	1.00	1.00	0.97	0.97	0.95	1.00	0.98	0.81	0.98	0.81	0.85	0.99	0.99	1.00	0.48	
E_8	0.95	1.00	0.90	0.90	0.76	1.00	0.85	0.78	1.00	1.00	0.92	0.87	0.79	0.75	0.98	0.79	0.86	1.00	1.00	0.98	0.86	0.62

4.2 结 论

(1) 从时间变化来看,2000—2020 年,昆明市三生功能综合得分总体呈上升趋势,从 0.31 上升至 0.47,升幅 51.61%。从单功能来看,生产—生活功能总体呈现上升的趋势,生态功能呈现下降趋势。2010 年以后,生产功能呈大幅提升,突出表现在主城区,富民县、安宁市、宜良县等次核心发展区;生活功能呈现快速发展的态势,普遍达到中等发展水平;东川区、石林县、禄劝县以及寻甸县边缘县区生态功能总体保持较高的发展水平,西山区和呈贡区受土地开发转型影响,生态功能下降明显。三生空间功能在 2000—2020 年主要是经历了 EL 优势区和 PLE 均衡区的两个阶段,2010 年步入 PLE 均衡区的一个重要转折点。

(2) 从空间变化来看,受政策措施、工程建设选址推动,使得城市功能定位发生变化,昆明市生产功能从低水平上升为中等水平,多数县区生活功能大幅提高;昆明市北部生态功能稳定,南部差异明显,呈现“北部高,南部低”的空间分布格局。

(3) 2000—2020 年昆明市耦合协调度总体变化幅度较小,2000—2005 年基本持平,保持在基本协调阶段,到 2020 年达到了中度协调阶段;在空间上,整体呈现“四周高,中间低”的空间分异格局。昆明市耦合协调度较高的地区主要是集中在昆明市边缘县区,

三生空间功能发展均衡;主城区五华区、呈贡区协调度低,但生产—生活空间发展较好,生态空间有待提升。建议边缘县区在稳定当前空间功能发展的同时,注重自身发展特点,侧重县区特色发展,进而达到更高的耦合水平;主城区的发展中要在稳住生产—生活空间发展的同时,注意生态空间的维护。

(4) 经过地理探测器模型分析,万人均粮食播种面积 P_1 和林地面积 E_1 对影响昆明市三生功能时空分异的解释力最强,二、三产业比重 P_6 ,单位耕地面积农药使用量 E_5 ,粮食单产量 L_2 及农民人均可支配收入 L_1 等驱动因子影响力较大。 P_1 、 E_1 与其余驱动因子之间共同作用对三生功能空间分异特征解释力较高。生境质量 E_6 在三生功能发展中稳定性较差,受到影响的波动较为明显,在生态功能发展中仍需注意科学稳定发展,长效有序的开展社会经济活动。

参考文献 (References):

[1] 赵宏波,魏甲晨,孙东琪,等.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[J].资源科学,2021,43(5):944-953.
Zhao H B, Wei J C, Sun D Q, et al. Multi-scale analysis on the coupling coordination degree of production-living-ecological spaces in cities: A case study of Zhengzhou City [J]. Resources Science, 2021,43(5):944-953.
[2] 李志英,刘阳,龙晔.基于 GIS 的昆明中心城区 1990—

- 2017年建设用地扩展特征研究[J].云南大学学报:自然科学版,2019,41(5):964-973.
- Li Z Y, Liu Y, Long Y. Study of urban construction land expansion characteristics in Kunming central city from 1990 to 2017 [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2019, 41(5): 964-973.
- [3] 谢花林,陈倩茹.土地利用与生态文明:实证研究(英文)[J].资源与生态学报, 2021, 12(2): 137-142, 302.
- Xie H L, Chen Q R. Land use and ecological civilization: A collection of empirical studies [J]. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(2): 137-142, 302.
- [4] Li C X, Wu J Y. Land use transformation and eco-environmental effects based on production-living-ecological spatial synergy: Evidence from Shaanxi Province, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(27): 41492-41504.
- [5] 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.
- [6] 欧惠,戴文远,黄万里,等.基于“三生空间”的福建省城市综合承载力研究[J].生态科学, 2020, 39(3): 71-79.
- Ou H, Dai W Y, Huang W L, et al. Research on urban comprehensive bearing capacity of Fujian Province based on production-living-ecological space [J]. Ecological Science, 2020, 39(3): 71-79.
- [7] 陕永杰,魏绍康,原卫利,等.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[J].生态学报, 2022, 42(16): 6644-6655.
- Shan Y J, Wei S K, Yuan W L, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of coupling coordination of “Production-Living-Ecological” functions in Yangtze River Delta urban agglomeration [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(16): 6644-6655.
- [8] 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.
- [9] 韦江伟,赵锐锋,李玲慧,等.干旱区三生用地时空演变特征及空间冲突研究:以黑河中游地区为例[J].水土保持研究, 2021, 28(4): 284-292, 419.
- Wei J W, Zhao R F, Li L H, et al. Study on the Spatial and Temporal Evolution Characteristics and Spatial Conflicts of the Land for Production, Living-Ecological in Arid Areas: A Case Study of the Middle Reaches of the Heihe River [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4): 284-292, 419.
- [10] Jin X X, Lu Y Q, Lin J H, et al. Research on the evolution of spatiotemporal patterns of production-living-ecological space in an urban agglomeration in the Fujian Delta region, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [11] Yu Z X, Xu E Q, Zhang H Q, et al. Spatio-Temporal Coordination and Conflict of Production-Living-Ecology Land Functions in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China [J]. Land, 2020, 9(5): 170.
- [12] 林伊琳,赵俊三,张萌,等.滇中城市群国土空间格局识别与时空演化特征分析[J].农业机械学报, 2019, 50(8): 176-191.
- Lin Y L, Zhao J S, Zhang M, et al. Identification of Territory Space Pattern and Spatio-temporal Evolution Analysis of Urban Agglomeration in Central Yunnan [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 176-191.
- [13] 李媛媛,李志英,龙晔,等.云南省国土空间“三生”功能变化及耦合协调特征[J].湖北农业科学, 2021, 60(23): 49-56.
- Li Y Y, Li Z Y, Long Y, et al. The changes and coupling coordination characteristics of “production-living-ecological” function of geographical space in Yunnan Province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(23): 49-56.
- [14] 林昱辰.“三生空间”视角下云南省城市综合承载能力耦合协调与时空演变分析[D].昆明:云南师范大学, 2021.
- Lin Y C. Coupling coordination and spatial-temporal evolution of urban comprehensive carrying capacity in Yunnan Province from the perspective of “Production-Living-Ecological space” [D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2021.
- [15] 贾一灿,刘加珍,付丽,等.山东省乡村振兴“三生”空间耦合协调关系及评价分析[J].安徽农业科学, 2022, 50(2): 267-269.
- Jia Y C, Liu J Z, Fu L, et al. Spatial Coupling and Coordination Relationship and Evaluation Analysis of “production-living-ecology” Space in Rural Revitalization in Shandong Province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 5(2): 267-269.
- [16] 刘涛,侯兰功.成都平原城市群“三生”空间功能耦合协调的时空演化[J].湖北农业科学, 2021, 60(16): 76-83, 105.
- Liu T, Hou L G. Spatial-temporal evolution characteristics of the production-living-ecological spatial function coupling coordination in the western Sichuan urban agglomeration [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(16): 76-83, 105.
- [17] 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.
- [18] 王世豪,黄麟,徐新良,等.特大城市群生态空间及其生态承载状态的时空分异[J].地理学报,2022,77(1):164-181.
- Wang S H, Huang L, Xu X L, et al. Spatio-temporal variation characteristics of ecological space and its ecological carrying status in mega-urban agglomerations [J]. Acta Geographical Sinical, 2022,77(1):164-181.
- [19] 刘涛,侯兰功.2000—2018年成都平原国土空间格局演化及驱动力研究:基于“三生”空间多功能视角[J].西南农业学报,2021,34(9):2004-2013.
- Liu T, Hou L G. Evolution and Driving Forces of Spatial Pattern of Chengdu Plain from 2000 to 2018: Based on Multifunctional Perspective of “production-living-ecological” space[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021,34(9):2004-2013.
- [20] 李强,苏迎庆,冯珍珍,等.汾河流域三生空间功能耦合协调研究[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(5):115-125.
- Li Q, Su Y Q, Feng Z Z, et al. Study on production-living-ecological space function coupling coordination in Fen River Basin[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021,19(5):115-125.
- [21] 牛雅莹,吴世新,郭晨宇,等.新疆县市“三生”功能时空变化及耦合协调性分析[J].干旱区地理,2021,44(6):1821-1835.
- Niu Y X, Wu S X, Guo C Y, et al. Spatio-temporal changes and coupling coordination of the function of “production-living-ecological” in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2021,44(6):1821-1835.
- [22] 刘洁,徐伟铭,刘文斌,等.乡村三生空间功能耦合协调关系及驱动因素分析[J].华侨大学学报:自然科学版,2022,43(4):526-534.
- Liu J, Xu W M, Liu W B, et al. Coupling Coordination Relationship and Driving Factor Analysis of Rural Production-Living-Ecological Space Function[J]. Journal of Huaqiao University: Natural Science, 2022,43(4):526-534.
- [23] 于婧,陈艳红,彭婕,等.基于GIS和Fragstats的土地生态质量综合评价:以湖北省仙桃市为例[J].生态学报,2020,40(9):2932-2943.
- Yu J, Chen Y H, Peng J, et al. Comprehensive evaluation on land ecological quality based on GIS and Fragstats: A case study in Xiantao City, Hubei Province [J]. Acta Ecological Sinical, 2020,40(9):2932-2943.
- [24] 周晓艳,何依依,黄欣,等.三峡库区生境质量的地形梯度效应及对土地利用变化的响应[J].农业工程学报,2021,37(11):259-267.
- Zhou X Y, He Y Y, Huang X, et al. Topographic gradient effects of habitat quality and its response to land use change in Hubei Section of the Three Gorges Reservoir[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(11):259-267.
- [25] 杨月稳.城市功能区识别及空间结构演化研究:以长春市为例[D].长春:吉林大学,2022.
- Yang Y W. Study on Identification of Urban Functional Zones and Evolution of Spatial Structure: A Case Study of Changchun City[D].Changchun: Jilin University, 2022.
- [26] 王惠琴,梁丽秋.北部湾城市群“三生空间”耦合协调及利用质量评价[J].南宁师范大学学报:自然科学版,2021,38(3):114-121.
- Wang H Q, Liang L Q. Evaluation on the Coupling Coordination and Utilization Quality of “Production-Living-Ecological Spaces” in the Beibu Gulf Urban Agglomeration Under the Background of High-Quality Development[J]. Journal of Nanning Normal University (Natural Science Edition), 2021,38(3):114-121.
- [27] 郭天威,陆春锋,王君楠,等.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[J].南京林业大学学报:自然科学版,2021,45(5):133-142.
- Guo T W, Lu C F, Wang J X, et al. Construction and optimization of ecological security pattern based on the coupling of ecological-production-living spaces: taking Yangzhou City as an example[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021,45(5):133-142.
- [28] 谢译诣,邹艳.2000—2020年北京市“三生空间”格局变化特征分析[J].桂林理工大学学报,2022,42(1):141-150.
- Xie Y Y, Zou Y. Spatial pattern and variation characteristics of the production-living-ecological space in Beijing from 2000 to 2020 [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2022,42(1):141-150.
- [29] 隋虹均,宋戈,张红梅.松嫩平原北部粮食主产区克山县三生空间识别[J].农业工程学报,2020,36(19):264-271,323.
- Sui H J, Song G, Zhang H M. Identification of production-living-ecological space at Keshan County level in main grain producing areas in northern Songnen Plain, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020,36(19):264-271,323.
- [30] 张蕾,齐伟,杜腾飞,等.基于熵权法的土地多功能利用评价:以淄博市为例[J].江苏农业科学,2020,48(3):31-36.
- Zhang L, Qi W, Du T F, et al. Multi-purpose land use evaluation based on entropy weight method: Taking Zibo City as an example[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020,48(3):31-36.

- nic areas[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(6):162-169.
- [19] 纪惠文, 查小春. 秦岭东部乡村聚落空间演变特征及其影响因素研究: 以商洛市丹凤县为例[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(1):32-42.
- Ji H W, Zha X C. Driving mechanism of spatial evolution of rural settlements in Yaoluoping national nature reserve. [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(1):32-42.
- [20] 谭雪兰, 安悦, 蒋凌霄, 等. 江南丘陵地区乡村聚落地域分异特征研究: 以湖南省为例[J]. 地理科学, 2018, 38(10):1707-1714.
- Tan X L, An Y, Jiang L X, et al. Regional differentiation rule of rural settlements in the south of the Yangtze River: A case study of Hunan province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10):1707-1714.
- [21] 覃颖, 罗光杰, 李阳兵, 等. 苗岭山区乡村聚落空间分布格局及其梯度效应[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(2):130-136.
- Qin Y, Luo G J, Li Y B, et al. Spatial distribution pattern and gradient effects of rural settlements in Miaoling mountains Area in southwest China[J]. Areal Research and Development, 2023, 42(2):130-136.
- [22] 郑殿元, 文琦, 黄晓军. 农村贫困化与空心化耦合发展的空间分异及影响因素研究[J]. 人文地理, 2020, 35(4):74-80.
- Zheng D Y, Wen Q, Huang X J. Spatial differentiation and influencing factors of coupled development of rural poverty and hollowing[J]. Human Geography, 2020, 35(4):74-80.
- [23] 李琛, 吴映梅, 高彬斌, 等. 高原湖泊乡村聚落空间分异及驱动力探测: 以环洱海地区为例[J]. 经济地理, 2022, 42(4):220-229.
- Li C, Wu Y M, Gao B Y, et al. Spatial differentiation and driving factors of rural settlement in plateau lake: A case study of the area around the Erhai[J]. Economic Geography, 2022, 42(4):220-229.
- [24] 魏佳轩, 程武学, 王永祥, 等. 巴中市乡村聚落空间分布特征及影响因素[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4):285-291.
- Wei J X, Cheng W X, Wang Y X, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of rural settlements in Bazhong city[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4):285-291.
- [25] 郑新奇, 付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010:106-121.
- Zheng X Q, Fu M C. Landscape pattern spatial analysis technology and its application [M]. Beijing: Science Press, 2010:106-121.
- [26] 吕丽, 胡静, 田小波, 等. 武汉市乡村旅游空间集聚演化格局及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(6):1234-1248.
- Ly L, Hu J, Tian X B, et al. Spatial agglomeration evolution characteristics and influencing factors of rural tourism in Wuhan[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2022, 31(6):1234-1248.
- [27] 郭晓东, 张启媛, 马利邦. 山地—丘陵过渡区乡村聚落空间分布特征及其影响因素分析[J]. 经济地理, 2012, 32(10):114-120.
- Guo X D, Zhang Q Y, Ma L B. Analysis of the spatial distribution character and its influence factors of rural settlement in transition-region between mountain and hilly[J]. Economic Geography, 2012, 32(10):114-120.
- [28] 王正伟, 马利刚, 王宏卫, 等. 干旱内流区绿洲乡村聚落空间格局及影响因素分析: 以塔里木河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12):2636-2646.
- Wang Z W, Ma L G, Wang H W, et al. Spatial pattern and influencing factors of oasis rural settlements in Inland river basin: A case study in Tarim river basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2020, 29(12):2636-2646.
- [29] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- Wang J F, Xu C D. Geodetector: principles and prospects [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1):116-134.

(上接第310页)

- [31] 朱喜安, 魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2):12-15.
- Zhu X A, Wei G D. Discussion on the excellent standard of dimensionless method in entropy method [J]. Statistics & Decision, 2015(2):12-15.
- [32] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3):793-810.
- Wang S J, Kong W, Ren L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China [J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3):793-810.
- [33] 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[J]. 地理研究, 2018, 37(6):1100-1114.
- Wang C, Tang N. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality [J]. Geographical Research, 2018, 37(6):1100-1114.