

“共富光伏农业提升工程”： 发展现状与优化路径研究

——基于浙江省50个典型案例的问卷调查分析

赵珂, 蒋红云, 朱美健, 宋纯蕾

绍兴文理学院应用统计系, 浙江 绍兴

收稿日期: 2024年12月17日; 录用日期: 2025年1月9日; 发布日期: 2025年1月22日

摘要

浙江省“共富光伏农业提升工程”旨在利用光伏技术提升农业生产效益, 推动农业现代化, 是实现村民共同富裕的重要举措。本文对浙江省11个地级市的50个典型光伏农业案例进行深入调查, 采用网络数据挖掘、随机森林模型、结构方程模型等进行数据分析。分析结果表明: “共富光伏农业提升工程”有效提高土地利用效率, 减少温室气体排放, 但对地表植被造成一定影响。技术上面临成本高、适应性弱、稳定性不足和创新能力有限等问题, 且村民增收效果不显著。“工程的结实程度和耐用性”是影响总体满意度的最重要因素。工程发展现状的满意度直接促进了工程未来发展, 其效果评价通过影响满意度间接影响其未来发展。最后从政府、企业、村民三视角提出优化路径。

关键词

共富光伏农业提升工程, 随机森林模型, 结构方程模型, 优化路径

“Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Promotion Project”: Research on the Development Status and Optimization Paths

—Based on a Questionnaire Survey Analysis of 50 Typical Cases in Zhejiang Province

Ke Zhao, Hongyun Jiang, Meijian Zhu, Chunlei Song

College of Mathematics and Information Science, Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang

Abstract

The “Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Promotion Project” in Zhejiang Province aims to enhance agricultural production efficiency and promote agricultural modernization through the use of photovoltaic technology, serving as an important measure for achieving common prosperity among villagers. This paper conducts an in-depth investigation of 50 typical photovoltaic agriculture cases across 11 prefecture-level cities in Zhejiang Province, employing data analysis methods such as network data mining, random forest models, and structural equation models. The analysis results indicate that the project effectively improves land use efficiency and reduces greenhouse gas emissions, but it also has a certain impact on surface vegetation. Technically, the project faces challenges such as high costs, weak adaptability, insufficient stability, and limited innovation capacity, and the effect of increasing villagers' income is not significant. “The solidity and durability of the project” is the most important factor affecting overall satisfaction. The satisfaction with the current development status of the project directly promotes its future development, and the effect evaluation indirectly influences its future development through its impact on satisfaction. Finally, optimization paths are proposed from the perspectives of the government, enterprises, and villagers.

Keywords

Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Promotion Project, Random Forest Models, Structural Equation Models, Optimization Paths

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球实现碳达峰和碳中和目标及能源转型的大背景下，中国政府制定一系列政策，旨在推动农村能源转型和可再生能源的广泛应用，以促进经济社会的可持续发展。随着全球对可再生能源的需求增加，光伏农业作为一种能够提高单位土地产出率的模式受到关注(姚福进等, 2024) [1]。它不仅解决农业生产中的能源问题，还避免光伏产业与农业争地的情况，同时将多余的电能卖给国家电网，增加农民收入(许丁中等, 2024) [2]。

光伏农业作为一种创新的农业发展模式，近年来得到国家政策的大力支持和推广。由国家能源局、农业农村部、国家乡村振兴局联合印发《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》。国务院印发《“十四五”推进农业农村现代化规划》，强调加强乡村清洁能源建设，提高电能在农村能源消费中的比重，因地制宜推动农村地区光伏、风电发展。

浙江省政府积极贯彻国家政策，出台《浙江省“共富光伏农业提升工程”创新引领工作方案》，选择光伏农业作为创新切入点，推动农村能源与农业生产的深度融合，实现经济绿色转型和高质量发展，为乡村振兴和共同富裕开辟新路径。浙江省发展和改革委员会提出，实施各类“光伏+”行动，鼓励利用存量农业设施大棚、即可恢复用地等，实施“共富光伏农业提升工程”，旨在通过政策引导和支持，推动光伏农业的健康可持续发展，实现农业与新能源的有机结合，促进农业现代化和乡村振兴(马爱平等, 2023) [3]。

光伏农业涵盖多种模式，包括“光伏+种植业”、“光伏+畜禽业”、“光伏+渔业”等。这些模式通过在光伏板下进行农业生产，实现了土地的多功能利用。例如，“光伏+种植业”可以在大棚顶部安装太阳能光伏板，同时在棚内进行作物种植。光伏农业的研究正在不断深入，包括光伏板对作物生长影响的研究、光伏农业系统的设计优化、以及光伏农业的经济性和可持续性分析(杨良山等, 2024) [4]。研究表明，光伏农业系统需要考虑作物对光照的需求，以及如何通过技术创新提高系统的整体效率(郝心悦等, 2023) [5]。尽管光伏农业具有巨大的潜力，但也面临着一些挑战，包括技术成熟度、商业模式的探索、项目的唯一性问题、投资与收益比例的主辅关系以及土地问题。这些问题需要通过政策引导、技术创新和市场机制的完善来解决(米莹莹, 2022) [6]。

在研究方法方面，王玲俊和陈健(2023) [7]运用农业可持续发展和太阳能资源的综合分区对光伏农业进行了区域分布分析，进而运用集中度指数和区位熵对其进行了集聚分析。在研究现状方面，鲍恩财等(2023) [8]通过实地调研和文献研究，系统分析了江苏光伏农业产业发展所面临的问题。在优化路径方面，陈杰等(2022) [9]针对湖北省资源禀赋的特点，推荐了6种光伏农业发展模式，并提出了光伏农业可持续发展的政策建议。

浙江省的“共富光伏农业提升工程”提出六类创新引领模式，即光伏设施种植、光伏茶园(药、果、林)园、光伏设施养殖、光伏设施渔业、光伏生态修复和光伏整村推进等，实现新能源与农业的深度融合，具有显著的经济和社会效益。本文对浙江省11个地级市的“共富光伏农业提升工程”项目进行实地调研，选取50个典型案例作为研究对象，深入剖析浙江省“共富光伏农业提升工程”的建设现状及现实困境，进而提出工程的优化路径。

2. 研究方法

本文首先利用网络爬虫数据初步分析人们对光伏农业的关注情况以及需求。然后结合问卷调查和实地访谈收集数据，通过基本描述性统计分析得到村民对工程环境、技术以及社会方面的评价，利用随机森林模型挖掘关键影响总体满意度的因素，对村民的期望建议绘制词云图直观地展示村民对工程未来建设的期待，实现对调研数据的深度剖析与多维解读。最后利用结构方程模型进一步揭示问卷不同调研模块之间的内在联系与逻辑结构，为后续的政策建议提供了坚实的理论支撑。

2.1. 随机森林模型

随机森林是一种常见的学习算法，常被用来处理回归问题和分类问题，它是在决策树的基础上发展而来的，利用多棵决策树对样本进行训练并集成的一个分类器。其核心思想是当数据被输入进行训练时，通过采取不同的特征形成一个个小的决策树，最后将这些小的决策树进行合并，建成一个更强大可靠的一个模型。

2.2. 结构方程模型

结构方程模型(SEM)是一种用于建立、估计和检验变量间因果关系的统计技术。它综合了多重回归、通径分析、因子分析和协方差分析等多种方法的优势，能够清晰地分析单个指标对总体的影响以及指标之间的相互关系。

3. 问卷设计与数据搜集

3.1. 问卷设计

本次调查主要目的是了解浙江省农村居民对“共富光伏农业提升工程”建设现状及成效满意度评价

及未来期望的看法，探究“共富光伏农业提升工程”的现实困境，并提出未来发展的优化路径。本次调研框架主要从以下几个模块展开。

1. 第一模块——村民的基本信息

通过查阅相关资料及生活经验，影响农村居民了解“共富光伏农业提升工程”的一些主要因素包括年龄、教育程度、月收入和务农种类。

2. 第二模块——“共富光伏农业提升工程”的建设情况

① “共富光伏农业提升工程”认知程度和接受度

“共富光伏农业提升工程”在浙江省，尤其是杭州市大部分乡村地区已经逐渐发展并成熟起来。调查居民对“共富光伏农业提升工程”的了解认知情况可以从居民对“光伏农业”建设现状、对“光伏农业”了解情况、认知情况以及工程通过什么渠道进行宣传等方面设置题目。

② “共富光伏农业提升工程”实际成效

为深入了解“共富光伏农业提升工程”的实际成效，开展了一系列针对性的调查。调查内容涵盖了农村居民对于工程实施后生活和生产方式变化的看法，评估了该工程对提高经济收入的直接影响，探讨了其对当地环境的潜在影响，并收集了居民对技术实施方面存在问题的意见等，具体题项设计见表1。

3. 第三模块——居民对“共富光伏农业提升工程”建设现状的满意程度

为了全面评估“共富光伏农业提升工程”在杭州的实施效果，开展了一项针对居民满意度及其影响因素的详细调查。本研究专注于农村居民的满意度，以期揭示工程的当前进展、成效以及面临的挑战，具体题项设计见表2。

Table 1. Actual effectiveness module survey project design

表 1. 实际成效模块调查项目设计

调研模块	题项设计
	与传统农业相比“共富光伏农业提升工程”带来的变化
	“共富光伏农业提升工程”对农村居民经济收入的影响
“共富光伏农业提升工程” 实际成效	“共富光伏农业提升工程”对当地环境的影响
	实施“共富光伏农业提升工程”可能面临的技术挑战
	“共富光伏农业提升工程”可能面临的不良影响
	影响“共富光伏农业提升工程”发展的重要因素

Table 2. Design of satisfaction module survey project

表 2. 满意程度模块调查项目设计

调研模块	题项设计
	项目整体规划和布局
	目前为止的完成进度
对“共富光伏农业提升工程” 建设现状的满意程度评价	工程的实用程度和耐用性
	组织相关培训和宣传活动
	项目组织水平和管理水平
	政府的组织和管理水平
	政府的资金投入

4. 第四模块——农村居民对“共富光伏农业提升工程”的期望

此模块意在通过调查农村居民对“共富光伏农业提升工程”的期望来进一步预测“共富光伏农业提升工程”的发展方向，为相关部门采取有效措施去推进“共富光伏农业提升工程”发展落实提供建议和意见。

3.2. 数据搜集

本研究采用网络与实地相结合的方式进行问卷调查，共发放问卷 930 份，回收有效问卷 884 份，有效回收率为 95.05%。问卷发放和回收具体情况见表 3。

Table 3. Questionnaire return status

表 3. 问卷调查回收情况

发放份数	回收份数	回收率	有效份数	有效回收率
930	901	96.88%	884	95.05%

3.3. 信效度检验

采用 SPSS 软件对回收的有效问卷进行信度分析，得到问卷整体信度系数见表 4。其总量表的 Cronbach's Alpha 为 0.819，大于 0.8，表明问卷内部信度较好。同时对变量的每一维度再次检验，检验结果显示每一维度的 Cronbach's Alpha 均大于 0.8，证实问卷信度佳，数据可信。

Table 4. Overall scale reliability statistics

表 4. 整体量表可靠性统计

Cronbach's Alpha	基于标准化项的 Cronbach's Alpha	项数
0.819	0.820	12

对有效问卷进行效度分析，得到问卷整体效度系数见表 5，问卷的 KMO 值为 0.803，大于 0.8，说明因子分析的效度被接受，可以进行因子分析；且 Bartlett 球形检验的 p 值小于 0.05，意味着变量之间是相关的，效度可以被接受，因此适合进行探索性因子分析。

Table 5. Kaiser-Meyer-Olkin and Bartlett's test

表 5. KMO 和巴特利特检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量		0.803
Bartlett 的球形度检验	近似卡方	6304.996
	df	66
	Sig	0.000

综上所述，问卷数据的信度和效度检验均通过，因此，问卷设计结构合理，可以作为标准问卷使用，且收集的数据合理，具有可靠性和有效性。

4. 实证分析结果

4.1. 基于文本挖掘的网络数据分析

首先在百度搜索中以“共富光伏农业”为关键词进行搜索，然后利用网络爬虫爬取前二十条网址，

对提取的文本数据进行词云分析和词频统计,探究人们对光伏农业关注的情况和需求,其词云图见图1。



Figure 1. Visualization chart of data from the “Common Prosperity Photovoltaic Agriculture” web crawler
图 1. “共富光伏农业”网络爬虫数据可视化图

选取爬取内容词条频率排名前 10 的字词，制成词频统计表见表 6。

Table 6. Web crawler word frequency statistics table
表 6. 网络爬虫词频统计表

排名	词条	词频	排名	词条	词频
1	光伏	299	6	发展	171
2	支持	219	7	推进	148
3	项目	218	8	责任	144
4	企业	214	9	政策	143
5	建设	207	10	农业	137

在爬取得到的有关工程的新闻报道、杂志记录中，出现频率最多的词是“光伏”，词频达到 299 次，其次是“支持”，达到 219 次，“项目”达到 218 次，“发展”“政策”“农业”等都是出现频率位于前十的词，说明相较传统模式，光伏农业模式深受政府支持和人民关注。

4.2. 基于网络搜集的网络资料分析

光伏农业的发展现状呈现出多元化和综合性的特点。根据网络资料搜集所得的数据，我们得知现有的光伏模式既包括单一运作的光伏模式，也涵盖了综合性的光伏模式。

在单一运作的光伏模式中，“光伏 + 设施种植”、“光伏 + 茶(药、果、林)园”、“光伏 + 设施养殖”、“光伏 + 设施渔业”、“光伏 + 生态修复”以及“光伏整村推进”等模式各有其特色。此外，随着技术的进步和产业的不断发展，综合性光伏模式也逐渐崭露头角。这种模式将多个单一的子分类进行有机整合，形成更加高效、可持续的能源利用和产业发展模式，具体分类见表 7。

“光伏 + 设施种植”和“光伏整村推进”是 50 个典型案例中发展较好的两种模式。“光伏 + 设施种植”模式凭借其能够最大化利用土地资源，并在光伏板下种植农作物的同时为种植设施提供电力的优势，在当前市场中受到较多关注和采用，展现出良好的发展前景。而“光伏整村推进”模式则通过涉及整个村庄的能源改造和升级，对推动农村能源转型和乡村振兴具有重要意义。

Table 7. Classification of different models**表 7. 不同模式的分类**

50 个典型案例不同模式	数量
光伏 + 设施种植	13
光伏 + 茶(药、果、林)园	7
光伏 + 设施养殖	2
光伏 + 设施渔业	7
光伏 + 生态修复	2
光伏整村推进	11
综合性光伏	8

相比之下，“光伏 + 设施养殖”和“光伏 + 生态修复”这两个模式在数量上相对较少，发展相对滞后。“光伏 + 设施养殖”虽然可以利用光伏板为养殖设施提供电力，但光伏板可能会对养殖环境造成一定的影响，如光照不足、温度波动等。而“光伏 + 生态修复”则可以利用光伏板产生的电力进行生态修复工作，但在实际操作中需要充分考虑光伏设施与生态修复项目的协调性和可持续性。

其中，综合型光伏模式实际上是由多个模式中的元素搭配形成的。这种综合性模式旨在通过整合不同光伏应用领域的优势，实现更高效、更可持续的能源利用和产业发展。

Table 8. Integrated photovoltaic agriculture**表 8. 综合性光伏农业罗列**

综合性光伏模式	具体地址
光伏 + 茶园、光伏 + 设施养殖、光伏 + 林园	丽水市松阳县
光伏 + 茶园、光伏 + 设施种植	丽水市莲都区黄村乡
光伏 + 设施种植、光伏整村推进	嘉兴市海宁市袁花镇
光伏 + 设施种植、光伏 + 设施渔业	湖州市长兴县雁陶村
光伏 + 设施养殖、光伏 + 设施种植	杭州市建德市
光伏 + 茶园、光伏 + 设施种植	杭州市淳安县樟村毛山岗自然村
光伏 + 茶(药、果、林)园、光伏 + 设施养殖	绍兴市新昌县镜岭镇冷水、殿前村
光伏 + 林业、光伏 + 设施种植	衢州市横跨江山市凤林、石门及峡口三个镇

综合性光伏农业项目见表 8，浙江省内多个地区，如杭州建德市、嘉兴海宁市等地区，通过巧妙结合当地资源特色和产业发展需求，成功实施了八个各具特色的综合性光伏模式，展现了浙江省在光伏能源应用领域的多样性和创新性。这些模式将光伏技术与农业、林业、渔业等传统产业相融合，不仅为农民提供了增收的新途径，还有效利用了土地资源，推动了农业、渔业等产业的绿色转型和现代化发展。

这些综合性光伏模式的成功实践，不仅为浙江省的能源转型和产业升级作出了积极贡献，也为其他地区提供了宝贵的经验和可借鉴的范例。未来，随着技术的不断进步和政策的持续支持，相信浙江省的综合性光伏模式将会得到更广泛的应用和推广，为我国的能源事业和生态文明建设作出更大的贡献，推动经济社会的高质量发展。

4.3. 基于描述性统计的调查问卷分析

4.3.1. 环境保护方面

将收集的有效问卷数据进行描述性统计分析，见图 2，展示了“共富光伏农业提升工程”对环境的积

极和消极影响。在积极方面,该模式旨在“让土地发挥更大的作用,提高土地利用率”、“减少了碳排放,有助于缓解全球变暖”以及“促进了生态农业的实践,提高了农业的可持续性”方面的响应率都大于50%,显示出该工程在环境方面具有显著效果。但“共富光伏农业提升工程”在实施过程中对环境产生也一些消极影响,其中“对地表植被造成破坏,影响生态系统”的问题尤为突出。

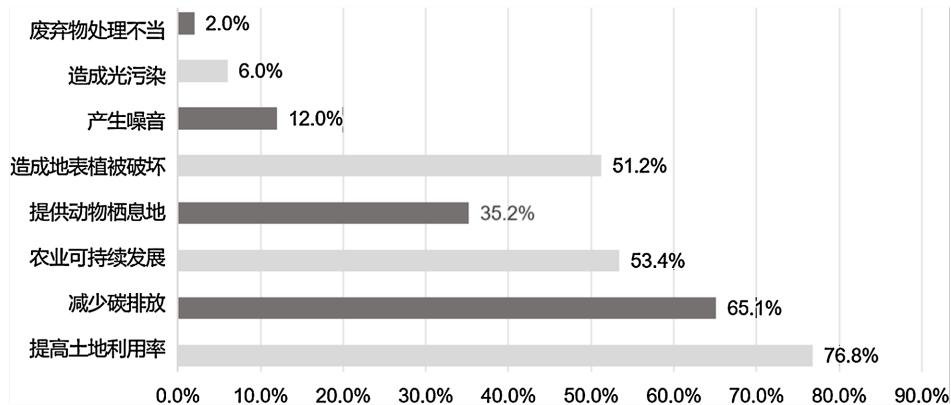


Figure 2. The “Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Enhancement Project” model’s impact on the local environment
图 2.“共富光伏农业提升工程”模式给当地环境带来的改变

4.3.2. 工程技术方面

帕累托图是一种按照原因发生的频率大小顺序排列并绘制的直方图,它直观地展示不同原因所导致结果的比例,帮助理解大部分问题是由少数关键因素引起的。帕累托图体现了著名的帕累托原则,即“至关重要的少数”和“微不足道的多数”现象:大部分效果(约80%)往往由少数原因(约20%)产生,而剩下的少数效果则分散在众多原因之中[10]。

根据问卷数据绘制帕累托图,见图3,对“共富光伏农业提升工程”中技术问题进行深入分析,可以识别出几个主要的技术难题:“技术成本过高”、“技术适应性不强”、“技术创新力低”以及“技术创新能力不足”。这些问题在工程实施中占比达80%以上,占据非常重要位置,亟需优先解决。

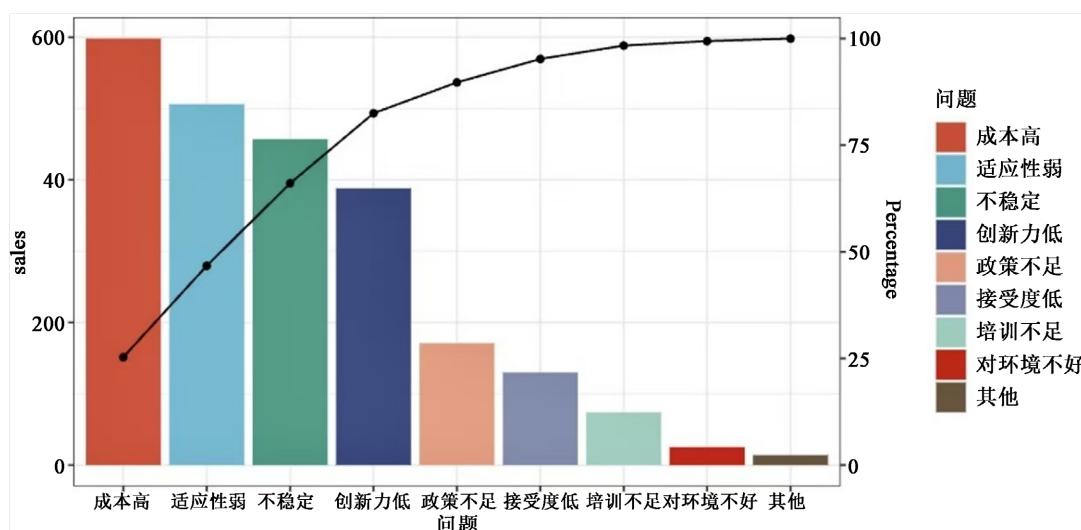


Figure 3. Pareto chart of technical issues in the “Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Enhancement Project” model
图 3. “共富光伏农业提升工程”模式在技术方面的问题的帕累托图

4.3.3. 经济效益方面

结合调查问卷数据对工程的经济效益进行分析, 见图4, 显示了该工程在短期内对农民增收的影响并不明显, 多数村民甚至感觉收入受到负面影响。究其原因, 一方面光伏产品购买价格高, 且需一些配套设备, 导致前期投资较大; 另一方面光伏农业的投入产出比较低, 成本回收周期长, 仅种植常规作物的经济效益不明显。除此之外, 光伏发电效率还受自然条件限制, 农业种植也受影响, 使得整体收益波动大、风险高, 进一步延长回报周期, 农民短期内难以达到增收效果, 经济效益不显著。

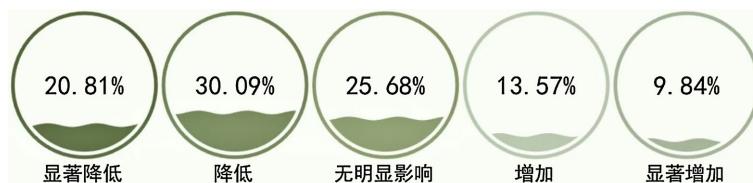


Figure 4. The income changes brought about by the “Common Prosperity Photovoltaic Agriculture Enhancement Project” model for villagers

图4. “共富光伏农业提升工程”模式给村民带来的收入变化情况

4.4. 基于随机森林模型的满意度影响因素分析

使用随机森林确定哪些特征对总体满意度的影响最大, 采取基于平均减少不纯度来评估每个特征的重要性, 确定每个特征在随机森林的贡献率大小, 贡献率越大, 特征越重要。由此能对“共富光伏农业提升工程”建设现状总体满意度的影响因素进行重要性分析, 得出不同维度满意度与总体满意度的关系。

通过反复测试训练建立出相应的随机森林模型, 得到相应的模型评估系数, 见表9。

随机森林 RMSE 等于 0.02, 与满意度取值区间相比较小, 说明模型误差较小; 可决系数值为.93, 接近 1, 两者均显示出该随机森林模型的效果较好, 后续结果值得信赖。接着使用该模型确定各个影响总体满意度的因素的相对重要性, 见图5。

Table 9. Random forest model evaluation metrics

表9. 随机森林模型评估系数

均方根误差	可决系数
0.02	0.93

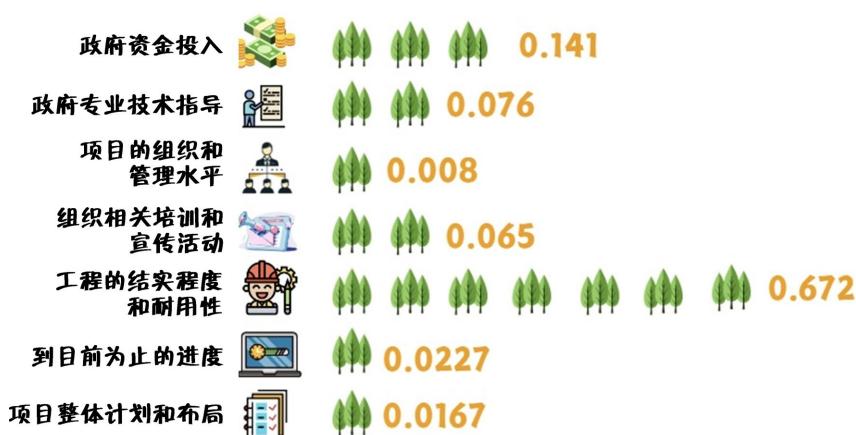


Figure 5. Distribution of feature importance for overall satisfaction

图5. 总体满意度的各特征变量的重要性分布

研究结果显示，“工程的结实程度和耐用性”是影响总体满意度的最重要因素，这意味着它在解释满意度变化方面贡献最大。因此应重视这一方面的数据真实性和可靠性，并将其作为未来关注的重点。为了提升工程的长期稳定性和用户满意度，企业、政府及相关机构应确保工程质量达到高标准，加强材料质量控制、采用先进施工技术以及实施严格的质量检测。除了工程质量之外，政府资金投入、专业技术指导和组织宣传活动的重要性值处于中等水平，表明这些因素也一定程度影响了总体满意度。因此，这些方面均应得到适当的关注和支持。相比之下，“到目前为止的完成进度”、“项目整体计划和布局”和“项目组织和管理水平”的重要性较低，但它们仍然是工程成功的关键组成部分，需要在进行适时优化。

通过特征重要性分析可为该工程的未来发展提供科学依据，并为政府和相关部门制定相关政策和措施提供参考。在未来工作中，应重点关注重要性高的特征数据真实性，并综合考虑其他特征，全面评估工程完成情况和总体满意度。

4.5. 基于词云图的未来发展建议分析

通过收集问卷调查中开放性题项 25: 您对“共富光伏农业提升工程”的未来发展有哪些期待和建议? 获得村民对“共富光伏农业提升工程”未来发展的期待和建议的数据。利用 Python 提取关键词，并将其整合成一张词云图，见图 6。分析词云图中的关键词深入理解了当地居民的真实需求与建议，为“共富光伏农业提升工程”的后续发展提供宝贵参考。



Figure 6. Word cloud for future development suggestions
图 6. 未来发展建议词云图

通过词云图中的词汇大小，可以了解农村居民对“共富光伏农业提升工程”的普遍看法。图中“机械化”、“生产”、“质量”和“技术”四个词汇突出，表明居民非常重视农产品的质量和生产效率。在“共富光伏农业提升工程”背景下，这意味着村民希望利用先进的光伏技术提高产量，同时保障或提升农产品品质，并希望通过机械化改善传统农业，实现更高效的作物种植。此外，“培训”和“污染”等词汇也较为显著，显示居民对教育培训和环保问题的关注。因此，未来的工程发展应聚焦于这些关键领域。

4.6. 基于结构方程模型的优化路径分析

本次调研中，通过发放 930 份问卷，有效回收得到 884 份问卷，了解当地居民的基本信息、其对“共富光伏农业提升工程”的认知情况、对工程实施成效的看法和对工程实施现状的满意度，也分析了当地居民对工程期待建议的具体实际数据。要深入研究各模块变量与未来发展之间的关系，选择构建结构方程模型，来探究“共富光伏农业提升工程”未来优化路径。

本文共构建三个潜变量，分别为当地居民对工程建设效果评价、当地居民对工程建设满意度和当地居民对该工程未来发展的期待。初步设计结构路径见图7。

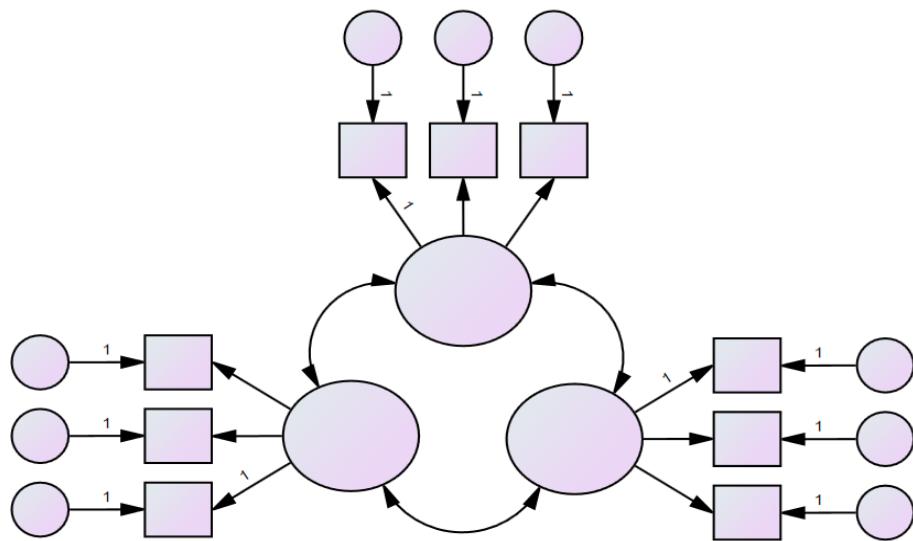


Figure 7. Structural equation modeling pathway
图 7. 结构方程路径

本次调研采用结构方程模型, 将上述构建的三个潜变量进行分析, 初步考察了这三部分的关系, 基于此, 提出以下三个假设:

- H1: 居民对该工程的效果评价显著影响工程未来发展。
 H2: 居民对工程当前效果的评价显著影响工程建设现状的满意度。
 H3: 居民对工程建设现状满意度的评价显著影响工程未来发展。

结构方程模型中各潜变量需要具体的观测范围。

利用 AMOS 28.0 软件对结构方程模型进行检验和拟合。为了检验模型的整体拟合程度, 选择 *NFI*(规范拟合指数)、*TLI*(Tucker-Lewis 指数)、*CFI*(比较拟合指数)和 *RMSSES*(近似误差均方根)这四个拟合指标来判断。结果见表 10。

Table 10. Model fit parameters
表 10. 模型拟合参数

NFI	TLI	CFI	RMSEA
0.931	0.939	0.952	0.078

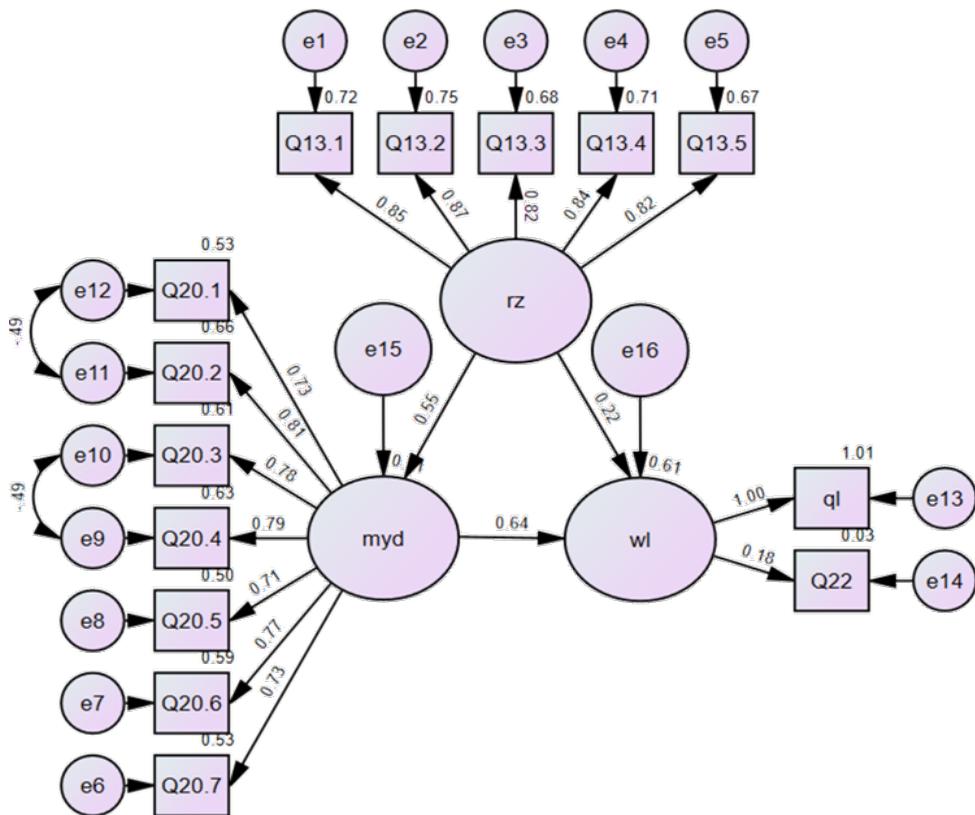
从表 10 可知, 模型拟合参数的 *NFI*、*TLI*、*CFI* 值均大于 0.9, 满足评价标准, 绝对拟合指数 *RMSEA* 值为 $0.078 < 0.08$, 也满足评价标准, 因此说明该结构方程模型的拟合程度很好, 模型与数据适配度良好, 模型具有显著统计意义。

通过最大似然法对假设模型进行拟合得到最终模型, 模型中各路径的标准化效应系数见图 8。

(一) 直接效应

获得各潜变量之间的路径分析和假设检验结果, 其中一列 *P* 值表示 *CR* 的统计检验相伴概率, 见表 11。

由此可知 H1 假设成立, 效果评价了解会显著地直接影响未来发展, 其标准化后的路径系数为 $0.218 > 0$, 成正向关系; H2 假设成立, 效果评价会显著地直接影响满意度, 其标准化后的路径系数为 $0.553 > 0$ 。



注: rz 代表的效果评价认识, myd 代表发展满意度, wl 代表未来发展期待, Q22 等表示各题项。

Figure 8. Structural equation model pathways affecting future development factors

图 8. 影响未来发展因素的结构方程模型路径

Table 11. Model path coefficients and hypothesis testing results

表 11. 模型路径系数和假设检验结果

假设	路径	未标准化路径系数	标准化路径系数	P 值	显著性	假设是否成立
H1	wl \leftarrow rz	0.277	0.218	1.4794×10^{-6}	***	成立
H2	myd \leftarrow rz	0.477	0.553	8.9321×10^{-21}	***	成立
H3	wl \leftarrow myd	0.937	0.637	3.3779×10^{-31}	***	成立

注: ***表示 $P < 0.001$, 该路径显著

也成正向关系; H3 假设成立, 满意度会显著地直接影响未来发展, 其标准化后的路径系数为 0.637, 也成正向关系。未来发展受两条路径直接作用, 但满意度与未来发展的标准化后的路径系数更大, 因此说明居民对“共富光伏农业提升工程”发展现状的满意度对“共富光伏农业提升工程”未来发展有更大的促进作用, 二者的相互促进关系最密切。

(二) 间接效应

见表 12, 满意度同时也作为中介变量, 其路径为效果评价 \rightarrow 满意度 \rightarrow 未来发展, 表中所有效应的显著性均小于 0.05, 都存在显著影响, 因此可以看出满意度在效果评价对未来发展的作用中起到了部分中介作用。由此可知, 满意度除了会直接影响未来发展, 效果评价还会通过影响满意度间接影响未来发展。

Table 12. Mediation effect detection table
表 12. 中介效应检测表

路径	效应	SE	S.E.	P	95% CI	
					LB	UB
效果评价 → 满意度 → 未来发展	总效应	0.571	0.105	0.004	0.394	0.780
	直接效应	0.218	0.072	0.004	0.117	0.346
	间接效应	0.353	0.064	0.003	0.263	0.492

Table 13. Parameter estimation of observed variables and latent variables
表 13. 观测变量与潜变量的参数估计

路径关系	未标准化后的路径系数	标准化后的路径系数	P 值	显著性
Q13.1 ← rz	1	0.851		
Q13.2 ← rz	0.998	0.869	2.3838×10^{-95}	***
Q13.3 ← rz	0.977	0.825	1.8759×10^{-80}	***
Q13.4 ← rz	0.970	0.843	3.2673×10^{-88}	***
Q13.5 ← rz	0.939	0.818	3.7566×10^{-79}	***
Q20.7 ← myd	1	0.730		
Q20.6 ← myd	0.986	0.770	1.5494×10^{-46}	***
Q20.5 ← myd	1.007	0.706	2.0749×10^{-39}	***
Q20.4 ← myd	1.133	0.794	8.0538×10^{-48}	***
Q20.3 ← myd	0.999	0.779	1.7636×10^{-46}	***
Q20.2 ← myd	1.060	0.810	3.6675×10^{-51}	***
Q20.1 ← myd	1.026	0.730	6.4410×10^{-43}	***
ql ← wl	1	1.003		
Q22 ← wl	0.195	0.183	0.0082	无

注: ***表示在 0.001 的置信水平下显著。

此外还算出了其他观测变量的模型参数估计结果, 见表 13, 观测到潜变量和观测变量之间路径的 P 值除 wl → Q22 这条, 其余均小于 0.001, 说明模型中的参数估计大多有较高的显著性水平。而 Q22 (是否愿意向身边的人宣传)这一选项的与未来发展路径没有显著性的原因可能是在当地村民心中, 无论这个项目未来发展如何, 他们都愿意去向周围的人提起这个项目。

(1) 居民对“共富光伏农业提升工程”效果评价和接受度模块

在“共富光伏农业提升工程”的效果评价和接受度研究中, 五个量表题项的路径系数均为正, 显示出与总体评价的正相关性。其中, Q13.2 (增加经济收入, 有利于共同富裕)和 Q13.1 (保护环境, 促进可持续发展)的载荷系数最高, 表明这两个指标在总体评价中占有较大权重。说明居民主要根据这两点来评估工程效果。经济因素直接关系到农户福祉; 而环境可持续性不仅提升了生态质量, 也增强了公众对项目的支持。因此, 未来的发展应更注重经济收益和环保意识的提升, 这为工程的推进指明了重点方向, 当地居民可以探索更多收益模式, 促进光伏农业的发展, 同时加强环保宣传, 提高环保意识。

(2) 居民对“共富光伏农业提升工程”满意度模块

在对“共富光伏农业提升工程”的满意度评估中，所有7个量表题项均显示与满意度正相关。其中，Q20.2(到目前为止的完成进度)和Q20.4(培训和宣传活动组织)的载荷系数最高，表明居民对这两项的满意度影响最大。居民关注项目的完成进度，希望项目能按时完成各阶段任务，提高满意度。同时，他们期待通过培训和宣传活动更好地了解工程，增强信任和支持。为提升居民对“共富光伏农业提升工程”的满意度，应确保项目按时进展，并加强政府与相关部门在培训和宣传上的努力，提高居民对工程的认知和理解，推动项目的顺利实施和持续发展。

Q20.1(项目整体计划和布局)、Q20.5(项目的组织和管理水平)、Q20.7(政府资金投入)这三个指标的载荷系数相对较低，表明它们在工程满意度评价中的影响较小，未达到预期效果。这可能是因为居民对政府的总体管理计划接触较少。工程未来的发展应更多关注这些被忽视的方面，以促进工程的全面发展。

(3) 对“共富光伏农业提升工程”未来发展模块

在评估“共富光伏农业提升工程”的未来发展时，我们关注了两个问题：Q21(在促进可持续发展方面的潜力如何)和Q22(是否愿意向他人推荐)。这两个问题的路径系数分别为1.003和0.183，表明它们与未来发展正相关。Q21对未来发展有显著影响，而Q22的影响则不显著。

综上所述，本文通过结构方程模型找到了各潜变量之间以及观测变量与潜变量之间的关系，从而确定推动“共富光伏农业提升工程”未来发展的切入点。

5. 实证分析结果

5.1. 主要结论

5.1.1. “共富光伏农业提升工程”相较于传统模式优势明显，深受政府和村民关注

相较于传统农业模式，“共富光伏农业提升工程”作为一种新型模式，实现土地的双重利用。这种“一地两用”的模式充分发挥了土地资源的潜力，显著提升了土地使用效率。光伏发电作为一种新型能源发电方式，替代了以火力发电为主的传统模式，提供了大量清洁电力，减少了传统发电方式带来的碳排放。对于村民而言，“共富光伏农业提升工程”提供了额外的收入来源，他们可以通过出租土地资源获得租金，增加收入渠道。此外，村民还能获得一部分电力供应，满足日常需求，提高生活水平。

5.1.2. “共富光伏农业提升工程”存在一些亟待解决的问题，但未来发展潜力巨大

“共富光伏农业提升工程”在环境保护方面具有显著的积极影响，但也存在一些潜在的负面影响。该工程通过实现土地的双重利用，显著提升了土地利用效率。此外，由于光伏发电是一种清洁能源，它不会产生二氧化碳排放，这对于减少温室气体排放、促进可持续发展具有重要作用。然而，光伏板的安装可能会对地表植被产生一定影响，尤其是在植被密集的地区。光伏板的设置可能会占用原本由植被覆盖的区域，部分遮挡阳光，从而影响植被的生长。

“共富光伏农业提升工程”在工程技术方面存在挑战，要重视工程进展以及培训活动的组织。当前，“共富光伏农业提升工程”仍处于初步发展阶段，在技术层面面临诸多挑战。调查结果显示，主要问题包括技术成本较高、适应性不强、技术稳定性不足以及创新能力有限。同时对于工程的建设现状，大部分村民们对于工程目前的完成进度以及所组织的培训和宣传活动较为关注，居民关注项目的完成进度，希望项目能按时完成各阶段任务，提高满意度。同时，他们期待通过培训和宣传活动更好地了解工程，增强信任和支持。

“共富光伏农业提升工程”在为村民带来经济收入方面存在争议，但未来持乐观态度。当前，“共富光伏农业提升工程”在为村民带来经济收入方面的效果尚不明显，存在一定的争议。部分村民认为该工程能够为其带来一定的经济利益，而另一部分村民则担忧工程实施可能会对个人收入产生不利影响。

尽管存在分歧，但大多数村民对工程的未来发展持乐观态度，认为其具有巨大的发展潜力，并表示愿意向他人推荐该工程。

5.1.3. “共富光伏农业提升工程”总体满意度较高，但系统化培训和宣传有待加强

目前村民普遍对“共富光伏农业提升工程”有所了解，但认知程度相对较浅，这表明在宣传推广方面还有很大的提升空间。调查数据显示，村民对“共富光伏农业提升工程”的总体满意度较高，在解释满意度变化方面贡献最大的是“工程的结实程度和耐用性”，意味着工程的结实性和耐用品是影响总体满意度的最重要因素，也是村民最关注的点。

结构方程模型显示，村民对“共富光伏农业提升工程”发展现状的满意度对“共富光伏农业提升工程”未来发展有促进作用，且二者的相互促进关系最密切。村民满意度除了直接影响工程未来发展，其效果评价还会通过影响满意度间接影响未来发展。村民非常重视农产品的质量、项目质量和生产效率，在关注工程经济效益的同时也持续关注系统化的教育培训、宣传活动和生态环保问题。

5.2. 优化路径

根据问卷调查所揭示的“共富光伏农业提升工程”实际进展状况，本文将从政策层面、企业层面和村民层面分别阐述具体的优化策略和路径。

在政府层面，一是制定行业标准。政府需制定和实施光伏农业领域的国家或地方技术标准。这些标准应涵盖光伏组件的安装、运行和维护规范。并充分考虑碳排放控制及环保要求，政府应加强新型基础设施的节能降碳工作，推进农业农村减排固碳，鼓励清洁能源的使用，并协调光伏设施与农业生产的关系，改进政策导向，严格准入，分类试点，确保农光互补项目有序推进。二是提供资金援助。政府应提供资金支持，包括财政补贴、税收优惠、低息贷款和贷款担保，以降低投资成本和风险，鼓励技术创新和研发，吸引社会资本投入，促进光伏农业项目的实施和发展。三是加大宣传。为了提高工程的影响力和村民的参与度，需要进一步加大宣传力度，拓展推广渠道，尤其是在网络、广播等渠道上扩大宣传，确保信息的有效传达，同时可以举办光伏农业相关的展览、研讨会和培训班，从而让更多的村民了解并认识到该工程的重要性和潜在益处。

在企业层面，一要加大培训教育。企业应加强培训力度，与教育机构合作，提供光伏技术和现代农业管理的专业课程，提升村民的认知水平和专业技能，同时根据需求定制培训内容，提高他们对光伏农业的接受度和参与度。二要加快技术研发。企业需加大研发投入，开发适应不同作物光照需求的光伏设施，例如，企业可以采用透光光伏组件技术或者根据作物调整光伏板架设高度和倾斜角度，并选择高附加值作物种植，可采用智能温室技术，整合现代农业技术，提升农业现代化水平，并聘请专家进行技术指导。三要加强组织规划。企业应明确长期目标，优化组织结构和职能分配，分析任务流程，设定清晰的职责权限，定期评估和审查组织结构。

在村民层面，一方面积极参加培训。村民在“共富光伏农业提升工程”中应积极参加培训以提升技能，深入了解光伏农业技术及其经济效益，确保项目安全高效运行。另一方面主动配合推广。村民应遵守规程，作为项目的宣传者和推广者，通过个人经验吸引更多人参与，积极参与推广活动，交流经验，并发挥创造力探索适合本地的光伏农业模式，为项目注入活力，将光伏技术与现代农业生产深度结合，真正实现浙江省村民共同富裕。

致 谢

首先我们要感谢浙江省教育厅项目(项目编号：Y202248421)，浙江省哲社科项目(项目编号：25NDJC012YBM)对本研究项目的资助和支持，没有这些支持，我们的研究工作将难以顺利开展。同时我

们也向所有给予指导和支持的导师及合作伙伴表示诚挚的感谢，有了每个人无私的意见和帮助，使我们的研究能够深入并取得成果。

基金项目

浙江省教育厅项目(项目编号: Y202248421), 浙江省哲社科项目(项目编号: 25NDJC012YBM)。

参考文献

- [1] 姚福进, 李析晁. 能源转型逐“绿”经济发展添“新” [N]. 贵州民族报, 2024-09-11(A03).
- [2] 许丁中, 杨洪明, 项胜, 等. 适应乡村振兴与可持续发展的农村光伏发电生态补偿优化决策[J]. 农业工程学报, 2023, 39(17): 218-219, 221-226.
- [3] 马爱平, 汪阳, 金彦淇. 浙江省海宁市建“万户光伏”促“绿电”共富[N]. 科技日报, 2023-01-10(006).
- [4] 杨良山, 柯福艳, 徐知渊, 等. 农光复合系统农业高效生产模式与效率提升对策研究[J]. 江西农业学报, 2024, 36(5): 107-112+121.
- [5] 郝心悦, 许涛, 于远航, 等. 光伏农业“药光互补”模式中耐阴中药材品种选择[J]. 中南农业科技, 2023, 44(10): 64-66.
- [6] 米莹莹. 通渭: 发展光伏产业助力乡村振兴[N]. 定西日报, 2022-09-15(002).
- [7] 王玲俊, 陈健. 中国光伏农业的区域分布与集聚分析[J]. 南京工程学院学报(社会科学版), 2023(1): 59-66.
- [8] 鲍恩财, 瞿文卉等. 江苏省光伏农业产业发展现状与对策[J]. 新能源科技, 2023(2): 53-60.
- [9] 陈杰, 雷书彦, 陶芬, 黄金周. 光伏农业研究与发展路径[J]. 中南农业科技, 2022(6): 189-192.
- [10] 张继霞, 赵睿英. 浅谈帕累托图和鱼骨图在仪器设备盈亏分析中应用[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 276-279.