

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222615

基于能值理论与熵权法的灌溉分类水价研究

黄毓林, 王双银, 李 鑫, 樊镕鑫, 马雪燕

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 研究分类水价可为合理制定农业水价提供科学依据, 对保障灌区良性运行、促进区域农业高质量发展具有重要意义。以粮油作物和经济作物为研究对象, 选取灌溉效益分摊系数和灌溉水产出两类评价指标, 采用能值理论定义了灌溉效益分摊系数, 并基于熵权法构建了不同作物农业水价份额评价体系, 建立了灌溉分类水价评估模型, 并将其应用于咸阳市宝鸡峡灌区。结果表明, 灌溉效益分摊系数为 0.42, 粮油作物农业水价分摊份额为 0.37, 经济作物为 0.63; 对于农业供水完全成本水价, 粮油作物农业水价为 0.485 元/m³, 经济作物为 0.827 元/m³; 对于农业供水运行成本水价, 粮油作物农业水价为 0.377 元/m³, 经济作物为 0.641 元/m³。

关键词: 能值理论; 熵权法; 灌溉分类水价; 咸阳市宝鸡峡灌区

中图分类号: [TV-9]

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)10-0176-04

1 引言

农业水价是保障灌区灌溉秩序和促进区域农业经济发展的关键环节, 是提高用水效率的有效手段, 目前农业水价普遍按照粮油作物和经济作物执行分类水价^[1]。如陕西省宝鸡峡、泾惠渠、石头河等灌区根据国办发[2016]2号精神, 在终端末级渠系用水环节探索实行粮油作物、经济作物、养殖业等分类水价, 其中宝鸡峡灌区制定经济作物水价为粮油作物水价的130%, 理论依据不足, 不能完全体现农业用水效率和效益。因此, 基于不同作物的效益差异, 采用能值理论与熵权法对不同作物灌溉水价份额进行评估, 以期获得灌溉分类水价的定量结果, 为区域灌溉分类水价制定提供科学依据, 这对于保障灌区良性运行、促进区域农业高质量发展具有重要意义。

2 研究区域与数据来源

咸阳市地处关中平原中部, 属大陆性季风气候, 气候温和, 多年平均降雨量为 537~650 mm、多年平均气温为 9~13.2 °C。年光照时数平均为 2 017.2~2 346.9 h, 其中 6~8 月的日照时数占

全年的 32% 左右, 光、热、水资源较丰富, 有利于农、林、牧、渔业发展。粮油作物主要包括小麦、玉米和油料, 经济作物主要为蔬菜、水果。

农田灌溉用水量数据来源于《2000~2020 年陕西省水资源公报》, 粮油作物亩均灌溉用水数据来源于《陕西省行业用水定额》(DB61/T 943-2014)^[2], 自然资源和经济数据来源于《2000~2021 年咸阳市统计年鉴》和《2000~2021 年陕西省统计年鉴》。

3 研究思路与方法

3.1 研究思路

基于能值理论与熵权法对灌溉分类水价进行定量研究。首先利用能值理论方法计算灌溉效益分摊系数(X_1)和粮油/农业(粮油+经济作物)灌溉水产出占比(X_2); 其次通过熵权法对指标 X_1 、 X_2 进行客观赋权得到熵权权重; 最后采用线性加权法计算综合权重, 确定不同作物灌溉水价份额, 从而对灌溉分类水价进行定量研究。

3.2 研究方法

3.2.1 基于能值理论的灌溉效益分摊系数(X_1)

常用的灌溉效益分摊系数计算方法有对比试验法、水分生产函数法和统计法等, 前两种方法需

收稿日期: 2022-12-21, 修回日期: 2023-01-24

基金项目: 陕西水利科技计划项目(2019slkj-03)

作者简介: 黄毓林(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水资源可持续利用与保护, E-mail: hyl241526@163.com

通讯作者: 王双银(1969-), 男, 博士、副教授、硕导, 研究方向为水文预报和水资源配置, E-mail: wshy0806@nwsuaf.edu.cn

要进行田间试验方可完成,耗时较长,而统计法需要收集大量、长序列数据,相关计算过程较为复杂,且无法真实反映灌溉对作物增产的影响^[3-4]。因此,本文从农业生产过程中各种投入占总投入的比例作为相应投入的效益分摊比例,为统一定量分析投入,引入能值理论将农业生产系统各种投入元素转化为同一度量单位——能值^[3-5],据此,将灌溉效益分摊系数(f_g)定义为农业生产过程中灌溉用水能值投入(T_G)与总能值投入 G_n 之比,即:

$$f_g = T_G / G_n \quad (1)$$

建立能值分析表对农业生产系统进行能值分析,利用能值转化率将投入元素能量转化为相同体系下的能值^[5],以便进行统一定量与分析,计算公式为:

$$E_M = \tau B \quad (2)$$

式中, E_M 为能值,sej; τ 为能值转换率(表 1)^[3-5],sej/j 或 sej/kg; B 为物质的能量或物质的量,j 或 kg。

表 1 农业生产系统能值转换率

Tab. 1 Energy conversion rates of agricultural production system

投入元素	能值转换率	投入元素	能值转换率
太阳能/(sej·J ⁻¹)	1	氮肥/(sej·t ⁻¹)	4.62×10 ¹⁵
雨水势能/(sej·J ⁻¹)	8.89×10 ³	磷肥/(sej·t ⁻¹)	1.78×10 ¹⁶
雨水化学能/(sej·J ⁻¹)	1.54×10 ⁴	钾肥/(sej·t ⁻¹)	2.69×10 ¹⁵
地心旋转能/(sej·J ⁻¹)	2.90×10 ⁴	复合肥/(sej·t ⁻¹)	2.80×10 ¹⁵
表土损失/(sej·J ⁻¹)	6.25×10 ⁴	农药/(sej·t ⁻¹)	1.62×10 ¹⁵
灌溉水/(sej·m ⁻³)	1.62×10 ¹²	薄膜/(sej·t ⁻¹)	3.80×10 ¹⁵
农业机械/(sej·J ⁻¹)	7.50×10 ⁷	柴油/(sej·J ⁻¹)	6.60×10 ⁴
劳力/(sej·J ⁻¹)	3.80×10 ⁵	种子/(sej·J ⁻¹)	2.00×10 ⁵

3.2.2 灌溉水产出(X_2)

农业生产过程中,经济作物与粮油作物的产出效益差异较大,导致种植不同作物的农户灌溉水价承受能力存在差异。其中粮油作物事关国家粮食安全、社会稳定的大局,在农业水价综合改革中具有重要意义^[6-7],因此为定量研究种植不同作物时的灌溉水价,利用粮油/农业(粮油+经济作物)灌溉水产出,反映粮油作物水价在灌溉水价中的比重状况,需分别计算灌溉水农业产出 Q 和灌溉水粮油作物产出 q ,计算公式为:

$$Q = (C/S)/W \quad (3)$$

式中, C 为作物产值,元; S 为农作物播种面积,亩; W 为农田灌溉平均用水量,m³/ha。

将粮油作物分为谷物、油料两种。利用式(3)计算谷物、油料各自灌溉水产出,根据作物播种比例及作物灌溉水产出加权计算得到粮油作物灌溉水产出量 q :

$$q = q_1 S_1 / S + q_2 S_2 / S \quad (4)$$

式中, q_1 为谷物灌溉水产出量,元/m³; S_1 为谷物

播种面积,ha; q_2 为油料灌溉水产出,元/m³; S_2 为油料播种面积,ha。

3.2.3 熵权法

熵权法是一种客观评价权重的赋值方法,基本思路为依据指标离散程度确定客观权重。熵值越小,反映指标值离散程度越大,提供的信息量越多,其权重也就越大^[8-9],计算流程见文献[9]。利用线性加权法计算粮油作物灌溉水价分摊份额 ω :

$$\omega = \frac{1}{n} \sum_i X_i W_i \quad (5)$$

式中, X_i 为第 i 个指标值; W_i 为第 i 个指标的权重值。

结合灌区农业供水成本水价及不同作物农业水价分摊份额,计算分类水价,计算公式为:

$$P_{\text{粮油}} = \omega Z \quad (6)$$

$$P_{\text{经济}} = (1 - \omega) Z \quad (7)$$

式中, $P_{\text{粮油}}$ 为粮油作物灌溉水价,元/m³; $P_{\text{经济}}$ 为经济作物灌溉水价,元/m³; Z 为灌区农业供水成本水价,元/m³。

4 模型应用

4.1 灌溉效益分摊系数

由于灌溉用水量受降雨、种植结构等诸多因素的影响,为客观真实地反映灌溉对农业增产的贡献,利用式(1)、(2)定量评估 2000~2020 年咸阳市灌溉效益分摊系数。近 20 年,咸阳市灌溉效益分摊系数分布在 0.37~0.48,多年平均值为 0.42(表 2),与成波等^[4]计算的西安市农业灌溉水效益分摊系数多年平均值比较接近,其值为 0.34。因此,本文取灌溉效益分摊系数为 0.42。

4.2 粮油作物灌溉水产出与农业灌溉水产出的关系

农业作物产出受种植比例、市场价格等多个方面的影响,为客观、准确地评估粮油作物灌溉水产出与农业灌溉水产出的关系,根据构造的灌溉水产出模型(式(3)、(4))计算 2000~2020 年咸阳市粮油作物灌溉水产出和农业灌溉水产出。

近 20 年粮油作物灌溉产出在 2.25~7.83 元/m³ 之间,农业灌溉水产出分布于 4.26~41.59 元/m³,粮油作物灌溉水产出和农业产出的比值(q/Q)最小值为 0.18,最大值为 0.56,多年平均值为 0.35(表 3)。这可能与种植结构调整、经济作物种植面积增大等因素有关,本文取粮油作物水价分摊份额 0.35,与之对应经济作物水价分摊份额 0.65。

表 2 2000~2020 年咸阳市灌溉效益分摊系数

Tab. 2 Allocation coefficient of irrigation benefit in Xianyang City from 2000 to 2020

年份	太阳能 /10 ¹⁹ sej	雨水势能 /10 ²⁰ sej	雨水化学能 /10 ²¹ sej	地心旋转能 /10 ²⁰ sej	表土损失 /10 ¹⁹ sej	灌溉水 /10 ²¹ sej	化肥 /10 ²¹ sej	薄膜 /10 ¹⁷ sej	农药 /10 ¹⁸ sej	农用总动 力/10 ¹⁹ sej	劳力 /10 ²⁰ sej	种子 /10 ²⁰ sej	总投入 /10 ²² sej	灌溉效益 分摊系数
2000	1.88	1.64	1.61	1.18	1.58	9.88	10.5	27.5	2.89	7.47	12.0	3.92	2.40	0.41
2001	1.87	1.69	1.67	1.18	1.51	9.35	10.2	25.6	2.74	7.57	11.8	3.89	2.31	0.40
2002	1.82	1.65	1.63	1.15	1.52	9.91	10.3	19.6	2.72	7.80	11.8	3.80	2.38	0.42
2003	1.76	2.39	2.35	1.11	1.54	8.54	10.0	16.6	2.66	8.04	12.2	3.67	2.30	0.37
2004	1.75	1.35	1.33	1.10	1.50	8.54	10.2	16.1	2.05	8.18	12.2	3.65	2.21	0.39
2005	1.75	1.47	1.44	1.10	1.45	9.10	10.2	16.1	2.05	8.18	12.0	3.65	2.27	0.40
2006	1.75	1.52	1.50	1.10	1.42	9.78	10.6	15.0	2.32	8.42	12.3	3.65	2.39	0.41
2007	1.70	1.94	1.91	1.07	1.41	8.34	8.49	14.7	2.33	8.64	11.7	3.54	2.07	0.40
2008	1.69	1.45	1.43	1.06	1.32	11.1	8.85	15.6	2.52	9.22	11.4	3.52	2.32	0.48
2009	1.69	1.59	1.56	1.06	1.32	11.1	13.8	21.7	3.70	17.1	11.0	3.52	2.85	0.39
2010	1.69	1.76	1.74	1.07	1.32	10.9	11.6	20.6	2.97	11.3	10.5	3.53	2.60	0.42
2011	1.69	2.26	2.23	1.07	1.31	10.2	10.5	26.7	3.18	12.5	9.88	3.53	2.49	0.41
2012	1.69	1.44	1.42	1.06	1.33	10.5	11.1	25.5	3.27	13.4	9.58	3.51	2.48	0.42
2013	1.69	1.37	1.35	1.06	1.32	10.2	11.0	30.0	3.30	14.1	9.48	3.51	2.43	0.42
2014	1.67	1.74	1.71	1.05	1.30	10.0	8.84	0.03	2.91	14.2	9.42	3.49	2.23	0.45
2015	1.64	1.60	1.57	1.04	1.28	8.04	8.77	0.03	2.94	14.6	8.62	3.43	2.00	0.40
2016	1.64	1.12	1.11	1.03	1.30	7.50	8.49	0.03	2.92	11.9	8.61	3.41	1.87	0.40
2017	1.49	1.63	1.61	0.94	1.08	9.23	7.29	0.02	2.54	11.5	7.88	3.11	1.96	0.47
2018	1.49	1.49	1.47	0.94	1.09	7.45	7.10	0.02	2.51	11.5	7.86	3.11	1.75	0.43
2019	1.50	1.61	1.59	0.94	1.09	7.45	7.14	0.02	2.56	11.8	7.86	3.12	1.77	0.42
2020	1.48	1.72	1.69	0.93	1.04	7.87	7.06	0.02	2.57	11.9	7.85	3.08	1.81	0.43
平均	1.68	1.64	1.62	1.06	1.33	9.28	9.63	13.9	2.75	10.9	10.3	3.51	2.23	0.42

注:化肥包括氮肥、磷肥、钾肥和复合肥;农用总动力包括柴油和农用机械动力。

表 3 粮油作物灌溉水产出占比

Tab. 3 Proportion of irrigation water output for grain and oil crops

年份	灌溉水产出量 /(元·m ⁻³)		播种面积占粮油作物 播种总面积比例		灌溉水产出量 /(元·m ⁻³)		产出 占比 q/Q
	谷物	油料	谷物	油料	粮油作物		
					粮食作物	农业	
2000	2.02	1.82	0.91	0.09	2.46	4.47	0.55
2001	1.90	1.87	0.91	0.09	2.40	4.26	0.56
2002	1.91	1.78	0.91	0.09	2.25	4.74	0.47
2003	2.05	1.94	0.91	0.09	2.31	4.90	0.47
2004	2.54	2.04	0.91	0.09	2.73	6.29	0.43
2005	3.11	2.48	0.92	0.08	3.31	8.13	0.41
2006	3.11	2.48	0.92	0.08	3.31	8.02	0.41
2007	3.81	2.37	0.93	0.07	4.02	9.39	0.43
2008	3.77	5.00	0.93	0.07	4.32	10.99	0.39
2009	4.15	4.44	0.93	0.07	4.85	12.03	0.40
2010	4.93	4.58	0.93	0.07	5.40	13.59	0.40
2011	5.54	6.40	0.93	0.07	6.65	23.41	0.28
2012	5.41	6.35	0.94	0.06	6.82	25.77	0.26
2013	5.58	6.37	0.94	0.06	6.60	24.65	0.27
2014	5.81	7.70	0.94	0.06	6.93	24.18	0.29
2015	6.05	7.92	0.94	0.06	7.09	25.74	0.28
2016	6.24	8.51	0.94	0.06	7.56	29.73	0.25
2017	6.48	9.33	0.93	0.07	7.83	30.24	0.26
2018	5.32	12.77	0.96	0.04	7.14	28.65	0.25
2019	5.37	12.88	0.96	0.04	6.92	35.92	0.19
2020	5.81	12.52	0.96	0.04	7.29	41.59	0.18
平均	4.33	5.79	0.93	0.07	5.15	17.94	0.35

4.3 灌溉分类水价计算

4.3.1 权重计算

首先利用熵权法计算灌溉效益分摊系数、粮油作物灌溉水产出占比的信息熵,在此基础上进行客观赋权,其次通过线性加权法得到粮油作物灌溉水价分摊份额综合权重。2000~2020 年灌溉效益分摊系数熵权法权重最小值为 0.30,最大值为 0.82,多年平均值为 0.58;近 20 年粮油作物灌溉水产出占比熵权法权重在 0.18~0.70 之间,多年平均值为 0.42;采用线性加权法计算的粮油作物灌溉水价分摊份额综合权重为 0.25~0.44,多年平均值为 0.37(表 4)。本文取粮油作物灌溉水价分摊份额综合权重为 0.37,与之相对经济作物灌溉水价分摊份额综合权重为 0.63。

4.3.2 灌溉分类水价计算

宝鸡峡灌区现行的农业供水完全成本水价为 1.312 元/m³,运行水价为 1.018 元/m³。结合粮油作物和经济作物灌溉水价份额计算结果可得,对于农业供水完全成本水价,粮油作物农业水价为 0.485 元/m³,经济作物为 0.827 元/m³;运行成本水价中粮油作物农业水价为 0.377 元/m³,经济作物为 0.641 元/m³。

表 4 粮油作物灌溉水价份额权重

Tab. 4 Irrigation water price share weight of grain and oil crops

年 份	熵权法权重		综合 权重	年 份	熵权法权重		综合 权重
	分摊系数	产值占比			分摊系数	产值占比	
2000	0.82	0.18	0.44	2011	0.53	0.47	0.35
2001	0.84	0.16	0.43	2012	0.45	0.55	0.34
2002	0.72	0.28	0.43	2013	0.47	0.53	0.34
2003	0.82	0.18	0.39	2014	0.37	0.63	0.35
2004	0.75	0.25	0.40	2015	0.57	0.43	0.35
2005	0.69	0.31	0.40	2016	0.54	0.46	0.33
2006	0.69	0.31	0.41	2017	0.24	0.76	0.31
2007	0.73	0.27	0.41	2018	0.43	0.57	0.32
2008	0.35	0.65	0.42	2019	0.38	0.62	0.28
2009	0.76	0.24	0.39	2020	0.30	0.70	0.25
2010	0.64	0.36	0.41	平均	0.58	0.42	0.37

5 结论

a. 基于能值理论定义了灌溉效益分摊系数,从成本—效益角度对灌区粮油作物和经济作物灌溉水价分摊份额进行了定量研究,补充和完善了农业水价理论体系,为合理制定灌溉分类水价提供了理论依据。

b. 咸阳市近 20 年灌溉效益分摊系数多年平均值为 0.42,近 20 年咸阳市单方灌溉水粮油作物产值和农业产值的比值(q/Q)逐年递减,这一

变化趋势可能与灌区种植结构的调整、经济作物种植面积增大等因素有关。

参考文献:

- [1] 尹鑫,耿雷华,黄昌硕,等.水利工程非农业供水水价现状及改革建议[J].水电能源科学,2017,35(10):59-62.
- [2] 陕西省水利厅.行业用水定额:DB61/T 943-2014[S].陕西:陕西省市场监督管理局,2018.
- [3] 罗乾,方国华,黄显峰,等.基于能值理论分析方法的农业灌溉效益研究[J].水电能源科学,2011,29(6):137-139.
- [4] 成波,李怀恩,徐梅梅.西安市农业灌溉水效益分摊系数及效益的时间变化研究[J].水资源与水工程学报,2017,28(1):244-248.
- [5] 何冰晶,王双银,杨建国,等.基于能值理论方法的农田灌溉气候调节效益估算[J].水资源与水工程学报,2020,31(6):230-235,242.
- [6] 徐大佑,刘贤焯.构建合理水价体系促进生态文明建设——深化水价改革与打造建设贵州生态文明先行区[J].价格理论与实践,2022(6):5-6.
- [7] 向玉凤,李晓云,李自强.基于湖北两市调查数据的差异化水价、农业用水成本及用水公平性研究[J].灌溉排水学报,2022,41(11):139-146.
- [8] 曲田,黄川友,殷彤,等.改进权重综合水质标识指数法及应用[J].水电能源科学,2018,36(1):44-47.
- [9] 刘晓敏,刘志辉,孙天合.基于熵权法的河北省水资源脆弱性评价[J].水电能源科学,2019,37(4):33-35.

Study on Irrigation Classified Water Price Based on Emery Theory and Entropy Weight Method

HUANG Yu-lin, WANG Shuang-yin, LI Xin, FAN Rong-xin, MA Xue-yan

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The study of classified water price can provide scientific basis for the rational formulation of agricultural water price, which is of great significance for guaranteeing the benign operation of irrigated areas and promoting the high quality development of regional agriculture. Taking grain and oil crops as the research object, two evaluation indexes of irrigation benefit apportionment coefficient and irrigation water output were selected to define the irrigation benefit apportionment coefficient by emery theory. The agricultural water price share evaluation system of different crops was constructed based on entropy weight method, and the irrigation classified water price evaluation model was established and applied in Baojixia irrigation district of Xianyang City. The results show that the share coefficient of irrigation benefit was 0.42, the share of agricultural water price of grain and oil crops was 0.37, and that of cash crops was 0.63. For agricultural water supply at full cost, the agricultural water price of grain and oil crops was 0.485 yuan/m³, and that of cash crops was 0.827 yuan/m³. As for the water price of agricultural water supply operation cost, the agricultural water price of grain and oil crops was 0.377 yuan/m³, and that of cash crops was 0.641 yuan/m³.

Key words: emery theory; entropy weight method; irrigation classified water price; Baojixia irrigation district in Xianyang City