

文章编号: 1674-5566(2025)04-0896-09

DOI: 10.12024/jsou.20240504545

田园综合体低碳绿色发展评价指标体系构建及案例分析

尹杰¹, 马思媛², 夏杰^{3,4}, 熊飞¹, 杜胜男¹, 李娟英^{1,5}, 何文辉^{1,5}

(1. 上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 经济管理学院, 上海 201306; 3. 上海市建设用地和土地整理事务中心, 上海 200003; 4. 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心, 上海 200003; 5. 上海河湖生物链构建与资源化利用工程技术研究中心, 上海 201702)

摘要: 通过文献查阅和实际调研相结合的方式, 初步构建了具备4个层次16个具体指标的田园综合体低碳绿色发展指标评价体系。在层次分析法(AHP)确定各项指标权重的基础上, 采用模糊综合评价法对田园综合体的生态环境碳汇化、资源高效利用化以及经济发展绿色化进行等级评价。将上述构建的评价体系用于上海市金山区郊野村庄田园综合体低碳绿色发展评价的结果显示, 此田园综合体整体低碳绿色发展情况为良好(89.23/100), 在生态环境-社会资源-经济发展3个维度均有亮点, 反映该田园综合体通过农业产业转型升级, 带动农民增收致富的成效显著; 但在单位面积固碳量及游客体验和满意度方面还存在进一步的提升空间, 建议进一步引进低碳农业技术以提升土壤碳库、结合当地文化资源打造特色农旅项目、加强游客意见反馈机制建设等以进一步提升服务质量。

关键词: 田园综合体; 低碳绿色发展评价指标; 生态环境; 社会资源; 经济发展

中图分类号: F 327 文献标志码: A

在全球资源紧缺、气候变化以及经济社会发展的多重挑战下, 低碳绿色发展成为国际共识。“双碳目标”也奠定了未来中国经济发展的基本方向^[1]。田园综合体作为农业产业升级和乡村振兴战略的重要组成部分, 旨在解决“三农”问题并推动农业转型发展。自2017年被列入中央一号文件以来, 田园综合体试点项目在各地蓬勃发展, 形成了多样化模式^[2]。目前, 田园综合体的评价方法有层次分析法(AHP)^[3]和模糊综合评价法^[4], 评价内容主要聚焦在社会资源和经济发展方面, 如旅游体验^[4-7]、规划设计^[8-10]和经济水平^[11-12]等, 未综合考虑低碳绿色发展的需求, 尤其是在生态环境、社会资源和经济发展的协调性方面更是欠缺, 但现有绿色发展指标数量过多且综合适用性不强^[13], 因此, 亟须建立一个指标精简、综合性和针对性强的低碳绿色发展评价指标体系。

因此, 本研究基于系统理论, 构建了一个包

含生态环境、社会资源和经济发展3个维度、4个层次、16个指标在内的针对田园综合体低碳绿色发展的评价指标体系, 在利用AHP法确定指标权重的基础上, 采用模糊综合评价法进行等级评价, 并以上海市金山区郊野村庄田园综合体为例进行应用。这一评价指标体系的建立不仅有助于现有田园综合体项目的改进和质量提升, 还为促进乡村振兴和农业绿色转型发展提供重要的理论和实践支撑。

1 田园综合体低碳绿色发展评价体系的构建

1.1 评价体系的构建原则

反映田园综合体低碳绿色发展的指标很多, 本研究在构建田园综合体绿色发展评价体系时主要遵循以下原则:(1)系统性原则, 统筹考虑田园综合体生产系统本身的特点, 以及其对生态环境质量、经济发展水平及农产品质量的影响, 采

收稿日期: 2024-05-13 修回日期: 2024-09-11

基金项目: 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心开放性创新项目(CXZX202208)

作者简介: 尹杰(1992—), 女, 博士研究生, 研究方向为环境污染与农业碳汇。E-mail:jieyin@shou.edu.cn

通信作者: 李娟英, E-mail:jyli@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

用多准则层的分析保证评价内容的系统性。(2)代表性原则,在选择利于简化评价体系的综合性指标的基础上,同时考虑代表性强的指标,突出田园综合体的发展特点。(3)可操作原则,选取指标的数据易于获得且来源可靠,方便后续操作与评价。(4)可比较原则,评价结果具有可比性,可以为各级政府在实施绿色发展战略、推动农业绿色发展实践中提供决策依据。

1.2 评价体系的指标选取

低碳绿色发展评价体系指标的确定基于经济发展、社会资源、生态环境三者之间的整体性、协调性及和谐性进行确定。以资源环境承载力为基础,以可持续发展为目标的资源节约型、环境友好型的田园综合体,在指标选取时通过单位面积碳排放量、碳固定量和生物多样性指数反映其低碳和生态性,从地表水、土壤、空气和植被等4个方面量化环境质量^[14-16]。以田园综合体内资源利用、产品质量和社会评价等反映其社会资源维度的发展情况^[17],选取污水循环利用率和农业废弃物回收率反映资源利用水平;产品质量的指标选择绿色食品A级认证产品数量和产品污染物残留量两个指标,社会评价方面通过游客满意度

来表征。经济效益是田园综合体绿色发展的主要支撑,拟从绿色经济、经济压力和经济产值等方面进行考量^[18-19],绿色经济通过单位产值净碳汇量表征,经济压力用居民年均纯收入反映,经济产值通过单位面积总产值与游客人均消费反映。

以生态环境、社会资源和经济发展3个维度为准则,兼顾田园综合体集约型和系统性发展的特点,从社会、经济、环境每个维度分层次进行评价,构建了低碳生态、环境质量等8个子准则层,具体评价指标参考国家发改委联合生态环境部等印发的《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》《国家碳达峰试点城市建设参考指标》,同时突出田园综合体的发展特点,重点关注生态环境碳汇化、资源高效利用化以及经济发展绿色化,构建了16个具备代表性和可操作性的指标对田园综合体的低碳绿色发展情况进行量化,其中创新性提出了单位面积碳排放量、农业废弃物回收水平(秸秆水草/养殖粪便等)、绿色食品A级认证产品数量、单位产值净碳汇量等指标,多角度反映田园综合体低碳绿色发展情况(表1)。

表1 田园综合体低碳绿色发展评价体系的指标构成
Tab. 1 Indicator composition of low-carbon green development evaluation system for rural complexes

目标层 Goal level	准则层 Criteria layer	子准则层 Sub-criteria layer	指标层 Indicator layer	单位 Unit
田园综合体低碳绿色发展评价体系 Evaluation system for low-carbon green development of rural complexes	生态环境 Environmental	低碳生态 Low-carbon ecology	A1 单位面积碳排放量	t C/hm ²
			A2 单位面积碳固定量	t C/hm ²
			A3 生物多样性指数	-
	环境质量 Environmental quality	环境质量 Environmental quality	A4 地表Ⅲ类水以上比例	%
			A5 土壤污染物残留量(农药/重金属)	mg/kg
			A6 空气质量达到及好于二级天数所占比例	%
			A7 绿色植被覆盖率	%
社会资源 Social resources	资源利用 Resource utilization	资源利用 Resource utilization	B1 污水循环利用率	%
			B2 农业废弃物回收水平(秸秆水草/养殖粪便等)	%
	产品质量 Product quality	产品质量 Product quality	B3 绿色食品A级认证产品数量	个
			B4 产品污染物(农药)残留量	mg/kg
	社会评价 Social evaluation	B5 游客满意度	0~5分	
经济发展 Economic development	绿色经济 Green economy	绿色经济 Green economy	C1 单位产值净碳汇量	t C/万元
			C2 居民人均纯收入	万元/人
	经济压力 Economic pressure	经济压力 Economic pressure	C3 单位面积总产值	万元/ hm ²
			C4 游客人均消费	元/人

注:“-”表示无量纲。

Note: “-”denotes dimensionless.

1.3 评价指标的权重计算

指标权重的确定方法主要有两类:一类是主观赋权法,如AHP法、等权重法与最小平方法等;另一类是客观赋权法,如主成分分析法、熵值法等^[20]。鉴于客观赋权法对原始数据精确度的高要求,以及田园综合体数据统计的难度和准确度存在的挑战,采取AHP法确定各指标权重,并基于模糊综合评价计算得分,实现对田园综合体绿色发展水平的科学评价。AHP法的核心思想是通过建立判断矩阵、排序计算及一致性检验后得到最终评价结果,从而实现将复杂系统的决策思维层次化,因而评价结果具有一定的客观性和科学性,在经济管理、科学研究等领域应用较为广泛^[21-22]。本文首先通过采用1-9标度法建立判断矩阵,标度各指标之间的相对重要性,形成16个

评价指标构成的判断矩阵A。然后通过权重向量计算,得到各指标的权重计算结果(表2),为确保结果的可靠性与合理性,根据式(1)和(2)对各判断矩阵进行一致性检验^[23]。

$$C_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$C_R = \frac{C_i}{R_i} \quad (2)$$

式中: C_i (Consistency index)为一致性指标; n 为矩阵的阶数; λ_{\max} 为矩阵A的最大特征根; C_R 为一致性比例; R_i 为平均随机一致性指标^[23];当 $C_R < 0.100$ 时,则认为该判断矩阵具有满意的一致性,否则需要重新调整矩阵元素值^[23]。本研究的最大特征根为17.272, C_R 为0.053<0.1,通过一致性检验,即本次层次分析结果成立。低碳绿色发展指数评价各项指标的权重如表3所示。

表2 评价指标权重的计算结果
Tab. 2 Weight calculation of evaluation indicators

指标 Indicators	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
特征向量 Eigenvector	3.134	1.529	1.544	0.420	0.430	0.426	0.892	0.469	2.985	1.791	0.462	0.402	2.924	2.308	1.465	0.428
权重值 Weight value /%	14.502	7.074	7.145	1.945	1.989	1.969	4.127	2.172	13.813	8.290	2.137	1.860	13.533	10.681	6.780	1.982
最大特征根													17.272			
Maximum characteristic root																
C_i													0.085			
C_R													0.053			

表3 田园综合体低碳绿色发展评价体系的指标权重表
Tab. 3 Weights of each indicator in the evaluation system for low-carbon green development of rural complexes

目标层 Goal level	准则层 Criteria layer	同层级权重 Cohort weighting/%	子准则层 Sub-criteria layer	同层级权重 Cohort weighting/%	指标层 Indicator layer	综合权重 Composite weighting/%
田园综合体低碳绿色发展评价体系 Evaluation system for low-carbon green development of rural complexes	38.75	32.98	低碳生态	28.72	A1 单位面积碳排放量	14.50
			环境质量	10.03	A2 单位面积碳固定量	7.07
					A3 生物多样性指数	7.15
			社会资源	15.99	A4 地表Ⅲ类水以上比例	1.95
					A5 土壤污染物残留量(农药/重金属)	1.99
					A6 空气质量达到及好于二级天数所占比例	1.97
					A7 绿色植被覆盖率	4.13
					B1 污水循环利用率	2.17
					B2 农业废弃物回收水平(秸秆水草/养殖粪便等)	13.81
			经济发展	10.43	B3 绿色食品A级认证产品数量	8.29
					B4 产品污染物(农药)残留量	2.14
					B5 游客满意度	1.86
					C1 单位产值净碳汇量	13.53

由表3可知,准则层中3个维度权重分别为生态环境(38.75%)>经济发展(32.98%)>社会资源(28.27%),这符合突出低碳绿色发展且充分利用社会资源实现经济发展的目标。王火根等^[12]在以江西省绿色农业发展为例进行资源-环境-经济耦合协调的评价研究中,采用熵值法对农业资源、生态环境、社会经济3个子系统进行权重赋值的结果分别为18.78%、20.20%和61.02%,侧重强调以社会经济发展为导向,生态环境与农业资源相协调。子准则层中权重最高的是低碳生态(28.72%),其次是社会资源下的资源利用(15.99%)和经济发展层的绿色经济(13.53%),凸显了本田园综合体的低碳绿色发展的同时兼顾生态环境碳汇化、资源高效利用化以及经济发展绿色化的特点。张乃明等^[13]通过AHP法构建的农业绿色发展评价指标体系中,资源节约、环境友好、乡村发展和产品发展4个指标相应层的权重赋值分别为25.64%、54.03%、9.86%、10.47%,以上虽然体现环境友好和资源节约的重要性,但

对于低碳绿色指标的反映还不够充分。因此,本研究构建的指标体系确实可以反映出田园综合体低碳绿色的鲜明特征,评价结果在反映农业低碳绿色发展观水平上也具有显著优势。

1.4 评价指标的赋分、计算与等级划分

评价指标赋分参考同类型的评分标准^[12]以及地方已颁布实施的各类标准^[4,11,24-26],最终形成的16项评价指标打分的区间如表4所示。

选取模糊综合评价法对田园综合体中的定量指标进行等级隶属度计算。在对各指标实际数据进行插值法处理后,根据综合评价函数计算综合评价值 $F(x)$ ^[27]:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n W_i f_i(x) \quad (3)$$

式中: W_i 为评价指标*i*的权重; $f_i(x)$ 为评价指标*i*的赋分;*n*为评价指标的个数。对综合评价值进行等级划分,定义 $F(x) < 60$ 分为极差,60≤ $F(x) < 70$ 分为差,70≤ $F(x) < 80$ 分为中,80≤ $F(x) < 90$ 分为良,90≤ $F(x) < 100$ 分为优^[12]。

表4 低碳绿色发展评价各个指标的赋分

Tab. 4 Scores assigned to each indicator of the evaluation of low-carbon green development

指标 赋分 Indicator scores	A1 ^[12]	A2 ^[12]	A3 ^[24]	A4 ^[25]	A5 ^[25]	A6 ^[25]	A7 ^[25]	B1 ^[25]	B2 ^[26]	B3 ^[26]	B4 ^[26]	B5 ^[4]	C1 ^[12]	C2 ^[11]	C3 ^[11]	C4 ^[4]
90~100	<5	>20	>60	>90	<0.02	>95	>80	>90	>90	>90	<0.01	>95	>10	>4.5	>12	>300
80~90	5~10	15~20	40~60	80~90	0.02~0.06	85~95	70~80	80~90	80~90	80~90	0.010~0.015	85~95	7.5~10.0	4.0~4.5	10~12	250~300
70~80	10~15	10~15	30~40	70~80	0.06~0.10	75~85	60~70	70~80	70~80	70~80	0.015~0.020	75~85	5.0~7.5	3.5~4.0	8~10	200~250
60~70	15~20	5~10	20~30	60~70	0.1~0.2	65~75	50~60	60~70	60~70	60~70	0.020~0.025	65~75	2.5~5.0	3.0~3.5	6~8	150~200
<60	>20	<5	<20	<60	>0.2	<65	<50	<60	<60	<60	>0.025	<65	<2.0	<3.0	<6	<150

2 上海金山区郊野村庄田园综合体低碳绿色发展评价

2.1 上海金山区郊野村庄田园综合体概括

金山区枫泾镇郊野村庄田园综合体位于上海市金山区,总占地近75 hm²,距离市区40 km。该项目于2021年4月入选生态环境部与发改委联合发布的首批EOD试点,以耕地资源和现代农业设施为基础进行综合开发,践行低碳生态种养的理念,单位面积碳排放量为7.85 t C/hm²,远低于大棚、普通耕地与其他农业模式,同时强调农业资源循环利用,将传统农业与现代农业相结合,通过农业资源循环利用,提高空间利用率等

方式,使其单位面积碳固定量高达9.88 t C/hm²,远高于其他农业种植模式^[28]。金山区作为上海市经济发展的后花园,也是农业产业转型升级,带动农民增收致富的重点建设区域,上海金山区郊野村庄田园综合体更是大都市乡村振兴,带领当地居民增收致富的典型范例。

2.2 上海金山区郊野村庄田园综合体低碳绿色发展评价结果分析

为验证低碳绿色发展评价体系的科学性和实用性,本文选取具有代表性的上海金山区郊野村庄田园综合体为评价对象,以其上市公司年报公布的相关统计数据为基础,对其低碳绿色发展水平进行综合评价分析。指标A1、A2、C1数据来

自课题组前期研究^[29],A3、A4、A5、A6、A7、B1、B2、B3、B4、C2和C3来源于上海金山区郊野村庄田园综合体的运营主体上海开太鱼文化发展有限公司相关报告^[30-32],指标B5、C4来源于网络点评加权平均^[32]。将上述各指标的数值代入表4进行归一化得到各指标赋分,再将指标得分与表3中指标权重相乘得到综合得分,等级划分评价的结果见表5。

由表5可知,上海金山区郊野村庄田园综合体低碳绿色发展得分为89.23(满分为100分),总体表现为良。基于AHP法对田园综合体的评价案例已有较多报道,如阳朔东方田园综合体得分为85.77(满意)^[33],但其评价体系侧重于田园综合体生态价值和经济价值评价,评价指标中未涉

及碳排放相关内容;青禾川稻香田园综合体综合质量得分为89.47(良)^[34],该评价体系主要从规划设计实用性角度进行评价,未涉及经济发展和资源利用上的评价内容;张乃明等^[13]对云南省11个省级生态文明县的评价中,1个县为优(90.01),9个县为良(均分87.20),一个县为中(79.35),但其对县域水平的绿色发展评价体系仅有10个指标且未涉及低碳相关内容。本研究构建的评价指标体系通过3层16个指标对田园综合体低碳绿色发展进行评价,可以更全面客观地反映田园综合体的低碳和绿色相关的发展水平,也能反映此类田园综合体在国家新时代实施乡村振兴和双碳战略中所做的尝试和努力。

表5 上海金山区郊野村庄田园综合体低碳绿色发展评价结果

Tab. 5 Evaluation of low-carbon green development of rural village rural complexes in Jinshan District, Shanghai

项目 Items	生态环境 Ecological environment							社会资源 Social resources					经济发展 Economic development			
	低碳生态			环境质量				资源利用		产品质量		社会评价	绿色经济	经济压力	经济产值	
	A1 单位 面积	A2 单位 面积	A3 生物 多样性	A4 地表Ⅲ 类水以 上比例	A5 土壤污 染物残 留量	A6 空 气质 量好于 二级天 数所占 比例	A7 绿色植 被覆盖 率	B1 污水循 环利用 率	B2 农业废 弃物回 收水平 (秸秆水 草/养殖 粪便等)	B3 绿色食 品A级 认证产 品数量	B4 产品污 染物 残留量	B5 游客 满意度	C1 单位产 值	C2 居民人 均净汇 量	C3 单位面 积总产 值	C4 游客 人均消 费
数值 Value	7.85	9.88	43.00	100.00	0.04	92.00	90.00	90.00	100.00	85.00	0.014	80.00	7.86	8.00	15.93	322.00
得分 Score	85.70	70.00	81.50	100.00	85.00	87.00	100.00	90.00	100.00	85.00	88.00	75.00	81.44	100.00	100.00	100.00
权重 Weighting/%	14.50	7.07	7.15	1.95	1.99	1.97	4.13	2.17	13.81	8.29	2.14	1.86	13.53	10.68	6.78	1.98
综合得分 Composite score	12.43	4.95	5.82	1.95	1.69	1.71	4.13	1.95	13.81	7.05	1.88	1.40	11.02	10.68	6.78	1.98
综合评价值 Comprehensive evaluation value	89.23															

观察表5可知,表现优异的指标包括生态环境层环境质量中的A4(地表Ⅲ类水以上比例)和A7(绿色植被覆盖率)、社会资源层资源利用中的B2(农业废弃物回收水平),本文是指秸秆水草/养殖粪便等的回收利用以及经济发展层经济压力中的C2(居民人均纯收入)和经济产值中的C3(单位面积总产值)和C4(游客人均消费)。生态环境、社会资源、经济发展3个指标层均有指标取得满分,说明上海金山区郊野村庄田园综合体在3个维度均有出色点展现。生态环境层中A4项满分与田园综合体中广泛构建沉水植物-水生动

物的原位生态修复措施密不可分;A7项与此田园综合体大幅拓展立体空间,垂直种植绿色植被相契合。社会资源层中的B2项反映了田园综合体中水草沤肥和养殖粪便残渣等有机肥的多级循环利用的成果^[28]。经济发展层中经济压力和经济产值指标(C2,C3和C4)均为满分,反映了此田园综合体通过农业产业转型升级,带动农民增收致富的显著经济成效。还有待进一步提升的指标包括A2(单位面积碳固定量,70)和B5(游客满意度,75)。A2的得分与表4中的打分标准密切相关,目前关于单位面积固碳量的评分参考标准

有绿色建筑评价^[24]和林业行业碳标准^[35],缺乏多种土地利用模式的单位面积固碳量的评分标准。本文采用了数值相对较低的绿色建筑的碳固定标准,但仍与田园综合体这类土地利用模式差别较大,期待对多种土地利用模式的碳固定标准的深入研究以进一步优化本评价体系。B5得分显示此田园综合体在游客服务体验方面还有待提升,这可能受制于区域的土地性质改变和土地政策调整等管理因素。

总的来说,此田园综合体实现低碳绿色的同时还需格外重视游客体验,提升服务水平和游客关怀水准以提升游客评价。除此之外,进一步优化田园综合体的生态设计,引入更多更适宜的动植物,丰富物种多样性(A3),提升管理水平,进一步提升单位面积降碳增汇水平(A1、A2);同时严格控制农药等化学品的使用,以降低土壤和产品污染物的残留量(A5、B4),实现更多的绿色食品A级认证产品(B3),有助于田园综合体“优秀”评价等级的实现。

3 结论与建议

本研究成功构建并验证了一套田园综合体低碳绿色发展评价体系,并将其用于上海金山区郊野村庄田园综合体中,整体评价结果良好(89.23/100),显示出田园综合体在生态环境、社会资源和经济发展3个维度的均衡进步,但也揭示了其在单位面积固碳量及游客体验和满意度方面存在提升空间。

因此,为推动田园综合体进一步实现低碳绿色发展,建议采取以下措施:首先,通过推广生态农业和增加植被覆盖率,提升整体固碳能力;其次,引入先进低碳技术,如节能减排和智能农业技术,加强碳排放监测和环境影响评估,建立科学的管理体系;同时,基于生物多样性景观和栖息地建设,结合当地文化资源开发特色农旅项目;最后,改进基础设施并提供高质量的餐饮,加强游客意见收集和反馈机制,提升游客的参与度与满意度,进一步提升服务质量。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] JØRGENSEN S E. The application of ecological indicators to assess the ecological condition of a lake [J]. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 1995, 1 (3): 177-182.
- [2] 刘传喜. 乡村旅游地流动空间研究——基于新农人视角[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2017.
- [3] LIU C X. A study on the flowing space of rural tourism area: based on the perspective of new farmers [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2017.
- [4] 郭永彦, 陈娟娟. 基于可持续发展理论的田园综合体影响因素及评价[J]. 乡村科技, 2020(7): 38-39, 41.
- [5] GUO Y Y, CHEN J J. The influencing factors and evaluation of the pastoral complex based on the theory of sustainable development [J]. Rural Science and Technology, 2020(7): 38-39, 41.
- [6] 王红宝, 许亚丽, 杨丽花, 等. 基于旅游体验的田园综合体评价指标体系构建研究[J]. 老字号品牌营销, 2021(12): 109-112.
- [7] WANG H B, XU Y L, YANG L H, et al. Research on the construction of evaluation system of rural complex based on tourism experience [J]. China Time-Honored Brand, 2021(12): 109-112.
- [8] 贺志刚, 朱雷洲, 谢来荣. 基于生态服务价值的田园综合体规划评价研究——以武汉市为例[J]. 城市建筑, 2021, 18(13): 76-79.
- [9] HE Z G, ZHU L Z, XIE L R. Research on planning evaluation of pastoral complex from the perspective of ecological service value: a case of Wuhan [J]. Urbanism and Architecture, 2021, 18(13): 76-79.
- [10] 王艳, 令狐克颖, 钟畅, 等. 基于“三生空间”的田园综合体农旅耦合度分析[J]. 农业展望, 2021, 17(2): 73-80.
- [11] WANG Y, LINGHU K Y, ZHONG C, et al. Coupling degree between tourism and agriculture in rural complex based on production-living-ecological space [J]. Agricultural Outlook, 2021, 17(2): 73-80.
- [12] 林淑伟, 关松立. 田园综合体与乡村振兴发展耦合关系研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2022, 31 (1): 47-54.
- [13] LIN S W, GUAN S L. The coupling relationship between pastoral complex and rural revitalization and development [J]. Journal of Minzu University of China (Natural Sciences Edition), 2022, 31(1): 47-54.
- [14] 吴威波. 田园综合体建设绩效综合评价研究——以景宁县畲家田园综合体为例[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
- [15] WU W B. Research on comprehensive evaluation of construction performance of rural complex——take Shejia rural complex in Jingning county as an example [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2021.
- [16] 刘涛. 乡村振兴战略下田园综合体发展研究——以商河县为例[D]. 济南: 山东师范大学, 2021.

- LIU T. Research on rural complex under the rural revitalization background——taking Shanghe county as an example [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2021.
- [10] 林照伦. 乡村振兴背景下田园综合体的发展策略研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- LIN Z L. Research on the rural complex of the development strategy under the background of rural revitalization [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [11] 洪孟珍. 浙江鲁家村田园综合体发展水平评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- HONG M Z. Study on the development level of the rural complex in Lujia Village, Zhejiang Province [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [12] 王火根, 胡霜. 农业绿色发展背景下资源—环境—经济耦合协调发展研究——以江西为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(8): 74-86.
- WANG H G, HU S. Coupling coordination degree of resource-environment-economy under the background of green agricultural development-a case study of Jiangxi Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(8): 74-86.
- [13] 张乃明, 张丽, 卢维宏, 等. 区域绿色发展评价指标体系研究与应用 [J]. 生态经济, 2019, 35(12): 185-189.
- ZHANG N M, ZHANG L, LU W H, et al. Research and application of regional green development evaluation index system [J]. Ecological Economy, 2019, 35(12): 185-189.
- [14] 岳文博. 中国农业绿色发展指标体系构建及评价 [J]. 佳木斯职业学院学报, 2016, 32(7): 470-471.
- YUE W B. Construction and evaluation of the index system for the green development of agriculture in China [J]. Journal of Jiamusi Vocational Institute, 2016, 32(7): 470-471.
- [15] 郭晨阳. 中国省区绿色发展水平综合评价及路径选择 [D]. 天津: 天津商业大学, 2020.
- GUO C Y. Comprehensive evaluation and path selection of green development level in China [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2020.
- [16] 付琳, 张东雨, 杨秀. 低碳社区评价指标体系研究 [J]. 环境保护, 2019, 47(15): 39-46.
- FU L, ZHANG D Y, YANG X. Study on evaluation index system of low-carbon community [J]. Environmental Protection, 2019, 47(15): 39-46.
- [17] 杨正忠, 徐昔保, 李景宜, 等. 生态系统服务流研究进展与展望 [J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(7): 827-838.
- YANG Z Z, XU X B, LI J Y, et al. Progress and prospects of research on ecosystem service flow [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(7): 827-838.
- [18] 孙贤斌, 孙良萍, 赵怀琼, 等. 六安市绿色发展指标体系构建及评价 [J]. 皖西学院学报, 2020, 36(4): 1-6.
- SUN X B, SUN L P, ZHAO H Q, et al. Construction and evaluation of green development index system in Lu'an City [J]. Journal of West Anhui University, 2020, 36(4): 1-6.
- [19] 李程琳. 区域绿色发展评价体系构建与改进措施研究——以甘肃省为例 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- LI C L. Research on the construction of regional green development evaluation system and improvement measures [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [20] 郭昱. 权重确定方法综述 [J]. 农村经济与科技, 2018, 29(8): 252-253.
- GUO Y. Summarization of weight determination methods [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2018, 29(8): 252-253.
- [21] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic hierarchy process: an overview of applications [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169(1): 1-29.
- [22] FORMAN E H, GASS S I. The analytic hierarchy process: an exposition [J]. Operations Research, 2001, 49(4): 469-486.
- [23] 徐晓敏. 层次分析法的运用 [J]. 统计与决策, 2008, 24(1): 156-158.
- XU X M. Application of analytic hierarchy process [J]. Statistics & Decision, 2008, 24(1): 156-158.
- [24] 高源. 整合碳排放评价的中国绿色建筑评价体系研究 [D]. 天津: 天津大学, 2014.
- GAO Y. Studies on the China's green building assessment system integrated assessment of carbon emissions [D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
- [25] 马方舟, 徐海根. 首次将生物多样性指标纳入生态质量评价 [J]. 环境经济, 2021(22): 44-47.
- MA F Z, XU H G. Biodiversity index was brought into ecological quality evaluation for the first time [J]. Environmental Economy, 2021(22): 44-47.
- [26] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究 [J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 33-36.
- YE Y P, LIU L J. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(3): 33-36.
- [27] ZHOU L. Assessment of ecological environment quality for urban sustainable development based on AHP [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022: 9806059.
- [28] ZHANG H. Study on the fuzzy analytic hierarchy integrated evaluation method of Eco-Industrial Parks [J]. Energy Procedia, 2011, 5: 1944-1948.
- [29] 杜胜男, 马郝佳, 刘静, 等. 基于EOD模式的田园综合体碳平衡初步研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33

- (1): 161-171.
- DU S N, MA H J, LIU J, et al. Carbon balance in pastoral complex based on EOD model [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(1): 161-171.
- [30] 上海开太鱼文化发展有限公司. 上海开太鱼文化发展有限公司申报表[EB/OL]. (2022-04-26). Shanghai Kaitai Fish Culture Development Co., Ltd. Shanghai Kaitai Fish culture development company limited declaration form[EB/OL]. (2022-04-26).
- [31] 上海太和水科技发展股份有限公司. 上海太和水科技发展股份有限公司 2021 年年度报告[EB/OL]. (2022-04-26). http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2022/2022-4/2022-04-26/8075625.PDF. Shanghai Taihe Water Technology Development Co., Ltd. 2021 Annual report of Shanghai Taihe water technology development Co., Ltd [EB/OL]. (2022-04-26). http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2022/2022-4/2022-04-26/8075625.PDF.
- [32] 上海太和水科技发展股份有限公司. 开太有机生态园评价[EB/OL]. (2016-03-26). https://www.dianping.com/shop/G6nNIUmi3FmmMZZQ.
- Shanghai Taihe Water Technology Development Co. Evaluation of Kaitai organic ecological park [EB/OL]. (2016-03-26). <https://www.dianping.com/shop/G6nNIUmi3FmmMZZQ>.
- [33] 齐阳阳, 吴净, 魏蕴然. 基于层次分析法的田园综合体使用后评价——以苏南地区为例[J]. 大众文艺, 2019(6): 247-249.
- QI Y Y, WU J, WEI Y R. Post-use evaluation of pastoral complex based on analytic hierarchy process-Taking southern Jiangsu as an example[J]. Public Literature and Art, 2019(6): 247-249.
- [34] 杨绣娟. 基于层次分析法的田园综合体评价体系研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2019.
- YANG X J. Pastoral complex based on analytic hierarchy process evaluation system research spatial[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [35] 国家林业和草原局. LY/T 3253-2021 林业碳汇计量监测术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- National Forestry and Grassland Administration. LY/T 3253-2021 Terminology of accounting and monitoring for forestry carbon [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.

Construction and case analysis of low-carbon green development evaluation index system for rural complexes

YIN Jie¹, MA Siyuan², XIA Jie^{3,4}, XIONG Fei¹, DU Shengnan¹, LI Juanying^{1,5}, HE Wenhui^{1,5}

(1. College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Economics & Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Center for Construction Land and Land Preparation, Shanghai 200003, China; 4. Technology Innovation Center for Land Spatial Eco-restoration in Metropolitan Area, MNR, Shanghai 200003, China; 5. Shanghai Engineering Research of River and Lake Biochain Construction and Resource Utilization, Shanghai 201702, China)

Abstract: By combining literature review and actual investigation, a preliminary evaluation system for the low-carbon and green development of rural complexes with 16 specific indicators across four levels has been established. Based on the weights of the indicators determined by the Analytic Hierarchy Process (AHP), the fuzzy comprehensive evaluation method is used to assess the carbon sequestration of the ecological environment, the efficient use of resources, and the greening of economic development of rural complexes. After applying the aforementioned evaluation system to the rural complex in the rural villages of Jinshan District, Shanghai, the results show that the overall low-carbon and green development of this rural complex is good (89.23/100), with highlights in the three dimensions of ecological environment, social resources, and economic development, reflecting the significant effectiveness of the rural complex in promoting the transformation and upgrading of the agricultural industry and driving farmers' income and wealth. However, there is still room for improvement in terms of carbon sequestration per unit area and visitor experience and satisfaction. It is recommended to further introduce low-carbon agricultural technologies to enhance the soil carbon pool, combine local cultural resources to create distinctive agricultural tourism projects, and strengthen the construction of tourist feedback mechanisms to further improve service quality.

Key words: rural complex; low-carbon green development evaluation index; ecological environment; social resources; economic development