

灌溉用水效率评价指标及模型构建与实例应用

李绍飞^{1,2} 余萍¹ 孙书洪¹

(1. 天津农学院 水利工程学院,天津 300384;

2. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300072)

摘要 针对灌溉用水效率尚未形成一套能够全面反映灌区灌溉工程状况、用水管理和灌溉技术水平,且概念合理、易于推广应用的指标体系等问题,在对不同类型灌区进行实地调研的基础上,结合我国灌区用水实际,从种植结构、工程状况、管理水平、用水指标等方面探讨农田灌溉用水效率指标,明确各指标的计算方法。依据现有规划、规范及发展现状,借鉴国内外农业用水的先进水平,界定了灌溉用水效率的评价等级,分别针对大、中、小型灌区提出了单项指标的分级标准,构建评价模型。选取东北、西北和华北地区的11个典型灌区进行实例应用,结果表明:干桥湾灌区用水效率接近高效,双树西渠灌区和塘角渠灌区用水效率较高效,白崖渠灌区和北川渠灌区为中等水平,其他灌区用水效率均为低效和较低效水平。所得结论与实际情况基本一致,验证了指标体系、评价标准及模型的合理性和可行性。

关键词 灌溉用水;效率;评价指标;评价模型;分级标准

中图分类号 S 274

文章编号 1007-4333(2014)03-0188-08

文献标志码 A

Evaluation index of irrigation water efficiency and case verification

LI Shao-fei^{1,2}, YU Ping¹, SUN Shu-hong¹

(1. School of Hydraulic Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract Irrigation water efficiency assessment index reflects the irrigation project status, the irrigation water management level and irrigation technique level. However, there is no universal assessment index system for all types of irrigation areas. In this paper, on the basis of the abundant practical investigation, combining the actual situation of irrigation area, the irrigation water efficiency assessment index was put forward and corresponding calculation formula was defined. Referring to the advanced irrigation water use efficiency both domestic and abroad, water use efficiency classification was determined, and gradation standards for large-sized, medium-sized and small-sized irrigation area were proposed. Based on fuzzy theory, a model for irrigation water use efficiency evaluation was established, and it was applied to typical irrigation area as a case study. The result shows that irrigation water efficiency of Ganqiaowan irrigation area is close to high level, meanwhile Shuangshuxiqu irrigation area and Tangjiaoqu irrigation area are a little bit higher level, and the others are medium level or less than medium level. That the result is consistent with the actual situation verifies the rationality and practicality of the above assessment index, standards and model.

Key words irrigation water; efficiency; evaluation index; evaluation model; gradation standards

提高水资源的利用效率是解决水资源短缺的重要手段。2011年,中央一号文件确立了用水总量、用水效率和水功能区限制纳污的“三条红线”;2012年,水利部颁发的《关于印发节水型社会建设“十二

五”规划的通知》指出,到2015年水资源的利用效益和效率大幅度提高。截至2010年底,全国农业用水量占总用水量的61.3%,其中农田灌溉用水占90%左右。与发达国家相比,我国农业用水比重偏大,用

收稿日期:2013-04-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51179117)

第一作者:李绍飞,副教授,博士,主要从事水文与水资源问题研究,E-mail:lishaofei79@126.com

水效率低、用水短缺与浪费问题并存是我国农业用水的特征。长期以来,我国农业灌排工程老化失修严重,水利工程产权制度和供水管理体制改革相对滞后,没有形成合理的用水水价,用水严重浪费,农业节水潜力很大。

灌溉用水效率指标综合反映了不同尺度灌溉工程的工程状况、用水管理水平和灌溉技术水平,建立健全科学的灌溉用水效率指标体系和评价模型,可以正确评估灌溉水的有效利用程度、节水灌溉发展成效及存在问题。在国外,灌区状况诊断评价法的研究受到高度重视,美国农业部推荐了几种节水灌溉系统评价的方法^[1],即根据系统的灌水强度、灌水深度、系统的供水能力、灌水均匀度、水量损失、管网造价与能耗以及灌水可能对作物产生的损害等7个方面进行评价。世界银行(WB)、国际水管理研究院(IWMI)等几个国际机构联合编制了一套灌区综合评价指南,被广泛推广使用,指南中所建议的评价指标主要包括系统运行状况、经济效益、生产效率及环境影响4个方面,共有33个评价指标^[2-3]。在国内,常用的灌溉用水指标大致包括:灌溉水利用系数、渠道水利用系数、渠系水利用系数、田间水利用系数,尽管各规范对相关指标定义有所差异,但内涵基本一致,大部分的农业用水效率研究是采用上述单个或几个指标值进行描述^[4]。蔡守华等针对上述指标存在的术语表述与国际通用的表述方式不相符、定义不严密、体系不完善等问题,进行了修正^[5]。农业用水效率评价方面,在区域农业资源利用效率评估和区域水资源效率综合评价的研究中^[6-9],涉及到了部分指标,这些研究成果均是适用于区域尺度的,不适用于具体灌区的灌溉用水效率评价。针对灌区用水效率的研究成果,大多集中在灌区节水灌溉效益和节水农业效益方面^[10-14],关于灌区用水效率评价的研究尚不多见。因此,探讨概念合理、在实际中易于操作的灌溉用水效率指标体系和评价方法十分必要。

本研究在对大、中、小型灌区用水情况调研资料的整理分析基础上,分析制约灌溉水利用效率的主要因素及其内在有机联系,拟构建一套科学合理的灌溉用水效率指标体系,并参考灌溉用水现状及国内外的先进用水指标,界定单项指标分级标准;在此基础上,运用模糊综合评价模型,在典型灌区上进行实例应用,以期验证指标体系、分级标准及评价模型的合理性和可行性。

1 灌溉用水效率评价指标体系

1.1 灌溉用水效率评价指标体系的构建

文献^[15]和^[16]从不同层面提出了农业用水效率指标体系,但总体上研究成果不多,尚未建立一套对于大、中、小型等不同规模灌区均具有普遍适用性、易于推广的指标体系及分级标准。原因主要包括:1)不同灌溉用水效率指标术语内涵不明确,导致在不同条件下很多指标被混用;2)有些指标或框架在强调理论及概念合理性的同时,忽略了实用性,许多计算要素在实际应用时难以确定。

农田灌溉用水效率与灌区的种植结构、工程状况和管理水平密切相关,工程设施状况的续建和完善为提高灌溉用水效率提供了基础条件,种植结构的优化和用水管理水平的加强可以显著减少非工程性水量损失。本研究通过通过对东北、华北和西北典型灌区的用水情况实地调研,充分考虑影响农田灌溉用水效率的主要因素,遵循指标体系构建的科学性、可操作性、简洁性和针对性原则,借鉴已有研究成果,初步确定评价指标,后通过对从事农业用水方面的专家学者、一线生产人员和灌区管理人员的咨询与论证,经过检验与修正,最终以种植结构、工程状况、管理水平、用水指标为准则层指标构建了一套能够全面反映灌溉用水效率影响因素、概念合理、易于量化、对大、中、小型灌区普遍适用的灌溉用水效率指标体系(图1)。

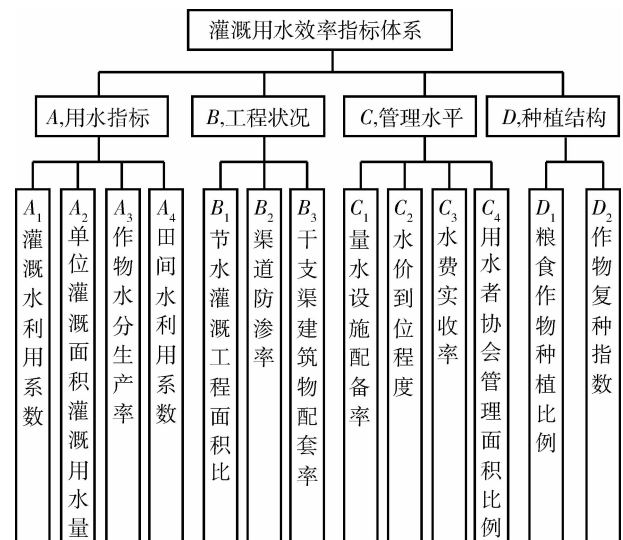


图1 灌溉用水效率评价指标体系

Fig. 1 Index system for irrigation water efficiency evaluation

1.2 指标选取理由及计算方法

底层指标 $A_1 \sim A_4$ 反应了灌区的综合用水水平。 A_1 为灌溉水利用系数,是指某一时期灌入田间可被作物利用的水量与水源地灌溉取水总量的比值,反映了全灌区渠系输水和田间用水状况,是衡量从水源取水到田间作物吸收利用过程中灌溉水利用程度的重要指标,能综合反映灌区灌溉工程状况、用水管理水平、灌溉技术水平以及用水现状。传统的计算公式在实际应用中比较复杂,本研究采用裴源生提出的公式:

$$A_1 = 10 \times \left(\sum_{i=1}^n M_i \times S_i \right) / W_a \times 100\% \quad (1)$$

式中: M_i 为第 i 种作物净灌溉用水量, mm; S_i 为第 i 种作物实灌面积, hm^2 ; W_a 为灌区全年毛灌溉用水量, m^3 ; n 为作物种类。式(1)更适合于在实际中应用。 A_2 为单位灌溉面积灌溉用水量,采用年净灌溉用水量与年实际灌溉面积的比值计算。 A_3 为作物水分生产效率,衡量了农业水资源的生产效率,采用作物产量与净灌溉用水量的比值来计算。 A_4 为田间水利用系数,反映了灌溉用水在田间的利用率,标志田间工程状况和管理水平以及灌水技术水平,采用式(2)计算

$$A_4 = \sum_{i=1}^n M_i \times S_i / W_a \quad (2)$$

指标 B_1 为节水灌溉工程面积比,反映灌区各种工程类的节水措施建设程度; B_2 为渠道防渗率,反映渠道的建设情况,也能够反映出渠系水的有效利用程度; B_3 为干支渠建筑物配套率。 B_1 、 B_2 和 B_3 反映了灌区的工程建设及运行情况。 B_1 采用节水灌溉工程面积与有效灌溉面积的百分比计算,节水灌溉工程面积根据 GB/T 50363—2006《节水灌溉工程技术规范》确定。 B_2 采用干支斗农渠的防渗面积总和与干支斗农渠最大过水表面积总和的百分比计算。 B_3 采用干支渠上实际可用的建筑物座数与设计建筑物座数的百分比计算。

$C_1 \sim C_4$ 分别从量水设施配备情况、水价、水费征收情况以及农户的参与程度等方面反应了灌区的用水管理水平。指标 C_1 为量水设施配备率,采用渠道上完好量水设施座数与应设量水设施座数的百分比计算; C_2 为水价到位程度,采用实际水价与成本水价的百分比计算,其中成本水价除包括年运行、维

修及管理费用,还包括折旧费用。 C_3 为水费实收率,采用水费总收入与应征收水费的百分比计算; C_4 为用水者协会管理面积比例,采用用水者协会管理面积与有效灌溉面积的百分比计算。

指标 D_1 为粮食作物种植比例, D_2 为复种指数, D_1 、 D_2 反应了灌区作物的种植结构对用水的影响。 D_1 采用粮食作物种植面积与作物种植总面积的百分比计算, D_2 采用全年收获总面积与灌区总耕地面积的百分比计算。

2 评价等级与分级标准

依据现有规划、规范及国内灌溉用水的发展现状,结合我国灌区实际,借鉴国内外先进节水指标,将农田灌溉用水效率由低到高划分成 I 级, II 级, III 级, IV 级, V 级 5 个评价等级,分别代表了“灌溉用水效率很高”、“灌溉用水效率高”、“灌溉用水效率中等”、“灌溉用水效率低”、“灌溉用水效率很低”5 种水平。“灌溉用水效率很高”可描述为:工程设施配套齐全,运行状况好,采用节水灌溉技术,种植结构合理,用水管理水平很高,用户节水意识强,用水指标达到先进水平;“灌溉用水效率高”为:工程设施建设状况好,大面积采用节水灌溉技术,种植结构合理,用水管理水平高,用水指标接近先进水平;“灌溉用水效率中等”为:工程设施建设及运行情况为平均水平,节水灌溉工程面积比例不高,管理水平不高,用水指标中等;“灌溉用水效率低”为:工程设施建设少,节水灌溉技术的应用少,用水管理水平低,用水指标低于平均水平;“灌溉用水效率很低”为:工程设施少,很少采用节水灌溉技术,用水管理水平很低,用水指标明显低于平均水平。5 个评价等级具有较明确的判别标准和区分界限,可看作是农田灌溉水利用效率高低程度的表征。

单指标的分级标准,是评价工作中的重要依据,但目前灌溉用水效率评价尚没有统一的国家标准,主要原因是区域间气象地理条件及种植结构差别较大,可利用的农业水资源数量和质量不同,社会发展水平也有较大差异。本研究依据 GB/T 50363—2006《节水灌溉工程技术规范》等规划和规范,结合我国灌溉用水实际,参考节水型社会建设目标及国内外农业用水的先进程度,分别针对大、中、小型灌区建立了与 5 个评价等级相对应的分级标准(表 1~表 3)。

表 1 大型灌区灌溉用水效率指标分级标准

Table 1 Gradation standards for irrigation water efficiency index in large-sized irrigation area

评价指标 Evaluation index		I 级 Level I	II 级 Level II	III 级 Level III	IV 级 Level IV	V 级 Level V
A ₁ , 灌溉水利用系数	Irrigation water use efficiency	≤0.30	0.40	0.50	0.65	≥0.75
A ₂ , 单位灌溉面积 灌溉用水量/ (m ³ /667 m ²)	年均降雨量≤400 mm Annual average precipitation less than 400 mm	≥350	300	250	200	≤150
Irrigating water volume unit area	400 mm<年均降雨量≤800 mm	≥250	200	150	100	≤50
	Annual average precipitation more than 400 mm and less than 800 mm					
	年均降雨量>800 mm Annual average precipitation more than 800 mm	≥200	150	100	50	0
A ₃ , 作物水分 生产率/(kg/m ³)	粮食作物比例≤20% Food crops ratio less than 20 percent	≤1.5	2.0	3.0	4.0	≥5.0
	20%<粮食作物比例≤50% Food crops ratio more than 20 percent and less than 50 percent	≤1.0	1.5	2.0	2.5	≥3.0
	50%<粮食作物比例≤80% Food crops ratio more than 50 percent and less than 80 percent	≤0.5	1.0	1.5	2.0	≥2.5
	粮食作物比例>80% Food crops ratio more than 80 percent	≤0.4	0.8	1.2	1.6	≥2.0
A ₄ , 田间水利用系数	Field water use efficiency	≤0.80	0.85	0.88	0.90	≥0.92
B ₁ , 节水灌溉工程面积比/%	Water saving irrigation project ratio	≤10	25	40	55	≥70
B ₂ , 渠道防渗率/%	Ratio of seepage prevention canal	≤10	25	40	55	≥70
B ₃ , 干支渠建筑物配套率/%	Ratio of structures on main and sub-main canal	≤20	40	60	70	≥80
C ₁ , 量水设施配备率/%	Ratio of water-measuring devices	≤20	40	60	80	100
C ₂ , 水价到位程度/%	Ratio of cost price to expropriation price	≤50	75	100	150	≥200
C ₃ , 水费实收率/%	Ratio of water cost expropriation	≤20	40	60	80	100
C ₄ , 用水者协会管理面积比例/%	Ratio of water user association management area	≤20	40	60	80	100
D ₁ , 粮食作物种植比例/%	Planting proportion of food crops	≥80	65	50	35	≤20
D ₂ , 作物复种指数/%	Multiple cropping index	≤100	125	150	175	≥200

表2 中型灌区灌溉用水效率指标分级标准

Table 2 Gradation standards for irrigation water efficiency index in middle-sized irrigation area

评价指标 Evaluation index		I级 Level I	II级 Level II	III级 Level III	IV级 Level IV	V级 Level V
A_1 , 灌溉水利用系数	Irrigation water use efficiency	≤ 0.40	0.50	0.60	0.70	≥ 0.80
A_3 , 作物水分 生产率/(kg/m ³)	粮食作物比例 $<20\%$ Food crops ratio less than 20 percent	≤ 1.5	2.0	3.0	4.0	≥ 5.0
Crop water productivity	$20\% \leq$ 粮食作物比例 $<50\%$ Food crops ratio more than 20 percent and less than 50 percent	≤ 0.8	1.6	2.4	3.2	≥ 4.0
	$50\% \leq$ 粮食作物比例 $<80\%$ Food crops ratio more than 50 percent and less than 80 percent	≤ 0.5	1.0	1.5	2.0	≥ 2.5
	粮食作物比例 $\geq 80\%$ Food crops ratio more than 80 percent	≤ 0.4	0.8	1.2	1.6	≥ 2.0
A_4 , 田间水利用系数	Field water use efficiency	≤ 0.80	0.85	0.90	0.92	≥ 0.95
B_1 , 节水灌溉工程面积比/%	Water saving irrigation project ratio	≤ 20	35	50	65	≥ 80
B_2 , 渠道防渗率/%	Ratio of seepage prevention canal	≤ 20	35	50	65	≥ 80
B_3 , 干支渠建筑物配套率/%	Ratio of structures on main and sub-main canal	≤ 25	45	65	75	≥ 85

注:其他指标的分级标准同大型灌区(表1)。下表同。

Note: The values of other index are the same as those of large irrigation area (shown in Tab. 1). The same below.

表3 小型灌区灌溉用水效率指标分级标准

Table 3 Gradation standards for irrigation water efficiency index in small-sized irrigation area

评价指标 Evaluation index		I级 Level I	II级 Level II	III级 Level III	IV级 Level IV	V级 Level V
A_1 , 灌溉水利用系数	Irrigation water use efficiency	≤ 0.45	0.55	0.65	0.75	≥ 0.85
A_3 , 作物水分 生产率/(kg/m ³)	粮食作物比例 $<20\%$ Food crops ratio less than 20 percent	≤ 2.0	3.0	4.0	5.0	≥ 6.0
Crop water productivity	$20\% \leq$ 粮食作物比例 $<50\%$ Food crops ratio more than 20 percent and less than 50 percent	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	≥ 5.0
	$50\% \leq$ 粮食作物比例 $<80\%$ Food crops ratio more than 50 percent and less than 80 percent	≤ 0.5	1.0	1.5	2.0	≥ 2.5
	粮食作物比例 $\geq 80\%$ Food crops ratio more than 80 percent	≤ 0.4	0.8	1.2	1.6	≥ 2.0
A_4 , 田间水利用系数	Field water use efficiency	≤ 0.80	0.85	0.90	0.92	≥ 0.95
B_1 , 节水灌溉工程面积比/%	Water saving irrigation project ratio	≤ 30	50	70	80	≥ 90
B_2 , 渠道防渗率/%	Ratio of seepage prevention canal	≤ 30	50	70	80	≥ 90
B_3 , 干支渠建筑物配套率/%	Ratio of structures on main and sub-main canal	≤ 35	55	75	85	≥ 95

3 灌溉用水效率评价模型

灌溉用水效率评价指标数目较多、涉及范围较广(图1),属于多准则、多层次的综合评价问题,具有一定的模糊性和不确定性。本研究采用应用较成熟的模糊综合评价模型,具体步骤如下。

3.1 模糊隶属度矩阵

根据指标原始值和分级标准(表1~表3),可将单项指标的评价表达为5个等级上的模糊子集 $R_j = \{0, 0, \dots, x, 1-x, \dots, 0\}$,其中, x 为第 i 分量($i=1, 2, 3, 4$),表示该指标对第 i 等级的隶属度, $1-x$ 为第 $i+1$ 分量,表示对第 $i+1$ 等级的隶属度。设第 j 项指标原始值为 z_j ,若 z_j 正好介于第 i 级标准临界值 μ_{ji} 与第 $i+1$ 级标准临界值 $\mu_{j,i+1}$ 之间,则 x 满足: $\mu_{ji}x + \mu_{j,i+1}(1-x) = z_j$ 。以 R_j 为第 j 个行向量,可构建模糊隶属度矩阵 R 。

3.2 权重确定

本研究采用较成熟的层次分析法(AHP法)计算指标权重值,具体步骤如下:1)建立层次结构模型。深入分析面临的问题,将问题中所包含的因素划分为不同层次,按照因素之间的从属关系构建分层递阶结构。2)构造判断矩阵。在分层递阶结构基础上构造两两判断矩阵。设上层目标为 V ,将其分解后的下层子目标为 V_1, V_2, \dots, V_n ,对 V 而言,下层子目标的两两判断矩阵为 A ,其中的第 i 行第 j 列的元素 a_{ij} 表示对目标 V 而言,因素 V_i 对 V_j 的相对重要性,其值可采用由A. L. Seaty经过科学比较后而选出的“1~9”标度方法确定^[17]。3)层次单排序及一致性检验。设判断矩阵为 W ,矩阵 W 的特征根问题 $PW = \lambda_{\max}W$ 的解 P ,经归一化后即为一层次因素相应于上一层目标的相对重要性,即各因素的权重值。为确保计算结果的正确性,还需进行一致性检验^[17]。

按上述方法,计算得到13个底层指标的权重向量为:

$$A = (0.292\ 2, 0.111\ 8, 0.111\ 8, 0.043\ 7, 0.158\ 9, 0.064\ 4, 0.026\ 1, 0.023\ 9, 0.023\ 9, 0.023\ 9, 0.023\ 9, 0.023\ 9, 0.071\ 6)$$

3.3 综合评价

综合评价采用式(3)

$$F = A \cdot R \cdot C^T \quad (3)$$

式中: F 为综合评价等级; A 为权重向量; R 为模糊隶属度矩阵; C 为评价等级向量, $C=(1, 2, 3, 4, 5)$ 。

4 实例应用

为验证评价指标、分级标准和评价模型的合理性,选取东北地区吉林省的梨树灌区(大型)、南崴子灌区(中型),西北地区青海省的大峡渠灌区(中型)、深沟渠灌区(中型)、干桥湾灌区(小型)、塘角渠灌区(小型),北川渠灌区(中型)、双树西渠灌区(小型)、山城渠灌区(小型)、白崖渠灌区(小型)和华北地区天津市的里自沽灌区(大型)等灌区作为典型,进行实例应用。这些典型灌区分布不同地区,具有不同的水文气象及地理情况、不同的灌溉尺度和规模、不同的作物种植类型及种植结构,具有比较全面的代表性,对灌区的农田灌溉用水评价具有一定的示范意义。典型灌区指标原始值见表4。

利用表1~表3给出的分级标准和式(3),计算典型灌区的灌溉用水效率评价等级,结果见表5。可以看出,干桥湾灌区(小型)评价结果接近Ⅳ级,用水效率接近高效,该灌区干支斗渠全部防渗衬砌,种植结构合理,复种指数高,用水管理水平较高,作物水分生产率高,是当地粮食、蔬菜的主要高产区。双树西渠灌区(中型)和塘角渠灌区(小型)的评价等级为3.5~3.7,用水效率较高,这些灌区节水设施状况较好,节水灌溉工程面积比例较高,但种植结构还有待改善,田间的节水灌溉技术还不多。白崖渠灌区(小型)、北川渠灌区(中型)的评价等级接近3.0,用水效率中等,这些灌区仅主干渠防渗衬砌,斗渠以下基本都没有防渗,粮食作物种植比例较大,用水管理水平不高。里自沽灌区(大型)、深沟渠灌区(中型)、山城渠灌区(小型)和大峡渠灌区(中型)评价等级为2.4~2.8,用水效率较低,这些灌区较少防渗衬砌,种植结构不合理,用水管理水平低下。梨树灌区(大型)和南崴子灌区(中型)评价等级为1.6~2.0,用水效率低,这两灌区的渠道很少做防渗,节水灌溉工程面积比例很低,用水管理水平很低,单位灌溉面积用水量很大(尤其梨树灌区以水田为主),作物水分生产效率低,种植结构不合理。用水效率不高的典型灌区,主要存在以下几方面问题:1)大多采用大水漫灌的灌溉方式,很少采用田间节水灌溉技术;2)渠道防渗率不高,渠道建筑物配套率不高;3)没有水量计量设施;4)实际水价过低,远低于成本水价;5)水费收取率不高;6)种植结构不合理,作物水分生产效率较低。另外,整体上大型灌区用水效率低下,迫切需要加以改善和提高。

表4 典型灌区灌溉用水效率指标原始值

Table 4 Original value of irrigation water efficiency evaluation index in typical irrigation areas

评价指标 Evaluation index	梨树灌区 Lishu	南崴子灌区 Nanwaizi	大峡渠灌区 Daxiaqu	深沟渠灌区 Shengouqu	干桥湾灌区 Ganqiaowan	塘角渠灌区 Tangjiaoqu	北川渠灌区 Beichuanqu	双树西渠灌区 Shuangshuxiqu	山城渠灌区 Shanchengqu	白崖渠灌区 Baiyaqu	里自沽灌区 Lizigu
A ₁	0.48	0.48	0.50	0.55	0.69	0.63	0.53	0.62	0.57	0.59	0.57
A ₂	830	590	298	261	250	199	187	157	205	160	320
A ₃	0.51	0.68	2.51	3.54	4.15	2.34	2.50	1.58	1.31	1.98	1.43
A ₄	0.95	0.95	0.89	0.90	0.90	0.88	0.80	0.90	0.86	0.90	0.89
B ₁	16	6	42	42	100	88	43	93	63	70	45
B ₂	15	4	34	42	100	100	43	100	63	70	15
B ₃	65	63	35	65	100	100	94	100	100	100	43
C ₁	62	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
C ₂	2	39	48	44	15	12	53	44	21	31	5
C ₃	90	81	80	75	90	52	66	59	64	51	20
C ₄	27	22	15	32	62	50	30	45	34	40	43
D ₁	100	100	40	47	30	20	33	57	41	69	78
D ₂	100	100	110	165	165	145	150	115	115	115	110

表5 典型灌区灌溉用水效率评价结果

Table 5 Calculation results of irrigation water efficiency evaluation in typical irrigation areas

研究项目 Study item	梨树灌区 Lishu	南崴子灌区 Nanwaizi	大峡渠灌区 Daxiaqu	深沟渠灌区 Shengouqu	干桥湾灌区 Ganqiaowan	塘角渠灌区 Tangjiaoqu
灌区类型 Irrigation district type	大型 Large	中型 Medium	中型 Medium	中型 Medium	小型 Small	小型 Small
评价等级 Evaluation level	1.998 3	1.611 6	2.404 5	2.780 4	3.856 7	3.654 1
用水效率 Water use efficiency	低效 Low	低效 Low	较低效 A little bit low	较低效 A little bit low	接近高效 Close to high	较高效 A little bit high

研究项目 Study item	北川渠灌区 Beichuanqu	双树西渠灌区 Shuangshuxiqu	山城渠灌区 Shanchengqu	白崖渠灌区 Baiyaqu	里自沽灌区 Lizigu
灌区类型 Irrigation district type	中型 Medium	中型 Medium	小型 Small	小型 Small	大型 Large
评价等级 Evaluation level	2.926 2	3.685 3	2.662 4	3.035 4	2.664 7
用水效率 Water use efficiency	中等 Medium	较高效 A little bit high	较低效 A little bit low	中等 Medium	较低效 A little bit low

5 结论与讨论

我国灌溉用水紧缺与浪费现象同时存在,节水潜力巨大,开展灌溉用水效率评价可以正确评估灌溉水的有效利用程度、节水灌溉发展成效及存在问题,有助于提高我国农业用水效率、推进节水型社会的建设。现阶段尚未形成较为通用的、易于推广应用的灌溉用水效率评价指标和评价方法。本研究通过分析制约灌溉用水效率提高的主要限制因子及其内在联系,根据指标建立原则,构建了大、中、小型灌区普遍适用的灌溉用水效率指标体系,为便于在实际中量化、操作,明确指标计算方法,并依据现有规划、规范及灌溉用水的发展现状,界定了灌溉用水效率的评价等级和指标分级标准。根据指标特点提出灌溉用水效率的评价模型,最后选取典型灌区进行实例应用。评价结果表明,西北地区的干桥湾灌区(小型灌区)的评价等级接近Ⅳ级,用水效率接近高效;双树西渠灌区(中型)和塘角渠灌区(小型)为较高效,白崖渠灌区(小型)、北川渠灌区(中型)为中等水平,其它灌区的用水效率均为低效和较低效。评价结果与灌区实际情况吻合较好,结论具有可靠性,验证了本文所建指标体系、分级标准及评价模型的科学合理性,为灌溉用水效率评价、节水灌溉成效评价以及节水型社会农业用水效率评价提供了重要参考,值得在实践中推广应用。

本研究所建的指标体系涵盖了灌溉用水效率的主要影响因素,框架结构合理,含义明确,易于计算获取,适用于小尺度和具体的灌溉工程的用水效率评价,对国内大中小型灌区均具有一定的普遍适用性。值得指出的是,实践中还应根据指标体系建立的原则和方法进行比较分析,结合研究对象的具体情况,对各项指标进行细化、改进、增补或删减,因地制宜地建立适宜的评价指标体系。另外,本研究所建指标分级标准为指标体系在实践中的量化应用,以及时间和空间上的横纵对比性提供了基础,分级标准的建立立足于我国灌区灌溉用水的发展现状,并参考了现有的规划和规范,因此,随着时空变化,指标的分级标准应该是动态的,需要不断地检验

与完善。

参 考 文 献

- [1] U S Department of Agriculture. Methods for Evaluation Irrigation System[M]. Washington: U S Government Printing Office,1969:22-32
- [2] Nogues J, Herrero J. The impact of transition from flood to sprinkler irrigation on water district consumption[J]. Journal of Hydrology,2003,276(1):37-52
- [3] Hassan E L, Banna O. Evaluation of surface irrigation using gated pipes techniques in field crops and old horticultural farm [J]. Annals Agricultural Science,47(2):461-475
- [4] 崔远来,熊佳.灌溉水利用效率指标研究进展[J].水科学进展,2009,20(4):590-598
- [5] 蔡守华,张展羽,张德强.修正灌溉水利用效率指标体系的研究[J].水利学报,2004(5):111-115
- [6] 靳京,吴绍洪,戴尔阜.农业资源利用效率评估方法及其比较[J].资源科学,2005(1):146-151
- [7] 郑海霞,封志明,张陆彪,等.甘肃县域农业资源利用效率综合评价:投影寻踪方法[J].经济地理,2006(4):32
- [8] 杨丽英,许新宜,贾香香.水资源效率评价指标体系探讨[J].北京师范大学学报:自然科学版,2009,45(5):642-646
- [9] 韩宇平,阮本清,解建仓.物元模型及其在区域水资源综合评判中的应用[J].中国农业大学学报,2003,8(1):31-36
- [10] 王景雷,吴景社,齐学斌,等.节水灌溉评价研究进展[J].水科学进展,2002,13(4):521-525
- [11] 雷波,姜文来.节水农业综合效益评价研究进展[J].灌溉排水学报,2003,23(3):65-69
- [12] Burt M C, Walker E R, Styles W S. Irrigation System Evaluation Manual [M]. California Department of Water Resources and Department of Agriculture,1988:14-21
- [13] Rodriguez M M, Fernandez J S. Evaluation of irrigation projects and water resource management: A method-logical proposal [J]. Sustainable Development,2002,(10):90-102
- [14] 彭致功,刘钰,许迪,等.灌溉用水管理评价指标体系构建及综合评价[J].武汉大学学报:工学版,2009,42(5):645-648
- [15] 范群芳,董增川,杜芙蓉.农业用水和生活用水效率研究与探讨[J].水利学报,2007(增刊):465-469
- [16] 龚宇,王璞,王聪玲.基于 AHP 方法的农业用水资源综合评价与分析[J].节水灌溉,2007(4):31-33
- [17] 袁宏源,邵东国.水资源系统分析:理论与应用[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,2002

责任编辑:刘迎春