



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2017.06.027

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. ZHU Y N, WANG Q M, REN J, et al. The construction and application of water saving index system in the South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 187-195. (in Chinese)

# 南水北调受水区节水指标体系构建及应用

朱永楠<sup>1</sup>, 王庆明<sup>1</sup>, 任静<sup>2</sup>, 赵勇<sup>1</sup>, 杨伟<sup>2</sup>

1. 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;  
2. 国务院南水北调工程建设委员会办公室, 北京 100038)

**摘要:** 南水北调受水区是我国水资源最为短缺的地区之一。按照实行最严格水资源管理制度的要求, 面向“节水优先”的国家水安全保障战略, 开展受水区节水分析。基于对现有节水评价指标分析的基础上, 构建了能够全面反映区域用水结构和全社会全过程用水效率的评价指标与评价标准。采用单一指标评价法, 系统剖析受水区通水前后(2003-2015年)综合节水情势和各行业节水变化趋势, 并利用所构建的综合评价体系对2015年受水区县、市用水效率进行综合评价。评价结果显示近年来, 受水区大力节水, 用水效率大幅度提高, 但与国际先进节水水平相比较, 受水区节水工作还存在很多改进空间, 节约用水仍有一定潜力。

**关键词:** 节水; 南水北调; 指标体系; 综合评价; 节水成效

**中图分类号:** TV 213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)06-0187-09

## The construction and application of water saving index system in the South to North Water Transfer Project

ZHU Yongnan<sup>1</sup>, WANG Qingming<sup>1</sup>, REN Jing<sup>2</sup>, ZHAO Yong<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>2</sup>

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

2. Office of the South to North Water Diversion Project Commission of the State Council, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The water receiving areas of the South to North Water Transfer Project are suffering the most serious water shortage. We analyzed the water conservation in the water receiving areas in accordance with the requirements of the most stringent water resources management system and the national water security strategy of giving priority to water conservation. Based on the analysis of the existing water saving evaluation indexes, we constructed evaluation indexes and standards that can comprehensively reflect the regional water consumption structure and the whole process water utilization efficiency of the whole society. By adopting the single index evaluation method, we systematically analyzed the comprehensive water saving situation and water saving trends of different industries in the water receiving areas before and after the water supply (from 2003 to 2015), and we used a comprehensive evaluation system to evaluate the water utilization efficiency of the water receiving counties and cities in 2015. The results showed that in recent years, the water receiving areas made great efforts to save water and improved their water utilization efficiency substantially. However, compared with international advanced water saving level, the water saving work of these water receiving areas still needs to be improved and has much potential to be explored.

**Key words:** water saving; South to North Water Transfer; index system; comprehensive evaluation; water saving effect

收稿日期: 2017-02-10 修回日期: 2017-09-08 网络出版时间: 2017-11-15

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171115.0820.002.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401407; 2016YFE0102400); 中国水科院基本科研业务费项目(WR0145B622017); 国家自然科学基金(51379216)

Funds: National Key R & D Project(2016YFC0401407; 2016YFE0102400); Basic Research Fund Project of China IWHR(WR0145B622017); National Natural Science Foundation of China(51379216)

作者简介: 朱永楠(1985-), 女, 北京人, 工程师, 博士, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: zhyn@iwhr.com

南水北调东中线工程受水区人均本地水资源量不足  $240 \text{ m}^3$ , 是我国水资源最为短缺的地区<sup>[1-2]</sup>, 即使加上南水北调东线、中线一期调水量, 受水区人均水资源量也只有约  $280 \text{ m}^3$ , 仅为全国平均水平的 13%。

2000年9月, 在南水北调工程规划座谈会上, 朱镕基总理提出了“三先三后”的总体指导原则, 即“先节水后调水、先治污后通水、先环保后用水”<sup>[3]</sup>, 并要求在加紧组织实施南水北调工程的同时, 持续节约用水以避免资源浪费。2002年, 国务院批复原则同意《南水北调工程总体规划》<sup>[4]</sup>, 再次提出了“三先三后”原则, 并拟定了节水、治污和生态保护相关的政策和措施<sup>[5]</sup>。2014年国务院颁布的《南水北调工程供用水管理条例》<sup>[6]</sup>中规定“南水北调工程水量调度遵循节水为先、适度从紧的原则”。在南水北调东中线一期工程相继通水的背景下, 面向“节水优先”的国家水安全保障战略, 全面开展受水区节水评价, 系统评估受水区是不是始终坚持“节水优先”的原则, 科学评判受水区现状节水水平与未来工作重点, 对于促进受水区深度节水 and 外调水的高效利用, 持续贯彻落实“三先三后”的原则具有重要的意义。

## 1 节水评价工作梳理

水资源短缺是制约我国社会经济可持续发展的重要因素之一<sup>[7-11]</sup>, 国家长期以来一直致力于全面加强节约用水管理, 而节水评价是考评节水成效的重要手段, 目前我国学者针对城市、工业和农业节水均开展了一系列指标性体系研究<sup>[12-19]</sup>。影响最广的主要有水利部制定的国家节水型社会评价<sup>[20-21]</sup>、建设部发布的节水型城市评价<sup>[22]</sup>以及国务院办公厅出台的最严格水资源管理制度实施考核<sup>[23]</sup>等工作。

2005年水利部组织制定了《节水型社会建设评价指标体系(试行)》<sup>[24]</sup>, 该体系设计了五类共32项评价指标, 其中包括综合性指标、节水管理、生活用水、生产用水、生态指标等, 并以办资源[2005]179号文印发。基于实践的不断总结, 2012年制定发布了《节水型社会评价指标体系和评价方法》(GBT 28284-2012)国家标准<sup>[25]</sup>。基于统一的评价体系, 2014年水利部已经对全国100个国家级节水型社会试点地区进行全面评价与考核<sup>[26]</sup>。

2006年建设部、国家发展和改革委员会发布了《节水型城市考核标准》<sup>[22]</sup>, 对节水型城市的基本条件、基础管理指标、技术考核指标、鼓励性指标等进

行了细化, 明确规定了指标评分方法及其标准。为贯彻落实《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》, 2012年住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会再次修订并印发了《国家节水型城市申报与考核办法》和《国家节水型城市考核标准》, 节水型城市考核通过后, 每四年复核一次。

2013年国务院办公厅发布了《实行最严格水资源管理制度考核办法》<sup>[23, 27-28]</sup>, 包含了灌溉水有效利用系数和万元工业增加值用水量两个用水效率指标, 同时明确了全国各省(市、区)用水效率控制目标, 实施分级考核, 并从2014年起, 对全部省级行政区开展年度评估考核。

从评价方法上看, 上述工作都是基于指标评价方法, 仅存在指标选取的差别。从评价区域和时间上看, 仅最严格水资源管理制度考核是年度考核且包括所有县级以上行政区, 但所涉及到的节水指标只有两项。节水型社会考核与节水型城市考核评价指标多, 但是时间不连续且是针对性考核。

基于《实行最严格水资源管理制度考核办法》、《节水型社会评价指标体系和评价方法(GBT 28284-2012)》、《节水型社会建设评价指标体系(试行)》和《国家节水型城市考核标准》等节水评价工作涉及的节水指标, 进行节水评价指标梳理, 见表1。

## 2 节水评价指标体系构建

### 2.1 指标构建原则

为全面、客观反映南水北调东中线受水区节水水平, 按照综合指标反映结构节水、行业指标反映效率节水的思路, 选取具有代表性、可操作、能比较的评价指标, 既能够体现不同地区节水特点, 也能够全面反映受水区节水水平, 还可以进行广泛的节水比较。

### 2.2 评价指标确定

#### (1) 综合性指标。

综合反映南水北调受水区节水情况的指标, 选用万元GDP用水量指标, 表征地区每产生1万元国内生产总值的取水量, 既综合了行业用水效率, 还反映了区域用水结构。

#### (2) 农业用水指标。

反映农业用水效率和节水情况的主要指标, 选用灌溉水有效利用系数指标, 表征作物生长实际需要水量占灌溉水量的比例。

#### (3) 工业用水指标。

反映工业用水效率和节水情况的主要指标, 选

表1 节水评价相关指标梳理  
Tab.1 Water saving evaluation indexes

类别	节水指标	指标解释	指标使用
生产用水指标	灌溉水有效利用系数	作物生长实际需要水量占灌溉水量的比例	[1][2][3]
	节水灌溉工程面积率	节水灌溉工程面积占有效灌溉面积的百分比	[2][3]
	农田灌溉亩均用水量	农业实际灌溉面积上的亩均用水量	[3]
	万元工业增加值取水量	地区评价年工业每产生1万元增加值的取水量	[1][2][3][4]
	工业用水重复利用率	工业用水重复利用量占工业总用水的百分比	[2][3][4]
	第三产业万元增加值取水量	地区评价年第三产业每产生1万元增加值的取水量	[3]
城镇用水指标	污水处理回用率	污水处理后回用量占污水处理总量的百分比	[3]
	城镇居民人均生活用水量	地区城镇居民生活用水量的城镇人口平均值	[2][3][4]
	节水器具普及率	第三产业和居民生活用水使用节水器具数与总用水器具之比	[2][3][4]
	城镇供水管网漏损率	自来水厂产水总量与收费水量之差占产水总量的百分比	[2][3][4]
综合性指标	人均GDP增长率	地区评价期内人均GDP年平均增长率	[2][3]
	人均综合用水量	地区取水资源量的人口平均值	[2][3]
	万元GDP取水量	地区每产生1万元国内生产总值的取水量	[2][3][4]
	万元GDP取水量下降率	地区评价期内万元GDP用水量年平均下降率	[3]
	三产用水比例	第一、第二、第三产业用水比例	[3]
	其它水源替代水资源利用比例	评价年列入计划的实际取水量占总取水量的百分比	[2][3][4]
节水管理指标	管理体制与管理机构	涉水事物一体化管理;节水管理机构、用水者协会建设情况	[3]
	制度法规	具有系统性的水资源管理法规、规章,特别是计划用水、节约用水的法规与规章制度	[3]
	节水型社会建设规划	节水型社会建设规划情况	[3]
	用水总量控制与定额管理两套指标体系的建立与实施	取用水总量控制指标以及用水定额指标贯彻落实情况	[3]
	促进节水防污的水价机制	建立充分体现水资源紧缺、水污染严重状况,促进节水防污的水价机制	[3]
	节水投入保障	节水工作建设投入、融资工作	[3]
	节水宣传	节水教育培训、宣传、舆论监督、举报机制等工作开展情况	[3]

注:[1]《最严格水资源管理制度考核办法》;[2]《节水型社会评价指标体系和评价方法》(GBT 28284-2012);[3]水利部《节水型社会建设评价指标体系(试行)》;[4]住建部《国家节水型城市考核标准》。

用万元工业增加值用水量指标,表征地区评价年工业每产生一万元增加值的取水量。

#### (4) 城镇公共用水指标。

选用每公里每天自来水厂产水总量与收费水量之差,即城镇管网漏损系数指标反映城镇公共供水用水效率情况的主要指标。

### 2.3 指标评价方法

#### (1) 万元GDP用水量。

评价区每产生1万元地区生产总值的取水量。

$$W_{GDP} = W_{总} / G_{总}$$

式中: $W_{GDP}$ 为万元GDP用水量( $m^3$ ); $W_{总}$ 为评价年总取水量,按照水资源公报统计口径统计,不包括非常规水源利用量( $m^3$ ); $G_{总}$ 为评价年生产总值(万元)。

#### (2) 灌溉水有效利用系数。

评价年作物净灌溉水量占灌溉取水量的比例。

$$K_{灌} = W_{净灌} / W_{取}$$

式中: $K_{灌}$ 为灌溉水有效利用系数; $W_{净}$ 为评价

区灌溉农田净灌溉水量( $m^3$ ); $W_{取}$ 为评价区农田灌溉总取水量( $m^3$ )。

#### (3) 万元工业增加值用水量。

评价年每产生1万元工业增加值的用水量。

$$W_{工} = Q_{工} / G_{工}$$

式中: $W_{工}$ 为万元工业增加值用水量( $m^3$ ); $Q_{工}$ 为评价年工业取水量,按照水资源公报统计口径统计,不包括非常规水源利用量( $m^3$ ); $G_{工}$ 为评价年工业增加值(万元)。

#### (4) 城镇供水管网漏损率

评价年评价区每公里每天自来水厂产水总量与收费水量之差。

$$R_{漏} = (W_{供} - W_{收})L_{供} / 365$$

式中: $R_{漏}$ 为城镇供水管网漏损系数( $m^3 / (km \cdot day)$ ); $L_{供}$ 为自来水厂管网总长度(km); $W_{供}$ 为自来水厂供水量( $m^3$ ); $W_{收}$ 为自来水厂收费水量( $m^3$ )。

## 2.4 综合指标评价体系

单一指标可以从某一个方面反映区域用水效率,受水区节水综合评价能够全面反映区域用水结构和全社会全过程用水效率。

由于万元 GDP 用水量、灌溉水有效利用系数、万元工业增加值用水量和城镇管网漏损系数指标具有不同的量纲,不能直接比较,须对指标原始数据进行标准化处理。

四个指标可以分成越大越优和越小越优两类,越小越优的指标有万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量和城镇供水管网漏损率,越大越优的指标是灌溉水有效利用系数指标。

对指标值大于全国平均值的标准化方法:对越大越优的指标采用式(1)变换,对越小越优的指标用式(2)变换。

$$Z_i = 60 + (Z_i - Z_{\min}) / (Z_{\max} - Z_{\min}) \times 40 \quad (1)$$

$$Z_i = 60 + (Z_{\max} - Z_i) / (Z_{\max} - Z_{\min}) \times 40 \quad (2)$$

式中: $Z_i$ 为评价区指标值; $Z_{\max}$ 为最大标准值; $Z_{\min}$ 为最小标准值。经过式(1)或式(2)变换后,指标标准值在 60~100 之间,100 为最优,达到全国平均值为 60 分。

指标值小于全国平均值的标准化方法:对越大越优的指标采用式(3)变换,对越小越优的指标用式(4)变换。

$$Z_i = 60 + (Z_i - Z_{\min}) / (Z_{\max} - Z_{\min}) \quad (3)$$

$$Z_i = 60 + (Z_{\max} - Z_i) / (Z_{\max} - Z_{\min}) \quad (4)$$

式中: $Z_i$ 为评价指标值; $Z_{\max}$ 为最大标准值; $Z_{\min}$ 为最小标准值。经过式(3)或式(4)变换后,指标标准值低于 60 分。

评价指标标准值是衡量节水效率的标尺,考虑到评价对象南水北调受水区是我国水资源最短缺的

地区,也是用水效率较高的地区,指标标准值选取基于以下思路。

最优指标:主要参考世界最先进地区的用水效率,以便与世界先进水平相比较,衡量受水区与世界先进水平的差距。

最劣指标:采用全国平均水平的用水效率,反映受水区用水效率与全国平均水平的相对关系。

指标时点:最优指标和最劣指标选取主要参考《中国水资源公报》<sup>[29]</sup>、《城市(县镇)供水统计年鉴》<sup>[30]</sup>等信息,选择 2014 年南水北调通水关键时间节点作为衡量时点。

评价确定的最小和最大标准值见表 2。

表 2 节水指标标准值确定

Tab. 2 Standard values of water saving indexes

序号	评价指标	指标类型	最小值 $Z_{\min}$	最大值 $Z_{\max}$
1	万元 GDP 用水量/ $m^3$	越小越优	最先进地区指标值,采用新加坡指标( $5.4 m^3$ )	采用 2014 年全国平均值( $96 m^3$ )
2	灌溉水有效利用系数	越大越优	2014 年全国平均值( $0.53$ )	最先进地区指标,采用以色列指标( $0.8$ )
3	万元工业增加值用水量/ $m^3$	越小越优	最先进地区指标值,采用丹麦指标( $3.8 m^3$ )	采用 2014 年全国平均值( $59.5 m^3$ )
4	城镇管网漏损系数(%)	越小越优	采用国际先进地区指标值( $8\%$ )	全国超过 60% 城市的水平( $21.1\%$ )

根据指标的类型,将综合指标和行业指标确定为第一层指标,综合性指标权重为 1/4,分行业指标权重为 3/4。

分行业指标包括农业、工业和城镇公共节水指标,指标权重根据评价区评价年农业、工业和公共生活用水量的比例来确定,详见表 3。

表 3 节水标准评价权重分配

Tab. 3 Evaluation weights of water saving standards

类别	评价指标	第一层指标权重	第二层指标权重
综合指标	万元 GDP 用水量 $Z_1$	1/4	1
	灌溉水有效利用系数 $Z_2$		农业用水量/(农业、工业、公共生活用水量之和)
行业指标	万元工业增加值用水量 $Z_3$	3/4	工业用水量/(农业、工业、公共生活用水量之和)
	城镇供水管网漏损率 $Z_4$		公共生活用水量/(农业、工业、公共生活用水量之和)

## 2.5 指标功能分析

基于构建的指标体系,即可以进行单一指标分析,还可以进行综合评价分析。既可以进行区域节水水平变化纵向分析,还可以进行区域之间节水水平横向比较。

纵向变化分析:可以评价 2002 年国务院批复《南水北调工程总体规划》以来受水区节水水平变化

发展历程,还可以跟踪评价通水后节水水平年度发展状态,评估受水区是不是始终坚持节水优先的战略。

区域横向比较:可以进行受水区不同区域间节水水平相互比较,还可以与国内外先进节水水平相互比较,评估受水区节水水平、发展空间与未来推进的重点方向。

### 3 评价体系应用

在南水北调东中线一期工程相继通水的背景下,按照实行最严格水资源管理制度的要求,面向“节水优先”的国家水安全保障战略,本节依照上文构建体系,系统分析通水前(2003-2013年)、通水后(2014-2015年)受水区用水效率变化情况,以评估受水区是不是始终坚持“节水优先”的原则。

#### 3.1 受水区节水水平变化

##### (1) 综合用水效率。

2003年以来统计结果显示,受水区通过调整产业结构和农业种植结构、完善基础设施、强化管理措施、推广节水器具设备等措施,综合水效率大幅度提高(表4),而且提升幅度明显高于全国平均水平(图1)。

2015年,除安徽省,受水区其他省份用水效率都高于全国平均水平,其中天津市万元GDP用水量最低,仅为 $16\text{ m}^3$ 。2003年以来,全国万元GDP用水量平均下降了80%,而同期受水区北京市、天津市和山东省下降了82%、81%和81%,超过全国平均下降速度。

表4 南水北调受水区综合用水效率

Tab.4 Comprehensive water use efficiency in the SNWTP water receiving areas

省级行政区	万元GDP用水量/ $\text{m}^3$			与2013年比较(±%)	2003-2013年年均变化量(±%)
	2003年	2013年	2015年		
全国	448	109	90	-17.4	-7.6
北京	94	19	17	-10.5	-8.0
天津	85	17	16	-5.9	-8.0
河北	281	68	63	-7.4	-7.6
江苏	336	97	82	-15.5	-7.1
安徽	448	155	131	-15.5	-6.5
山东	175	40	34	-15.0	-7.7
河南	264	75	60	-20.0	-7.2

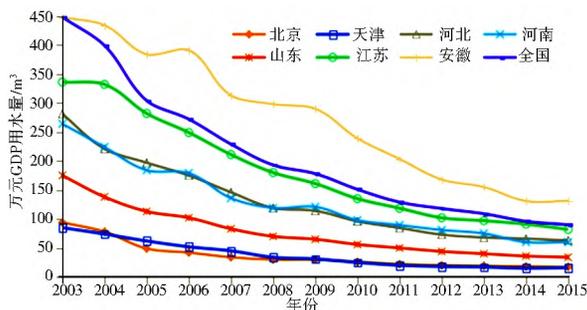


图1 近年来受水区万元GDP用水量变化

Fig.1 Changes of water consumption per 10 thousand RMB gross domestic product (GDP) in the SNWTP water receiving areas

##### (2) 工业用水效率。

2015年北京市、天津市、山东省、河北省和河南省万元工业增加值用水量分别为 $10.5\text{ m}^3$ 、 $7.7\text{ m}^3$ 、 $11.4\text{ m}^3$ 、 $17.8\text{ m}^3$ 和 $32.6\text{ m}^3$ (表5),均高于全国平均水平( $58.3\text{ m}^3$ )。如图2所示,2003年以来,全国万元工业增加值用水量平均降低了74%,而同期北京市、天津市、山东省、安徽省和河北省分别下降了86%、83%、79%、78%和78%,受水区工业用水效率快速提高。

表5 南水北调受水区工业用水效率

Tab.5 Industrial water use efficiency in the SNWTP water receiving areas

省级行政区	万元工业增加值用水量/ $\text{m}^3$			与2013年比较(±%)	2003-2013年年均变化量(±%)
	2003年	2013年	2015年		
全国	222	67	58.3	-13.0	-7.0
北京	75	14	10.5	-25.0	-8.1
天津	44	8	7.7	-3.8	-8.2
河北	81	19	17.8	-6.3	-7.7
江苏	262	86	85.4	-0.7	-6.7
安徽	436	110	96.8	-12.0	-7.5
山东	54	12	11.4	-5.0	-7.8
河南	132	37	32.6	-11.9	-7.2

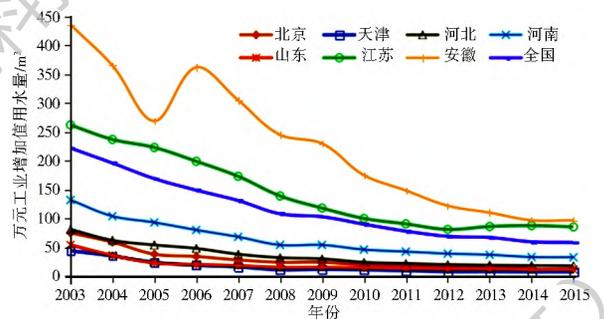


图2 近年来受水区万元工业增加值用水量变化

Fig.2 Changes of water consumption per 10 thousand RMB industrial added value in the SNWTP water receiving areas

产业布局调整和技术进步对提升区域用水效率起到重要作用。近年来北京市建立高耗水行业退出机制,出台了《北京市新增产业的禁止和限制目录》和《北京市工业污染行业、生产工艺调整退出及设备淘汰目录》,颁布产业用水限额标准,全市调整、退出三高企业680家。随着京津冀地区高耗水行业逐渐减少,而交通运输设备制造业以及通信设备、计算机及其他电子设备制造业等先进制造业所占比例增加显著,产业结构的演进改变了水在各个生产部门之间的分配和流动规律,进而影响用水量及用水效率。

##### (3) 灌溉用水效率。

2015年全国平均灌溉水有效利用系数为

0.536, 除安徽省外, 受水区其他省份农业用水效率均明显高于全国平均值(表 6)。近年来, 受水区通过采取调整农业种植结构、农业节水、体制机制节水等措施, 在提高灌溉用水效率(图 3)的同时, 实现农业地下水压采。与 2006 年相比, 受水区灌溉水有效利用系数均有显著提高, 其中山东省和安徽省分别提高了 0.16 和 0.18, 提高幅度最大。

表 6 南水北调受水区农业用水效率

Tab. 6 Agricultural water use efficiency in the SNWTP water receiving areas

省级行政区	农回灌溉水有效利用系数			与 2013 年比较(±%)	2006-2013 年年均变化量(±%)
	2006 年	2013 年	2015 年		
全国	0.46	0.523	0.536	0.013	0.007
北京	0.66	0.701	0.710	0.009	0.005
天津	0.62	0.669	0.687	0.018	0.007
河北	0.62	0.662	0.670	0.008	0.005
江苏	0.54	0.581	0.598	0.017	0.006
安徽	0.44	0.508	0.524	0.016	0.008
山东	0.54	0.622	0.630	0.008	0.009
河南	0.54	0.587	0.601	0.014	0.006

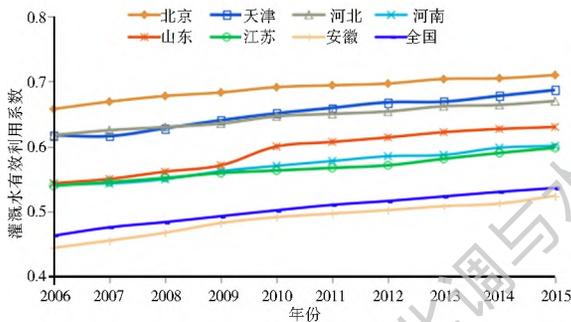


图 3 近年来受水区灌溉水有效利用系数变化

Fig. 3 Changes of irrigation water use efficiency in the SNWTP water receiving areas

#### (4) 城镇生活用水效率。

2015 年受水区所在的天津市、山东省、河南省、河北省和安徽省城镇生活用水定额分别为 95 L/d、113 L/d、147 L/d、150 L/d 和 205 L/d, 明显低于全国平均值(217 L/d)。北京市城市发展水平高, 城镇人口的增长导致生活用水刚性上升, 城镇生活用水量超过全国平均水平; 江苏水资源相对丰富, 城镇生活用水量也较高。

2003 年以来, 全国城镇生活平均用水定额基本保持稳定(图 4), 与 2003 年相比, 天津市、江苏省、河南省、山东省、河北省和北京市分别下降了 29%、23%、16%、14%、10% 和 8%。近年来, 由于人口的增长和生活水平的提高, 生活节水遇到瓶颈, 受水区城镇生活用水量基本维持稳定, 甚至略有增加。

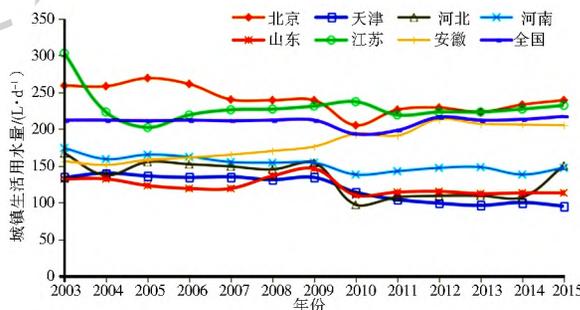


图 4 近年来城镇生活用水量变化

Fig. 4 Changes of urban domestic water consumption in SNWTP water receiving areas

### 3.2 受水区地市节水综合指标评价

单一指标可以从某一个方面反映区域用水效率, 为全面反映区域用水结构和全社会全过程用水效率, 参照上文构建的南水北调东中线一期工程受水区节水评价指标体系, 对受水区北京市、天津市、河北省、山东省和河南省的 30 个地市进行 2015 年节水综合指标评价, 评价结果见表 7。

与世界最先进地区的用水效率相比较, 可以看出受水区节水水平存在三个梯次, 整体表现为水资源越紧缺的地区, 水资源利用效率越高。水资源最紧缺的北京市、天津市、山东省大部分地市是第一梯次, 水资源利用率水平整体达到或接近发达国家水平, 综合评价得分高于或等于 80 分。其中天津市和北京市节水综合评价得分分别为 88 分和 86 分, 得分最高。枣庄市工业、农业节水水平较高, 而城镇管网漏损率为 27.98% 远高于全国平均水平, 由于其公共生活用水比例仅占全市总用水量的 12%, 节水综合评价得分为 86 分。河北省和河南省部分地市处于第二梯次, 水资源利用效率优于发展中国家水平; 水资源基础条件较好的江苏省水资源利用效率与发展中国家用水水平比较接近。

各梯次节水基础不同, 节水重点各异, 需要全面推进。第一梯队地区虽然存量节水潜力有限, 但水资源短缺仍将是其长期面对的基本水情, 尤其是北京市和天津市, 需要大力实施深度节水战略, 充分挖掘各行业节水潜力、适度控制需求规模, 继续增强社会节水意识、完善节水体制机制、遏制奢侈用水和浪费水的现象。第二梯队尤其是河北省受水区, 由于地下水长期超采以及经济社会发展导致的用水刚性需求增加等因素, 生态环境用水历史欠账较多, 高耗水、大污染的工业比重高, 河北省钢铁、化工、火电、纺织、造纸、建材、食品 7 大高耗水工业用水量占工业用水量的 80% 以上, 需要继续优化产业结构, 全面加强各行业节水工作。第三梯队江苏省本底水资源条件相对较好, 农业灌溉用水量大, 水资源利用效率相对最

表7 南水北调受水区2015年用水效率综合评价结果

Tab. 7 Results of comprehensive evaluation of water use efficiency of the SNWTP water receiving areas in 2015

南水北调受水区地市	综合指标		分行业指标		综合评价结果
	万元GDP用水量	灌溉水有效利用系数	万元工业增加值用水量	城镇管网漏损系数	
北京市	95	86	93	80	86
天津市	96	82	97	83	88
沧州市	81	86	90	77	84
辛集市	66	91	99	75	84
廊坊市	79	86	88	79	84
石家庄市	75	83	91	80	81
河北省					
衡水市	59	87	80	77	79
邯郸市	73	74	88	79	76
保定市	60	76	86	79	73
邢台市	60	74	84	77	71
定州市	59	73	66	74	69
枣庄市	88	86	95	59	86
济宁市	74	86	93	83	84
淄博市	89	77	95	68	83
山东省					
临沂市	80	77	93	90	81
泰安市	84	74	94	90	81
聊城市	69	78	90	92	77
菏泽市	60	77	94	89	74
德州市	67	75	95	78	74
漯河市	87	82	94	79	85
郑州市	91	81	91	76	85
鹤壁市	72	84	91	89	82
焦作市	73	76	79	59	75
安阳市	72	75	87	60	75
河南省					
周口市	71	76	82	59	73
平顶山市	84	67	72	60	72
濮阳市	60	61	75	100	67
新乡市	64	65	80	61	66
南阳市	70	63	74	59	66
许昌市	88	77	87	60	80

低,需要进一步提高城市生活和工业用水效率,提升农业灌溉用水水平,高效利用南水北调水资源。

南水北调受水区作为国家粮食主产区,以占全国约2%的水资源量、4%的土地面积,支撑着全国21%的灌溉面积,生产了全国28%的粮食产量,为国家粮食安全做出了重要贡献,但大部分却是以透支地表水、过量取用地下水来维持的。区域内需水量大的作物播种面积比例仍然较大,如山东省小麦播种面积达33%,河北省、安徽省和江苏省达28%。产业布局与水资源基础保障能力不相适应,仍需进

一步优化结构、调控规模,实现结构性节水。

## 4 结论与建议

本文在分析同类相关研究成果的基础上,构建了能够综合反映南水北调区用综合节水和行业水效率的指标体系。文章以南水北调东中线受水区开展应用研究,对受水区近年来节水水平进行了评价。通过用水效率对比发现,近年来受水区大力节水,用水效率大幅度提高,受水区用水效率在区域内和全国都处于领先水平。从国际视角定位南水北调受水区水资源利用效率,可以看出受水区节水发展水平不均衡,整体表现为水资源越紧缺的地区水资源利用效率越高,北京、天津和山东省水资源利用率水平整体达到或接近发达国家水平;河北省和河南省处于第二梯次,水资源利用效率优于发展中国家;水资源基础较好的江苏和安徽省水资源利用效率与发展中国家水平接近。仍需继续优化产业结构,全面推进全区域、全行业节水工作。

目前节水工作仍然是以政府推动为主,社会公众的自觉参与力度略显不够,特别是南水北调工程通水后,公众对节水长期性和紧迫性的认识有所松懈。仍需坚决贯彻落实“节水优先”战略,综合运用法规、行政、经济、技术、宣传等多种手段,全面推进节水型社会建设,积极调整产业结构,大幅度压缩高耗水产业,控制城镇人口过快增长,压减地下水超采区灌溉面积,制定体现资源稀缺性和水质差异性的水价体系,出台鼓励再生水和海水淡化等非常规水利用的政策措施,推广节水技术、设备和设施,加强基础设施建设,改造城镇供水管网,实现全区域全行业深度节水,建立水资源节约、高效利用的新格局。

### 参考文献(References):

- [1] 张平,赵敏,郑垂勇.南水北调东线受水区水资源优化配置模型[J].资源科学,2006,28(5):83-94.(ZHANG P,ZHAO M,ZHENG C Y. Optimal allocation of water resources in the water import areas of the East Route of the South to North Water Transfer Region[J]. Resources Science, 2006, 28(5): 88-94. (in Chinese))
- [2] 马骏,郑垂勇.南水北调东中线受水区水资源与社会经济和谐度评价[J].中国人口资源与环境,2010,20(11):36-41.(MA J,ZHENG C Y. Water resources and social economic harmony degree evaluation of water conservancy area of South to North Water Diversion Project[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(11): 36-41. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-2104.2010.11.007.
- [3] 代文元,张俊杰.实施南水北调加大微咸水、咸水非传统水资源

- 的利用[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(4): 23-25. (DAI W Y, ZHANG J J. Diverting water from South to North & Enhancing the utilization of saline water and brackish water[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(4): 23-25. (in Chinese))
- [4] 中国中央国务院, 国务院关于南水北调工程总体规划的批复[Z]. 2002. (The State Council of the People's Republic of China. The decision of Central Committee of CPC on the general plan of South to North Water Transfers Project[Z]. 2002. (in Chinese))
- [5] 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. (LIU C M, ZUO J B. Water saving potential analysis and countermeasures for major cities for the midline of South to North Water Transfer Project (SNWTP) [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(1): 1-7. (in Chinese))
- [6] 南水北调工程供用水管理条例[M]. 北京: 中国法制出版社, 2014. (Water supply management regulations for the South to North Water Transfer Project[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2014. (in Chinese))
- [7] 袁志彬, 王占生. 我国城市水资源现状及其对策[J]. 科技导报, 2001, 19(1): 48-51. (YUAN Z B, WANG Z S. The present state on China's urban water resources and its solutions[J]. Science and Technology Review, 2001, 19(1): 48-51. (in Chinese))
- [8] 贾绍凤, 何希吾, 夏军. 中国水资源安全问题及对策[J]. 中国科学院院刊, 2004, 19(5): 347-351. (JIA S F, HE X W, XIA J. Problems and countermeasures of water resources security of China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2004, 19(5): 347-351. (in Chinese))
- [9] 宋先松, 石培基, 金蓉. 中国水资源空间分布不均引发的供需矛盾分析[J]. 干旱区研究, 2005, 22(2): 162-166. (SONG X S, SHI P J, JIN R. Analysis on the contradiction between supply and demand of water resources in China owing to uneven regional distribution[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(2): 162-166. (in Chinese))
- [10] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 689-699. (FENG Z M, LIU D W. A study on water resources carrying capacity in Jingjinji Region[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(5): 689-699. (in Chinese))
- [11] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1430-1439. (CHENG H W, LI Y W, XU Z M. Social adaptive capacity for water resources scarcity in human systems and case study on its measuring[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(5): 1430-1439. (in Chinese))
- [12] 陈莹, 赵勇, 刘昌明. 节水型社会的内涵及评价指标体系研究初探[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 125-129. (CHEN Y, ZHAO Y, LIU C M. Study on the connotation and evaluation index system of water saving and conservation society[J]. Arid Zone Research, 2004, 21(2): 125-129. (in Chinese))
- [13] 肖伟华, 许新发, 梅亚东. 城市节水指标体系及其评价研究[J]. 江西水利科技, 2005, 31(3): 143-148. (XIAO W H, XU X F, MEI Y D. Discussion about the rationality of the index system of urban water conservation estimation[J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2005, 31(3): 143-148. (in Chinese))
- [14] 张雅君, 汤燕燕. 节水型城市评价指标的设置探讨[J]. 给水排水, 2011, 37(3): 24-27. (ZHANG Y J, TANG Y Y. Discussion on the layout of the water saving city evaluation index[J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(3): 24-27. (in Chinese))
- [15] 高鹏. 节约型社会城市节水指标体系及评价方法研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2006. (GAO P. Study on urban water saving index system and evaluation method of conservation oriented society[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2006 (in Chinese))
- [16] 何淑媛, 方国华. 农业节水综合效益评价指标体系构建[J]. 中国农村水利水电, 2007(7): 44-46. (HE S Y, FANG G H. Construction of appraisal index system of comprehensive agricultural water saving benefits[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(7): 44-46. (in Chinese))
- [17] 贾凤伶, 刘应宗. 节水评价指标体系构建及对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 73-78. (JIA F L, LIU Y Z. Evaluation index system establishment for water conservation and countermeasures[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(6): 73-78. (in Chinese))
- [18] 张丹. 节水型社会评价指标体系构建研究以子长县为例[D]. 西安: 长安大学, 2013. (ZHANG D. Study on the evaluation index system of water saving society—Take Zichang county for example[D]. Xi'an: Changan University, 2013. (in Chinese))
- [19] 赵世雯, 唐德善. 上海市节水型社会建设效果评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(6): 173-176. (ZHAO S W, TANG D S. Effect evaluation of the construction of water saving society in Shanghai[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(6): 173-176. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbddqk.2014.06.039.
- [20] GB/T 28284-2012, 节水型社会评价指标体系和评价方法[S]. (GB/T 28284-2012, Index system and methods for assessment of water saving society[S]. (in Chinese))
- [21] 徐风. 节水型社会建设有了评价标准[J]. 大众标准化, 2012(4): 27-27. (XU F. Evaluation criteria for construction of water saving society[J]. Popular Standardization, 2012(4): 27-27. (in Chinese))
- [22] GB/T 51083-2015, 城市节水评价标准[S]. (GB/T 51083-2015, Standard for urban water conservation evaluation[S]. (in Chinese))
- [23] 国务院办公厅, 国务院办公厅关于印发实行最严格水资源管理制度考核办法的通知[Z]. 2013 (The General Office of the State Council. Notice of the General Office of the State Council on printing and distributing the strictest assessment meth

- ods for water resources management[Z]. 2013. (in Chinese)
- [24] 中华人民共和国水利部, 节水型社会建设评价指标体系(试行)[Z]. 2005 (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Evaluation index system of water saving society construction (for Trial Implementation)[Z]. 2005. (in Chinese))
- [25] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发《节水型城市申报与考核办法》和《节水型城市考核标准》的通知[Z]. 2006 (Ministry of Construction of People's Republic of China, National Development and Reform Commission of People's Republic of China, Notice on issuing the measures for the declaration and assessment of water saving cities and the assessment standards for water saving cities [Z]. 2006. (in Chinese))
- [26] 洪娟. 张掖市节水型社会建设效果后评价研究[D]. 南京: 河海大学, 2007. (HONG J. Research on the effect evaluation of water saving and conservation society in Zhangye[D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [27] 张晏, 壮歌德. 实行“最严格”的水资源管理制度[J]. 世界环境, 2011(2): 20-21. (ZHANG Y, ZHUANG G D. Implementing a powerful management system of water resources [J]. World Environment, 2011(2): 20-21. (in Chinese))
- [28] 左其亭, 李可任. 最严格水资源管理制度理论体系探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2013(1): 34-38. (ZUO Q T, LI K R. Discussion on theoretical system of the strictest water resources management system[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013(1): 34-38. (in Chinese)) DOI: 10.3724/sp.j.1201.2013.01034.
- [29] 2014 中国水资源公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015. (2014 China water resources bulletin[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2015 (in Chinese))
- [30] 城市供水统计年鉴[M]. 北京: 中国城镇供水协会, 2015. (Statistical yearbook of urban water supply[M]. Beijing: China Urban Water Supply Association, 2015. (in Chinese))

(上接第 186 页)

- [20] MÄKINEN H, P NÖJD & K MIELIKÄ inen. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) in south Finland [J]. *Trees*, 2001, 15: 177-185. DOI: 10.1007/s004680100089.
- [21] SZEICZ J M, G M M DONALD. A 930 year ring-width chronology from moisture sensitive white spruce (*Picea glauca* Moench) in the northwestern Canada [J]. *The Holocene*, 1996, 6: 345-351. DOI: 10.1177/095968369600600309.
- [22] CARITAT A, E GUTIERREZ, M MOLINAS. Influence of weather on cork ring width[J]. *Tree Physiology*, 2000, 20: 893-900.
- [23] LIANG E Y, X M SHAO, Y X HU, et al. Dendroclimatic evaluation of climate-growth relationships of Meyer spruce (*Picea meyeri*) on a sandy substrate in semi arid grassland, north China [J]. *Trees*, 2001, 15: 230-235. DOI: 10.1007/s004680100097.
- [24] 朱清科, 张岩, 赵磊磊, 等. 陕北黄土高原植被恢复及近自然造林[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 35-44. (ZHU Q K, ZHANG Y, ZHAO L L, et al. Nearly natural vegetation restoration and afforestation on the Loess Plateau of northern shaanxi[M]. Beijing: Science press., 2012: 35-44. (in Chinese))
- [25] SL 424-2008, 水利部旱情等级标准[S]. 2008. (SL 424-2008 of the people's republic of China, ministry of water resources drought rating standard[S]. (in Chinese))
- [26] 干旱评估标准(试行)[S]. 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 2006. (Drought assessment standard(trial)[S]. The State Flood Control and Drought Relief Headquarters Office, 2006. (in Chinese))