

凌宇豪, 缙武龙, 隆少秋, 王卫, 黄翠婷, 吴家龙, 孔德庸. 湛江吴川市垦造水田成效评价[J]. 广东农业科学, 2023, 50(3): 78–88.

湛江吴川市垦造水田成效评价

凌宇豪¹, 缙武龙², 隆少秋¹, 王卫^{1,3,5}, 黄翠婷², 吴家龙⁴, 孔德庸⁵

(1. 华南农业大学资源环境学院 / 自然资源部建设用地再开发重点实验室, 广东 广州 510642;
2. 广东友元国土信息工程有限公司, 广东 广州 510610; 3. 广州市华南自然资源科学技术研究院,
广东 广州 510610; 4. 广东省土地开发整治中心, 广东 广州 510610;
5. 韶关学院英东生物与农业学院, 广东 韶关 512005)

摘要:【目的】实施垦造水田项目是近年我国的耕地保护措施之一, 有助于挖掘土地资源潜力、实现耕地质量提升、落实占补平衡政策。为了解垦造水田项目实施的效益, 构建可推广可复制的模式, 需要对垦造水田建设成效进行评价。【方法】通过 PSIR 模型构建垦造水田成效评价指标体系, 基于 D 数理论改进的层次分析法和熵值法对指标进行综合赋权, 运用 TOPSIS 法对吴川市 2014—2019 年的垦造水田进行评价比较和等级判定。【结果】从各子系统评价结果来看, 压力指数最高的是梅菪街道、为 0.96, 较低的是塘缀、黄坡、长岐、樟铺和振文镇, 平均值为 0.09; 状态指数较高的是海滨街道、振文镇和塘缀镇, 平均值为 0.76, 较低的是覃巴镇、塘尾街道、兰石镇、梅菪街道和浅水镇, 平均值为 0.20; 影响指数较高的是梅菪街道、大山江街道、塘尾街道和王村港镇, 平均值为 0.73, 较低的是振文、塘缀和黄坡镇, 平均值为 0.19; 响应指数较高的是兰石、吴阳和覃巴镇, 平均值为 0.79, 较低的是大山江街道、塘缀镇和塘尾镇, 平均值为 0.17。吴川市 2014—2019 年垦造水田协调度较高的是海滨街道 (1.58)、梅菪街道 (1.51) 和吴阳镇 (1.46), 而协调度较低的是振文镇 (1.15)、塘缀镇 (1.09) 和黄坡镇 (1.05)。垦造水田成效值与当地农业经济发展水平和农民人均收入呈负相关。【结论】吴川市 2014—2019 年垦造水田成效差异显著, 呈现“西部成效较差, 东部和南部成效较好”的特征, 总体成效较好, 对当地经济、生态和社会产生正影响。各地区应从薄弱环节出发, 加强基础设施建设, 促进水田集中连片和规模化利用, 以获得更好成效。

关键词: 垦造水田; PSIR 模型; D-AHP; 熵值法; TOPSIS; 成效评价

中图分类号: S282

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2023) 03-0078-11

Evaluation of the Effectiveness of Paddy Fields in Wuchuan, Zhanjiang City

LING Yuhao¹, GOU Wulong², LONG Shaoqiu¹, WANG Wei^{1,3,5},
HUANG Cuiting², WU Jialong⁴, KONG Deyong⁵

(1. School of Resources and Environment, South China Agricultural University / Key Laboratory of
Construction Land Redevelopment, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510642, China;
2. Guangdong Youyuan National Land Information Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510610, China;
3. South China Academy of Natural Resources Science and Technology, Guangzhou 510610, China;
4. Guangdong Provincial Land Development and Regulation Center, Guangzhou 510610, China;
5. Yingdong College of Biology and Agriculture, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

收稿日期: 2022-11-22

基金项目: 国家自然科学基金 (U1901601); 广东省自然资源厅科技项目 (GDZRZYKJ2022007); 广东省自然科学基金 (2018A030313201); 韶关市科技计划项目 (2019sn079, 220531134531827)

作者简介: 凌宇豪 (1997—), 男, 在读硕士生, 研究方向为土地综合整治, E-mail: 502965130@qq.com

通信作者: 王卫 (1982—), 男, 博士, 讲师, 农艺师, 研究方向为土地整治与农业遥感, E-mail: ww6402@qq.com

Abstract: 【 Objective 】 The implementation of paddy field reclamation project is one of the arable land protection measures in China in recent years, which can exploit the potential of land resources, realize the improvement of arable land quality and implement the policy of occupancy and replenishment balance. In order to understand the benefits of implementation of paddy field reclamation project and build a propagable and replicable model, it is necessary to evaluate the effectiveness of paddy field reclamation construction. 【 Method 】 The evaluation index system of the effectiveness of paddy field reclamation was constructed by PSIR model, integrated weighting of indicators was conducted based on the improved hierarchical analysis and entropy method of D-number theory, and the TOPSIS method was applied to evaluate the comparison and grade determination of reclaimed paddy fields in Wuchuan City from 2014 to 2019. 【 Result 】 From the evaluation results of each subsystem, the pressure index of Meilu Street was highest (0.96), and that of the lower ones were Tangzhui Town, Huangpo Town, Changqi Town, Zhangpu Town and Zhenwen Town with a mean value of 0.09; the areas with higher status index were Haibin Street, Zhenwen Town and Tangzhui Town with a mean value of 0.76, and the areas with lower status index were Tanba Town, Tangwei Street, Lanshi Town, Meilu Street and Qianshui Town with a mean value of 0.2; the areas with higher impact index were Meilu Street, Dashanjiang Street, Tangwei Street and Wangcungang Town with a mean value of 0.73, and those with lower impact index were Zhenwen Town, Tangzhui Town and Huangpo Town with a mean value of 0.19. The higher response index was 0.79 in Lanshi Town, Wuyang Town and Tanba Town, and the lower was 0.17 in Dashanjiang Street, Tangzhui Town and Tangwei Town. The higher coordination of reclaimed paddy fields in Wuchuan City from 2014 to 2019 was found in Haibin Street (1.58), Meilu Street (1.51) and Wuyang Town (1.46), while the lower coordination was found in Zhenwen Town (1.15), Tangzhui Town (1.09) and Huangpo Town (1.05). The value of the effectiveness of reclaimed paddy fields was negatively correlated with the local level of agricultural economic development and the per capita income of farmers. 【 Conclusion 】 The effectiveness of reclaimed paddy fields in Wuchuan City from 2014 to 2019 varies significantly, showing a pattern of “poorer results in the west and better results in the east and south”. The overall results are good, with positive impacts on the local economy, ecology and society. Each region should start from the weak point, strengthen infrastructure construction and promote the centralized and large-scale use of paddy fields to obtain better results.

Key words: paddy field reclamation; PSIR model; D-AHP; entropy method; TOPSIS; effectiveness evaluation

【研究意义】耕地作为重要的自然资源，是人类主要社会经济活动的空间载体^[1]。我国人均耕地资源占有量仅为世界平均水平的一半，随着人口的持续增长和工业化、城镇化的快速发展，建设用地占用耕地的现象日趋剧烈，人地矛盾不断加剧^[2-3]，也对我国粮食安全和农业现代化建设以及经济与环境的协调发展构成严重威胁^[4]。针对上述情况，原国土资源部明确提出，非农建设占用耕地要落实“占优补优、占水田补水田”^[5]的耕地占补平衡制度，实行严格的耕地保护制度等一系列措施^[6]。垦造水田不仅可以挖掘土地资源潜力，有效破解耕地保护面临的占补平衡问题，还能够优化区域土地资源配置，切实保障经济社会发展项目建设用地需求，实现土地利用效益最大化。【前人研究进展】国外土地整治起源于16世纪，国外学者主要研究了土地整治对所在地区的影响、意义^[7-8]以及土地整治形成的框架等^[9-10]。改革开放以来，我国经济快速发展，土地开发和利用快速推进，耕地资源结构被

破坏，尤其是耕地资源的生产和生态功能衰减，因此国家开始重视全国性的耕地保护^[11]，土地整治逐渐步入正轨。垦造水田作为我国保护耕地的重要举措，国内学者对垦造水田进行了大量研究，主要包括适宜性^[12-16]、改造潜力^[17-19]、项目选址^[20-22]、工程技术进展^[23-27]、成效评价等^[28-29]。目前用于垦造水田成效评价指标权重确定的方法主要有德尔菲法、层次分析法、熵值法、变异系数法。截至2020年底，广东已完成30万hm²垦造水田任务，全省各县市不断提炼垦造水田经验做法，进一步优化垦造模式，完善了项目管理、利益分配和后期管护等制度。作为沿海农业城市，吴川市积极响应耕地保护、占补平衡、保护粮食安全等战略，结合自身优势大力开展垦造水田工程。【本研究切入点】目前大多数学者在确定垦造水田指标体系时缺乏考虑外部因素和未来发展趋势对垦造水田成效的影响，或仅使用单一方法确定垦造水田指标权重。近年来，随着垦造水田工程在生态、经济、社会等方面取

得突出效益，各地不断加大资金投入、扩大整治范围，构建全面全方位的指标体系对垦造水田进行综合评价，进一步提高垦造水田的成效，显得越来越重要。【拟解决的关键问题】本文综合考虑经济、资源、环境等因素和新时期全域土地综合整治要求，借助 PSIR 模型构建评价指标体系，使用 D-AHP 和熵值法相结合的组合确权法确定指标因子权重值，最后采用 TOPSIS 法对吴川市的实施垦造水田项目的成效进行评价比较和等级判定，从而得到更加科学的结果，以期为广东垦造水田评价和土地增减挂钩评价的科学推进提供技术支撑和实践参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

吴川市位于广东西南部（21° 15′~21° 39′ N、110° 28′~110° 58′ E），东邻电白区，南濒南海，西接廉江市和坡头区，北与茂名化州市接壤，地域总面积 870.07 km²，域内水源充足，雨量充沛，被称为“鱼水之乡”。地势北高南低，东北、西北为低丘陵山区，中部属鉴江、袂花江冲积平原，东南为沿海台地。2019 年全市实现生产总值 282 亿元，同比增长 7%，其中唐缀镇占全市比重最大、为 18.10%，博铺街道占全市比重最小、为 0.90%；城乡居民人均可支配收入为 21 511.93 元，同比增长 7.5%；全市常住人口 97.61 万人，其中人口密度最高的为梅菪街道，人口密度最低的为王村港镇。至 2020 年底，吴川市累计完成垦造水田任务 8.1 km²，主要分布于吴阳镇、塘缀镇和黄坡镇，结合吴川市 2014 年耕地质量等别年度更新评价成果分析统计可得，垦造水田实施前吴川市耕地质量的国家利用等级、国家自然等级和国家经济等级的平均值分别为 5.6 等、2.36 等和 7.43 等，垦造前的地类主要为水浇地和可调整果园，土壤质地主要为砂壤土。

1.2 数据来源

（1）吴川市垦造水田项目数据和 2014—2019 年耕地质量等别年度更新评价成果，由湛江市自然资源局提供；（2）吴川市社会经济数据，来源于 2014—2019 年《吴川年鉴》《广东农村统计年鉴》《广东省国土资源公报》等，来自广东统计信息网；（3）路网数据包括湛江市的路网信息，获取自 OpenStreetMap。

1.3 研究方法

1.3.1 垦造水田成效评价 （1）评价指标体系构建。PSR 框架，即“压力—状态—响应”框架，是由经济合作与发展组织和联合国环境规划署共同开发，用于研究环境问题的成熟理论框架^[30]。PSIR 模型是基于 PSR 框架，在其框架中引入“Impact”，强调外部环境变化的影响。该模型优点是能从研究者自身角度出发，把指标按照一定原则进行分类组合，从而形成侧重点不同的评价指标体系；指标体系中压力、状态、影响、响应 4 个子系统的指标能对垦造水田的状态、影响、发展趋势 3 方面进行全面评价；随着社会不断发展，可以根据评价指标和因素的地域、时间变化而做出相应变化，实施动态评价^[31-35]。

借鉴已有研究成果，通过专家访谈，遵循全面性、可操作性、动态性的评价指标选取原则，结合吴川市垦造水田实际情况，从压力、状态、影响、响应系统 4 个层面选取耕地质量等级降低率、土地垦殖率提升率和单位面积产值提升率等 13 个评价指标，构建垦造水田成效评价的指标体系（表 1）。

表 1 PSIR 框架的垦造水田成效评价指标体系
Table1 Effectiveness evaluation index system of paddy field reclamation in PSIR framework

目标层 Target layer Z	准则层 Rule layer Y	指标层 Index layer X
吴川市垦造水田成效评价 Evaluation of effectiveness of paddy field reclamation in Wuchuan City	压力系统（Y ₁ ）	耕地质量等级降低率（X ₁ ）
		土地垦殖率提升率（X ₂ ）
		单位面积产值提升率（X ₃ ）
	状态系统（Y ₂ ）	土壤有机质含量提升率（X ₄ ）
		灌溉保证度提升率（X ₅ ）
		排水条件提升率（X ₆ ）
		有效土层厚度提升率（X ₇ ）
	影响系统（Y ₃ ）	景观形状指数降低率（X ₈ ）
		道路通达度提升率（X ₉ ）
		单位面积耗水率降低率（X ₁₀ ）
	响应系统（Y ₄ ）	土地承载力增加率（X ₁₁ ）
		投入产出比降低率（X ₁₂ ）
		单位面积产量提升率（X ₁₃ ）

（2）指标权重确定。评价指标的权重表示各项指标对垦造水田成效的贡献度，目前指标权重确定的方法主要有主观赋权法和客观赋权法。为弱化主观因素对主观赋权法的干扰，同时减小样本数量不足产生的误差，本文引入 D 数理论改进层次分析法与熵值法相结合进行综合赋权。

D-AHP 确定主观权重：鉴于传统的层次分析法并不能有效适用于不确定性相关信息的主观评

价,本文引入D数理论^[36]对其进行改进,该理论能够更好地描述和处理不确定信息,且能将各专家的评价信息融合为群评价,比AHP更具科学性。因此,自D数理论被提出后,已不断地被应用于实际决策中。D-AHP计算方法如下:①通过问卷调查并收集专家对于垦造水田成效评价各指标的成对比较结果,构建D数的偏好矩阵 R_D ;②利用D数融合公式,将D数偏好矩阵 R_D 转化为实数矩阵 R_C ;③获得实数矩阵 R_C 后,构建各层次评价指标两两对比后的概率矩阵 R_p ;④通过三角化法计算概率矩阵中每个指标的概率和,对求和结果进行排序,得到三角化矩阵 R_p^T ;⑤三角化矩阵 R_p^T 重新排列变为D数偏好矩阵,得到实数三角矩阵 R_C^T ;⑥计算矩阵不一致性,通过衡量偏好矩阵的一致性程度来判断偏好矩阵的不一致性;⑦列方程组求各层级的指标权重,其中每个权重的值都取决于 λ (λ 值与专家的认知程度有关,专家权威性越高,值越小,反之相反)。熵值法确定差异性系数:根据指标变异性的大小来确定客观权重,通过熵值法得到各指标的信息熵。熵权法计算差异性系数的过程如下^[37]:

①设 m 个采样点, n 项指标,构建 $m \times n$ 阶的原始矩阵。

②对原始数据进行归一化处理,即计算第 j 个指标下第 i 个采样点的原始值所占的比例:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, p_{ij} 为采样点的原始值所占的比例, x_{ij} 为指标的水平值。

③计算第 j 项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, e_j 为指标的熵值, p_{ij} 为采样点的原始值所占的比例。

④计算第 j 项指标的差异性系数:

$$g_j = 1 - e_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, g_j 为指标的差异性系数, e_j 为指标的熵值。

组合权重计算:组合权重是运用熵值法确定的差异性系数对D-AHP计算出反映专家主观意志的主观权重进行修正,得到优化组合权,计算公式如下:

$$w_j = w_j g_j / \sum_{j=1}^n w_j g_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, w_j 为D-AHP的权重, g_j 为熵值法确定的差异性系数。

(3) TOPSIS综合评价。TOPSIS法是根据有限的评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法,是在现有对象中进行相对优劣的评价^[38]。其基本原理是通过测算评价对象与最优解、最劣解的距离进行排序,并以评价对象与最优解的相对接近程度作为评价对象优劣的依据^[39],TOPSIS法在指标多少、样本含量和数据分布等方面没有严格的限制和要求,且能实现不同评价指标在同年份间的横向比较和同评价指标在不同年份的纵向比较^[40]。

PSIR指数计算:将指标标准化矩阵与D-AHP和熵值法计算出的组合权重相结合得到加权判断矩阵,计算正理想解 C^+ 和负理想解 C^- ,最终计算出PSIR模型下吴川各地区的效用值。

效用值计算:为更直观、清晰比较垦造水田成效,同时反映PSIR模型下各指数间的相互作用、相互影响的关系,引用效用值对PSIR模型评价结果进行比较,并规定效用值的取值范围为 $[0, 100]$ ^[41]:

$$C_i = \frac{C_i^P + C_i^S + C_i^I + C_i^R}{\sqrt{C_i^P + C_i^S + C_i^I + C_i^R}} \quad (5)$$

式中, C_i 为第 i 个评价单元的协调度指数; C_i^P 、 C_i^S 、 C_i^I 、 C_i^R 分别为第 i 个评价单元的压力、状态、影响、响应系统的评价值。

$$V_i = \frac{C_i - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \times 100 \quad (6)$$

式中, V_i 为第 i 个样本耕地占补平衡绩效的效用值, C_i 为第 i 个样本PSIR模型的协调度值, C_{\max} 和 C_{\min} 分别为 i 个样本中的PSIR模型最大和最小协调度值。

1.3.2 垦造水田空间分布 采用自然间断点分级法对各影响因素数值进行分级。该方法是基于数据固有的转折点和断点确定属性值的自然分组,即减少组内的平均离散方差,增加组间的平均离散方差^[42]。通过自然间断点分级法对吴川市的垦造水田成效评价结果进行分等定级,等级划分标准如表2所示。

2 结果与分析

2.1 垦造水田成效评价结果

通过问卷调查和专家访谈,得到准则层4个

表2 吴川市 2014—2019 年垦造水田成效评价等级划分
Table 2 Effectiveness evaluation grade division of
paddy field reclamation in Wuchuan City from
2014 to 2019

效用值区间 Utility value interval	PSIR 模型效用值等级 PSIR model utility value grade
(66.98~100.00]	1 级 (效益最好)
(39.64~66.98]	2 级 (效益较好)
(7.71~39.64]	3 级 (效益一般)
(0~7.71]	4 级 (效益较差)

因素的 D 数偏好关系矩阵 R_D ，即：

$$R_D = \begin{matrix} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \\ \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \{(0.5,1)\} \\ \{(0.4,0.7)\} \{0.3,0.3\} \\ \{(0.3,0.6)\} \{0.2,0.4\} \\ \{(0.7,0.5)\} \{0.8,0.5\} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \{(0.6,0.7)\} \{0.7,0.3\} \\ \{(0.5,1)\} \\ \{(0.4,0.5)\} \{0.5,0.5\} \\ \{(0.6,0.7)\} \{0.7,0.3\} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \{(0.7,0.6)\} \{0.8,0.4\} \\ \{(0.6,0.5)\} \{0.5,0.5\} \\ \{(0.5,1)\} \\ \{(0.7,0.3)\} \{0.8,0.7\} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \{(0.3,0.5)\} \{0.2,0.5\} \\ \{(0.4,0.7)\} \{0.3,0.3\} \\ \{(0.3,0.3)\} \{0.2,0.7\} \\ \{(0.5,1)\} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

通过 D 数融合公式计算出实数矩阵 R_C ，即：

$$R_C = \begin{matrix} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \\ \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.63 & 0.74 & 0.25 \\ 0.37 & 0.5 & 0.55 & 0.37 \\ 0.26 & 0.45 & 0.5 & 0.23 \\ 0.75 & 0.63 & 0.77 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

通过 D-AHP 的步骤 4 得到概率矩阵 R_P ，即：

$$R_P = \begin{matrix} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & 加总 \\ \begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{matrix} \end{matrix} \quad (9)$$

根据加总结果显示，4 个准则层指标排序为响应系统 (Y_4) > 压力系统 (Y_1) > 状态系统 (Y_2) > 影响系统 (Y_3)。通过排序得到新的三角化矩阵 R_P^T ，将其重新排列变为 D 数偏好矩阵，得到实数三角矩阵 R_C^T ，即：

$$R_C^T = \begin{matrix} & Y_4 & Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ \begin{matrix} Y_4 \\ Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.75 & 0.63 & 0.77 \\ 0.25 & 0.5 & 0.63 & 0.74 \\ 0.37 & 0.37 & 0.5 & 0.55 \\ 0.23 & 0.26 & 0.45 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

列准则层权重的方程组如下：

$$\begin{cases} \lambda(W_4 - W_1) = 0.25 \\ \lambda(W_1 - W_2) = 0.13 \\ \lambda(W_2 - W_3) = 0.05 \\ W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1 \\ \lambda > 0; W_i > 0 \end{cases} \quad (11)$$

λ 取 2，将数值代入上述公式可得准则层的权重为： $W_4=0.3825$ ， $W_1=0.2575$ ， $W_2=0.1925$ ， $W_3=0.1675$ 。经过判断不一致度，各值均在可接受范围内。重复上述步骤计算每个准则层内各评价指标的权重，最终获得 13 个指标的权重（表 3）。

基于表 3 得到的垦造水田成效评价指标权重，运用 TOPSIS 综合评价法最终得到吴川市 2014—2019 年垦造水田成效评价结果（表 4）。

2.2 垦造水田成效评价结果

2.2.1 垦造水田指标体系权重分析 从子系统的权重（表 3）来看，权重较高的是响应系统（0.3825）和压力系统（0.2575），表明吴川市在垦造水田响应和压力方面存在较大差异，两个系统对衡量垦造水田成效的作用较大。其次为状态系统（0.1925），最后为影响系统（0.1675），主要是吴川市在 2014—2019 年积极响应垦造水田建设，在改善耕作条件、提升水田质量方面都采取了积极行动，因此差别较小。

从各子系统指标权重（表 3）来看，在压力

表3 吴川市垦造水田成效评价指标权重
Table 3 Weights of evaluation indicators for the effectiveness of paddy field reclamation in Wuchuan City

目标层 Target layer	准则层 Rule layer	DAHP 权重 DAHP weight	指标层 Index layer	DAHP 权重 DAHP weight	差异性系数 Difference coefficient	组合权重 Combination weight
吴川市垦造水田成效评价 Evaluation of effectiveness of paddy field reclamation in Wuchuan City	压力系统 (Y_1)	0.2575	耕地质量等级降低率 (X_1)	0.0653	0.0268	0.0315
			土地垦殖率提升率 (X_2)	0.0807	0.1255	0.1821
			单位面积产值提升率 (X_3)	0.1116	0.1001	0.2009
	状态系统 (Y_2)	0.1925	土壤有机质含量提升率 (X_4)	0.0570	0.1166	0.1196
			灌溉保证度提升率 (X_5)	0.0734	0.0384	0.0507
			排水条件提升率 (X_6)	0.0378	0.0396	0.0269
			有效土层厚度提升率 (X_7)	0.0243	0.0883	0.0386
			景观形状指数降低率 (X_8)	0.0648	0.0143	0.0167
	影响系统 (Y_3)	0.1675	道路通达度提升率 (X_9)	0.0530	0.0061	0.0058
			单位面积耗水率降低率 (X_{10})	0.0497	0.0557	0.0498
			土地承载力增加率 (X_{11})	0.1077	0.0268	0.0519
	响应系统 (Y_4)	0.3825	投入产出比降低率 (X_{12})	0.1364	0.0207	0.0507
			单位面积产量提升率 (X_{13})	0.1384	0.0703	0.1749

表 4 吴川市垦造水田成效评价结果

Table 4 Results for the effectiveness evaluation of paddy field reclamation in Wuchuan City

镇（街道） Town (street)	压力指数 Pressure index	状态指数 Status index	影响指数 Impact index	响应指数 Response index	协调度 Coordination	效用值 Utility value
梅菪 Meilu	0.96	0.18	0.80	0.35	1.51	85.60
塘尾 Tangwei	0.28	0.22	0.69	0.16	1.16	20.35
大山江 Dashanjiang	0.29	0.53	0.77	0.18	1.33	51.31
海滨 Haibin	0.41	0.87	0.84	0.40	1.59	100.00
浅水 Qianshui	0.20	0.16	0.48	0.62	1.21	28.50
长岐 Changqi	0.10	0.32	0.47	0.65	1.24	34.94
覃巴 Tanba	0.39	0.25	0.37	0.73	1.32	49.69
王村港 Wangcungang	0.21	0.32	0.67	0.62	1.35	54.99
振文 Zhenwen	0.03	0.72	0.24	0.33	1.15	18.61
樟铺 Zhangpu	0.04	0.48	0.69	0.40	1.27	39.64
吴阳 Wuyang	0.50	0.59	0.31	0.74	1.46	76.78
塘缀 Tangzhui	0.15	0.70	0.18	0.17	1.09	7.71
黄坡 Huangpo	0.14	0.36	0.15	0.47	1.05	0.00
兰石 Lanshi	0.31	0.20	0.60	0.89	1.41	66.98

注：博铺街道 2014—2019 年未进行垦造水田，未参与评价。
Note: Reclamation of paddy fields was not carried out in Bopu Street from 2014 to 2019, therefore, the street was not involved in the evaluation.

子系统中，组合权重最高的指标为单位面积产值提升率（0.2209），表明单位面积产值的提升率对衡量吴川市垦造水田压力的作用较大。在状态系统中，组合权重最高的指标为土壤有机质含量提升率（0.1196），表明土壤有机质含量对衡量吴川市垦造水田状态的作用较大。在影响系统中，组合权重最大的指标为单位面积耗水降低率（0.0498），表明单位面积耗水降低率是导致吴川市垦田影响系统出现差异化的原因。在响应系统中，组合权重最大的指标为单位面积产量提升率（0.1749），表明单位面积产量提升率对衡量吴川市垦造水田响应的作用较大。

2.2.2 垦造水田各子系统分析 （1）压力系统。由图 1 可知，梅菪街道的压力指数最高、达到 0.96，吴阳镇、海滨街道和覃巴镇压力指数相对最高，平均值为 0.44。而其他地区压力指数相对较低，平均值为 0.17。压力指数主要反映人口增长、人类活动和经济发展等对垦造水田工作的压力，指数越大，表明该地区需要实施垦造水田的压力越大。2014 年以来，吴川市经济和人口呈现增长趋势，吴阳镇、海滨街道和覃巴镇的耕地质量、水稻产值、土地垦殖率较差，导致压力指数较大，而梅菪街道作为吴川市中心，人口密度最高，经济发展需求较大，而当地的水稻产值和水田垦殖率处于下游水平，因此需要实施垦造水田的压力最大，造成压力指数最高。

（2）状态系统。状态指数的分布和压力指数分布有所区别，状态指数较高的地区是海滨街道、振文镇和塘缀镇，平均值为 0.76，而状态指数较低的地区平均值为 0.20。状态指数主要反映实施垦造水田后水田各项指标的变化，数值越大，表明相关镇（街道）实施垦造水田后水田各项状态提升越大。通过管道灌溉工程和新修明沟和渗渠，使当地的灌溉保证度和排水条件得到提升，做到灌排“一进一出”，吴川灌溉保证度和排水条件提升率分别为 37.88%、18.26%。同时通过增施有机肥、深松改土等措施提升土壤质量，增加了有效土层厚度，从而改善耕作条件。

（3）影响系统。由图 2 可知，影响指数整体相对比较平稳，其中状态指数最高的是海滨街道（0.80），指数最低的是黄坡镇（0.15）。影响指数可以体现外部条件的变化对垦造水田造成的影响，值越大，表明相关镇（街道）通过外部建设对垦造水田工程质量的改善程度越大。近年来，吴川通过修建农村道路和田间道路，形成“路成框”的格局，极大程度提升了耕作便易度，同时使水田变得平整连片，利用科学灌溉手段和处理降低了耗水率，因此吴川市垦造的水田各项指标都得到相对平稳的改善。

（4）响应系统。响应指数较高的地区为兰石镇、吴阳镇和覃巴镇，而较低的地区为大山江街道、塘缀镇和塘尾街道。响应指数体现地方政

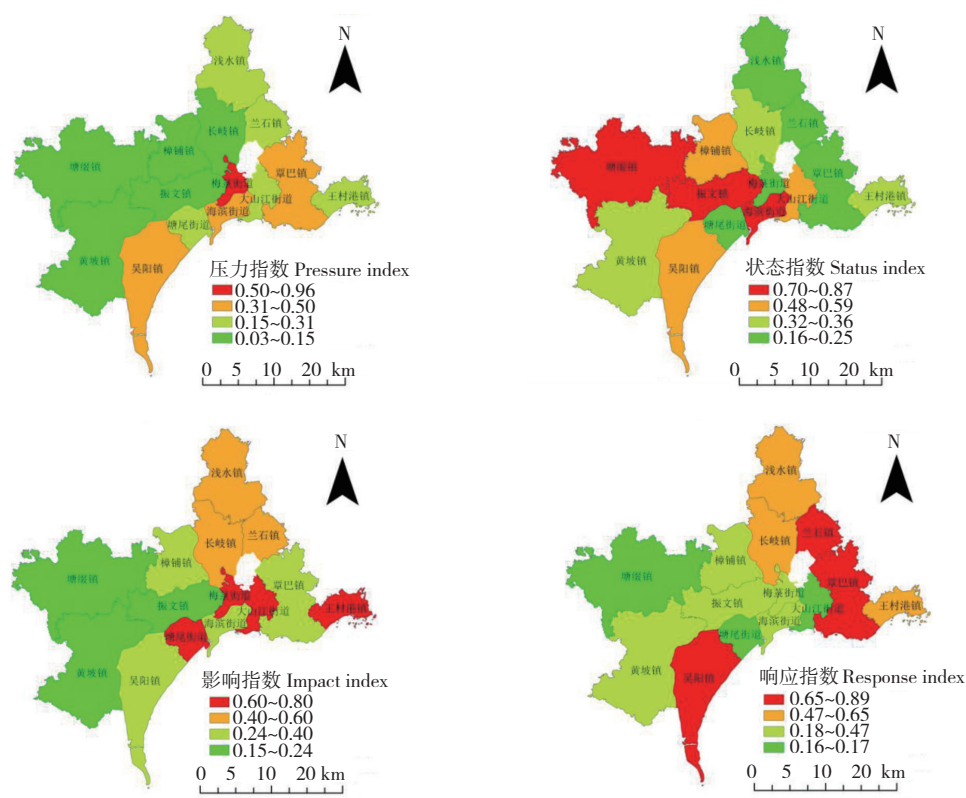


图 1 吴川市 2014—2019 年垦造水田成效评价子系统空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of effectiveness evaluation subsystem of paddy field reclamation in Wuchuan City from 2014 to 2019

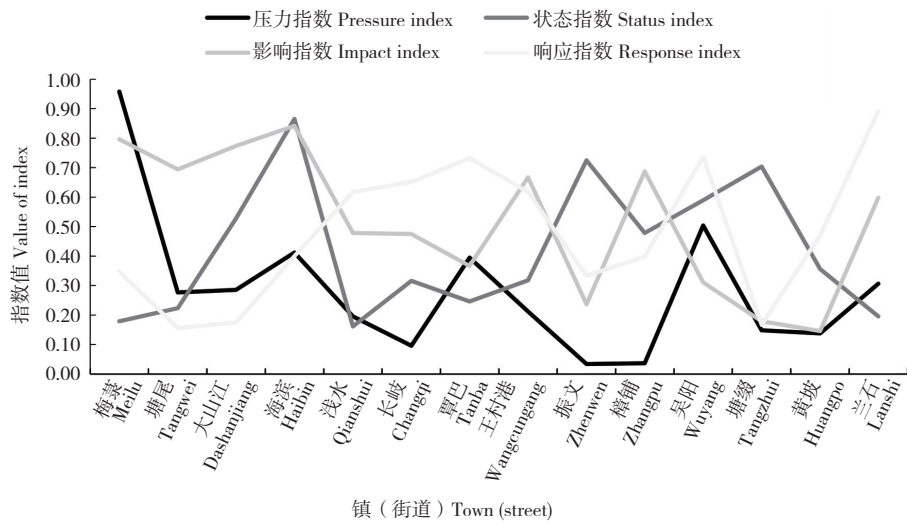


图 2 吴川市 2014—2019 年垦造水田子系统评价结果

Fig. 2 Subsystem evaluation results of paddy field reclamation in Wuchuan City from 2014 to 2019

府或管理者对垦造水田项目的执行力及解决问题的能力，指数越大，表明相关镇（街道）对垦造水田的执行力和解决问题的能力越强。吴川市响应指数较高的地区积极垦造水田措施，同时出台相应措施（如保护水田、合理利用肥料等）以及引入外商确保提升了耕地承载力、投入产出比和产量。

2.3 垦造水田空间分布结果

从吴川市成效评价等级划分区域(图 3)来看，全市大部分地区的垦造水田效用值均在 1~3 级区间，表明吴川市整体的垦造水田成效较好，但区域差异也较为明显。PSIR 效用值最高的是海滨街道，最低的是黄坡镇，高分值区域主要分布在海滨街道、梅菉街道和吴阳镇，说明这些地区的垦

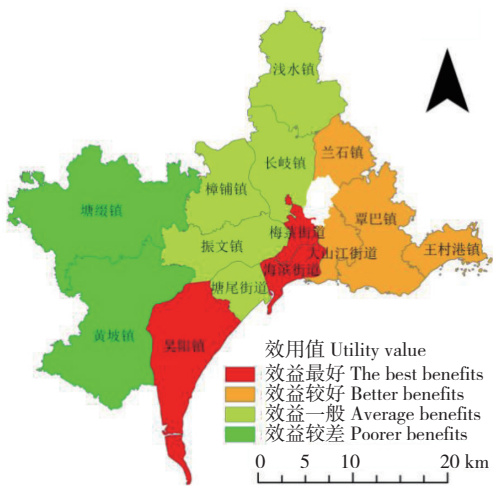


图3 吴川市 2014—2019 年垦造水田成效评价等级划分区域
Fig. 3 Grade division areas of effectiveness evaluation of paddy field reclamation in Wuchuan City from 2014 to 2019

造水田综合效益最优。结合空间分布来看，经济较好地区的 PSIR 效用值主要集中于 4 级区间，说明经济较好地区垦造水田的综合效益较差，而经济相对较弱地区的 PSIR 效用值较高，垦造水田综合效益较好。

吴川市 2014—2019 年垦造水田成效最好的地区为海滨街道、梅湾街道和吴阳镇，结合表 3 可知，这些地区垦造水田效益较好是因为在面对来自人口增长、经济社会发展等造成水田数量减少、水田质量下降等压力时，地方政府率先出台一系列垦造水田的相关政策，大力推进土地整治工程对田、渠、路进行综合治理，形成了“田成方、路相通、渠相连”的优美格局，通过实施耕地提质改造，结合开展美丽乡村的建设，提升了区域的基础设施水平，促进了水田集中连片和规模化利用，使得水田的质量和数量得到提升和保护，最终实现粮食产量的增长、农民收入的增加。

垦造水田成效较差的地区为振文镇、塘缀镇和黄坡镇，通过对比 PSIR 效用值，并结合吴川市 2014—2019 年农村统计年鉴数据进行分析得知，垦造水田成效的效用值与农民人均收入，特别是当地的农业经济发展水平有较强的负相关性，说明，农业经济越发达的地区，垦造水田的综合效益越差。究其原因，主要是因为农业经济越发达，农民人均收入越高，对耕地的依赖性较低，对水田的质量变化、实施垦造水田带来的效益变化比较不敏感。此外，同时农业经济发达地区的水田利用程度较高，综合效益较好。可见，通过垦造

水田可提升的空间较小，垦造水田的效用值较低。

3 结论与建议

3.1 结论

本文结合吴川市开展垦造水田的实际情况，从压力、状态、影响、响应 4 个层面选取 13 个评价因子构建垦造水田成效评价体系，通过基于 D-AHP 和熵值法对指标进行综合赋权，最后采用 TOPSIS 法对吴川市 2014—2019 年垦造水田的成效进行评价比较与等级判定，得到如下结论：

在垦造水田成效评价体系中，响应系统的重要程度最高，影响系统最低。单位面积产量提升率、土壤有机质含量提升率、单位面积耗水降低率和单位面积产量提升率指标分别对四大系统的贡献度最高；总体上，吴川市大部分地区的垦造水田成效处于 1~3 级区间，其中海滨街道、梅湾街道和吴阳镇的成效最好，而振文、塘缀和黄坡镇的成效较差。各地区根据自身农业发展优势，鼓励农户支持并积极参与垦造水田项目，对当地的社会、生态和经济等方面均产生积极影响。今后，垦造水田要注重部分指标因素，尤其是耕地垦殖率、投入产出比、土地承载力等方面，随着垦造水田的全面推进，这一举措在耕地占比平衡、村民生产生活空间、社会稳定等方面继续发挥成效。

目前对垦造水田的成效评价较少，且大多数在确定指标体系时，未能考虑到外部因素对垦造水田造成的影响以及随着社会的发展垦造水田目标会发生改变而进行指标的更替；在确定权重时，未考虑到由于丢失数值、专家缺失相关背景信息，无法提供指标评价信息和提供信息比较模糊的情况，而造成主观权重数据不准确，不能有效反映事实和专家意见的问题。本研究基于 PSIR 框架构建垦造水田成效评价模型，从压力、状态、影响和响应 4 个层面形成前后衔接的系统结构，可以反映垦造水田的现状、外部影响和未来发展趋势，并能根据各环节的结果为管理决策提供理论依据和制定相关政策。该模型形成的弹性关系链中，当单一指标发生变化时，关联性指标也会发生动态调整，进而通过因果关系闭环来设立目标动态追踪和问题回溯机制，还可以根据社会的发展对指标体系进行相应修改，有利于垦造水田多因素、多主体的动态综合效益评价，因此在垦造

水田乃至土地整治等具有综合性的成效评价中适应性更强。同时本研究运用 D-AHP 和熵值法结合的方式能有效处理不确定性信息,平衡专家知识和熵值的客观性,进一步增强了垦造水田成效评价的科学性。此外,本研究通过分析各子系统,进一步研究了垦造水田成效评价中 4 个子系统内造成数值差异的原因,为吴川市乃至湛江市的垦造水田工程提供借鉴。

3.2 建议

垦造水田项目具有工时短、任务重的特点,是一项技术性、综合性很强的工作。吴川市近年来加大投入进行垦造水田建设,取得一定的成效,但一些地区垦造水田的成效较差,导致成效较差的因素主要包括垦造水田工作推进程度和垦造水田后管理制度等。

建议政府相关部门明确垦造水田的要求和依据,确保实施方案的可行性和合理性,同时加强对施工单位进行定期的检查,缩短项目周期,在确定质量的情况下加快垦造水田实施进度,尽快破解广东占补平衡难题。

建议健全管护体系,在实施完垦造水田工程后,要建立完善的后期管护体系,要定期组织垦造水田知识培训,加强乡村、群众加深对粮食安全重要性的认识,在垦造水田投入和种粮收益、乡村长远发展之间做好平衡,用科学的种植手段保障地块高效产出、可持续利用,实现经济和环境效益双丰收,为精准扶贫和美丽乡村建设做贡献。

参考文献 (References):

- [1] 龙花楼,张英男,屠爽爽.论土地整治与乡村振兴[J].地理学报,2019,73(10):1837-1849. DOI:10.11821/dlxb201810002.
- [2] LONG H L, ZHANG Y N, TU S S. Land consolidation and rural vitalization [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019,73(10):1837-1849. DOI:10.11821/dlxb201810002.
- [3] 邱杰,刘琳,郭义强,余莉.我国土地整治研究动态与发展趋势[J].贵州农业科学,2013,41(8):216-219. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2013.08.057.
- [4] QIU J, LIU L, GUO Y Q, YU L. Research and developments trends of land consolidation in China [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013,41(8):216-219. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2013.08.057.
- [5] 曹雨桐,余冬立,刘斌,徐翠兰,丁继辉,隋雪艳.江苏省土地整治项目成效综合评估研究[J].中国农村水利水电,2017(1):27-32,36. DOI:10.3969/j.issn.1007-2284.2017.01.007.
- [6] CAO Y T, SHE D L, LIU B, XU C L, DING J H, SUI X Y. Research on land consolidation comprehensive benefit evaluation of Jiangsu Province [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2017(1):27-32,36. DOI:10.3969/j.issn.1007-2284.2017.01.007.
- [7] 蒋如琦,王卫,任向宁,胡月明.青海省耕地生态承载力评价[J].广东农业科学,2020,47(8):137-144. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.08.018.
- [8] JIANG R Q, WANG W, REN X N, HU Y M. Evaluation of ecological carrying capacity of cultivated land in Qinghai Province [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(8):137-144. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.08.018.
- [9] 李萍,吴顺辉,辛佳琳.垦造水田中耕地质量差别评价的应用研究[J].中国资源综合利用,2021,39(3):56-58. DOI:10.3969/j.issn.1008-9500.2021.03.016.
- [10] LI P, WU S H, XIN J L. Applied research on cultivated land quality grade evaluation in reclamation of paddy field [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2021, 39(3):56-58. DOI:10.3969/j.issn.1008-9500.2021.03.016.
- [11] 胡智毅,范亚南.基于 GIS 的广东省“旱改水”项目新增水田适宜性评价方法研究[J].安徽农业科学,2019,46(12):193-198. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2018.12.060.
- [12] HU Z Y, FAN Y N. Research on suitability evaluation method for new paddy field in ‘dry land is changed into paddy fields’ project based on GIS [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 46(12):193-198. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2018.12.060.
- [13] 晏敬东.法国国土整治和区域发展政策[J].武汉汽车工业大学学报,2000,22(5):121-124. DOI:10.3963/j.issn.1007-144X.2000.05.0.
- [14] YAN J D. Harness of national land and regional development policies in France [J]. *Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University*, 2000,22(5):121-124. DOI:10.3963/j.issn.1007-144X.2000.05.0.
- [15] 潘文灿.法国国土资源管理的经验与启示[J].国土资源,2001(4):46-47. DOI:10.3969/j.issn.1671-1904.2001.03.012.
- [16] PAN W C. Experience and enlightenment of land resources management in France [J]. *Land & Resources*, 2001(4):46-47. DOI:10.3969/j.issn.1671-1904.2001.03.012.
- [17] HONG Y. Land conservation campaign in China: Integrated management, local participation and food supply option [J]. *Geoforum*, 2004,35(4):507-518. DOI:10.1016/j.geoforum.2003.10.002.
- [18] CRECENTE R, ALVAREZ C, FRA U. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia [J]. *Land Use Policy*, 2002,19(2):135-147. DOI:10.1016/S0264-8377(02)00006-6.
- [19] 张弛,曹银贵,陈智,耿明阳,丁莲,孙术达.基于政策量化的我国耕地保护政策效果评价[J].广东农业科学,2020,47(9):153-160. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.09.020.
- [20] ZHANG C, CAO Y G, CHEN Z, GENG M Y, DING L, SUN S D. Evaluation of the effects of cultivated land protection policies in China based on policy quantification [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(9):153-160. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.09.020.
- [21] 韩青.旱地改水田土地适宜性评价:以江西省安远县为例[J].贵州农业科学,2017,45(8):126-129. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2017.08.030.
- [22] HAN Q. Land suitability evaluation of paddy field transformed from dry land: Taking Anyuan County of Jiangxi Province as a case [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2017,45(8):126-129. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2017.08.030.

- [13] 王君. 旱地改水田项目中新增水田的适宜性评价方法研究——以湖南省华容县梅田湖镇北垌口村金鸡村旱地改水田项目为例[J]. 农业与技术, 2015,35(24):55–56. DOI:10.11974/nyjys.20151232046. WANG J. Research on the suitability evaluation method of new paddy fields in dryland to paddy field project – An example of a dryland to paddy field project in Jinji village and Beichuankou village Meitianhu town Huarong County Hunan Province [J]. *Agriculture And Technology*, 2015, 35(24):55–56. DOI:10.11974/nyjys.20151232046.
- [14] 邱金辉. 旱地改水田耕地质量提升工程适宜性评价[J]. 陕西水利, 2021(11):89–90. DOI:10.16747/j.cnki.cn61–1109/tv.2021.11.030. QIU J H. Evaluation of the suitability of arable land quality improvement project for conversion of dryland to paddy land [J]. *Shaanxi Water Resources*, 2021 (11):89–90. DOI:10.16747/j.cnki.cn61–1109/tv.2021.11.030.
- [15] 刘正国, 游振波, 黄俊. 江西省旱地改水田土地整治研究——以永丰县瑶田镇湖西村旱改水项目为例[J]. 安徽农业科学, 2015,43(36):185–187,229. DOI:10.13989/j.cnki.0517–6611.2015.36.072. LIU Z G, YOU Z B, HUANG J. Discussion on land rearrangement of dryland changed paddy field in Jiangxi Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015,43(36):185–187,229. DOI:10.13989/j.cnki.0517–6611.2015.36.072.
- [16] 鲁真, 杨木壮. 沿海地区垦造水田适宜性评价——以惠州市为例[J]. 安徽农业科学, 2019,47(24):60–62. DOI:10.3969/j.issn.0517–6611.2019.24.020. LU Z, YANG M Z. Suitability evaluation of paddy fields in coastal areas—A case study of Huizhou City [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(24):60–62. DOI:10.3969/j.issn.0517–6611.2019.24.020.
- [17] 杨志才, 陂武龙, 黎诚, 陈显光. 粤西丘陵区旱改水潜力评价方法研究——以广东省新兴县为例[J]. 安徽农业科学, 2016,44(23):183–186. DOI:10.13989/j.cnki.0517–6611.2016.23.060. YANG Z C, GOU W L, LI C, CHEN X G. Study on evaluation methods of potentiality of changing from dry land to paddy field in Hilly Areas of Western Guangdong—A case study of Xinxing County in Guangdong Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016,44(23):183–186. DOI:10.13989/j.cnki.0517–6611.2016.23.060.
- [18] 范亚南, 刘洛, 戴文举, 任向宁, 胡月明. 广东省新增水田潜力研究[J]. 江苏农业科学, 2018,46(14):265–270. DOI:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.14.064. FAN Y N, LIU L, DAI W J, REN X N, HU Y M. Study on the potential of new paddy fields in Guangdong Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(14):265–270. DOI:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.14.064.
- [19] 左松, 蔡朕. 基于 GIS 的旱改水潜力研究——以重庆市彭水县为例[J]. 农村经济与科技, 2018,29(23):13–15. DOI:10.3969/j.issn.1007–7103.2018.23.006. ZUO S, CAI Z. Research on dryland water conversion potential based on GIS: A case study of Pengshui County, Chongqing City [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2018, 29(23):13–15. DOI:10.3969/j.issn.1007–7103.2018.23.006.
- [20] 孙姝艺, 刘洛, 胡月明. 基于空间数据挖掘的广东省“旱改水”优先区选择[J]. 江苏农业科学, 2019,47(4):216–222. DOI:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.04.050. SUN S Y, LIU L, HU Y M. Selection of priority areas for dryland field into paddy construction in Guangdong Province based on spatial data mining [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(4):216–222. DOI:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.04.050.
- [21] 孙超, 潘瑜春, 刘玉, 胡月明. 县域“旱改水”项目遴选布局方法与实证研究[J]. 农业机械学报, 2018,49(1):203–210. DOI:10.6041/j.issn.1000–1298.2018.01.025. SUN C, PAN Y C, LIU Y, HU Y M. Method and empirical research on reclaiming dryland field into paddy construction zoning and project site selection at county scale [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018,49(1):203–210. DOI:10.6041/j.issn.1000–1298.2018.01.025.
- [22] 赵蒙, 刘石锦, 李明, 朱振宇. 垦造水田项目选址模型研究——以广东省云浮市云城区为例[J]. 农业灾害研究, 2022,12(6):193–196. DOI:10.3969/j.issn.2095–3305.2022.06.064. ZHAO M, LIU S J, LI M, ZHU Z Y. Study on site selection model of reclaimed paddy field project—Taking Yuncheng District, Yunfu City, Guangdong Province as an example [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2022,12(6):193–196. DOI:10.3969/j.issn.2095–3305.2022.06.064.
- [23] 孙静. 重庆丘陵山区旱地改水田工程关键技术探讨[J]. 农村经济与科技, 2018,29(17):21–23. DOI:10.3969/j.issn.1007–7103.2018.17.008. SUN J. Discussion on the key technology of converting dry land to paddy field in hilly area of Chongqing City [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2018, 29(17):21–23. DOI:10.3969/j.issn.1007–7103.2018.17.008.
- [24] 周长江, 李永生. 无人机摄影测量技术在垦造水田工程复核中的应用[J]. 测绘通报, 2019(S1):280–282. DOI:10.13474/j.cnki.11–2246.2019.0565. ZHOU C J, LI Y S. Application of UAV photogrammetry in the review of paddy field engineering [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(S1):280–282. DOI:10.13474/j.cnki.11–2246.2019.0565.
- [25] 李振宇, 黄姚. 广东省垦造水田关键技术探讨[J]. 低碳世界, 2019,9(7):355–356. DOI:10.16844/j.cnki.cn10–1007/tk.2019.07.208. LI Z Y, HUANG Y. Discussion on key techniques of paddy field reclamation in Guangdong Province [J]. *Low Carbon World*, 2019,9(7):355–356. DOI:10.16844/j.cnki.cn10–1007/tk.2019.07.208.
- [26] 钱旭, 廖小锋, 谢元贵. 贵州省土地整治垦造水田关键技术探讨[J]. 现代农业科技, 2016(19):176–177. DOI:10.3969/j.issn.1007–5739.2016.19.101. QIAN X, LIAO X F, XIE Y G. Exploring the key technology of reclaiming paddy fields by land reclamation in Guizhou Province [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(19):176–177. DOI:10.3969/j.issn.1007–5739.2016.19.101.
- [27] 陈君梅, 黄培奎, 赵祚喜. 基于激光测距仪和 Matlab 的水田平整度检测方法[J]. 广东农业科学, 2014,41(1):173–177. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2014.01.019. CHEN J M, HUANG P K, ZHAO Z X. Field surface smoothness measurement using laser scanner [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(1):173–177. DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2014.01.019.

- [28] 方伟. 旱地改水田土地整治实施评价与分析[D]. 南昌: 东华理工大学, 2019.
- FANG W. Evaluation and analysis on the implementation of land remediation in dryland modified paddy field[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2019.
- [29] 彭晓庆. 旱地改水田土地整治效益评价——以彭泽县芙蓉农场三分场为例[D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- PENG X Q. Evaluation of land consolidation benefits of dryland changed paddy land—A case study of the Three Branch of Pengze County Furong Farm[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2016.
- [30] 马晓旭, 华宇佳. 乡村生态振兴成效评价指标体系构建研究——基于江苏省、浙江省、安徽省的对比[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(1): 60–67. DOI:10.7621/cjarrp.1005–9121.20210108.
- MA X X, HUA Y J. Establishing an evaluation index system for measuring the effect of rural ecological revitalization[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(1): 60–67. DOI:10.7621/cjarrp.1005–9121.20210108.
- [31] 曲衍波, 朱伟亚, 郎文聚, 张勇, 高宇. 基于压力–状态–响应模型的土地整治空间格局及障碍诊断[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 241–249. DOI:10.11975/j.issn.1002–6819.2017.03.033.
- QU Y B, ZHU W Y, YUN W J, ZHANG Y, GAO Y. Land consolidation spatial pattern and diagnosis of its obstacle factors based on Pressure–State–Response model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(3): 241–249. DOI:10.11975/j.issn.1002–6819.2017.03.033.
- [32] 王国璞. 基于 PSIR 模型的河南省低碳经济发展水平时空格局研究[D]. 开封: 河南大学, 2016. DOI:10.7666/d.D01053493.
- WANG G P. Research on low carbon economy development level of henan province based on PSIR model at time and space pattern[D]. Kaifeng: Henan University, 2016. DOI:10.7666/d.D01053493.
- [33] 唐利华. 基于 PSR 模型的伊宁市耕地集约利用评价及模式探讨[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2016.
- TANG L H. Evaluation and model of cultivated land intensive use in Yining City based on PSR model[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2016.
- [34] 赵柯, 李伟芳, 毛菁旭, 寇相玮, 尹昌霞. 基于 PSR 模型的耕地生态安全评价及时空格局演变[J]. 生态科学, 2019, 38(1): 186–193. DOI:10.14108/j.cnki.1008–8873.2019.01.024.
- ZHAO K, LI W F, MAO J X, KOU X W, YIN C X. Evaluation of cultivated land ecological security and spatial–temporal pattern evolution based on PSR model[J]. *Ecological Science*, 2019, 38(1): 186–193. DOI:10.14108/j.cnki.1008–8873.2019.01.024.
- [35] 窦学诚, 付滨. 基于 PSR 模型的河西制种基地耕地生态安全物元分析评价[J]. 西南农业学报, 2019, 31(9): 1919–1926. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2018.9.025.
- DOU X C, FU B. Analysis and evaluation of Hexi Seed Production base of cultivated land ecological security element based on PSR model[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 31(9): 1919–1926. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2018.9.025.
- [36] YONG D. D Numbers: Theory and applications[J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2012, 9(9): 2421–2428.
- [37] 任宏, 祝连波. 基于组合权法的建筑施工企业信息化水平的多层次灰色评价[J]. 系统工程理论与实践, 2008(2): 82–88. DOI:10.3321/j.issn:1000–6788.2008.02.011.
- REN H, ZHU L B. Multi–Hierarchical grey evaluation on the construction enterprises' informatization level based on combinational weight[J]. *Systems Engineering–Theory & Practice*, 2008(2): 82–88. DOI:10.3321/j.issn:1000–6788.2008.02.011.
- [38] 李敬, 张桑, 胡月明, 吴克宁. 基于时空角度的广东省耕地占补平衡绩效评价[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 1064–1073. DOI:10.13254/j.jare.2021.0542.
- LI J, ZHANG S, HU Y M, WU K N. Performance evaluation of cultivated land occupation compensation balance policy in Guangdong Province from the perspective of time and space[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 38(6): 1064–1073. DOI:10.13254/j.jare.2021.0542.
- [39] 魏媛, 吴长勇, 李昕蔓. 喀斯特山区贵州水资源生态承载力的动态变化评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(11): 2662–2669. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.11.036.
- WEI Y, WU C Y, LI X M. Assessment on dynamic variation in ecological carrying capacity of water resources in Karst mountainous areas in Guizhou[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(11): 2662–2669. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.11.036.
- [40] 张宗芳, 易小燕, 尚惠芳, 王玉婧. 基于 DPSIR–TOPSIS 模型的耕地资源环境承载力分析——以安徽省颍上县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(6): 131–139. DOI:10.7621/cjarrp.1005–9121.20220614.
- ZHANG Z F, YI X Y, SHANG H F, WANG Y J. Analysis on the environmental carrying capacity of cultivated land resources based on DPSIR–TOPSIS model[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(6): 131–139. DOI:10.7621/cjarrp.1005–9121.20220614.
- [41] 吴泽斌, 刘卫东, 罗文斌. 我国耕地保护的绩效评价及其省际差异分析[J]. 自然资源学报, 2009(10): 1785–1793. DOI:10.11849/zrzyxb.2009.10.012.
- WU Z B, LIU W D, LUO W B. Evaluation on performance of cultivated land and protection and interprovincial differences analysis in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009(10): 1785–1793. DOI:10.11849/zrzyxb.2009.10.012.
- [42] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 161–173. DOI:10.11821/dlxb201701013.
- LIU Y S, LI J T. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 161–173. DOI:10.11821/dlxb201701013.