文章编号:1000-5854(2026)04-0364-12

地区水环境承载力与科技创新能力适配特征研究

李　晶[1]，　司岷卉[1]，　张思思[2]，　乔友凤[2]，　陈义忠[2]

(1.河北师范大学 地理科学学院,河北 石家庄　050024; 2.河北工业大学 经济管理学院,天津　300401)

摘　要:水环境承载力是研判区域水资源可持续发展能力的重要基础,科技创新能力的提升则是改善环境质量的不竭动力.以河北省新乐市为研究区,构建水环境承载力与科技创新能力评价指标体系,采用障碍度模型剖析其各自影响因素,基于基尼系数与时间匹配度分析 2 者的适配特征.结果表明,2016—2019 年,研究区水环境承载力整体呈稳中向好趋势.水环境承载力与社会经济各项指标间的基尼系数均小于 0.2,2 者协调性较高.其中,水环境与水生态指数是制约该地区水环境承载力提升的关键因素,障碍度高达49%～57%.研究期间,科技创新能力呈现先波动下降、后上升的变化特征,其与社会经济水平的协调性一般,其中科创投入是科技创新能力提升的主要障碍因素.整体上看,科技创新能力与水环境承载力的基尼系数为 0.287,2 者处于较为匹配的状态.

关键词:水环境承载力; 科技创新能力; 影响因素; 适配特征

中图分类号:X 24　　**文献标志码**:A　　**DOI**:10.13763/j.cnki.jhebnu.nse.202505008

Research on adaptation characteristics of regional water environment carrying capacity and sci-technology innovation ability

Li Jing[1]，　Si Minhui[1]，　Zhang Sisi[2]，　Qiao Youfeng[2]，　Chen Yizhong[2]

(1.School of Geographical Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei　050024, China;
2.School of Economics and Management, Hebei University of Technology, Tianjin　300401, China)

Abstract: Water environment carrying capacity is considered as the basis for judging regional water resources sustainably, and improvement of sci-technology innovation ability is an inexhaustible driving force for environmental quality. Taking Xinle city of Hebei province as an example, this paper constructs evaluation index system of water environment carrying capacity and sci-technology innovation ability. A barrier degree model is used for analyzing their influencing factors, and their adaptation characteristics are then measured by the Gini coefficient and temporal matching degree. Results indicate that the water environmental carrying capacity in this area is in a good range and has a trend of continuous improvement during the periods from 2016 to 2019. Its Gini coefficient with socio-economic indicators is less than 0.2, implying that the coordination between the socio-economic indicators and water environmental carrying capacity is relatively high. The water environment and water ecology index is considered as the key factor restricting the water environment carrying capacity in this area with obstruction degree of 49% ～ 57%. Moreover, the sci-technology innovation ability fluctuatly decreases first and then rises, with a general coordination with the socio-economic indicators. Among them, technological innovation investment is the main obstacle to

收稿日期:2024-05-20; **修回日期**:2024-08-19

基金项目:河北省创新能力提升计划项目软科学研究专项(22554204D); 河北省自然科学基金(D2021205010); 河北师范大学科研基金(L2023K03)

作者简介:李　晶(1989-),女,河北石家庄人,讲师,硕士生导师,研究方向为水资源管理与评价.

通信作者:陈义忠(1989-),男,副教授,博士生导师,研究方向为区域可持续发展.E-mail:2019075@hebtu.edu.cn

sci-technology innovation ability. Overall, the Gini coefficient of sci-technology innovation ability and water environment carrying capacity is 0.287, which is in a relatively matching state.

Key words: water environment carrying capacity; sci-technology innovation ability; influencing factors; adaptation characteristics

水环境承载力是指在一定时期内,以污染物和污水容纳量上限为基础,水环境对区域人口、经济及社会活动的支撑能力[1].随着人口不断增长和城镇化的快速推进,水环境承载力锐减等问题逐渐成为影响居民生活质量,甚至制约社会经济发展的关键因素[2].科技创新作为推动经济发展和生态环境改善的重要动力,能够有效促进水环境质量提升.因此,探析科技创新与水环境承载力的演化特征及适配关系,对区域实现绿色可持续发展具有重要现实意义.

目前,众多学者开展了水环境承载力与科技创新能力的相关研究.在水环境承载力方面,常用的评价方法主要有模糊综合评价法[3-4]、系统动力学法[5]及生态足迹法[6]、模型法[7-8]等,研究尺度多集中于市域尺度[9-10]与省域尺度[11].在科技创新能力方面,研究视角多集中于评价测度[12]、影响因素解析[13-14]及提升路径探索[15]等;研究方法多采用层次分析法[16]、模糊评价法[17]、TOPSIS 法[18-19]及秩和比法[20]或多种评价方法相结合[21].关于科技创新能力与生态环境的关系研究,多集中于 2 者耦合协调度评价[22]、驱动机制[23]、动态响应机制[24]等方面,研究尺度多以区域[25]、省域[26]和市域[27]为主.以往研究表明,科技创新能力提升对水环境具有显著影响,如张乐勤等[28]认为科技创新对用水效率具有明显的正向驱动作用,吴兆丹等[29]则证实了科技创新对水环境治理的支撑作用.综合来看,对于水环境承载力与科技创新能力的评价研究,国内外学者已取得了较为丰富的成果,但仍存在 3 个方面的不足:首先,目前尚未形成统一公认的水环境承载力评价方法,相关评价存在一定的主观性,部分方法计算过程较为复杂;其次,现有研究较少关注地区尺度下水环境承载力与科技创新能力的适配特征,而探究 2 者适配关系及其与社会经济发展的协同适配性,能够为区域产业结构调整与人口规模合理控制提供科学决策参考;此外,基尼系数虽能反映科技创新能力、水环境承载力与社会经济发展的整体匹配程度,但仍需结合时间匹配度模型,以刻画地区水环境承载力与科技创新能力适配性的整体特征及时序演化规律.

本文中,笔者以河北省新乐市为研究区,从水资源、污染物排放强度、水环境与水生态 3 个方面选择不同指标,采用层次分析法确定各指标属性和地位,构建相对客观的水环境承载力评价体系;从投入、扩散、产出及环境 4 个方面选取 13 项指标,构建区域科技创新能力评价指标体系;运用基尼系数与时间匹配度模型,剖析 2 者及其与社会经济发展的适配性,并结合障碍度模型识别水环境承载力的主要制约因素,以期为区域水资源合理利用与科技创新能力提升提供决策参考.

1 研究方法与研究区域

1.1 研究区概况

研究区地处河北省西南部,是国家主体功能区规划的重点开发区域,经济发展态势稳定,城市化进程日益加快.2015—2019 年,该地区总用水量增加了 17.76×10^7 m^3,增加量为 2015 年总用水量的 1.04 倍,用水总量增长明显;区域废水治理设施处理能力先提升后下降,并呈持续降低趋势.总体来说,该地区存在水资源供应不足、水环境污染等一系列问题,城镇生活污水与工业废水是污染地区水环境的重要来源.近年来,研究区科技创新潜力进一步释放,科技创新成果不断涌现,规模以上工业企业有效发明专利数由 2015 年的 32 件增至 2019 年的 98 件.但与此同时,区域科技创新能力提升仍存在制约因素:2015—2019 年,新乐市科学技术支出在公共财政支出中的占比由 2.25%降至 0.91%,规模以上工业企业办科研机构数量也下降了 50%.生态质量是经济高质量发展的基础,科技创新是经济高质量发展的驱动力[25],因此,开展地区水环境承载力与科技创新能力评价及适配特征研究,揭示 2 者相互作用关系,可为地区水资源合理利用与优化配置提供参考,对促进地区经济与生态系统协同可持续发展具有重要意义.

1.2 水环境承载力评价

水环境承载力(water environment carrying capacity, WC)受水资源、土地利用、水生态和污染排放等因素的影响,结合地区环境保护“十三五”规划及水环境质量现状,遵循科学性、易获取性、动态性、完整性和避

免重复性等原则，选取水资源指数（WC_1）、排放强度指数（WC_2）、水环境与水生态指数（WC_3）3 个 1 级指标（共 7 个 2 级指标、19 个 3 级指标），计算地区水环境承载力指数[30-32]（见图 1）.水环境承载力指数越大，说明区域水环境系统对社会经济系统的支撑能力越强.为使评价结果更直观，将水环境承载力指数划分为超载（WC 值≤50）、临界超载（50＜WC 值≤70）和不超载（WC 值＞70）3 种类型.

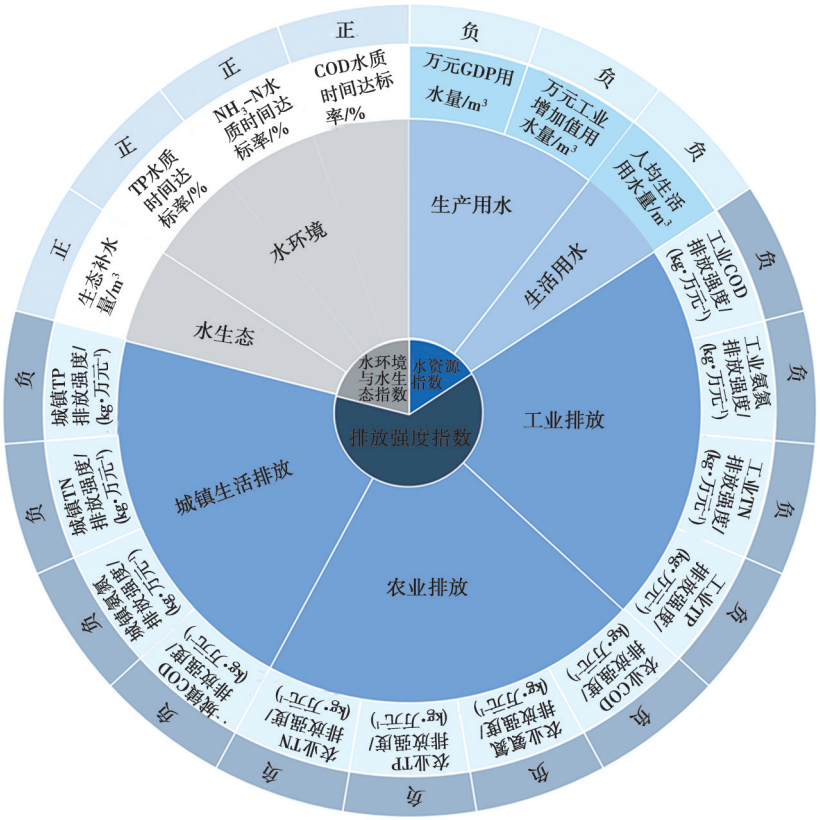


图 1　地区水环境承载力评价指标

Fig.1　Evaluation index of regional water environment carrying capacity

采用层次分析法对水资源指数、排放强度指数、水环境与水生态指数这 3 项 1 级指标的重要度进行评估，得到权重分别为0.141 6、0.524 4和0.334 0.水资源指数方面，用水效率与人均生活用水量 2 项指标平均分配权重；水环境与水生态指数方面，水质时间达标率和生态补水量 2 类指标平均分配权重；排放强度指数方面，根据基础数据可知，农业污染物排放量最小，工业次之，城镇生活污染物排放量占比较大，为主要污染物排放来源.因此，采用相对重要性标度，构建工业、农业和城镇生活污染排放强度的判断矩阵并进行运算，最终得到各评价指标权重，结果见表 1.

为解决各具体指标量纲不同而难以加权综合的问题，需要对各具体指标的属性值进行标准化.基于评价指标原始数据、基础值和目标值，结合评价指标类型（正效应或负效应指标），运用公式计算得到指标分值，评价指标分值均在 0～100.

1）当 $I_i=I_b$ 时，$V_i=60$；当 $I_i=I_t$ 时，$V_i=90$.

2）赋值时考虑

$$V_i=90-\frac{30}{I_t-I_b}(I_t-I_i). \tag{1}$$

式中，V_i 代表评估指标 i 的分值，I_t 为评估指标 i 的目标值，I_b 为评估指标 i 的基础值，I_i 为评估指标 i 的原始数据.当 $V_i<0$ 时，取 0 作为 V_i 的值；当 $V_i>100$ 时，取 100 作为 V_i 的值.其中，基础值和目标值的制定主要是石家庄市某地区相关规划文件制定的发展建设目标、考核标准或规范性文件；对于没有发展建设目标、考核标准或规范性文件规定的指标，基于文献[31-32]确定评估基准，结果见表 1.

表 1　各评价指标权重及评价基准

Tab.1　The weight of each evaluation index and the evaluation benchmark

1 级指标	权重	2 级指标	评价指标	权重	基础值	目标值
水资源指数	0.141 6	生产用水	万元 GDP 用水量	0.035 4	150	50
			万元工业增加值用水量	0.035 4	30	5
		生活用水	人均生活用水量	0.070 8	35	20
排放强度指数	0.524 4	工业排放	工业 COD 排放强度	0.046 4	0.600	0.200 0
			工业 NH_3—N 排放强度	0.046 4	0.070	0.015 0
			工业 TN 排放强度	0.046 4	0.150	0.080 0
			工业 TP 排放强度	0.046 4	0.001	0.000 2
		农业排放	农业 COD 排放强度	0.011 8	60.00	30.00
			农业 NH_3—N 排放强度	0.011 8	1.00	0.50
			农业 TN 排放强度	0.011 8	1.65	1.15
			农业 TP 排放强度	0.011 8	0.25	0.10
		城镇生活排放	城镇 COD 排放强度	0.072 9	3.00	1.00
			城镇 NH_3—N 排放强度	0.072 9	0.50	0.20
			城镇 TN 排放强度	0.072 9	0.85	0.45
			城镇 TP 排放强度	0.072 9	0.05	0.01
水环境与水生态指数	0.334 0	水环境	COD 水质时间达标率	0.055 7	60	90
			NH_3—N 水质时间达标率	0.055 7	60	90
			TP 水质时间达标率	0.055 7	60	90
		水生态	生态补水量	0.166 9	100	10 000

1.3　科技创新能力评价

科技创新能力受多方面因素影响，考虑指标数据的可得性，从投入、扩散、产出及环境 4 个方面选取 13 项指标构建该地区科技创新能力评价指标体系.采用层次分析法与熵权法相结合[9]，对 13 个具体指标重要度进行评估，将层次分析法与熵权法所得权重加以平均，最后得出各评价指标权重(见表 2).基于评价指标原始数据，采用归一化方式[9]对数据进行处理，以确保分析结果的准确性，之后将原始数据转化为无量纲数据(数据区间为[0.044 2，0.133 7]).

表 2　地区科技创新能力评价指标及其权重

Tab.2　Evaluation index of regional sci-technology innovation ability and its weight

准则层	指标层	权重
投入	科学技术支出在公共财政支出中的占比/%	0.045 5
	规模以上工业企业 R&D 人员数/人	0.131 9
	规模以上工业企业 R&D 人员折合全时当量/人年	0.050 9
	规模以上工业企业办科研机构数/个	0.044 6
	规模以上工业企业办科研机构经费支出/万元	0.049 9
扩散	规模以上工业企业 R&D 新产品开发经费支出/万元	0.082 5
	规模以上工业企业技术改造经费支出/万元	0.082 0
产出	规模以上工业企业发明专利申请数/件	0.133 7
	规模以上工业企业有效发明专利数/件	0.044 2
	规模以上工业企业新产品开发产值/万元	0.103 9
环境	一般公共预算支出(教育)/万元	0.084 9
	一般公共预算支出(科学技术)/万元	0.063 5
	金融机构人民币各项贷款余额/万元	0.082 4

1.4 障碍度模型

障碍度测度[33-34]是计算综合评价中各关键制约因素影响程度的重要方法,运用障碍度模型能够剖析水环境承载力与科技创新能力的主要制约因素,为该地区水环境承载力提升及科技创新能力的发展建设提供决策支持.某项指标的障碍度越小,表明区域水环境承载力和科技创新能力受该指标的阻碍作用越弱;障碍度越大,则受该指标的阻碍作用越强.障碍度测算包含因子贡献度与指标偏离度 2 个衡量指标,其中因子贡献度即为各评价指标的权重 w.指标偏离度 P 及障碍度 U 的计算公式为

$$P_{ij1}=1-0.01V_{ij}, \tag{2}$$

$$P_{ij2}=1-V_{ij}, \tag{3}$$

$$U_{ij}=\frac{w_{ij}P_{ij}}{\sum w_{ij}P_{ij}}. \tag{4}$$

式中,P_{ij1}为水环境承载力的指标偏离度,P_{ij2}为科技创新能力的指标偏离度,V_{ij}为评价指标得分,w_{ij}为评价指标权重,U_{ij}为障碍度.

1.5 适配性评价

1.5.1 基尼系数

基尼系数是衡量区域要素匹配均衡程度的重要指标,常用于多指标的适配性研究.为表征社会经济发展、科技创新能力与水环境承载力的匹配状态,引入基尼系数分析社会经济发展、科技创新能力与水环境的平衡关系.选取 2016—2019 年地区生产总值、地区人口总数、用水总量及科技创新能力 4 项指标,与水环境承载力作基尼系数测算,即

$$G_{Rj}=1-\sum_{i=1}^{n}(x_i-x_{i-1})(y_i+y_{i-1}),j=1,2,\cdots,7. \tag{5}$$

式中:x_i表示第 i 年的指标数据累计百分比;y_i表示第 i 年的水环境承载力累计百分比;G_{R_1}代表地区生产总值与水环境承载力的基尼系数,G_{R_2}代表地区人口总数与水环境承载力的基尼系数,G_{R_3}代表用水总量与水环境承载力的基尼系数,G_{R_4}代表地区生产总值与科技创新能力的基尼系数,G_{R_5}代表地区人口总数与科技创新能力的基尼系数,G_{R_6}代表用水总量与科技创新能力的基尼系数,G_{R_7}代表科技创新能力与水环境承载力的基尼系数.

G_R 值越高表示地区生产总值、地区人口总数、用水总量及科技创新能力与水环境承载力的不均衡程度越大.当 $G_R<0.2$ 时为绝对匹配,$G_R=0.2\sim0.3$ 为比较匹配,$G_R=0.3\sim0.4$ 为相对匹配,$G_R=0.4\sim0.5$ 为一般不匹配,$G_R=0.5\sim0.6$ 为较不匹配,$G_R=0.6$ 以上为严重不匹配.

1.5.2 时间匹配度

时间匹配度[35]是描述资源在时间尺度上适配特征的重要指标,广泛应用于水资源利用与经济社会发展匹配程度的量化研究中.基于数列进行匹配度计算:假定研究区分为 K 个单元,分析变量 X 与 Y 的匹配度,(x_k,y_k) 为第 k 个子单元变量 X 和 Y 的值,则空间上的匹配度为

$$a_k=1-\frac{|r_k-s_k|}{\max(r_k,s_k)-\min(r_k,s_k)},k=1,2,\cdots,K, \tag{6}$$

其中

$$r_k=\frac{x_k}{\sum_{k=1}^{K}x_k},s_k=\frac{y_k}{\sum_{k=1}^{K}y_k}.$$

式中:a_k 为第 k 个单元变量 X 与 Y 的匹配度;r_k 为第 k 个单元变量 X 在研究区变量 X 总量中的占比;s_k 为第 k 个单元变量 Y 在研究区变量 Y 总量中的占比.

假定可分为 T 个研究时段,分析变量 X 与 Y 的匹配度,(x_t,y_t)为第 t 个时间段变量 X 和 Y 的值,则时间上的匹配度为

$$a_t=1-\frac{|r_t-s_t|}{\max(r_t,s_t)-\min(r_t,s_t)},t=1,2,\cdots,T, \tag{7}$$

其中

$$r_t=\frac{x_t}{\sum_{t=1}^{T}x_t},s_t=\frac{y_t}{\sum_{t=1}^{T}y_t}.$$

式中：a_t 为第 t 个时间段变量 X 与 Y 的匹配度；r_t 为第 t 个时间段变量 X 在研究区变量 X 总量中的占比；s_t 为第 t 个时间段变量 Y 在研究区变量 Y 总量中的占比.根据上述公式计算结果并借鉴基尼系数划分标准，本文设定如下匹配度评价标准：0～0.5 为极不匹配、0.5～0.6 为不匹配、0.6～0.7 为较匹配、0.7～0.8 为相对匹配、0.8～1.0 为高度匹配.

2 结果分析

2.1 水环境承载力时序特征

该地区水环境承载力(WC)及其专项指标 WC_1、WC_2、WC_3 的时间变化情况如图 2 所示，整体呈波动上升态势.2016—2019 年，WC 值依次为 70.69、67.43、77.81 和 78.49，整体处于较稳定且良好的水平，近 3 a 呈向好发展趋势.2016、2018、2019 年 WC 值＞70(不超载)，处于绿色无警区；2017 年 WC 值＝67.43(临界超载状态)，处于蓝色预警区.从 1 级指标来看，WC_2 数值较高(40 附近)；WC_3 次之，且呈逐步上升趋势，于 2019 年达到峰值(29.67)，这主要得益于 2019 年环境与生态补水量显著增加，有效提升了该指标的标准化数值；WC_1 则维持在较稳定范围内，近几年变化幅度较小.总体而言，“十三五”期间，该区域水环境承载力呈稳中向好态势，多数年份处于未超载状态.2018—2019 年，水环境承载力指数显著提升，水资源配置、污染物排放强度、水环境与水生态方面均得到大幅度改善，较好完成了“十三五”生态环境保护规划目标，为“十四五”时期地区国民经济社会高质量发展奠定了良好的生态环境基础.

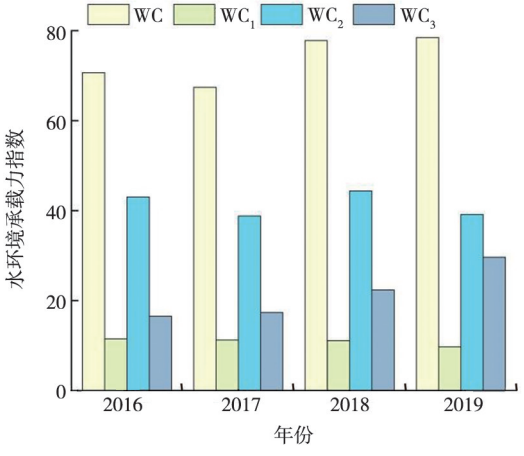


图 2 水环境承载力指数及其子系统得分变化特征

Fig.2 Characteristics of water environment carrying capacity index and its subsystem score change

由图 3a 可知，水资源指数对水环境承载力的障碍度约为 9%～20%，在 3 项 1 级指标中影响最小.其中，人均生活用水量为主要障碍因子，障碍度维持在 6.22%～8.33%，表明该地区需进一步加强节水宣传，提高居民用水效率.值得注意的是，2019 年万元 GDP 用水量对水环境承载力的影响最为显著，这一现象主要与当年该地区 GDP 统计数据存在一定随机误差有关.整体来看，万元工业增加值用水量的障碍度较低，说明该地区工业用水总体较为理想.

由图 3b 可知，2016—2018 年污染物排放强度的障碍度为 32%～42%，变化相对平稳.2019 年障碍度上升至 61.94%，主要与工业 TP 排放强度和城镇 COD 排放强度等指标障碍度增加有关，表明该地区污染排放控制压力在 2019 年有所增大.障碍度占比最大的指标为工业 TP 排放强度，2016—2019 年障碍度测度分别为 15.83%、14.24%、7.07%和 21.57%.工业 NH_3—N 排放强度障碍度次之；工业 COD 排放强度障碍度最小，表明工业 COD 排放并非该地区水环境承载力的主要障碍因子.由此可见，该地区仍需持续优化工业产业布局，提升生产工艺水平，合理控制工业氮磷排放.在城镇生活污染物排放方面，除 2016 年城镇 TP 排放强度障碍度占比最高外，2017 年起城镇 COD 排放强度障碍度最大，并呈逐年上升趋势，说明城镇生活 COD 排放是制约地区水环境承载力的关键因子.这也说明该地区应强化用水监管，提升污水处理能力，严格控制生活污水排放，持续改善水环境质量.总氮在工业与城镇生活污染物排放中的障碍度均处于较低水平，并非该地区水环境承载力的主要制约因素.

由图 3c 可知，2016—2018 年水环境与水生态指数障碍度高达 49%～57%，对区域水环境承载力影响显著.其中，水质时间达标率中 NH_3—N 指标障碍度占比最大，为主要障碍因子.因此，需严格控制该地区监测断面河流 NH_3—N 浓度，加强对 NH_3—N 的监测与治理.TP 水质时间达标率障碍度次之，对水环境承载力

亦存在一定影响.2016—2018 年,生态补水量障碍度(18.75%～23.76%)始终处于较高水平,是制约该地区水环境承载力水平的重要因素.2019 年,该地区城市和环境的生态补水量达 2.045×10^8 m^3,有效提升了水环境承载力水平,生态补水量不再是水环境承载力的障碍因子.

整体来看,2016—2019 年水环境与水生态指数障碍度呈下降趋势,其中 2019 年降幅最显著,为 17.24%,这表明 2019 年地区水环境与水生态质量明显提高,对水环境承载力起到一定的积极作用.

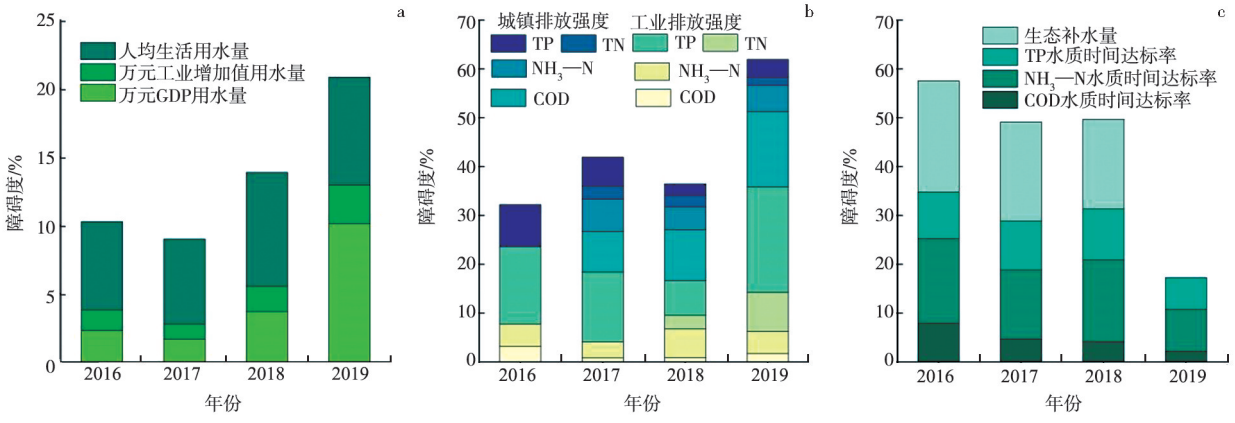


图 3　水环境承载力子系统的障碍因子

Fig.3　Barrier factors of the water environment carrying capacity subsystem

2.2　科技创新能力时序特征

根据科技创新能力评价体系测算,2016—2019 年该地区科技创新能力指数依次为 0.334、0.367、0.231 和 0.365.整体来看,“十三五”期间该地区科技创新能力整体呈平稳上升趋势,2016—2017 年科技创新能力得分高于 0.30;2018 年指数骤降至 0.30 以下,科技创新能力明显下降;2019 年再次回升至 0.30 以上,科技创新能力重回上升态势.这是因为科技创新发展虽有优势地区的带动,但整体发展仍不均衡.各地区科技创新存在结构性差异,由于产业结构的限制,部分地区经济发展仍以传统动能为主,创新主体未能根据自身产业优势开展科技创新,当地经济结构对科技创新支持力度不足.

从专项指标看,2016—2019 年,一般公共预算支出中科学技术部分共减少了 1.93×10^7 元,科学技术支出在公共财政支出中的占比也随之下降了 1.34%.同时,规模以上工业企业 R&D 人员数也呈下降趋势,人员数量减少了近 1/3,企业兴办科研机构数也减少了 1/2,使得研究期内科技创新能力上升缓慢.

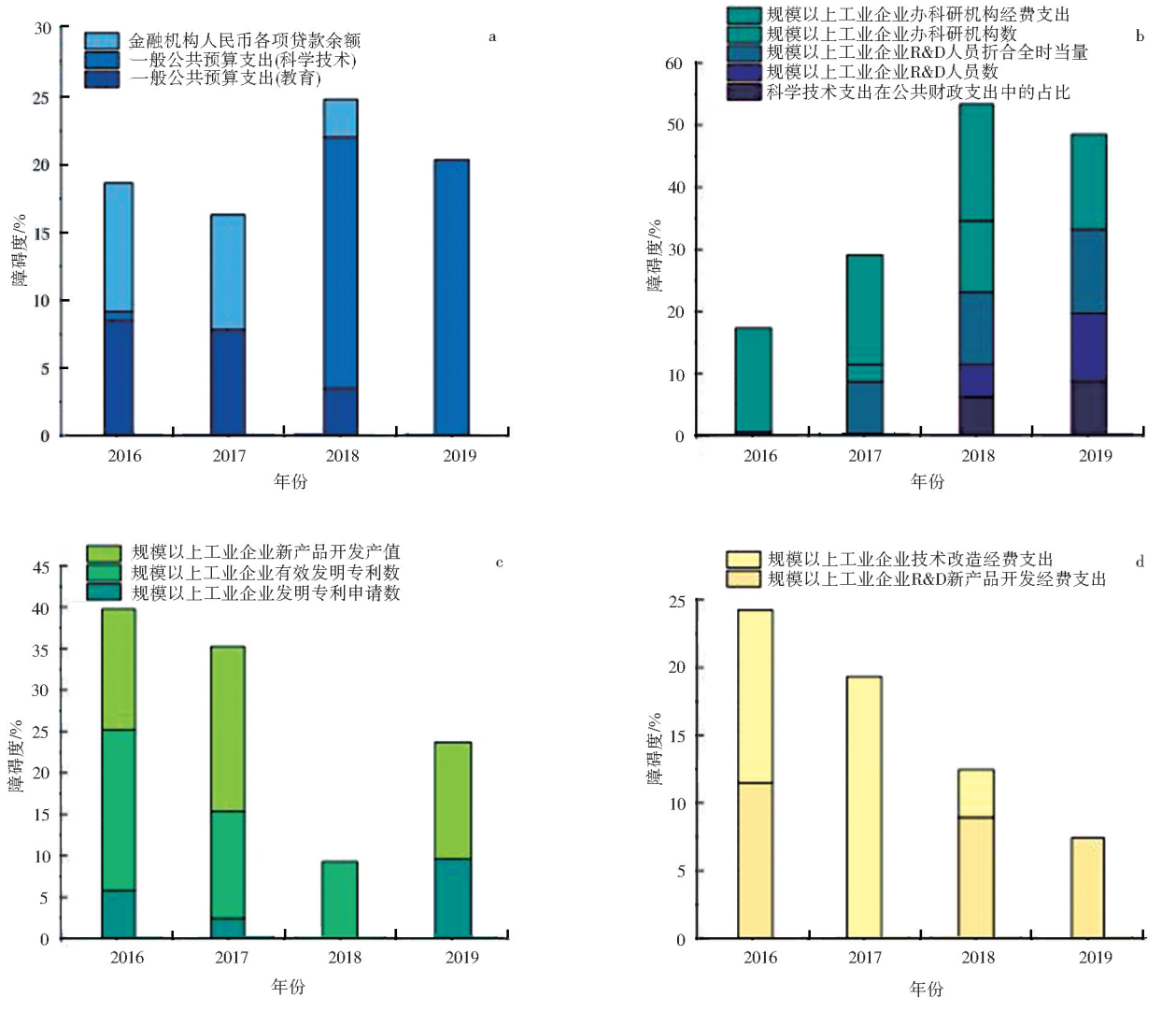
科技创新能力的障碍度分析结果如图 4 所示.2016—2019 年该地区科技创新能力提升的主要障碍因子不断改变,2016 年,首要障碍因素为科创产出,其因子障碍度分别为 5.82%、19.37%和 14.59%;其次是科创扩散,其因子障碍度为 11.49%和 12.74%;科创环境和科创投入的障碍度均低于 20%,对科技创新能力提升的障碍较小.值得注意的是,科创投入的障碍度不断上升.2018 年规模以上工业企业办科研机构经费支出这一因子障碍度达到最高(18.80%),成为科技创新能力提升的主要障碍因素,其中规模以上工业企业办科研机构经费支出的障碍度呈下降趋势,但其余障碍因子均呈逐年上升态势.在科创环境这一障碍因素中,科学技术一般公共预算支出的障碍度不断上升,是主要的障碍因子,这表明该地区需在科学技术方面增加财政投入,为提高地区科技创新能力提供更有力的资金支撑.科创产出的障碍度呈先下降后上升态势,只有规模以上工业企业发明专利申请数的障碍度显著上升至 9.63%,表明在科创产出方面仍应牢牢抓住科技是第一生产力的宗旨,鼓励科技创新产品向生产力的转化.科创扩散对科技创新能力的障碍度呈逐年下降态势,2019 年时不再是科技创新能力提升的主要障碍因素.2019 年综合来看,科学技术一般公共预算支出与规模以上工业企业办科研机构数是科技创新能力提升的最主要障碍因子,需重点予以突破.

2.3　适配性特征

2.3.1　水环境承载力与社会经济发展的匹配关系

根据 2016—2019 年该地区水环境承载力与地区生产总值、地区人口总数及用水总量,分别计算得出地区生产总值-水环境承载力基尼系数 G_{R_1}、地区人口总数-水环境承载力基尼系数 G_{R_2}、用水总量-水环境承载

力基尼系数 G_{R3}.结果显示,G_{R1}、G_{R2}和 G_{R3}的值分别为0.155 7、0.100 8和0.187 1,均小于 0.2,表明 3 项指标与水环境承载力均处于绝对匹配状态.其中:G_{R2}值最小,说明"十三五"期间该区域人口发展与水环境承载力呈高度平衡;G_{R1}值次之,表明研究时段内区域经济发展与水环境承载力具有良好的平衡性;基尼系数 G_{R3}在评估中数值最大,但仍小于 0.2,处于绝对匹配区间,说明该地区用水量与水环境承载力具有较好的平衡性.由此可知,"十三五"期间该地区社会经济发展与水环境承载力具有良好的平衡性,能够为"十四五"时期国民经济发展与生态环境保护奠定良好基础.



a.科创环境; b.科创投入; c.科创产出; d.科创扩散.

图 4 科技创新能力子系统的障碍因子

Fig.4 Impediment factors of the sci-technology innovation ability subsystem

2.3.2 科技创新能力与社会经济发展的匹配关系

根据 2016—2019 年该地区科技创新能力与地区生产总值、地区人口总数、用水总量及水环境承载力,分别计算得出地区生产总值-科技创新能力基尼系数 G_{R4}、地区人口总数-科技创新能力基尼系数 G_{R5}、用水总量-科技创新能力基尼系数 G_{R6}.整体来看,科技创新能力与社会经济发展呈现一般适配性,用水总量是影响 2 者平衡关系的最主要因素.其中:G_{R6}值最大(0.410),处于一般不匹配区间,表明近几年该地区用水总量变化趋势与科技创新能力略有失衡;其次为 G_{R5}(0.322),处于相对匹配区间,表明该地区人口总量变化趋势与科技创新能力的平衡性一般;G_{R4}值最小(0.226),处于比较匹配区间,表明研究时段内该地区经济发展与科技创新能力具有良好的平衡性.

2.3.3 水环境承载力与科技创新能力的关联特征

整体来说,2 者的基尼系数 G_{R7} 为 0.287,表明研究时段内该地区水环境承载力与科技创新能力整体处于较为匹配的状态.从 2 者的时间匹配度来看,2016 年该地区科技创新能力与水环境承载力的匹配度系数为 0.835,介于 0.8～1.0,处于高度匹配状态;而 2017 年和 2018 年分别降至 0.485 和 0.179,均处于极不匹配状态,这可能与该地区一般公共预算科技创新方面支出下降以及规模以上工业企业办科研机构数下降等因素有关;2019 年又升至 0.859,恢复高度匹配状态.

3 结论与建议

3.1 结 论

从水资源指数、排放强度指数及水环境与水生态指数 3 个方面,对研究区域 2016—2019 年地区水环境承载力进行了评估;从科创环境、科创投入、科创产出及科创扩散 4 个方面评价了区域科技创新能力;探究了社会经济发展水平与水环境承载力和科技创新能力之间的匹配关系,分析了水环境承载力与科技创新能力的关联特征,并识别了影响水环境承载力与科技创新能力的关键因素.

1) 2016—2019 年,该地区水环境稳定在较好水平,并呈持续改善趋势,其中水环境与水生态指数是制约水环境承载力的最主要障碍因素.3 级指标中,NH_3—N 水质时间达标率和生态补水量是主要的障碍因子,人均生活用水量、工业 TP 排放强度和城镇生活 COD 排放量是制约该地区水环境承载力水平的关键因素.用水总量与水环境承载力的基尼系数(<0.2)在 3 者中最大,但仍处于绝对匹配区间.总体来看,该地区社会经济发展水平与水环境承载力具有良好的平衡性.

2) 2016—2019 年,该地区科技创新能力评分稳定在 0.2～0.4,处于良好及以上水平,整体呈先下降后上升的趋势.科创投入、科创产出与科创环境是制约科技创新能力提升的关键障碍因素,在 2019 年专项指标中,科学技术一般公共预算支出与规模以上工业企业办科研机构数的障碍度最高,分别为 20.36% 和 15.3%,是制约该地区科技创新能力提升的主要障碍因子.而科创扩散的障碍度呈显著下降趋势,2019 年降至 7.42%.用水总量-科技创新能力的基尼系数(>0.4)最大,属于一般不匹配.总体来看,该地区社会经济发展水平与科技创新能力平衡性良好.

3) 就水环境承载力与科技创新能力适配关系而言,2016 年和 2019 年 2 者处于高度匹配状态,而 2017 年和 2018 年匹配程度较低;从整体基尼系数看,研究期内 2 者总体处于较为匹配状态.

3.2 对策与建议

1) 2016—2018 年,水环境与水生态指数障碍度高达 49%～57%,其中 NH_3—N 水质时间达标率和生态补水量是主要的障碍因子.因此,该地区应严控高耗水行业发展,减轻工业发展对水环境的压力;大力发展绿色农业,减少农药化肥的使用;增强居民节水意识,提高水资源利用效率;提升废污水处理能力,构建水环境质量协同管理体系,加强对水环境承载力的监控与预警.

2) 针对科技创新能力的主要障碍因素,地方政府应加大财政科学技术支出力度,鼓励规模以上工业企业兴办科研机构,增加专利申请和拥有量,不断提高科技创新能力,加快该地区科技成果转化,以科技创新为支撑破解水资源利用与经济发展难题.

3) 强化地表水与地下水的优化配置,创新节水技术与水资源调度模式,提高科技创新能力与水资源承载力的适配性,以期控制用水总量,充分发挥水资源的经济效益和生态效益.

参考文献:

[1] 傅婕,曹若馨,曾维华,等.基于贝叶斯网络的流域水环境承载力超载风险评价:以北运河流域为例[J].环境科学学报,2023,43(3):516-528.DOI:10.13671/j.hjkxxb.2022.0230.
Fu Jie,Cao Ruoxin,Zeng Weihua,et al.Risk assessment of water environmental carrying capacity overloading based on Bayesian network:a case study of the North canal basin[J].Acta Scientiae Circumstantiae,2023,43(3):516-528.

[2] 邓正华,戴丽琦,邓冰,等.洞庭湖流域水资源承载力时空演变分析[J].经济地理,2021,41(5):186-192.DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2021.05.020.

Deng Zhenghua, Dai Liqi, Deng Bing, et al. Spatial-temporal evolution of water resources carrying capacity in Dongting Lake basin[J]. Economic Geography, 2021, 41(5): 186-192.

[3] 刘佳骏,董锁成,李泽红.中国水资源承载力综合评价研究[J].自然资源学报,2011,26(2):258-269.DOI:10.11849/zrzyxb.2011.02.009.
Liu Jiajun, Dong Suocheng, Li Zehong. Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 258-269.

[4] 来雪慧,王小文,徐杰峰,等.基于向量模法的陕南地区水环境承载力评价[J].水土保持通报,2010,30(2):56-59.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2010.02.007.
Lai Xuehui, Wang Xiaowen, Xu Jiefeng, et al. Evaluation of water environment carrying capacity in Southern Shaanxi province based on vector norm method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(2): 56-59.

[5] 徐凯莉,吕海深,朱永华.水资源承载力系统动力学模拟及研究[J].水资源与水工程学报,2020,31(6):67-72.DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2020.06.11.
Xu Kaili, Lü Haishen, Zhu Yonghua. Simulation of water resources carrying capacity based on system dynamics[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2020, 31(6): 67-72.

[6] 门宝辉,蒋美彤.基于生态足迹法的水资源承载力研究:以北京市为例[J].南水北调与水利科技,2019,17(5):29-36.DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0106.
Men Baohui, Jiang Meitong. Research on water resources carrying capacity based on ecological footprint: a case study of Beijing[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(5): 29-36.

[7] 黄睿智.南宁市水环境承载力评价[J].科技和产业,2018,18(3):45-49.DOI:10.3969/j.issn.1671-1807.2018.03.009.
Huang Ruizhi. Evaluation on water-environment carrying capacity in Nanning city[J]. Science Technology and Industry, 2018, 18(3): 45-49.

[8] 张会涓,陈然,赵言文.基于模糊物元模型的区域水环境承载力研究[J].水土保持通报,2012,32(2):186-189.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2012.02.022.
Zhang Huijuan, Chen Ran, Zhao Yanwen. Regional carrying capacity of water environment based on fuzzy matter-element model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(2): 186-189.

[9] 李磊,贾磊,赵晓雪,等.层次分析-熵值定权法在城市水环境承载力评价中的应用[J].长江流域资源与环境,2014,23(4):456-460.DOI:10.11870/cjlyzyyhj201404002.
Li Lei, Jia Lei, Zhao Xiaoxue, et al. Application of the AHP and entropy weight method in evaluation on city water environmental carrying capacity[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(4): 456-460.

[10] 柏义生,陈涛,梁静,等.信阳市水环境承载力评价及优化对策建议[J].环境工程,2019,37(10):78-82.DOI:10.13205/j.hjgc.201910013.
Bo Yisheng, Chen Tao, Liang Jing, et al. Evaluation of water environmental bearing capacity and suggestions for its optimization in Xinyang[J]. Environmental Engineering, 2019, 37(10): 78-82.

[11] 汪嘉杨,翟庆伟,郭倩,等.太湖流域水环境承载力评价研究[J].中国环境科学,2017,37(5):1979-1987.DOI:10.3969/j.issn.1000-6923.2017.05.047.
Wang Jiayang, Zhai Qingwei, Guo Qian, et al. Study on water environmental carrying capacity evaluation in Taihu Lake basin[J]. China Environmental Science, 2017, 37(5): 1979-1987.

[12] 杜英,李晓玲.基于子系统协同度评价的区域科技创新能力测度:以甘肃省为例[J].中国科技论坛,2021(2):91-99.DOI:10.13580/j.cnki.fstc.2021.02.011.
Du Ying, Li Huanling. Measurement of regional scientific and technological innovation capability based on the evaluation of subsystem collaboration degree: illustrated by the example of Gansu province[J]. Forum on Science and Technology in China, 2021(2): 91-99.

[13] 庄岩,刘洋.基于结构方程模型的低年级本科生科技创新能力影响因素研究[J].中国高教研究,2022(4):51-56.DOI:10.16298/j.cnki.1004-3667.2022.04.08.
Zhuang Yan, Liu Yang. The influencing factors of lower grade undergraduates' innovation capability in science and technology based on structural equation model[J]. China Higher Education Research, 2022(4): 51-56.

[14] 汪凡,白永平,周亮,等.中国高校科技创新能力时空格局及影响因素[J].经济地理,2017,37(12):49-56.DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2017.12.007.

Wang Fan, Bai Yongping, Zhou Liang, et al. Spatio-temporal pattern and influencing factors of scientific and technological innovation capability of universities in China[J]. Economic Geography, 2017, 37(12): 49-56.

[15] 范艳萍.郑州市国家中心城市科技创新能力提升路径研究[J].商业经济,2021(9):33-34.DOI:10.19905/j.cnki.syjj1982.2021.09.012.

Fan Yanping. Research on the path of improving the scientific and technological innovation ability of Zhengzhou national central city[J]. Business & Economy, 2021(9): 33-34.

[16] 杨贵梅,张克荣.基于层次分析法的安徽省农业科技创新能力评价[J].成都师范学院学报,2017,33(8):119-124.DOI:10.3969/j.issn.2095-5642.2017.08.119.

Yang Guimei, Zhang Kerong. On evaluation of agricultural science and technology innovation ability of Anhui province based on analytical hierarchy process(AHP)[J]. Journal of Chengdu Normal University, 2017, 33(8): 119-124.

[17] Zeng Z. A novel model for enterprise technological innovation capability evaluation with 2-tuple linguistic information[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2016, 31(1): 541-546. DOI: 10.3233/ifs-162166.

[18] 曹琼,李成标.基于熵权 TOPSIS 法的农业科技创新能力评价:以湖北省为例[J].南方农业学报,2013,44(10):1751-1756.DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2013.10.1751.

Cao Qiong, Li Chengbiao. Evaluation of agricultural science and technology innovation capability based on entropy TOPSIS: a case study of Hubei province[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(10): 1751-1756.

[19] 李瑞,何玉梅,杨锐.基于熵权 TOPSIS 法的科技创新能力评价:以成渝地区双城经济圈为例[J].中国西部,2022(3):69-79.

Li Rui, He Yumei, Yang Rui. Evaluation of scientific and technological innovation ability based on entropy weight TOPSIS method: a case study of Chengdu-Chongqing twin cities economic circle[J]. Western China, 2022(3): 69-79.

[20] 姚红.我国 31 个省市的高校科技产出能力的比较[J].甘肃科技纵横,2017,46(1):4-9.DOI:10.3969/j.issn.1672-6375.2017.01.001.

Yao Hong. Comparison of the scientific and technological output capacity of universities in 31 provinces and cities in China[J]. Scientific & Technical Information of Gansu, 2017, 46(1): 4-9.

[21] 汪本强,陈猛,郑姗姗.基于层次分析-熵权法的安徽省区际间科技创新能力综合评价[J].科技管理研究,2022,42(2):75-83.DOI:10.3969/j.issn.1000-7695.2022.2.010.

Wang Benqiang, Chen Meng, Zheng Shanshan. Comprehensive evaluation of inter-regional scientific and technological innovation capability in Anhui province based on AHP-EWM method[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(2): 75-83.

[22] 谢永琴,刘莉.黄河流域经济发展-科技创新-生态环境耦合协调研究[J].科技促进发展,2021,17(7):1311-1322.DOI:10.11842/chips.20210107004.

Xie Yongqin, Liu Li. Research on the coupling coordination of economic development, technology innovation and ecology environment in the Yellow River basin[J]. Science & Technology for Development, 2021, 17(7): 1311-1322.

[23] 严翔,成长春.长江经济带科技创新效率与生态环境非均衡发展研究:基于双门槛面板模型[J].软科学,2018,32(2):11-15.DOI:10.13956/j.ss.1001-8409.2018.02.03.

Yan Xiang, Cheng Changchun. Research on non-equilibrium relationship between efficiency of regional science & technology innovation and ecological environment in Yangtze River Economic Zone: based on dual-panel threshold model[J]. Soft Science, 2018, 32(2): 11-15.

[24] 严翔,成长春.长江经济带科技创新与生态环境间的动态响应研究[J].南通大学学报(社会科学版),2019,35(5):22-29.DOI:10.3969/j.issn.1673-2359.2019.05.004.

Yan Xiang, Cheng Changchun. Dynamic response between technological innovation and ecological environment of the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Nantong University(Social Sciences), 2019, 35(5): 22-29.

[25] 张强.新乐市企业技术创新能力评价及提升策略研究[D].石家庄:河北地质大学,2018.

Zhang Qiang. Research on evaluation and promotion strategy of technological innovation capability of enterprises in Xinle city[D]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2018.

[26] Wang Y, Deng Q M, Zhang Y H. Research on the coupling and coordinated development of marine technological innovation and marine ecological economic development[J]. Journal of Coastal Research, 2020, 99(SI): 419-427. DOI: 10.2112/SI99-057.1.

[27] 刘江龙,任奕帅,马超群,等.城市创新能力对城市空气质量的影响研究[J].系统工程理论与实践,2022,42(9):2290-2303.DOI:10.12011/SETP2021-0263.
Liu Jianglong,Ren Yishuai,Ma Chaoqun,et al.The impact of urban innovation capability on urban air quality[J].Systems Engineering Theory & Practice,2022,42(9):2290-2303.

[28] 张乐勤,陈素平.基于偏最小二乘通径分析方法的科技创新对用水效率边际效应的测度与分析[J].水利水电科技进展,2018,38(1):55-62.DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2018.01.008.
Zhang Leqin,Chen Suping.Measurements and analysis of marginal effect of water use efficiency by scientific and technological innovation based on PLS-PATH method[J].Advances in Science and Technology of Water Resources,2018,38(1):55-62.

[29] 吴兆丹,王晓霞,吴兆磊,等.科技支撑水环境治理作用机制研究[J].水利经济,2019,37(4):42-47.DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2019.04.012.
Wu Zhaodan,Wang Xiaoxia,Wu Zhaolei,et al.Mechanism of science and technology supporting water environment governance[J].Journal of Economics of Water Resources,2019,37(4):42-47.

[30] 张嘉治,杨建宇,常旭,等.水环境污染事故危险源的危险指数评价与计算方法研究[J].环境保护与循环经济,2011,31(9):59-64.DOI:10.3969/j.issn.1674-1021.2011.09.023.
Zhang Jiazhi,Yang Jianyu,Chang Xu,et al.Study on risk index evaluation and calculation method of hazard source of water environmental pollution accident[J].Environmental Protection and Circular Economy,2011,31(9):59-64.

[31] 乔友凤,李奕曼,陈义忠,等.京津冀地区城镇化与水资源可持续利用的演变及匹配特征[J].水资源与水工程学报,2023,34(3):64-73.DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2023.03.08.
Qiao Youfeng,Li Yiman,Chen Yizhong,et al.Evolution and matching characteristics of urbanization and water resources sustainable utilization in Beijing-Tianjin-Hebei region[J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2023,34(3):64-73.

[32] 李海华,程新惠,丁贺,等.基于 T & SCR 法及层次分析法对黄河流域三门峡市水环境承载力评价研究[J].环境科学与管理,2022,47(5):156-161.
Li Haihua,Cheng Xinhui,Ding He,et al.Evaluation of water environment carrying capacity of Sanmenxia city in Yellow River basin based on T & SCR method and analytic hierarchy process[J].Environmental Science and Management,2022,47(5):156-161.

[33] 刘鹏,焦杨皓,张金鑫,等.基于障碍度模型的高标准农田建设内容研究[J].节水灌溉,2023(3):1-8.DOI:10.12396/jsgg.2022254.
Liu Peng,Jiao Yanghao,Zhang Jinxin,et al.Research on high standard farmland construction content based on obstacle degree model[J].Water Saving Irrigation,2023(3):1-8.

[34] 罗紫薇,胡希军,汤佳,等.基于熵值-TOPSIS 模型的湖南省水资源安全空间评价及障碍因子诊断[J].水资源与水工程学报,2022,33(6):35-45.DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2022.06.05.
Luo Ziwei,Hu Xijun,Tang Jia,et al.Spatial evaluation and obstacle factor diagnosis of water resources security in Hunan province based on entropy weight-TOPSIS model[J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2022,33(6):35-45.

[35] 吴青松,田进宽,左其亭,等.水资源与经济社会发展时空匹配特征量化分析[J].人民黄河,2022,44(2):71-76.DOI:10.3969/j.issn.1000-1379.2022.02.015.
Wu Qingsong,Tian Jinkuan,Zuo Qiting,et al.Quantitative analysis of spatial-temporal matching characteristics between water resources and economic and social development[J].Yellow River,2022,44(2):71-76.

(责任编辑　柴　键)