

基于PSR模型的灌区节水改造综合效益物元分析评价

尚林鑫¹, 李育飞³, 邵光成^{1,2*}, 丁鸣鸣⁴, 姚俊琪⁵, 邵璐阳⁶

(1. 河海大学 农业工程学院, 南京 210098; 2. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098; 3. 淮安市淮安区水利局, 江苏 淮安 223200; 4. 南京市水务局, 南京 210036; 5. 江苏省农村水利科技发展中心, 南京 210029; 6. 山东沂南一中, 山东 沂南 276300)

摘要:【目的】确定灌区节水改造工程所产生的综合效益等级、完善现有评价体系。【方法】基于压力-状态-响应(PSR)模型构建了灌区改造节水效益评价指标体系,详细阐释了PSR模型框架下节水效益评价指标再划分的依据,通过将层次分析法与熵权法耦合得到主客观相结合的组合权重,建立了灌区改造节水效益物元分析评价模型,并引用全国20个样点灌区的统计数据实例进行分析验证。【结果】样点灌区1节水改造综合效益等级为较好级别,但人均粮食占有和粮食水分生产率是当前该灌区改造的短板;20个样点灌区的判定结果显示物元分析法在节水效益评价中的误判率仅为5%。【结论】在灌区节水效益评价中当采用模糊综合法和灰色关联法评定结果不一致时,可以以基于PSR模型的物元分析法得到的结果作为参考,确定最终节水改造综合效益等级。

关键词:灌区;节水效益;模型;物元分析

中图分类号:S275.3

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20170002

尚林鑫,李育飞,邵光成,等. 基于PSR模型的灌区节水改造综合效益物元分析评价[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):121-128.

0 引言

为了改善农业生产条件,提高农业的生产能力,促进农民增收和农村经济发展,保障国家粮食安全,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《水利改革发展“十三五”规划》提出,截至2020年我国拟完成434处大型灌区续建配套和节水改造任务,但节水改造的综合效益优劣,只有在进行全面、完整的科学评价后才能加以判别。对比评判结果,总结取得较高综合效益等级的改造模式,以便为决策部门制订合理的灌区管理和适当的节水改造措施提供决策依据^[1]。参照现有应用较普遍的理论与方法可知,综合集成赋权法^[2]、可变模糊理论法^[3]、可拓评价法^[4]、人工神经网络法^[5-6]、层次分析法与模糊数学理论法^[7-8]、灰色关联法^[9]、基于熵权的TOPSIS综合评价^[10]等已在灌区综合效益评价中得以应用。上述方法虽具有一定的指导意义,但部分理论与方法存在一定的局限,如综合集成赋权法随意给出主、客观权重在综合权重中所占的比例,制约了综合集成赋权法在实际应用中的推广;可变模糊理论法的多线性形式不能很好地将灌区需要突出的指标体现出来,因而降低了评价结果的精度;灰色关联法和人工神经网络法在计算中需要灌区运行状况等级标准,而灌区运行状况等级的确定标准在各地区之间还没有达成共识,因此计算结果存在很大的波动性,不利于推广;层次分析模型与模糊数学理论法从计算上看较为简单,但评价指标的主观性较大,评价结果存有偏向性^[11]。

目前,灌区改造节水效益评价体系的建立大多是根据社会效益、工程效益、经济效益、管理效益以及生态效益等作为层次指标^[2,10],虽然有一定的科学依据,但忽视了各类指标之间的相互作用关系。压力-状态-响应模型(Pressure-State-Response, PSR)将指标分成压力指标、状态指标和反应指标,指标间的因果关系清晰

收稿日期:2017-11-29

基金项目:江苏省水利科技项目(2017051);江苏高校优势学科建设工程资助项目(水利工程)

作者简介:尚林鑫(1993-),男,安徽蚌埠人。硕士研究生,主要从事灌溉排水理论与技术方面研究。E-mail: hhuslx@foxmail.com

通信作者:邵光成(1975-),男,山东临沂人。教授,博士,主要从事灌溉排水理论与技术方面研究。E-mail: sgcln@126.com

明了,农民社会生产活动对灌区效益施加一定的压力,会对灌区效益状态指标提出更高要求,而管理者针对灌区效益值更高的要求制定用水政策,以期农民节水意识增强。PSR 评价模型的概念最初由 Rapport^[12-13]提出,后经欧洲经济合作发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)和联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)对模型进行修改并将其应用于环境指标研究中,该模型以因果关系为基础,即人类活动对环境施加一定的压力,改变其原有的性质或自然资源的数量(状态),人类社会采取一定的措施对这些变化做出反应,以恢复环境质量或防止环境退化;突出了环境受到的压力和环境退化之间的因果关系,压力、状态、响应3个环节相互制约、相互影响,正是决策和制定对策措施的全过程^[13-15]。

物元分析方法最早由我国学者蔡文^[16]于20世纪80年代提出,用于解决不相容问题,可应用于生态环境、水资源承载力、农用地分级和土地生态水平等评价研究中。物元分析是思维科学、系统科学和数学三者交叉的边缘学科,通过引入负数的概念建立关联度,可以无丢失地综合各种因素的全部信息,并能以定量的数值表示评价结果,从而较完整、客观地反映事物质量的综合水平^[17]。物元分析方法通过计算单个指标与各标准等级的关联系数得到综合评价结果,能够揭示更加丰富的评价信息,有效诊断生态系统的现状,但应用到灌区节水改造综合效益评价中较少;PSR 模型综合考虑社会、经济、资源与环境等因素,动态展示人的改造活动与工程效益之间的关系。鉴于此,基于PSR模型构建节水改造综合效益评价体系,并引入物元分析法和组合权重法对我国灌区节水效益进行实证分析,以期决策部门制订合理的灌区管理措施和节水改造措施提供一定依据。

1 基于PSR模型的灌区节水效益评价体系构建

基于PSR模型构建灌区节水效益评价指标体系(图1)。以当前灌区节水改造综合效益评价体系为基础,结合PSR评价模型体系,将社会效益、工程效益、经济效益、管理效益和生态效益根据其特性分别划入压力指标、状态指标和响应指标内。灌区改造的压力来源于灌区农民生活标准的提高,将农民人均纯收入、人均粮食占有量、单位面积粮食产量等社会效益指标和经济效益指标归入压力指标。反映灌区工程配套情况及灌区自然生态环境现状的工程效益指标和生态指标,包括田间工程配套率、节水灌溉面积率、渠道衬砌率、灌溉水水质、林草面积率等,列入状态指标。响应指标是人类对自然等状态指标的回应,其主体是灌区管理单位,所以将水费征收率、用水户协会覆盖率等管理效益指标归为响应指标。综上得到基于PSR模型的节水改造综合效益评价指标体系,如表1所示。指标相互作用关系如下:社会发展的需求要求农民人均纯收入、人均粮食占有量等指标值的提高,在可供用水总量不变的情况下,要求单位面积粮食产量、粮食作物水分生产率的提高;在社会发展需求的压力下,灌区节水配套工程势必满足不了新的生产需求,从而加大投入对其进行改造,灌区田间工程配套率、渠道衬砌率、灌溉水质等状态指标相应地会发生变化,状态指标反过来作用于压力指标;对此政府职能部门做出反应加大节水技术宣传,提高管理水平、确保水费实收率、增加用水户协会覆盖率,水费征收制度得以严格执行以及管理人员管理水平的提高,使得农民对水资源的珍贵性有深刻的认识,其节水意识大大增强,在取水用水方面也会更加科学合理。

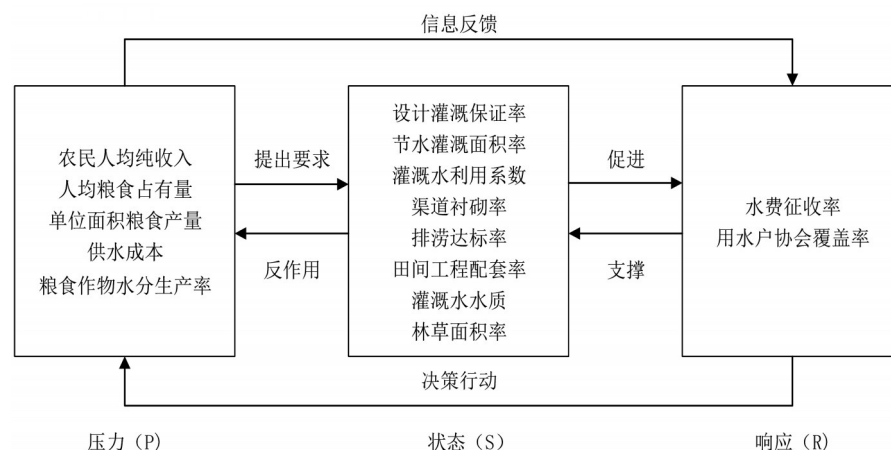


图1 灌区改造节水综合效益评价PSR模型

表1 节水改造综合效益评价指标体系

目标层	要素层	指标层	指标函数
灌区节水改造 综合效益评价	压力	x_1 人均粮食占有量/(kg·人 ⁻¹)	灌区粮食总产量/人口数量
		x_2 农民人均纯收入/(元·a ⁻¹)	灌区农民纯收入总和/人口数量
		x_3 单位面积粮食产量/(kg·hm ⁻²)	粮食总产量/有效灌溉面积
		x_4 供水成本/(元·m ³)	供水基本费+管理维护费
		x_5 粮食作物水分生产率/(kg·m ³)	粮食总产量/作物耗水量
	状态	x_6 设计灌溉保证率/%	设计灌溉用水量获得满足的年数/(总年数+1)
		x_7 节水灌溉面积率/%	节水灌溉面积/有效灌溉面积
		x_8 灌溉水利用系数/%	实际灌入农田的有效水量/渠首总引水量
		x_9 渠道衬砌率/%	渠道衬砌防渗长度/灌区规划渠道总长度
		x_{10} 排涝达标率/%	排水渠道满足设计流量的数量/总渠道数
		x_{11} 田间工程配套率/%	现有完好田间工程数量/灌区规划建设田间工程数量
		x_{12} 灌溉水水质/(g·L ⁻¹)	单位体积灌溉水中矿化度
		x_{13} 林草面积率/%	林草面积/有效灌溉面积
	响应	x_{14} 水费征收率/%	实际征收水费/应征水费
		x_{15} 用水户协会覆盖率/%	协会管理的灌溉面积/总灌溉面积

2 物元评价模型的建立

物元分析模型评价方法的基本步骤为建立节水效益评价的物元模型,确定评价对象的经典域和节域矩阵,根据关联函数计算关联度和综合关联度,再以最大关联度原则作为节水改造综合效益的评判标准,最终确定综合效益等级。由文献[1]资料将综合效益等级分成4级,分别是极好、较好、一般、较差。根据物元法的基本理念,建立节水改造综合效益评价模型对综合效益等级进行评价,并且以组合权重法确定权重,既充分考虑专家的知识及经验,又可以减少主观随意性影响。

2.1 物元分析评价模型

1)确定待评价物元。节水改造综合效益评价 N ,综合效益评价指标 C 和特征量值 X 共同组成了节水改造综合效益评价物元,由此可以建立物元矩阵,即:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & C_1 & X_1 \\ & C_2 & X_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_n \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中: R 为 n 维节水改造综合效益物元; R_i 为 R 的分物元, $i=1,2,\cdots,n$; N 为待评物元,即节水改造综合效益等级; C_i ($i=1,2,\cdots,n$)为第 i 项评价指标; X_i ($i=1,2,\cdots,n$)为对应评价指标 C_i 的量值。

2)经典域与节域物元。节水改造综合效益的经典域物元 R_j 可表示为:

$$R_j = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & X_{j1} \\ & C_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & C_2 & (a_{j2}, b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中: N_j ($j=1,2,\cdots,m$)为综合效益评价的第 j 个等级; $X_{ji}=[a_{ji}, b_{ji}]$ 为经典域,表示第 j 个等级关于对应各评价指标所取的数值范围。综合效益的节域物元 R_p 可表示为:

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & X_{p1} \\ & C_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中: N_p 为评价等级的全体; $X_{pi}=[a_{pi}, b_{pi}]$ 为节域,表示各指标所有经典域取值范围之和。

3)构造关联函数及关联度。关联函数表示当物元的量值取为实轴上的一点时,物元符合所要求的取值范围的程度。若用 $X_0=b-a$ 表示有界区间 $X_0=[a, b]$ 的长度,则点 x_i 到 $X_{ji}=[a_{ji}, b_{ji}]$ 和 $X_{pi}=[a_{pi}, b_{pi}]$ 的距分别为:

$$\rho(x_i, X_{ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) = \begin{cases} a_{ji} - x_i & x_i \leq \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \\ x_i - b_{ji} & x_i > \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \end{cases}, \quad (4)$$

$$\rho(x_i, X_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) = \begin{cases} a_{pi} - x_i & x_i \leq \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \\ x_i - b_{pi} & x_i > \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \end{cases}. \quad (5)$$

关联函数 $K_j(x_i)$ 的计算式为:

$$K_j(X_i) = \begin{cases} -\frac{\rho(x_i, X_{ji})}{|X_{ji}|} & x_i \in X_{ji} \\ \frac{\rho(x_i, X_{ji})}{\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{ji})} & x_i \notin X_{ji} \end{cases}. \quad (6)$$

4) 计算综合关联度。待评估对象 N_p 关于等级 j 的综合关联度 $K_j(N_p)$ 为

$$K_j(N_p) = \sum_{i=1}^n \omega_i K_j(X_i), \quad (7)$$

式中: ω_i 为层次分析法和熵权法所确定的综合权重。

5) 确定等级。若 $K_j = \max\{K_j(N_p)\}$, 则评价区的节水效益等级为第 j 级。当 $0 < K_j(N_p) < 1$ 时, 表示评估单元符合标准对象的要求; 当 $-1 < K_j(N_p) < 0$ 时, 表示评估单元不符合某级评估标准的要求, 但是具备转化为该标准的条件, 其值越小, 越易转化; 当 $K_j(N_p) < -1$ 时, 表示评估单元不符合某级评估标准的要求, 而且又不具备转化为该标准等级的条件; 当 $K_j(N_p) > 1$ 时, 表示评估单元超过该等级的上限标准值^[18]。

2.2 指标权重的确定

目前确定评价指标权重的方法主要分为2大类: 一类是根据专家经验进行确定的主观赋权法, 另一类是直接根据评价对象属性值数列离散程度进行确定的客观赋权法^[19]。主观赋权法简单明了, 但同时也易受到个人经验限制使得权重赋值有失偏颇; 客观赋权法依据指标真实数据计算确定指标权重, 避免了主观因素的影响, 但容易忽略人为设置该指标的现实意义, 造成指标权重计算的片面性^[20]。主客观组合赋权法结合决策者个人意志与样本数据真实关系, 可规避上述2种赋权方法的弊端。因此, 将层次分析法和熵权法耦合以确定评价指标综合权重。

2.2.1 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美国运筹学家萨蒂教授于 20 世纪 70 年代初提出的一种层次权重决策分析方法。将决策问题按总目标、各层子目标、评价准则、具体备投方案的顺序分解为不同层次结构, 采用求解判断矩阵特征向量的方法, 求得每一层次中各元素对上一层次某元素的优先权重, 再通过加权求和的方法递阶归并各备择方案对总目标的最终权重, 最终权重最大者即为最优方案。层次分析法的特点是结构严谨, 思路清晰, 但要求决策者能够准确把握评价对象的本质及各因素间的逻辑关系。兹采用层次分析法的计算权重作为耦合权重的主观赋权部分。

2.2.2 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法, 信息熵是系统无序程度的一个度量, 即一个系统越是有序, 信息熵就越低; 反之, 信息熵就越高^[21]。在评价过程中, 信息熵越小, 对应指标提供的信息量越大, 在综合评价中所起的作用也越大, 即权重也越高。兹采用熵权法的计算权重作为耦合权重的客观赋权部分。

2.2.3 组合权重

为了使评价指标权重的确定更加科学准确, 评价结果更加客观可靠, 既充分考虑专家的知识及经验, 又可以减少主观随意性影响, 将确定主、客观权重的 2 种方法进行耦合, 计算综合权重, 即:

$$\omega_i = \frac{\omega'_i \omega''_i}{\sum_{i=1}^n \omega'_i \omega''_i}, \quad (8)$$

式中: ω_i 为层次分析法和熵权法所确定的综合权重; ω'_i 、 ω''_i 分别为层次分析法和熵权法所得到的权重。

3 样本灌区验证分析

3.1 数据来源

为了验证基于PSR模型的节水效益物元分析评价模型的实用性,选用文献[1]的数据资料进行分析,将结果与其所采用模糊综合评判法和灰色关联法得出的结论进行比较,以此验证本模型的可行性。数据来源于松辽平原、黄淮平原、长江中下游平原、西北与华北水资源短缺地区及西南、华南沿海地区的20个典型灌区,出于保密要求,以样点序号代替灌区名称。以灌区1的资料分析过程为例,并用同样的方法计算其他19个灌区的节水改造综合效益等级。将判定结果与文献[1]采用方法得到结果进行对比,评价模型在灌区改造节水综合效益评价中的可行性。

3.2 计算指标权重

主观权重与客观权重以及式(1)得到各指标权重结果如表2所示。由表2可知,人均粮食占有量、单位面积粮食产量、供水成本、灌溉保证率、渠道衬砌率、田间工程配套率的权重值均超过了0.066 7(15个指标的平均权重值),其中渠道衬砌率的值最大为0.170 2,这与前人研究^[22]一致,田间渠道衬砌率的大小直接决定输水过程中水量的损耗;从要素层面看,所占权重从大到小排列依次为状态指标、压力指标和响应指标,可见状态指标是影响节水效益评价的主要因素。

表2 评价指标权重值					
目标层	要素层	指标层	主观权重 ω_i^s	客观权重 ω_i^o	组合权重 ω_i
灌区节水改造综合 效益评价	压力0.412 5	x_1	0.113 4	0.081 4	0.139 2
		x_2	0.024 5	0.100 4	0.037 1
		x_3	0.045 1	0.125 7	0.085 6
		x_4	0.117 7	0.068 8	0.122 2
		x_5	0.076 5	0.024 6	0.028 4
	状态0.510 9	x_6	0.072 3	0.097 9	0.106 8
		x_7	0.027 8	0.047 1	0.019 8
		x_8	0.054 0	0.076 1	0.062 0
		x_9	0.126 8	0.088 8	0.170 2
		x_{10}	0.017 8	0.021 2	0.005 7
		x_{11}	0.090 1	0.055 8	0.076 0
		x_{12}	0.017 9	0.067 7	0.018 3
		x_{13}	0.053 8	0.064 2	0.052 1
	响应0.076 6	x_{14}	0.108 0	0.013 6	0.022 2
		x_{15}	0.054 0	0.066 7	0.054 4

3.3 样点灌区节水效益评价的待评物元、经典域和节域

目前,我国灌区的节水改造工程已经有了较大发展,但距离国外发达国家改造力度仍有很大的差距。关于灌区节水改造综合效益各项指标的分级是根据国内外节水改造经验,参照发达国家的节水改造标准,结合国内重点中型灌区现状,分析并预测到2050年,我国节水改造所能达到的标准,通过查阅各个灌区的规划报告并结合相关的规范、标准来制定的^[1]。根据《农田灌溉水质标准》(GB5084—92)、2011年粮食产量公报、《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—99)以及文献[1]中重点中型灌区节水改造效益评价指标分级标准等,确定本模型节水改造综合效益评价等级的分级标准,以此建立待评物元、经典域和节域(表3)。

评价指标		四级经典域 X_{ji}				节域 X_{ji}
指标	灌区1调查值	X_{1i}	X_{2i}	X_{3i}	X_{4i}	
x_1	520	[900,1 000)	[600,900)	[300,600)	[0,300)	[0,1 000]
x_2	6 900	[8 000,10 000)	[6 000,8 000)	[4 000,6 000)	[0,4 000)	[0,10 000]
x_3	5 047	[6 000,7 000)	[4 500,6 000)	[3 000,4 500)	[0,3 000)	[0,7 000]
x_4	0.315	[0,0.2)	[0.2,0.5)	[0.5,0.8)	[0.8,1)	[0,1]
x_5	1.74	[2,2.25)	[1.75,2)	[1.5,1.75)	[0,1.5)	[0,2.25]
x_6	70	[65,100)	[55,65)	[45,55)	[0,45)	[0,100]
x_7	75	[75,100)	[55,75)	[35,55)	[0,35)	[0,100]
x_8	75	[80,100)	[60,80)	[40,60)	[0,40)	[0,100]
x_9	65	[80,100)	[60,80)	[40,60)	[0,40)	[0,100]
x_{10}	95	[90,100)	[70,90)	[50,70)	[0,50)	[0,100]
x_{11}	76	[80,100)	[60,80)	[40,60)	[0,40)	[0,100]
x_{12}	90	[95,100)	[90,95)	[85,90)	[0,85)	[0,100]
x_{13}	60	[75,100)	[50,75)	[25,50)	[0,25)	[0,100]
x_{14}	0.43	[0,0.5)	[0.5,0.75)	[0.75,1)	[1,1.25)	[0,1.25]
x_{15}	16	[20,25)	[15,20)	[10,15)	[0,10)	[0,25]

3.4 评价结果与分析

根据所建立的物元评价模型,将灌区1各项评价指标数值输入模型,由式(7)计算每个评价指标关于其对应的4个评价等级的关联度,最后由式(8)得到灌区节水改造综合效益评价等级,详见表4。同理用该方法对文献[1]中其他19个灌区进行评价分析,结果见表5。

表4 灌区1节水效益评价指标对各评价等级的关联度

评价指标	$K_j(x_i)$				等级
	较差1	一般2	较好3	极好4	
x_1	-0.314 3	<u>0.266 7</u>	-0.142 9	-0.436 8	2
x_2	-0.483 3	-0.219 5	<u>0.450 0</u>	-0.261 9	3
x_3	-0.511 8	-0.218 8	<u>0.364 7</u>	-0.327 9	3
x_4	-0.606 3	-0.370 0	<u>0.383 3</u>	-0.267 4	3
x_5	-0.320 0	<u>0.040 0</u>	-0.019 2	-0.337 7	2
x_6	-0.416 7	-0.300 0	-0.125 0	<u>0.142 9</u>	4
x_7	-0.615 4	-0.444 4	0.000 0	<u>0.000 0</u>	4
x_8	-0.583 3	-0.375 0	<u>0.250 0</u>	-0.166 7	3
x_9	-0.416 7	-0.125 0	<u>0.250 0</u>	-0.300 0	3
x_{10}	-0.900 0	-0.833 3	-0.500 0	<u>0.500 0</u>	4
x_{11}	-0.600 0	-0.400 0	<u>0.200 0</u>	-0.142 9	3
x_{12}	-0.333 3	0.000 0	<u>0.000 0</u>	-0.333 3	3
x_{13}	-0.466 7	-0.200 0	<u>0.400 0</u>	-0.272 7	3
x_{14}	-0.570 0	-0.426 7	-0.140 0	<u>0.140 0</u>	4
x_{15}	-0.400 0	-0.100 0	<u>0.200 0</u>	-0.307 7	3
$K_j(P)$	-0.188 7	-0.033 8	<u>0.074 4</u>	-0.140 9	3
$K_j(S)$	-0.248 7	-0.134 3	<u>0.068 3</u>	-0.069 3	3
$K_j(R)$	-0.031 3	-0.013 0	<u>0.007 9</u>	-0.013 5	3
$K_j(N_1)$	-0.468 7	-0.181 2	<u>0.150 5</u>	-0.223 7	3

注 下划线表示该项指标最大关联度。

由表4可知,灌区1节水改造综合效益水平对应4个评价等级的综合关联度分别为 $K_1(N_1)=-0.468\ 7$ 、 $K_2(N_1)=-0.181\ 2$ 、 $K_3(N_1)=0.150\ 5$ 、 $K_4(N_1)=-0.223\ 7$,因 $0 < K_3(N_1) < 1$,可以判定灌区1的节水改造综合效益水平属于级别3,即“较好”,结果与参考文献[1]判定结果相一致。从要素层看, $K_3(P)$ 、 $K_3(S)$ 、 $K_3(R)$ 的值均在0和1之间,三者达到了“较好”级别;从单个指标看,状态指标和响应指标的单个指标值都达到了“较好”及以上级别,其中灌溉保证率、节水灌溉面积率、排涝达标率、水费征收率达到“极好”级别,压力指标的单个指标等级评定相对不高,人均粮食占有量和粮食作物水分生产率只达到了“一般”水平。整体而言,灌区1节水改造的综合效益是比较好的,制约因素主要在于人均粮食占有量和粮食作物水分生产率,建议建立工程措施以增加灌区灌溉面积和引进高效节水灌溉技术。

表5 不同方法对20个样点灌区的评价结果

样点灌区	$K_j(N_p)$				物元分析方法	模糊综合法	灰色关联法
	1(较差)	2(一般)	3(较好)	4(极好)			
1*	-0.468 7	-0.181 2	0.150 5	-0.223 7	3	3	3
2	-0.371 6	0.002 0	0.031 9	-0.286 8	3	2	3
3*	-0.377 7	-0.060 3	0.083 4	-0.282 8	3	3	3
4*	-0.361 0	-0.050 9	0.094 0	-0.306 9	3	3	3
5	-0.428 8	-0.141 9	-0.001 8	-0.260 6	3	2	3
6	-0.378 2	-0.075 4	0.152 5	-0.300 7	3	2	3
7	-0.356 3	0.036 7	0.005 2	-0.281 1	2	3	2
8*	-0.389 9	0.098 2	-0.110 1	-0.308 0	2	2	2
9*	-0.290 4	0.010 8	-0.076 1	-0.332 5	2	2	2
10*	-0.354 3	0.047 1	-0.026 2	-0.286 7	2	2	2
11	-0.394 7	-0.114 9	0.135 7	-0.276 0	3	2	3
12	-0.397 8	-0.030 7	-0.013 4	-0.259 9	2	2	3
13*	-0.331 6	0.033 4	0.016 5	-0.323 1	2	2	2
14*	-0.330 6	-0.003 3	-0.080 4	-0.327 9	2	2	2
15*	-0.265 8	0.112 8	-0.001 6	-0.354 8	2	2	2
16*	-0.359 2	-0.039 1	0.058 7	-0.292 8	3	3	3
17*	-0.310 3	0.029 7	0.000 5	-0.334 1	2	2	2
18	-0.313 6	0.010 8	0.065 4	-0.336 9	3	2	2
19*	-0.193 7	0.101 1	-0.163 3	-0.396 3	2	2	2
20*	-0.348 4	0.006 1	-0.019 6	-0.309 1	2	2	2

注 *表示3种模型评价结果完全一致;模糊综合评价法和灰色关联法的结果引用自文献[1]。

由表5可知,在20个样点灌区的评价结果中,采用物元分析法判定的结果有13个与模糊综合评判法、灰色关联法的评价结果完全一致,另外6个样点灌区的评判等级至少与其中一种方法的结果相同,仅有灌区18的判定结果为“较好”,与另外2种方法判定的“一般”有出入,属于“误判”。基于以上评判结果,物元分析法在节水效益等级评价的一致率为95%,不一致率仅为5%。在今后的灌区节水效益评价中,模糊综合分析与灰色关联法评价结果不一致时,应以物元分析法的判定结果为依据得出最终结论。

4 结 论

灌区节水改造是灌区现代化重要组成部分,是经济社会发展现代化的重要支撑和保障,其重要性越来越突出。灌区节水改造综合效益评价涉及范围较广且内容较多,目前其评价体系建立在社会效益、工程效益、经济效益、管理效益等方面之上。在创建灌区节水改造综合效益评价体系时,创造性地引入了PSR模型,强调指标间压力-状态-响应的关系,从长远的角度分析比较压力指标、状态指标、响应指标的评价等级动态变化情况,有利于指导之后的政策、节水方案的制定。运用物元分析法对灌区1进行节水改造综合效益评价,其综合效益等级为“较好”级别,人均粮食占有量和粮食作物水分生产率不高,建议建立工程措施以增加灌区灌溉面积和引进高效节水灌溉技术。经过20个样点灌区的实例验证分析后,物元分析法相较于模糊综合法、灰色关联法能达到95%的一致率,当模糊综合法和灰色关联法判定结果有出入时,物元分析法能够为判定结果提供依据。在具体应用中,对于特殊情况需加以区别,如井灌灌区评价指标有所欠缺,需加入管道化率等相关指标;其次,体现PSR模型的优越性的前提条件在于灌区节水改造后有多运行数据,这方面有待进一步地验证。

参考文献:

- [1] 李小卜. 重点中型灌区节水改造效益评价及改造模式研究[D]. 保定:河北农业大学, 2012.
- [2] 王书吉, 费良军, 雷雁斌, 等. 综合集成赋权法在灌区节水改造效益评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12):48-51.
- [3] 王文川, 李筱峰, 徐冬梅. 大型灌区节水改造综合效益评价方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2012(1):119-123.
- [4] 迟道才, 马涛, 李松. 基于博弈论的可拓评价方法在灌区运行状况评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8):36-39.
- [5] 许静, 雷声隆. 基于人工神经网络的灌区改造评价[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2):1-4.
- [6] 刘霞, 焦建峰. 具有时滞的递归神经网络模型的分支分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(1):1-7.
- [7] 洪林, 熊玉江, 吕娟, 等. 大型灌区节水改造经济评价[J]. 节水灌溉, 2009(6):1-3.
- [8] 李小林, 张力娜. 基于灰色关联分析的直觉模糊多属性Web服务选择[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(6):152-157.
- [9] 朱秀珍, 李远华, 崔远来, 等. 运用灰色关联法进行灌区运行状况综合评价[J]. 灌溉排水学报, 2004, 26(6):44-48.
- [10] 方崇, 张春乐, 陆明本. 基于熵权的TOPSIS模型在右江灌区节水改造效益综合评价中的应用[J]. 节水灌溉, 2011(2):52-54.
- [11] 雷雁斌, 齐青青, 费良军, 等. 大型灌区节水改造项目评价方法研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(2):223-227.
- [12] RAPPORT D J, FRIEND A. Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-Response Approach[M]. Ottawa: Statistics Canada, 1979.
- [13] 麦少芝, 徐颂军, 潘颖君. PSR模型在湿地生态系统健康评价中的应用[J]. 热带地理, 2005, 25(4): 317-321.
- [14] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于PSR框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1):107-113.
- [15] 徐浩田, 周林飞, 成遣. 基于PSR模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J]. 生态学报, 2017, 37(24):8 264-8 274.
- [16] 蔡文. 可拓集合和不相容问题[J]. 科学探索学报, 1983(1):83-97.
- [17] 高卫东, 张海荣, 程金平. 基于物元可拓模型的地下水质量评价研究[J]. 环境科学与管理, 2007(6):169-172.
- [18] 刘邦贵, 刘永强, 王浩, 等. 基于物元分析法的区域水资源安全评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(5):100-103.
- [19] 高光贵. 多指标综合评价中指标权重确定及分值转换方法研究[J]. 经济师, 2003 (3):265-266.
- [20] 黄显峰, 钟婧玮, 方国华, 等. 基于物元分析法的水资源管理现代化评价[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(3):22-28.
- [21] 杨力, 刘程程, 宋利, 等. 基于熵权法的煤矿应急救援能力评价[J]. 中国软科学, 2013(11):185-192.
- [22] 张英杰. 中型灌区节水改造综合评估及对策研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2013.

Evaluating Multiple Benefits of Revamping Water-saving Irrigation District Based on the PSR Model

SHANG Linxin¹, LI Yufei³, SHAO Guangcheng^{1,2*}, DING Mingming⁴, YAO Junqi⁵, SHAO Luyang⁶

(1. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing 210098, China; 3. Water Conservancy Bureau of Huai'an District, Huai'an City,

Huai'an 223200, China; 4. Nanjing Water Affairs Bureau, Nanjing 210036, China;

5. Jiangsu Province Rural Water Conservancy Science and Technology Development Center, Nanjing 210029, China;

6. No 1 Middle School Yinan Shandong, Yinan 276300, China)

Abstract:【Objective】The purpose of this paper is to improve the existing evaluation system for determining the grade of water-saving benefits produced from revamping irrigation infrastructures.【Method】Based on the pressure-state-response model, we constructed the evaluation index system to estimate the water-saving benefits of reconstructing existing irrigation districts, and explained in detail of the basis of re-division of the water-saving benefits evaluation index under the framework of PSR model. By coupling the analytic hierarchy process and the entropy weight method, we got the combination of subjective weights and objective weight, and established the matter element analysis and evaluation model of the water-saving benefit of irrigation district reconstruction. The statistical data of 20 exemplar irrigation districts in China were analyzed and used to verify the model.【Result】The benefit grade of water saving transformation in the exemplar irrigated area 1 was better. Grain production per capita and water productivity were currently shortcoming in revamping irrigation districts. The calculated results for the 20 irrigation districts showed that the misjudgment rate of matter-element analysis method was only 5% in evaluation of water-saving benefit.【Conclusion】If the fuzzy comprehensive method and the grey correlation method are no consistent in evaluating the water-saving benefit of irrigation districts, one can consider of using the PSR model a reference to determine the grade of water-saving benefits.

Key words: irrigation district; water saving benefit; model; matter element analysis

责任编辑:白芳芳

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励1000元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部