

詹力炜, 朱永楠, 赵勇, 等. 南水北调受水区生活用水影响因素与节水潜力[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(1): 56-64. ZHAN L W, ZHU Y N, ZHAO Y, et al. Influencing factors of domestic water and water conservation potential in the water import areas of the South-to-North Water Transfer Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(1): 56-64. (in Chinese)

南水北调受水区生活用水影响因素与节水潜力

詹力炜, 朱永楠, 赵勇, 李海红, 师林蕊, 王丽珍

(中国水利水电科学研究院, 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要:为持续推进水资源节约工作,保障南水北调受水区经济社会可持续发展,开展居民用水习惯问卷调查,分析南水北调东线和中线受水区各省(直辖市)居民家庭用水现状及差异特点,识别生活用水的主要影响因素,设计节水情景模拟家庭节水潜力。结果表明,受水区居民用水习惯呈现较明显的地域性差异,其中:天津市和河北省居民整体节水意识较高,河南省和山东省现状人均日用水量比北京市、安徽省和江苏省低 12%;从用水行为上看,家庭洗浴日均用水量浮动范围达 30%,是造成用水差异的主要环节。节水情景模拟结果显示,通过进一步提高居民节水意识、替换高等级节水器具、增强家庭内部废水循环利用等措施,受水区居民人均日用水量可下降 12%~29%。根据受水区各省(直辖市)针对其生活用水特点,提出了进一步开展节水器具普及工作、完善节水管理体制机制、提升居民节水意识以及合理利用废水等节水建议,因地制宜持续推进节水工作。

关键词:居民生活用水;影响因素;节水潜力;南水北调;受水区

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0007

南水北调受水区是我国水资源严重短缺的地区之一。南水北调东中线工程自 2014 年底建成通水后,持续为北京、天津、河北和河南等省(直辖市)的 42 座大中型城市供水^[1],累计调水量已超过 560 亿 m³,有效缓解了水资源短缺的局面。当前,受水区居民生活用水问题已基本得到满足,为践行“节水优先”、诠释“生态文明”,始终坚持“三先三后”原则,持续落实节水是南水北调的长期任务。据《2020 年城市建设统计年鉴^[2]》统计,受水区城市建设供水总量 182.4 亿 m³,其中居民家庭用水 70.2 亿 m³,占供水总量的 38.5%,是受水区用水的主要环节之一。实时跟踪评价通水后受水区家庭生活用水现状,剖析受水区各省(直辖市)家庭生活用水影响因素及存在的问题,进一步挖掘生活节水潜力,对于促进受水区节水管理工作、提高南水北调水资源利用效率具有十分重要的意义。

目前针对南水北调受水区居民生活用水的研究主要包括居民用水量影响因素分析^[3]和节水评价^[4-5]

等方面。刘昌明等^[6]综合研究南水北调中线城市各行业的节水潜力,提出关于生活节水技术与器具的集成技术系统建设,实行需水管理,控制城市用水需求。朱永楠等^[7]构建了能够反映区域用水结构和全社会全过程用水效率的评价指标和评价标准,系统剖析受水区通水前后综合节水情势和各行业节水变化趋势,指出受水区不同地区节水发展水平不均衡,节约用水仍有一定的潜力。石红旺等^[8]基于天津市样本数据,认为用水器具节水程度、居民每周洗浴和拖地次数等用水习惯是影响家庭用水的主要因素。赵卫华^[9]基于北京市样本数据,分析居民用水的规律性特点,认为节水行为的培养对提高居民节约用水具有重要作用。

目前的研究较多关注于区域居民用水量影响因素识别分析^[10-14]与个体用水需求差异分析^[15-17],对于不同地区尤其是南水北调受水区居民家庭用水习惯差异的研究较少。为评价南水北调受水区城市居民的生活用水和节水水平、促进受水区节水工

收稿日期: 2022-09-09 修回日期: 2023-01-13 网络出版时间: 2023-02-03

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20230202.1718.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(52009141); 国家杰出青年科学基金项目(52025093)

作者简介: 詹力炜(1996—),男,安徽人,主要从事城市综合节水研究。E-mail: zlw15765571691@163.com

通信作者: 朱永楠(1985—),女,北京人,高级工程师,博士,主要从事城市综合节水研究。E-mail: zhyn@jwhr.com

作,在南水北调东、中线一期工程的受水区(北京、天津、河北、河南、山东、江苏和安徽)开展居民用水习惯问卷调查,分析受水区居民家庭用水现状及用水结构,基于多元线性回归探究不同地区用水存在的差异及其影响因素,设置节水情景探讨受水区各省(直辖市)居民家庭节水潜力,为制定用水管理政策、促进节约用水提供技术和实践支持。

1 问卷调查

为了解受水区城市居民用水习惯及影响因素,设计了生活用水习惯调查问卷,主要包括居民个人及家庭基本信息、居民用水行为习惯和居民节水意识等3部分。调查对象覆盖各类人群,如:不同年龄段,少年、青年、中年和老年;不同性别,男性和女性;不同学历,初中、高中、本科及以上等;按居家状态划分的不同职业类型:长期居家的如离退休人员、居家办公人员、无业和失业人员等,住校或住家的学生,上班时无固定规律的个体或自由职业人员以及上白班与夜班的职工。在家庭结构选取上,调查对象综合考虑了不同家庭结构类型、家庭收入水平、住房类型及住房面积。居民用水行为习惯调查部分主要包括家庭生活中餐饮、洗浴、洗衣、冲厕、家庭清洁和个人卫生等6类行为的用水习惯,具体包括各类行为的用水频次、用水时长、单次用水量、用水器具规格和用水器具购买年份等,考虑到部分人群生活用水习惯可能受气温等季节差异的影响,问卷还设置了针对冬季及夏季用水习惯的调查。居民节水意识调查部分主要涉及家庭废水利用情况、节水知识了解程度、是否了解自家水费缴纳情况以及是否了解当地水价等信息。

本研究设计的调查问卷共计65个问题,通过线下、线上相结合的方式,在南水北调东中线受水区的北京、天津、河南、河北、山东、安徽和江苏等7个省(直辖市)发放调查问卷,收集时间为2020年10月到2021年4月。回收问卷共1851份,其中,有效问卷1827份,有效率98.7%。有效问卷中北京342份,天津215份,河南358份,河北204份,山东300份,安徽210份,江苏198份。回收的有效问卷中男性与女性比例分别为52%和48%,少年(18岁以下)、青年(18~29岁)、中青年(30~39岁)、中年(40~59岁)和老年(60岁以上)的人数占比分别为7%、20%、30%、34%和9%。

2 研究方法

2.1 居民生活用水计算方法

根据居民家庭水资源使用用途,分别计算餐饮、洗浴、洗衣、冲厕、家庭清洁和个人卫生等6类行为的用水量,主要包括的用水器具有淋浴器、坐便器、洗衣机、厨房水嘴及洗涤水嘴等。通过问卷调查核算受访者生活用水量,居民生活日用水计算公式为

$$R = \sum_{i=1}^6 R_i \quad (1)$$

式中: R 为居民生活用水总量, L/(人·d); R_i 为不同用水行为所用新鲜水的水量, $i=1\sim6$ 分别表示餐饮、洗浴、洗衣、冲厕、清洁和个人卫生等用水行为。

餐饮用水量 R_1 , 包括饮用用水 R_{11} 和烹饪用水 R_{12} 两部分, 表达式为

$$R_1 = R_{11} + R_{12} \quad (2)$$

$$R_{11} = \frac{(E_{11} \times Q_{11} + \frac{Q_{1z}}{7} + \frac{Q_{1t}}{7})}{n} \quad (3)$$

$$R_{12} = \frac{E_{12} \times Q_{12} + E_{13} \times Q_{13}}{n} \quad (4)$$

式中: R_{11} 为饮用用水量, L/(人·d), 根据目前家庭用水习惯, 饮用水来源可细分为自来水烧开水、社区直饮水、桶装水接饮水机、购买瓶装矿泉水等。因此式(3)同时考虑了不同家庭饮用水的来源及饮用水量, 其中 E_{11} 为自来水烧水频次, 次/d; Q_{11} 为烧水壶每壶水量, L, 由厨房水嘴的水效等级^[18]及烧水壶容量综合确定; Q_{1z} 为社区直饮水量, L/周; Q_{1t} 为桶装/瓶装水用水量, L/周; n 为家庭人数; R_{12} 为烹饪用水量, L/(人·d), 包括洗菜、做饭、洗碗相关的用水; E_{12} 为烹饪频次, 次/d; Q_{12} 为洗菜及做饭用水量, L/次; Q_{13} 为洗碗水量, L/次。

洗浴用水量 R_2 , 计算公式为

$$R_2 = \frac{E_2 \times T_2 \times W_2}{7} \quad (5)$$

式中: R_2 为洗浴用水量, L/(人·d); E_2 为洗浴频次, 次/周; T_2 为洗浴时长, min/次; W_2 为淋浴器具水效等级^[19]对应的用水量。

洗衣用水量 R_3 , 包括居民手洗衣物用水及洗衣机用水, 计算公式为

$$R_3 = \frac{E_{31} \times Q_{31} + E_{32} \times W_{32} \times F_3}{7 \times n} \quad (6)$$

式中: R_3 为洗衣用水量, L/(人·d); E_{31} 为手洗衣物频

次,次/周; Q_{31} 为手洗衣物用水量, L/次,手洗衣物用水量由洗涤水嘴的水效等级^[18]及用水量综合确定; E_{32} 为洗衣机使用频次,次/周; W_{32} 为洗衣机的水效等级^[20]对应的用水量; F_3 为洗涤衣物的重量, kg; n 为家庭人数。

冲厕用水量 R_4 , 计算公式为

$$R_4 = E_4 \times W_4 \times [1 - K_2 \times (1 - K_1)] \quad (7)$$

式中: R_4 为冲厕用水量, L/(人·d); E_4 为冲厕频次, 次/d; W_4 为冲便器的水效等级^[21]对应的用水量, 家庭冲厕过程中普遍存在废水再利用、使用中水的情况, 为计算冲厕的新鲜水用量, 问卷调查同时统计了个人冲厕废水与中水的使用情况(K_1)及废水/中水重复利用量占比(K_2), 在公式中 K_1 由 0/1 值表示个人是否有废水冲厕与使用中水的情况, 1 为否, 0 为是, K_2 为废水/中水重复利用量占比, %。

清洁用水量 R_5 , 主要包括对居室内家具、地面、厨房、卫生间等部位进行清扫保洁过程中的用水量, 计算公式为

$$R_5 = \frac{E_5 \times Q_5}{7 \times n} \quad (8)$$

式中: R_5 为清洁用水量, L/(人·d); E_5 为清洁频次, 次/周; Q_5 为清洁用水量, L/次, 清洁用水量由洗涤水嘴的水效等级^[18]及单次用水量综合确定。

个人卫生用水量 R_6 , 主要包括洗手、洗脸和刷牙等个人卫生日常清洁过程的用水量, 计算公式为

$$R_6 = \sum_{i=1}^3 (E_{6i} \times Q_{6i}) \quad (9)$$

式中: R_6 为个人卫生用水量, L/(人·d); E_{61} 、 E_{62} 和 E_{63} 分别为洗手、洗脸和刷牙频次, 次/d; Q_{61} 、 Q_{62} 和 Q_{63} 分别为洗手、洗脸和刷牙用水量, L/次, 由普通水嘴的水效等级^[18]及单次用水量综合确定。

2.2 多元线性回归方法

采用多元线性回归方法^[22-24]对居民生活用水量进行影响因素分析。多元线性回归模型是指有多个解释变量的线性回归模型, 用于揭示被解释变量与其他多个解释变量之间的线性关系。多元线性回归的一般表达式为

$$R = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (10)$$

式中: R 为因变量即居民生活用水量; x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_p 为影响因素自变量即居民属性信息、用水行为用水量和节水意识等 3 方面的数据内容; ε 、 β_0 、 β_1 、 \dots 、 β_p 都是模型中的待定参数, 分别称为随机变量、回归常数和回归系数。随机变量表示在自变量解释

空间内, 预测值和去掉常数项的实际值的误差; 回归常数表示未被自变量解释的且长期存在的非随机部分; 回归系数表示各个自变量对随机变量的影响程度。通过对模型两边求期望得到待定参数的具体值。在模型结果中, 德宾-沃森(Durbin-Watson)检验值用于检验随机误差项是否具有二阶自回归形式的序列相关问题, 当检验值位于 1.8~2.2, 说明数据间相互独立, 符合线性回归独立性条件。方差分析用于两个及两个以上样本均数差别的显著性检验, 当检验结果 P 小于 0.05, 说明构建的回归模型具有统计学意义。

3 结果分析

3.1 受水区居民生活用水现状及结构分析

根据问卷调查数据计算受水区各省(直辖市)居民人均生活用水量, 绘制频率分布直方图与用水量箱线图。结果见图 1。根据 2020 年各省(直辖市)水资源公报^[25]显示, 受水区所在省(直辖市)城镇居民人均生活用水统计值为 120 L/d, 本次问卷调查结果居民人均生活用水量均值为 111 L/d, 二者基本一致。受水区 50% 的居民人均生活用水量集中在 79~135 L/d, 人均用水量小于 79 L/d 的居民分布少用水跨度较小, 人均用水量超过 135 L/d 的居民分布大用水跨度大, 所以受水区整体用水分布呈现正偏离。

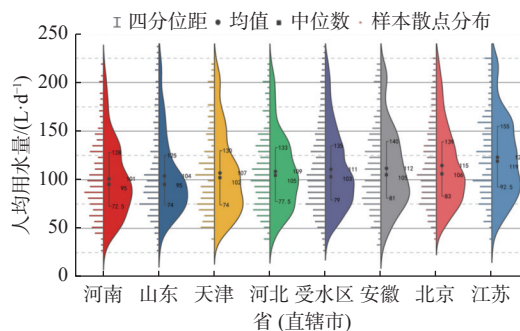


图 1 受水区各省(直辖市)人均生活用水量
Fig. 1 Frequency histogram of per capita domestic water use

分省(直辖市)来看: 河南省、山东省、天津市和河北省人均居民生活用水量较小, 分别为 101、104、107 和 109 L/d; 安徽和江苏等南方省份人均用水量较大, 分别为 112 和 123 L/d; 北京市虽然地处北方, 但其用水表现与南方两省较为接近, 人均用水量为 115 L/d。从各省(直辖市)人均生活用水量分布来看: 河南和山东省的居民用水表现大部分集中分布在人均用水量及以下; 天津、河北、安徽和北京的居民在人均用水量及以上分布数量上不断增加。

四分位距用于表示样本数值排列后第 25% 的数字与第 75% 的数字之间的差距,是一种表征总体稳健状态的统计,观察各省(直辖市)四分位距可知:天津、河北、安徽和北京的居民四分位距人均用水跨度为 56 L/d 左右;江苏样本用水量分布最广,居民四分位距人均用水跨度最大,为 63 L/d。

从用水量类型分析,参考《城市居民生活用水量标准(GB/T 50331—2002)条文说明》^[26](以下简称《说明》)中对人均日用水量的分类划分,将人均用水量按量值从低到高依次分为拘谨型、节约型和一般型 3 类,其中拘谨型为小于 86 L/d,节约型为 86~109 L/d,一般型为 109~138 L/d。通过量值划分 3 种用水类型来反映不同的用水表现发现,受水区样本用水四分位数与《说明》指出的人均用水量划分标准值基本一致,具有很好的参考价值。综合考虑用水实际情况,将人均用水量超过 138 L/d 的用水表现定义为奢侈型用水类型。受水区各省(直辖市)受访者在 4 种用水类型下的人数占比见表 1。

表 1 受水区人均生活用水量用水类型划分及受访者人数占比

Tab. 1 Classification of per capita domestic water use and proportion of respondents %

省(直辖市)	用水类型			
	拘谨型	节约型	一般型	奢侈型
河南	40	25	19	16
山东	40	27	14	19
天津	39	23	15	23
河北	31	26	22	21
安徽	30	23	21	26
北京	27	25	21	27
江苏	23	20	22	35
受水区	31	25	20	24

受水区各省(直辖市)节约型及一般型用水的人数占比差异较小,而拘谨型与奢侈型两类极端用水人数的占比则存在较大差异。其中:河南省、山东省和天津市拘谨型用水人数占比最大,均超过了 35%;江苏省拘谨型用水人数占比则最小,仅为 23%;江苏省奢侈型用水人数占比最大,为 35%;河南省奢侈型用水人数占比最小,为 16%。整体来看:北方省市拘谨型用水人数占比多,奢侈型用水人数占

比少,人均生活用水量较低;南方省市拘谨型用水人数占比有所降低,奢侈型用水人数占比不断增多,人均生活用水量较高。

受水区不同生活用水行为用水量见图 2,总体来看:家庭洗浴用水占比最大,受水区居民人均洗浴用水量为 49 L/d,占日用水量的 45%;其次是用水频次较高的个人卫生与冲厕环节,受水区人均用水量平均值依次为 23、18 L/d,占比为 20% 及 16%;洗衣人均用水量为 14 L/d,占 12%;餐饮和家庭清洁行为用水量较小,人均用水量平均值分别为 4 L/d 和 2 L/d。

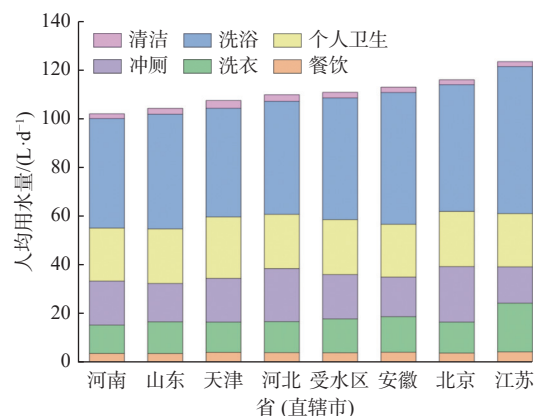


图 2 受水区域各省市居民生活行为用水量累积

Fig. 2 Cumulative diagram of water use for different behaviors of residents

分地区来看,受水区居民在洗浴、洗衣和冲厕等环节用水量存在一定差异。如图 2 所示,人均用水量高的地区,洗浴、洗衣和冲厕用水量普遍偏高。受水区生活用水量最高的江苏省人均洗浴用水量为 60 L/d,而用水量最低的河南省人均洗浴用水平均值则为 45 L/d。北京市、河北省和河南省人均冲厕用水量较高,均值分别为 23、22 和 18 L/d;江苏省和安徽省洗衣用水量较高,人均用水量平均值分别为 20 和 14 L/d;河南省洗衣用水量最低,人均用水量为 11 L/d。

3.2 居民生活用水总影响因素分析

为进一步剖析南水北调受水区居民生活用水量差异的原因,建立多元线性回归模型进行影响因素分析。选择居民属性与节水意识评价、用水器具规格等因素为自变量,受水区各省(直辖市)人均生活用水量为因变量。其中:学历包括初中及以下、高中、大专、本科及以上,分别赋值为 1、2、3、4;职业包括长期居家人员、学生、个体或自由职业、职工,分别赋值为 1、2、3、4;住房类型包括平房、宿舍、

自有房、租房,分别赋值为 1、2、3、4。将定序变量通过赋值的方式作为定距变量纳入模型计算。性别为二分变量,以男为 0、女为 1 进行赋值;是否了解自家用水情况,以是为 0、否为 1 进行赋值;用水器具主要为水嘴、洗衣机、冲便器、淋浴器等,按器具规格及水效等级,综合计算出节水程度等级,从

低到高,分别赋值为 1、2、3、4。模型结果显示,德宾-沃森检验值均位于 1.8~2.2,方差分析检验显著性 P 均小于 0.05,说明构建的回归模型均具有统计学意义。受水区北京、天津、河南、河北、山东、安徽和江苏 7 个省(直辖市)标准化回归系数结果见图 3。

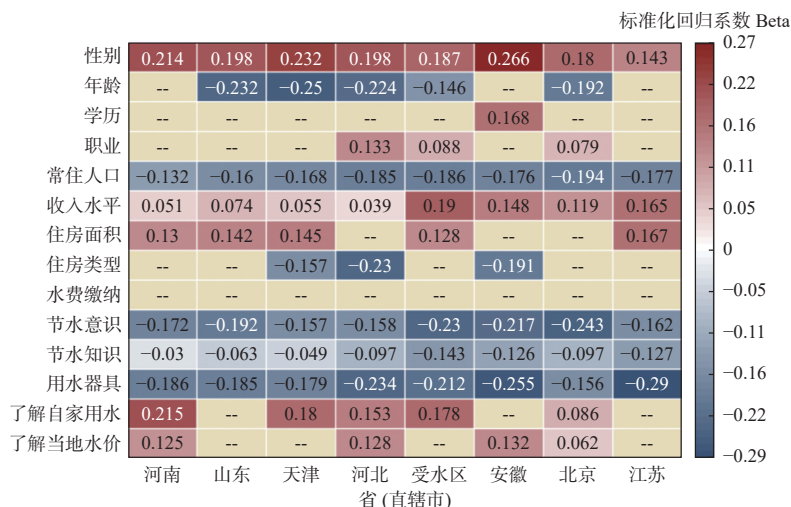


图 3 受水区域各省(直辖市)居民用水影响因素标准化回归系数排序
Fig. 3 Ranking of beta degree of influencing factors

从整体来看:各地(直辖市)居民用水量与性别间均具有显著相关影响,其标准化回归系数值均为正值,表明女性用水量普遍高于男性。常住人口的标准化回归系数值在受水区各省(直辖市)均为负值,表明家庭常住人口数与居民个人用水量呈负相关,家庭常住人口越多,个人平均用水量越少。其中,北京市常住人口的标准化回归系数绝对值最高,为 0.194,说明北京市家庭人口结构对居民用水量的影响表现最大。年龄与居民个人用水量从整体上来看呈现出负相关趋势,通过观察样本结果发现,随着年龄的增长,用水情况表现为先增后减,其中,青年和中年群体用水量最高。居民的收入水平也影响着生活用水量,江苏省标准化回归系数绝对值最高,为 0.165,说明江苏省不同收入水平的居民产生的用水差异最大。从节水意识指标来看,有较高的节水意识与节水知识的居民,生活用水量较少。从居民用水了解程度来看,对自家用水情况和当地水价有一定了解的居民,相比不了解的居民,生活用水量更少。用水器具规格与居民用水量从整体上来看呈现负相关趋势,使用更高等级节水器具的居民生活用水量越少,提高节水器具普及率,节水程度越高。综合以上来看,居民用水量主要受个人的用水习惯、用水器具等多重因素影响。

样本调查显示,受水区居民整体节水意识较高,超过 90% 的居民在洗漱、洗手过程中会关闭水嘴,仅有 8% 的居民对节水知识了解程度较低。从各省(直辖市)来看,天津市和河北省居民整体节水意识最高,不同节水意识的居民生活用水量的跨度较小,对用水量的影响程度较小。北京市居民节水意识相对较低,有 15% 的居民在洗漱和洗手时从不关闭水嘴。北京市不同节水意识的居民生活用水量的跨度较大,对用水量影响程度较高。

3.3 受水区居民生活节水潜力分析

居民用水影响因素分析表明,节水意识和用水器具等对居民用水具有显著影响。为定量分析受水区居民生活节水潜力,从提高居民节水意识、替换更高水效等级节水器具、家庭废水再利用 3 个角度建立节水情景,模拟南水北调东中线受水区各省(直辖市)家庭可节约的水量与用水表现,情景设计见表 2。

对整体受水区与各省(直辖市)分别模拟 4 种节水行为情景,计算结果见图 4。结果显示,居民节水意识整体增强(情景 1)后,受水区人均用水量可降至 97 L/d,奢侈型用水人数占比从 24% 下降至 14%,人均洗浴用水量下降至 40 L/d,人均个人卫生用水

量下降至 20 L/d;受水区全面普及高水效等级节水器具(情景 2)后,受水区人均用水量可降至 87 L/d,奢侈型用水人数降至 6%,洗浴用水量下降最为显著,人均洗浴用水量下降至 34 L/d,洗衣、冲厕和个人卫生等环节人均用水量分别下降至 12、15 和 20 L/d;家庭废水合理利用情景(情景 3)下,受水区人均用水量为 92 L/d,废水合理利用对降低冲厕新鲜用水

具有显著作用。综合各种节水情景(情景 4)中,受水区人均用水量进一步降至 76 L/d,洗浴、洗衣、个人卫生和冲厕人均用水量分别下降至 32、13、19 和 5 L/d。对比各种节水情景来看,情景 1、情景 2 和情景 3 较现状用水分别可降低约 12%、20% 和 16%,综合情景下情景 4 可降低现状用水约 29%。

表 2 节水情景设置
Tab. 2 Water saving scenarios

项目	情景1	情景2	情景3	情景4
节水情景	增强居民节水意识	节水器具普及	家庭废水合理利用	综合节水情景
情景说明	居民在洗浴、个人卫生用水环节及时关闭水嘴;减少过长的洗浴时间	淋浴器、冲便器、厨房水嘴、普通洗涤水嘴等家庭涉水器具水效等级全部替换为 I 级	在日常洗浴、餐饮等用水过程中进行废水收集,用于冲厕、家庭清洁等二次利用	本情景为情景1、情景2、情景3同时实现下的居民综合节水情景
涉及节水用水行为	洗浴、个人卫生	餐饮、洗浴、洗衣、冲厕、家庭清洁、个人卫生	冲厕、家庭清洁	餐饮、洗浴、洗衣、冲厕、家庭清洁、个人卫生
基于调查问卷的受水区现状水平	居民在洗浴、个人卫生用水环节及时关闭水嘴的人数占比为80%、89%平均单次洗浴时长超过20分钟的人数占比10%	I 级水效等级节水器具普及率约为75%	采取过废水重复利用措施的人数占85%,主要表现为收集废水用于浇花、冲厕	
节水情景设置	受水区居民在洗浴、个人卫生用水环节中均具有及时关闭水嘴的习惯,单次用水减少30%;洗浴环节,将超过20 min的用水时间降至为10~20 min	I 级水效等级节水器具普及率达100%	采取废水重复利用措施的人数达100%,收集洗浴、餐饮废水用于冲厕、家庭清洁,废水收集量以每户两个家用水桶共40 L为例	本情景包括了情景1、情景2、情景3的所有设置

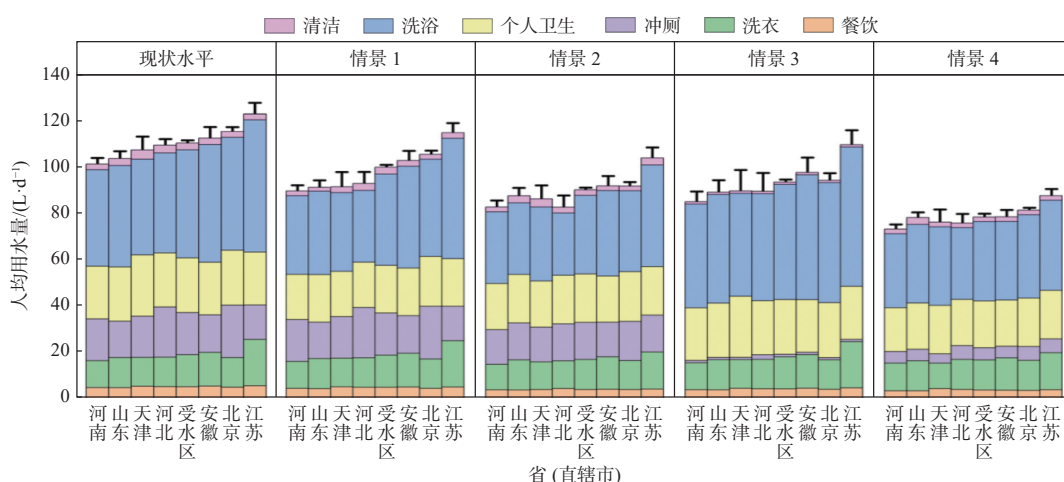


图 4 受水区域各省(直辖市)节水情景模拟结果

Fig. 4 Simulation results of water saving

分省(直辖市)来看:河北省在情景 1 下节水表现最好,居民养成良好用水习惯可使人均洗浴用水量下降至 11 L/d;安徽省、江苏省在情景 2 下节水表

现更好,人均洗浴用水下降幅度最大,达 17 L/d。情景 3 对受水区所有省(直辖市)均有较好的节水效果,其中,北京市采取家庭废水合理利用节水效果最好,

人均可节约冲厕水量 23 L/d; 情景 4 采取综合节水措施后, 南方与北方人均用水量的差距有所缩减, 其中, 江苏省人均可节水量最高, 为 36 L/d, 安徽省和北京市人均可节水量均为 35 L/d, 河北省人均可节水量 34 L/d, 天津市、河南省、山东省人均可节水量分别为 32、29、26 L/d。

4 结论和建议

本研究针对南水北调东中线受水区开展城市生活用水习惯调查, 构建居民生活用水计算方法, 分析受水区居民家庭用水现状及用水结构, 探讨了典型节水情景下受水区各省(直辖市)居民家庭节水潜力, 研究表明:

南水北调东中线受水区居民用水习惯呈现较明显的地域性差异, 北方的河南、山东和天津等省(直辖市)拘谨型用水人数占比较多, 约为 31%~40%, 人均生活用水量较低; 安徽省和江苏省等南方省市奢侈型用水人数占比较多, 约为 26%~35%。从用水行为上来看, 洗浴环节在居民用水中占比最大, 达 45%, 也是造成各省(直辖市)居民用水差异的主要环节, 家庭洗浴用水浮动范围最大, 人均生活用水量最高的江苏省, 其洗浴用水是河南省洗浴用水的 1.4 倍, 用水差异超过 30%。

通过建立多元线性回归模型开展居民生活用水影响因素分析, 发现居民用水量受年龄、性别、家庭常住人口、收入水平、个人用水习惯和用水器具等多重因素影响。有较高的节水意识与节水知识的居民, 生活用水量较少。了解自家用水情况和当地水价的居民, 在用水过程中产生的水量更少。

节水情景模拟结果显示, 在提高居民节水意识、采取废水合理利用和更换 I 级水效等级节水器具的综合节水情景下, 受水区人均用水量可节约 29%, 下降至 76 L/d, 奢侈型用水人数占比由目前的 25% 下降为 5%, 洗浴用水量下降约 28%, 降幅最为显著。

针对以上研究结论, 提出如下建议:

南水北调受水区居民生活节水仍有一定潜力, 需因地制宜持续推进节水工作。河南省和山东省居民现状人均日用水量较小, 分别比受水区人均日用水量低 2%~9%, 建议受水区进一步加强节水宣传教育, 以提高居民节约用水意识, 降低奢侈型用水人数占比。天津市和河北省居民整体节水意识较高, 但仍有一定节水潜力, 建议进一步开展节水器具普及工作, 建立完善的节水管理体制机制, 推进

科技节水。北京市、安徽省和江苏省人均日用水量较大, 其奢侈型用水人数占比较大, 节水工作需从节水宣传、节水器具普及和废水合理利用等综合节水措施的角度同步开展进行。

问卷调查显示, 节水意识是影响居民用水量的主要因素之一, 而主观节水意识与节水效果仍有差距。随着节水管理理念的提升, 未来节水工作需进一步向自动化、智能化和资源化发展。自动化节水器具如自动感应式水龙头和冲便器, 不依附于使用者的节水意识, 可在一定程度上减少生活用水的浪费; 智能化的节水装置, 如智能水表和智能节水器具可实现家庭用水监控; 家庭污水资源化利用, 在降低生活新水取用量的同时, 也能降低生活污水排放量, 是实现水资源合理利用和可持续发展的必然选择。

面对日益增长的家庭生活用水需求, 仍需进一步剖析区域生活用水规律和驱动响应机制, 针对不同用户群体的用水特点与习惯, 研判用水演变规律及关键参数, 深入挖掘生活节水潜力。从末端消费环节提升水科学管理水平, 促进家庭水资源高效利用, 将对保障受水区水资源安全、维持经济社会可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 水利部南水北调规划设计管理局. 中国南水北调工程效益报告[R]. 2020.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2020年城市建设统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社.
- [3] 赵勇, 王丽珍, 王浩, 等. 城镇居民生活刚性、弹性、奢侈用水层次评价方法与应用[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2020, 28(6): 51-60. DOI: 10.16058/j.issn.1005-0930.2020.06.005.
- [4] SHI L R, WANG L Z, LI H H, et al. Impact of residential water saving devices on urban water security: The case of Beijing, China[J]. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2022(8): 326-342. DOI: 10.1039/d1ew00669j.
- [5] 穆泉, 张世秋, 马训舟. 北京市居民节水行为影响因素实证分析[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2014(3): 587-594. DOI: 10.13209/j.0479-8023.2014.078.
- [6] 刘昌明, 左建兵. 南水北调中线主要城市节水潜力分析与对策[J]. *南水北调与水利科技*, 2009, 7(1): 1-7. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2009.01.005.
- [7] 朱永楠, 王庆明, 任静, 等. 南水北调受水区节水指标

- 体系构建及应用[J]. *南水北调与水利科技*, 2017, 15(6): 187-195. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2017.06.027](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2017.06.027).
- [8] 石红旺, 赵勇, 屈吉鸿, 等. 天津市城市居民用水行为调查及影响因素识别[J]. *水电能源科学*, 2015, 33(6): 143-147.
- [9] 赵卫华. 居民家庭用水量影响因素的实证分析: 基于北京市居民用水行为的调查数据考察[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(4): 137-142. DOI: [10.13448/j.cnki.jalre.2015.130](https://doi.org/10.13448/j.cnki.jalre.2015.130).
- [10] 王海叶, 赵勇, 李海红, 等. 北京市居民家庭生活用水规律调查分析[C]// 2016中国(宁夏)国际水资源高效利用论坛论文集, 2016: 7-16.
- [11] LEE M, TANSEL B, BALBIN M. Urban sustainability incentives for residential water conservation: Adoption of multiple high efficiency appliances[J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(7): 2531-2540. DOI: [10.1007/s11269-013-0301-8](https://doi.org/10.1007/s11269-013-0301-8).
- [12] STEVENSON E, AMBELU A, CARUSO B, et al. Community water improvement, household water insecurity, and women's psychological distress: An intervention and control study in Ethiopia[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): 1-13. DOI: [10.1371/journal.pone.0153432](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153432).
- [13] SALLY V, CHRISTOF K. Exploring the psychosocial and behavioural determinants of household water conservation and intention[J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2020, 36(6): 940-955. DOI: [10.1080/07900627.2019.1638230](https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1638230).
- [14] 师林蕊, 朱永楠, 李海红, 等. 北京居民用水调查及节水潜力[J/OL]. *南水北调与水利科技(中英文)*: 1-12. (2022-08-10.)
- [15] 姜海珊, 赵卫华. 北京市居民用水行为调查分析及节水措施[J]. *水资源保护*, 2015, 31(5): 110-113. DOI: [10.3880/j.issn.10046933.2015.05.021](https://doi.org/10.3880/j.issn.10046933.2015.05.021).
- [16] PRICE J, CHERMAK J, FELARDO J. Low-flow appliances and household water demand: an evaluation of demand-side management policy in Albuquerque, New Mexico[J]. *Journal of Environmental Management*, 2014, 133: 37-44. DOI: [10.1002/2014WR016821](https://doi.org/10.1002/2014WR016821).
- [17] TORRES M, CARLSSON F. Direct and spillover effects of a social information campaign on residential water-savings[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 92(11): 222-243. DOI: [10.1016/j.jeem.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.005).
- [18] GB 25501-2019, 水嘴水效限定值及水效等级[S].
- [19] GB 28378-2019, 淋浴器水效限定值及水效等级[S].
- [20] GB 12021.4-2013, 电动洗衣机能效限定值及用水效率等级[S].
- [21] GB 28379-2012, 便器冲洗阀用水效率限定值及用水效率等级[S].
- [22] 苏为华. 多元统计分析软件SPSS的使用方法简介[J]. *浙江统计*, 1995(10): 20-22.
- [23] 张雅君, 刘全胜, 冯萃敏. 多元线性回归分析在北京城市生活需水量预测中的应用[J]. *给水排水*, 2003(4): 26-29. DOI: [10.13789/j.cnki.wwe1964.2003.04.008](https://doi.org/10.13789/j.cnki.wwe1964.2003.04.008).
- [24] 戴金辉, 袁靖. 单因素方差分析与多元线性回归分析检验方法的比较[J]. *统计与决策*, 2016(9): 23-26. DOI: [10.13546/j.cnki.tjyjc.2016.09.005](https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyjc.2016.09.005).
- [25] 中华人民共和国水利部. 水资源公报(2020)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, (2020).
- [26] GB/T 50331-2002, 城市居民生活用水量标准条文说明[S].

Influencing factors of domestic water and water conservation potential in the water import areas of the South-to-North Water Transfer Project

ZHAN Liwei, ZHU Yongnan, ZHAO Yong, LI Haihong, SHI Linrui, WANG Lizhen

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China)

Abstract: The South-to-North Water Transfer area was one of the serious shortage of water resources in China. To continuously promote the work of water resources conservation and ensure the sustainable economic and social development of the South-to-North Water Transfer area, it is of great significance to track and evaluate the current situation of domestic water use in the water demand area in real-time, analyze the influencing factors and existing

problems of domestic water use in all provinces and cities in the water demand area, and further tap the potential of domestic water-saving, to promote the water-saving management in the water demand area and improve the utilization efficiency of water resources in the South-to-North Water Transfer Project. This study was conducted based on a questionnaire survey on residents' water consumption habits and adopted a multiple linear regression method to analyze the current situation and differences in household water consumption in provinces and cities in the eastern middle route of the South-to-North Water Transfer Project, identified the main influencing factors of domestic water consumption, and designed water-saving scenarios to simulate the water-saving potential of households. The results show that :1. There were obvious regional differences in the water consumption habits of residents in the eastern middle route of the South-to-North Water Transfer Project. In some northern provinces, Henan, Shandong, Tianjin, and other provinces, the number of people who use water prudently accounts for 27% to 40%, and the per capita domestic water consumption was relatively low. Anhui Province, Jiangsu Province, and other southern provinces and cities account for more luxury water users, about 26%-35%. From the perspective of water consumption behavior, the bathing link accounts for the largest proportion of 45%, which was also the main link causing the difference in water consumption among provinces and cities, and the main segment causing differences in residential water use between provinces and municipalities. The range of fluctuations in water use for domestic bathing was the largest, and the difference in daily per capita bathing water use was over 30%, which was the main segment causing differences in water use. 2. Through the establishment of a multiple linear regression model to analyze the influencing factors of residents' water-saving awareness, it was found that residents' water consumption was greatly affected by multiple factors, such as age, gender, household resident population, income level, personal water consumption habits, and water use equipment. Residents with a high level of awareness and knowledge of water conservation use less water for domestic purposes. Residents who were aware of their water use and local water prices generated less water in the course of their use. 3. The simulation results of water-saving scenarios showed that under the comprehensive water-saving scenario of improving residents' water-saving awareness, adopting rational utilization of wastewater, and replacing water-saving appliances with class I water efficiency, the daily water consumption per capita in the water receiving area could be reduced by about 12%-29%. The results of this study had a certain reference value for formulating water management policies, promoting water conservation, and formulating rational water resource planning. Facing the growing demand for domestic water, it is still necessary to further analyze the laws and characteristics of regional domestic water, realize the refined exploration of water load through user classification research, improve the level of scientific water management from the end consumption link, and promote the efficient use of household water resources. It will be of great significance to ensure the safety of water resources in the receiving area and maintain sustainable economic and social development.

Key words: residential water consumption; influence factor; water conservation potential; South-to-North Water Transfer Project; water import area