

张欣, 张保祥, 李冰, 等. 基于用水定额的区域节水评价方法及应用[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(1): 95-106. ZHANG X, ZHANG B X, LI B, et al. Evaluation and application of regional water saving based on water quota[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(1): 95-106. (in Chinese)

# 基于用水定额的区域节水评价方法及应用

张欣<sup>1,2</sup>, 张保祥<sup>1,2</sup>, 李冰<sup>1,2</sup>, 吴振<sup>1,2</sup>

(1. 山东省水利科学研究院, 济南 250014; 2. 山东省水资源与水环境重点实验室, 济南 250014)

**摘要:**为进一步挖掘区域节水潜力,综合考虑影响节水水平的主要因素,在对节水评价指标筛选的基础上,从农业、工业、服务业、生活和综合 5 个方面,选取 10 项代表性强且易获取的指标,采用典型调查和统计分析相结合的方式获取指标,构建区域节水评价指标体系。将用水定额和分级标准相结合,构建了区域节水评价方法。将该方法应用于我国华北地区缺水区域,得到区域节水评价结果。结果表明:山东省通过实施深度节水控水行动,充分挖掘行业节水潜力,完善节水体制机制,增强社会节水意识,区域节水处于先进水平。基于用水定额的区域节水评价方法可以兼顾社会用水点面对区域节水水平的影响,有效地将区域节水水平与现行用水定额标准相结合,系统性较强,评价总体效果较好。

**关键词:**节水评价;评价指标体系;分级标准;用水定额;典型调查

**中图分类号:** TV213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0011

伴随着城镇化进程加快,我国华北缺水地区的水资源短缺问题十分突出。在实施最严格水资源管理制度背景下,区域供水总量受到约束,而需求又呈现增长态势,节水成为缓解水资源供需矛盾的有效途径。开展节水评价是落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路的重要举措<sup>[1]</sup>,是水资源开发、利用、保护、配置、调度的重要依据,对于促进区域水资源利用效率的提高具有重要意义。

不同地区的节水水平与水资源条件、经济发展水平息息相关,目前对于区域节水评价的研究主要集中于节水评价指标体系的构建和评价方法的研究<sup>[2-16]</sup>,且多采用统计指标构建评价指标体系,对于评价指标的分级标准缺乏有效依据。我国从 20 世纪 70 年代开始逐步实施用水定额管理,水利部自 2019 年以来已陆续发布 105 项用水定额,其中农业 14 项、工业 70 项、建筑业 3 项和服务业 18 项<sup>[17]</sup>。

我国 31 个省(自治区、直辖市)已经出台了省级用水定额,并多次进行修订,基本建立了全面系统的用水定额体系<sup>[17]</sup>。针对目前节水评价需要完善的问题,提出一套由典型调查指标和统计分析指标构成的区域节水评价指标体系,探索建立一套与现行用水定额相结合的节水评价标准和评价方法,并在我国华北缺水地区进行应用,为区域节水工作开展提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 评价指标体系

按照有代表性、可操作性强、易量化的原则<sup>[18-19]</sup>,建立由农业用水指标、工业用水指标、服务业用水指标、生活用水指标和综合用水指标组成的区域节水评价指标体系。评价指标的获取方式分为典型调查和统计分析两类。区域节水评价指标体系及指标说明见表 1。

收稿日期: 2022-05-26 修回日期: 2022-08-22 网络出版时间: 2022-10-17

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20221014.1339.010.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3200504-3); 山东省水利科学研究院自选课题(SDSKYZX202113; SDSKYZX202119)

作者简介: 张欣(1981—),女,山东东营人,工程师,主要从事水文水资源方面研究。E-mail: 435996231@qq.com

通信作者: 张保祥(1966—),男,山东潍坊人,研究员,博士,主要从事水资源开发利用与环境保护研究。E-mail: baoliang.zh@126.com

表 1 区域节水评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of regional water saving

指标分类	指标	指标说明	获取方式
农业用水指标	灌溉作物亩均用水量/ $m^3$	单种作物的亩均用水量为单种作物在大中型灌区斗口、小型灌区渠首、井灌区井口位置的灌溉用水量与单种作物灌溉面积的比值	典型调查
	农田灌溉水有效利用系数	灌入田间被作物吸收利用的水量与渠首总引水量的比值	统计分析
工业用水指标	工业企业单位产品用水量/ $(m^3 \cdot t^{-1})$	高耗水工业企业生产某种产品的用水量与产品产量的比值。高耗水行业包括火电、钢铁、纺织、造纸、石化、化工、食品 7 类	典型调查
	万元工业增加值用水量/ $m^3$	区域工业用水量与区域工业增加值的比值	统计分析
服务业用水指标	单个服务业单位用水量/ $[m^3 \cdot (人 \cdot a)^{-1}]$	单个服务业与服务有直接关系的经营或生产总用水量与单个服务业提供某种服务的数量之比	典型调查
生活用水指标	城市居民生活用水量/ $[L \cdot (人 \cdot d)^{-1}]$	每个城市居民每日平均生活用水量	统计分析
	农村居民生活用水量/ $[L \cdot (人 \cdot d)^{-1}]$	每个农村居民每日平均生活用水量	统计分析
	公共供水管网漏损率/%	公共管网漏损水量与总供水量的比值	统计分析
综合用水指标	万元 GDP 用水量/ $m^3$	区域用水总量与区域生产总值的比值	统计分析
	非常规水源利用占比/%	污水处理再生利用、集雨工程利用、海水淡化等非常规水源利用量与区域用水总量的比值	统计分析

## 1.2 评价标准

用水定额为一定时期内用水户单位用水量的限定值<sup>[20]</sup>。用水定额分为通用值和先进值,其中:灌溉用水定额通用值是指灌区现状水平,在规定水文年型,满足区域用水供需平衡,某种作物在大中型灌区斗口、小型灌区渠首、井灌区井口位置的单位面积灌溉用水量;先进值是指按照《节水灌溉工程技术标准》,采取渠道防渗输水灌溉、管道输水灌溉、喷灌、微灌等节水灌溉方式,在规定水文年型,某种作物在大中型灌区斗口、小型灌区渠首、井灌区井口位置的单位面积灌溉用水量。工业和服务业用水定额通用值是指用水户基本能达到的取水值,适用于现有用水户日常用水管理和节水考核;先进值是指先进水平的取水值,适用于用水户新建(改建、扩建)项目的水资源论证、取水许可审批、节水评价。

一般情况下,灌溉用水定额通用值按照净用水定额和现状大中型灌区斗口、小型灌区渠首、井口的灌溉水利用系数确定,先进值按照净用水定额和《节水灌溉工程技术标准》规定相关节水灌溉技术的灌溉水利用系数最低值计算确定。工业、服务业和生活用水定额通用值按照 80% 用水户定额通过率确定,先进值按照 20% 用水户定额通过率确定。单种灌溉作物的亩均用水量、工业企业某种产品的单位用水量、单个服务业的单位用水量、城市居民生活用水量、农村居民生活用水量以用水定额为依据划分评价标准。

以各评价指标的先进值、先进值与通用值的均值、通用值为 3 个节点,将每个评价指标分为先进、良好、中等和起步 4 个级别。各等级划分区间按照“均分原则”确定:先进( $\leq$ 先进值);良好[先进值~(先进值+通用值)/2];中等[(先进值+通用值)/2~通用值];起步( $>$ 通用值)。典型调查指标根据国家或者省级用水定额确定先进值和通用值,统计分析指标根据国家或地方相关行政主管部门发布的数据确定先进值和通用值。区域节水评价结果按照总得分由高到低分为节水水平先进( $\geq 90$ 分)、良好( $\geq 80 \sim < 90$ 分)、中等( $\geq 70 \sim < 80$ 分)和起步( $< 70$ 分)4 个等级<sup>[21]</sup>。

## 1.3 评价方法

区域节水评价采用百分制计分。评价步骤如下:采用层次分析法<sup>[10]</sup>确定各评价指标的权重。

建立各统计分析指标节水评价分级标准,利用式(1)计算得到各指标得分。

$$q_{ij} = C_j \mu_{ij} \times 100 \quad (1)$$

式中: $q_{ij}$ 为第  $i$  个区域第  $j$  个指标的分值; $C_j$ 为第  $j$  个指标的满分分值,满分分值根据各指标权重计算; $\mu_{ij}$ 为第  $i$  个区域第  $j$  个指标的赋分系数,各指标先进、良好、中等和起步 4 个分级标准分别对应 1.0、0.8、0.6、0.4 的赋分系数<sup>[22]</sup>。

确定典型调查指标满分分值。

农业用水典型调查指标:选取灌溉作物播种面积较大的 3 种作物,每种作物每个农业灌溉定额分

区至少选取4个调查区。按照每种样本作物播种面积占所有样本作物总播种面积的权重确定每种样本作物满分分值;按照该调查区播种面积占该种作物所有调查区总播种面积的权重确定每种作物调查区的满分分值。

工业用水典型调查指标:每类高耗水行业选取用水量较大的10家企业,每家企业选取典型产品参与节水评价。将工业用水典型调查指标满分分值依次平均分配给评价区域内各类高耗水行业及企业,按照该产品用水量占该企业所有调查产品用水量的权重确定每个调查产品满分分值。

服务业用水典型调查指标:每类服务业选取用水量较大的10家用水单位,将服务业调查典型指标满分分值平均分配给各用水户,确定各用水户满分分值。

确定典型调查指标实际分值。

建立各样本作物(企业产品、服务业用水类别)节水评价分级标准,依据实际单位用水量 and 分级标准分别确定各作物各调查区(各企业产品、各服务业用水户)赋分系数,利用式(1)计算得到各作物各调查区(各企业产品、各服务业用水户)的实际分值。依次汇总求和各调查区得分、各样本作物得分,得到农业用水典型调查实际分值;依次汇总求和各调查产品分值、各调查企业分值、各高耗水行业分值,得到工业用水调查指标实际分值;各服务业用水户分值求和得到服务业用水典型调查指标实际分值。

计算节水评价总得分,得到区域节水水平等级。

区域节水评价总得分采用式(2)计算:

$$p_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (2)$$

式中: $p_i$ 为第*i*个区域的得分; $q_{ij}$ 为第*i*个区域第*j*个指标的分值。

## 2 案例应用

### 2.1 研究区状况

山东省位于我国东部沿海,地处黄河下游,分属黄河、淮河、海河三大流域,全省河流密集,水系众多,土地面积15.80万 $\text{km}^2$ ,共辖16个市136个县(区、市)。2020年末全省总人口10165万人,其中,农村人口3756万人,城市人口6409万人。实现地区生产总值73129亿元,其中,第一产业增加值5363.8亿元,第二产业增加值28612.2亿元,工业增加值23111亿元,第三产业增加值39153亿元<sup>[23]</sup>。耕地面积7572485 $\text{hm}^2$ ,有效灌溉面积5293560 $\text{hm}^2$ ,农作物总播种面积

10889085 $\text{hm}^2$ 。

山东省位于温带季风气候区,四季分明,内陆地区日温差比沿海地区大,全省年平均气温11.7~14.5 $^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降水量673.0mm,受季风、地形影响,年降水时空分布不均,分布趋势自鲁东南沿海向西北内陆递减。全省多年平均地表水资源量198.15亿 $\text{m}^3$ ,地下水资源量171.59亿 $\text{m}^3$ ,重复计算量66.95亿 $\text{m}^3$ ,水资源总量为302.79亿 $\text{m}^3$ ,人均水资源量315 $\text{m}^3$ 。全省黄河干流引水指标65.03亿 $\text{m}^3$ ,南水北调东线一期工程分配的调水指标为14.67亿 $\text{m}^3$ 。

## 2.2 区域节水评价

### 2.2.1 指标权重

构建由10个指标构成的山东省区域节水评价指标体系,见表1。准则层为:农业用水指标、工业用水指标、服务业用水指标、生活用水指标和综合用水指标,指标层为:灌溉作物亩均用水量、农田灌溉水有效利用系数、工业企业单位产品用水量、万元工业增加值用水量、单个服务业单位用水量、城市居民生活用水量、农村居民生活用水量、公共供水管网漏损率、万元GDP用水量和非常规水源利用占比。

利用层次分析法计算得到各指标权重:

$$\omega = [0.2783, 0.0791, 0.1756, 0.0798, 0.1602, 0.0325, 0.0325, 0.0425, 0.0810, 0.0385]$$

### 2.2.2 典型调查指标

农业用水典型调查指标如下:

样本作物的选择及满分分值的确定。2020年山东省小麦、玉米、棉花的播种面积分别达到3934430 $\text{hm}^2$ 、3871090 $\text{hm}^2$ 和142900 $\text{hm}^2$ ,是全省播种面积靠前的3种作物,故选择小麦、玉米、棉花作为调查样本作物。灌溉作物亩均用水量指标权重0.2783,满分28分。每种样本作物满分分值按照其种植面积占所有样本作物总种植面积的权重确定,各样本作物种植面积及满分分值见表2。

典型作物灌溉节水评价指标体系及分级标准。将山东省分为鲁西南、鲁北、鲁中、鲁南、胶东5个区,构建典型作物灌溉节水评价指标体系,依据《山东省农业用水定额》(DB37/T 3772—2019)<sup>[24]</sup>、《水利部关于印发小麦等十项用水定额的通知》(水节约[2020]9号)、《水利部关于印发水稻等七项农业灌溉用水定额的通知》(水节约[2020]214号)划分分级标准。表3为小麦、玉米、棉花灌溉节水评价指标体系及分级标准。

典型作物灌溉节水评价。考虑山东当地主要灌

溉工程类型,每种作物每个分区选取 1~4 个调查区,调查区的选取参考 GB/T 29404—2012。根据调查区播种面积占比确定各作物调查区满分分值。通过典型调查的方式,得到各样本作物各调查区大中型灌区斗口毛亩均用水量,对比典型作物灌溉节水

评价指标体系及分级标准,给予相应的赋分系数。计算得到各作物各调查区实际分值,汇总得到各作物实际分值:小麦 12.71 分,玉米 11.39 分,棉花 0.60 分,农业用水典型调查指标得分 24.70 分。表 4、表 5、表 6 分别为小麦、玉米、棉花灌溉节水评价分析。

表 2 各样本作物种植面积及满分分值

Tab. 2 The planting area and full score of various sample crops

序号	样本作物	种植面积/hm <sup>2</sup>	种植面积权重/%	农业用水典型调查指标满分分值	样本作物满分分值
1	小麦	3 934 430	49.5		13.9
2	玉米	3 871 090	48.7	28	13.6
3	棉花	142 900	1.8		0.5
合计		7 948 420	100		28.0

表 3 典型作物灌溉节水评价指标体系及分级标准 P=50%

Tab. 3 The water-saving evaluation index system and grading standard of typical crop irrigation P=50%

单位: m<sup>3</sup>/亩

作物名称	分区	工程类型	先进	较先进	一般	落后	
小麦	鲁西南	渠道防渗	≤145	>145~≤160	>160~≤175	>175	
		鲁北	渠道防渗	≤171	>171~≤189	>189~≤206	>206
	鲁中	管道输水	≤181	>181~≤216	>216~≤250	>250	
		渠道防渗	≤207	>207~≤229	>229~≤250	>250	
	鲁南	管道输水	≤139	>139~≤166	>166~≤193	>193	
		渠道防渗	≤159	>159~≤176	>176~≤193	>193	
	胶东	渠道防渗	≤141	>141~≤156	>156~≤171	>171	
		管道输水	≤124	>124~≤148	>148~≤171	>171	
	玉米	鲁西南	渠道防渗	≤47	>47~≤52	>52~≤57	>57
		鲁北	渠道防渗	≤100	>100~≤111	>111~≤121	>121
鲁中		管道输水	≤69	>69~≤82	>82~≤95	>95	
		渠道防渗	≤79	>79~≤87	>87~≤95	>95	
鲁南		管道输水	≤38	>38~≤45	>45~≤52	>52	
		渠道防渗	≤48	>48~≤50	>50~≤52	>52	
胶东		管道输水	≤38	>38~≤45	>45~≤52	>52	
		渠道防渗	≤48	>48~≤50	>50~≤52	>52	
棉花	鲁西南	管道输水	≤144	>144~≤172	>172~≤199	>199	
	鲁北	渠道防渗	≤171	>171~≤189	>189~≤207	>207	

注:依据《水利部关于印发小麦等十项用水定额的通知》(水节约〔2020〕9号)和《水利部关于印发水稻等七项农业灌溉用水定额的通知》(水节约〔2020〕214号),全国小麦、玉米和棉花灌溉用水定额单位均采用m<sup>3</sup>/亩,1 hm<sup>2</sup>=15亩。

工业用水典型调查指标。工业用水典型调查指标权重 0.1756,满分 18 分。火电、钢铁、纺织、造纸、石化、化工、食品每个高耗水行业满分 2.57 分。分别选取 10 家企业参与节水评价,单个企业满分 0.26 分,依据企业产品用水量占比确定各产品的满分分值。构建由工业企业单位产品用水量和万元工业增加值用水量构成的高耗水行业节水评价指

标体系,并依据山东省重点工业产品用水定额:第 2 部分、第 4 部分、第 5 部分、第 7 部分、第 8 部分、第 9 部分、第 11 部分<sup>[25-31]</sup>,以先进值、先进值与通用值的均值、通用值为节点划分分级标准。根据企业单位产品用水量和分级标准确定各产品实际得分,加和汇总后得到各企业、各行业分值。山东省节水评价工业用水典型调查指标得分 16.18 分,见表 7。

表4 小麦灌溉节水评价分析  
Tab. 4 The water-saving evaluation of wheat irrigation

分区	典型灌区	灌区类型	工程类型	亩均净用水量/ m <sup>3</sup>	灌溉水利用系数	亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	渠系水利用系数	大中型灌区斗口亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	赋分系数	调查区满分	典型区得分	分区得分	小麦得分
鲁西南	济宁市梁山县陈垓引黄灌区	大型	渠道防渗	124.04	0.56	221.50	0.62	137.33	1.0	1.47	1.47	1.47	
	淄博市高青县刘春家引黄灌区	大型	渠道防渗	134.50	0.58	231.90	0.81	187.84	0.8		9.54		
鲁北	东营市王庄灌区	大型	渠道防渗	106.60	0.56	190.36	0.75	142.77	1.0		11.93		
	德州市李家岸引黄灌区	大型	渠道防渗	157.54	0.57	276.39	0.65	179.65	0.8	11.93	9.54		10.74
	夏津县渡口驿引水灌区	小型	渠道防渗	78.39	0.64	122.48		122.48	1.0		11.93		
鲁中	淄博市临淄区齐陵石庙纯井灌区	小型	管道输水	119.09	0.85	140.11		140.11	1.0		0.24		
	东平县接山镇夏谢二村井灌区	小型	管道输水	106.43	0.84	125.70		125.70	1.0	0.24	0.24		0.24
	肥城市安孙灌区	中型	渠道防渗	101.82	0.58	175.55	0.75	131.66	1.0		0.24		
	寿光市丰产河引弥灌区	中型	渠道防渗	29.89	0.53	56.40	0.81	45.68	1.0		0.24		
鲁南	日照市五莲县河西水库灌区	中型	渠道防渗	64.91	0.67	96.88	0.72	69.75	1.0		0.06		12.71
	日照市岚山区巨峰镇柳古庄村井灌区	小型	管道输水	33.61	0.91	36.93		36.93	1.0		0.06		
	枣庄市市中区西王庄乡冯刘耀村井灌区	小型	管道输水	53.15	0.78	68.14		68.14	1.0	0.06	0.06		0.06
	枣庄市薛城区常庄镇吴庄村井灌区	小型	管道输水	67.29	0.78	86.27		86.27	1.0		0.06		
	即墨区移风店镇官庄村井灌区	小型	管道输水	35.43	0.80	44.29		44.29	1.0		0.20		
胶东	莱西市北墅水库灌区	中型	渠道防渗	41.97	0.59	71.14	0.69	49.08	1.0		0.20		
	栖霞市亭口镇凤山村井灌区	小型	管道输水	80.11	0.81	98.90		98.90	1.0	0.20	0.20		0.20
	烟台市栖霞市翠屏街道黄燕底水库灌区	小型	渠道防渗	79.07	0.57	138.72		138.72	1.0		0.20		

服务业用水典型调查指标。服务业用水典型调查指标权重 0.1602, 满分 16 分。鉴于宾馆、学校、机关、综合医院、洗浴在服务业中用水比重较大, 各选取用水量较大的 10 家单位参与节水评价, 单个用水单位满分 0.32 分。根据《水利部关于印发宾馆等三项服务业用水定额的通知》(水节约[2019]284 号) 和《水利部关于印发综合医院等十一项服务业用水

定额的通知》(水节约[2021]107 号) 确定评价指标分级标准。通过调查获取各样本实际单位用水量, 与分级标准比较后计算出各样本分值。山东省服务业用水典型调查指标得分 14.46 分, 见表 8。

### 2.2.3 统计分析指标

构建区域节水评价统计分析指标评价指标体系和分级标准, 计算得到山东省区域节水评价统计指标得分 35.8 分, 见表 9、表 10。

表 5 玉米灌溉节水评价分析

Tab. 5 The water-saving evaluation of maize irrigation

分区	典型灌区	灌区类型	工程类型	亩均净用水量/ m <sup>3</sup>	灌溉水 利用系数	亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	渠系水 利用系数	大中型灌区斗口 亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	赋分 系数	调查区满分 赋分值	典型区 得分	分区 得分	玉米 得分
鲁西南	济宁市梁山县 陈垓引黄灌区	大型	渠道 防渗	59.05	0.56	105.45	0.62	65.38	0.4	1.43	0.57	0.57	
	淄博市高青县刘春家 引黄灌区渠灌区	大型	渠道 防渗	39.95	0.58	68.88	0.81	55.79	1.0		11.73		
鲁北	德州市李家岸 引黄灌区	大型	渠道 防渗	73.90	0.57	129.65	0.65	84.27	1.0	11.82	11.73	10.57	
	夏津县渡口驿 引水灌区	小型	渠道 防渗	71.97	0.64	112.45		112.45	0.6		7.09		
	德州市武城县 南屯站灌区	小型	渠道 防渗	53.19	0.62	85.79		85.79	1.0		11.73		
	淄博市临淄区 齐陵石庙纯井灌区	中型	管道 输水	64.94	0.85	76.40		76.40	0.8		0.12		
鲁中	东平县接山镇 夏谢二村井灌区	中型	渠道 防渗	68.80	0.84	81.90		81.90	0.8	0.15	0.12	0.13	11.39
	寿光市丰产河 引弥灌区	中型	渠道 防渗	14.76	0.53	27.85	0.81	22.56	1.0		0.15		
鲁南	日照市五莲县 河西水库灌区	中型	渠道 防渗	64.79	0.67	96.70	0.72	69.63	0.4	0.04	0.02	0.02	
	日照市岚山区巨峰镇 柳古庄村井灌区	小型	管道 输水	34.61	0.91	38.03		38.03	0.8		0.03		
	莱西市北墅 水库灌区	中型	渠道 防渗	35.85	0.59	60.76	0.69	41.93	1.0		0.16		
胶东	栖霞市亭口镇 凤山村井灌区	小型	管道 输水	76.02	0.81	93.85		93.85	0.4	0.16	0.06	0.10	
	烟台市栖霞市翠屏街道 黄燕底水库灌区	小型	渠道 防渗	79.09	0.57	138.75		138.75	0.4		0.06		

表 6 棉花灌溉节水评价分析

Tab. 6 The water-saving evaluation of cotton irrigation

分区	典型灌区	灌区类型	工程类型	亩均净用水量/ m <sup>3</sup>	灌溉水 利用系数	亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	渠系水 利用系数	大中型灌区斗口 亩均毛用水量/ m <sup>3</sup>	赋分 系数	调查区满分 赋分值	典型区 得分	分区 得分	棉花 得分
鲁西南	金乡县 化雨井灌区	小型	管道 输水	27.25	0.80	34.06		34.06	1	0.002	0.002	0.002	
	东营市 王庄灌区	大型	渠道 防渗	52.05	0.56	92.95	0.75	69.71	1		0.598		0.60
鲁北	德州市 李家岸 引黄灌区	大型	渠道 防渗	66.05	0.57	115.88	0.65	75.32	1	0.598	0.598	0.598	

### 2.3 节水评价结果

经评价,山东省农业用水指标得分 32.70 分,工业用水指标得分 24.18 分,服务业用水指标得分 14.46 分,生活用水指标得分 9.40 分,综合指标得分 10.40 分,区域节水评价总得分 91.14 分,见表 11。依据区域节水评价指标分级标准,综合评价结果为

节水水平先进。

对各分类指标得分采用式 (3) 归一化<sup>[32]</sup> 为

$$y_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (3)$$

式中:  $x_i$  为指标的实际数值;  $x_{\max}$  与  $x_{\min}$  分别为指标  $x_i$  理论上的最大值和最小值。

通过行业用水指标得分归一化后的数值可以看出,生活用水节水成效最好,其次为工业、农业和服务业。

表 7 山东省高耗水工业行业节水评价得分

Tab. 7 The water-saving evaluation score of high water consumption industry in Shandong Province

高耗水工业行业	节水评价得分
火电	2.46
钢铁	2.03
纺织	2.04
造纸	2.48
石化	2.36
化工	2.39
食品	2.42
合计	16.18

表 8 山东省服务业用水指标节水评价得分

Tab. 8 The water-saving evaluation score of service water consumption index in Shandong Province

服务业	节水评价得分
宾馆	2.75
学校	2.94
机关	3.01
综合医院	2.88
洗浴	2.88
合计	14.46

表 9 统计分析指标评价指标体系及分级标准

Tab. 9 The evaluation index system and grading standard of statistical analysis index

指标	先进	良好	中等	起步
农田灌溉水有效利用系数	$\geq 0.64$	$\geq 0.60 < 0.64$	$\geq 0.55 < 0.60$	$< 0.55$
万元工业增加值用水量/ $m^3$	$\leq 14$	$\geq 14 < 17$	$\geq 17 < 20$	$< 20$
城市居民生活用水量/ [L·(人·d) <sup>-1</sup> ]	$\leq 85.0$	$\geq 85.0 < 102.5$	$\geq 102.5 < 120.0$	$< 120.0$
农村居民生活用水量/ [L·(人·d) <sup>-1</sup> ]	$\leq 70$	$\geq 70 < 80$	$\geq 80 < 90$	$< 90$
公共供水管网漏损率/%	$\leq 10.0$	$\geq 10.0 < 12.5$	$\geq 12.5 < 15.0$	$< 15.0$
万元GDP用水量/ $m^3$	$\leq 16$	$\geq 16 < 33$	$\geq 33 < 50$	$< 50$
非常规水源利用占比/%	$\geq 5$	$\geq 4 < 5$	$\geq 3 < 4$	$< 3$

表 10 统计分析指标节水评价结果

Tab. 10 The results of water-saving evaluation for statistical analysis index

指标	权重	满分	山东省(2020年)	得分
农田灌溉水有效利用系数	0.0791	8	0.646	8.0
万元工业增加值用水量/ $m^3$	0.0798	8	13.8	8.0
城市居民生活用水量/ [L·(人·d) <sup>-1</sup> ]	0.0325	3	82	3.0
农村居民生活用水量/ [L·(人·d) <sup>-1</sup> ]	0.0325	3	74	2.4
公共供水管网漏损率/%	0.0425	4	9	4.0
万元GDP用水量/ $m^3$	0.0810	8	30.4	6.4
非常规水源利用占比/%	0.0385	4	5.3	4.0
得分				35.8

表 11 山东省区域节水评价结果

Tab. 11 The results of regional water-saving evaluation of Shandong Province

指标分类	指标	满分	得分	归一化
农业用水指标	灌溉作物亩均用水量	28	24.70	0.91
	农田灌溉水有效利用系数	8	8.00	
工业用水指标	工业企业单位产品用水量	18	16.18	0.93
	万元工业增加值用水量	8	8.00	
服务业用水指标	单个服务业单位用水量	16	14.46	0.90
生活用水指标	城市居民生活用水量	3	3.00	0.94
	农村居民生活用水量	3	2.40	
	公共供水管网漏损率	4	4.00	
综合用水指标	万元GDP用水量	8	6.40	0.87
	非常规水源利用替代水资源占比	4	4.00	
总分		100	91.14	91.14

### 3 结果与讨论

#### 3.1 用水量变化趋势

用水总量和行业用水量可以直接体现一个地区

的用水量变化趋势和用水结构,可以在一定程度上反映该地区的经济结构<sup>[33]</sup>。根据山东省 2011—2020 年水资源公报,山东省近 10 年平均总用水量 217.35 亿  $m^3$ ,用水结构没有明显改变,产业用水量

占总用水量的 82.91%，其中，农业用水量最大，占总用水量的 65.53%。各年度用水情况见图 1。



图 1 山东省 2011—2020 年行业用水量统计

Fig. 1 Statistics of industrial water consumption in Shandong Province from 2011 to 2020

山东省通过实施小型农田水利重点县、千亿斤粮食、高标准农田建设等田间节水灌溉工程，农业节水措施全面推行，农业用水总体呈明显下降趋势，用水总量从 2011 年的 154.26 亿  $m^3$  降低到 2020 年的 134.04 亿  $m^3$ ，下降幅度为 13.1%；工业年平均用水量 30.27 亿  $m^3$ ，随着社会发展用水量呈波动上升趋势；城镇公共和居民生活年平均用水量分别为 7.52 亿  $m^3$ 、27.07 亿  $m^3$ ，整体呈平稳上升趋势，上升幅度不大。

### 3.2 行业节水水平

山东省高度重视节水工作，建立了国家、省、市三级重点监控用水单位名录，制修订并发布了农业、工业、服务业、生活用水定额地方标准。将年用水量 1 万  $m^3$  以上的工业企业、服务业和公共机构等非居民用水户全部纳入计划用水管理范围。全省节水型企业、节水高校建成率分别达到 85.6% 和 26.8%，累计有 119 个县(市、区)达到县域节水型社会建设标准，占全省县(市、区)总数的 88%。

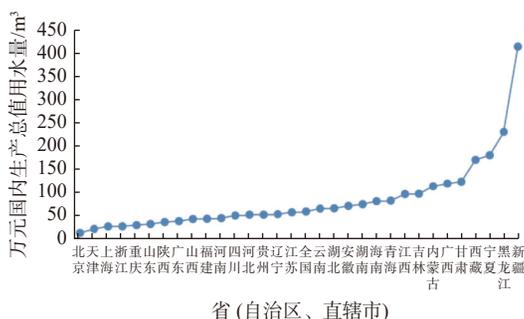
山东省是农业大省、粮食生产大省。目前全省已建成各类灌区 148 197 处，其中大型灌区 50 处、中型灌区 444 处、小型灌区 14.77 万处。全省耕地面积 7 572 485  $hm^2$ ，有效灌溉面积 5 293 560  $hm^2$ ，节水灌溉面积达到 3 733 335  $hm^2$ ，占有效灌溉面积的 70.53%，高于全国(我国 31 个省、自治区、直辖市，不含港澳台，下文简称全国平均水平)52.93%，规模居全国第三位。农田实灌面积 4 805 382  $hm^2$ ，农田灌溉亩均用水量 160  $m^3$ ，不到全国灌溉亩均用水量的一半。农田灌溉水有效利用系数逐年提升，2020 年达到 0.646，比全国平均水平高 14%，位居全国第五位。

近年来，随着深度节水控水行动的实施，全省万元国内生产总值用水量、万元工业增加值用水量、城市居民生活用水量逐年下降。2020 年全省万元 GDP 用水量 30.4  $m^3$ /万元，是全国平均水平 54%，位居全国第六位；规模以上工业企业水重复利用率达到 90% 以上，万元工业增加值用水量 13.8  $m^3$ /万元，远低于全国平均水平 32.9  $m^3$ /万元，位居全国第四位；服务业实现增加值 39 153.1 亿元，用水量 8 亿  $m^3$ ，万元服务业增加值用水量 2.04  $m^3$ ；城市居民生活用水量 82 L/(人·d)，比全国平均水平低 33.8%。

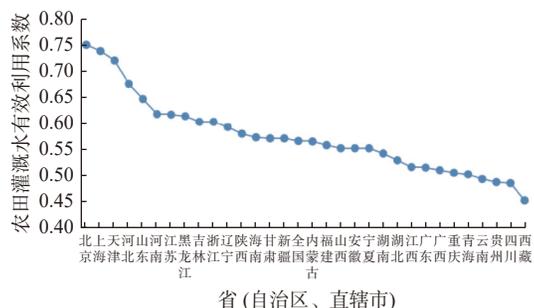
各省(自治区、直辖市)节水水平折线图见图 2。山东省 2015—2020 年用水效率变化见图 3。

### 3.3 总体节水水平

山东省水资源紧缺，通过充分挖掘行业节水潜力，完善节水体制机制，增强社会节水意识，区域节水水平总体处于全国前列。运用基于用水定额的区域节水评价方法求得山东省 2015—2020 年区域节水评价得分分别为 90.05 分、90.14 分、90.73 分、90.46 分、90.96 分和 91.14 分，区域节水评价结果与评价区域实际节水情况基本一致。



(a) 万元国内生产总值用水量



(b) 农田灌溉水有效利用系数

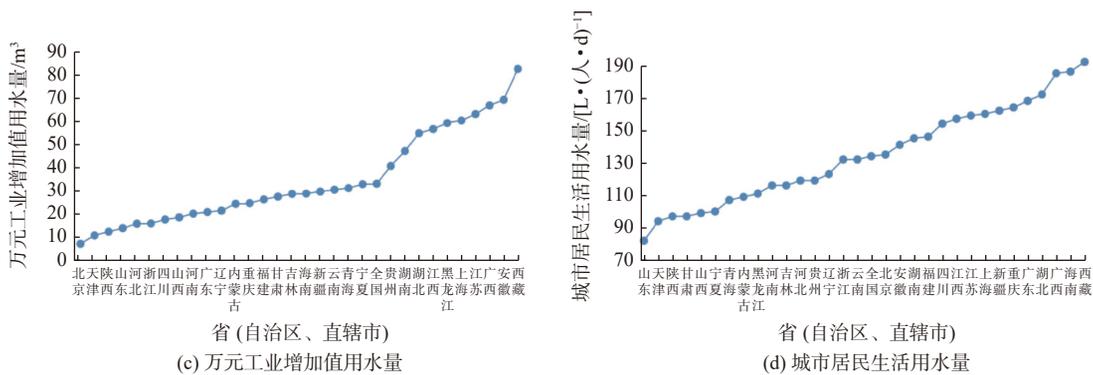


图2 全国各省(自治区、直辖市)节水水平

Fig. 2 Water-saving level line chart of provinces (autonomous regions, municipalities) in China

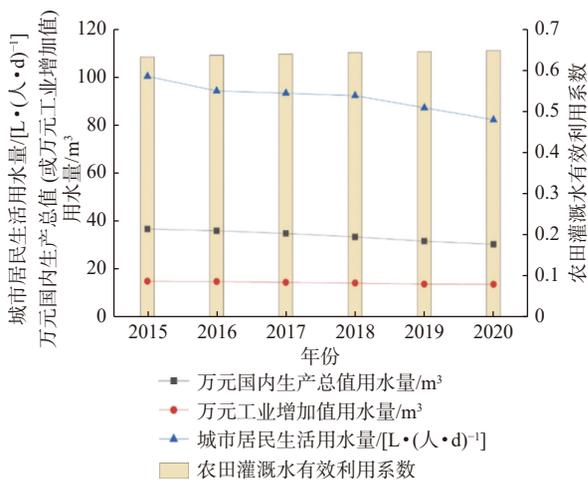


图3 山东省2015—2020年用水效率变化

Fig. 3 Change of water use efficiency in Shandong Province from 2015 to 2020

### 3.4 省内各地市节水水平

将基于用水定额的区域节水评价方法应用到山东省内各地市,得到山东省内各地市节水水平。结果显示:区域节水水平先进的地市有12个,得分区间为[90.27, 95.50];节水水平良好的地市有4个,得分区间为[87.85, 89.90];节水水平先进的地市占75%。从评价结果可以看出,山东省节水水平空间分布情况,东部(烟台、威海、青岛)和中部(济南、潍坊、泰安、淄博)地区高于南部(枣庄、日照、临沂、济宁)和北部(东营、德州、滨州)及西部(聊城、菏泽)地区,水资源越紧缺的地区节水水平越高。见图4。

## 4 结论

合理的评价指标体系、分级标准以及评价方法对区域节水水平评价至关重要,采用典型调查和用水定额相结合的评价模型,对我国华北缺水地区进行节水水平评价,得出以下结论:

综合考虑影响区域节水水平的行业用水和综合

用水等主要因素,建立由典型调查指标和统计分析指标构成的我国华北缺水地区节水评价指标体系,通过典型调查得到单位用水量,并与区域统计指标有效结合,兼顾社会用水点对区域节水水平的影响。基于国家和省级用水定额标准,构建与用水定额相结合的节水评价指标分级标准,使等级划分更合理,在一定程度上消除各评价指标的分级对评价结果的影响。

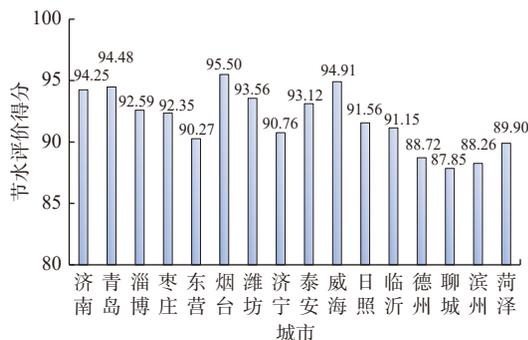


图4 山东省各地市节水评价结果

Fig. 4 Results of water-saving evaluation of cities in Shandong Province

2011—2020年山东省用水总量呈现先减少后增加再减少的趋势,用水结构没有明显改变,其中,农业用水量最大,呈明显下降趋势。通过用水效率对比可以看出,近年来山东省通过深度节水控水,用水效率逐年提高,行业节水水平处于全国前列。2015—2020年区域节水评价结果表明:山东省处于先进节水水平,评价结果与实际情况较一致。山东省各地市区域节水评价结果显示:节水水平先进的地市占75%,节水水平东部和中部地区高于南部、北部及西部地区。基于用水定额的区域节水评价方法可行,具有较广泛的适用性。

下一步,需要研究我国不同地区的节水评价方法,建立从全国到地方的多层次综合评价指标体系,并从时间序列上对区域节水水平进行比较。为提

高评价基础数据的可靠性,建议加强工业用水、农业用水及服务业用水的计量工作,不断适应节水工作的需要。

#### 参考文献:

- [1] 侯传河,林德才,汪党献,等.实施节水评价限制用水浪费[J].中国水利,2020(7):23-28. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2020.07.009.
- [2] 臧聪敏,王双银.基于聚类分析及综合权重的全国节水水平评价[J].节水灌溉,2019(9):100-104. DOI: 10.3969/j.issn.1007-4929.2019.09.022.
- [3] 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.nsbdqk.2017.06.027.
- [4] 周振民,李延峰,范秀,等.基于AHP和改进熵权法的城市节水状况综合评价研究[J].中国农村水利水电,2016(2):37-41. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2016.02.010.
- [5] 吕平,马娟娟.基于逼近理想解法的汾河流域节水灌溉发展水平评价[J].节水灌溉,2018(12):77-81. DOI: 10.3969/j.issn.1007-4929.2018.12.016.
- [6] 张欣莹,解建仓,刘建林,等.基于熵权法的节水型社会建设区域类型分析[J].自然资源学报,2017,32(2):127-135. DOI: 10.11849/zrzyxb.20160262.
- [7] 王瑛,陈远生,朱龙腾,等.北京市高校行业用水评价指标体系构建[J].自然资源学报,2014,29(5):839-846. DOI: 10.11849/zrzyxb.2014.05.011.
- [8] 范海燕,朱丹阳,郝仲勇,等.基于AHP和ArcGIS的北京市农业节水区划研究[J].农业机械学报,2017,48(3):288-293.
- [9] 楼豫红,康绍忠,崔宁博,等.基于集对分析的区域节水灌溉发展水平综合评价模型构建与应用:以四川为例[J].四川大学学报(工程科学版),2014,46(2):20-28. DOI: 10.15961/j.jsuese.2014.02.020.
- [10] 蒋光昱,王忠静,索滢,等.西北典型节水灌溉技术综合性能的层次分析与模糊综合评价[J].清华大学学报(自然科学版),2019,59(12):981-989. DOI: 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2019.26.015.
- [11] 郑和祥,李和平,郭克贞,等.基于信息熵和模糊物元模型的牧区节水灌溉项目后评价[J].水利学报,2013,44(S1):57-65. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2013.s1.028.
- [12] 秦长海,赵勇,李海红,等.区域节水潜力评估[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(1):36-42. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0003.
- [13] 阳眉剑,吴深,于赢东,等.农业节水灌溉评价研究历程及展望[J].中国水利水电科学研究院学报,2016,14(3):210-218. DOI: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2016.03.009.
- [14] 楼豫红,康绍忠,崔宁博,等.四川省灌溉管理节水发展水平综合评价模型构建与应用[J].农业工程学报,2014,30(4):79-89. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.04.011.
- [15] 范习超,秦京涛,徐磊,等.大型灌区节水水平评价指标体系构建与实证[J].农业工程学报,2021,37(20):99-107. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.20.011.
- [16] 张晓斌,傅渝亮,汪顺生,等.基于AHM-CRIT-IC赋权的城市综合节水水平评价研究[J].人民长江,2021,52(8):113-119. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2021.08.017.
- [17] 水利部发布105项国家用水定额 基本建立全面系统的用水定额体系 [EB/OL]. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/1215/c1004-32308655.html>,2021-12-15/2022-05-25.
- [18] 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. DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2011.06.001.
- [19] 张熠,王先甲.节水型社会建设评价指标体系构建研究[J].中国农村水利水电,2015(8):118-120,125. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2015.08.031.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.用水定额编制技术导则:GB/T 32716—2016 [S].北京:中国标准出版社,2017.
- [21] 赵林清.基于物元可拓分析法的节水型社会建设评价研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2022,43(1):76-81. DOI: 10.19760/j.ncwu.zk.2022010.
- [22] 中华水利学会.区域节水评价方法(试行):T/CHES 46—2020 [S].北京:中国水利水电出版社,2021.
- [23] 山东省统计局,国家统计局山东调查总队.山东统计年鉴2021[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [24] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省农业用水定额:DB37/T 3772—2019 [S].济南,2019.
- [25] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第2部分:纺织行业重点工业产品:DB37/T 1639.2—2020 [S].济南,2020.
- [26] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第4部分:化学原料和化学制品制造业重点工业产品:DB37/T 1639.4—2019 [S].济南,2019.
- [27] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第5部分:石油、煤炭及其他燃料加工业重点工业产品:DB37/T 1639.5—2019 [S].济南,2019.
- [28] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第7部分:金属冶炼和压延加工业重点工业产品:DB37/T 1639.7—2019 [S].济南,

- 2019.
- [29] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第8部分:电力、热力生产和供应业重点工业产品:DB37/T 1639.8—2019 [S]. 济南, 2019.
- [30] 山东省市场监督管理局,山东省水利厅.山东省重点工业产品用水定额 第9部分:造纸和纸制品业重点工业产品:DB37/T 1639.9—2019 [S]. 济南, 2019.
- [31] 山东省市场监督管理局.山东省重点工业产品用水定额 第11部分:食品制造业重点工业产品:DB37/T 1639.11—2020 [S]. 济南, 2020.
- [32] 秦越,徐翔宇,许凯,等.农业干旱灾害风险模糊评价体系及其应用[J].*农业工程学报*, 2013, 29(10): 83-91. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.
- [33] 张志旭,宋孝玉,刘晓迪,等.咸阳市用水量变化驱动效应与节水评价[J].*水资源与水工程学报*, 2020, 31(6): 73-79. DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2020.06.12.

## Evaluation and application of regional water saving based on water quota

ZHANG Xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Baoxiang<sup>1,2</sup>, LI Bing<sup>1,2</sup>, WU Zhen<sup>1,2</sup>

(1. Water Research Institute of Shandong Province, Jinan 250014, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Water-saving evaluation is an important measure to implement the idea of “water-saving priority, spatial balance, systematic governance, and two-hand efforts”. Research on regional water-saving evaluation mainly focused on the construction of a water-saving evaluation index system, and statistical indexes are mostly used to construct an evaluation index system, which is lacking in effective grading standards. China began to gradually implement water quota management in the 1970s. A comprehensive and systematic water quota system had been established. A set of regional water-saving evaluation index systems composed of typical investigation indexes and statistical analysis indexes were proposed, given the problems that need to be improved in the current water-saving evaluation. A set of water-saving evaluation standards and methods were explored and established, which was combined with the current water quota. It was applied in the water shortage areas of north China to provide a reference for the development of regional water-saving work.

The regional water-saving evaluation index system was established, including the agricultural water index, industrial water index, service water index, domestic water index, and comprehensive water index, according to the principle of representativeness, operability, and easy quantification. The agricultural water index includes water consumption per mu of irrigated crops and water efficiency of irrigation. The industrial water consumption index is comprised of water consumption per unit product of industrial enterprise and water consumption of ten thousand yuan industrial added value. The service industry water consumption index is involved in water consumption per unit of a single service industry. The domestic water consumption index includes the domestic water consumption of urban residents, the domestic water consumption of rural residents, and the leakage rate of the public water supply network. The comprehensive water consumption index consists of water consumption of ten thousand yuan gross domestic product and the proportion of unconventional water use. Among them, water consumption per mu of irrigated crops, water consumption per unit product of industrial enterprise, and water consumption per unit service industry are typical survey indexes, and other indexes are statistical analysis indexes.

The evaluation standard of regional water-saving was also established and divided into four levels: advanced, good, general and initial, taking the advanced value, the average value of advanced value and general value, and the general value as three nodes. The regional water-saving evaluation results were divided into four grades according to the total score: advanced ( $\geq 90$  points), good ( $\geq 80$ -<90 points), medium ( $\geq 70$ -<80 points) and initial (<70 points). The regional water-saving evaluation was scored by a percentage system. The weight of each evaluation index was determined by the analytic hierarchy process. The grading standards of each statistical analysis index were established based on data released by the relevant national or local administrative departments, and the full score and actual score of each index were calculated. The grading standards of typical investigation indexes were established

based on national or provincial water quota standards. The water consumption per mu of a single crop, the water consumption per unit product of high water consumption industrial enterprise, and the water consumption per unit of a single service industry were obtained through a typical survey, and the full score and actual score of typical survey indexes were calculated. The total score of the regional water-saving evaluation was obtained by adding and summarizing the scores of each evaluation index. The regional water-saving level was got according to the grading standard.

The regional water-saving evaluation method based on water quota was applied to Shandong Province, and the scores of the agricultural water use index, industrial water use index, service water use index, domestic water use index, and comprehensive index were 32.70, 24.18, 14.46, 9.40 and 10.40, respectively. The total score of the regional water-saving evaluation was 91.14. The comprehensive evaluation result was an advanced level of water-saving, according to the grading standard of the regional water-saving evaluation index.

Shandong Province was short of water resources. The potential of water-saving in the industry was tapped, the water-saving system and mechanism were improved, and the social water-saving consciousness was enhanced, through the implementation of deep water-saving and water-control actions. The regional water-saving level was generally at the forefront of our country. The scores of regional water-saving evaluation by using the regional water-saving evaluation method based on water use quota from 2015 to 2020 were 90.05, 90.14, 90.73, 90.46, 90.96, and 91.14, respectively, in Shandong Province. The water-saving evaluation results were consistent with the actual water-saving situation in the evaluation region.

Reasonable evaluation index systems, grading standards, and evaluation methods are very important for regional water-saving level evaluation. The evaluation model combining typical investigation and water quota was proposed to evaluate the water-saving level of water shortage areas in north China. The following conclusions were drawn. The water-saving evaluation index system of water shortage areas in north China was established, which was composed of typical survey indicators and statistical analysis indicators, considering the main factors such as industrial water use and comprehensive water use that affect the regional water-saving level. The water consumption per unit was obtained through typical investigation and effectively combined with regional statistical indicators. Based on the national and provincial water quota standards, the classification standard of the water-saving evaluation index combined with the water quota was constructed, which made the classification more reasonable and eliminated the influence of the classification of each evaluation index on the evaluation result to a certain extent. Total water consumption in Shandong Province from 2011 to 2020 showed a decreasing-increased-decreasing trend. The water structure had not changed significantly. Among them, agricultural water consumption was the largest. It showed a significant downward trend. In recent years, the water efficiency of Shandong Province had been improved through deep water-saving, and the water-saving level of the industry was at the forefront of the country. The results of the regional water-saving evaluation from 2015 to 2020 showed that Shandong Province was in the advanced water-saving level, and the evaluation results were quite consistent with the actual situation. The regional water-saving evaluation method based on water quota was feasible and applicable. However, it is still necessary to study the water-saving evaluation methods in different regions of China, establish a multi-level comprehensive evaluation index system for a whole country, and compare the water-saving levels in different regions from the time series. To improve the reliability of basic evaluation data, it is suggested to strengthen the measurement of industrial water, agricultural water, and service water, and constantly adapt to the needs of water-saving.

**Key words:** water-saving evaluation; assessment index system; grading standard; water quota; typical investigation