

魏伟, 杨龙, 张伟, 等. 三生空间视角下黄河沿线城市群综合承载力测算[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(5): 833-844. WEI W, YANG L, ZHANG W, et al. Assessment of comprehensive carrying capacity of urban agglomeration along the Yellow River from the perspective of productive-living-ecology space[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2024, 22(5): 833-844. (in Chinese)

# 三生空间视角下黄河沿线城市群综合承载力测算

魏伟<sup>1,2</sup>, 杨龙<sup>2</sup>, 张伟<sup>3,4</sup>, 左其亭<sup>3,5</sup>, 朱影影<sup>1</sup>

(1. 郑州升达经贸管理学院, 郑州 450000; 2. 郑州大学管理学院, 郑州 450000; 3. 郑州大学黄河生态保护与区域协调发展研究院, 郑州 450000; 4. 郑州大学生态与环境学院, 郑州 450000; 5. 郑州大学水利与交通学院, 郑州 450000)

**摘要:**厘清生产-生活-生态空间(简称“三生空间”)质量的耦合规律, 测算并分析城市群综合承载力, 能够为承载力提升提供新思路, 并为城市群可持续发展提供决策参考。基于三生空间视角, 选取 9 个维度共 27 个指标构建综合承载力评价指标体系, 运用熵值法确定指标权重, 通过综合承载力测算模型对 2001—2020 年黄河沿线城市群承载力进行测算, 并使用 ArcGIS 工具进行空间差异性分析, 运用灰色关联度模型识别综合承载力的关键影响因素。结果表明: 黄河沿线城市群综合承载力空间分异特征显著, 整体呈现出三级梯度分布; 中度承载力和高度承载力城市比例不变, 保持在 29.31% 和 12.07%, 较高承载力城市比例由 24.14% 增加到 29.31%, 发展态势较好; 各个城市群综合承载力关键影响因素存在差异, 总体上集中于经济发展、生活服务、社会保障、生态压力、生态治理 5 个维度。黄河沿线城市群在未来发展过程中应注重产业经济与资源环境的协同发展, 社会保障和服务设施配套建设, 以促进生产-生活-生态空间质量的全面提升, 并针对综合承载力不同梯队的城市群采用精准性治理措施, 以全面实现黄河流域的生态保护和高质量发展。

**关键词:**三生空间; 综合承载力; 黄河沿线城市群; 影响因素

**中图分类号:** TV213; X24 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2024.0083

城市群是城市发展成熟阶段的复杂地域系统<sup>[1]</sup>, 在增强辐射带动作用、实现资源优化配置的同时, 还能够促进内部各城市的协同发展<sup>[2]</sup>。《黄河流域发展蓝皮书(2021)》提出打造黄河流域城市群为主要形态的核心增长极。但相较于其他区域, 黄河沿线城市群的资源环境和经济社会发展不均衡性较强, 城镇建设空间布局不合理等问题较为突出, 导致城市群的脆弱性较高, 综合承载力较低。

城市作为城市群的主体地域单元, 其承载力特征显著。关于承载力的研究最早起源于工程领域, 发展于工业革命时期, 随后被生态学、人口学等学科所采用, 逐渐成为研究全球环境变化和可持续发展的重要工具<sup>[3]</sup>。目前学术界对于城市承载力的研

究主要基于省级<sup>[4-6]</sup>、市级<sup>[7-9]</sup>、区域<sup>[10-13]</sup>等尺度, 针对承载力的内涵界定<sup>[14-15]</sup>、现状分析<sup>[16-17]</sup>、阈值测度<sup>[18-19]</sup>、综合测算<sup>[20-22]</sup>以及影响因素<sup>[23-24]</sup>等方面展开, 研究视角主要涉及土地承载力<sup>[25-27]</sup>、人口承载力<sup>[28-30]</sup>、水资源承载力<sup>[31-33]</sup>、交通承载力<sup>[34-35]</sup>、旅游承载力<sup>[36-37]</sup>、文化承载力<sup>[38-39]</sup>等单一视角和资源-环境承载力<sup>[40-41]</sup>、经济-资源承载力<sup>[42-43]</sup>等综合性视角。但承载力研究作为探索人与环境系统和谐共生, 经济社会可持续发展的重要科学工具, 目前大多数研究都是从经济发展的生产角度和资源环境的生态角度出发, 缺少从社会保障的生活质量角度出发的综合性测算。自优化生产-生活-生态空间(简称“三生空间”)质量的目标和原则提出, 即“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”, 三

收稿日期: 2024-04-08 修回日期: 2024-09-15 网络出版时间: 2024-09-25

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20240924.1655.004>

**基金项目:** 中国科协战略发展部决策咨询重点研究课题(2023070615CG111504); 中国工程科技发展战略河南研究院战略咨询研究项目(2024HENYB01); 2025 年度河南省高等学校智库研究项目; 河南科技智库调研课题(HNKJZK-2024-10A); 郑州大学教育教学改革研究与实践项目(留学生教育专项)重点项目(2023ZZUJGXM-LXS010); 河南省重点研发与推广专项(软科学研究)项目(232400411184); 新一轮河南省重点学科(工商管理)(教研[2023]414 号); 2024 年度河南省文化和旅游厅研究课题

**作者简介:** 魏伟(1988—), 男, 河南安阳人, 副教授, 博士, 主要从事旅游信息科学研究。E-mail: [weiwei123@zzu.edu.cn](mailto:weiwei123@zzu.edu.cn)

**通信作者:** 张伟(1988—), 男, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 主要从事黄河生态环境修复与管理研究。E-mail: [zhangwei88@zzu.edu.cn](mailto:zhangwei88@zzu.edu.cn)

生空间就成为了研究人地系统的重要工具。三生空间的统筹布局对于协调经济-社会-资源环境关系,提高城市的综合承载力,促进城市的高质量、可持续发展具有重要作用。目前关于三生空间的研究主要集中于两方面:一方面是构建三生空间评价指标体系,如张玉臻等<sup>[44]</sup>以地理空间数据和社会统计数据为支撑,测度黄河流域三生功能协调性;另一方面是基于三生空间的优化研究,如陈竹安等<sup>[45]</sup>基于三生空间视角对南昌市土地利用造成的空间冲突风险进行评估和分区优化研究。由于自然环境和地理区位的特殊性,黄河流域的人地关系和经济社会发展呈现出动态变化的特点,始终存在城市危机和发展困境。因此,基于三生空间视角的黄河流域城市群综合承载力研究十分必要。

以黄河沿线 7 个城市群为研究区域,基于生产-生活-生态空间质量视角构建综合承载力评价指标体系,对 2001—2020 年黄河沿线城市群综合承载力进行综合测算,从城市群整体性视角和内部空间差异性视角深入分析,并运用灰色关联度模型识别影响因素,针对每个城市群的影响因素提出针对性政策建议,以全面实现黄河流域的生产-生活-生态协同发展。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区域

作为推进生态文明建设的空间载体,黄河流域在我国经济发展、社会稳定和对外开放总体布局中具有突出地位。依据《全国主体功能区规划》和相关城市群规划,本文研究对象涉及黄河流域流经的 7 个城市群:兰西城市群、宁夏黄河沿线城市群、呼包鄂榆城市群、关中平原城市群、晋中城市群、中原城市群和山东半岛城市群。

黄河流域 7 个城市群人口规模约占整个黄河流域的 78%,GDP 约占整个黄河流域的 60%<sup>[46]</sup>,可见黄河沿线城市群是黄河流域经济发展和生态保护的重要支撑区域。但由于黄河沿线城市群之间生态条件与经济社会发展层次各异,城市群高质量发展水平的空间非均衡特征较为明显,经济质量低下、环境形势严峻等问题突出。

具体表现在:生态环境较差。根据生态环境部通报的 2021 年全国环境空气质量状况排名,空气污染最严重的 20 个城市中有 12 个位于黄河流域城市群范围内,居民消费活力不高。《2021 年中国城市

生活圈活力指数》显示,黄河沿线城市群范围内仅有郑州市和西安市处于城市生活圈活力指数综合评分前 20。因此,基于三生空间视角对黄河沿线城市群的城市综合承载力进行测算,并针对地区差异提出相应发展建议,能够为黄河流域的生态保护和高质量发展提供坚实保障。

### 1.2 数据来源

选取 2001—2020 年为研究期,基于三生空间视角,选取农业生产、非农业生产、经济发展、生活服务、社会保障、休闲旅游、资源供给、生态压力和生态治理 9 个维度构建综合承载力评价指标体系,并确定 27 个指标对相关维度进行测量。其中,农业生产、社会保障服务、生态压力、生态治理等指标数据来源于黄河流域各省统计年鉴,非农业生产、经济发展、生活服务、资源供给等指标数据来源于《中国城市统计年鉴》,旅游休闲功能层面数据来自各城市的统计公报,人均水资源量数据来源于《中国水资源公报》,万元 GDP 碳排放量数据借鉴 Chen 等<sup>[47]</sup>的研究。部分缺失数据采用插值法进行补充。

## 2 研究方法

### 2.1 综合承载力测算模型

#### 2.1.1 指标体系

以三生空间为研究视角,对黄河沿线城市群综合承载力进行测算,并充分考虑评价指标的全面性、科学性、合理性以及可操作性原则,结合已有研究成果<sup>[48-51]</sup>,依据黄河沿线城市群的实际情况,从“目标-系统-要素-指标”4 个层级构建综合评价指标体系。目标层为“黄河沿线城市群综合承载力”,反映本指标体系的总体设计目标和预测结果;系统层以三生空间视角为指导,涵盖本研究的整体架构和测算机制;要素层是在系统层指导下,实现总体测算目标所需要测算的具体维度,其中,生产空间质量主要包括农业生产、非农业生产和经济发展维度,生活空间质量主要包括生活服务、社会保障和旅游休闲功能维度,生态空间质量主要包括资源供给、生态压力和生态治理维度;指标层是黄河沿线城市群综合承载力评价指标的具体测量和评估单元。本研究的指标层共选取 27 个指标(表 1),是更为基本的数据的集成或综合、用以反映要素层的特定概念和具体数值。综上,本研究构建了“目标-系统-要素-指标”4 级评价指标体系,对黄河沿线城市群综合承载力进行测算。

表 1 黄河沿线城市群综合承载力评价指标体系

Tab. 1 Comprehensive carrying capacity evaluation index system along the Yellow River urban agglomeration

目标层	系统层	要素层	指标层	指标属性	权重	
黄河沿线城市群 综合承载力	生产空间质量	农业生产	$X_1$ : 地均粮食产量/( $t \cdot km^{-2}$ )	+	0.102 8	
			$X_2$ : 地均农业机械总动力/( $kW \cdot h \cdot km^{-2}$ )	+	0.099 6	
			$X_3$ : 地均农林渔牧业总产值/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.103 5	
		非农业生产	$X_4$ : 地均工业生产总产值/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.097 6	
			$X_5$ : 地均二、三产业产值/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.120 2	
			经济发展	$X_6$ : 地均固定资产投资/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.111 0
				$X_7$ : 经济密度/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.127 5
				$X_8$ : 实际利用外资额/万美元	+	0.115 3
			$X_9$ : 进出口总额/亿元	+	0.122 5	
	生活空间质量	生活服务	$X_{10}$ : 人口密度/(人 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.099 1	
			$X_{11}$ : 人均GDP/元	+	0.108 7	
			$X_{12}$ : 人均道路面积/ $m^2$	+	0.105 4	
		社会保障	$X_{13}$ : 人均社会消费品零售总额/元	+	0.109 3	
			$X_{14}$ : 万人拥有卫生机构床位数/张	+	0.099 3	
			$X_{15}$ : 互联网普及率/%	+	0.080 7	
			$X_{16}$ : 教育支出比/%	+	0.080 9	
			$X_{17}$ : 城乡收入比/%	+	0.095 5	
			旅游休闲功能	$X_{18}$ : 地均国内旅游人次/(人 $\cdot km^{-2}$ )	+	0.107 4
	$X_{19}$ : 地均国内旅游收入/(万元 $\cdot km^{-2}$ )	+		0.113 7		
	生态空间质量	资源供给	$X_{20}$ : 人均水资源量/ $m^3$	+	0.134 5	
			$X_{21}$ : 人均绿地面积/ $hm^2$	+	0.146 3	
		生态压力	$X_{22}$ : 万元GDP能耗标准煤/t	-	0.125 7	
			$X_{23}$ : 万元GDP工业废水排放量/t	-	0.119 6	
			$X_{24}$ : 万元GDP碳排放量/t	-	0.120 4	
		生态治理	$X_{25}$ : 建成区绿化覆盖率/%	+	0.116 4	
			$X_{26}$ : 生活垃圾无害化处理率/%	+	0.110 3	
			$X_{27}$ : 工业固体废弃物综合利用率/%	+	0.126 8	

注：“+”表示正向指标，该指标数据越大越好；“-”表示负向指标，该指标数值越小越好。

### 2.1.2 熵值法

熵值法是多准则决策中广泛使用的客观权重分配方法，其利用指标自身信息，运用多年统一标准测算指标有效性和价值，并赋予相应的权重从而对系统做出客观、公正的综合评价<sup>[52]</sup>。为测算和评价黄河沿线城市群的综合承载力，本文首先采用极值变化法对各指标数据进行标准化处理，然后应用熵值法。具体计算过程如下。

数据标准化处理。在进行熵值法前，因数据方向不一致，且数据在数量和单位上都存在较大差异，需提前进行对数据进行正向化或逆向化处理。计算公式为

正向化处理：

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

逆向化处理：

$$X_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

式(1)和(2)中： $x_{ij}$ 表示指标 $j$ 在 $i$ 年的原始数据； $X_{ij}$ 为标准化处理结果； $\max x_{ij}$ 为指标 $j$ 在 $i$ 年的最大值； $\min x_{ij}$ 为 $j$ 指标在 $i$ 年的最小值； $i = 1, 2, \dots, m$ ； $j = 1, 2, \dots, m$ 。

熵值法赋权重。熵值是不确定性的一种度量方式，其数值与信息量成正比，与不确定性成反比。因此利用熵值携带的信息进行权重计算，并结合各项指标的变化程度，计算各项指标的权重，可为多指标综合评价提供依据。计算公式为

$$y_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij} \quad (4)$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m 1 - e_j} \quad (5)$$

式(3)~(5)中:  $y_{ij}$ 表示无量纲化结果;  $e_j$ 表示指标  $j$  的熵值;  $w_j$ 表示指标  $j$  的权重。

### 2.1.3 综合指数模型

综合指数模型是一种用于全面测算、评估多个

指标或变量的方法,旨在揭示某系统或组织的综合特征<sup>[19]</sup>。综合指数模型用于将三生空间视角下的 27 个指标整合为单一数值,以便测算和分析其综合承载力。具体计算过程为:

将公式(1)和(2)得出的标准化数值与公式(5)所得的权重相乘后,采用加权求和的方式得出黄河沿线城市群 2001—2020 年的综合承载力数值( $U$ ),并参考相关文献<sup>[53-54]</sup>进行等级划分(表 2)。计算公式为

$$U = \sum_{i=1}^m w_j X_{ij} \quad (6)$$

表 2 承载力等级划分

Tab. 2 Carrying capacity classification

承载力指数	[0,0.2)	[0.2,0.3)	[0.3,0.4)	[0.4,0.5)	$\geq 0.5$
程度	低度承载力	较低承载力	中度承载力	较高承载力	高度承载力
等级	弱	较弱	中等	较强	强

## 2.2 灰色关联度模型

为进一步量化评价各指标对黄河沿线城市群综合承载力的影响程度,识别关键影响因素,采用灰色关联度模型计算各个维度和指标与综合承载力的关联度<sup>[54]</sup>。关联度越大,表示该指标对黄河沿线城市群的综合承载力影响程度越高。具体计算过程如下:

计算关联度数值:

$$\varepsilon_j(i) = \frac{\min_i \min_j |y(i) - x_j(i)| + \rho \max_i \max_j |y(i) - x_j(i)|}{|y(i) - x_j(i)| + \rho \max_i \max_j |y(i) - x_j(i)|} \quad (7)$$

计算灰色关联度:

$$\theta_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_j(i) \quad (8)$$

式(7)和(8)中:  $y(i)$  为参考数列,代表综合承载力;  $x_j(i)$  式中为比较数列,代表影响综合承载力的指标值;  $\rho$  为分辨系数,取值范围为  $[0,1]$ ,常取 0.5;  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

## 3 结果与分析

基于三生空间视角,运用综合承载力测算模型和灰色关联度模型测算出 2001—2020 年黄河沿线城市群的综合承载力及关联度,分别从城市群综合

承载力整体性、内部差异性和主要影响因素 3 个方面进行剖析。

### 3.1 整体性分析

依据综合承载力测算模型测算结果,对 2001—2020 年黄河沿线 7 大城市群的综合承载力进行可视化表达(图 1)。

由图 1(a)可知,黄河沿线城市群综合承载力空间分异特征显著,整体呈现出三级梯度分布,第一级梯队包括山东半岛城市群和中原城市群,第二级梯队为呼包鄂榆城市群,第三级梯队包括晋中城市群、关中平原城市群、兰西城市群和宁夏黄河沿线城市群。在具体地域空间上,黄河沿线城市群综合承载力呈现出“山东半岛城市群 > 中原城市群 > 呼包鄂榆城市群 > 晋中城市群 > 关中平原城市群 > 兰西城市群 > 宁夏黄河沿线城市群”的态势。

由图 1(b)可知,第一级梯队包括山东半岛城市群和中原城市群,在研究期间两大城市群的综合承载力数值均大于 0.4,处于较高等级,且数值波动较为稳定。相较于研究区域的其他城市群,山东半岛城市群和中原城市群的工业、农业基础较好、人才优势明显且资源供给能力较强,故而综合承载力数值较高,生产、生活、生态空间协同发展。具体来看,在生产空间质量方面,山东半岛城市群“龙头”作用明显,农业生产稳定,工业产值较高,进出口贸易繁

荣<sup>[55]</sup>。中原城市群“中原粮仓”地位稳固,农业种植面积广阔,先进机械普及率高,生产空间质量稳中求进。在生活空间质量方面,两大城市群不断完善基本公共服务,健全社会保障体系,推进惠民利民工程<sup>[56]</sup>;在生态空间质量方面,两大城市群认真贯

彻“绿水青山就是金山银山”理念,大力发展绿色经济,生态环境持续改善<sup>[57]</sup>。三生空间的协同发展,为山东半岛城市群和中原城市群提供了坚实支撑和保障,大幅提升城市应对不确定性和发展风险的能力。

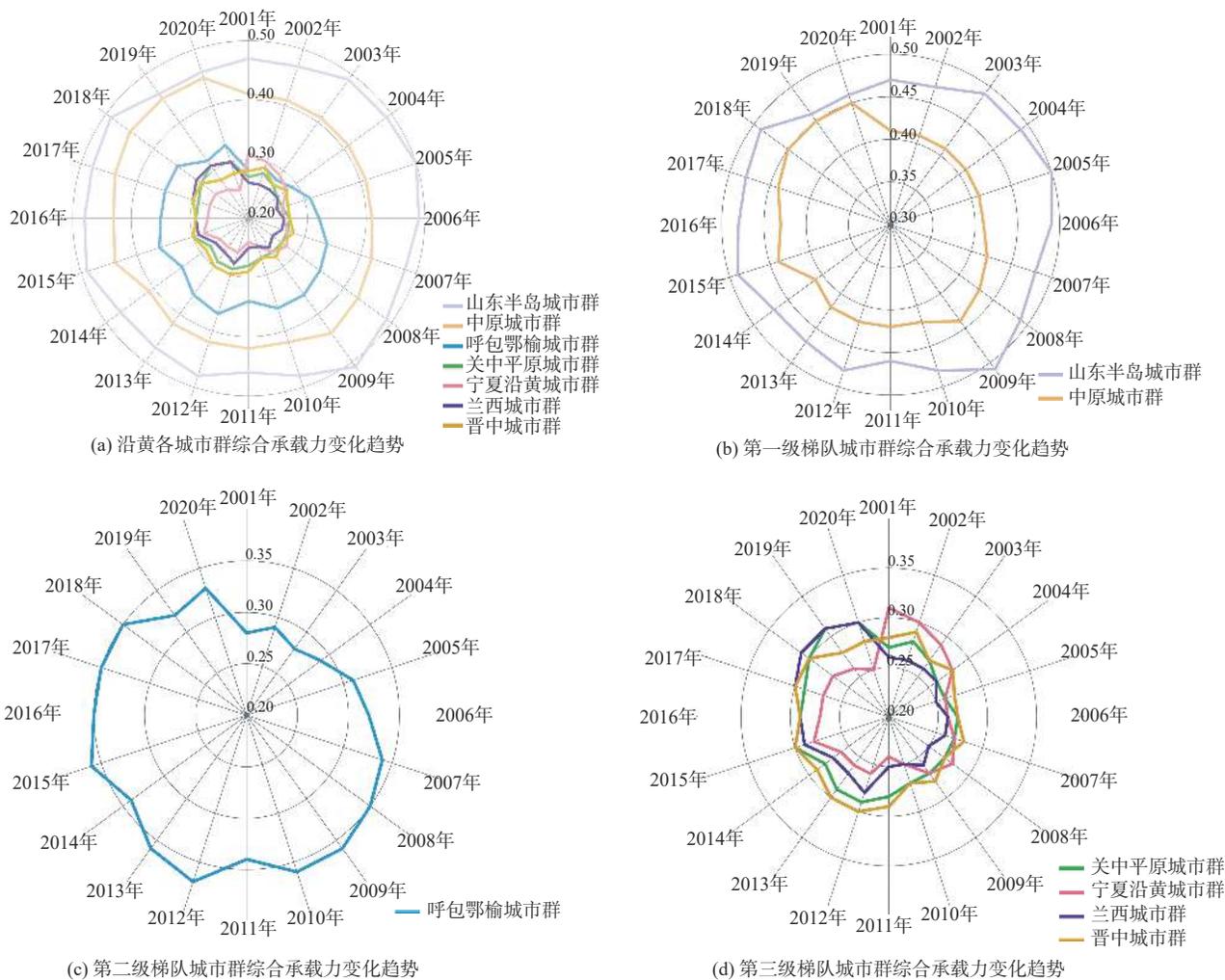


图1 2001—2020年黄河沿线各城市群综合承载力变化趋势

Fig. 1 The comprehensive carrying capacity change trend chart along the Yellow River urban agglomerations from 2001 to 2020

由图1(c)可知,第二级梯队为呼包鄂榆城市群,在研究期间其承载力数值由0.28上升至0.33,承载力等级由较低上升为中度。立足三生空间视角进行分析,呼包鄂榆城市群在生产和生活空间质量方面具备一定优势,作为黄河流域典型的资源型城市群,呼包鄂榆城市群矿产资源丰富,能源重化工业发展迅速,中心城市辐射带动能力较强,生产空间质量较高,同时经济的发展带动其公共服务共建共享水平提高,生活空间质量持续改善,因此综合承载力水平高于第三级梯队城市群。然而,作为典型的西北旱区城市群,呼包鄂榆城市群的水资源制约明显,单一的经济发展模式导致“水-能-碳”约束性

特征日益加剧<sup>[58]</sup>,生态空间质量较低,且受限于地理区域位置,对外开放不足,生产空间质量难以追赶沿海城市,因此综合承载力低于第一级梯队城市群。

由图1(d)可知,第三级梯队包括晋中城市群、关中平原城市群、兰西城市群和宁夏黄河沿线城市群,综合承载力等级均为较低。其中,宁夏黄河沿线城市群的综合承载力变化程度最大,其承载力数值由0.31下降为0.25。以上城市群受限于历史发展限制和地理区位约束,仍然面临着严重的发展困境和生态环境压力,资源环境绩效较低,生产、生活、生态空间质量濒临失衡<sup>[59]</sup>,三生空间质量亟须提高,因此综合承载力低于第一级、第二级梯队城市群。

### 3.2 内部差异性分析

为进一步探析黄河沿线城市群内部空间分异特征,结合 ArcGIS 10.2 工具以 5 年为时间段,分别计算 2001—2005 年、2006—2010 年、2011—2015 年和 2016—2020 年的城市群内部各城市平均承载力数值并进行差异性分析。总体上,沿黄城市群内部中度承载力和高度承载力城市比例不变,较高承载力城市比例有所增加,并且各城市群的中心城市始终处于高度承载力等级。作为城市群的核心和引领者,中心城市在经济、科技、社会、文化、生态环境等方面影响力和竞争力较强,因此综合承载力水平较高。

2001—2005 年。这一时期中度、较高和高度承载力的城市数量比例分别为 29.31%、24.14%、12.07%。山东半岛城市群综合承载力数值较高主要体现在青岛、烟台、威海、济南、淄博等城市。这些城市在研究期间生产空间质量较高,工农业发展态势良好。农业生产方面,农林渔牧业产值较高。青岛、烟台、威海位于鲁东地区,临海优势显著,海洋渔业发达。工业生产方面,地均工业总产值、地均二产业产值和经济密度较高,青岛、烟台、威海港口经济繁荣,对外开发水平较高,济南,淄博矿产资源丰富,绿色化工技术推广应用,推动城市转型升级<sup>[60]</sup>。此外,工农业的繁荣带动城市生活服务和社会保障体系不断健全,临海城市生态环境良好,海洋资源禀赋优异,带动当地旅游业快速发展,促进城市基础设施建设及生活环境优化,生活和生态空间质量较高。中原城市群内部的郑州市综合承载力最高,其次是开封市等。作为中原城市群的核心城市,郑州市地域面积广阔,农业底蕴深厚,较早实行了一系列农业改革措施且成效显著,同时其交通区位优势显著,重工业基础雄厚,综合经济实力强劲<sup>[61]</sup>,因此生产空间质量较高。在生活和生产空间质量方面,郑州是河南省的政治、文化中心,城市基础设施完备,社会保障体系健全,旅游休闲及城市绿化功能建设较为全面,生态治理和资源保护工程布局较早,生产-生活-生态空间协同发展程度较高,因此综合承载力高于中原城市群其他城市。开封市具备良好的工农业基础,且历史文化底蕴深厚,旅游资源丰富,产业结构较为合理,生态城市建设持续推进,生产、生态空间质量较高。但是,由于特殊的历史区位,开封市地下分布大量文物古迹,制约了早期城市交通等基础设施建设,综合承载力略

低于郑州市。

2005—2010 年。该阶段中度、较高和高度承载力的城市数量比例分别为 29.31%、24.14%、13.79%。山东半岛城市群内部的青岛市、德州市和东营市的综合承载力均上升一个等级,提高至较高承载力和高度承载力,主要原因在于研究期间其认真贯彻落实国家调控政策,经济平稳增长,转方式、调结构取得显著成效,生态环境持续改善,城市综合承载力大幅提升。宁夏黄河沿线城市群内部银川市由较高承载力下降为中度承载力,主要在于其生产空间发展受限,农业结构不合理,水土资源约束明显<sup>[62]</sup>。银川市长期依赖资源型产业,结构单一导致其经济发展质量不高,且生态环境压力增大,呈现出水、碳、环境、产业等发展的区域不均衡性<sup>[63]</sup>,因此城市综合承载力等级降低。

2011—2015 年。这一时期中度、较高和高度承载力的城市数量比例分别为 34.48%、25.86%、12.07%。晋中城市群内部的忻州市综合承载力等级由较低上升为中度。研究期间忻州市大力开展土地整治和矿产资源总体规划,优化土地利用结构,提高矿产资源利用效率,农业和工业产值增加<sup>[64]</sup>,生产空间质量显著提升。同时,忻州市还大力推进生态环境治理,以“3581”发展战略为统领,开展流域生态环境治理,有效改善了城市生态空间质量<sup>[65]</sup>,显著提升了城市综合承载力。呼包鄂榆城市群内部的鄂尔多斯市综合承载力等级由中度上升为较高。这一时期,鄂尔多斯市生产空间质量提升较快,地均工业总产值由 42 万元/km<sup>2</sup> 增长为 246 万元/km<sup>2</sup>,产业规模不断扩大,工业生产和技术水平得到显著提升。同时,鄂尔多斯市政府在制定产业政策、优化营商环境和引进外部投资等方面积极发挥引领作用,为城市的工业发展提供良好的生产和生活空间质量保障。但值得注意的是,这一时期,鄂尔多斯的固体工业废弃物综合利用率由 70% 下降为 42%,可见其经济的快速发展以牺牲环境为代价,将对生态空间质量产生不良影响,为其后续综合承载力等级降低埋下隐患。

2016—2020 年。这一阶段中度、较高和高度承载力的城市数量比例分别为 29.31%、29.31%、12.07%。中原城市群内部的洛阳市、新乡市和周口市综合承载力等级均由中度上升为高度。2016 年国务院批复《中原城市群发展规划》<sup>[66]</sup>,明确提出支持郑州建设国家中心城市,推动郑州与开封、新乡、

焦作、许昌四市深度融合。洛阳市、新乡市和周口市作为郑州的重要邻近城市,受益于郑州的辐射带动作用,生产、生活、生态空间质量均得到改善,城市综合承载力有所提升。然而,在这一时期,呼包鄂榆城市群内部的鄂尔多斯市和晋中城市群内部的吕梁市以及关中平原城市群内部的临汾市3者的综合承载力却有所下降。虽然鄂尔多斯市前期的工业发展速度较快,生产空间质量大度提升,但是其废弃物的综合利用率较低且产业结构不合理,面临着资源枯竭、环境污染等可持续发展问题<sup>[59]</sup>。生

态空间质量的严重受损,导致其生产空间和生活空间质量下降,最终鄂尔多斯市的综合承载力等级由高度下降为中度。

### 3.3 影响因素分析

为深入分析黄河沿线城市群综合承载力的影响因素,根据公式(7)和(8)计算各指标与黄河沿线城市群城市综合承载力的关联度数值。但由于评价指标体系中涉及的指标因子数量较多,考虑到篇幅有限,故只筛选出位于前十的指标作为主要影响因素进行深入探讨(表3)。

表3 黄河沿线城市群2001—2020年综合承载力影响因素灰色关联度

Tab. 3 The grey correlation degree of influencing factors on comprehensive carrying capacity along the Yellow River urban agglomerations from 2001 to 2020

城市群	排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
山东半岛城市群	影响因素	$X_{24}$	$X_{17}$	$X_2$	$X_{27}$	$X_{13}$	$X_{10}$	$X_4$	$X_{22}$	$X_1$	$X_{23}$
	关联度	0.893	0.890	0.890	0.890	0.881	0.864	0.857	0.856	0.849	0.846
中原城市群	影响因素	$X_2$	$X_{24}$	$X_{22}$	$X_{17}$	$X_6$	$X_{27}$	$X_{19}$	$X_1$	$X_{10}$	$X_{14}$
	关联度	0.894	0.892	0.885	0.878	0.878	0.875	0.870	0.864	0.863	0.861
呼包鄂榆城市群	影响因素	$X_{13}$	$X_{21}$	$X_{20}$	$X_{11}$	$X_{14}$	$X_{12}$	$X_{23}$	$X_{17}$	$X_{24}$	$X_8$
	关联度	0.689	0.683	0.669	0.661	0.646	0.646	0.600	0.583	0.571	0.563
晋中城市群	影响因素	$X_{13}$	$X_{23}$	$X_{10}$	$X_{22}$	$X_{26}$	$X_1$	$X_6$	$X_{24}$	$X_7$	$X_4$
	关联度	0.915	0.869	0.839	0.802	0.800	0.799	0.788	0.784	0.784	0.783
关中平原城市群	影响因素	$X_{13}$	$X_6$	$X_{24}$	$X_{14}$	$X_{11}$	$X_{23}$	$X_{22}$	$X_2$	$X_4$	$X_{10}$
	关联度	0.905	0.862	0.852	0.842	0.839	0.834	0.832	0.826	0.822	0.809
兰西城市群	影响因素	$X_{13}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_4$	$X_{10}$	$X_2$	$X_{26}$	$X_{24}$	$X_{14}$	$X_5$
	关联度	0.860	0.834	0.832	0.826	0.825	0.822	0.819	0.816	0.816	0.816
宁夏黄河沿线城市群	影响因素	$X_{15}$	$X_{13}$	$X_{21}$	$X_{17}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{10}$	$X_{14}$	$X_7$	$X_{22}$
	关联度	0.918	0.909	0.908	0.903	0.897	0.891	0.889	0.886	0.871	0.867

由表3可知,总体上影响黄河沿线城市群综合承载力的因素主要集中于经济发展( $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ )、生活服务( $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{13}$ )、社会保障( $X_{14}$ 、 $X_{17}$ )、生态压力( $X_{22}$ 、 $X_{23}$ 、 $X_{24}$ )和生态治理( $X_{26}$ 、 $X_{27}$ )5个维度。因此,黄河沿线城市群在未来发展过程中应注重产业经济与资源环境的协同发展,注重社会保障和服务设施配套建设,以促进生产-生活-生态空间质量的全面提升,全面实现黄河流域的生态保护和高质量发展。

针对各个城市群的关键影响因素,找出综合承载力的短板并提出相应的精准性治理措施,以提高城市综合承载能力,促进可持续发展。

第一,处于较高承载力的山东半岛城市群和中原城市群,最关键的影响因素为地均农业机械总动

力( $X_2$ )、城乡收入比( $X_{17}$ )和万元GDP碳排放量( $X_{24}$ )。两者作为重要的农业生产区域,对农业的机械化水平和生产效率的需求相较于其他城市群更高,同时随着城市规模的不断扩大,城乡发展不平衡和资源消耗的约束作用会更加明显。不同之处在于影响山东半岛城市群综合承载力的重要因素还包括地均国内生产总值( $X_4$ ),其灰色关联度为0.857,影响中原城市群综合承载力的重要因素还有地均国内旅游收入( $X_{19}$ ),其灰色关联度为0.870。故而,山东半岛城市群应着重促进工业结构优化升级、推动产业协同发展、加强环境保护和生态修复、推动绿色循环经济发展。中原城市群则应在保障农业生产的同时促进旅游产业发展,包括整合开发旅游资源、建设旅游产业链条、实施农旅融合,从而

发挥中原地区文化底蕴优势,促进区域产业绿色发展,不断释放“中原速度”。

第二,处于中度承载力的呼包鄂榆城市群,综合承载力受资源供给要素的影响较大,包括人均水资源( $X_{20}$ )和人均绿地面积( $X_{21}$ ),其灰色关联度数值为 0.669 和 0.683。从产业结构来看,研究期间,呼包鄂榆城市群二、三产业增加值占 GDP 比重均低于全国平均值,虽然该城市群以能源、化工、冶金、等为主的工业体系基本形成,但其能源利用效率较低,资源消耗和环境污染问题突出。城市群内鄂尔多斯市和榆林市国内旅游人次( $X_{18}$ )和国内旅游收入( $X_{19}$ )较低,城市间旅游交流较少,第三产业发展不足,导致其产业结构不合理,生活、生态空间质量较低,城市群综合承载力不高。因此,呼包鄂榆城市群应加强中心城市的辐射带动作用,鼓励实施能源节约和清洁生产措施;注重生态环境保护和绿化建设,在城市发展中实现生态与经济的良性互动;同时加强城市之间的产业合作和旅游交流,发展现代服务业和高技术产业,为城市群转型发展增添动力。

第三,综合承载力较低的宁夏黄河沿线城市群、晋中城市群、关中平原城市群和兰西城市群,影响因素主要集中于社会保障和生态压力维度,同时还包括经济发展因素。综合承载力逐年下降的宁夏黄河沿线城市群,综合承载力与经济密度指标( $X_7$ )的灰色关联度为 0.871,明显高于其他城市群,可见其经济发展较为依赖农业生产,综合发展水平不高,基础设施和公共服务建设不足,导致城市综合承载力逐年下降。因此,综合承载力位于第三级梯队的城市群应紧抓“一带一路”建设机遇,深化对内对外开放,突破地缘限制,推动西北地区城市群协同发展,促进产业转型发展和区域经济提质增效,同时增加对基础设施和公共服务的投入,完善社会保障措施,提高生活空间质量,促进城市群高质量、可持续发展。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文通过构建综合承载力评价指标体系,并利用熵值法、综合指数模型,结合 ArcGIS 10.2 的空间分析功能,对 2001—2020 年黄河沿线城市群综合承载力进行测算和内部空间差异性分析,最后运用灰色关联度模型识别关键影响因素。主要得出以下结论:

黄河沿线城市群综合承载力空间分异特征显著,综合承载力整体呈现 3 级梯度分布,第一级梯队为山东半岛城市群和中原城市群,第二级梯队为呼包鄂榆城市群,第三级梯队为晋中城市群、关中平原城市群、兰西城市群和宁夏黄河沿线城市群。在地域空间位置上,具体显示“山东半岛城市群>中原城市群>呼包鄂榆城市群>晋中城市群>关中平原城市群>兰西城市群>宁夏黄河沿线城市群”的态势。

2001—2020 年中度承载力和高度承载力城市比例不变,保持在 29.31% 和 12.07%,较高承载力城市比例由 24.14% 增加到 29.31%,发展态势较好。各个城市群的中心城市始终处于高度承载力等级。

黄河沿线城市群内各个城市群综合承载力影响因素存在差异,总体上集中于经济发展、生活服务、社会保障、生态压力、生活治理 5 个维度。黄河沿线城市群在未来发展过程中应注重产业经济与资源环境的协同发展,注重社会保障和服务设施配套建设,以促进生产-生活-生态空间质量的全面提升,全面实现黄河流域生态保护和高质量发展。

对于综合承载力不同梯队的城市群,针对其短板提出相应的精准性治理措施,以提高城市综合承载力,促进可持续发展。

第一级梯队综合承载力较高的山东半岛城市群和中原城市群,应着重促进工业结构优化升级、区域产业绿色发展、加强环境保护和生态修复工程、推动绿色循环经济的发展。

处于第二级梯队综合承载力中度的呼包鄂榆城市群应加强中心城市的带动辐射带动作用,鼓励实施能源节约和清洁生产措施,同时注重生态环境保护和绿化建设,在城市发展中实现生态与经济的良性互动。

处于第三级梯队综合承载力较低的宁夏黄河沿线城市群、晋中城市群、关中平原城市群和兰西城市群,应紧抓“一带一路”建设机遇,深化对内对外开放,突破地缘限制,推动西北地区城市群协同发展,促进产业转型发展和区域经济提质增效,同时增加对基础设施和公共服务的投入,完善社会保障措施,提高生活空间质量,促进城市群高质量、可持续发展。

### 4.2 展望

本文在进行综合承载力测算时,对于承载力综合评价指标体系以及三生空间内涵认知存在一定局限性,主要体现在:三生空间内涵界定中对文化

内涵的关注较少,未来可增加公共文化设施、文化活动数量及参与人数等方面的指标,更为全面地进行生活空间质量评价;指标体系中资源供给要素层仅涵盖了水资源量和绿地面积两个指标,还有待补充空气质量等方面的指标。本文并未对综合承载力评价系统之间的作用机制进行探讨,未来应加入空间计量模型等方法对其进行更为深入的分析。

#### 参考文献:

- [1] 汪德根, 范子祺, 赵美凤. 长江经济带主要城市群 2 h 出行交通圈格局特征 [J]. *地理研究*, 2022, 41(5): 1388-1406. DOI: 10.11821/dlyj020210386.
- [2] 董会忠, 韩沅刚. 复合生态系统下城市高质量发展时空演化及驱动因素研究: 以黄河流域 7 大城市群为例 [J]. *人文地理*, 2021, 36(6): 96-107. DOI: 10.13959/j.issn.1003-2398.2021.06.011.
- [3] 何刚, 张世玉, 鲍珂宇, 等. 区域水资源承载力时空分异及驱动因子分析: 以安徽省为例 [J]. *水利水电技术 (中英文)*, 2023, 54(7): 88-101. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2023.07.008.
- [4] 张凯, 陆海曙, 陆玉梅. 三重属性约束的承载力视角下中国省际水资源利用效率测度 [J]. *资源科学*, 2021, 43(9): 1778-1793. DOI: 10.18402/resci.2021.09.06.
- [5] 周侃, 李九一, 王强. 基于资源环境承载力的农业生产空间评价与布局优化: 以福建省为例 [J]. *地理科学*, 2021, 41(2): 280-289. DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.02.011.
- [6] 李菲, 张小平. 甘肃省水资源生态足迹和生态承载力时空特征 [J]. *干旱区地理*, 2020, 43(6): 1486-1495. DOI: 10.12118/j.issn.1000-6060.2020.06.09.
- [7] 李国正, 郑宏林, 张彦钊. 数字经济能提升超大特大城市承载力吗: 以北京市为例 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(6): 116-127. DOI: 10.12062/cpre.20230101.
- [8] 丁相毅, 石小林, 凌敏华, 等. 基于“量-质-域-流”的太原市水资源承载力评价 [J]. *南水北调与水利科技 (中英文)*, 2022, 20(1): 9-20. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0002..
- [9] 吴浩, 江志猛, 林安琪, 等. 基于隐性-韧性-显性的武汉城市资源环境承载力空间特征 [J]. *地理学报*, 2021, 76(10): 2439-2457. DOI: 10.11821/dlxb202110008.
- [10] 李诚浩, 任保平. 中国区域资源环境承载力的空间特征及收敛性分析 [J]. *人文地理*, 2023, 38(2): 88-96. DOI: 10.13959/j.issn.1003-2398.2023.02.011.
- [11] 杨亚锋, 闫佳伟, 王红瑞, 等. 长江经济带水环境承载力时空变化特征 [J]. *南水北调与水利科技 (中英文)*, 2022, 20(4): 714-723. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0073.
- [12] 刘玉洁, 代粮, 张婕, 等. 资源承载力监测: 以西藏“一江两河”地区为例 [J]. *自然资源学报*, 2020, 35(7): 1699-1713. DOI: 10.31497/zrzyxb.20200714.
- [13] 余灏哲, 李丽娟, 李九一. 基于量-质-域-流的京津冀水资源承载力综合评价 [J]. *资源科学*, 2020, 42(2): 358-371. DOI: 10.18402/resci.2020.02.14.
- [14] 郝庆, 邓玲, 封志明. 国土空间规划中的承载力反思: 概念、理论与实践 [J]. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2073-2086. DOI: 10.31497/zrzyxb.20191005.
- [15] 鄢玲艳, 孔令桥, 张路, 等. 草地生态系统承载力概念、方法及关键问题 [J]. *中国生态农业学报 (中英文)*, 2022, 30(8): 1228-1237. DOI: 10.12357/cjea.20210905.
- [16] 马振刚, 李黎黎, 杨润田. 资源环境承载力研究现状与辨析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(3): 130-137. DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200316.
- [17] 孙阳, 王佳韡, 伍世代. 近 35 年中国资源环境承载力评价: 脉络、热点及展望 [J]. *自然资源学报*, 2022, 37(1): 34-58. DOI: 10.31497/zrzyxb.20220103.
- [18] 徐美, 刘春腊. 湖南省资源环境承载力预警评价与警情趋势分析 [J]. *经济地理*, 2020, 40(1): 187-196. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.01.021.
- [19] 陈晓雨婧, 吴燕红, 夏建新. 甘肃省资源环境承载力监测预警 [J]. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2378-2388. DOI: 10.31497/zrzyxb.20191110.
- [20] 刘国斌, 丁宇迪. “双碳”目标下哈长城市群综合承载力评价及时空演变特征 [J]. *税务与经济*, 2023(6): 72-80.
- [21] 周仪姜, 李林. 长江中游城市群综合承载力评价与预测 [J]. *经济地理*, 2021, 41(9): 31-39. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2021.09.004.
- [22] 孙久文, 易淑昶. 大运河文化带城市综合承载力评价与时空分异 [J]. *经济地理*, 2020, 40(7): 12-21. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.07.002.
- [23] 权泉, 朱佳玲, 刘云强, 等. 四川省城市群综合承载力、驱动因子与空间演化 [J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(8): 218-229. DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20180830.
- [24] 张宇晔, 夏唯一, 骆玉川, 等. 基于系统动力学模型的内蒙古水资源承载力及其影响因素 [J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(4): 274-287. DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.04.24.

- [25] 李新刚,王双进,孙钰.基于 PVAR 模型的城市土地综合承载力动态冲击效应:以京津冀城市群为例[J].城市发展研究,2019,26(1):26-32.
- [26] 张超,杨艳昭,封志明,等.基于人粮关系的“一带一路”沿线国家土地资源承载力时空格局研究[J].自然资源学报,2022,37(3):616-626. DOI: 10.31497/zrzyxb.20220305.
- [27] 张荣天,张小林,尹鹏.长江经济带市域土地资源承载力时空分异与影响因素探析[J].经济地理,2022,42(5):185-192. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2022.05.019.
- [28] 梁书民,刘岚,崔奇峰,等.基于 GIS 的全球农业开发潜力和人口承载力分析[J].北京大学学报(自然科学版),2021,57(2):261-274. DOI: 10.13209/j.0479-8023.2021.004.
- [29] 孙玉环,张冬雪,丁娇.基于人口承载力的城市群适度人口预测研究:以长江三角洲城市群为例[J].人口与发展,2023,29(3):49-59.
- [30] 李国平,崔丹.我国城市群人口和经济承载力及其提升策略[J].改革,2022(7):37-48.
- [31] 崔毅,唐慧彦,金菊良,等.基于动态差异度系数的区域水资源承载力评价与诊断[J].水资源保护,2023,39(5):152-160. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2023.05.018.
- [32] 马睿,李云玲,何君,等.我国水资源承载力分析及分区管控对策[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(2):209-217. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0022.
- [33] 李雨欣,薛东前,宋永永.中国水资源承载力时空变化与趋势预警[J].长江流域资源与环境,2021,30(7):1574-1584. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202107005.
- [34] 李小静,王花兰,范媛媛,等.城市道路交通承载力研究综述[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(6):15-25. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2022.06.002.
- [35] 周军,谭泽芳.交通承载力评估在密度分区及容积率测算中的方法研究及应用实践:以深圳为例[J].城市规划学刊,2020(1):85-92. DOI: 10.16361/j.upf.202001012.
- [36] 李鹏,李晨阳,沈梦婷,等.自然保护地旅游承载力多情景核算:以云南泸沽湖为例[J].资源科学,2022,44(3):620-633. DOI: 10.18402/resci.2022.03.15.
- [37] 胡蓓蓓,徐爱荣,高姗.区域旅游承载力与高铁网络的耦合机制与协同策略[J].旅游学刊,2021,36(12):8-10. DOI: 10.19765/j.cnki.1002-5006.2021.12.005.
- [38] 齐喻.公共文化服务承载力与经济高质量发展耦合协调性研究:以郑州都市圈为例[J].资源开发与市场,2023,39(7):875-883. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8141.2023.07.013.
- [39] 李少惠,韩慧.我国地方政府公共文化服务承载力的差异研究[J].图书馆杂志,2020,39(7):37-47. DOI: 10.13663/j.cnki.lj.2020.07.005.
- [40] 孙永胜,佟连军.吉林省限制开发区域资源环境承载力综合评价[J].自然资源学报,2021,36(3):634-645. DOI: 10.31497/zrzyxb.20210308.
- [41] 郑金辉,徐维祥,陈希琳,等.长江经济带多维产业结构对资源环境承载力影响的空间效应[J].长江流域资源与环境,2023,32(1):1-13. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202301001.
- [42] 牛方曲,孙东琪.资源环境承载力与中国经济发展可持续性模拟[J].地理学报,2019,74(12):2604-2613. DOI: 10.11821/dlxb201912013.
- [43] 杨舒,张华.区域经济绩效与资源环境承载力协调发展评价:基于东三省的实证[J].统计与决策,2023,39(15):116-119. DOI: 10.13546/j.cnki.tjyj.2023.15.021.
- [44] 张玉臻,陈阳,王洁,等.黄河流域“三生”功能协调性测度及其差异性优化调控[J].农业工程学报,2021,37(12):251-261. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.029.
- [45] 陈竹安,冯祥瑞,洪志强,等.南昌市土地利用的空间冲突风险评估及分区优化研究:基于“三生空间”视角[J].世界地理研究,2021,30(3):533-545. DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2021.03.2019676.
- [46] 韩磊,何佟佟,杨勇,等.城市群高质量发展与土地利用效率耦合协调度评价:基于黄河流域七大城市群的实证分析[J].河南师范大学学报(哲学社会科学版),2021,48(1):95-101. DOI: 10.16366/j.cnki.1000-2359.2021.01.12.
- [47] CHEN J, GAO M, CHENG S, et al. County-level CO<sub>2</sub> emissions and sequestration in China during 1997–2017[J]. Scientific Data, 2020, 07: 391. DOI: 10.1038/s41597-020-00736-3.
- [48] 支小军,李宗阳,张雪唱,等.三生空间视角下宁夏-内蒙古干旱区城市综合承载力研究[J].地域研究与开发,2019,38(1):65-70. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2019.01.013.
- [49] 方创琳,贾克敬,李广东,等.市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析[J].生态学报,2017,37(15):5198-5209. DOI: 10.5846/stxb201604260791.
- [50] 张雄,王芳,张俊峰,等.长江中游城市群三生功能的空间关联性[J].中国人口·资源与环境,2021,31

- (11): 110-122. DOI: [10.12062/cpre.20210409](https://doi.org/10.12062/cpre.20210409).
- [51] 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. DOI: [10.14108/j.cnki.1008-8873.2020.03.011](https://doi.org/10.14108/j.cnki.1008-8873.2020.03.011).
- [52] 于成学,葛仁东. 资源开发利用对地区绿色发展的影响研究: 以辽宁省为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(6): 121-126. DOI: [10.3969/j.issn.1002-2104.2015.06.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2104.2015.06.017).
- [53] 张宁宁,栗晓玲,周云哲,等. 黄河流域水资源承载力评价[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1759-1770. DOI: [10.31497/zrzyxb.20190815](https://doi.org/10.31497/zrzyxb.20190815).
- [54] 刘珏珏: 基于熵权 TOPSIS-耦合协调度-灰色关联度的长江经济带水资源承载力综合评价[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2023, 56(5): 532-541. DOI: [10.14188/j.1671-8844.2023-05-003](https://doi.org/10.14188/j.1671-8844.2023-05-003).
- [55] 赵丽娜,钱进. 发挥山东半岛城市群黄河流域龙头作用的路径选择: 基于城市群效应视角[J]. *东岳论坛*, 2023, 44(9): 150-156. DOI: [10.15981/j.cnki.dongyueluncong.2023.09.017](https://doi.org/10.15981/j.cnki.dongyueluncong.2023.09.017).
- [56] 贾琦,尹泽凯,刘毅洁,等. 1980—2020 年中原城市群“三生”功能识别及其时空演化[J]. *环境监测管理与技术*, 2023, 35(2): 12-17. DOI: [10.19501/j.cnki.1006-2009.2023.02.003](https://doi.org/10.19501/j.cnki.1006-2009.2023.02.003).
- [57] 唐松林,张欠,李梦洁. 山东半岛城市群绿色发展与经济增长的动态关系及驱动因素研究[J]. *生态经济*, 2022, 38(7): 99-106.
- [58] 杨屹,张园园. 呼包鄂榆资源型城市群“水-能-碳”耦合变化及影响因素[J]. *中国环境科学*, 2023, 43(11): 6212-6224. DOI: [10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230919.001](https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230919.001).
- [59] 张韦萍,石培基,赵武生,等. 西北区域城镇化与资源环境承载力协调发展的时空特征: 以兰西城市群为例[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(7): 2337-2347. DOI: [10.13292/j.1000-4890.202007.036](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202007.036).
- [60] 陈明华,刘文斐,王山,等. 山东半岛城市群绿色经济增长绩效评价及动力源泉[J]. *宏观经济研究*. 2020(6): 133-143. DOI: [10.16304/j.cnki.11-3952/f.2020.06.013](https://doi.org/10.16304/j.cnki.11-3952/f.2020.06.013).
- [61] 于洋,韩鹏,杨楠. 中原城市群核心城市资源环境承载力研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(2): 407-414. DOI: [10.13209/j.0479-8023.2017.160](https://doi.org/10.13209/j.0479-8023.2017.160).
- [62] 赵鹏宇,郭劲松,刘秀丽,等. 基于生态足迹模型修正的忻州市生态承载力空间差异变化[J]. 2019, 37(1): 41-50. DOI: [10.7606/j.issn.1000-7601.2019.01.06](https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-7601.2019.01.06).
- [63] 劳炳丽,曹方. 生态文明视角下的干旱地区河流生态修复研究: 以忻州市云中河生态修复为例[J]. *中国园林*, 2019, 35(11): 41-46. DOI: [10.19775/j.cla.2019.11.0041](https://doi.org/10.19775/j.cla.2019.11.0041).
- [64] 李洪波,王成文,吴瑞,等. 基于博弈论法的银川市地下水资源承载力评价[J]. *人民黄河*, 2023, 45(1): 42-43. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1379.2023.S1.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1379.2023.S1.022).
- [65] 刘子西,席睿,黑正军. 宁夏黄河沿线城市带碳足迹及其关联关系研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2023, 34(2): 1-8. DOI: [10.11705/j.issn.1672-643X.2023.02.01](https://doi.org/10.11705/j.issn.1672-643X.2023.02.01).
- [66] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发中原城市群发展规划的通知[EB/OL]. 中华人民共和国国家发展与改革委员会, 2016-12-29.

## Assessment of comprehensive carrying capacity of urban agglomeration along the Yellow River from the perspective of productive-living-ecology space

WEI Wei<sup>1,2</sup>, YANG Long<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>3,4</sup>, ZUO Qiting<sup>3,5</sup>, ZHU Yingying<sup>1</sup>

(1. Zhengzhou Shengda University, Zhengzhou 450000, China; 2. School of Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

3. Institute of Yellow River Ecological Protection and Regional Coordinated Development, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

4. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 5. School of Water

Conservancy and Transportation, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Under the background of globalization and urbanization, urban agglomeration has become one of the important engines to promote economic growth and social development. As one of China's important urban agglomerations and a spatial carrier for promoting ecological civilization construction, the Yellow River basin plays a prominent role in China's overall economic development, social stability and opening-up. However, compared with other regions, the resources, environment and economic and social development conditions of the urban agglomeration along the Yellow River are more unbalanced, and the spatial layout of urban construction is unreasonable, which leads to the higher vulnerability of the urban agglomeration and the lower comprehensive

carrying capacity.

In order to find out the coupling law of production, life and ecological spatial quality of the urban agglomeration along the Yellow River, to provide new ideas for the improvement of its carrying capacity, and to provide decision-making reference for the high-quality and sustainable development of the urban agglomeration. Based on the perspective of productive-living-ecology space, a total of 27 indicators from 9 dimensions were selected to build a comprehensive carrying capacity evaluation index system. The entropy method was used to determine the weight of the indicators, and the carrying capacity along the Yellow River urban Agglomeration from 2001 to 2020 was measured by the comprehensive measurement index model. Finally, the grey relational degree model is used to identify the key influencing factors of the comprehensive bearing capacity.

The results show that the spatial differentiation of the comprehensive carrying capacity of the urban agglomeration along the Yellow River is significant, showing a three-level gradient distribution. The first-level gradient includes Shandong Peninsula urban agglomerations and Central Plains urban agglomerations, the second-level gradient includes Hubao and Eyu urban agglomerations, and the third-level gradient includes Jinzhong urban agglomerations, Guanzhong plain urban agglomerations, Lanxi urban agglomerations and Ningxia urban agglomerations. The proportion of cities with moderate carrying capacity and high carrying capacity remained unchanged at 29.31% and 12.07%, while the proportion of cities with high carrying capacity increased from 24.14% to 29.31%, showing a good development trend. There are differences in the factors affecting the comprehensive carrying capacity of urban agglomerations, which are generally concentrated in five dimensions: economic development, life services, social security, ecological pressure and ecological governance.

According to the influence factors of different gradient urban agglomerations with comprehensive carrying capacity, the corresponding management measures are proposed. The first gradient urban agglomerations should focus on promoting the optimization and upgrading of industrial structure, the green development of regional industry, strengthening environmental protection and ecological restoration projects, and promoting the development of green circular economy. Urban agglomerations in the second gradient should strengthen the leading role of central cities, encourage the implementation of energy conservation and cleaner production measures, and pay attention to ecological environmental protection and green construction, so as to realize the positive interaction between ecology and economy in urban development. The third level of gradient urban agglomerations should deepen the internal and external opening up, promote industrial transformation and development, increase investment in infrastructure and public services, improve social security measures, improve the quality of living space, and then improve the comprehensive urban carrying capacity, promote high-quality and sustainable development.

**Key words:** productive-living-ecology space; comprehensive carrying capacity; urban agglomeration along the Yellow River; influencing factor