

南水北调中线工程河南省受水区供水及效益分析

李玉英¹,张鹏成¹,张爱静²,佟佳骏²,徐梦珍³

(1.南阳师范学院 南水北调学院暨水资源与现代农业学院;河南省南水北调中线水源区流域生态安全国际联合实验室,河南 南阳 473061;2.水利部南水北调规划设计管理局,北京 100038;3.清华大学 水利水电工程系;水圈科学与水利工程全国重点实验室,北京 100084)

摘要:为科学评估南水北调中线工程对河南省受水区可持续发展的支撑效能,研究聚焦河南省受水区供水情况及调水资源配置特征并量化其经济效益,基于2015至2023年中线工程供水水量数据和河南省经济社会统计资料,运用统计分析法解析中线工程河南省受水区供水情况及调水资源配置时空分布特征,核算受水区供水经济效益,构建耦合供水情况与供水效益的综合评价体系。研究表明:受水区累计获水212.61亿 m^3 ,供水结构呈现“城镇主导、农业补充”特征,城镇生活与工业供水量、引丹灌区农业灌溉供水量占比分别为61.15%和24.38%;总经济效益达2424.86亿元,城镇供水和农业灌溉贡献分别占91.3%和8.7%。量化评估证实中线工程在保障受水区经济社会发展、破解区域水资源约束、支撑新型城镇化建设方面发挥了重要作用。

关键词:南水北调中线工程;供水情况;供水效益;河南省

中图分类号:TV67

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2026)02-0088-07

南水北调中线工程是缓解京、津、华北地区水资源短缺、优化水资源配置、改善生态环境的重大战略性基础设施^[1]。自2014年通水以来,中线一期工程通过向受水区持续供水,极大改善了沿线生态环境与经济社会发展条件,产生了多维度的综合效益^[2-3]。城镇供水效益与灌溉供水效益作为水利产出效益的核心指标,分别表征工程对城镇生产生活用水保障的贡献度及对农业增产效益的贡献份额^[4]。二者虽同属水资源配置的直接效益,但存在本质差异:城镇供水效益以保障工业、服务业及居民用水为核心,具有高附加值特征;而灌溉供水效益则通过提升农业产量与耕地利用效率实现,需综合考虑粮食安全、增收等社会效益,其经济价值受农产品价格影响。围绕水利工程尤其是重大引调水工程效益分析,众多学者开展了大量的研究,对工程供水效益的评估多采用经济学方法^[5],分析方法呈现显著的学科交叉特征:杨丽等^[6]、聂长山等^[7]基于要素贡献可分离性假设,采用分摊系数法量化了中线工程对北京市二三产业及西部能源基地的供水效益;分摊系数法因能够较为综合地反映效益与投入产出的关系,应用较为广泛。也有学者通过一般均衡模型(CGE)或能值综合指标,侧重模拟工程对区域经济系统的动态联动效应或量化生态-经济的多维协同价值探讨调水工程产生的效益,例如GUO等^[8]基于能值方法的分析表明,2014至2020年西安市工业用水与农业用水在供水效益与单位水资源价值排序中均居于前列;赵晶等^[9]运用CGE模型对中线工程河南段社会经济效益深入剖析,指出2018年中线工程拉动河南省当年GDP增长3.60%;黄显峰等^[10]以能值为量纲计算出东线京津冀地区

收稿日期:2025-03-07;**修回日期:**2025-05-18.

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC3209401-04);中原科技创新领军人才项目(254200510014);高等学校学科创新引智基地项目(D23015).

作者简介:李玉英(1969—),女,河南南阳人,南阳师范学院教授,研究方向为流域生态安全、生态修复等,E-mail:lyying200508@163.com.

通信作者:张鹏成,E-mail:18898191896@163.com.

引用本文:李玉英,张鹏成,张爱静,等.南水北调中线工程河南省受水区供水及效益分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2026,54(2):88-94.(Li Yuying,Zhang Pengcheng,Zhang Aijing,et al.Water supply and benefits analysis of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project in Henan Province[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2026,54(2):88-94.DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2025.03.07.0001.)

生态供水分摊系数为4.08%,反映了生态与经济性能的能值综合指标.在灌溉供水效益计算中,王亦可等^[11]采用分摊系数法对河西走廊农业灌溉效益进行分析.

调水工程持续运营不仅要在工程和技术上提供保障,更要在市场与政策上提供支持.例如,纽约市和南加州供水系统通过动态成本分析和长期合同管理,兼顾城市与农业用水需求,保证调水工程的稳定运行;在经济学层面合理定价需兼顾成本回收、节水激励与公平性,引入水权交易和季节差价等市场化工具提升效率;在政策制定多层级治理体系:主张构建“集中与分散结合”的管理模式,高效运营调水工程^[12].CHEN等^[13]在分析流域间调水供应链协调时指出,当边际成本导致的价格扭曲不可避免时,拉姆齐定价是一种次优解决方案.

南水北调中线工程作为优化我国北方水资源配置的重大基础设施,其多维效益评估与可持续管理策略研究具有重要理论与实践意义.本研究以河南省受水区为对象,采用分摊系数法量化工程供水的经济社会效益,主要基于其方法成熟性、动态分析能力及对多源数据的兼容性,有效解决了传统静态分析中区域异质性刻画不足的问题.通过2015至2023年地市级数据,研究揭示了工程供水在工业高附加值产业与农业增产中的差异化贡献,并定量计算出其效益大小.为分析中线工程综合效益、高效利用中线供水提供科学参考.

1 河南省受水区概况

河南省地处黄河中下游,是区域性综合能源基地、粮食主产区以及交通枢纽.全省下辖17个地级市,常住人口9 815万人,面积16.7万km².河南省水资源严重短缺且时空分布不均,中线工程的建设运行极大地缓解了河南省水资源短缺问题,为河南省经济社会发展提供了重要的水资源保障.

南水北调中线一期工程河南段干渠全长731 km,从淅川县陶岔渠首调水,依次经过南阳、平顶山、许昌、郑州、焦作、新乡、鹤壁和安阳进入河北省,通过中线总干渠39个分水口门及河南省配套工程向12个省辖市和引丹灌区供水^[14].截至2023年12月,河南省已有12个地级市被纳入中线一期工程受水区,人口占全省总人口的71.24%,面积占全省总面积的61.52%(附录图S1).其中,引丹灌区灌溉总面积约1 005 km²,是中线工程向河南省受水区农业灌溉供水的主要区域.

2 研究方法

2.1 研究数据及来源

南水北调中线一期工程河南段供水途径呈现多元态势:一方面经水厂或水库向城市水网输水,以满足城市生产生活之需;另一方面直接为引丹灌区供水,同时还有一小部分适时补给河流湖泊.本研究以12个受水地市为基本研究单元,开展供水情况及供水效益分析,主要数据包括供水数据及经济社会发展数据.河南省12个受水地市供用水数据主要来自各级行政主管部门公布的水资源公报、年鉴;经济社会发展数据主要来自各地市国民经济和社会发展统计公报、统计年鉴、普查资料等^[15-16].中线一期工程2015至2023年供水数据主要收集自河南省水利厅和南水北调中线有限公司.

2.2 城镇供水效益计算方法

本研究采用供水效益分摊系数法^[17]计算受水区总体产生的经济效益,各地市供水效益依据当年供水效益分摊系数与受水量确定,计算公式如下:

$$B = I\alpha \frac{W}{Q},$$

式中, B 为南水北调中线一期工程城镇供水经济效益,亿元; I 为第二及第三产业产值,亿元; α 为供水效益分摊系数. Q 为受水区域城镇总供用水量,亿m³; W 为中线工程受水区域城镇供水量,亿m³.

$$\alpha = \frac{K_{\text{水}}}{K_{\text{工}}},$$

式中, $K_{\text{水}}$ 为供水工程固定资产投资,亿元; $K_{\text{工}}$ 为供水范围内的工业企业固定资产投资,亿元.

$C_{\text{水}}$ 为供水工程固定资产投资形成率; $C_{\text{工}}$ 为供水范围内的工业企业固定资产投资形成率.当 $C_{\text{水}} < C_{\text{工}}$ 时,将 $K_{\text{水}}$ 予以提高,即 $K_{\text{水}} = K_{\text{水原值}}(1 + C_1)$,其中 $C_1 = C_{\text{工}} - C_{\text{水}}$;当 $C_{\text{水}} > C_{\text{工}}$ 时,将 $K_{\text{水}}$ 予以降低,即 $K_{\text{水}} =$

$K_{\text{水原值}}(1 - C_2)$, 其中 $C_2 = C_{\text{水}} - C_{\text{工}}$.

由于中线水与城市供水管网中的其他水混合后共同向用水户供水, 难以精准区分生活供水量、公共设施供水量以及生产供水量. 本研究依据《水利建设项目经济评价规范》(SL72—2013)^[18], 将城镇供水作为整体开展效益分析, 即城镇供水效益.

2.3 灌溉供水效益计算方法

本研究采用农业灌溉效益法计算灌溉供水效益. 计算公式如下:

$$F_{aw} = \frac{I_a}{W_a} \times f_a \times W_{aw},$$

式中, F_{aw} 为农业供水经济效益, 亿元; I_a 为农业产值, 亿元; W_a 为灌区农业总用水量, 亿 m^3 ; W_{aw} 为灌区工程的灌溉供水量, 亿 m^3 ; f_a 为灌溉效益分摊系数. 根据相关文献和河南省农业生产实际情况^[19], 引丹灌区灌溉效益分摊系数 f_a 按 0.372 进行计算.

3 结果与讨论

3.1 中线工程向河南省受水区供水情况

3.1.1 受水区整体供水情况

中线一期工程河南省受水区多年平均口门分配水量 35.74 亿 m^3 (其中 6 亿 m^3 为引丹灌区灌溉分配水量). 按日历年分析中线工程向河南省受水区的实际供水情况, 2015 至 2023 年中线向河南省受水区实际供水情况如表 1.

表 1 2015—2023 年河南省受水区供水量

Tab. 1 Water supply volume in the water receiving area of Henan Province from 2015 to 2023

年份	受水区城镇供水总量/(亿 m^3)	中线工程供水量/(亿 m^3)				中线供水占城镇供水比例/%
		正常供水		生态补水	合计	
		城镇供水	引丹灌区			
2015	54.05	4.18	3.65	0.00	7.83	7.74
2016	58.64	8.19	5.14	0.00	13.33	13.97
2017	50.04	10.66	4.60	2.95	18.21	21.30
2018	55.59	16.74	5.80	4.67	27.21	30.11
2019	47.18	14.78	6.02	1.49	22.29	31.32
2020	43.64	17.07	7.31	5.99	30.37	39.12
2021	40.22	16.74	7.19	7.48	31.41	41.61
2022	36.55	19.62	6.10	6.08	31.80	53.68
2023	37.70	22.02	6.03	2.11	30.16	58.40
合计	423.60	130.00	51.84	30.77	212.61	—
最大	58.64	22.02	7.31	7.48	31.80	58.40
最小	36.55	4.18	3.65	0.00	7.83	7.74
平均	47.07	14.44	5.76	3.42	23.62	30.69

2015 至 2023 年, 中线一期工程累计向河南省受水区供水(含生态补水)212.61 亿 m^3 , 平均每年向受水区供水 23.62 亿 m^3 , 最大供水量 31.80 亿 m^3 , 最小供水量 7.83 亿 m^3 . 其中, 累计向河南省受水区正常供水 181.84 亿 m^3 , 平均每年向受水区正常供水 20.20 亿 m^3 , 最大正常供水量 28.05 亿 m^3 . 河南省受水区正常供水水量呈现逐年波动增长趋势(附录图 S2), 但仍然与口门分配水量有明显差距, 存在较大提升空间.

中线水从最初通水年份的占比 7.74%, 增长至 2023 年的 58.40%, 在受水区形成了外调水、当地水科学统筹、多源互济的供水格局, 极大提高了受水区水资源承载能力, 拓展了区域发展空间, 有效支撑了受水区经济社会的高质量发展. 2015 至 2023 年, 中线工程累计向引丹灌区供水 51.84 亿 m^3 , 平均每年供水 5.76 亿 m^3 , 供水量基本保持稳定, 达到规划供水水平, 提升引丹灌区灌溉保证率, 保障粮食安全.

在保障向河南省受水区正常供水外, 中线一期工程 2017 至 2023 年期间通过总干渠退水闸等持续向境

内 26 条河和 8 个湖库实施生态补水,累计补水量达到 30.77 亿 m³,有效复苏河湖生态环境,支撑区域可持续发展。值得关注的是,生态补水对受水区产生的隐性和长期效益尚未完全量化,但其生态恢复效应已通过以下方面显现:(1)地下水回补效应。持续补水使郑州贾鲁河、新乡卫河等断流河道恢复基流,沿线区域地下水水位普遍回升 1~3 m,缓解了因超采形成的漏斗区;(2)河湖生态廊道重建。白龟湖、鹤壁淇河等补水湖库湿地面积扩大 15%~30%,为候鸟迁徙提供了栖息地,2020 年以来受水区观测到的鸟类物种数量增加 27%;(3)水质净化功能提升。通过 20 亿 m³ 以上的河道冲刷水量,显著降低了郑州金水河、安阳洹河等城市内河的污染物浓度,2023 年监测显示受水河段Ⅳ类水质占比提升至 83%;(4)生态服务价值增值。据卫星遥感反演,受水区植被覆盖度年均增长 0.8%,沿补水河道形成的绿色廊道有效调节了城市热岛效应。这些生态效益虽难以货币化计量,但在水源涵养、生物多样性维持、人居环境改善等方面正持续产生复合效益^[20]。

2015 至 2023 年河南省受水区域镇供水及中线水占比呈现波动增长趋势,其驱动因素主要包括以下方面:

(1)政策调控:自 2014 年通水后,河南省逐步完善配套水价政策与水资源管理制度,例如《河南省南水北调条例》的实施强化了水资源分配优先级,推动中线水向城镇集中供水。2017 年后生态补水政策的落地进一步扩大了中线工程供水范围,直接导致供水量阶段性跃升。

(2)产业结构转型:河南省受水区持续推进产业升级,高耗水工业占比下降,但城镇服务业与高新技术产业快速发展,其对水质和供水稳定性的要求提高,促使中线水在城镇供水中的占比显著提升。

(3)新型城镇化建设:郑州、南阳等城市人口密度持续增加,2023 年郑州市城镇化率已达 79.1%,人口集聚与城市扩张显著推高生活用水需求,倒逼中线工程供水能力提升。

3.1.2 受水地市城镇供水情况

中线一期工程河南省受水区各地市城镇供水情况见图 1 和附录表 S1。

从受水地市供水情况看,河南省尚需统筹考虑省内各受水地市供水格局,通过水权交易、省内指标调剂等方式进一步优化中线水配置,更好地发挥中线一期工程效益。

河南省 12 个受水地市的城镇供水均呈现不同程度的增长趋势,但年度供水情况与规划分配水量相比仍有一定差距,仅郑州、漯河、濮阳等地市接近或达到了规划设计水平。其中,郑州市正常供水水量累计达 48.97 亿 m³,占比达到了 37.67%;主要原因包括:(1)经济与人口集聚效应。郑州市作为国家中心城市和中原经济区核心,2023 年常住人口突破 1 300 万,第二、三产业增加值占全省 30%以上,高密度人口与经济活动导致水资源需求刚性增长。(2)产业结构特征。郑州市电子信息、汽车制造等主导产业属高附加值但中等耗水行业,对供水稳定性敏感;同时,金融、物流等服务业快速发展,其单位水资源经济效益显著高于农业,进一步放大了中线水的边际效益。(3)政策与基础设施优势。郑州市通过水权交易优先获取中线水配额,配套管网覆盖率已达 98%,供水效率居全省首位,2023 年中线水利用量超分配水量 42%,凸显其资源整合能力。通过水权交易等方式,郑州市 2023 年中线水

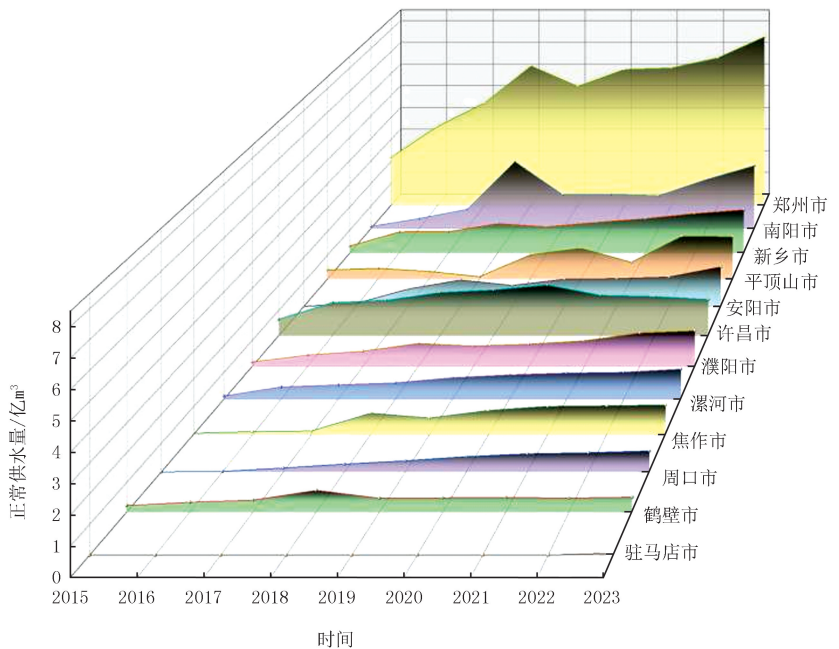


图1 2015至2023年受水区地市中线工程正常供水量

Fig.1 Normal water supply of the middle route in the water receiving area from 2015 to 2023

2023 年中线水利用量超分配水量 42%,凸显其资源整合能力。通过水权交易等方式,郑州市 2023 年中线水

利用量已达 7.67 亿 m^3 , 远超过多年平均口门分配水量 5.40 亿 m^3 . 驻马店市于 2023 年 8 月才开始通水, 累计供水 0.066 亿 m^3 .

3.2 受水区供水效益

3.2.1 城镇供水效益

基于河南省受水区经济社会数据、固定资产投资数据、城镇供水数据, 采用分摊系数法对中线工程河南省受水区逐年城镇供水效益进行计算, 分摊系数及受水区城镇供水效益的计算结果如表 2 所示.

表 2 效益分摊系数计算表

Tab. 2 Calculation of benefit sharing coefficients

年份	二三产业增加值/亿元	分摊系数/%	城镇供水总效益/亿元	中线工程供水效益/亿元	年份	二三产业增加值/亿元	分摊系数/%	城镇供水总效益/亿元	中线工程供水效益/亿元
2015	22 541.42	1.11	277.88	21.51	2021	33 153.3	2.61	886.42	368.85
2016	24 844.48	1.36	409.82	57.26	2022	35 497.56	2.44	844.41	453.25
2017	27 713.18	1.55	486.29	103.56	2023	38 170.44	2.66	1 012.16	591.08
2018	31 063.75	1.86	633.20	190.66	平均	33 436.50	1.88	640.32	246.10
2019	33 467.78	1.60	585.52	183.37	合计	300 928.54	—	5 762.84	2 214.90
2020	33 709.06	1.69	627.11	245.36					

2015 至 2023 年, 河南省受水区供水效益分摊系数平均值为 1.88%, 12 个受水地市城镇供水累计创造效益 5 762.84 亿元, 其中中线工程累计在河南省受水区创造城镇供水效益 2 214.90 亿元. 中线一期工程供水效益随着供水水量的稳步增长日益增多, 从 2015 年的 21.51 亿元增加到 2023 年的 591.08 亿元, 占城镇供水效益的比例从 7.74% 增长到 38.43%, 对河南省城镇供水安全和社会经济发展的支撑作用日益凸显.

根据 12 个受水地市中线一期工程供用水情况, 将城镇供水效益进行分摊, 并开展时空动态变化特征分析(附录图 S3). 郑州市以其较大的中线供水量促使其城镇供水效益高达 808.10 亿元, 占河南省中线工程城镇供水效益的 36.48%, 明显高于其他地市. 通水以来随着经济社会发展需求变化和供水设施逐步完善, 周口市、驻马店市相继被纳入受水区, 并逐渐稳定产生供水效益, 成为供水效益新增的区域增长点. 中线工程供水以其稳定、优质、高效的作用在河南省城镇经济发展和供水安全保障领域发挥了突出作用.

3.2.2 灌溉供水效益

基于引丹灌区农业灌溉用水数据、引调水数据, 对引丹灌区灌溉供水效益进行计算, 结果如表 3 所示. 2015 至 2023 年, 引丹灌区灌溉供水总效益累计达到 231.08 亿元, 其中, 中线一期工程灌溉供水效益累计达到 209.96 亿元. 中线工程灌溉供水效益从通水初期 2015 年的 14.53 亿元增加到 2023 年的 27.23 亿元, 呈现稳步增长的趋势, 平均占引丹灌区总灌溉供水效益的比例为 90.45%, 且有 5 个年份占比达到了 100%. 中线水已逐步成为引丹灌区主要灌溉供水水源, 支撑了区域农业产业发展. 未来灌区有望依托中线水, 进一步拓展效益增长空间, 为区域农业发展提供更为强劲的动力保障.

3.2.3 受水区总供水效益

2015 至 2023 年, 河南省受水区总供水效益从 2015 年的 36.03 亿元增加到 2023 年的 618.31 亿元, 累计达 2 424.86 亿元. 供水效益中灌溉供水效益多年平均为 23.33 亿元, 占比 8.66%, 城镇供水效益多年平均为 246.10 亿元, 占比 91.34%, 多年城镇供水效益始终是中线一期工程供水效益的主要组成部分, 也是主要增长点, 受水区应以城镇供水优化利用为基础, 农业灌溉与种植业水平发展为辅助, 进一步促进中线工程供水效益的提质增效.

各地市累计供水效益如下: 安阳市、鹤壁市、焦作市、漯河市、平顶山市、濮阳市、新乡市、许昌市、周口市、驻马店市累计供水效益分别为 133.74、70.27、95.89、112.83、133.31、126.02、185.91、228.81、57.98 和 1.12 亿元. 郑州市凭借突出的发展优势与资源整合能力供水效益在各地市中最为突出, 累计达到 834.85 亿元, 占河南省中线工程供水效益的 34.41%; 南阳市境内包含引丹灌区, 城镇供水效益和灌溉供水效益的协同作用使得供水效益到达 444.62 亿元, 占河南省中线工程供水效益的 18.34%, 灌溉效益占南阳市供水总效益的 47.22%, 灌溉供水对南阳市中线供水效益的作用显著.

表 3 引丹灌区灌溉供水效益

Tab. 3 Rrigation water supply benefits of the Yindan Irrigation District

年份	农业生产 总值/亿元	中线供水 占比/%	灌溉供水总 效益/亿元	中线灌溉供水 效益/亿元	年份	农业生产 总值/亿元	中线供水 占比/%	灌溉供水总 效益/亿元	中线灌溉供水 效益/亿元
2015	64.52	60.52	24.00	14.53	2021	71.70	100.00	26.67	26.67
2016	65.53	100.00	24.38	24.38	2022	72.15	100.00	26.84	26.84
2017	66.65	73.31	24.79	18.18	2023	73.19	100.00	27.23	27.23
2018	67.45	87.74	25.09	22.02	平均	69.02	90.45	25.68	23.33
2019	69.42	92.46	25.82	23.88	合计	621.18	—	231.08	209.96
2020	70.57	100.00	26.25	26.25					

4 启示与建议

逐步深化水权市场化改革,建立跨区域水权交易平台,允许缺水地区通过经济补偿获取富水地区配额,提升中线水配置灵活性.推动“节水型城市”建设,对高耗水行业征收阶梯水价,推广再生水回用技术,降低城镇供水对中线工程的单一依赖.强化多水源协同调度,构建外调水、当地水、雨洪资源的联合调度系统,优先利用中线水保障城镇与生态需求,当地水侧重农业灌溉.

受统计数据及方法限制,本研究仅计算了城镇供水效益及灌溉用水效益,进行城镇供水效益计算时,无法准确计算出工业企业投资的周期性和随市场供需的变动,以及输水工程在输水能力饱和和前投资波动小等因素对效益分摊的影响.在未来研究里,随着统计数据及方法的日益完善,更准确地计算中线工程综合效益,助力调水工程综合效益评估与高效管理.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2025.03.07.0001).

参 考 文 献

- [1] 刘勇.水资源利用与区域协调发展[J].区域经济评论,2021(5):20-31.
- [2] 李祎雯,侯瑞雪,王莹.南水北调中线工程通水对沿线地区经济增长的影响:基于受水区和水源地的检验[J].长江流域资源与环境,2024,33(6):1168-1181.
LI Y W, HOU R X, WANG Y. Analysis of the impact of the central line project of south-to-north water diversion on the economic growth of regions along the line: based on the testing of water-receiving areas and water-source areas[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(6): 1168-1181.
- [3] SUN K, HUA Y F, HE W B, et al. Impact assessment on the economy, society, resource, and environment in the water-receiving cities of the Middle Route Project of South-to-North Water Diversion[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(60): 90378-90390.
- [4] 蒋燕华,袁文秀,吕馨怡,等.70年来江苏省长江水系水利经济效益分析计算[J].水利规划与设计,2024(4):4-11.
- [5] MA M, ZHAO M. Research on an improved economic value estimation model for crop irrigation water in arid areas: From the perspective of water-crop sustainable development. Sustainability, 2019, 11(4): 1207.
- [6] 杨丽,朱启林,孙静,等.北京市南水北调中线工程供水效益评估[J].人民长江,2017,48(10):44-46.
YANG L, ZHU Q L, SUN J, et al. Water supply benefit evaluation of middle route project of south-to-north water diversion in Beijing City [J]. Yangtze River, 2017, 48(10): 44-46.
- [7] 聂常山,赵宇瑶,王延红.南水北调西线一期工程效益分析[J].人民黄河,2020,42(6):120-124.
NIE C S, ZHAO Y Y, WANG Y H. Benefit analysis of phase I project of west route of south-to-north water diversion[J]. Yellow River, 2020, 42(6): 120-124.
- [8] GUO Z H, WANG N, MAO X L, et al. Benefit analysis of economic and social water supply in Xi'an based on the emergy method[J]. Sustainability, 2022, 14(9): 5001.
- [9] 赵晶,毕彦杰,韩宇平,等.南水北调中线工程河南段社会经济效益研究[J].西北大学学报(自然科学版),2019,49(6):855-866.
ZHAO J, BI Y J, HAN Y P, et al. The socio-economic effect of South-to-North water transfer project on Henan section: a dynamic computable general equilibrium model[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2019, 49(6): 855-866.
- [10] 黄显峰,周玮,阎玮,等.基于能值分析的生态供水效益量化方法[J].水利水电科技进展,2019,39(2):12-15.

- HUANG X F, ZHOU Y, YAN W, et al. Quantifying benefits of ecological water supply based on emergy analysis[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2019, 39(2): 12-15.
- [11] 王亦可, 孙栋元, 杨俊, 等. 河西走廊农业灌溉用水效益评估及其影响因素分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 2025, 60(1): 288-296.
- WANG Y K, SUN D Y, YANG J, et al. Assessment of agricultural irrigation water use efficiency and analysis of influencing factors in Hexi Corridor[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2025, 60(1): 288-296.
- [12] CORKER C E, HIRSHLEIFER J, DE HAVEN J C, et al. Water supply economics, technology, and policy[J]. *Stanford Law Review*, 1961, 13(4): 976.
- [13] CHEN Z S, CHEUNG K C K, TAN M Y. Inter-basin water transfer supply chain coordination with Ramsey pricing[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(19): 3651.
- [14] 柳雅敏, 曾俊, 颜天佑, 等. 南水北调中线工程穿越管廊改建影响分析[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2024, 55(S2): 693-697.
- LIU Y M, ZENG J, YAN T Y, et al. Analysis on the influence of reconstruction of crossing pipe gallery in the middle route of South-to-North Water Transfer Project[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2024, 55(S2): 693-697.
- [15] 河南省统计局. 河南省统计年鉴[EB/OL]. (2014-12-01)[2025-02-01]. <https://tj.henan.gov.cn/tjfw/tjcbw/tjnj/>.
- [16] 河南省水利厅. 河南省水资源公报[EB/OL]. (2015-01-01)[2025-02-05]. <https://slt.henan.gov.cn/bmzl/szygl/szygb/>.
- [17] 成波, 李怀恩, 徐梅梅. 渭河流域关中段工业用水效益分摊系数及效益的时空变化研究[J]. *西安理工大学学报*, 2017, 33(1): 1-6.
- CHENG B, LI H E, XU M M. Temporal and spatial variation of benefit-sharing coefficient and efficiency of industrial water in the Guanzhong section of Weihe River Basin[J]. *Journal of Xian University of Technology*, 2017, 33(1): 1-6.
- [18] 中华人民共和国水利部. 水利建设项目经济评价规范: SL 72-2013[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [19] 王思哲, 丁伟强, 杨亮. 河南省水利科技进步贡献率测算[J]. *中国农村水利水电*, 2021(11): 161-164.
- WANG S Z, DING W Q, YANG L. Calculation of contribution rate of water conservancy science and technology progress in Henan Province[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2021(11): 161-164.
- [20] 中华人民共和国生态环境部. 2023年中国生态环境统计年鉴[EB/OL]. (2014-12-31)[2025-02-01]. https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjk/sthjtnb/202412/t20241231_1099687.shtml.

Water supply and benefits analysis of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project in Henan Province

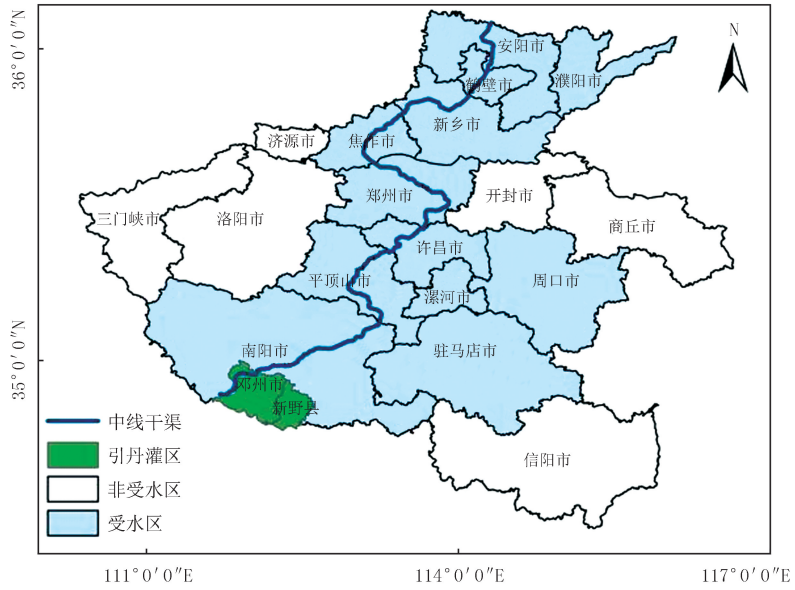
Li Yuying¹, Zhang Pengcheng¹, Zhang Aijing², Tong Jiajun², Xu Mengzhen³

(1. College of South-to-North Water Diversion & College of Water Resources and Modern Agriculture; Henan International Joint Laboratory of Watershed Ecological Security in the Water Source Area of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China; 2. Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Planning and Design, Beijing 100038, China; 3. Department of Water Resources and Hydropower Engineering; National Key Laboratory of Hydrosphere Science and Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To scientifically evaluate the supporting efficacy of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project (SNWDP-MR) in advancing sustainable development within Henan's water-receiving areas, this research focuses on two dimensions: the water supply dynamics and allocation mechanisms of transferred water resources in the region. Based on water supply data from the Middle Route Project from 2015 to 2023 and socio-economic statistics of Henan province, the spatiotemporal distribution characteristics of water allocation in Henan's water-receiving areas are systematically analyzed through statistical modeling, with a coupled evaluation framework being established to integrate water supply pattern analysis and economic benefit quantification. The methodology employs industrial allocation coefficients to ensure precise accounting of water-related economic contributions, with benefit calculations covering direct outputs and ecological externalities. Research findings indicate that the water-receiving areas have received a cumulative water supply of 21 261 billion m³, featuring an "urban-dominated, agriculture-supplemented" allocation pattern (urban domestic/industrial water use and Yindan Canal irrigation account for 61.15% and 24.38%, respectively), while generating total economic benefits of 242 486 billion CNY. Among these, urban water supply and agricultural irrigation contributed 91.3% and 8.7%, respectively, to the overall value creation. This empirical validation highlights the project's critical role in alleviating regional water constraints, supporting new urbanization, and securing water resources for socio-economic advancement.

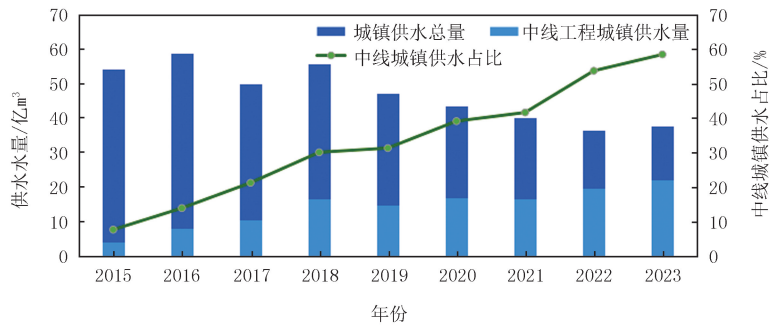
Keywords: the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project; water supply dynamics; water supply benefits; Henan Province

附录



图S1 河南省受水区概况图

Fig.S1 Schematic map of water-receiving areas in Henan Province



图S2 2015至2023年受水区城镇供水情况

Fig.S2 Urban water supply in the water receiving area from 2015 to 2023

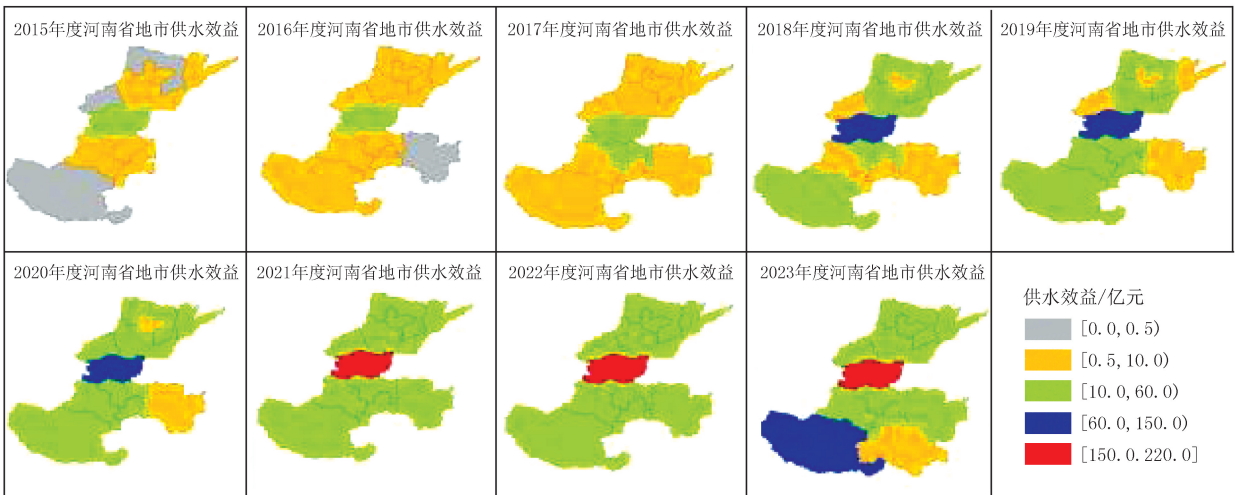
表 S1 受水地市城镇供水情况

Tab. S1 Urban water supply in the water receiving area

亿 m³

受水区域	受水区城镇供水总量	中线一期工程城镇供水量				
		分配水量	供水总量	平均供水	最小供水	最大供水
南阳	62.91	4.91	13.77	1.53	0.09	2.97
漯河	16.42	1.06	6.62	0.74	0.13	1.13
驻马店	2.49	0.40	0.066	0.07	0.07	0.07
周口	29.92	0.83	3.40	0.43	0.02	0.73
平顶山	47.89	2.50	7.82	0.87	0.10	1.80
许昌	27.03	2.26	13.43	1.49	0.65	2.00
郑州	106.34	5.40	48.97	5.44	2.18	7.67
焦作	30.41	2.69	5.63	0.63	0.04	1.07
新乡	38.22	3.92	10.91	0.21	0.30	1.87
鹤壁	10.27	1.64	4.12	0.46	0.22	0.73
濮阳	24.92	1.19	7.40	0.82	0.17	1.37
安阳	26.80	3.34	7.85	0.87	0.01	1.62

注：南阳市供水量不含引丹灌区，周口市、驻马店市分别自 2015 至 2023 年南水北调中线一期工程通水后统计受水区城镇供水总量。



图S3 受水区各地市年度供水效益图

Fig.S3 Water supply benefits in the Henan water receiving area