



李振武, 杨有泉, 詹杰, 应朝阳. 福建省“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(03): 217-227.
LI Zhenwu, YANG Youquan, ZHAN Jie, YING Zhaoyang. Study on the evaluation index system for the promotion potential of 'rice-Azolla-fish' model in Fujian Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03): 217-227.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.19

福建省“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系研究

李振武^{1,2} 杨有泉^{1,2} 詹杰^{1,2} 应朝阳^{1,2*}

(1. 福建省农业科学院 农业生态研究所, 福州 350013;

2. 国家红萍资源中心, 福州 350013)

摘要 为评估“稻萍鱼”模式在福建省稻区的推广潜力,以“稻萍鱼”模式为研究对象,采用文献分析法、理论分析法、德尔菲法和界值法,从自然因素和社会经济因素2个维度构建福建省“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系,并采用层次分析法和变异系数法确定指标的组合同权重,运用综合评分法构建推广潜力的评价模型。结果表明:1)“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系包括2个一级指标,12个二级指标。2)明晰了评价指标的内涵,建立了指标的数据收集与标准化方法。3)基于推广潜力的评价模型,“稻萍鱼”模式的推广优先级分为推广优先级最高、推广优先级较高、推广优先级较差、不适合推广等4个等级,并制定相应的推广策略。综上,评价指标的筛选方法和确定权重系数的方法合理,构建的指标体系较全面,涵盖了影响推广潜力的水资源、气候不稳定性、土壤条件、稻田资源、推广便利性和经济水平6个方面。本研究可为福建省因地制宜推广“稻萍鱼”模式提供科学依据。

关键词 “稻萍鱼”模式; 推广潜力; 评价指标体系; 德尔菲法; 层次分析法

中图分类号 X171.3

文章编号 1007-4333(2024)03-0217-11

文献标志码 A

Study on the evaluation index system for the promotion potential of 'rice-Azolla-fish' model in Fujian Province

LI Zhenwu^{1,2}, YANG Youquan^{1,2}, ZHAN Jie^{1,2}, YING Zhaoyang^{1,2*}

(1. Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China;

2. National Azolla Germplasm Resource Center, Fuzhou 350013, China)

Abstract In order to evaluate the promotion potential of the 'rice-Azolla-fish' model in Fujian Province, this study took the 'rice-Azolla-fish' model as the research object, and constructed the evaluation index system for the promotion potential of the 'rice-Azolla-fish' model in Fujian Province based on both natural and socio-economic factors by using literature analysis, theoretical analysis, Delphi method and boundary value method; Analytic hierarchy process and coefficient of variation were used to determine the combination weight of indicators, and the comprehensive scoring method was used to build the evaluation model of promotion potential. The results showed that: 1) The evaluation index system for the promotion potential of the 'rice-Azolla-fish' model included 2 first class indicators and 12 second class indicators. 2) The connotation of the evaluation index is clarified, and the methods for data collection and standardization of the index are established. 3) Based on the evaluation model of promotion potential, the promotion priority of 'rice-Azolla-fish' mode is divided into four levels (the highest promotion priority, the higher promotion

收稿日期: 2023-09-22

基金项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22); 福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2020R1021001); 福建省人民政府中国农业科学院农业高质量发展超越“5511”协同创新工程(XTCXGC2021010)

第一作者: 李振武(ORCID: 0009-0008-4248-2737), 副研究员, 主要从事稻渔综合种养及红萍利用研究, E-mail: lzw511@263.net

通讯作者: 应朝阳(ORCID: 0009-0001-5610-4859), 研究员, 主要从事绿肥资源保护与利用研究, E-mail: eagleyingfaas@qq.com

priority, the lower promotion priority, and the unsuitable promotion) and the corresponding promotion strategies are formulated. In conclusion, the selection method of evaluation index and the method of determining weight coefficient are reasonable. The index system constructed in this study is comprehensive, which covers the six aspects affecting the promotion potential, namely water resources, climate instability, soil conditions, rice field resources, promotion convenience, and economic level. This study can provide scientific references for the promotion of 'rice-*Azolla*-fish' model in Fujian Province, based on local conditions.

Keywords 'rice-*Azolla*-fish' model; promotion potential; evaluation index system; Delphi method, analytic hierarchy process

“稻萍鱼”模式是把我国传统的“稻田养鱼”技术和“稻田养萍”技术进行有机耦合,将蕨类植物红萍引入到稻田综合种养系统中作为水稻肥料和鱼的饵料,通过田面种稻、水中养鱼、水面养萍,充分利用稻田水体空间,把稻田的单层次利用变为多层次利用的模式^[1]。“稻萍鱼”模式作为稻渔综合种养的一种典型模式,与常规稻作模式相比,其综合效益主要体现为:一是减量,农药、化肥施用量减少;二是稳粮,水稻不减产;三是增效,单位面积纯收入增加。“稻萍鱼”模式在上世纪80—90年代中期曾得到一定程度的推广,全国每年推广“稻萍鱼”模式达百万亩,新增稻谷6 000多万kg,新增产值2亿多元^[2]。作为“稻萍鱼”模式发源地,福建省有将近1 000万亩的稻田,但用于水产养殖的只占稻田总面积的4%左右^[3],大量的稻田对于发展“稻萍鱼”产业而言依旧是有待开发利用的潜在资源。因此,对全省稻区推广“稻萍鱼”模式的潜力大小进行定量的评估,是因地制宜地推广“稻萍鱼”模式及合理制定推广策略的重要基础。

尽管“稻萍鱼”模式具有显著的经济、生态和社会效益,但在推广过程中仍然存在一些问题,制约了该产业的发展^[4-6]。首先,地域适应性是关键。尽管“稻萍鱼”模式可以在具有良好灌溉和水源条件的稻田中发展,但每个地区的自然条件、社会经济条件以及市场需求都各不相同,因此需要在推广过程中根据每个地区的特定情况来评估是否适合发展“稻萍鱼”模式。此外,还需要充分考虑当地市场需求和消费者的接受程度,因为这直接影响到“稻萍鱼”模式的推广效果。其次,技术复杂性也是一个关键问题。与传统的水稻种植和鱼类养殖方式相比,“稻萍鱼”模式涉及3个系统的结合,因此需要更复杂的技术支持、更精细的管理和更多的投入。在推广过程中,必须建立一套适

合当地情况的种植、养殖技术体系,以帮助农民掌握相关技能和管理方法。再者,规模化和品牌化发展不足也是一个亟待解决的问题。目前,福建省“稻萍鱼”模式大多数是小规模的家庭生产方式,难以实现规模化生产和品牌化经营。这不仅限制了“稻萍鱼”模式的生产效率和经济效益,也使得产品的附加值较低。因此,在推广过程中应积极引导和扶持农民合作组织、龙头企业等主体,推动“稻萍鱼”模式的规模化生产和品牌化经营。最后,农民接受度也是影响“稻萍鱼”模式推广的一个重要因素。由于一些农民对“稻萍鱼”模式较为陌生,在推广过程中需要加强技术培训和宣传教育工作,提高农民对“稻萍鱼”模式的认知度和接受程度。只有当农民真正了解并接受这一新模式时,才能保证其在当地的顺利推广和持续发展。综上所述,在推广“稻萍鱼”模式的过程中,需要充分考虑地域适应性、技术复杂性、规模化和品牌化发展以及农民接受度等问题,才可以实现“稻萍鱼”模式的广泛应用和持续发展。

虽然“稻萍鱼”模式在一定程度上得到了推广应用,但目前关于其推广潜力评价的研究尚未见报道^[7-10]。因此,本研究拟以“稻萍鱼”模式为研究对象,通过理论分析法和文献分析法初步筛选出“稻萍鱼”模式推广潜力的评价指标,并采用德尔菲法和界值法进行进一步筛选,从而构建一套适用于福建省“稻萍鱼”模式推广潜力评价的指标体系。在此基础上,本研究将采用层次分析法和变异系数法确定各指标的组合权重,并运用综合评分法构建推广潜力的评价模型。根据评价模型的综合评分值,我们将对推广潜力等级进行分类,并据此制定相应的推广策略。期望本研究的结果能为福建稻区因地制宜地推广“稻萍鱼”模式以及合理制定推广策略提供理论依据和实践指导。

1 研究方法

1.1 评价指标的初选方法

首先应用文献分析法,对国内“稻田养鱼”“稻田养萍”“稻萍鱼”“稻渔综合种养”等方面的标准、论文和报告等进行分析统计,初步选择指标;然后根据理论分析法,对初选指标进行删减或增加;最后结合实地调研情况,对指标进一步调整,最终确定供专家筛选的评价指标体系框架^[11-13]。

1.2 评价指标的筛选方法

1.2.1 德尔菲法

本研究遴选出25位专家参与德尔菲法^[14-16]函询,共进行了两轮专家函询。专家按照李克特量表^[16](Likert scale)对指标重要性进行打分。5分表示该指标非常重要;4分表示该指标重要;3分表示该指标一般重要;2分表示该指标不太重要;1分表示该指标不重要。

1.2.2 界值法

采用界值法对每一轮德尔菲法的评分结果进行筛选。界值计算方法^[17]:1)满分率的界值=所有指标满分率的均数与标准差的差值,得分高于该界值的评价指标入选;2)算数均数的界值=所有指标的均数与标准差的差值,得分高于该界值的评价指标入选;3)变异系数的界值=所有指标变异系数的均数与标准差的和,得分低于该界值的评价指标入选。在以上3个界值尺度中,任意2个尺度不符合界值筛选要求直接剔除该指标。如果某个评价指标有且仅有一个尺度不符合筛选要求,为防止重要的评价指标被剔除,根据研究的全面性和指标的可获得性等原则,经专家小组讨论后再进行取舍。

1.2.3 专家可靠性评价方法

专家的可靠性由专家的积极系数、权威程度和意见一致性来衡量^[15,18]。专家的积极系数以问卷回收率表示,回收率越高,说明专家的积极性越高;专家的权威程度 C_r 采用自我评价^[18],由2个因素决定:一个是专家对方案作出判断的依据 C_a ;另一个是专家对问题的熟悉程度 C_s , $C_r=(C_a+C_s)/2$ 。专家意见的一致性以协调系数表示。

1.3 指标权重的确定方法

采取主观经验权重与客观统计权重相结合的组合赋权法计算各个评价指标的组合权重系数。主观经验权重采用层次分析法,客观统计权重选取

变异系数法^[19]。将AHP权重与CV权重求平均值得到组合权重。采用分析软件YAAHP^[20]进行层次分析计算,利用第二轮各评价指标重要性赋值均数的两两比较确定Saaty标度^[21]。

1.4 推广潜力的评价方法

采用综合评分法。将评价单元各指标的标准化值乘以指标权重再求和即可得到综合评分值。

2 结果与分析

2.1 评价指标体系的初步确定

以“稻田养鱼”“稻田养萍”“稻萍鱼”和“稻渔综合种养”为关键词,通过中国知网数据库进行检索,文献发表时间截止到2020年12月。对检索到的335篇核心期刊论文中涉及到“稻萍鱼”推广潜力的指标逐一列出,经过指标同义合并后,得到指标53个。自然因素方面,主要从水资源、气候不稳定性和土壤条件考虑对推广潜力的影响。社会经济因素也是农民是否会采用“稻萍鱼”模式的影响因素之一,主要涉及成本、效益、技术和销售等多个方面,主要从稻田资源、推广便利性和当地经济水平考虑对推广潜力的影响。为保证指标的有效性和实用性,课题组对福建省闽北地区南平市“稻萍鱼”示范基地进行实地调研,修正了部分指标。最终“稻萍鱼”模式初选的推广潜力评价指标体系框架包括一级指标自然因素和社会经济因素2个,二级指标降雨量、水域面积、暴雨概率、极端低温概率、极端高温概率、干旱概率、有机质含量、稻田土壤pH、县域稻田密度、稻田养鱼传统、稻田养殖红萍传统、稻田到县政府的欧氏距离和农村人均可支配收入等13个(图1)。

2.2 评价指标的筛选

2.2.1 专家遴选情况

本研究共函询专家25位,详见表1。其中:目前从事或曾经从事“稻萍鱼”模式研究及推广的专家9人;国家绿肥产业技术体系相关专家8人;福建省有稻田养鱼、养萍传统地区的基层农技专家6人;福建省“稻萍鱼”模式的从业者2人。

2.2.2 专家的积极性

专家的积极性是进行专家函询的重要基础,也会影响函询结果的客观性和可靠性。一般认为50%的积极系数是可以用来分析的最低比例,70%及以上的积极系数是非常好的结果。本研究两轮

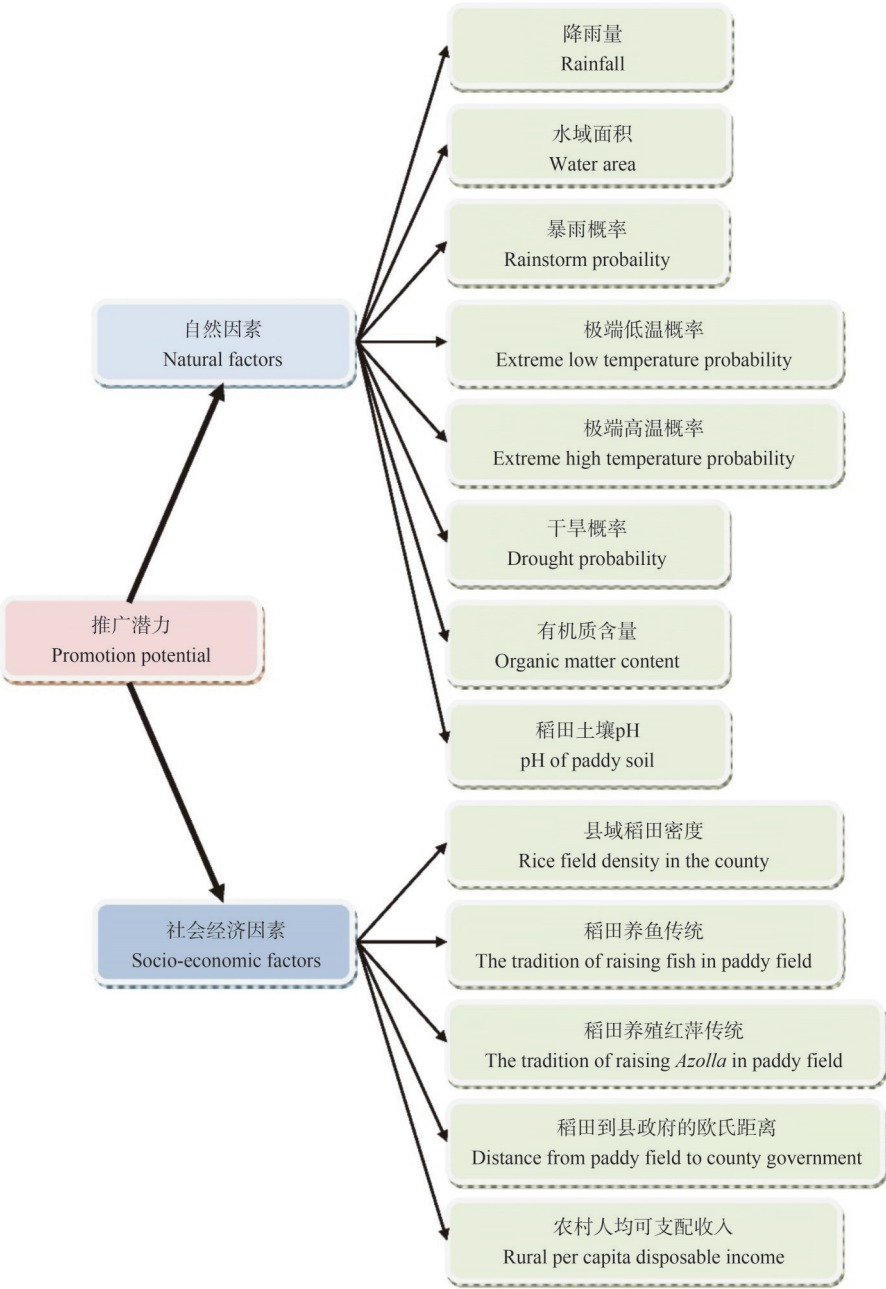


图1 初选的“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系

Fig. 1 Primary evaluation index system for extension potential of ‘rice-*Azolla*-fish’ model

函询问卷的回收率均为100%，说明函询专家关心本研究，参与的积极程度高。

2.2.3 专家意见一致性

协调系数反映了不同专家意见的一致性，也是咨询结果可信程度的指标，用协调系数表示。两轮专家函询结果的协调系数分别为0.149和0.310，两轮协调系数的 χ^2 检验中 $P<0.05$ ，表明在95%的置信度下，专家评估意见协调性好，函询结果的可信

度较高，具有统计学意义。

2.2.4 专家权威程度

本研究的专家判断系数 C_a 均值为0.916，专家熟悉程度 C_s 均值为0.732，经计算本研究的专家权威程度 C_r 值为0.824（参与第一轮和第二轮函询的专家是一样的），可以认为专家的权威程度较高。由于专家的权威程度与预测精度呈一定的函数关系，因此可以推论本研究的精度也较高。

表 1 德尔菲法函询专家的基本信息 (n=25)

Table 1 Basic information of consultant experts by Delphi method (n=25)

指标 Index	分类 Category	人数 / 个 Number of people	比例 / % Percentage
性别 Sex	男	20	80.0
	女	5	20.0
年龄 Age	≤40	1	4.0
	41 ~ 50	9	36.0
	51 ~ 60	12	48.0
	> 60	3	12.0
工作年限 Years of service	≤20	6	24.0
	21~30	8	32.0
	>30	11	44.0
职称 Professional title	正高	15	60.0
	副高	5	20.0
	其他	5	20.0

2.2.5 第一轮评价指标筛选结果

第一轮函询结果分析见表 2。可见:按照界值计算方法得出第一轮函询满分率界值为 16.96%,算术均数界值为 3.42,变异系数界值为 26.70%。运用界值法对指标进行筛选,二级指标“极端低温概率”“稻田土壤 pH”有 2 个或 2 个以上尺度不符合界值筛选要求,予以删除。二级指标“有机质含量”“稻田到县政府的欧氏距离”“农村人均可支配收入”只有一个尺度不符合界值筛选要求,经认真商讨,均予以保留。综合函询专家修改及增减指标的意见和建议,增加以下指标:在一级指标“社会经济因素”下增加二级指标“城镇人均可支配收入”。第一轮德尔菲法函询后,删除指标 2 项,增加指标 1 项,没有修改指标。第一轮函询完成后,根据界值法和专家意见制定新的评价指标体系提供给第二轮专家打分,同时将第一轮函询结果反馈给各位专家,以供专家参考。

2.2.6 第二轮评价指标筛选结果

第二轮函询结果分析见表 3。可见:按照界值计算方法得出第二轮函询满分率界值为 24.70%,算术均数的界值为 3.71,变异系数界值为 25.39%。运用界值法对指标进行筛选,所有指标均符合界值

筛选要求,均予以保留。函询专家没有修改或增减指标的意见和建议,说明经过 2 轮德尔菲法函询,专家对于评价指标的意见基本趋于一致,评分差异性较小。因此,在通过两轮专家咨询后,即可确定最终的评价指标体系。“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系包括“自然因素”和“社会经济因素”2 个一级指标。一级指标“自然因素”之下分为“降雨量”“水域面积”“暴雨概率”“极端高温概率”“干旱概率”和“有机质含量”6 个二级指标;一级指标“社会经济因素”之下分为“县域稻田密度”“稻田养鱼传统”“稻田养殖红萍传统”“稻田到县政府的欧氏距离”“农村人均可支配收入”和“城镇人均可支配收入”6 个二级指标。推广潜力评价指标体系的二级指标解析、指标属性及指标数据来源详见表 4。

2.3 评价指标权重的确定

二级指标的组合权重 W_i 分别为降雨量 (9.46%)、水域面积 (13.76%)、暴雨概率 (9.40%)、极端高温概率 (7.52%)、干旱概率 (9.87%)、有机质含量 (6.56%)、县域稻田密度 (6.30%)、稻田养鱼传统 (9.10%)、稻田养殖红萍传统 (8.46%)、稻田到县政府的欧氏距离 (6.37%)、农村人均可支配收入 (6.60%) 和城镇人

表 2 第一轮函询结果分析

Table 2 Result analysis of the first round of inquiry

一级指标 First grade index	二级指标 Second grade index	满分率 Full score rate	均数 Average	变异系数 Coefficient of variation
自然因素 Natural factor	降雨量	36	4.12	18.96
	水域面积	52	4.56	11.11
	暴雨概率	32	4.16	16.54
	极端低温概率	8 *	3.00 *	27.22 *
	极端高温概率	36	3.96	22.44
	干旱概率	44	4.12	21.39
	有机质含量	24	3.48	27.66 *
社会经济因素 Socio-economic factor	稻田土壤 pH	0 *	3.04 *	20.10
	县域稻田密度	24	3.80	21.49
	稻田养鱼传统	56	4.28	21.88
	稻田养殖红萍传统	52	4.16	25.67
	稻田到县政府的欧氏距离	24	3.56	26.99 *
	农村人均可支配收入	32	3.64	27.33 *

注:带*号的数值为不符合界值法筛选要求的数值。
Note: Values marked with * are those do not meet the screening requirements of the boundary value method.

表 3 第二轮函询结果分析

Table 3 Result analysis of the second round of inquiry

一级指标 First grade index	二级指标 Second grade index	满分率 Full score rate	均数 Average	变异系数 Coefficient of variation
自然因素 Natural factor	降雨量	36	4.12	18.96
	水域面积	40	4.24	17.06
	暴雨概率	32	4.08	18.61
	极端高温概率	36	3.96	22.44
	干旱概率	40	4.08	21.13
	有机质含量	28	3.72	23.94
社会经济因素 Socio-economic factor	县域稻田密度	28	3.80	22.79
	稻田养鱼传统	40	4.04	22.00
	稻田养殖红萍传统	36	3.96	23.60
	稻田到县政府的欧氏距离	28	3.72	23.94
	农村人均可支配收入	32	3.72	25.17
	城镇人均可支配收入	28	3.72	25.17

表 4 推广潜力评价指标体系指标解析

Table 4 Index analysis of the promotion potential evaluation index system

二级指标 Second grade index	指标属性 Index attribute	指标解析 Index analysis	数据来源 Data source
降雨量 Rainfall	正向	生长季内总降雨量	国家气象信息中心的中国地面气候资料日值数据集
水域面积 Water area	正向	稻田 30 km 半径范围内的内 陆水域面积,水域类型包括河 渠、湖泊和水库坑塘	土地利用现状遥感监测数据
暴雨概率 Rainstorm probability	负向	生长季内发生日降雨量≥50 mm 的天数所占比例	国家气象信息中心的中国地面气候资料日值数据集
极端高温概率 Extreme high temperature probability	负向	生长季内日最高温≥35℃的 天数所占比例	国家气象信息中心的中国地面气候资料日值数据集
干旱概率 Drought probability	负向	至少发生 1 次干旱的年份所 占比例	国家气象信息中心的中国地面气候资料日值数据集
有机质含量 Organic matter content	正向	表土层土壤的有机质含量	国家地球系统科学数据共享服务平台
县域稻田密度 Rice field density in the county	正向	县域稻田面积占县域面积的 比例	福建省统计年鉴 ^[3]
稻田养鱼传统 The tradition of raising fish in paddy field	正向	曾经出现过稻田养鱼的生产 方式	实地调研
稻田养殖红萍传统 The tradition of raising <i>Azolla</i> in paddy field	正向	曾经出现过稻田养萍的生产 方式	实地调研
稻田到县政府的欧氏距离 Distance from paddy field to county government	负向	稻田栅格到县政府的欧氏 距离	各县县政府经纬度数据通过 google 地图确定,利用 GIS 软件 计算稻田与其所在县县政府的 欧氏距离
农村人均可支配收入 Rural per capita disposable income	正向	县域农村常住人口的人均可 支配收入	福建省统计年鉴 ^[3]
城镇人均可支配收入 Urban per capita disposable income	正向	县域城镇居民的人均可支配 收入	福建省统计年鉴 ^[3]

均可支配收入(6.60%)(表5)。一级指标组合权重 W_i 为其下所有二级指标组合权重的和,一级指标“自然因素”的组合权重 W_i 为 56.57%,一级指标“社会经济因素”的组合权重 W_i 为 43.43%。

2.4 推广潜力评价模型及推广的优先等级划分

本研究根据综合评分法构建推广潜力评价模型,将评价指标的标准化值乘以指标权重再求和即可得到某一评价单元的综合评分值。具体计算公式如下:

$$T = T_z + T_s = \sum_{i=1}^n Y_i W_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: T 为某一评价单元的推广潜力综合评分值; T_z 为自然因素综合评分值; T_s 为社会经济因素综合评

分值; n 为评价指标的总数; Y_i 为指标的标准化值; W_i 为评价指标的组合权重。 T 取值范围为 0.00~1.00。

指标数据的标准化采用极差标准化法。正向指标的标准化值计算公式如下:

$$Y_i = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (2)$$

逆向指标的标准化值计算公式如下:

$$Y_i = \frac{Z_{\max} - Z}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (3)$$

式(2)和(3)中: $Z_{\max}$ 和 $Z_{\min}$ 分别为指标在福建省稻区的最大值和最小值; Z 为该指标的观察值; Y_i 为指标

表5 二级指标权重
Table 5 Weights of second grade indexes

二级指标 Second grade index	AHP 权重 W_j AHP weight	CV 权重 W_k CV weight	组合权重 W_i Combination weight
降雨量 Rainfall	0.117 1	0.072 1	0.094 6
水域面积 Water area	0.210 3	0.064 9	0.137 6
暴雨概率 Rainstorm probability	0.117 1	0.070 8	0.094 0
极端高温概率 Extreme high temperature probability	0.064 8	0.085 3	0.075 2
干旱概率 Drought probability	0.117 1	0.080 4	0.098 7
有机质含量 Organic matter content	0.040 1	0.091 0	0.065 6
县域稻田密度 Rice field density in the county	0.040 4	0.085 5	0.063 0
稻田养鱼传统 The tradition of raising fish in paddy field	0.099 4	0.082 6	0.091 0
稻田养殖红萍传统 The tradition of raising <i>Azolla</i> in paddy field	0.080 7	0.088 6	0.084 6
稻田到县政府的欧氏距离 Distance from paddy field to county government	0.037 6	0.089 9	0.063 7
农村人均可支配收入 Rural per capita disposable income	0.037 6	0.094 5	0.066 0
城镇人均可支配收入 Urban per capita disposable income	0.037 6	0.094 5	0.066 0

的标准化值。应用式(2)和(3)时,气象指标的观察值 Z 为前20年数据的平均值,其他定量指标的的观察值 Z 是前1年数据,定性指标的的观察值 Z 为当年实地调研得到,前10年以内有“稻田养鱼传统”“稻田养殖红萍传统”的观察值 Z 为1,前10年以内无“稻田养鱼传统”“稻田养殖红萍传统”的观察值 Z 为0。

参考胡亮亮等^[7]方法,基于自然因素综合评分值 T_z 和社会经济因素综合评分值 T_s 可将所有评价单元的推广优先级分为4个等级(表6),并为不同的推广等级制定相应的推广策略。

3 讨论

构建推广潜力评价指标体系的关键在于选择合适的指标,目前常用的指标筛选方法有文献分析法、理论挖掘法、专家打分法等^[22-26],但各有优劣。

本研究采用文献分析初步选择指标,根据理论分析进行调整,结合实地调研情况进一步调整,最后运用德尔菲法和界值法确定评价指标体系。此方法避免了单一指标筛选方法的缺陷,建立的指标全面、合理且更符合实际情况。指标权重赋值对评价结果的科学性至关重要。本研究采用层次分析法和变异系数法确定指标的组组合权重,这种方法结合了专家对指标重要程度的主观意见和数理统计方法的客观依据,提高了指标体系在实践运用中的有效程度。

从一级指标来看,“自然因素”的权重为56.57%，“社会经济因素”的权重为43.43%,这说明自然条件的适宜性是影响推广潜力的最主要因素,但社会经济因素也是影响推广潜力较重要的因素。在自然因素中,气候不稳定性(包含暴雨概率、极端高温概率、干旱概率3个指标)维度所占的权重

表 6 推广潜力的等级分类

Table 6 Classification of promotion potential

判断标准 Judgment criteria	推广等级和策略 Promotion level and strategy
T_z 和 T_s 都高于平均水平* T_z and T_s are above the average level*	I 级, 推广优先级最高, 适合大力推广规模化的“稻萍鱼”模式
T_z 高于平均水平但 T_s 低于平均水平 T_z is above the average level, but T_s is below the average level	II 级, 推广优先级较高, 适合推广规模化的“稻萍鱼”模式
T_s 高于平均水平但 T_z 低于平均水平 T_s is above the average level, but T_z is below the average level	III 级, 推广优先级较差, 适合推广粗放型、小规模“稻萍鱼”模式
T_z 和 T_s 都低于平均水平 T_z and T_s are below the average level	IV 级, 不适合推广, 但可由农户自发性地采用“稻萍鱼”模式

注: T_z 为自然因素综合评分值; T_s 为社会经济因素综合评分值; 平均水平是指福建省内所有评价单元 T_z 或 T_s 的加权平均值。
Note: T_z refers to the comprehensive score of natural factors. T_s refers to the comprehensive score of socio-economic factors. The average level refers to the weighted average value of P_z or P_s of all evaluation units in Fujian Province.

最大(26.79%),这表明气候条件对“稻萍鱼”模式的推广具有重要影响。在福建省稻区,气候不稳定因素如干旱、暴雨、高温等极端天气事件发生频率较高,这些因素对“稻萍鱼”模式的推广造成了一定的困难。因此,在推广过程中需要充分考虑自然条件的影响,因地制宜地制定相应的推广策略。在社会经济因素中,推广便利性(包含稻田养鱼传统、稻田养殖红萍传统、稻田到县政府的欧氏距离 3 个指标)维度所占的权重最大(23.93%),推广便利性主要涉及“稻萍鱼”模式实施地的交通条件、农民接受程度、相关的技术积累和销售渠道等,这些因素直接关系到“稻萍鱼”模式的推广效果和经济效益。因此,在推广过程中也需要充分考虑当地的社会经济条件,制定相应的推广策略和措施。

本研究的评价体系主要从生态环境和农业经济角度考虑,然而“稻萍鱼”模式的推广潜力可能还受到其他因素的影响,如政府政策、市场需求、消费习惯、实施效益等,因考虑到相关指标数据存在获取和标准化方面的困难,本研究并未将其列入指标体系。此外,本研究虽然初步构建了“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系和评价模型,但未经过实证检验,因此可能存在一定的局限性。

4 结 论

福建省“稻萍鱼”模式推广潜力评价指标体系在指标选择和权重确定方面具有较高的可靠性,指

标体系共分为两级,其中,一级指标分别为自然因素和社会经济因素 2 项,二级指标 12 项,该套指标体系覆盖面广,较全面反映了影响推广潜力的水资源、气候不稳定性、土壤条件、稻田资源、推广便利性和经济水平 6 个方面因素。基于推广潜力评价模型将福建省稻区划分为 4 个推广优先等级,其中, I 级和 II 级稻田适合推广规模化的“稻萍鱼”模式, III 级稻田适合推广粗放型、小规模“稻萍鱼”模式, IV 级稻田不适合推广,但可由农户自发性地采用“稻萍鱼”模式。

今后可利用 GIS 的时空分析和空间叠置功能绘制福建省“稻萍鱼”模式推广潜力综合评价状况图,从而确定“稻萍鱼”模式不同推广优先等级的地理分布和面积规模,为因地制宜地推广“稻萍鱼”模式提供科学的理论依据和决策支持。本研究在“稻萍鱼”模式推广潜力评价方面做了一些尝试性的探讨,希望能为类似研究提供借鉴和参考。

参考文献 References

[1] 应朝阳. 稻萍鱼生态种养技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
Ying Z Y. *Ecological Breeding Technology of Rice-Azolla-Fish* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020(in Chinese)

[2] 黄毅斌, 刘晖, 应朝阳. 红萍的应用技术研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2017
Huang Y B, Liu H, Ying Z Y. *Study on Application Technology of Azolla* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2017 (in Chinese)

[3] 福建省统计局, 国家统计局福建调查总队. 福建统计年鉴, 2019—2021[M].

- 北京: 中国统计出版社, 2020-2022
- Statistics Bureau of Fujian Province, Fujian Survey Corps of the National Bureau of Statistics. *Fujian Statistical Yearbook 2019-2021* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2020-2022 (in Chinese)
- [4] 胡亮亮, 唐建军, 张剑, 任伟征, 郭梁, Matthias Halwart, 李可心, 朱泽闻, 钱银龙, 吴敏芳, 陈欣. 稻-鱼系统的发展与未来思考[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 268-275
- Hu L L, Tang J J, Zhang J, Ren W Z, Guo L, Halwart M, Li K X, Zhu Z W, Qian Y L, Wu M F, Chen X. Development of rice-fish system: Today and tomorrow [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(3): 268-275 (in Chinese)
- [5] 于秀娟, 郝向举, 党子乔, 杨霖坤. 中国稻渔综合种养产业发展报告(2022)[J]. 中国水产, 2023(1): 39-46
- Yu X J, Hao X J, Dang Z Q, Yang L K. Report on the development of rice and fishery integrated breeding industry in China (2022)[J]. *China Fisheries*, 2023(1): 39-46 (in Chinese)
- [6] 于秀娟, 郝向举, 党子乔, 杨霖坤. 中国稻渔综合种养产业发展报告(2023)[J]. 中国水产, 2023(8): 19-26
- Yu X J, Hao X J, Dang Z Q, Yang L K. Report on the development of rice and fishery integrated breeding industry in China (2023)[J]. *China Fisheries*, 2023(8): 19-26 (in Chinese)
- [7] 胡亮亮, 赵璐峰, 唐建军, 郭梁, 丁丽莲, 张剑, 任伟征, 陈欣. 稻鱼共生系统的推广潜力分析: 以中国南方10省为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(7): 981-993
- Hu L L, Zhao L F, Tang J J, Guo L, Ding L L, Zhang J, Ren W Z, Chen X. Extension potential of rice-fish co-culture system: A case study of 10 provinces in South China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(7): 981-993 (in Chinese)
- [8] 杨世琦, 颜鑫. 基于农作物施肥量视角的区域尺度农田面源污染风险评价研究[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 147-159
- Yang S Q, Yan X. Study on risk assessment of non-point source pollution in farmland at regional scale from the perspective of crop fertilization amount [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(2): 147-159 (in Chinese)
- [9] 高旺盛, 王小龙, 杨富裕, 雷薪玉, 陈源泉. 农业科技强国评价指标体系与中国实现度分析[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(12): 1-10
- Gao W S, Wang X L, Yang F Y, Lei X Y, Chen Y Q. Evaluation index system and realization degree analysis of China agricultural science and technology power [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(12): 1-10 (in Chinese)
- [10] 陈文广, 孔祥斌, 温良友, 朱红梅, 张蚌蚌. 基于需求-功能-维度的耕地健康评价指标体系构建与应用[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(5): 106-117
- Chen W G, Kong X B, Wen L Y, Zhu H M, Zhang B B. Construction and application of cultivated land health evaluation index system based on demand-function-dimension [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(5): 106-117 (in Chinese)
- [11] 苏醒. 绿色生态村镇环境指标体系及评估标准[M]. 上海: 同济大学出版社, 2017
- Su X. *Evaluation Index System and Evaluation Criteria of Green Ecotype Villages* [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2017 (in Chinese)
- [12] 芦园园, 赵玉国, 卢琪, 章家恩. 农林复合模式区域适宜性评价指标体系构建: 以广东省猪-沼-脐橙模式为例[J]. 土壤, 2013, 45(3): 572-576
- Lu Y Y, Zhao Y G, Lu Y, Zhang J E. Construction of agro-forestry model's regional suitability evaluation index system—a case study of pig-biogas-navel orange model in Guangdong Province [J]. *Soils*, 2013, 45(3): 572-576 (in Chinese)
- [13] 张茜, 胡伟, 余斌, 秦慧玲, 陈明壮, 鲁超. 基于文献分析法的药物临床试验信息化建设[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2021, 26(2): 182-189
- Zhang Q, Hu W, Yu B, Qin H L, Chen M Z, Lu C. Information construction of drug clinical trials based on literature analysis [J]. *Chinese Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 2021, 26(2): 182-189 (in Chinese)
- [14] 王丽梅, 邵明安, 郑纪勇, 王忠林. 渭北旱塬农林复合系统环境评价指标体系研究与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 34-37
- Wang L M, Shao M A, Zheng J Y, Wang Z L. Environmental assessment indicator system of agroforestry systems and its application in Weibei Upland of the Loess Plateau [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(3): 34-37 (in Chinese)
- [15] 王春枝, 斯琴. 德尔菲法中的数据统计处理方法及其应用研究[J]. 内蒙古财经学院学报(综合版), 2011, 9(4): 92-96
- Wang C Z, Si Q. A study of data statistical processing method of Delphi method and its application [J]. *Journal of Inner Mongolia Finance and Economics College*, 2011, 9(4): 92-96 (in Chinese)
- [16] 张琨. “新农合”运行绩效评价体系研究: 兼评江西省“新农合”运行绩效[D]. 南昌: 江西财经大学
- Zhang M. Research on the performance evaluation system of the new rural cooperative medical system: Also on the performance of the new rural cooperative medical system in Jiangxi Province [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics (in Chinese)
- [17] 尹惠茹. 城市非营利性养老机构养老服务能力评价研究[D]. 长春: 吉林大学
- Yin H R. Research on the evaluation of urban non-profit pension institutions' pension service capability [D]. Changchun: Jilin University (in Chinese)
- [18] 邹翼霜. 基于循证和德尔菲法构建成人危重患者院内转运规范的研究[D]. 杭州: 浙江大学
- Zou Y S. Study on the construction of hospital transport standard for adult critically ill patients based on evidence-based and Delphi method [D]. Hangzhou: Zhejiang University (in Chinese)
- [19] 周文韬, 张文君, 邓云涛, 刘祥龙, 杨元继. 基于AHP-CV组合赋权的低丘缓坡土地建设适宜性评价[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2021, 46(6): 98-104
- Zhou W T, Zhang W J, Deng Y T, Liu X L, Yang Y J. On evaluation of suitability for land construction of low hill and gentle slope based on AHP-CV combined weight [J]. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2021, 46(6): 98-104 (in Chinese)
- [20] 吴文广, 张继红, 魏龔伟, 方建光. 莱州湾泥螺生态安全风险评估: 基于AHP的YAAHP软件实现[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1601-1610
- Wu W G, Zhang J H, Wei Y W, Fang J G. The ecological risk assessment of *Bullacta exarata* in Laizhou Bay: The YAAHP software implementation based on AHP [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1601-1610 (in Chinese)
- [21] 夏季清. 我国飞行护士核心知识体系的构建与研究[D]. 合肥: 安徽医科大学
- Xia J Q. Construction and research on core knowledge system of flight nurses in China [D]. Hefei: Anhui Medical University (in Chinese)
- [22] 李超, 李文峰, 赵耀, 尚敬敏. 基于GIS的云南山区玉米生态适宜性评价方法与应用[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 445-454
- Li C, Li W F, Zhao Y, Shang J M. A method of ecological suitability evaluation and its application for maize planted in mountain farmland

- based on GIS (Case study: Xundian County)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(3): 445-454 (in Chinese)
- [23] 赵彦锋,程道全,陈杰,孙志英,张化楠. 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1197-1208
- Zhao Y F, Cheng D Q, Chen J, Sun Z Y, Zhang H Z. Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(6): 1197-1208 (in Chinese)
- [24] 杜宁,杨宁生,孙英泽. 基于GIS的池塘养殖适宜性评价:以河南省为例[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(3): 476-482
- Du N, Yang N S, Sun Y Z. GIS-based evaluation of aquaculture suitability in Henan Province[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(3): 476-482 (in Chinese)
- [25] 陈海生,刘国顺,刘大双,陈伟强. GIS支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2425-2433
- Chen H S, Liu G S, Liu D S, Chen W Q. Studies on comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan Province supported by GIS[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(7): 2425-2433 (in Chinese)
- [26] 沈汉,邹国元. 菜地土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. *土壤通报*, 2004, 35(5): 553-557
- Shen H, Zou G Y. Parameters selection for evaluation of vegetable soil quality and its gradation [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(5): 553-557 (in Chinese)

责任编辑:杨爱东



第一作者简介:李振武,副研究员。主要从事稻渔综合种养和红萍利用等应用研究。参与及主持各级各类研究课题10余项,发表学术论文20余篇,参与福建省地方标准起草4项,授权发明专利7件,获得省部级奖项2项。



通讯作者简介:应朝阳,研究员,硕士生导师,福建省农业科学院“草资源保护与利用”首席研究员、“功能性草资源保护与利用”创新团队首席专家,主要从事绿肥、草种质资源保护与利用研究。国家绿肥产业技术体系岗位科学家,国家红萍种质资源圃常务副主任,农业农村部福州农业环境科学观测实验站站长。福建省“百千万人才工程”人选,农业农村部草种质资源风险评估专家委员会成员,国家林草局全国草种质资源技术协作组成员。中国热带作物学会生态环境专业委员会副主任委员,中国热带作物学会牧草与饲料专业委员会副主任委员,福建省生态学会副理事长。先后主持、承担中-澳(大利亚)合作、国家973、国家科技基础条件子平台、国家科技基础资源调查项目课题、农业部草种资源保护(子)项目、农业部热带作物种质资源保护项目、公益性行业(农业)科研专项课题、中央引导地方科技专项、福建省政府与中国农科院5511协同创新专项等相关项目20余项。在相关专业刊物发表学术论文100余篇、编著著作2部、参编著作6部,主持、参与福建省地方标准编写各2项,获授权发明专利5件。获省部级科技成果二、三等奖7项(前三名),通过“全国草品种审定委员会”审定品种6个,通过“福建省非主要农作物品种认定委员会”认定牧草、绿肥品种2个。