

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.02.012.

龙晓惠, 陈国平, 林伊琳, 等. 主体功能区视角下的滇中城市群人口-经济-资源环境时空耦合分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 367-378.

Long Xiaohui, Chen Guoping, Lin Yilin, et al. Spatiotemporal Coupling Analysis of Population-Economy-Resources Environment in Central Yunnan Urban Agglomeration from the Perspective of Major Function Oriented Zoning[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 367-378.

主体功能区视角下的滇中城市群 人口-经济-资源环境时空耦合分析

龙晓惠¹, 陈国平^{1,2,3}, 林伊琳^{1,2,3}, 赵俊三^{1,2,3}, 王荣耀¹, 冯怡翔¹

(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] 探析人口、经济和资源环境三者之间协调及发展水平状况, 阐明各县耦合协调关系及影响因素, 为主体功能区规划实施提供有力支撑。[方法] 基于 2010 年、2015 年、2020 年滇中城市群的自然、经济及人文数据, 从主体功能区视角建立人口-经济-资源环境耦合协调发展评价指标体系。运用序关系分析法(G1)与熵权法(EW)确定综合权重, 通过耦合协调度模型度量各县耦合协调关系, 定量分析了 2010 年、2015 年、2020 年滇中城市群人口-经济-资源环境耦合协调演变状况, 探析其发展规律。[结果] (1) 3 个时段内, 研究区人口在县域尺度呈空间正相关关系, 且空间聚集性逐渐增强, 呈现西部低人口密度聚集和中部高人口密度聚集态势且常年稳定; (2) 2010—2020 年, 人口、经济和资源环境三者之间的耦合协调度综合发展水平有微弱提升, 严重失调的协调类型逐渐消除, 濒临失调占比 46.94% 成为最主要的协调类型; (3) 人口、经济和资源环境两两耦合协调分布不均, 其中 2020 年人口-经济综合耦合协调指数最低为 0.454 3, 协调度水平时空分布与三系统协调评价结果吻合度是两两耦合协调评价中最高的, 对人口-经济-资源环境耦合协调评价结果影响最大; (4) 在主体功能区划实施前后, 国家重点开发区两两耦合协调水平变化显著, 人口-经济-资源环境整体耦合协调水平较低且有倒退趋势, 省级重点开发区长期稳定可控; (5) 研究区的人口、经济和资源环境三者之间存在较强的相互作用关系, 但协调性在一定程度上处于制约状况。[结论] 高耦合协调性主要依赖于人口对市县区经济的带动作用。重点开发区的有效实施必须抓好人口与经济协同发展, 人口和经济协调是未来优化主体功能区的重点方向。

关键词: 主体功能区划; 重点开发区; 人口-经济-资源环境耦合协调模型; 滇中城市群; 人口时空演变

中图分类号: F062.1; F062.2; X24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)02-0367-12

Spatiotemporal Coupling Analysis of Population-Economy-Resources Environment in Central Yunnan Urban Agglomeration from the Perspective of Major Function Oriented Zoning

Long Xiaohui¹, Chen Guoping^{1,2,3}, Lin Yilin^{1,2,3}, Zhao Junsan^{1,2,3}, Wang Rongyao¹, Feng Yixiang¹

(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 purpose is to explore the coordination and development level among population, economy, and resources environment, clarify the coupling coordination relationship and influencing factors among counties, and provide strong support for the implementation of the main functional zone planning. [Methods] Based on the natural, economic, and cultural data of the central Yunnan urban agglomeration in

收稿日期: 2023-04-13

修回日期: 2023-05-12

资助项目: 国家自然科学基金(41761081); 云南省哲学社会科学规划项目(PY202129, ZD202218); 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: 龙晓惠(1998—), 女, 湖南株洲人, 硕士研究生, 研究方向为国土空间规划。E-mail: 570341618@qq.com

通信作者: 陈国平(1981—), 男, 河南新野人, 博士, 副教授, 主要从事 GIS 与人口地理学、国土资源信息化研究。E-mail: 115432640@qq.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

2010, 2015, and 2020, an evaluation index system for population-economy-resource and environment coupling and coordinated development was established from the perspective of the main functional area. The comprehensive weights were determined using the order relationship analysis method (G1) and entropy weight method (EW), and the coupling and coordinated relationship of each county was measured through the coupling and coordinated scheduling model, quantitative analysis of the population economy resource environment coupling and coordinated evolution of the central Yunnan urban agglomeration in 2010, 2015, and 2020, and exploration of its development laws. [Results] (1) In the three periods, the population of the study area showed a positive spatial correlation at the county scale, and the spatial aggregation gradually increased, showing a low population density concentration in the western region and a high population density concentration in the central region. (2) From 2010 to 2020, population-economy-resources and environment coupling coordination degree had been slightly improved, and the seriously unbalanced development of coordination was gradually eliminated, barely unbalanced development accounted for 46.94% and became the main type of coordination. (3) The degree of coupling coordination between the two systems unevenly distributed, and the lowest population-economy coupling coordination index was 0.454 3 in 2020, its spatial distribution of coordination degree was most similar to that of comprehensive evaluation, which had a great impact on three system comprehensive evaluation results. (4) Before and after the implementation of major function-oriented zoning, the coupling coordination level of national key development zones changed significantly, the overall coupling coordination level of population-economy-resource environment was low and had a retrograde trend, and provincial key development zones were stable and controllable for a long time. (5) The relationship between the three systems in the study area had strong interaction relationship, but coordination was restricted to a certain extent. [Conclusion] The high coupling coordination mainly relies on the driving effect of population on the economy of cities, counties, and districts. The effective implementation of key development zones must focus on the coordinated development of population and economy, and the coordination between population and economy is the key direction for optimizing the main functional areas in the future.

Keywords: major function-oriented zoning; key development zones; population-economy-resource environment coupling coordination model; central Yunnan urban agglomeration; temporal and spatial evolution of population

人口是国家最基本且最重要的国情之一,人口问题是目前最重大的全球性问题之一^[1]。人口的时空变化与经济发展、社会建设和生态资源等现实问题息息相关,密不可分^[2]。在经济发展、自然资源和生活条件等诸多因素的影响下,人口迁移导致区域性人口聚集,给区域的经济和资源承载力带来不同影响,进而影响城市的发展速度与发展方向^[3]。主体功能区划的有效推行利于城市的社会经济和环境可持续发展,缩小发展差距^[4],是优化国土空间格局的主要内容^[5]。根据《滇中城市群发展规划》,要求到2025年进一步提高人口和经济密度,基本完善滇中城市群主体功能区布局。重点开发区域通常拥有丰富的自然资源和人力资源,利于推动区域经济和区域协调发展。其中,云南省内国家层面的重点开发区域都位于滇中地区,是支撑云南省经济增长的重要增长极。重点开发区域的正向发展影响着滇中城市群社会经济

的可持续发展,滇中城市群作为云南省的核心城市群,对云南省经济起着强劲的带动作用,其社会经济的发展状况影响着云南省未来的发展。在滇中城市群经济快速发展的背景下,人口与环境问题凸显,探究重点开发区域核心要素间的协调发展状况势在必行。因此,对人口的时空演变进行分析研究时,在考虑到人口规模对社会经济发展影响的同时,结合主体功能定位,特别是对区域社会经济产生较大影响的重点开发区域,综合探讨在主体功能区划实施的背景下的区域协调发展情况与发展规律,为未来国土空间格局优化提供参考依据。

研究区域协调发展状况的相关文献中,常用的评价方法有系统动力学(SD)^[6]、数据包络分析法(DEA)^[7]、主成分分析法(PCA)^[8]和耦合协调度模型等^[9]。大部分学者运用耦合协调度模型来研究区域间的协调发展水平。Zeng等^[10]通过耦合协调模

型,分析了我国三大城市群城镇化与生态安全的协调层次。赵良仕等^[11]为协调黄河流域的人地关系,构建了流域水-能源-粮食安全系统,利用耦合协调度模型测算耦合协调指数。杜霞等^[12]构建耦合协调度模型,以山东半岛城市群为例,分析了生态环境与城镇化二者协调发展中存在的问题,为其他同类城市群提供参考依据。在与主体功能区结合方面,郭宇等^[13]基于主体功能区的视角,在市域尺度上探究长江经济带各子系统的耦合协调水平。涂建军等^[14]以四川省重点开发区为例,研究人口与经济作为主体功能区核心要素之间的耦合协调关系,便于顺利推进主体功能区划的实施。孙小涛等^[15]建立一套重点生态功能区人口-经济-生态环境评价体系,对沿河县 2010—2014 年三系统耦合协调发展现状及发展规律进行分析。

总体而言,学界对区域协调发展水平的研究,较多的是根据各地区自身情况运用耦合协调模型进行协调度评价,没有与主体功能区定位结合,缺乏一定的实践性。通过已有文献的查阅,发现人口-经济耦合协调评价研究较多,基于主体功能区视角从县域尺度针对城市群重点开发区人口-经济-资源环境 3 个核心要素的研究较为鲜见。本文对滇中城市群的县域人口时空分析及对未来的发展趋势研究探讨,从主体功能区的视角,结合重点开发区的特征,构建一套重点开发区耦合协调评价模型,揭示发展现状的影响因素,科学反映地区发展情况,提出合理建议,促进滇中城市群国土空间格局优化与经济社会环境可持续发展。

1 研究区概况与数据来源

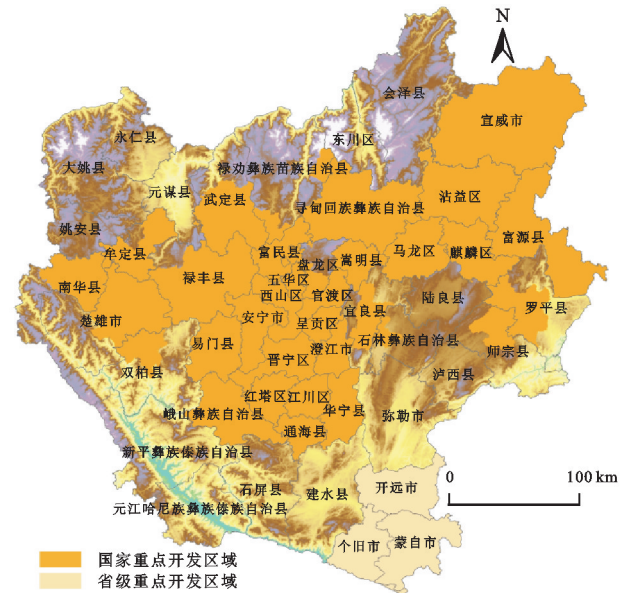
1.1 研究区概况

滇中城市群位于云南省中东部(22°59′34″—27°03′19″N, 100°43′7″—104°49′40″E),包括昆明市、曲靖市、玉溪市、楚雄州全境及红河州北部共 49 个县级行政区,气候适宜、环境优质、生物资源种类繁多,拥有优越的自然地理条件。以全省 28.3% 的国土面积,占据了 2/3 的平地,土地资源相对丰富,但土地使用的问题仍然突出。根据“第七次人口普查”数据,其人口为 2 195.38 万人,常住人口城镇化率达到 62.15%,地区生产总值占云南省 61.47%。城市群的经济联系比较紧密,区内交通网络发达,昆明、曲靖和玉溪等城市担当经济重心的重任,成为带动和促进全省经济发展的重要力量。滇中城市群的重点开发区如图 1 所示,国家层面包括:五华区、盘龙区等 27 个市(区、县),省级层面包括个旧市、开远市和蒙自市。

1.2 数据来源

本文人口和经济数据主要来源于 2011—2021 年

《云南省统计年鉴》《中国统计年鉴》及滇中城市群各县区统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报等,资源环境数据主要来源于中国科学院资源环境数据中心和地理空间数据云,根据研究区和计算机处理能力的实际情况,运用 GIS 软件把数据整合统一栅格尺度,提取分类面积并计算指数。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2019)1822 号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 1 研究区域及重点开发区域分布
Fig. 1 Distribution of research areas and key development areas

1.3 技术路线

本文以重点开发区域为视角,首先对重点开发区域影响因子进行选取归纳,其次结合人口特征,研究滇中城市群 2010 年、2015 年、2020 年人口-经济-资源环境的耦合协调时空演变特征,着重探究重点开发区域在主体功能区规划实施前后耦合协调度的变化,分析成因。为未来国家政府的规划实施提供参考依据,进一步完善主体功能区战略和制度,达到优化主体功能区的目的。

2 研究方法

2.1 耦合协调发展评价指标体系构建

研究区域的耦合协调关系的前提是合理全面地构建相应的评价指标体系。主体功能区需要对地域功能进行识别,是地域功能区划的应用实践^[16]。本研究中,主要根据重点开发区域的开发条件来选择指标,借鉴一些研究成果并结合滇中城市群发展状况^[17],筛选出具有代表性的与人口相关的可计量指标项,构建人口-经济-资源环境耦合协调发展的指标体系(表 1)。

人口指标体系中选取“人口数量”“人口密度”和

“男女比”反映滇中城市群各县区人口的基本情况;人口“年增长率”反映人口自然增长的程度和趋势。

表 1 人口-经济-资源环境耦合协调发展的指标体系

Table 1 Index system of population-economy-resources environment coupling coordinated development

目标层	结构指标层	具体指标
人口指标体系	人口规模	人口数量(万人)
		人口密度(人/km ²)
		男女比(%)
		年增长率(%)
经济发展水平 指标体系	经济规模	地区生产总值(亿元)
		GDP 增长率(%)
		一般公共预算收入(万元)
		社会消费品零售总额(万元)
	经济结构	第二产业值占比(%)
		第三产业值占比(%)
		工业总产值(万元)
	经济质量	人均 GDP(元)
		职工平均工资(元)
		城乡居民人均储蓄存款(元)
资源环境 指标体系	资源承载力	人均耕地面积(人/m ²)
		耕地面积占比(%)
		建设用地占比(%)
		人均水资源量(m ³ /人)
	资源环境	森林覆盖率(%)
		人均粮食产量(t/人)
		植被覆盖指数
		生物多样性指数
	环境承载力	平均海拔(m)
		平均坡度(°)
		年降水量(mm)

经济发展水平指标体系选取“地区生产总值”“一般公共预算收入”和“社会消费品零售总额”反映地区经济规模,“GDP 增长率”作为体现地区经济活力的指标选入经济规模指标中;选取“工业总产值”“第二产业值占比”和“第三产业值占比”作为反映经济结构的指标;此外选取“人均 GDP”“职工平均工资”和“城乡居民人均储蓄存款”反映经济质量与水平。

资源环境指标体系选取参考《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)》和相关文献^[18],结合滇中城市群地域特点选择与人口相关的指标因子,资源类的“人均耕地面积”“耕地面积占比”和“建设用地占比”指标用来反映土地资源状况;“人均水资源量”“森林覆盖率”和“人均粮食产量”指标作为人类活动需求的重要资源类补充;针对高原城市群自然资源禀赋条件,选取“植被覆盖指数”“生物多样

性指数”“平均海拔”“平均坡度”和“年降水量”5 个指标因子,体现潜在的环境承载力。

2.2 指标体系权重法

采用主客观结合的组合赋权方法,综合各权重计算方法的优点,获得最优组合权重,以消除主、客观因素对指标权重影响,达到客观且因地制宜^[19]。设置三大系统:人口指标(U_1)、经济指标(U_2)和资源环境指标(U_3)。按年份将评价指标($m=25$ 项)和评价对象($n=49$ 个)形成原始数据矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times m}$ 。

主观权重法采用序关系分析法(G1 法),它是在层次分析法的基础上改进的,无需构造重要性判断矩阵,解决了一致性检验难问题,进一步简化计算步骤^[20]。首先选出重要的指标记为 X_1 ,依次类推,确定序关系为 $X_1 > X_2 > \dots > X_m$;再对指标相对重要性量化,相对重要性程度 $r_k = w_k / w_{k+1}$,表 2 为 r_k 参数重要性分析;最后确定权重系数 $W_k = 1 / (\sum \prod r_i)$ 。

表 2 r_k 参数重要性分析

Table 2 r_k parameter importance analysis

分数	含义
1.0	X_k 与 X_{k+1} 同等重要
1.2	X_k 比 X_{k+1} 稍微重要
1.4	X_k 比 X_{k+1} 明显重要
1.6	X_k 比 X_{k+1} 强烈重要
1.8	X_k 比 X_{k+1} 极端重要

客观权重法采用熵值法(EW 法),计算指标的信息熵能真实地反映各指标在综合指标中的重要性^[21]。根据相关文献,计算第 X_{ij} 项指标权重的公式

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}。$$

综合主观权重 W_{1j} 和客观权重 W_{2j} ,用拉格朗日乘

子法优化可得综合权重计算式为 $W_{ij} = \frac{(W_{1j} W_{2j})^{0.5}}{\sum_{j=1}^m (W_{1j} W_{2j})^{0.5}}$ 。

对于部分市县存在数据缺失的问题,本文采用均值填补法完善数据。

最后根据综合权重计算出综合得分,即每个县区

的综合得分 $U_i = \sum_{j=1}^m W_j X_{ij}$ 。

2.3 人口-经济-资源环境耦合协调评价模型

本文选用耦合协调度模型^[22]分析人口、经济和资源环境的协调发展水平。耦合程度可以反映多个系统之间的相互依赖和约束程度^[23],耦合程度影响协调状况。结合相关研究^[24],选取符合重点开发区域开发条件且与人口相关的两个指标系统:经济发展水平系统(U_2)和资源环境指标系统(U_3),将其与人口指标系统(U_1)三个系统之间相互促进程度定义为

耦合度,三系统协调发展的程度定义为耦合协调度,构建人口-经济-资源环境耦合度模型如下:

$$C=3\frac{(U_1\cdot U_2\cdot U_3)^{1/3}}{U_1+U_2+U_3}$$
 (1)

$$D=(C\cdot T)^{1/2}$$
 (2)

$$T=\alpha U_1+\beta U_2+\gamma U_3$$
 (3)

式中: U_1 为人口指标系统评价指数; U_2 为经济发展水平指标系统评价指数; U_3 为资源环境指标系统评价指数; C 为耦合度,且 $C\in[0,1]$; D 为耦合协调度; T 为综合协调指数。 α 、 β 和 γ 分别为人口、经济

和资源环境的待定系数,且 $\alpha+\beta+\gamma=1$,因 3 个子系统的协调效应相同,本文 α 、 β 和 γ 均取 1/3。

为进一步分析市县区人口-经济-资源环境两两之间相互作用程度,参照公式(1)–(3),构建 3 个体系两两耦合协调模型:

$$C=2\frac{(U_1\cdot U_2)^{1/2}}{U_1+U_2}$$
 (4)

参考前人研究经验^[25],根据研究区实际情况,表 3 对耦合度 C 与耦合协调度 D 的大小进行科学合理等级划分。

表 3 耦合度类型和协调度类型划分等级

Table 3 Coupling degree type and coordination degree type are classified into grades

耦合度区间	耦合类型	协调度区间	协调度等级	发展区间
$0\leq C<0.3$	低水平耦合区	$0\leq D<0.4$	严重失调	失调衰退区间
$0.3\leq C<0.5$	拮抗型耦合区	$0.4\leq D<0.5$	濒临失调	过渡调和区间
$0.5\leq C<0.7$	磨合型耦合区	$0.5\leq D<0.6$	勉强协调	
$0.7\leq C<0.9$	高水平耦合区	$0.6\leq D<0.8$	良好协调	协调发展区间
$0.9\leq C\leq 1.0$	超高水平耦合区	$0.8\leq D\leq 1.0$	优质协调	

3 结果与分析

3.1 人口时空演变及特点

昆明是云南省人口密度最大的城市,玉溪和曲靖为较为密集的州市。在滇中城市群人口密集度高的县区,主要是以五华区为中心,向四周扩散的分布模式,相对较低的人口密度分布在中北部和西部,主要以双柏县、永仁县和大姚县为主。运用 GeoDa 软件对研究区提取的人口密度进行全局空间自相关分析,结果如图 2 所示。2010 年、2015 年和 2020 年的莫兰指数均为正,即人口密度高的地区在空间上比较集中,人口密度低的地区在空间上也比较集中,Moran's I 介于 0.4~0.5,通过显著性检验,表明滇中城市群人口存在显著的空间相关性,且在县域尺度空间上逐向聚集,各县区的空间联系正逐渐增强。

局部空间莫兰指数模型可以表明各县区间的空

间关联特征^[26]。如图 3 所示,2010 年、2015 年、2020 年滇中城市群 49 个县区的局部莫兰指数集聚图除了姚安县波动外几乎无变化。其中,局部正相关类型(高-高集聚)的县区有五华区、官渡区、盘龙区和西山区,其人口分布表现为人口密度高的县区被人口密度高的县区所包围;弱势 L-L 型(低-低集聚)的县区有大姚县、永仁县、元谋县、牟定县、姚安县、楚雄市、双柏县、新平彝族傣族自治县和元江哈尼族彝族傣族自治县,其人口分布表现为人口密度低的县区被人口密度低的县区所包围;L-H 型(低-高集聚)的县区有富民县和嵩明县。这表明:研究区人口密度具有明显的空间差异性,呈现出正向局部空间自相关和局域地理聚集特征。从 LISA 集聚图总体来看,H-H 型(高-高集聚)集中分布于昆明主城区,这些县区间经济联系密切且经济都比较发达;L-L 型的县区主要位于滇中城市群西部,且常年保持这种局域空间自相关关系。

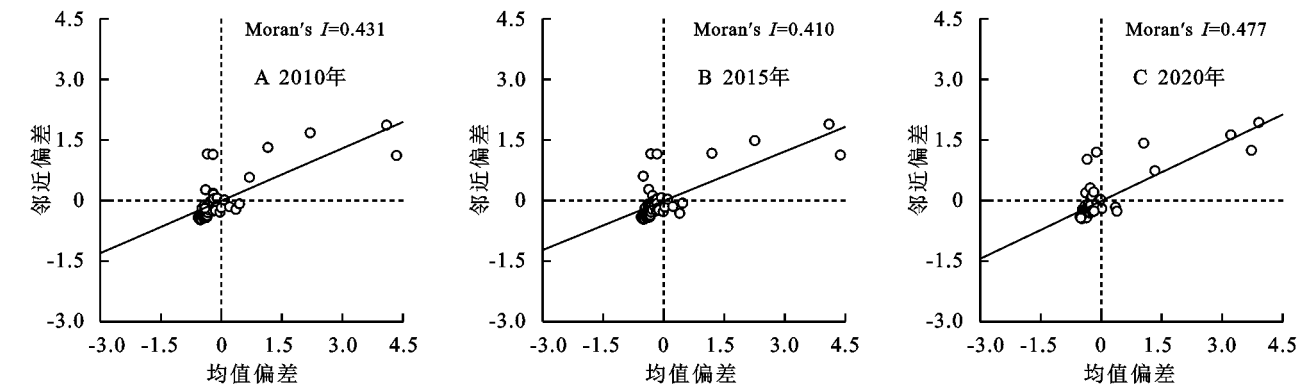


图 2 滇中城市群人口密度 Moran 散点图

Fig. 2 Moran scatter map of population density in central Yunnan urban agglomeration

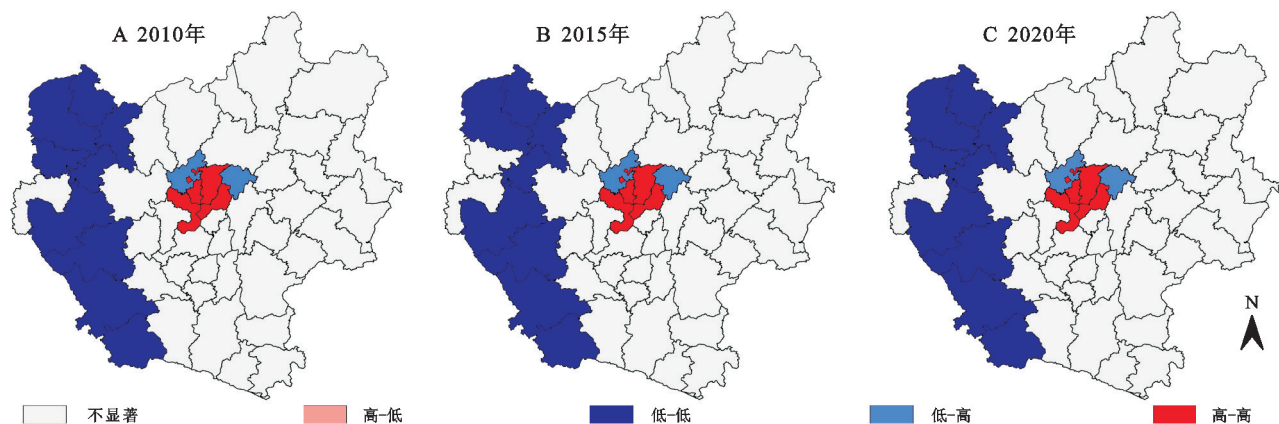


图 3 滇中城市群人口密度 LISA 集聚图

Fig. 3 LISA clustering map of population density in central Yunnan urban agglomeration

3.2 耦合度时空分异特征

通过上述方法测算滇中城市群 49 个市县的耦合值,运用 GIS 方法对 2010 年、2015 年和 2020 年滇中

城市群人口-经济-资源环境耦合度结果进行空间可视化处理,得到空间分布图(图 4)。

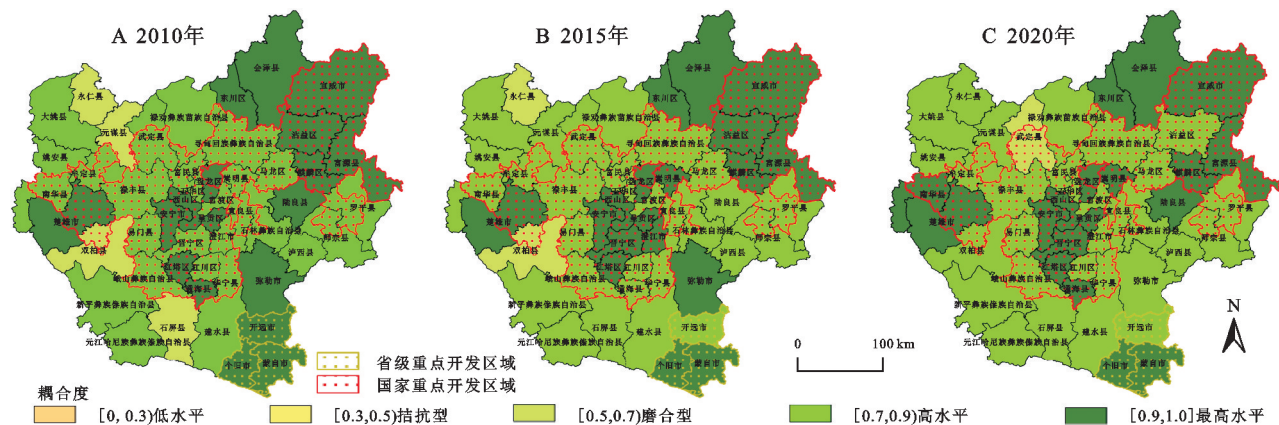


图 4 人口-经济-资源环境耦合指数分布

Fig. 4 Population-economy-resources environment coupling index distribution map

从 2010—2020 年耦合指数时序演变看(图 4),其空间分布变化显著,耦合度均值呈现上升的态势,整体耦合度较高。2010—2020 年磨合型耦合区占比减少 6.12%,2020 年高水平耦合区和最高耦合区的县区占比高达 97.96%,整体的平均耦合指数达到 0.859 4。楚雄彝族自治州变化最为显著,除武定县倒退至磨合型外,其他县区的耦合水平均上升。通过计算 3 个时期的综合得分,发现武定县从高水平耦合反向至磨合耦合的主要原因是经济综合得分上升的同时,人口规模综合得分幅度大下降,这说明人口与经济之间的依赖性减弱。武定县近几年的人口增长率为负增长,因就学就业等原因导致的人口流出有直接关系。从空间格局来看,最高水平耦合区集中在重点开发区域相对重合的都市功能发达区,呈现明显中部与东北部聚集的空间分布形态与趋势,人口、经济 and 资源环境三者之间存在很强的相互作用关系,这与地理位置优越、人口条件优渥与经济发达等因素密切相关,且在经济等各方面辐射的作用下带动周围地区的

发展,使联系更加紧密。整体有序地从磨合耦合类型向高耦合及最高耦合类型发展。从国家与省级重点开发区域来看,最高水平耦合度占比明显高于滇中城市群总体情况,在云南省主体功能区划实施前后的耦合度整体都处于较高水平,且不断上升。通过分析发现,人口、经济 and 资源环境作为重点开发区域的核心要素在被定位为滇中城市群重点开发区域的地域范围中具有非常紧密的联系,并且在主体功能区划的作用下不断加强,一方面说明土地功能定位合理,另一方面体现了国家政策带来的成效。

3.3 协调度时空分异特征

2010 年、2015 年和 2020 年滇中城市群人口-经济-资源环境耦合协调度空间分布如图 5 所示。

从时间维度来看,2010—2020 年期间有 11 个县区呈上升协调趋势,5 个县区呈衰退失调趋势,嵩明县和姚安县分别呈现先升再降和先降再升的波动态势。其中,5 个衰退类型的县区都有较好的资源环境基础,但人口与经济的评价指数太低制约了三系统间的协调发展。

整体上濒临失调一直是占比最多的主要协调类型,大范围县区停留在濒临失调类型且常年稳定。到 2020 年消除了严重失调类型,53.06%的县区进入协调区内,较 2010 年相比增加 6.12%。从空间维度来看,呈现勉强协调类型环绕濒临失调类型再包围良好协调类型的空间分布格局。稍高协调水平的县区都属于重点开发区且与耦合程度高的地区相吻合,主要有较好的人口和经济基础,人口和经济评价指数发展趋势一致。从局部看,东北与南部地区协调类型稳定,楚雄彝族自治州变化最大,如永仁县耦合协调度在 3 个时期中发生了从严重失调到濒临失调再到勉强协调的跃进,在资源环境条件平稳的状态下,人口与经济协同发展,三者间的联系更加紧密,保持稳定可控的发展态势。嵩明县波动态势主要是因人口与经济协调发展指数的上升而上升,又因资源环境条件的倒退与经济的迅速发展之间的不协调而下降,说明嵩明县在经济发展的同时,生态环境有所退化。姚安县主要是因为人口规模的变动产生了波动,人口对该地区的协调发展影响显著,是主要的推动者。总体来说,局部的协调水平有所提高,但整体的耦合协调度不高,这说明滇中城市群大部分县区存在人口、经济和环境等问题,总体上人口、经济和资源环境之间协

调性在一定程度上处于制约状况。从国家重点开发区域来看,耦合协调水平的地域差异明显,相对较高协调水平的县区都集中在昆明主城区,但对周边地区带动效应不明显。滇中城市群半数以上濒临失调的县区都在国家重点开发区域中,人口、经济和资源环境长期处在这种发展状态下,是重点开发区发挥作用的一大阻力,更牵制了滇中城市群的城市建设。这些县区的共同特点是资源环境评价指数较高,人口与经济之间的协调性较差,经济与人口条件都是重点开发区中落后的,需要采取提高社会福利水平、改善生活环境等措施吸引和留住人才,促进人口聚集和增长,进而带动经济的发展。从省级重点开发区域来看,开远市、个旧市和蒙自市 3 个县区常年稳定在勉强协调的发展状态中,人口滞后经济和资源环境的发展,导致协调状态停滞不前。

3.4 两两耦合协调格局及演化特征

为了进一步探讨研究并反映子系统之间的相互关系,结合相关研究^[27],计算两两耦合度和协调度,探究各子功能系统的相互作用情况,并通过 GIS 将其空间显化,得到两两耦合等级分布图(图 6)和协调等级分布图(图 7)。

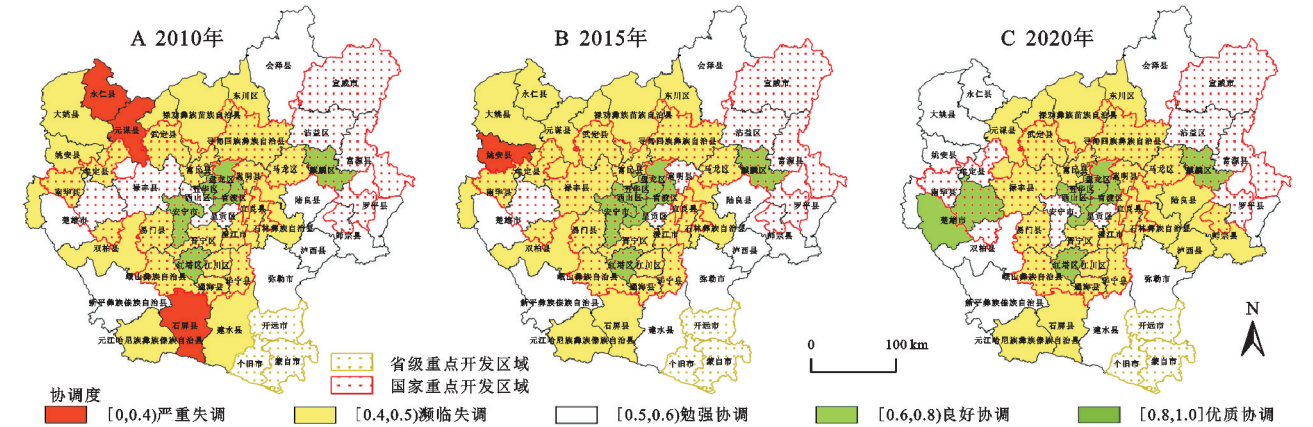


图 5 人口-经济-资源环境耦合协调指数分布

Fig. 5 Population-economy-resources environment coupling coordination index distribution map

人口-经济耦合度在 2010 年、2015 年和 2020 年都处于高水平耦合度和最高水平耦合度,3 个时期的耦合度最低值为 0.872 9,说明人口与经济之间呈现很强的相互联系关系,区域人口与经济同步,人口与经济联系密切,处于有序的状态。人口-经济协调度的地域差异在 3 个时期都很明显,2020 年最小协调指数为武定县的 0.326 7 与最大指数官渡区的 0.867 相差 0.540 3。由昆明主城区等经济水平占优势的区域协调度高一些,低经济水平区域的经济与人口严重失调。到 2020 年的严重失调县区数量明显减少,西部县区协调指数明显提升。良好协调与优质协调县区都处在国家与省级重点开发区域中,但其整体协调

度有回缩趋势,如易门县在 2010—2015 年人口和经济都有不同程度的发展,协调度也从严重失调上升到濒临失调,但在 2015—2020 年人口数量和人口密度等方面有回缩迹象,跟不上经济的发展,导致协调度又缩回严重失调类型,相邻的安宁市也是类似情况。考虑到人口与经济在一定程度上处于制约的状态,协调度较高的市县区对周边城市的带动效应不显著。

人口-资源环境耦合度在 2010 年、2015 年和 2020 年耦合度偏高的地区从中东部集中往西北部转移,呈现中部与周边地区耦合度高、西南部耦合度较低的空间分布。耦合协调度变化明显,西北部多县区在 2015—2020 年耦合协调度类型从濒临失调向良好

协调跃进,考虑到在主体功能区划实施后,西北部重点生态功能区人口与环境资源两者互相促进,存在明显协调状态。国家和省级重点开发区域的人口-资源环境耦合协调度大部分逆向发展,濒临失调类型面积扩大,说明在经济开发的大趋势下,资源环境承载力下降。如寻甸县原本的人口-资源环境协调程度不

高,在人口和自然环境都有所退步的情况下,协调度退缩至失调。主体功能区的规划让重点生态功能区更加重视环境维护和资源保护,但重点开发区域大范围还处于濒临失调与勉强协调状态,在注重人口聚集的同时需要进一步重视资源环境的重要性,优先满足国家战略的空间需求及发展定位。

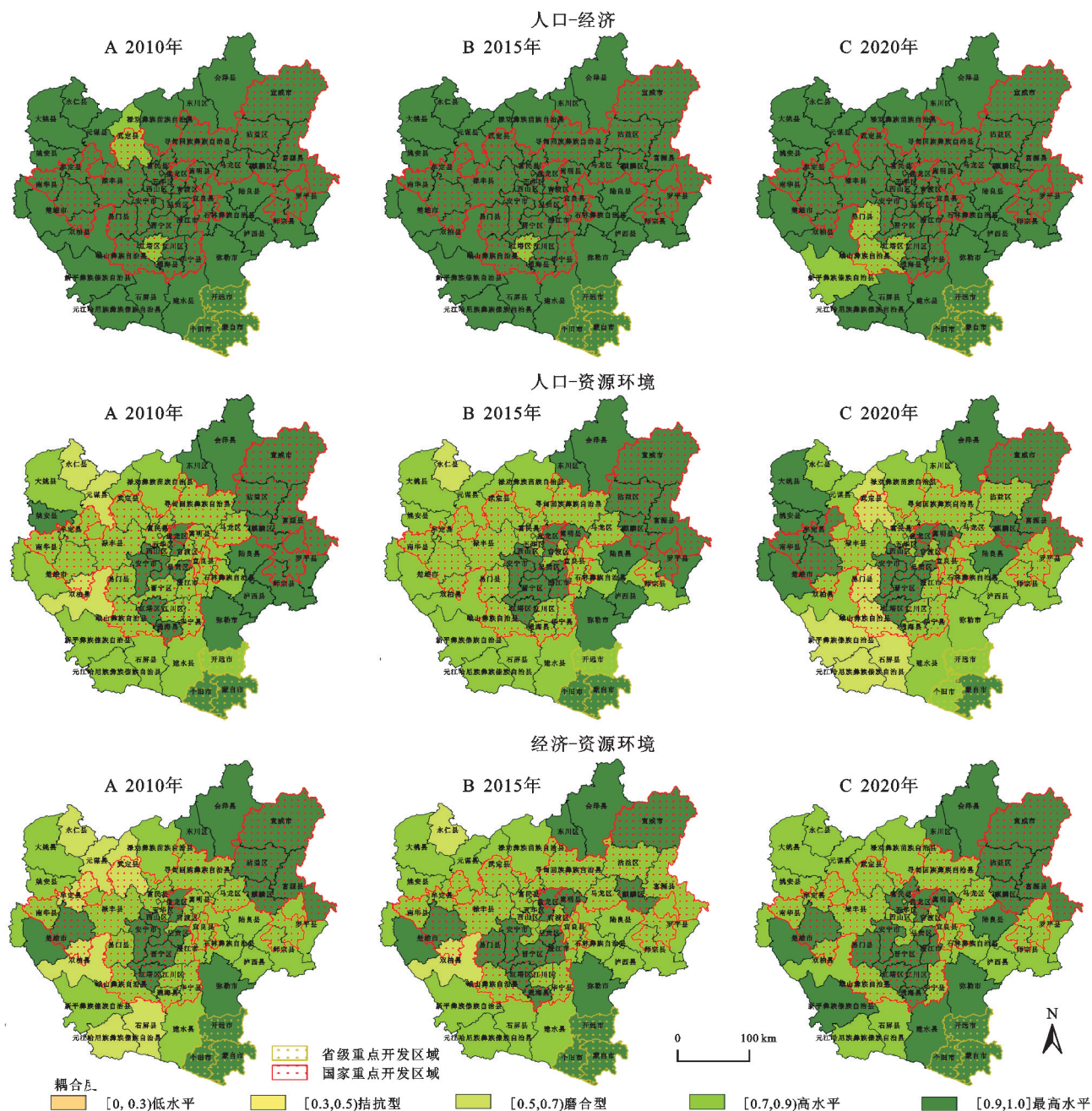


图6 人口-经济-资源环境两两耦合指数分布

Fig. 6 Population-economy-resources environment coupling index distribution map

经济-资源环境耦合度在2010年、2015年和2020年正向发展,拮抗耦合类型完全消失,高水平耦合区增长幅度最大,区域耦合呈良性发展。到2020年经济-资源环境的协调度类型以勉强协调为主,相比前两个时期存在的严重失调类型已消除,失调县区

占比从2010年的34.69%减小到2020年的2.04%,失调县区大幅度缩小且国家和省级的重点开发区域全部进入协调区。总体来说,经济-资源环境两者间无论是耦合度还是协调度都是三者间相互耦合协调分析中发展最为可观的。仅官渡区在经济迅猛发展

下资源环境有所退化,导致耦合协调度评价指数倒退以外,各县都是正向同步发展,相互作用关系增强,有相互促进效果。在社会经济迅速发展和城镇化的快速推进下,不能以破坏生态环境作为代价,资源环境与经济的协调发展才是滇中城市群社会经济可持续发展的基础。

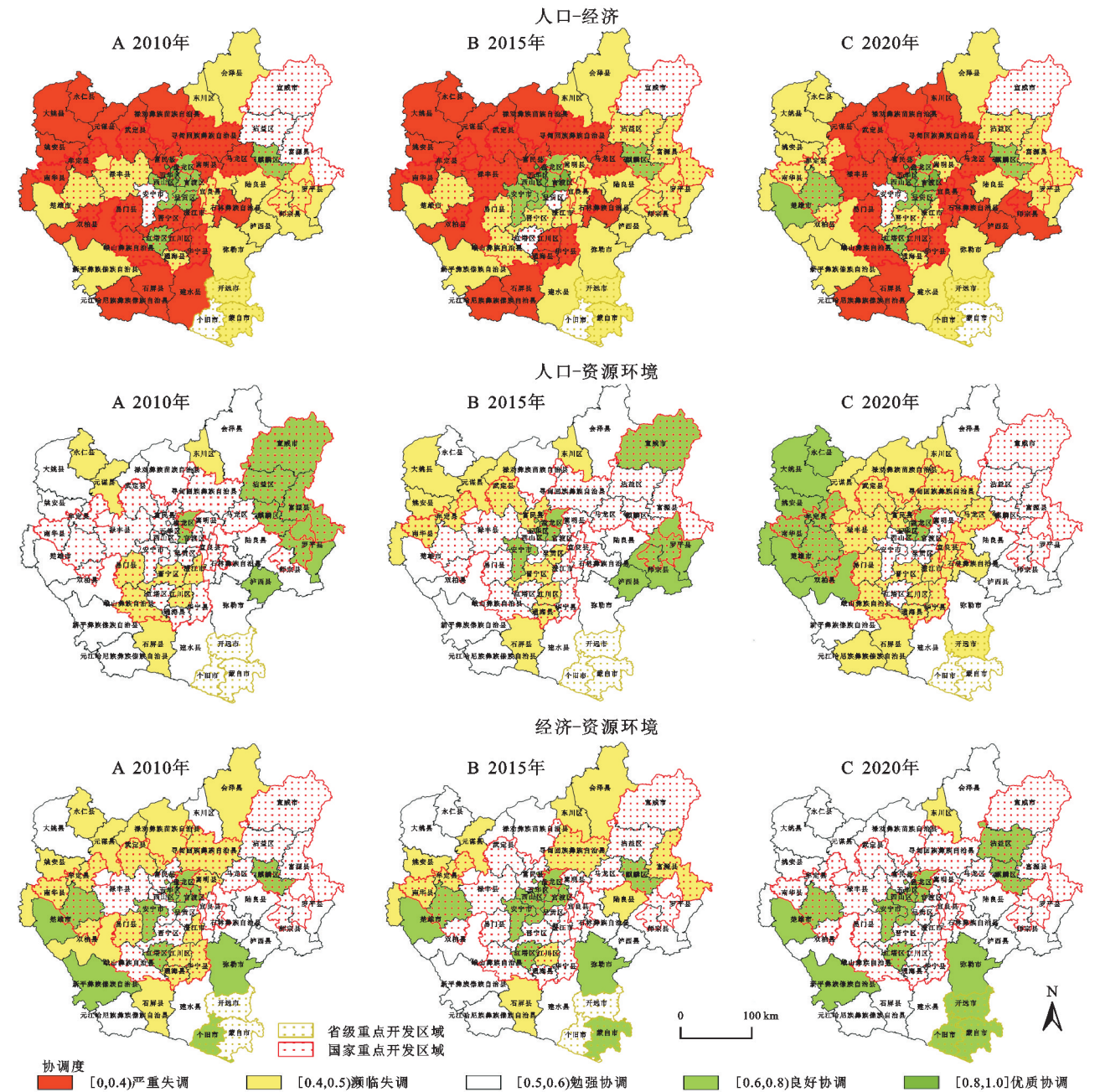


图 7 人口-经济-资源环境两两协调指数分布

Fig. 7 Population-economy-resources environment pairwise coordination index distribution map

4 讨论与结论

本文从主体功能区视角,选择重点开发区域为重点探究对象,通过选取重点开发区域三核心要素中与人口相关的指标构建指标体系及引入耦合协调模型,以滇中城市群为例,分别评价 2010 年、2015 年与 2020 年滇中城市群人口-经济-资源环境相互间协调发展状况,结合两两耦合协调评价结果分析发现:

(1) 滇中城市群地区的人口、经济、资源环境耦

合度和协调度时空格局差异明显。到 2020 年严重失调的协调类型完全消除,但濒临失调类型依然是最主要的耦合协调度类型,其中国家重点开发区域的沾益区从协调区跌落至失调区,南华县从失调区跃进至协调区。协调县区占比由 2010 年的 46.94% 增长到 2020 年的 53.06%,定位在国家重点开发区域的县区近半数停留属于失调状态,但对比还未实行主体功能区规划的 2010 年协调县区的比重增加了,省级重点开发区域勉强协调状态稳定不变。研究区总体和重点开

发区域的协调状态都有微弱提升,重点开发区域的变化不明显,还需要重视区域功能定位,在注重资源环境保护的同时大力发展经济,引导人口聚集。

(2) 滇中城市群两两之间的耦合协调水平存在差异,人口-经济耦合协调度普遍滞后于人口-资源环境和经济-资源环境的耦合协调度,整体水平最低且空间差异明显。与人口-经济-资源环境耦合协调评价结果对比,协调度水平时空分布吻合度是两两耦合协调评价中最高的,说明人口-经济的耦合协调度评价结果对人口-经济-资源环境耦合协调评价结果影响巨大。

(3) 主体功能区划实施前后,两两之间的耦合协调水平变化显著且与重点开发区域的分布关联性高,在主体功能区划实施的背景下,人口、经济和资源环境三者之间的耦合协调关系得到重视,实施以后效果明显,但某些县区依然存在问题。

要实现区域的可持续发展,提高滇中城市群主体功能区协调发展水平,就要抓好各重点要素的内部协调。本文在县域尺度上分析滇中城市群人口-经济-资源环境协调发展程度,对于2010—2020年国家重点开发区域倒退趋势县区的建议如下:安宁市从良好协调退至勉强协调主要在于人口的发展跟不上经济水平的迅速提升,且资源环境在不同程度上受到破坏,资源环境评价指数下滑,应合理利用水资源,提高土地利用率;禄丰县从勉强协调跌落至濒临失调主要是因为人口和经济水平都有所倒退,人口占主要原因,因为人口数量、人口密度等原因滞后经济水平与资源环境承载能力的发展,需要吸引人口带动经济发展,优化人居环境,引导人口聚集。对于长期处在勉强协调水平的省级重点开发区域的县区:需要通过提升城市吸引力来吸引人口聚集来突破长期处于勉强协调状态。对于2010—2020年停留在失调类型的县区:晋宁区在人口和经济发展的时候,资源环境承载能力有所退减,需要重视资源环境的保护,在开发资源的同时,加强资源环境的保护,促进资源环境的可持续发展;富民县、寻甸县、马龙区和红川区等县区都是人口问题导致人口水平的缩减,严重滞后经济和资源环境的发展,导致这些县区一直停留在失调状态。综合来看,人口-经济-资源环境三系统间的高耦合协调性主要在于人口对市县区经济的带动作用,提高城市吸引力,引进创新性人才,加强滇中城市群的交通可达性。注重人口的宏观调控政策有助于耦合协调性的提升,人口和经济协调是未来优化主体功能区的重点方向。

从县域尺度测算3个系统间的发展状态与发展关系,明确优化协调的方向,缩小市县间发展差距,引

导区域整体协调有序发展,提供有价值的参考。然而主体功能区的定位因素众多,是复杂的巨系统,本文仅从重点开发区特征视角,构建了人口-经济-资源环境耦合协调评价模型,为人口演变背景下研究区域耦合度、协调度分析提供一种思路。但拘囿相关资料来源、数据精度及庞杂性,选取指标体系有待完善。在未来的研究中会更注重指标的选取以及评定等级的划分,对主体功能区其他功能类型的区域进行各自核心要素间的耦合时空分析,更能全面综合分析主体功能区划的发展情况,为优化主体功能区划与国土空间格局提供参考依据。

参考文献(References):

- [1] 封志明,杨艳昭,游珍.中国人口分布的水资源限制性与限制制度研究[J].自然资源学报,2014,29(10):1637-1648.
Feng Z M, Yang Y Z, You Z. Research on the water resources restriction on population distribution in China[J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(10):1637-1648.
- [2] 樊杰.中国主体功能区划方案[J].地理学报,2015,70(2):186-201.
Fan J. Draft of major function oriented zoning of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(2):186-201.
- [3] 林李月,朱宇,柯文前.城镇化中后期中国人口迁移流动形式的转变及政策应对[J].地理科学进展,2020,39(12):2054-2067.
Lin L Y, Zhu Y, Ke W Q. Changes in the form of population migration and mobility in China and corresponding policy responses at the late-intermediate stage of urbanization[J]. Progress in Geography, 2020,39(12):2054-2067.
- [4] 范峻恺,徐建刚.基于神经网络综合建模的区域城市群发展脆弱性评价:以滇中城市群为例[J].自然资源学报,2020,35(12):2875-2887.
Fan J K, Xu J G. Vulnerability assessment of urban agglomeration based on neural network model: A case study of central Yunnan urban agglomeration[J]. Journal of Natural Resources, 2020,35(12):2875-2887.
- [5] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):534-546.
- [6] 彭昕杰,成金华,方传棣.基于“三线一单”的长江经济带经济-资源-环境协调发展研究[J].中国人口·资源与环境,2021,31(5):163-173.
Peng X J, Cheng J H, Fang C D. Coordinated development of economy, resources and environment in the Yangtze River Economic Belt based on 'Three Lines and One Order'[J]. China Population, Resources and Envi-

- ronment, 2021,31(5):163-173.
- [7] 杨萍,李陇堂,夏四友,等.我国旅游效率与经济发展水平协调关系研究[J].统计与决策,2019,35(7):127-131.
- Yang P, Li L T, Xia S Y, et al. Research on the harmonious relationship between tourism efficiency and economic development level in China[J]. Statistics & Decision, 2019,35(7):127-131.
- [8] Jiang Y, Wang Y F, Wang R. Coupling and coordination relationship between economic and ecologic-environmental developments in China's key state-owned forest areas[J]. Sustainability, 2022,14(23):15899.
- [9] Yang Y Y, Bao W K, Liu Y S. Coupling coordination analysis of rural production-living-ecological space in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Ecological Indicators, 2020,117:106512.
- [10] Zeng P, Wei X, Duan Z C. Coupling and coordination analysis in urban agglomerations of China: Urbanization and ecological security perspectives[J]. Journal of Cleaner Production, 2022,365:132730.
- [11] 赵良仕,刘思佳,孙才志.黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究[J].水资源保护,2021,37(1):69-78.
- Zhao L S, Liu S J, Sun C Z. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2021,37(1):69-78.
- [12] 杜霞,孟彦如,方创琳,等.山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局[J].生态学报,2020,40(16):5546-5559.
- Du X, Meng Y R, Fang C L, et al. Spatio-temporal characteristics of coupling coordination development between urbanization and eco-environment in Shandong peninsula urban agglomeration[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(16):5546-5559.
- [13] 郭宇,姚亦锋,王振波,等.基于主体功能区的长江经济带绿色发展评价与问题区域识别[J].生态学报,2023,43(7):2569-2582.
- Guo Y, Yao Y F, Wang Z B, et al. Green development evaluation and problem areas identification of the Yangtze River Economic Belt from the perspective of major function oriented zones [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023,43(7):2569-2582.
- [14] 涂建军,周艳.主体功能区人口-经济耦合协调关系研究:以四川省重点开发区为例[J].西南大学学报:自然科学版,2013,35(4):118-124.
- Tu J J, Zhou Y. On coupling coordination relationship between population and economy in the major function-oriented zones: A case study of key development areas in Sichuan Province[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2013,35(4):118-124.
- [15] 孙小涛,周忠发,陈全.重点生态功能区人口-经济-生态环境耦合协调发展探讨:以贵州省沿河县为例[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2017,34(4):127-134.
- Sun X T, Zhou Z F, Chen Q. Study on the coupling and coordination development of population-economic-ecological environment in key ecological function areas: A case of Yanhe County of Guizhou [J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science, 2017, 34(4):127-134.
- [16] 樊杰.人地系统可持续过程、格局的前沿探索[J].地理学报,2014,69(8):1060-1068.
- Fan J. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system [J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(8):1060-1068.
- [17] 李琛,吴映梅,高彬.滇中城市群城镇化与资源环境承载力耦合协调研究[J].水土保持研究,2022,29(2):389-397.
- Li C, Wu Y M, Gao B P. Research on coupling and coordination of urbanization and resources and environmental carrying capacity in city agglomeration of central Yunnan [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(2):389-397.
- [18] 王亮,刘慧.基于 PS-DR-DP 理论模型的区域资源环境承载力综合评价[J].地理学报,2019,74(2):340-352.
- Wang L, Liu H. The comprehensive evaluation of regional resources and environmental carrying capacity based on PS-DR-DP theoretical model [J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(2):340-352.
- [19] 杨振中,吴佳凯,徐建伦,等.基于层次分析-熵值法的氢内燃机异常燃烧风险评估[J].浙江大学学报:工学版,2022,56(11):2187-2193.
- Yang Z Z, Wu J K, Xu J L, et al. Abnormal combustion risk assessment of hydrogen internal combustion engine based on AHP-entropy method [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2022, 56(11):2187-2193.
- [20] 张渺. G1-EW 组合赋权云模型下地铁运营安全风险评价[J].中国安全科学学报,2022,32(6):163-170.
- Zhang M. Risk assessment of metro operation based on G1-EW combination weighting cloud model [J]. China Safety Science Journal, 2022,32(6):163-170.
- [21] 徐黎丹,邓祥征,姜群鸥,等.中国县域多维贫困与相对贫困识别及扶贫路径研究[J].地理学报,2021,76(6):1455-1470.
- Xu L D, Deng X Z, Jiang Q O, et al. Identification and poverty alleviation pathways of multidimensional poverty and relative poverty at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2021,76(6):1455-1470.
- [22] 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.
- [23] 李裕瑞,王婧,刘彦随,等.中国“四化”协调发展的区域格局及其影响因素[J].*地理学报*, 2014, 69(2):199-212.
Li Y R, Wang J, Liu Y S, et al. Spatial pattern and influencing factors of the coordination development of industrialization, informatization, urbanization and agricultural modernization in China: A prefecture level exploratory spatial data analysis [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2):199-212.
- [24] 杨丹丽,孙建伟,刘艳,等.喀斯特山区农村居民点“三生”空间耦合特征分析:以七星关区为例[J].*水土保持研究*, 2022, 29(2):337-344.
Yang D L, Sun J W, Liu Y, et al. Analysis on coupling Coordination characteristics of production-living-ecological space in rural settlement in karst mountainous areas: Taking Qixingguan district as an example [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(2):337-344.
- [25] 韩增林,赵启行,赵东霞,等.2000—2015年东北地区县域人口与经济耦合协调演变及空间差异:以辽宁省为例[J].*地理研究*, 2019, 38(12):3025-3037.
Han Z L, Zhao Q H, Zhao D X, et al. Population and economic coupling coordinated evolution and spatial differences at county level in northeast China during 2000—2015: Taking Liaoning Province as an example [J]. *Geographical Research*, 2019, 38(12):3025-3037.
- [26] 魏振香,安蓉.工业化与生态环境耦合协调度及时空差异研究:以山东省为例[J].*生态经济*, 2021, 37(5):156-162.
Wei Z X, An R. Analysis on the coordination degree of coupling between industrialization and ecological environment and the difference in time and space: Taking Shandong Province as an example [J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(5):156-162.
- [27] 鲜晓军,杨海娟,苏彤.村庄农户-土地-产业转型耦合协调性评价:以陕西蓝田县王嘴头村为例[J].*中国农业资源与区划*, 2019, 40(10):74-84.
Xian X J, Yang H J, Su T. Coupling coordination evaluation of village farmer-land-industry transformation: The case of Wangzuitou Village in Lantian County in Shaanxi Province [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(10):74-84.

(上接第 366 页)

- [23] 黄安,许月卿,卢龙辉,等.“生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展[J].*地理科学进展*, 2020, 39(3):503-518.
Huang A, Xu Y Q, Lu L H, et al. Research progress of the identification and optimization of production-living-ecological spaces [J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(3):503-518.
- [24] 李广东,方创琳.城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J].*地理学报*, 2016, 71(1):49-65.
LI G D, Fang C L. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1):49-65.
- [25] 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.
- [26] Liu C, Xu Y Q, Huang A, et al. Spatial identification of land use multifunctionality at grid scale in farming-pastoral area: A case study of Zhangjiakou City, China [J]. *Habitat International*, 2018, 76:48-61.
- [27] 黄安,许月卿,刘超,等.基于土地利用多功能性的县域乡村生活空间宜居性评价[J].*农业工程学报*, 2018, 34(8):252-261, 304.
Huang A, Xu Y Q, Liu C, et al. Evaluation on livability of living space based on multiple functions of land use at county level [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(8):252-261, 304.
- [28] Paracchini M L, Zulian G, Kopperoinen L, et al. Mapping cultural ecosystem services: A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 45:371-385.
- [29] 巩杰,柳冬青,高秉丽,等.西部山区流域生态系统服务权衡与协同关系:以甘肃白龙江流域为例[J].*应用生态学报*, 2020, 31(4):1278-1288.
Gong J, Liu D Q, Gao B L, et al. Tradeoffs and synergies of ecosystem services in western mountainous China: A case study of the Bailongjiang watershed in Gansu, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(4):1278-1288.
- [30] 赵筱青,石小倩,李驭豪,等.滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J].*地理学报*, 2022, 77(3):736-756.
Zhao X Q, Shi X Q, LI Y H, et al. Spatio-temporal pattern and functional zoning of ecosystem services in the karst mountainous areas of southeastern Yunnan [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(3):736-756.