

基于主成分及信息熵的额敏灌区农业用水特征*

王世威^{1,2}, 范文波^{1,2}, 马军勇³, 杨海梅^{1,2}, 任聪哲^{1,2}, 李顺顺^{1,2}, 刘雨^{1,2}

1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000
2. 现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000
3. 新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000

摘要: 以额敏灌区农业灌溉用水为研究对象, 采用主成分分析、信息熵分析方法, 选取10个指标对灌区2009—2021年进行主成分分析。结果表明: 影响灌区农业用水的主要驱动因子为衬砌防渗渠道长度、灌溉面积、农作物播种面积、节水灌溉面积、灌溉水量、农业人口数等6个指标; 时间上, 2009—2022年额敏灌区用水构成以农业灌溉用水为主, 耕地、园地、林地、牧草地灌溉用水量分别占农业灌溉用水量的90.25%、3.12%、5.05%、1.58%, 农业灌溉用水量于2010—2020年呈现逐年下降趋势; 空间上, 灌区东北部农业用水以地表水为主, 中部与西部地表水和地下水占比基本一致。2009—2022年信息熵值与均衡度在灌区不同地理位置表现为: 西部>东北部>中部, 东北、中、西部信息熵分别为0.36、0.32、0.56 Nat, 东北、中、西部均衡度均值分别为0.26、0.23、0.40。分析成果可为灌区农业灌溉用水现状及用水管理提供理论参考。

关键词: 额敏灌区; 农业灌溉用水; 主成分分析; 信息熵; 均衡度

中图分类号: S274 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2024)03-0103-10

Characteristics of agricultural water use in Emin irrigation area based on principal component and information entropy

WANG Shiwei^{1,2}, FAN Wenbo^{1,2}, MA Junyong³, YANG Haimei^{1,2}, REN Congzhe^{1,2}, LI Shunshun^{1,2}, LIU Yu^{1,2}

1. College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China
2. Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi 832000, China
3. Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation, Shihezi 832000, China

Abstract: Taking agricultural water use in Emin Irrigation District as the research object, In this study, we applied principal component analysis, information entropy and equilibrium degree to carry out principal component analyze the 10 indicators data of the irrigation district from 2009 to 2021. The result shows that: the main drivers affecting agricultural water use in irrigation districts are six indicators: length of lined impermeable canals, irrigated area, area sown to crops, water-saving irrigated area, volume of irrigation water, and number of people in agriculture. Temporally, the water use composition of Emin Irrigation District from 2009 to 2022 is dominated by agricultural irrigation water, and the water use for irrigation of cropland, garden land, forest land and pasture land accounted is 90.25%, 3.12%, 5.05% and 1.58%, respectively, and the water use for agricultural irrigation showed a decreasing

* 收稿日期: 2023-11-09

录用日期: 2023-12-23

网络首发日期: 2024-01-08

基金项目: 国家自然科学基金(41761064); 第九师2023年度灌溉水有效利用系数测算分析项目(0415-KH0161)

作者简介: 王世威(1996年生), 男; 研究方向: 农业水土资源高效利用; E-mail: wangshiwei@stu.shzu.edu.cn

通信作者: 范文波(1975年生), 男; 研究方向: 节水灌溉及农业水土资源高效利用; E-mail: liubo@stu.shzu.edu.cn

trend year by year from 2010 to 2020. Spatially, the upstream of the irrigation area is dominated by surface water for agricultural water use, and the ratio of surface water and groundwater in the middle and downstream of the irrigation area is basically the same. From 2009 to 2022, the information entropy value and balance degree in different geographical locations of the irrigation area are: downstream > upstream > midstream, and the information entropy of the Northeast, Central, and West are 0.36, 0.32, and 0.56 Nat respectively, and the mean values of the Northeast, Central, and West equilibrium are 0.26, 0.23, and 0.40, respectively. The results of the analysis can provide theoretical references for the status quo of water use for irrigated agriculture in the irrigation area and the management of water use.

Key words: Emin Irrigation District; agricultural irrigation water use; principal component analysis; information entropy; equilibrium

水资源是农业发展的命脉,在农业发展中至关重要(Yi et al., 2021; 杨鑫等, 2023)。新疆地处欧亚大陆腹地,气候干旱,但新疆水资源量仅占全国的3%左右,水资源在时空上分布不均衡,地方水资源不足(左其亭等, 2021)。水资源问题是限制北疆地区农业及生态环境建设的主要因素(海洋等, 2019)。雷亚君等(2017)对新疆2015—2025年的生态水资源趋势进行预测,研究指出新疆历年来水资源承载力处于超负荷状态(魏柏浩等, 2023),水资源利用率较低;随着目前社会经济的发展需要,农业用水处于与非农业用水竞争的现状(Wang et al., 2023)。近些年来,农业农村部坚持加快发展节水农业(吴勇等, 2021),农业用水量在干旱半干旱地区使用量较大(许航等, 2021),农业用水主要被用于农业灌溉部分(陈杰等, 2022),农业灌溉用水对农业发展起到决定性影响。学者们对农业用水结构方面的研究也逐渐增加,张陈俊等(2019)基于LMDI方法对长江经济带的农业用水结构在时间及空间上对驱动因素进行分解;李腾等(2021)利用水资源承载力对河北省水资源结构进行分析。农业用水结构驱动因素分析可对发展节水农业发展可起到推动作用。

主成分分析是一种多元统计的方法,通过对原始选取数据进行线性组合后将多个指标整合为可有效代表原始数据的综合指标,进而降低问题研究的复杂性(张翔等, 2022)。包鑫如等(2023)利用主成分分析研究了长江经济带的用水结构驱动力及其演变。陈达等(2022)运用主成分分析探究了长江岸线利用率的影响因素。国内利用主成分分析农业用水构成的研究较丰富,但对灌区内的农业灌溉用水研究较少。

额敏灌区地处新疆西北部位于塔额盆地东北区块,地处塔城市额敏县隶属于新疆第九师管辖,是当地的大型灌区。本文选取额敏灌区为研究区,其中农业用水结构驱动因素指标研究时间为2009—2021年,信息熵和均衡度的用水量指标研究时间为2009—2022年,探究灌区农业用水结构特征,并分析影响其的主要驱动因素。通过对农业用水结构及其驱动因素分析,可评估农业灌溉用水状况,为今后改善农业用水状况提供参考。

1 研究区概况

额敏灌区位于新疆维吾尔自治区西北部第九师,概况图见图1。灌区年均日照时数2 405.6 h,无霜期平均为118 d,年均降水量为342.77 mm。额敏灌区水源主要为地表水与地下水结合,见表1。灌区水量配置中地表水占比大于地下水占比,其中东北部以地表水占比为主,占比均值为80.57%;中部与西部地表水与地下水占比基本对等。本文根据灌区内的不同地理位置将灌区分为东北部(165团、167团、168团)山前倾斜平原、中部(166团、团结农场)低山丘陵区、西部(163团、164团)平原。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据资料来源

本文数据来源取于《新疆生产建设兵团统计年鉴2009—2021年》《塔城市统计年鉴2009—2021年》《九师统计提要2009—2021年》;水量数据(2009—2022年)来自于九师水利局提供;降雨量、平均气温等指标数据来自中国气象数据网。

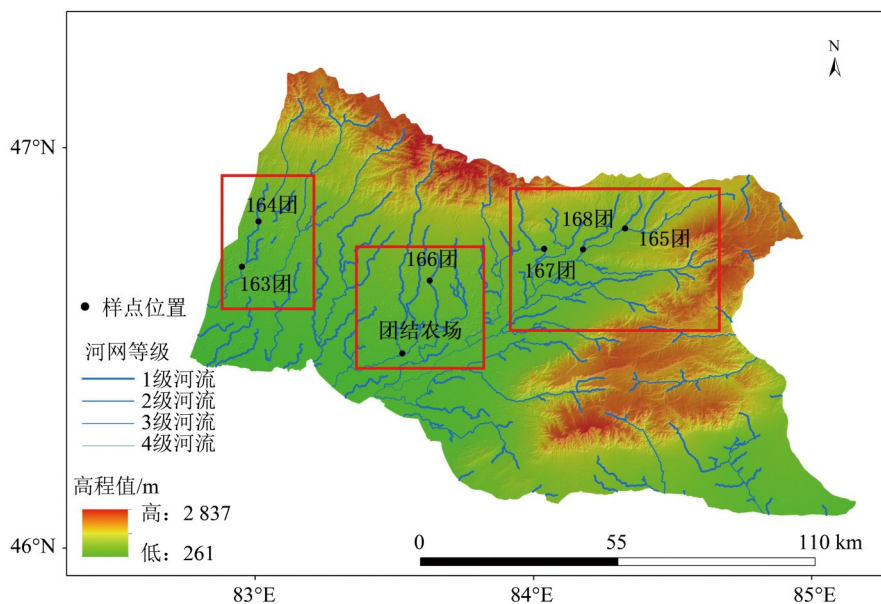


图1 研究区概况图

Fig. 1 Overview of study area

表1 灌区水量分配

Table 1 Water allocation in irrigation area

年份	地下水占比			地表水占比			灌区总计	
	东北部	中部	西部	东北部	中部	西部	地下水占比	地表水占比
2009	0.14	0.54	0.53	0.86	0.46	0.47	0.42	0.58
2010	0.16	0.52	0.43	0.84	0.48	0.57	0.36	0.64
2011	0.14	0.58	0.59	0.86	0.42	0.41	0.48	0.52
2012	0.24	0.62	0.60	0.76	0.38	0.40	0.52	0.48
2013	0.18	0.58	0.55	0.82	0.42	0.45	0.58	0.42
2014	0.23	0.59	0.57	0.77	0.41	0.43	0.47	0.53
2015	0.29	0.49	0.64	0.71	0.51	0.36	0.49	0.51
2016	0.22	0.54	0.62	0.78	0.46	0.38	0.46	0.54
2017	0.25	0.51	0.44	0.75	0.49	0.56	0.40	0.60
2018	0.19	0.50	0.41	0.81	0.50	0.59	0.37	0.63
2019	0.16	0.49	0.37	0.84	0.51	0.63	0.34	0.66
2020	0.18	0.49	0.33	0.82	0.51	0.67	0.32	0.68
2021	0.18	0.60	0.46	0.82	0.40	0.54	0.41	0.59
2022	0.16	0.63	0.39	0.84	0.37	0.61	0.37	0.63

2.2 研究方法

2.2.1 主成分分析 主成分分析是用少数综合指标来替代原始较多变量的一种统计分析方法(Loise et al., 2019)。假设有 n 个指标样本, 每个样本共有 p 个变量。形成的矩阵 R 为

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{pmatrix}$$

r_{ij} 的计算为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}},$$

式中 $r_{ij}(i, j=1, 2, \dots, p)$ 为原变量的 x_i 与 x_j 之间的相关系数, \bar{x}_i 、 \bar{x}_j 为第 i 、 j 个指标的均值。

主成分 Z_i 贡献率为

$$\lambda_i / \sum_{k=1}^p \lambda_k, \quad (i = 1, 2, \dots, p).$$

累计贡献率为

$$\sum_{k=1}^i \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k, \quad (i = 1, 2, \dots, p).$$

随后对主成分荷载进行计算,

$$l_{ij} = p(z_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} e_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, p),$$

式中特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 所对应的为第 1、第 2、 \dots 、第 p 个主成分, 其中 e_{ij} 为特征值所对应的特征向量。

最终对主成分得分进行计算

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{pmatrix}.$$

2.2.2 信息熵 信息熵可用来对农业用水结构变化趋势进行描述(董森等, 2022)。信息熵值的增加表明混乱程度的增加, 可以用来表述农业用水分配的均衡度(赵玉峰等, 2020), 其信息熵值越大, 则表明农业灌溉用水量的分配更加合理与平均(崔婧等, 2015)。本文通过计算一定时间段内的信息熵值来反映农业用水中耕地、林地、园地及牧草地灌溉用水的适配情况, 来定量描述额敏灌区农业用水的变化状况。

2.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据记录与整理, 采用 Origin 2018 基于数据进行绘图, 数据分析方面是采用的 SPSS Stat26 进行分析整理。

3 结果与分析

3.1 灌区农业用水现状

额敏灌区 2001—2022 年用水结构构成见图 2。由图 2 可知, 灌区内农业灌溉用水量在用水构成中占比最大, 为主要用水构成部分, 农业灌溉用水量总体呈现波动形式, 且在 2014—2020 年用水量明显下降, 从 2014 年的 $2.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 2020 年的 $1.55 \times 10^8 \text{ m}^3$; 在此期间城镇生活、乡村生活用水量增加明显, 工业用水量与生态环境用水量也有所增

加; 2021—2022 年的农业灌溉用水量呈现增加趋势, 与灌区全面实现井点双控有一定的关系; 可以看出灌区内虽然农业灌溉用水占主要用水部分, 非农业用水占比较少, 但随着时间推移非农业灌溉用水量较之前是增加的, 说明随着灌区现代化管理, 近几年对于非农业用水结构来说是丰富与完善的。

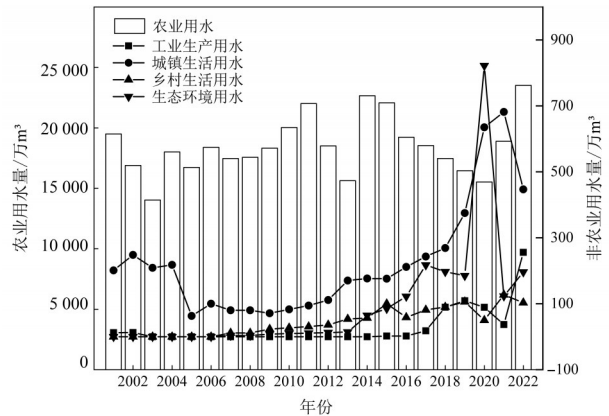


图2 灌区用水结构

Fig. 2 Water use structure in irrigation area

2009—2022 年灌区内农业灌溉用水结构构成见图 3。由图 3 可以看出灌区内耕地灌水量总体呈现波动趋势, 其中 2014—2020 年用于耕地的灌水量呈现递减规律, 从 2014 年的 $2.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少到 2020 年的 $1.35 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均减少率为 6.04%, 同时用于园林、牧草地灌溉的水量总体变化不大, 林地灌溉水量总体呈现增加的趋势; 2021—2022 年期间的农业用水中, 耕地灌溉以及园地灌溉的水量较之前呈现出增加趋势。总体而言, 灌区内的农业灌溉水量占比呈现的规律为耕地 > 林地 > 园地 > 牧草地; 用于牧草地灌溉的水量最多的是 2017 年为 $7.01 \times 10^6 \text{ m}^3$, 其他年份较为接近。

3.2 灌区农业用水结构驱动力分析

3.2.1 农业用水结构驱动因子选取 本文选用主成分分析对额敏灌区农业用水结构进行分析, 在生产因素、工程建设、经济因素、人口因素、自然因素共选取 10 个指标, 分别为: 年末畜牧业存栏数、农作物播种面积、灌溉面积、灌溉水量、节水灌溉面积、衬砌防渗渠道长度、农村集中式供水工程数量、农业总产值、农业人口数、年平均气温。基于 2009—2021 年基础数据, 对基础数据进行无量纲化处理, 进行 KMO 值和巴特利特球形度检验见表 2, 得到 KMO 值为 0.749, 大于 0.70; 巴特利特球形显著性小于 0.001, 符

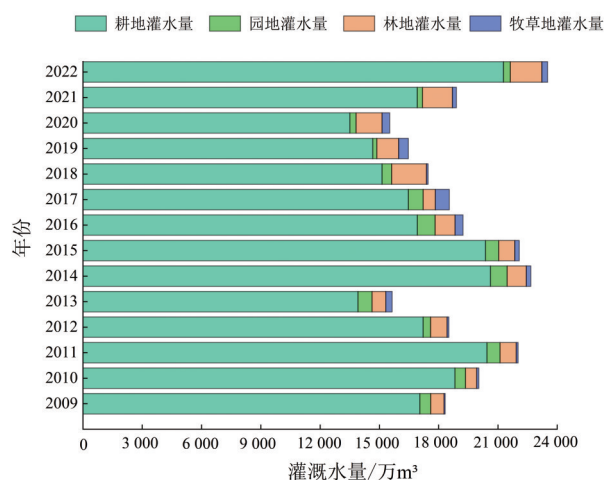


图3 灌区农业用水结构

Fig. 3 The structure of agricultural water use in irrigation area

表2 KMO和巴特利特检验

Table 2 KMO and Bartlett tests

检验	数值	
KMO	0.749	
巴特利特	近似卡方	767.419
	自由度	45.000
	显著性	0.000

合主成分分析。成分总方差分析见表3, 可以看到4个主成分的累计方差贡献率达到87.20%, 符合大于85%的要求; 因此选取主成分的个数为4个。

表3 成分总方差分析

Table 3 Total variance analysis of components

成分	特征值	初始特征值方差占比/%	累计贡献率/%	成分	特征值	初始特征值方差占比/%	累计贡献率/%
1	4.844	48.44	48.44	6	0.262	2.62	95.51
2	2.105	21.05	69.50	7	0.171	1.71	97.22
3	1.084	10.84	80.33	8	0.124	1.24	98.46
4	0.687	6.87	87.20	9	0.099	0.99	99.45
5	0.569	5.69	92.89	10	0.055	0.55	100.00

3.2.2 主成分分析 主成分分析中的成分得分系数见表4, 可以得出所选取的4个主成分的系数得分。本文将选取的10个指标划分为4个主成分; 由表4可得, 第1主成分中的得分系数较平均, 得分最高的是衬砌防渗渠道长度为0.193, 并为之呈正相关性, 说明灌区中有关水利设施的建设与完善可以有效影响农业用水情形; 主成分2中得分系数最高的是年末畜牧业存栏数为0.419, 与农业用水呈现正相关性, 主成分3中系数最高的农业总产值为0.776, 呈正相关; 主成分4中系数最高的农村集中式供水工程数量为0.983, 为正相关。

4个主成分的成分荷载值见表5, 体现出的是所选取的10个指标与4个主成分之间的关联性。由表5可以看出衬砌防渗渠道长度、灌溉面积、农作物播种面积、节水灌溉面积、灌溉水量、农业人口数等6个驱动因子的荷载矩阵值在主成分1中占比较大, 可以较好地反映选取指标与第1主成分之间的紧密性; 主成分1中的这6个驱动因子主要反映的是隶属于农业生产因素、工程建设与人口因素的驱动效果; 年末畜牧业存栏数、年平均气温2个驱动因子隶属于第2主成分, 且荷载值较

表4 主成分得分系数

Table 4 Principal component score coefficient

指标	成分1	成分2	成分3	成分4
农业人口数	0.159	0.039	0.042	-0.101
农业总产值	0.094	0.051	0.776	-0.188
年末畜牧业存栏数	0.004	0.419	0.278	0.084
农作物播种面积	0.173	0.203	0.018	-0.223
灌溉面积	0.177	-0.137	-0.073	-0.140
灌溉水量	0.171	-0.205	0.017	0.181
衬砌防渗渠道长度	0.193	0.009	-0.126	0.045
节水灌溉面积	0.172	-0.179	-0.074	-0.144
年平均气温	-0.049	-0.342	0.442	0.559
农村集中式供水工程数量	0.111	0.210	-0.137	0.983

大, 体现的是生产因素和自然因素的驱动效果; 农业总产值为第3主成分中的荷载值较大, 展现的是经济因素的驱动作用。农村集中式供水工程数量的荷载值是第4主成分中最高的, 反映的主要是有关农村水利建设的驱动效果; 生产因素、水利工程建设、人口因素的影响相对于自然因素、经

表5 主成分荷载值

Table 5 Principal component load values				
指标	成分1	成分2	成分3	成分4
衬砌防渗渠道长度	0.937	0.020	-0.137	0.031
灌溉面积	0.859	-0.289	-0.079	-0.096
农作物播种面积	0.837	0.428	0.019	-0.153
节水灌溉面积	0.832	-0.376	-0.080	-0.099
灌溉水量	0.827	-0.432	0.018	0.125
农业人口数	0.772	0.082	0.045	-0.069
年末畜牧业存栏数	0.022	0.882	0.302	0.058
年平均气温	-0.238	-0.720	0.479	0.384
农业总产值	0.456	0.107	0.841	-0.129
农村集中式 供水工程数量	0.539	0.442	-0.148	0.675

济因素和农村工程建设等因素更加明显。

3.3 农业用水结构时空特点分析

3.3.1 农业用水结构时间趋势分析 额敏灌区2009—2022年农业用水结构见图3。2009—2022年期间的信息熵及均衡度见图4。由图3可知：2009—2022年灌区中农业用水结构中占比最大的是耕地灌溉，耕地灌溉水量最大占比在2010年为94%，最小占比在2018年为86.66%；耕地、园地、林地及牧草地灌溉水量在农业灌溉用水量中的平均占比依次为90.25%、3.12%、5.05%、1.58%。由图4可知2009—2022年额敏灌区的信息熵值及均衡度整体呈现波动上升的趋势，信息熵值在近14 a期间中最低值为2010年的0.28 Nat，最高值为2020年的0.50 Nat；2009—2022年的均衡度最小值出现在2010年为0.20，最高值出现在2020年为0.36。可见额敏灌区的信息熵值普遍较低，说明在灌区中的农业用水分配较不平均。2009—2022年额敏灌区信息熵均值为0.4 Nat，低于魏卿等(2021)计算的沙湾县信息熵值(0.457~0.50 Nat)，这与灌区内农业灌溉水量中耕地灌溉水量占比呈现较高比例有关。

3.3.2 农业用水结构空间趋势分析 额敏灌区2009—2021年农业用水结构空间变化情况见图5a。由图5a可以得到：额敏灌区东北部、中部、西部农业灌溉用水量的总体变化情形是接近的，总体呈现“波动后上升”的趋势；其中东北部农业灌溉用水量在2009—2019年期间呈现波动趋势，农业灌溉用水量从 $5.42 \times 10^7 \text{ m}^3$ 减小到 $5.26 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，东北部农作物播种面积变化趋势基本稳定；灌区西

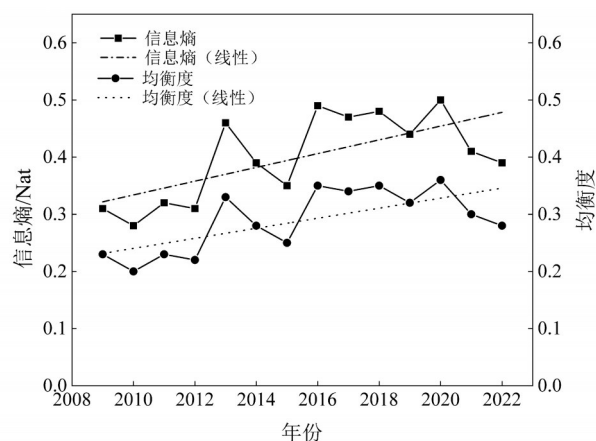


图4 灌区信息熵与均衡度变化

Fig. 4 Changes of information entropy and equilibrium degree in irrigation area

部农业灌溉用水量是相对于东北部和中部来说最高的，在2017—2020年西部农业灌溉用水量呈现下降的趋势，虽然2020—2022年农业灌溉用水量处于上升状态，但水量是从 $5.64 \times 10^7 \text{ m}^3$ 增加到 $7.50 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，较于之前的农业灌溉用水量是不高的。

2009—2022年灌区不同地理位置的信息熵及均衡度变化趋势见图6。由图6可以得到：信息熵值和均衡度相对较高的为西部，西部信息熵与均衡度在2009—2016年趋于稳定，均值分别为0.54 Nat与0.39；东北部与中部信息熵值与均衡度变化趋势较接近，呈现“先波动后增加”趋势，2009—2022年信息熵均值分别为0.36、0.32 Nat，2014—2022年信息熵值呈现增加的趋势；初步得到额敏灌区信息熵值普遍较低，反映了灌区农业灌溉用水分布有调整空间；东北部与中部信息熵值低于西部，东北部及中部的农业用水情况相较于西部较差，可以进行优化调整。这一结果与查建平等(2021)对沿黄九省区农业用水分析结果呈现“东西高，中间低”的特征较为一致。

3.4 主要影响因素分析

3.4.1 经济因素影响 额敏灌区2009—2021年的产值构成见图7a，灌区内经济来源主要为第一产业产值；由图7a可以看出：灌区2009—2021年第一产业与第三产业的生产总值均呈现出增加趋势，第二产业生产总值总体呈现波动趋势；其中灌区2009—2021年的第一产业生产总值的年均增长量为 1.05×10^8 元，年均增长率为12.80%；第二产业生产总值总体呈先增加后减少的趋势，2009—2021年第二产业生产总值的年均增长量为 1.22×10^7

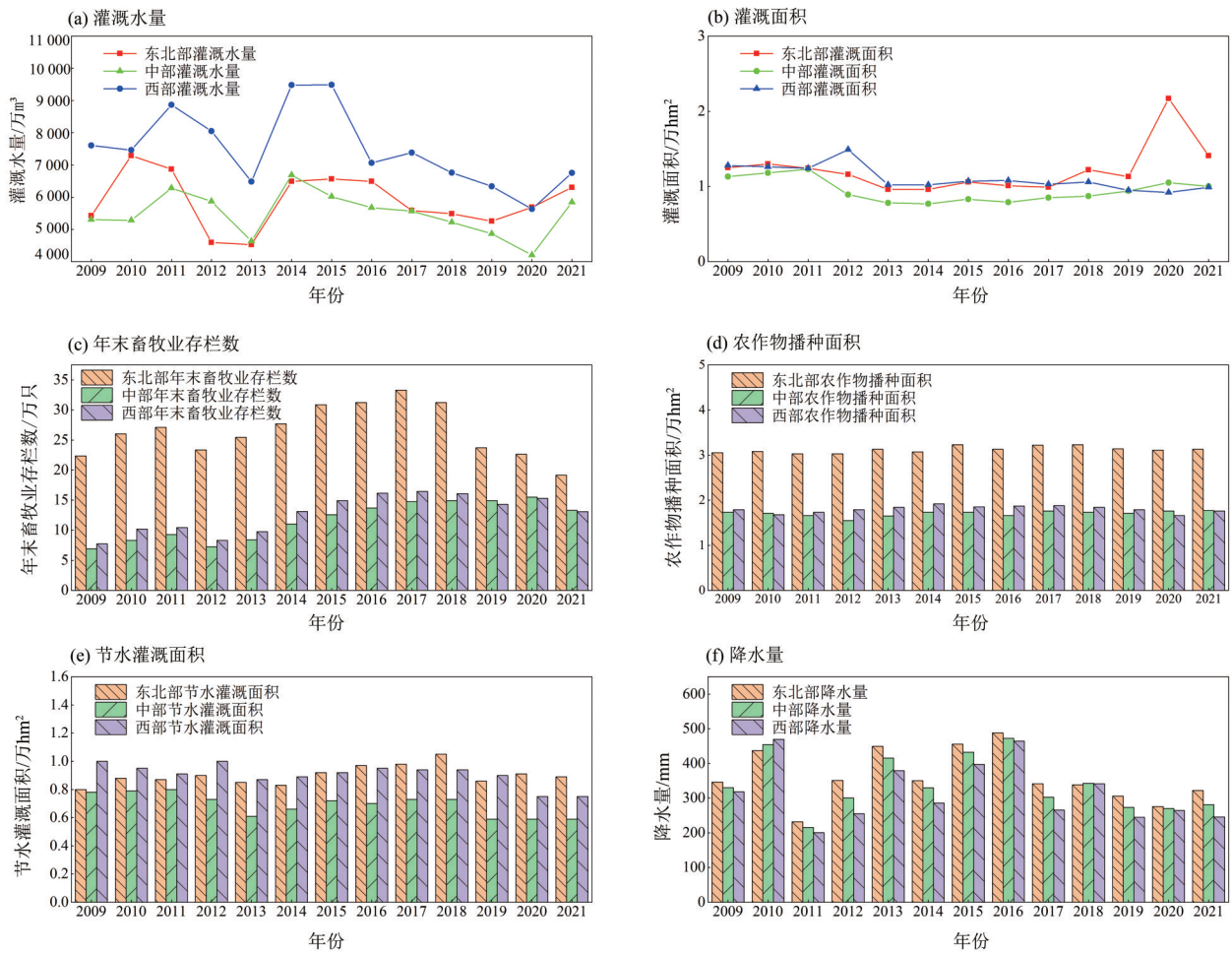


图5 灌区不同地理位置生产规模结构图

Fig. 5 Production scale structure of different geographical locations in irrigation area

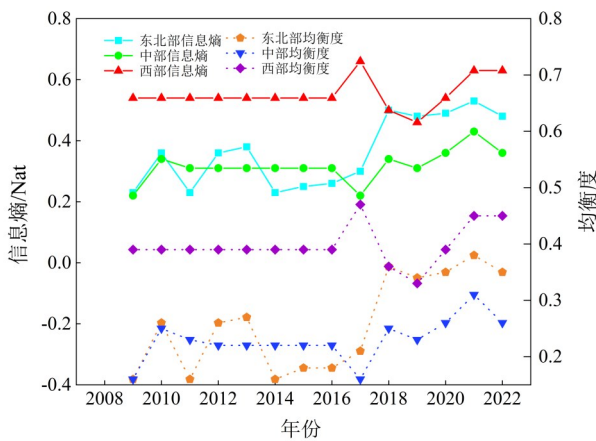


图6 灌区不同地理位置信息熵及均衡度变化趋势

Fig. 6 The change trend of information entropy and equilibrium degree in different geographical locations of irrigation area

元, 年均增长率为 11.41%; 第三产业生产总值年均增长量为 6.73×10^7 元, 年均增长率为 17.71%; 由灌区内各产业的生产总值增长情况可以得出: 2009—2021 年期间年均增长幅度由大到小是: 第

一产业生产总值 > 第三产业生产总值 > 第二产业生产总值, 灌区内生产总值是以第一产业为主, 第三产业次之, 第二产业最后; 其中第三产业的年均增长率最高, 第三产业的生产总值也为额敏灌区内的产值做出了较高贡献。

根据灌区的不同地理位置及水源分布情况, 将额敏灌区分为东北部、中部、西部在 2009—2021 年期间对第一、第二、第三产业生产总值分析见图 7。由图 7 可知: 第一产业生产总值与第三产业生产总值在东北部(图 7b)、中部(图 7c)、西部(图 7d)中整体表现为增加的趋势, 故灌区内的生产总值主要以第一产业、第三产业为主要占比; 第二产业生产总值在东北部(图 7b)、中部(图 7c)、西部(图 7d)总体均呈现先增加后减少的现象, 临界时间点为 2015—2017 年, 灌区内第二产业在东北部中于 2009—2015 年呈现增加趋势, 年均增长率为 44.14%, 2015—2021 年呈现减少趋势, 年均减少率为 15.13%; 在中部于 2009—2017 年呈现增加

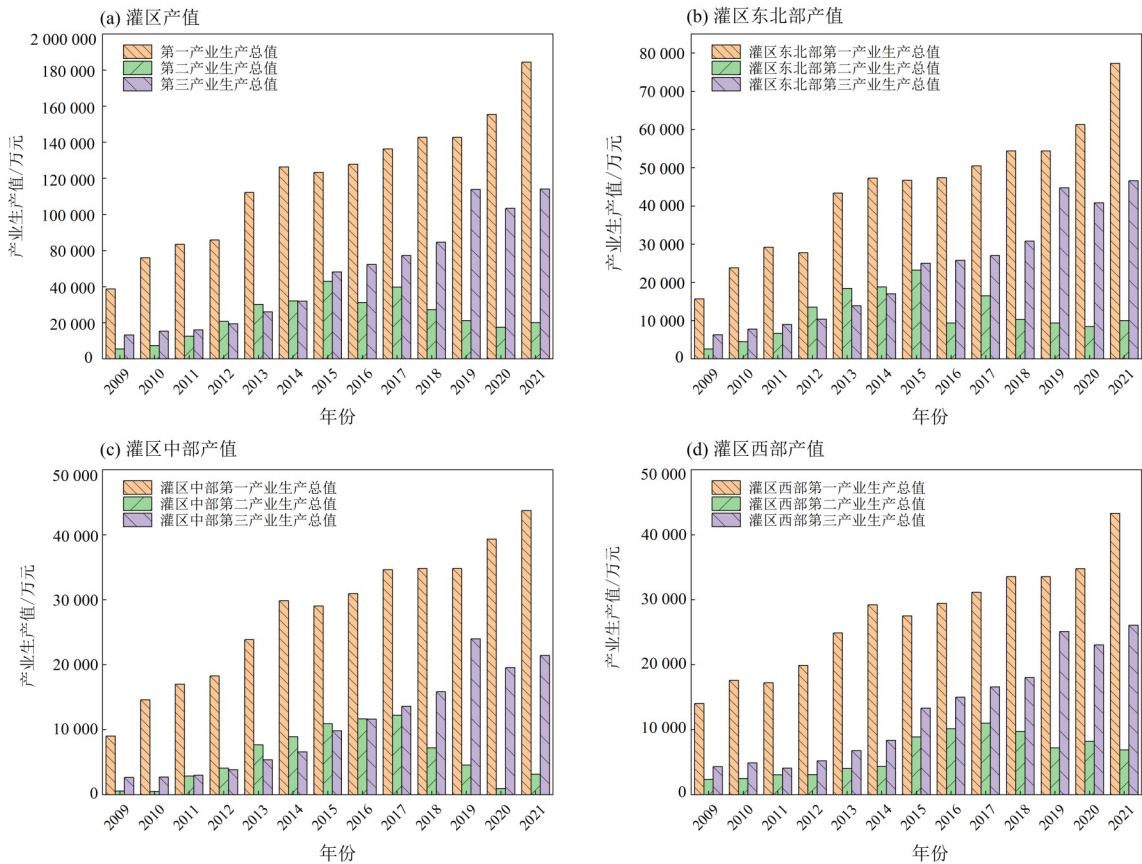


图7 灌区不同地理位置产值结构图

Fig. 7 The output value structure of different geographical locations in irrigation area

规律, 年均增长率为47.10%, 2017—2021年呈现减少的情形, 年均减少率为32.26%; 于2009—2017年在灌区西部呈现增加趋势, 年均增长率为21.31%; 灌区内东北部、中部、西部各类生产总值变化规律与总体生产总值变化趋势基本一致。

3.4.2 生产规模影响 额敏灌区2009—2021年的生产因素状况见图8, 针对灌区在生产因素方面选取的指标有: 年末畜牧业存栏数(万只)、灌溉面积(万 hm^2)、灌溉水量(万 m^3)、节水灌溉面积(万 hm^2); 由图5d与图8可知, 2009—2021年期间的农作物播种面积基本稳定, 但是用于农作物生长的灌溉水量在此期间呈现的变化是波动的, 2014年灌溉水量最大为 $2.27 \times 10^8 \text{ m}^3$, 有一定的调整空间。2009—2021年的年末畜牧业存栏数整体呈现“先增加后减少”的趋势, 总体变化不大; 节水灌溉面积在2009—2021年期间基本不变, 比较稳定; 所选取4个因素除灌溉水量之外的3个因素的变化基本稳定, 初步得出灌区中灌溉水量相对来说还有调整空间。

额敏灌区2009—2021年生产规模所选取的灌溉面积(图5a)、灌溉水量(图5b)、年末畜牧业

存栏数(图5c)、农作物播种面积(图5d)、节水灌溉面积(图5e)、降水量(图5f)6个指标在灌区东北部、中部、西部内的变化趋势见图5; 其中降水量近13a在东北部、中部、西部的变化趋势基本一致; 灌溉面积在中部和西部中的变化趋势接近, 东北部的灌溉面积2009—2019年波动不大, 2019—2021年呈现“先增加随后减少”的趋势; 整体来看, 灌溉水量这一指标在东北部、中部、西部同灌溉面积的变化趋势基本一致, 降水量与灌溉水量表现为降水量较多的个别年份灌溉水量会相对减少, 但是整体来看, 灌区中降水量对灌溉水量的影响相对较小, 于2009—2021年整体呈现不规则波动变化; 东北部、中部、西部年均气温2009—2021年变化规律与灌区东北部、中部与西部的降水量变化规律总体呈现相反的趋势, 变现为当年均气温变低时, 年降水量会表现变大; 农作物播种面积与节水灌溉面积在灌区东北部、中部、西部变化趋势基本稳定, 没有呈现出较大的波动; 年末畜牧业存栏数在东北部总体呈现“先增加后减少”的趋势, 可见近几年灌区东北部畜牧业的存栏数相对之前在减少, 中部与西部均呈现增

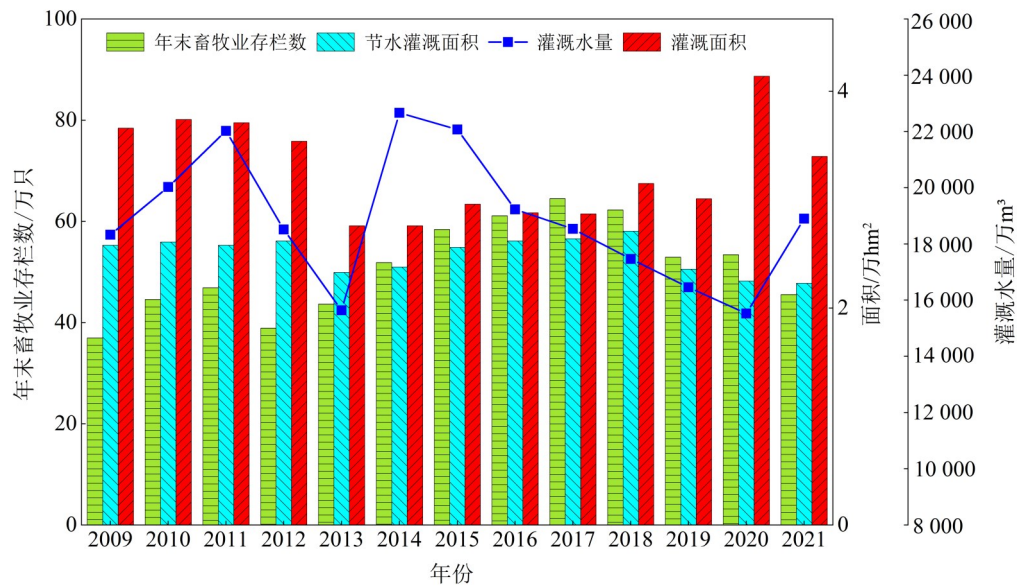


图8 灌区生产因素

Fig. 8 Production factors of irrigation district

加的趋势。

3.4.3 灌区工程建设影响 额敏灌区的工程建设情况，主要针对额敏灌区工程建设的影响因素选取有衬砌防渗长度与农村集中式供水工程数量两个方面。灌区2009—2021年期间，衬砌防渗长度与农村集中式供水工程数量整体来看均处于下降趋势，其中衬砌防渗长度近13 a均值为858.48 km，最大值为1 019.01 km(2012年)，最小值为712.55 km(2021年)；农村集中式供水工程数量均值为66个，最大值为74个(2013年)，最小值为57个(2020年)。可以看出随着现代灌区农业发展，额敏灌区在前期对工程建设的投入较最近几年投入较大，尤其是农村集中式供水工程数量，2009—2021年年均减少率为1.75%。其中2009—2021年灌区东北部衬砌防渗长度整体呈现稳定趋势，均值为360.83 km，农村集中式供水工程数量整体呈现“波动减少”的趋势；灌区中部衬砌防渗长度与农村集中式供水工程数量整体均呈现“稳定后减少”的趋势；2009—2021年灌区西部衬砌防渗渠道长度整体表现为较为平均状态，农村集中式供水工程数量在2009—2018年处于“稳定中上升”状态，2018—2021年处于“先下降后上升”趋势。

3.4.4 人口影响 额敏灌区2009—2021年期间农业人口数量整体表现为“W”字型趋势，近13 a农业人口数量均值为27 195人，农业人口数量最大值为29 629人(2009年)，最小值为25 448人(2014年)；2015—2021年灌区农业人口数总体呈现增加趋势，

从25 448人增加到28 278人。其中2009—2021年额敏灌区东北部农业人口数总体呈现增加趋势，从11 954人增加到12 628人；额敏灌区中部农业人口数整体呈现“先减少后增加”的趋势，2009—2012年期间中部农业人口数从8 112人减少到5 376人，年均减少率为10.40%，2012—2021年总体呈现增加趋势，年均增长率为2.84%；2009—2021年额敏灌区西部农业人口数变化规律整体表现为“先减少后增加”，与灌区中部农业人口变化规律接近。额敏灌区农业人口数虽然较之前人数最多年份有所减少，但近些年灌区的农业人口数处于增加的趋势，说明随着灌区农业现代化管理，农业从业人员人数近些年处于增加趋势。

4 结论

对额敏灌区近13 a的农业用水结构进行分析，主要采用主成分分析、信息熵值与均衡度进行计算分析，可以得到灌区内农业用水结构的主要影响因素，得到的结论如下：

1) 灌区用水结构中农业用水部分占比均值为97.26%是用水构成的主要成分，地表水与地下水结合，其中地表水比重较高，占比均值为57%；农业灌溉用水量在2014—2020年呈现出下降的趋势，年均减少率为5.41%，在此期间非农业用水占比呈现增加趋势。

2) 分析得出影响灌区农业用水的主成分个数为4个，影响灌区农业用水结构的主要因素包含

农业生产因素、工程建设与人口因素。其中生产因素、水利工程建设、人口因素的影响相对于自然因素、经济因素和农村工程建设等因素更加明显。

3) 灌区在2009—2022年期间用于耕地灌溉的水量是农业灌溉用水量中占比最大的, 农业灌溉用水量中占比情况表现为: 耕地>林地>园地>牧草地; 信息熵值及均衡度变化趋势整体表现为波动上升的趋势, 灌区内信息熵值与均衡度均值分别为0.40 Nat、0.29。

4) 灌区在不同地理位置上的农业用水变化趋势较接近, 整体的变化规律为“先波动后上升”。

参考文献:

- 包鑫如, 张行南, 张文婷, 等, 2023. 长江经济带用水结构演变及驱动力分析[J]. 长江科学院院报, 40(2): 19-26.
- 查建平, 周玉玺, 周霞, 2021. 沿黄九省(区)农业用水效率与农业经济发展耦合协调关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 32(5): 219-222.
- 陈达, 钟菁, 吴腾, 等, 2022. 江苏省长江岸线利用率影响因素分析[J]. 水资源保护, 38(3): 17-24.
- 陈杰, 许朗, 吴东立, 2022. 华北平原节水技术、灌溉用水量反弹效应与地区异质性——基于Malmquist和LMDI指数分析[J]. 自然资源学报, 37(8): 2181-2194.
- 崔嫄, 赵鹏宇, 步秀芹, 等, 2015. 基于信息熵的郑州市用水结构演变及其驱动力的因子分析[J]. 节水灌溉, 238(6): 58-61.
- 董森, 卢华, 白惠婷, 等, 2022. 基于信息熵的河北省用水结构时空演变分析[J]. 水资源与水工程学报, 33(1): 79-85.
- 海洋, 龙爱华, 张沛, 等, 2019. 基于Cobb-Douglas生产函数的新疆各地区典型作物生产水足迹驱动因素研究[J]. 冰川冻土, 41(2): 494-503.
- 雷亚君, 张永福, 张敏惠, 等, 2017. 新疆水资源生态足迹核算与预测[J]. 干旱地区农业研究, 35(5): 142-150.
- 李腾, 刘晴, 隋鹏, 2021. 河北省水资源变化及可持续性评估[J]. 中国农业大学学报, 26(6): 11-20.
- 魏柏浩, 阿里木江·卡斯木, 如克亚·热合曼, 等, 2023. 天山北坡城市群生态承载力演变与生态敏感性分析[J]. 生态学报, 43(4): 1399-1411.
- 魏卿, 薛联青, 王桂芳, 等, 2021. 玛纳斯河流域用水结构时空演化及水资源空间匹配分析[J]. 水资源保护, 37(5): 124-130.
- 吴勇, 张赓, 陈广锋, 等, 2021. 中国节水农业成效、形势机

2009—2022年期间信息熵与均衡度在灌区不同地理位置表现为: 西部>东北部>中部, 东北部、中部、西部信息熵分别为0.36、0.32、0.56 Nat, 东北部、中部、西部均衡度均值分别为0.26、0.23、0.40。额敏灌区的信息熵值总体较低, 还有较高的提升空间。

针对灌区中的用水情况, 提出以下两点建议:

- ①加强灌区用水管理, 提高农户用水意识, 灌水情况可以结合当地降水状况; ②农业用水分配及信息熵存在一些不合理情形, 可以对灌区内的种植结构进行优化, 改善灌区内农业用水结构。

遇与展望[J]. 中国农业资源与区划, 42(11): 1-6.

许航, 李韬, 宋健峰, 2021. 旱区农业灌溉用水反弹效应及其区域差异——以西北五省(区)为例[J]. 资源科学, 43(9): 1808-1820.

杨鑫, 穆月英, 2023. 粮食安全视角下的农业水资源风险及其治理重点[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 22(3): 83-94.

张陈俊, 吴雨思, 庞庆华, 等, 2019. 长江经济带用水量时空差异的驱动效应研究——基于生产和生活视角[J]. 长江流域资源与环境, 28(12): 2806-2816.

张翔, 李榛, 2022. 基于主成分分析的北洛河水质时空分布特征及污染源解析[J]. 水土保持通报, 42(4): 153-160+171.

赵玉峰, 罗专溪, 于亚军, 等, 2020. 京津冀西北典型区域地下水水位时空演变及驱动因素[J]. 自然资源学报, 35(6): 1301-1313.

左其亭, 李佳伟, 马军霞, 等, 2021. 新疆水资源时空变化特征及适应性利用战略研究[J]. 水资源保护, 37(2): 21-27.

LOISEL S, TAKANE Y, 2019. Comparisons among several methods for handling missing data in principal component analysis (PCA) [J]. Adv Data Anal Classif, 13(2): 495-518.

WANG Y Z, ZHANG X Y, JIA Y F, et al, 2023. An integrated approach for agricultural water resources management under drought with consideration of multiple uncertainties [J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 37(5): 1763-1775.

YI W L, 2021. Forecast of agricultural water resources demand based on particle swarm algorithm [J]. Acta Agric Scand Sect B, 72: 30-42.

(责任编辑 张冰)