

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.026.

曲绅豪, 姚怀柱, 王彦东, 等. 江苏典型灌区农业水土资源匹配现状及其承载力特征[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 452-457, 467.

Qu Shenhao, Yao Huaizhu, Wang Yandong, et al. Matching Status and Bearing Capacity Characteristics of Agricultural Water and Land Resources in Typical Irrigation Districts of Jiangsu Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 452-457, 467.

江苏典型灌区农业水土资源匹配现状及其承载力特征

曲绅豪¹, 姚怀柱², 王彦东³, 陈于², 彭亚敏², 房凯³, 余冬立¹

(1. 河海大学 农业科学与工程学院, 南京 211100;

2. 江苏省农村水利科技发展中心, 南京 210029; 3. 宿迁市水务局, 江苏 宿迁 223800)

摘要: [目的] 客观分析灌区农业水土资源匹配状况和承载力水平, 进而促进灌区农业高质量发展和保障国家粮食安全。[方法] 以江苏典型灌区为研究对象, 通过计算基尼系数与农业水土资源匹配系数进行水土资源匹配现状分析, 通过构建涵盖水土资源、经济、生态和社会子系统的灌区农业水土资源承载力评价体系, 运用熵权法 TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)、障碍度和耦合协调度模型, 对典型灌区农业水土资源承载力系统健康度、影响因子和耦合协调度开展了研究。[结果] (1) 典型灌区基尼系数 $G=0.26$, 优于同期全国水土资源匹配水平, 各灌区水土资源匹配系数为 $2\ 800\sim 11\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, 水土资源匹配水平差异显著; (2) 各灌区水土资源承载力系统处在中低等水平, 现状条件下开发潜力有限, 社会子系统为影响承载力系统健康度的关键因素; (3) 各灌区水土资源承载力系统处在基本协调发展状态, 耦合协调度与承载力系统健康度呈正相关关系, 系统耦合协调性很大程度地限制了农业水土资源承载力的发展。[结论] 江苏典型灌区整体水土资源均衡, 各灌区之间水土资源匹配水平和承载力健康度差异显著, 灌区各子系统之间存在不均衡发展, 社会子系统成为限制承载力系统健康度发展的关键因素。

关键词: 农业水土资源; 承载力; 熵权法 TOPSIS 模型; 障碍度; 耦合协调度

中图分类号: F323.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)06-0452-06

Matching Status and Bearing Capacity Characteristics of Agricultural Water and Land Resources in Typical Irrigation Districts of Jiangsu Province

Qu Shenhao¹, Yao Huaizhu², Wang Yandong³, Chen Yu²,

Peng Yamin², Fang Kai³, She Dongli¹

(1. College of Agricultural Science and Engineering, HoHai University, Nanjing 210098,

China; 2. Development Center for Rural Water Conservancy and Technology of Jiangsu Province,

Nanjing 210029, China; 3. Water Conservancy Bureau of Suqian, Suqian, Jiangsu 223800, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to analyze of agricultural land and water resources matching and carrying capacity level in irrigated areas, so as to promote the high quality development of irrigated areas and ensure national food security. [Methods] This study took the typical irrigation areas of Jiangsu Province as the research object. The matching degree of land and water resources was analyzed by applying Gini coefficient and the matching coefficient method. An evaluation system for carrying capacity of agricultural water and land resources in irrigation areas was established, including water and land resources, economic, ecological and social subsystems. TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution), obstacle

收稿日期: 2022-09-04

修回日期: 2022-10-04

资助项目: 国家自然科学基金(42177393); 江苏省水利科技项目(2021054); 宿迁市重点研发计划项目(S202101)

第一作者: 曲绅豪(1999—), 男, 山东烟台人, 在读硕士研究生, 研究方向为农业水土资源保护。E-mail: 619267127@qq.com

通信作者: 余冬立(1980—), 男, 湖南长沙人, 博士, 教授, 主要从事农田水土过程与侵蚀控制研究。E-mail: shedongli@hhu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

model and coupling coordination degree model were used to study the health degree, influence factors and coupling coordination degree of the carrying capacity system of agricultural water and land resources in typical irrigation areas. [Results] The Gini coefficient of typical irrigation areas was 0.26, which was better than that of the national averages in the same period. The matching coefficient of water and land resources in all irrigation areas ranged from 2 800 to 11 500 m³/hm², and the matching level of water and land resources was significantly different among different irrigation areas. The carrying capacity system of water and land resources in the irrigation areas was at a medium low level, and the development potential of water and land resource was limited in the current situation. The social subsystem was the key factor affecting the health degree of the carrying capacity system. The carrying capacity system of water and land resources was in a state of basic coordinated development. The coupling coordination degree was positively related to the health degree of the carrying capacity system. The system coupling coordination greatly restricted the development of the carrying capacity of agricultural water and land resources. [Conclusion] Typical irrigation areas of Jiangsu Province have balanced water and soil resources as a whole, and there are significant differences in the matching level of water and soil resources and the health degree of carrying capacity among the irrigated areas. There is unbalanced development among the subsystems of the irrigated areas, and the social subsystem has become a key factor limiting the health degree development of the carrying capacity system.

Keywords: agricultural water and soil resources; carrying capacity; entropy weight TOPSIS model; obstacle degree; degree of coupling coordination

灌区作为粮食和经济作物的主要产区,其水土资源的承载能力一直是灌区发展关注的热点。水土资源承载力主要通过地区可生产的最大粮食产量或可承载的最大人口数量来表征^[1]。李慧等^[2]通过构建承载力评价体系,对延安市农业水土资源匹配情况和承载力状况进行评价。朱薇等^[3]创新性地将层次分析法、熵权法和模糊综合评价模型结合,评价哈萨克斯坦农业水土资源承载力,并进行障碍度分析。任守德等^[4]将投影寻踪主成分分析模型应用于对三江平原农业水土资源承载力综合评价中。王凌阁等^[5]对甘肃河西地区的内陆河中游地区水土耦合协调情况进行量化研究。综合以往研究发现,相关学者意识到水土资源承载力受诸多因素影响,开始考虑经济、生态、社会等方面来构建水土资源系统承载力评价体系,同时不断创新评价方法和细化评价体系,从而适用不同区域水土资源承载力评价;另一方面,目前研究多集中于区县级、市级或省级尺度,缺少对灌区或粮食主产区特定区域的水土资源承载力研究。

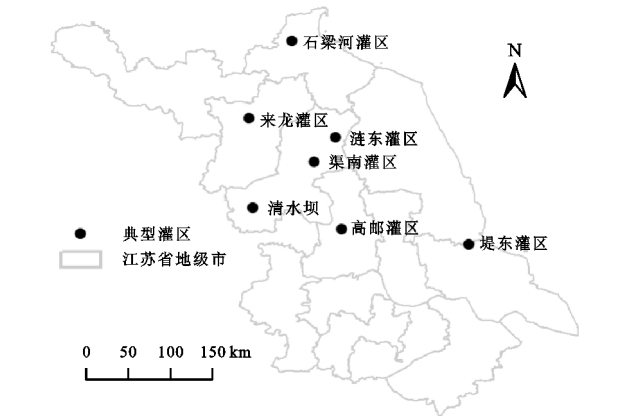
基于此,本研究以江苏典型灌区为研究对象,通过计算基尼系数和水土资源匹配系数,分析水土资源空间匹配格局和匹配现状,并结合熵权法 TOPSIS 模型对灌区水土资源承载力系统健康度进行评价,识别灌区发展的障碍因子;基于系统耦合协调理论,分析区域水土资源承载力系统的演化状态和内部要素

关系,以期灌区农业水土资源利用和管理提供科学性建议。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

以江苏省典型灌区为例开展本研究,研究区(30°45"—35°20"N,116°18"—121°57"E)地势平坦,河湖众多,农用地占全省土地的 60%以上,多年平均降水量为 996 mm,年际、年内分配不均,水资源可利用量少,供需矛盾突出^[6]。本文选择石梁河灌区、来龙灌区、涟东灌区、渠南灌区、清水坝、高邮灌区和堤东灌区 7 个大型灌区为研究对象,其分布情况见图 1。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2020)4619 号标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 1 典型灌区位置
Fig. 1 Typical irrigation area location

1.2 数据来源

本研究所用的耕地面积和农业用水量来自于《江苏省 2020 年统计年鉴》和《江苏省 2019 年水资源公报》,其余数据来自于 2019 年各典型灌区现代化水平评价基础信息调查统计。

2 研究方法

2.1 基尼系数和水土资源匹配系数

以灌区第一产业用水量累计比例为横坐标,耕地面积累计比例为纵坐标,按照排序构建洛伦兹曲线,基于洛伦兹曲线与 45°线构成面积的 2 倍计算基尼系数^[7]。基尼系数 G 的范围为 $[0,1]$,当耕地资源和水土资源空间分布越均衡,曲线与 45°线越接近,表示整体区域的水土资源匹配水平越好,即 G 值越小^[8]。

水土资源匹配程度即匹配系数越高,越有利于农业生产^[9]。

$$R_i = \frac{W_i}{L_i} \quad (1)$$

式中: R_i 为第 i 个灌区的水土资源匹配系数; W_i 为第 i 个灌区第一产业用水量(10^4 m^3); L_i 为第 i 个灌区耕地面积(hm^2)。

2.2 熵权法 TOPSIS 模型及障碍因子分析

水土资源承载力受经济、社会等不同系统中多因素影响,因此正确选取评价指标,构建科学评价体系是合理评价承载力水平的前提^[10]。本研究选取水土资源、经济、生态和社会 4 项子系统,结合传统农业和灌区现代化建设特色构建 24 项代表性指标,采用熵权法 TOPSIS 模型对典型灌区农业水土资源承载力系统健康度进行评价,并明确其障碍因子。模型评价指标体系见表 1,具体实施步骤见文献^[11]。

2.3 系统耦合协调模型

区域水土资源、经济、生态、社会是一个多层次复杂系统,水土资源的利用同区域经济的发展、社会的建设和生态的治理等多种因素相互联系、耦合协调,从而保证系统的关联和演化^[12]。因此,本文将基于系统耦合协调理论,构建典型灌区水土资源承载力系统耦合协调模型,分析各子系统之间耦合协调关系,为灌区水土资源可持续利用提供新思路。耦合协调度计算过程如下:

(1) 计算各子系统贡献值。

$$U_i = \sum w_j x'_{ij} \quad (i=1,2,3,4) \quad (2)$$

式中: U_1, U_2, U_3, U_4 分别为水土资源子系统、经济子系统、生态子系统和社会子系统对总系统有序度的贡献值。

(2) 耦合协调指数。

$$C = 4 \times \left[\frac{U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 \cdot U_4}{(U_1 + U_2 + U_3 + U_4)^4} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

$$T = \sqrt{\alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2 + \gamma \cdot U_3 + \delta \cdot U_4} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (5)$$

式中: C 为系统耦合度; D 为系统耦合协调度; T 为子系统综合协调指数; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为各子系统贡献系数,具体取值为各子系统评价指标权重和,即 $\alpha = 0.27, \beta = 0.19, \gamma = 0.21, \delta = 0.33$ 。同时根据廖重斌^[13]的研究,对水土资源承载力系统耦合协调度进行类型划分(表 2)。

表 1 灌区水土资源承载力系统健康度评价体系

Table 1 Evaluation system of health degree of water and soil resources carrying capacity in irrigation area

项目	子系统	指标
灌区农业水土资源承载力系统健康度评价体系	水土资源子系统 A	垦殖率 A_1^*
		农业有效灌溉率 A_2
		农业水土资源匹配系数 A_3^*
		高耗水作物种植比例 A_4
		农业用水比例 A_5
	经济子系统 B	灌溉水有效利用系数 A_6^*
		复种指数 A_7
		经济密度 B_1^*
		人均地区生产总值 B_2
		单位耕地面积 GDP B_3^*
	生态子系统 C	单方水农业效益 B_4^*
		农业占总产值比例 B_5
		单位耕地施肥量 C_1
		单位耕地农膜施用量 C_2
		单位耕地农药使用量 C_3
	社会子系统 D	骨干沟渠完好率 C_4^*
		生态沟渠占比 C_5^*
		人口密度 D_1
		农机化程度 D_2^*
		人均水资源量 D_3^*
		人均耕地面积 D_4^*
		用水协会管控制面积比 D_5^*
		水利技术人员占比 D_6^*
		单位面积耕地用电量 D_7^*

注:带*表示正向指标(指标越大,水土资源承载力健康度越高),其他为负向指标(指标越大,承载力健康度越低)。

表 2 水土资源承载力系统耦合协调度划分标准

Table 2 Standard for division of coupling coordination degree of water and soil resource carrying capacity system

协调度	协调发展程度	
[0.80~1.00]	高度协调	协调发展类
[0.50~0.79]	基本协调	
[0.20~0.49]	濒临失调	失调衰退类
[0.00~0.19]	失调衰退	

3 结果与分析

3.1 水土资源匹配现状分析

通过对灌区基尼系数的计算发现,洛伦兹曲线与 45°线构成的面积 $A=0.13$,得出基尼系数 0.26,灌区水土资源匹配情况整体较好($0.20 < G \leq 0.30$),显著优于我国($G=0.57$)和全球($G=0.59$)范围内的水土资源匹配情况^[7],表明选择的 7 个典型灌区作为一个整体,水土资源是均衡的。从图 2 可以看出,各灌区水土资源情况不同,例如高邮灌区 25%的水资源服务 10%的耕地资源,来龙灌区 10%的水资源服务 10%的耕地资源,而石梁河灌区 15%的水资源服务了 25%的耕地资源,因此,本研究将计算各灌区水土资源匹配系数,探究各灌区水土资源匹配状况。

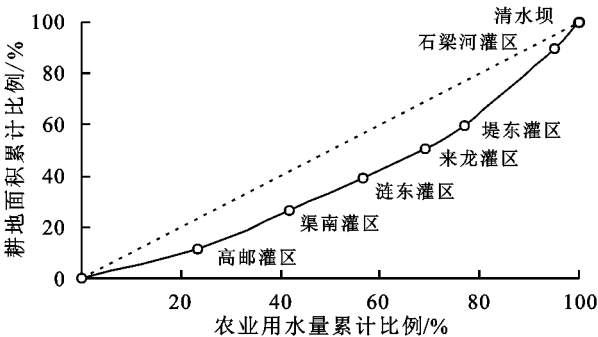


图 2 典型灌区基尼曲线示意图

Fig. 2 Gini curve diagram of typical irrigation area

3.2 水土资源承载力健康度评价及障碍度分析

选择的典型灌区水土资源承载力系统健康度由高到低分别为渠南(0.58)、高邮(0.52)、石梁河(0.50)、来龙(0.45)、涟东(0.44)、堤东(0.42)和清水坝灌区(0.39),承载力健康度差异显著。渠南灌区和高邮灌区的农业水土资源承载力健康度最高,这与水土资源匹配系数结果吻合。究其原因,渠南灌区是我国首批节水改造建设的大型灌区之一,共实施 10 期节水改造与续建配套工程项目,其“两河三堆”的灌排布置形式,充分利用回归水灌溉,节约用水和提高用水效率^[17]。而高邮灌区作为现代化灌区的典范,工程建设程度和管理调度水平均处于优秀水平,综合运用工程改造、调度运行、管理管护等措施,不断推进灌区现代化建设^[18]。清水坝灌区水土资源承载力系统健康度显著低于其他灌区,原因之一是水费征收难度大,灌区经费不足,灌区工程的改造养护和其他项目的发展受到阻碍,无法保证灌区灌溉效益充分发挥^[14]。其余灌区水土资源承载力系统健康度为 0.40~0.50,各灌区承载力评价等级属于中低等水平,开发潜力有限。根据及茹等^[19]针对江苏省粮食主产区多年平均农业水土资源承载力的研究结果发现,江苏省粮食主产区多年平均

水土资源为低承载力(<0.42),与本文研究相吻合。

计算各灌区农业水土资源匹配系数与江苏省农业水土资源匹配平均系数($6\ 500\text{ m}^3/\text{hm}^2$)的差值,结果见图 3。选择的 7 个典型灌区水土资源匹配系数差异显著,涟东、渠南和高邮 3 个灌区的水资源能够较好地满足耕地资源开发的需求,其中高邮灌区水土资源匹配状况最优;清水坝、来龙灌区的水土资源匹配系数略低于省平均匹配系数,其中清水坝灌区因尚未设立灌区统一管理机构,存在水费征收拖欠现象,水资源无法最大限度地利用^[14]。石梁河灌区和堤东灌区水土资源匹配系数显著低于全省水土资源匹配平均系数,其中石梁河灌区灌溉水量的调配缺少时效性和调度灵活性,使得供水效益低,水资源存在一定浪费^[15],而堤东灌区地处沿海地区,沿海开发需要消耗大量淡水资源,同时堤东灌区可抽取的淡水资源总量被严格限定,盈余部分还需要供滩涂围垦开发所用,使灌区淡水供给矛盾更加突出^[16]。

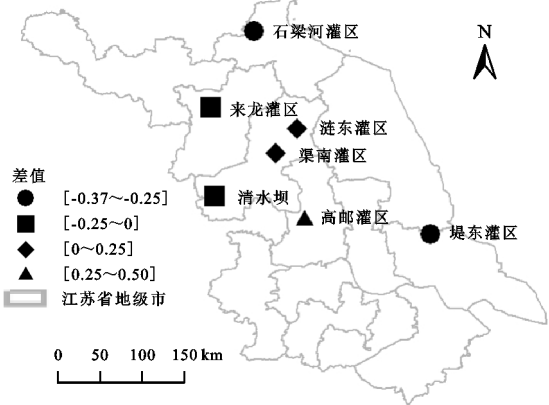


图 3 灌区水土资源匹配系数与全省平均值之间差值

Fig. 3 The difference between the matching coefficient of water and soil resources in irrigated area and the average value of the whole province

灌区水土资源承载力子系统(水土资源、经济、生态和社会子系统)障碍度占比情况如图 4 所示,各子系统障碍度为组成该子系统的指标障碍度之和。各子系统对农业水土资源承载力健康度的影响作用在不同灌区间差异显著,但各灌区均表现为社会子系统所占比例大,其次是水土资源子系统,表明选择的典型灌区农业水土资源承载力系统建设方面,特别是在社会子系统建设方面具有较大提升空间,但同时需统筹兼顾提升每个子系统承载力。为进一步探究影响承载力系统健康度的具体因素,选取各灌区前 5 的障碍因子进行排序分析(表 3),社会子系统指标要素,如农机化程度、人均耕地面积、人均水资源量、水利技术人员占比,以及生态子系统生态沟渠占比、骨干沟渠完好率,在不同灌区均占比较高;从各障碍度因子出现频

次分析可以看出,社会子系统对灌区农业水土资源承载力系统健康度的影响尤为突出,灌区水土资源发展规划中应重视社会子系统的发展和完善。

3.3 水土资源承载力系统耦合协调度分析

选择的典型灌区水土资源承载力系统耦合协调度(图 5)位于 0.50~0.60,各灌区之间差异不显著,均属于基本协调发展;水土资源承载力系统耦合协调度与健康度之间呈显著正相关关系,水土资源承载力系统耦合协调度越低,其承载力系统健康度水平越差,这与李怡^[20]的研究结论一致。各典型灌区在水土资源利用、经济发展、生态建设和社会发展之间还存在一定的耦合协调空间,各子系统之间存在明显不均衡现象,表明水土资源承载力系统健康度受各子系统、各因素共同作用,各子系统协调发展才能提高水土资源承载力,从而实现农业水土资源可持续利用。

表 3 影响各灌区发展的前 5 名障碍度因子

典型灌区	指标排序				
	1	2	3	4	5
渠南灌区	生态沟渠占比 C ₅ (10.77%)	单方水农业效益 B ₁ (10.71%)	单位面积耕地用电量 D ₇ (9.87%)	农机化程度 D ₂ (9.48%)	复种指数 A ₇ (8.72%)
涟东灌区	人均耕地面积 D ₄ (9.31%)	水利技术人员占比 D ₆ (8.78%)	农机化程度 D ₂ (8.75%)	人均水资源量 D ₃ (8.41%)	复种指数 A ₇ (8.01%)
清水坝	人均水资源量 D ₃ (7.41%)	单位面积耕地用电量 D ₇ (7.31%)	人均耕地面积 D ₄ (7.11%)	水利技术人员占比 D ₆ (7.06%)	农机化程度 D ₂ (7.00%)
石梁河灌区	人均耕地面积 D ₄ (10.78%)	人均水资源量 D ₃ (10.32%)	人口密度 D ₁ (9.08%)	水利技术人员占比 D ₆ (9.04%)	生态沟渠占比 C ₅ (8.23%)
来龙灌区	骨干沟渠完好率 C ₄ (11.25%)	人均耕地面积 D ₄ (9.90%)	人均水资源量 D ₃ (9.16%)	复种指数 A ₇ (7.51%)	人口密度 D ₁ (7.01%)
堤东灌区	生态沟渠占比 C ₅ (10.60%)	农机化程度 D ₂ (8.18%)	人均耕地面积 D ₄ (8.13%)	农业总产值比例 B ₅ (7.81%)	单位耕地农膜施用量 C ₂ (7.55%)
高邮灌区	骨干沟渠完好率 C ₄ (12.79%)	人均耕地面积 D ₄ (12.36%)	人均水资源量 D ₃ (9.96%)	农业有效灌溉率 A ₂ (8.25%)	人口密度 D ₁ (8.20%)

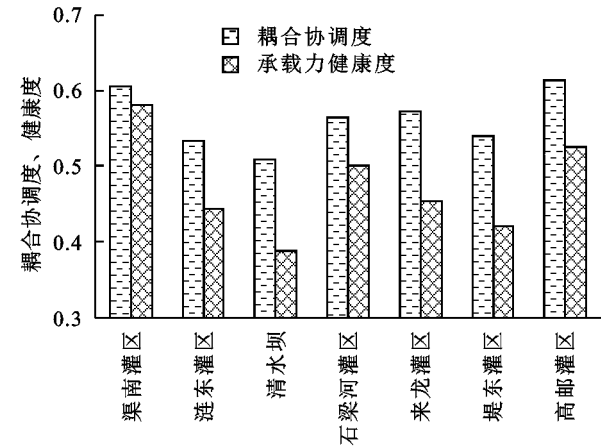


图 5 典型灌区承载力系统耦合协调度和健康度对比

Fig. 5 Comparison of coupling coordination degree and health degree of carrying capacity system in typical irrigation area

4 结 论

(1) 典型灌区基尼系数为 0.26,作为一个整体水土资源是均衡的,优于同期全国和全球范围内的水土

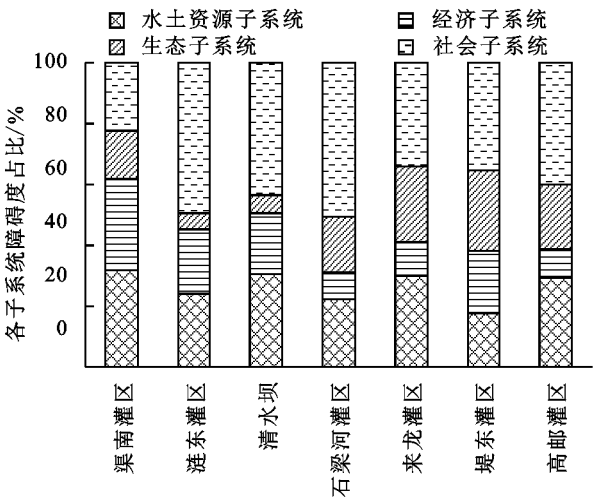


图 4 典型灌区农业水土资源承载力子系统障碍度占比

Fig. 4 Proportion of obstacle degree of sub-system of carrying capacity of agricultural soil and water resources in typical irrigated areas

资源匹配格局,但各灌区水土资源匹配系数差异显著,个别灌区水土资源匹配情况低于同期全省平均水平,具有一定提升空间。

(2) 灌区之间水土资源承载力健康度差异显著,其中以渠南和高邮灌区的水土资源承载力健康度最高,但整体仍处于中等水平,在现状条件下灌区开发潜力有限;基于水土资源承载力障碍因子分析,社会子系统成为限制承载力系统健康度发展的关键因素。

(3) 各灌区水土资源承载力系统属于基本协调发展类,灌区各子系统之间存在不均衡发展现象,耦合协调改善空间较大;灌区水土资源承载力系统的耦合协调与承载力呈正相关关系,各子系统的耦合协调性一定程度限制了灌区水土资源承载力系统的发展。

参考文献:

[1] 任守德,付强,王凯.基于宏微观尺度的三江平原区域农业水土资源承载力[J].农业工程学报,2011,27(2):8-14.
Ren S D, FU Q, Wang K. The carrying capacity of agricultural land and water resources in Sanjiang Plain based on macro and micro scale[J]. Transactions of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 8-14.

- tural Engineering, 2011, 27(2): 8-14.
- [2] 李慧, 周维博, 庄妍, 等. 延安市农业水土资源匹配及承载力[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 156-162.
Li H, Zhou W B, Zhuang Y, et al. Matching and carrying capacity of agricultural water and soil resources in Yan'an City[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(5): 156-162.
- [3] 朱薇, 周宏飞, 李兰海, 等. 哈萨克斯坦农业水土资源承载力评价及其影响因素识别[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 254-263.
Zhu W, Zhou H F, Li L H, et al. Evaluation of carrying capacity of agricultural land and water resources and identification of influencing factors in Kazakhstan[J]. Arid Land Research, 2019, 37(1): 254-263.
- [4] 任守德, 付强, 王凯, 等. 基于 RAGA-PPPCA 模型的区域农业水土资源承载力综合评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 116-120.
Ren S D, Fu Q, Wang K, et al. Comprehensive evaluation of regional agricultural soil and water resources carrying capacity based on RAGA-PPPCA model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(1): 116-120.
- [5] 王凌阁, 朱睿, 陈泽霞, 等. 甘肃河西地区 2000—2019 年水土资源耦合协调特征[J]. 中国沙漠, 2022, 42(2): 44-53.
Wang L G, Zhu R, Chen Z X, et al. Coupling and coordination characteristics of water and soil resources in Hexi region, Gansu Province from 2000 to 2019[J]. Journal of Desert Research, 2002, 42(2): 44-53.
- [6] 褚琳琳. 江苏省节水农业分区及发展模式[J]. 节水灌溉, 2014(11): 91-95.
Chu L L. Zoning and development model of water-saving agriculture in Jiangsu Province[J]. Water-saving Irrigation, 2014(11): 91-95.
- [7] 吴宇哲, 鲍海君. 区域基尼系数及其在区域水土资源匹配分析中的应用[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 123-125.
Wu Y Z, Bao H J. Regional Gini coefficient and its application in matching analysis of regional water and soil resources[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(5): 123-125.
- [8] 陶国芳, 蒋兆恒, 秦丽杰. 基于基尼系数的通化地区水土资源匹配分析[J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(4): 67-71.
Tao G F, Jiang Z H, Qin L J. Analysis of soil and water resources matching in Tonghua region based on Gini coefficient[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regionalization, 2012, 33(4): 67-71.
- [9] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 847-854.
Liu Y S, Gan H, Zhang F G. Matching pattern of agricultural water and soil resources in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(8): 847-854.
- [10] 南彩艳, 粟晓玲, 佟玲, 等. 关中地区水土资源承载力复合指标体系及综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 164-172.
Nan C Y, Su X L, Tong L, et al. Composite index system and comprehensive evaluation of soil and water resources carrying capacity in Guanzhong area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(6): 164-172.
- [11] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238-249.
Xin G X, Yang C X, Yang Q Y, et al. Evaluation of post-construction effect of high standard basic farmland by entropy weight method and improved TOPSIS model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(1): 238-249.
- [12] 王滨. 黑龙江地区水土资源综合质量评价与耦合协调关系研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2012.
Wang B. Study on the Relationship Between Comprehensive Quality Evaluation and Coupling Coordination of Soil and Water Resources in Heilonggang Area[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012.
- [13] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 171-177.
Liao Z B. Quantitative evaluation and classification system of coordinated development of environment and economy: A case study of the Pearl River Delta urban agglomeration[J]. Tropical Geography, 1999, 19(2): 171-177.
- [14] 单陆丹, 陈洁茹, 沈芝莹. 江苏盱眙清水坝灌区管理现状分析及改革措施[J]. 水利技术监督, 2019, 147(1): 75-77, 159.
Shan L D, Chen J R, Shen Z Y. Analysis on management status and reform measures of Qingdam irrigation area in Xuyi, Jiangsu[J]. Water Conservancy Technical Supervision, 2019, 147(1): 75-77, 159.
- [15] 秦健. 赣榆县石梁河灌区水资源信息化建设方向的初探[J]. 才智, 2010(30): 285.
Qin J. A preliminary study on the construction direction of water resources informatization in Shilianghe Irrigation District, Ganyu County[J]. Intelligence, 2010(30): 285.
- [16] 刘德斌. 滩涂围垦对江苏堤东灌区运行的影响及应对措施[J]. 现代农业科技, 2014(15): 233, 238.
Liu D B. Influence of tidal flat reclamation on operation of Didong Irrigation District in Jiangsu Province and corresponding measures[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(15): 233, 238.

- weight[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016, 26(7): 1995-2002.
- [16] 李明亮, 李克钢, 刘月东, 等. 基于变异系数与序关分析法-多维正态云模型的岩爆预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(S2): 3395-3402.
- Li M L, Li K G, Liu Y D, et al. Rock burst prediction based on coefficient of variation and sequence analysis-multidimensional normal cloud model [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2020, 39(S2): 3395-3402.
- [17] 李绍红, 王少阳, 朱建东, 等. 基于权重融合和云模型的岩爆倾向性预测研究[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(6): 1075-1083.
- Li S H, Wang S Y, Zhu J D, et al. Prediction of rock burst tendency based on weighted fusion and improved cloud model[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2018, 40(6): 1075-1083.
- [18] 闫超, 张娜娜, 赵言文. 江苏省输变电类生产建设项目水土保持综合评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 120-123.
- Yan C, Zhang N N, Zhao Y W. Comprehensive evaluation of soil and water conservation in power transmission engineering projects of Jiangsu Province[J]. Bulletin of Soil Water Conservation, 2014, 34(2): 120-123.
- [19] 李海文, 鲍学英. 川藏铁路高原脆弱区沿线受损生态空间修复状况综合评价[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(9): 2412-2422.
- Li H W, Bao X Y. Comprehensive evaluation of the restoration status of damaged ecological space along the fragile area of the Sichuan-Tibet Railway Plateau[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2020, 17(9): 2412-2422.
- [20] 雷勋平, Robin Qiu, 刘勇. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 243-253.
- Lei X P, Qiu R, Liu Y. Evaluation of regional land use performance based on entropy TOPSIS model and diagnosis of its obstacle factors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(13): 243-253.
- [21] 曾雪婷, 李永平, 崔亮, 等. 基于熵权 TOPSIS 法的水保项目管理评价[J]. 人民黄河, 2015, 37(5): 80-83.
- Zeng X T, Li Y P, Cui L, et al. Evaluation of operation and management on soil and water conservation project based on entropy TOPSIS method[J]. Yellow River, 2015, 37(5): 80-83.
- [22] 梁昌勇, 戚筱雯, 丁勇, 等. 一种基于 TOPSIS 的混合型多属性群决策方法[J]. 中国管理科学, 2012, 20(4): 109-117.
- Liang C Y, Qi X W, Ding Y, et al. A hybrid multi-criteria group decision making with TOPSIS method[J]. Chinese Journal of Management Science, 2012, 20(4): 109-117.
- [23] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238-249.
- Xin G X, Yang C X, Yang Q Y, et al. Post-evaluation of well-facilitated capital farmland construction based on entropy weight method and improved TOPSIS model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(1): 238-249.
- [24] 袁磊, 陈国平, 罗宇. 中国西南典型山区县级耕地地力评价与分级[J]. 国土资源科技管理, 2017, 34(6): 82-93.
- Yuan L, Chen G P, Luo Y. Evaluation and classification of cultivated land fertility in inaccessible mountainous areas of Southwest China [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2017, 34(6): 82-93.

(上接第 457 页)

- [17] 苏江霖, 徐红丹. 关于渠南灌区现代化建设与发展的思考[J]. 中国水利, 2015(3): 41-42, 55.
- Su J L, Xu H D. Thoughts on the modernization construction and development of Qunan Irrigation area [J]. China Water Resources, 2015(3): 41-42, 55.
- [18] 胡锦辉, 孙勇. 江苏高邮灌区: 打造“用水早知道”品牌, 服务灌区“农事早安排”[J]. 中国水利, 2019(24): 144-147.
- Hu J H, Sun Y. Gaoyou Irrigation District, Jiangsu: Build the brand of “water early know”, and serve the irrigation area “agricultural early arrangement” [J]. China Water Resources, 2019(24): 144-147.
- [19] 及茹, 张弦, 李国胜. 粮食主产区水土资源匹配、承载力及影响因素分析[J]. 人民长江, 2021, 52(8): 105-112.
- Ji R, Zhang X, Li G S. Analysis of soil and water resources matching, carrying capacity and influencing factors in major grain producing areas[J]. Yangtze River, 2019, 52(8): 105-112.
- [20] 李怡. 基于生态足迹法的延边州水土资源承载力时空变化及耦合协调分析[D]. 吉林省延边朝鲜族自治州: 延边大学, 2021.
- Li Y. Spatial and Temporal Variation and Coupling Coordination Analysis of Soil And Water Resource Carrying Capacity in Yanbian Prefecture Based on Ecological Footprint Method [D]. Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin: Yanbian University, 2021.