

雄安新区资源环境承载力评价指标体系构建研究

王秦, 张艳, 杨永芳

北京联合大学, 北京 100101

摘要 通过分析雄安新区资源与环境的禀赋特征, 结合雄安新区的发展规划定位, 以资源、环境、生态(绿色生态)与社会经济系统为一级指标, 遵循科学性、系统性、动态性、体现人地关系协调性及可持续发展的主要原则, 选择土地资源、水资源、矿产资源、水环境、大气环境、地质环境、绿色治理、绿色生产、绿色生活、经济与社会为二级要素性指标及若干个三级基础性指标, 在运用SPSS的相关性分析消除信息重复评价指标进行初步筛选的基础上, 基于主成分分析法提炼雄安新区资源环境承载力的主要影响因子, 进一步优化选择评价指标确定最终的48个三级评价指标, 构建起能够更加真实、准确地反映雄安新区资源、环境、生态与社会经济系统之间协调发展程度的资源环境承载力评价指标体系, 有助于揭示雄安新区资源环境承载力关键要素的变化及驱动机制。

关键词 雄安新区; 资源环境承载力; 评价指标; 主成分分析法

雄安新区的设立是千年大计、国家大事。2018年4月,《河北雄安新区规划纲要》正式颁布,明确提出要“坚持以资源环境承载能力为刚性约束条件,科学确定新区开发边界、人口规模、用地规模和开发强度”^[1]。因此,客观、准确地评价雄安新区的资源环境承载力,能够为雄安新区资源环境与社会经济系统的协调发展提供对策,走出一条资源节约、环境友好的区域绿色发展与可持续发展之路。

区域资源环境承载力评价研究的核心内容之一就是构建区域资源环境承载力评价指标体系。

科学、合理的区域资源环境承载力评价指标体系可以客观地涵盖区域资源、环境、生态与经济社会系统中诸多要素的相对情况,有助于真实地反映区域资源环境与承载的基本状况^[2]。本研究基于主成分分析法进行雄安新区资源环境承载力评价指标体系的构建研究,对于丰富雄安新区资源环境承载力评价的理论研究和实践探索,贯彻实施党的十九大报告“高起点规划、高标准建设雄安新区”,实现雄安新区生态、经济与社会效益的协同优化具有较强的实践应用价值。

收稿日期:2020-04-05;修回日期:2020-06-14

基金项目:北京市社会科学基金项目(18LJB004)

作者简介:王秦,副教授,研究方向为环境经济分析与评价,电子信箱:13911047021@139.com

引用格式:王秦,张艳,杨永芳. 雄安新区资源环境承载力评价指标体系构建研究[J]. 科技导报, 2021, 39(4): 112-124; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.04.019

1 区域资源环境承载力评价指标体系构建的研究现状

国内外区域资源环境承载力评价指标体系构建的相关研究多数是基于2条主线:(1) 基于固定模型选取评价指标;王红旗等基于PSR、DSR、DP-

SIR与DPSIRM这4种模型作为指标体系的框架,选取评价指标构建区域资源环境承载力评价指标体系^[3-9]。(2) 遵循系统论,从多层面选取评价指标设计区域资源环境承载力评价指标体系^[10-35](表1)。上述研究成果为雄安新区资源环境承载力评价指标的选取提供了一定的参考与借鉴。

表1 基于多层面选取评价指标设计区域资源环境承载力评价指标体系

名称	目标层	准则层	要素层	指标层
涵盖土地、水、气候、能源等多个因素			土地	人均耕地面积、土地质量分布、土地开发强度、土地利用等
			水文	人均水资源量、水资源质量、单位有效灌溉面积、水资源利用率等
			大气	大气环境容量、工业固废排放量等
			能源	可开发能源量、人均可利用能源量等
			生态	物种丰富度指数、土壤渗透性、自然灾害危害性等
包含综合水资源、人类基础设施、社会经济、财政、生活质量等多项指标			综合水资源类主要指标:可利用水资源量、人均水资源量、工业废水排放量等	
			人类基础设施类主要指标:人均道路面积、生活污水处理率、人均公共绿地面积等	
			社会经济类主要指标:GDP年增长率、人均GDP、城镇化率、居民消费价格指数等	
			财政类主要指标:财政收入规模、财政收入增速、财政收支平衡性等	
基于资源、环境和经济社会3个条件	区域资源环境承载力	资源	土地资源	人均耕地面积、人均建设用地面积、人均林地面积、单位土地产出等
			水资源	人均水资源占有量、人均年用水量、用水效益等
	环境	大气环境	氮氧化物排放强度、空气质量指数(AQI)优良天数、空气质量综合指数等	
		生态环境	森林覆盖率、建成区绿化覆盖率等	
	社会经济	经济发展水平	规模以上工业总产值、人均GDP、固定资产投资额、城镇居民人均可支配收入等	
		人口集聚度	人口密度、人口自然增长率、人口流动强度等	
基于经济、社会和生态环保3个系统			交通优势度	区位优势度、交通网络密度等
			经济	GDP、人均GDP、人均可支配收入、固定资产投资额等
			社会	城镇化率、路网密度、恩格尔系数等
基于自然与社会资源、自然与社会环境4个维度			生态环保	绿化覆盖率、人均公共绿地面积、工业废水排放达标率、空气质量优良率等
			自然资源	单位耕地生产力、单位有效灌溉面积、万元GDP能耗、万元GDP水耗、人均供电量、森林覆盖率等
			社会资源	GDP年增长率、人均GDP、人均固定资产投资额、人均建设用地等
			自然环境	水质达标率、污水日处理能力、人均工业废水排放总量、生活垃圾无害化处理率等
			社会环境	人口密度、人均绿地面积、人均城市道路面积、城市登记失业率等

2 雄安新区资源环境的基本特征分析

雄安新区地处北京、天津、河北保定腹地,区位优势十分明显,涵盖雄县、容城县、安新县(含白洋淀水域)及周边部分区域,共辖29个乡镇,被定位为“北京非首都功能疏解集中承载地、绿色生态宜居新城区与资源可承载的区域协调发展示范区”。

1) 雄安新区的资源特征。雄安新区具有丰富的土地资源与矿产资源。新区土地面积广阔、用地条件良好,土地利用呈现出“六田、二建、一水、半分林”的显著特征,区域内可供开发的土地空间较大。雄县是华北油田的主产区,原油、天然气储备丰厚,同时新区拥有广泛的地热资源,具有埋藏浅、温度高、质量好、易于开发等特点。从水资源状况来看,新区拥有华北地区最大的淡水湖白洋淀,但京津冀地区总体上仍属于缺水区域,新区水资源可持续度较低,水资源总量与人均水资源量均低于保定市、河北省平均水平。同时,新区地下水开采量占总水量的90%以上,逼近水资源承载极限。

2) 雄安新区的环境特征。新区所处的大清河流域化学需氧量浓度年均值达到Ⅲ类水质标准、氨氮浓度年均值为Ⅳ类水质标准,水环境的污染主要来自工业与农业。从大气环境的状况来看,受京津冀区域整体空气质量的影响,2018年新区 $PM_{2.5}$ 超标率为91.43%、 PM_{10} 超标率为74.29%(对比国家空气质量的二级标准)。从地质环境的状况来看,新区属于太行山麓平原向冲积平原的过渡带,为缓倾平原。新区地表埋深100 m内工程地质条件良好,但存在着地面沉降、地裂缝、砂土液化等不良地质作用。

3) 雄安新区的生态特征。雄安新区以农渔业、轻纺工业为主,重化工业占比较少,生态状况良好。由于被规划定位于“蓝绿交织、清新明亮、水城交融的生态城市”(蓝绿空间占比达到70%),新区加大环保投资,进行了白洋淀治理、唐河污水库污染治理与修复项目、“千年秀林”等绿色治理工程,其中,2018年白洋淀水质由劣Ⅴ类改善至Ⅴ类,总磷、氨氮浓度同比分别下降35.16%与45.45%;2018年“千年秀林”面积已达11万亩,2020年森林覆盖

率将达29%，“三带”“九片”“多廊”的整体效果初步完成。同时新区严格执行工农业排污处理力度等绿色生产的相关标准,鼓励居民绿色、健康的出行与生活方式。

4) 雄安新区的社会经济特征。目前,雄安新区开发强度较低,社会经济发展潜力巨大。从人口规模上看,近20年雄安及周边地区人口同步增加,年均增长率为0.9%~1.5%,增幅远低于京津;从人均GDP上看,2018年新区人均GDP为1.6665万元,为河北省的44.6%、北京的16.3%、天津的16.7%;从城镇化水平上看,2018年新区城镇化率为42.77%,远低于北京的86.5%、天津的82.64%,也低于河北省的整体水平55.32%;从人口密度上看,2018年新区人口密度为726人/ km^2 ,远低于北京的1324人/ km^2 、天津的1298人/ km^2 ,人地矛盾相对不突出,具备承接疏解北京非首都功能的基础条件。(上述所有数据分别来源于《河北经济年鉴—2019》^[6]、《保定经济统计年鉴—2019》^[7]和《河北经济发展报告(2018—2019)》^[8]等。

3 雄安新区资源环境承载力评价指标体系设计

3.1 设计思路

基于《河北雄安新区总体规划(2018—2035年)》^[6],以新区“生态优先和绿色发展”的建设思路为指导,从资源、环境、生态(绿色生态)与社会经济4个维度,依据雄安新区资源环境的基本特征与社会经济发展的现实状况选择二级准则层集成性指标及若干个基础性指标,并运用SPSS的相关性分析消除各项特征指标间信息重叠的问题,实现评价指标的初步筛选,之后基于主成分分析法对评价的各项特征指标进行优化选择。本文通过定量方法确定三级基础性评价指标,避免了之前指标选取仅仅依赖影响因素的定性分析,最终设计出符合雄安新区区域特征的资源环境承载力评价指标体系。

3.2 设计原则

雄安新区资源环境承载力评价指标体系的设计遵循5个主要原则:(1)科学性原则。评价指标

要能客观真实地反映区域发展状况,充分体现雄安新区资源环境的本质特征,同时,指标要求概念明确、数据可得且统计规范,保证客观、科学及有效的评价结果。(2) 系统性原则。资源环境承载力是一个与资源-环境-生态-社会经济相关的复杂系统,评价指标既要有反映雄安新区资源、环境、生态系统的客观现实指标,又要有反映新区社会、经济、人口方面的发展指标。(3) 动态性原则。雄安新区处于起步规划发展阶段,资源承载力会持续地发生动态变化,因此评价指标应能充分描述与评估雄安新区资源环境与社会经济发展的运行模式与发展状态。(4) 体现人地关系协调性原则。区域资源环境承载力是人-地关系相互作用研究的重要载体^[9],因此,必须立足评价区的客观现实,指标要充分反映雄安新区资源环境承载力的人-地关系特征,刻画出新区人-地关系的相互作用机制。(5) 可持续

发展原则。指标选取要考虑区域资源的可持续利用及环境的可持续发展,评价结果要反映出雄安新区资源、环境、生态与社会经济系统的可持续发展能力。

3.3 评价指标体系的初步设计

参考借鉴前期的研究成果(表1),基于雄安新区“绿色新区”的规划定位,将生态作为一个单独的维度,从资源系统、环境系统、生态系统(绿色生态)与社会经济系统4个一级指标,土地、水、矿产资源,水、大气及地质环境,绿色治理、绿色生产与绿色生活,经济与社会的11个二级指标,选择最能反映雄安新区资源环境特征与社会经济发展现实状况、同时统计数据可查或计算可得的共104个三级指标初步设计雄安新区资源环境承载力评价指标体系(表2)。

表2 雄安新区资源环境承载力评价指标体系初步设计

一级指标	二级指标	三级指标	
雄安新区资源环境承载力评价指标体系	资源系统	土地资源	土地总面积、人均耕地面积、人均建设用地面积、单位耕地生产力、万元GDP建设用地面积、建设用地新增率、土地利用效率、土地开发强度、单位土地产出、人均粮食占有量
		水资源	水资源总量、平均降水量、地表水资源量、人均水资源量、人均水资源需求量、农业用水占比、单位有效灌溉面积、水资源可持续度、水资源利用率、用水效益
		矿产资源	矿山企业数、年产矿量、单位用地矿产量、单位用地实际采矿能力、年产原油数量、天然气产量、地热田面积、地热水储量
	环境系统	水环境	工业万元GDP废水排放量、城市污水日处理能力、饮用水水质达标率、总磷排放量、氨氮排放量、化学需氧量排放强度、湖泊综合营养指数、地下水开采率、劣质水占比、生态用水率
		大气环境	空气质量优良天数占比、空气质量综合指数、PM _{2.5} 浓度、PM ₁₀ 浓度、SO ₂ 浓度、PM _{2.5} 超标率、PM ₁₀ 超标率、SO ₂ 超标率
		地质环境	平均地下水埋深、地下水超采量、地面沉降速率、地下水矿化度、建筑地基承载力、高程、地震烈度等级、地下水可利用率
	生态系统(绿色生态)	绿色治理	环保投入占财政支出的比重、科教文卫支出占财政支出的比重、城市污水集中处理率、人均造林面积、白洋淀水质达标率、生活垃圾无害化处理率、建成区绿化覆盖率、工业SO ₂ 去除率、工业固废综合利用率、工业废水排放达标率
		绿色生产	单位面积农药化肥使用量、第三产业占GDP比重、万元GDP能耗、万元GDP水耗、万元GDP电耗、工业废水排放强度、工业万元GDP固废排放量、单位工业GDP天然气使用率、万元工业增加值耗水量、工业污水集中处理率
		绿色生活	居民生活中清洁能源的比重、地热资源取暖覆盖率、液化石油气家庭用量、每万人拥有公共汽车、新能源汽车增长率、电动自行车的保有率、人均绿地面积、蓝绿空间占比、森林覆盖率、充电桩覆盖率
	社会经济系统	经济	GDP总量、人均GDP、GDP年增长率、规模以上工业总产值、第一产业占GDP比重、第二产业占GDP比重、城镇居民人均可支配收入、城镇居民人均消费支出、固定资产投资额、居民消费价格指数
		社会	人口总量、城镇化率、人口自然增长率、人口流动强度、人口密度、农民平均受教育程度、恩格尔系数、人均城市道路面积、路网密度、千人医疗机构床位数

3.4 基于相关性分析的指标初次筛选

基于SPSS的相关性分析,找出显著相关的指标(相关系数绝对值在0.8~1.0)。例如,通过对雄安新区资源系统的28项指标进行相关性检验,土地总面积指标与土地利用率、土地开发强度、单位土地产出3个指标显著相关;人均粮食占有量指标与人均耕地面积、单位耕地生产力2个指标显著相关;水资源总量指标与地表水资源量、人均水资源量2个指标显著相关;平均水资源量指标与地表水资源量、人均水资源量2个指标显著相关;水资源可持续度指标与水资源利用率、用水效益2个指标显著相关;企业矿山数指标与年产矿量、年产原油数量、天然气产量3个指标产量显著相关;年产矿量指标与企业矿山数、单位用地矿产量、单位用地实际采矿能力、年产原油数量和天然气产量5个指

标显著相关;单位用地实际采矿能力指标与年产矿量、单位用地矿产量、年产原油数量、天然气产量4个指标显著相关。同时结合专家评分法(邀请10名相关专家进行打分),剔除资源系统里权数得分较低的8个三级指标(土地总面积、人均粮食占有量、水资源总量、平均水资源量、水资源可持续度、企业矿山数、年产矿量、单位用地实际采矿能力),实现对信息重复指标的筛选,剩余的20个三级指标作为雄安新区资源系统承载力的评价指标。同理,对环境、生态与社会经济系统的各个评价指标进行相关性分析,筛选出环境系统的19个三级指标、生态系统的22个三级指标与社会经济系统的16个三级指标。初次筛选后的雄安新区资源环境承载力评价指标体系含77个三级指标(表3)。

表3 初次筛选后的雄安新区资源环境承载力评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标涵义	正负向	
雄安新区资源环境承载力评价指标体系	土地资源	人均耕地面积(m ² /人)	耕地面积/总人口	+	
		人均建设用地面积(m ² /人)	建设用地面积/总人口	+	
		单位耕地生产力(t/km ²)	农作物产量/耕地面积	+	
		万元GDP建设用地面积(m ² /万元)	建设用地面积/GDP	-	
		土地利用率(%)	已利用土地面积/土地总面积	+	
		建设用地新增率(%)	规划新增建设用地规模/建设用地总规模	+	
		土地开发强度(%)	建设用地总量/土地总面积	+	
		单位土地产出(万元/km ²)	GDP/土地总面积	+	
	资源系统	水资源	地表水资源量(亿m ³ /年)	—	+
			人均水资源量(m ³ /人)	水资源总量/总人口	+
			人均水资源需求量(m ³ /人)	水资源需求总量/总人口	-
			农业用水占比(%)	农业用水总量/水资源总量	+
			单位有效灌溉面积(m ² /t)	耕地灌溉面积/用水量	+
			水资源利用率(%)	用水量/水资源可利用量	-
			用水效益(元/m ³)	GDP/供水量	+
	矿产资源	单位用地矿产量(万t/km ²)	年产矿量/采矿用地规模	+	
		年产原油数量(t/年)	—	+	
		天然气产量(万m ³)	—	+	
		地热田面积(km ²)	—	+	
		地热水储量(亿m ³)	—	+	
环境系统	水环境	工业万元GDP废水排放量(t/万元)	工业废水排放量/工业产值	-	
		城市污水日处理能力(万t)	—	+	
		湖泊综合营养指数	综合湖泊水体中总氮、总磷、叶绿素a浓度和化学需氧量等水质指标进行评判,采用0~100对湖泊营养状态进行分级,指数越高,水质越差	-	

表3 初次筛选后的雄安新区资源环境承载力评价指标体系(续)

一级指标	二级指标	三级指标	指标涵义	正负向	
雄安新区资源环境承载力评价指标体系	水环境	总磷排放量(t)	—	-	
		氨氮排放量(t)	—	-	
		化学需氧量排放强度(kg/万元)	化学需氧量排放量/GDP	-	
		饮用水水质达标率(%)	—	+	
		生态用水率(%)	生态用水量/总用水量	+	
	大气环境	空气质量优良天数占比(%)	每年空气质量优良天数/每年天数	+	
		空气质量综合指数	6项污染物(NO ₂ 、SO ₂ 等)浓度与对应的二级标准值之商的总和,空气质量综合指数值越大,表明大气环境质量越差	-	
		PM _{2.5} 浓度(μg/m ³)	—	-	
		PM ₁₀ 浓度(μg/m ³)	—	-	
		SO ₂ 浓度(μg/m ³)	—	-	
	地质环境	平均地下水埋深度(m)	—	-	
		地下水超采量(亿m ³ /年)	地下水开采量-地下水容许开采量	-	
		地面沉降速率(mm/年)	单位时间地面下沉的幅度	-	
		建筑地基承载力(kPa)	建筑地基承担荷载的能力	+	
		高程(m)	—	-	
	绿色治理	地下水可利用率(%)	地下水开采量/地下水资源拥有量	-	
		环保投入占财政支出的比重(%)	环保投入金额/财政支出金额	+	
		科教文卫支出占财政支出的比重(%)	科学、教育、文化与卫生行业财政投入金额/财政总投入金额	+	
		人均造林面积(m ² /人)	造林面积/总人口	+	
		白洋淀水质达标率(%)	—	+	
		生活垃圾无害化处理率(%)	—	+	
		建成区绿化覆盖率(%)	建成区绿化覆盖面积/建成区面积	+	
		工业SO ₂ 去除率(%)	—	+	
		工业固废综合利用率(%)	工业固废综合利用量/工业固废发生量	+	
		绿色生产	单位面积农用化肥使用量(t/km ²)	农用化肥施用折纯量/有效灌溉面积	-
			万元GDP能耗(t标煤/万元)	能源消费总量(t标煤)/GDP	-
			万元GDP水耗(m ³ /万元)	总耗水量/GDP	-
万元GDP电耗(kW·h/万元)	总耗电量/GDP		-		
工业万元GDP固废排放量(t/年)	工业固废排放量/工业产值		-		
单位工业GDP天然气使用率(%)	—		+		
工业污水集中处理率(%)	—		+		
绿色生活	居民生活中清洁能源的比重(%)	居民生活清洁能源(包括非化石能源和天然气消费总量)/一次能源消费总量	+		
	地热资源取暖覆盖率(%)	—	+		
	每万人拥有公共汽电车(辆)	—	+		
	电动自行车的保有率(%)	—	+		
	人均绿地面积(km ² /人)	公共绿地面积/城镇人口数量	+		
	蓝绿空间占比(%)	绿地水体面积/区域面积	+		
	森林覆盖率(%)	森林面积/土地面积	+		

表3 初次筛选后的雄安新区资源环境承载力评价指标体系(续)

一级指标	二级指标	三级指标	指标涵义	正负向
雄安新区资源环境承载力评价指标体系	社会经济系统	人均GDP(元/人)	GDP/总人口	+
		GDP年增长率(%)	—	+
		规模以上工业总产值(亿元)	—	+
		第一产业占GDP比重(%)	第一产业增加值/GDP	+
		第二产业占GDP比重(%)	第二产业增加值/GDP	+
		城镇居民人均可支配收入(元)	—	+
		城镇居民人均消费支出(元)	—	+
		固定资产投资额(亿元)	—	+
		居民消费价格指数(%)	CPI表示通胀程度	-
		城镇化率(%)	城镇人口/总人口	+
	社会	人口自然增长率(%)	—	+
		人口密度(人/km ²)	常住人口/土地总面积	-
		农民平均受教育程度(%)	—	+
		恩格尔系数(%)	食品支出总额/个人消费支出总额	-
		路网密度(km/km ²)	路网里程/区域面积	+
		千人医疗机构床位数(个)	医疗机构床位数/1000人	+

4 基于主成分分析法的雄安新区资源环境承载力评价指标体系构建

4.1 主成分分析法

主成分分析法是度量多变量之间相关性的一种多元统计方法,旨在利用降维的思想,把多指标转化为少数几个综合指标(即主成分),每个主成分都能够反映原始变量的大部分信息。本文运用SPSS软件进行主成分分析,在对评价的各项特征指标进行优化筛选的基础上设计雄安新区资源环境承载力评价指标体系。

4.2 基于主成分分析法构建雄安新区资源环境承载力评价指标体系

以雄安新区的雄县、安新县、容城县行政辖区(含白洋淀水域)为主要评价单元,研究数据为2014—2018年雄安新区的各项统计指标数据(各项统计指标数据均来自《河北经济年鉴》^[36]、《保定经济统计年鉴》^[37]、《河北经济发展报告》^[38]、河北统计局网站,雄安新区官网,雄县、安新县、容城县官网,以及实地调研或计算得出)。

基于主成分分析法构建雄安新区资源环境承载力评价指标体系的步骤如下。

第一步:数据标准化^[40];假设研究样本集 $X(i,j)$ 为第 i 个样本的第 j 个指标值。为了统一评价的变化范围,要对指标数据进行无量纲化处理。选择极差标准化方法进行原始数据的无量纲化,对越大越优型评价指标采用式(1)、越小越优型评价指标采用式(2)进行极差标准化处理。

$$X^*(i,j) = \frac{X(i,j) - X_{\min}(j)}{X_{\max}(j) - X_{\min}(j)} \quad (1)$$

$$X^*(i,j) = \frac{X_{\max}(j) - X(i,j)}{X_{\max}(j) - X_{\min}(j)} \quad (2)$$

其中, $X_{\max}(j)$ 、 $X_{\min}(j)$ 分别表示样本数据中评价指标 j 的最大值和最小值,计算得到的 $X^*(i,j)$ 为区间在 $[0, 1]$ 上的评价指标。

第二步:计算主成分和累计方差贡献率;限于篇幅,本文仅以资源系统和生态系统为例,基于SPSS软件进行主成分分析(表4、表5)。表4中资源系统指标前4个主成分的特征值均大于1、且累计贡献率超过80%,表明这4个主成分基本能够代表原始指标对雄安新区资源环境承载力进行评价。表5中生态系统指标前3个主成分的特征值均大于1、且累计贡献率超过80%,表明这3个主成分基本能够代表原始指标对雄安新区资源环境承载力进

表4 特征根与方差贡献(资源系统)

成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	总计	方差/%	累积/%	总计	方差/%	累积/%
1	6.549	42.743	42.743	4.419	35.094	35.094
2	2.932	24.659	67.402	3.108	30.542	65.636
3	1.759	8.797	76.199	2.174	10.070	75.706
4	1.260	6.802	83.001	1.599	7.295	83.001
5	0.918	5.172	88.173	—	—	—
6	0.772	4.875	93.048	—	—	—
7	0.517	3.115	96.163	—	—	—
8	0.348	1.825	97.988	—	—	—
9	0.177	0.928	98.916	—	—	—
10	0.078	0.537	99.453	—	—	—
11	0.042	0.329	99.782	—	—	—
12	0.025	0.216	99.998	—	—	—
13	0.018	0.194	100.000	—	—	—
14	6.221×10^{-16}	3.111×10^{-15}	100.000	—	—	—
15	5.532×10^{-16}	2.766×10^{-15}	100.000	—	—	—
16	3.727×10^{-16}	1.863×10^{-15}	100.000	—	—	—
17	1.954×10^{-16}	9.769×10^{-15}	100.000	—	—	—
18	-4.206×10^{-16}	2.103×10^{-15}	100.000	—	—	—
19	-5.042×10^{-16}	2.521×10^{-15}	100.000	—	—	—
20	-1.390×10^{-15}	6.949×10^{-15}	100.000	—	—	—

表5 特征根与方差贡献(生态系统)

成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	总计	方差/%	累积/%	总计	方差/%	累积/%
1	10.535	64.248	64.248	8.137	50.623	50.623
2	3.807	15.758	80.006	4.204	20.384	71.007
3	2.074	8.154	88.160	4.059	17.153	88.160
4	0.985	5.843	94.003	—	—	—
5	0.773	4.142	98.145	—	—	—
6	0.418	3.391	100.000	—	—	—
7	1.160×10^{-15}	5.271×10^{-15}	100.000	—	—	—
8	5.786×10^{-16}	2.630×10^{-15}	100.000	—	—	—
9	4.693×10^{-16}	2.133×10^{-15}	100.000	—	—	—
10	4.650×10^{-16}	2.114×10^{-15}	100.000	—	—	—
11	3.504×10^{-16}	1.593×10^{-15}	100.000	—	—	—
12	1.998×10^{-16}	9.082×10^{-16}	100.000	—	—	—
13	1.276×10^{-16}	5.799×10^{-16}	100.000	—	—	—
14	1.761×10^{-17}	8.004×10^{-17}	100.000	—	—	—
15	-6.491×10^{-17}	-2.950×10^{-16}	100.000	—	—	—
16	-1.019×10^{-16}	-4.630×10^{-16}	100.000	—	—	—

表5 特征根与方差贡献(生态系统)(续)

成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	总计	方差/%	累积/%	总计	方差/%	累积/%
17	-2.089×10 ⁻¹⁶	-9.495×10 ⁻¹⁶	100.000	—	—	—
18	-2.579×10 ⁻¹⁶	-1.172×10 ⁻¹⁵	100.000	—	—	—
19	-3.583×10 ⁻¹⁶	-1.629×10 ⁻¹⁵	100.000	—	—	—
20	-5.340×10 ⁻¹⁵	-2.427×10 ⁻¹⁴	100.000	—	—	—
21	-1.394×10 ⁻¹⁵	-6.337×10 ⁻¹⁵	100.000	—	—	—
22	-1.340×10 ⁻¹⁵	-5.427×10 ⁻¹⁴	100.000	—	—	—

行评价。

第三步:求因子载荷矩阵,如表6和表7所示。

提取方法:主成分分析法。

旋转方法:凯撒正态化最大方差法。

第四步:基于主成分提取相关指标。通过分析旋转后的因子载荷矩阵(表6),资源系统从4大主成分中提取人均耕地面积、人均建设用地面积、单位耕地生产力、土地利用率、单位土地产出、人均水资源量、单位有效灌溉面积、水资源利用率、用水效益、

单位用地产矿量、年产原油数量、天然气产量、地热田面积共13个指标。通过分析旋转后的因子载荷矩阵(表7),生态系统从3大主成分中提取环保投入占财政支出的比重、人均造林面积、白洋淀水质达标率、生活垃圾无害化处理率、建成区绿化覆盖率、工业SO₂去除率、工业固废综合利用率、万元GDP能耗、万元GDP水耗、单位工业GDP天然气使用率、工业污水集中处理率、地热资源取暖覆盖率、每万人拥有公共汽电车、蓝绿空间占比共14个指标。

表6 旋转后的成分矩阵a(资源系统)

	成分			
	1	2	3	4
人均耕地面积	0.919	0.288	-0.224	0.149
人均建设用地面积	0.912	0.224	-0.072	0.338
单位耕地生产力	0.364	0.928	0.044	-0.072
万元GDP建设用地面积	0.254	0.634	0.198	-0.155
建设用地新增率	-0.815	-0.524	0.236	-0.073
土地利用率	0.998	0.055	-0.037	0.003
土地开发强度	0.542	0.235	-0.237	0.035
单位土地产出	-0.066	0.983	0.172	-0.005
地表水资源量	-0.254	0.447	0.175	-0.840
人均水资源量	-0.288	0.380	0.813	0.049
人均水资源需求量	-0.856	-0.165	-0.484	0.080
农业用水占比	0.413	-0.264	-0.854	0.173
单位有效灌溉面积	0.755	0.098	0.643	0.085
水资源利用率	-0.161	0.067	0.968	0.181
用水效益	0.961	0.157	-0.078	0.212
单位用地产矿量	0.582	0.809	0.064	-0.055
年产原油数量	-0.131	0.719	0.504	-0.346
天然气产量	0.975	0.218	-0.024	0.015
地热田面积	0.626	-0.101	-0.144	0.759
地热水储量	0.677	0.553	0.268	0.406

表7 旋转后的成分矩阵a(生态系统)

	成分		
	1	2	3
环保投入占财政支出的比重	0.795	-0.035	0.606
科教文卫支出占财政支出的比重	0.663	0.226	0.640
人均造林面积	0.817	0.124	0.574
白洋淀水质达标率	0.811	-0.023	0.562
生活垃圾无害化处理率	0.908	-0.184	0.340
建成区绿化覆盖率	0.837	0.659	0.706
工业SO ₂ 去除率	0.774	-0.185	0.633
工业固废综合利用率	0.535	0.061	0.803
单位面积农用化肥使用量	0.024	0.138	0.555
万元GDP能耗	-0.988	0.802	0.007
万元GDP水耗	-0.969	0.734	-0.137
万元GDP电耗	-0.968	0.591	-0.0200
工业万元GDP固废排放量	-0.797	0.684	-0.588
单位工业GDP天然气使用率	0.796	-0.095	0.574
工业污水集中处理率	0.725	-0.025	0.669
居民生活中清洁能源的比重	0.392	0.027	0.602
地热资源取暖覆盖率	0.039	0.410	0.981
每万人拥有公共汽车	0.031	0.832	0.518
电动自行车的保有率	0.435	-0.168	0.564
人均绿地面积	0.459	0.245	0.673
蓝绿空间占比	0.080	0.898	0.707
森林覆盖率	0.458	-0.068	0.687

同理,环境系统从4大主成分中提取工业万元GDP废水排放量、城市污水日处理能力、化学需氧量排放强度、生态用水率、空气质量综合指数、PM_{2.5}浓度、PM₁₀浓度、平均地下水埋深度、地下水超采量、地面沉降速率、建筑地基承载力11个指标;社会经济系统从3大主成分中提取人均GDP、规模以上工业总产值、第二产业占GDP比重、城镇居民人均可支配收入、城镇居民人均消费支出、固定资产投资额、城镇化率、人口密度、恩格尔系数、路网密度10个指标。

综上,从资源、环境、生态与社会经济系统中共筛选出最终的48个3级指标构建雄安新区资源环境承载力评价指标体系(图1)。

5 结论

通过分析借鉴区域资源环境承载力评价指标

体系构建的前期研究成果,在深入挖掘雄安新区资源与环境核心特征的基础上,提出了雄安新区资源环境承载力评价指标体系设计的总体思路与主要原则,从资源系统(土地资源、水资源与矿产资源)、环境系统(水环境、大气环境与地质环境)、生态系统(绿色生态,包括绿色治理、绿色生产与绿色生活)与社会经济系统(经济、社会)4个维度,定性地提出反映雄安新区资源与环境承载状况的104项基础性特征指标,在运用相关性分析剔除信息重叠(显著相关)的27项指标的基础上,运用主成分分析法的因子载荷矩阵提炼出影响雄安新区资源环境承载力的主要因子(48项三级基础性指标),设计出针对性较强的雄安新区资源环境承载力评价指标体系,有助于科学、客观地评价雄安新区资源环境承载力。从围绕区域资源与环境的禀赋特征定性地提出若干基础性指标,到运用相关性分析与主成分分析的定量分析法进行指标筛选,相比较之

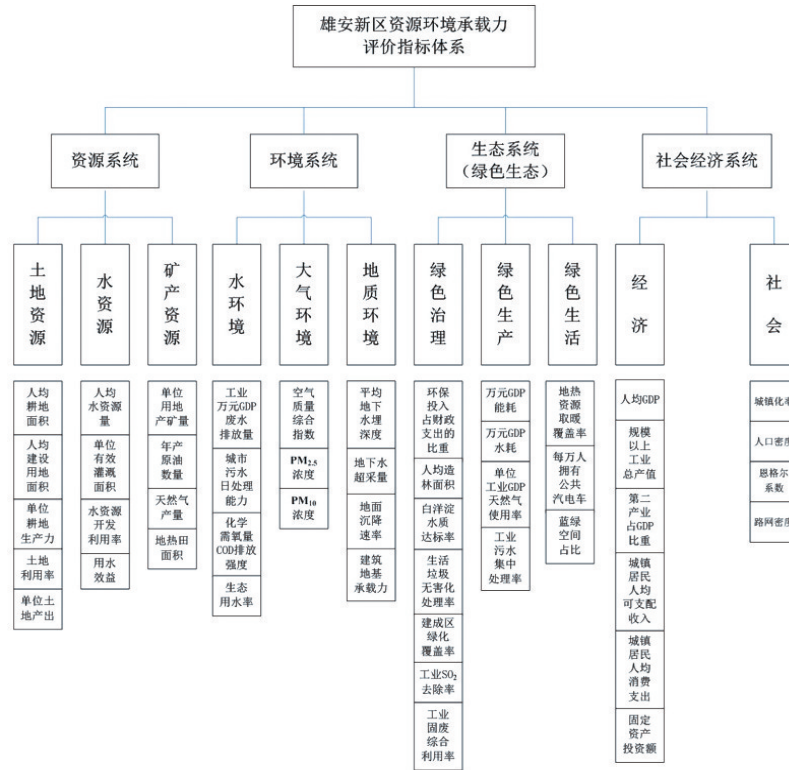


图1 雄安新区资源环境承载力评价指标体系

前区域资源环境承载力评价指标体系选取依靠定性方法,通过定量方法优选筛选的评价指标更能准确地把握区域资源环境承载力的核心要素,为区域资源环境承载力评价指标体系的构建研究提供了思路。

参考文献(References)

[1] 中共河北省委, 河北省人民政府, 国家发展改革委. 河北雄安新区规划纲要[EB/OL]. [2020-05-05]. http://www.xiongan.gov.cn/2018-04/21/c_129855813.htm, 2018-4-21.

[2] 樊杰. 资源环境承载能力评价——国家汶川地震灾后重建规划[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[3] 王红旗. 中国重要生态功能区资源环境承载力评价指标研究[M]. 北京: 科学出版社, 2017.

[4] 李丽红. 承载力评价及生态环境协同保护研究[M]. 石家庄: 河北大学出版社, 2017.

[5] 史宝娟. 资源、环境、人口增长与城市综合承载力[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2014.

[6] 谈迎新, 於忠祥. 基于DSR模型的淮河流域生态安全评

价研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2012, 21(5): 35-39.

[7] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.

[8] 杨俊, 李雪铭, 李永化. 基于DPSIRM模型的社区人居环境安全空间分异——以大连市为例[J]. 地理研究, 2012, 31(1): 135-142.

[9] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于DPSIRM框架的区域水资源承载力综合评价[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 484-493.

[10] Millington R, Gifford R. Energy and how we live[M]. Australian UNESCO Seminar: Committee to Man and Biosphere, 1973: 12-15.

[11] 叶京京. 中国西部地区资源环境承载力研究[D]. 成都: 四川大学, 2007: 12-15.

[12] 董文, 张新, 池天河. 我国省级主体功能区划的资源环境承载力指标体系与评价方法[J]. 地理信息科学学报, 2011, 13(2): 177-183.

[13] Tehrani N A, Makhdoum M F. Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity Load Number (UC-CLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems. Case study: Tehran metropolis[J]. Ecological In-

- dicators, 2013, 32: 197-211.
- [14] 毕明. 京津冀城市群资源环境承载力评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2011.
- [15] 经卓玮. 安徽省资源环境承载力评价体系研究——以合肥市为例[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [16] Dorini F A, Cecconello M S, Dorini L B. On the logistic equation subject to uncertainties in the environmental carrying capacity and initial population density[J]. *Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation*, 2016(33): 160-173.
- [17] Sharomi O, Torre D L, Malik T. A multiple criteria economic growth model with environmental quality and logistic population behaviour with variable carrying capacity[J]. *Information Systems and Operational Research*, 2019(3): 379-393.
- [18] Saveriades A. Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of The Republic of Cyprus[J]. *Tourism Management*, 2000, 21(2): 147-156.
- [19] Graymore M L M, Sipe N G, Rickson R E. Sustaining human carrying capacity: A tool for regional sustainability assessment *Ecological Economic*[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(3): 459-468.
- [20] Swiąder M. The implementation of the concept of environmental carrying capacity into spatial management of cities[J]. *Management of Environmental Quality*, 2018 (6): 1059-1074.
- [21] 柴国平, 徐明德, 王帆, 等. 资源与环境承载力综合评价模型研究[J]. *地理信息科学*, 2014, 16(3): 257-263
- [22] 王奎峰. 山东半岛资源环境承载力综合评价与区划[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015
- [23] 茶增芬. 基于全局主成分分析的罗平县资源环境承载力动态评价研究[D]. 昆明: 云南大学, 2016.
- [24] 焦露, 杨睿, 郭琳. 国家级新区资源环境承载力评估研究——以贵安新区为例[J]. *四川理工学院学报(社会科学版)*, 2017, 32(5): 87-100.
- [25] Sawunyama T, Senzanje A, Mhizha A. Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River Basin using geographical information system (GIS) and remotely sensed surface areas: Case of Mzingwane catchment[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2006, 31 (15): 935-943.
- [26] Leidel M, Niemann S, Hagemann N. Capacity development as a key factor for integrated water resources management (IWRM): Improving water management in the Western Bug River Basin[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 65(5): 1415-1426.
- [27] Widodo B, Lupyanto R, Sulistiono B, et al. Analysis of environment carrying capacity for the development of sustainable settlement in Yogyakarta Urban Area[J]. *Procedia environmental science*, 2015, 28: 519-527.
- [28] 陈万象. 后重建时期灾区资源环境承载力评价研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [29] Coleman W. The opportunity of limits: Global footprint network[D]. Commonwealth of Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 2009.
- [30] Lane M. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27: 1038-1045.
- [31] 樊杰. 国家玉树地震灾后重建规划: 资源环境承载能力评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [32] 王红旗, 田雅楠, 孙静雯, 等. 基于集对分析的内蒙古自治区资源环境承载力评价研究 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 49(2): 292-296.
- [33] 曾浩, 邱焯, 李小帆. 基于动态因子法和ESDA的资源环境承载力时空差异研究——以武汉城市圈为例[J]. *宁夏大学学报(人文社会科学版)*, 2015, 37(1): 153-161.
- [34] 付云鹏, 马树才. 中国区域资源环境承载力的时空特征研究[J]. *经济问题探索*, 2015, 9: 96-103.
- [35] 张翊, 李银富, 茶增芬. 云南山区县域资源环境承载力评价研究——以陇川县为例[J]. *云南地理环境研究*, 2019, 28(2): 29-34.
- [36] 河北省统计局. 河北经济年鉴—2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [37] 保定市统计局. 保定经济统计年鉴—2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [38] 康振海. 河北经济发展报告(2018—2019)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- [39] 马海龙. 宁夏资源环境承载力研究[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [40] 刘蕾. 区域资源环境承载力评价与国土规划开发战略选择研究——以皖江城市带为例[M]. 北京: 人民出版社, 2013.

Study on the construction of evaluation index system of resources and environment carrying capacity of Xiong'an New Area

WANG Qin, ZHANG Yan, YANG Yongfang

Beijing Union University, Beijing 100101, China

Abstract This paper analyzes the inherent characteristics of resources and environment of Xiong'an New Area, in the context of the development planning and positioning of Xiong'an New Area, with the resources system, the environment system, the ecology (green ecology) system, the social and economic system in the first level, using the main principles of sciences, systems engineering, dynamics, human-land relationship coordination and sustainable development, and with the land resources, the water resources, the mineral resources, the water environment, the atmospheric environment, the geological environment, the green governance, the green production, the green life, the economy and the society in the second level and some other factors in the third level. By using the correlation analysis of the SPSS, the duplicated information in the evaluation indexes in the three levels is eliminated and the main influencing factors of resources and environment carrying capacity of Xiong'an New Area are refined through the principal component analysis method and the evaluation indexes are optimized, and the final 48 three-level evaluation indexes are determined. The evaluation index system of resources and environment carrying capacity of Xiong'an New Area constructed by the above method could more accurately reflect the coordinated development degree among resources, environment, ecology, social and economic system, to reveal the driving mechanism of the key elements of resources and environment carrying capacity in Xiong'an New Area.

Keywords Xiong'an New Area; resources and environment carrying capacity; evaluation indexes; principal component analysis method ●



(责任编辑 祝叶华)