

基于因子分析和 DEA 模型的现代光伏农业 技术经济性综合评价研究

马天男¹, 牛东晓¹, 李美成²

(华北电力大学 1. 经济与管理学院; 2. 可再生能源学院, 北京 102206)

摘要:发展现代光伏农业是推进现代农业可持续发展的重要途径,对现代光伏农业进行技术经济性综合评价有较强的现实意义,为此,建立了因子分析法和 DEA 相结合的现代光伏农业技术经济性综合评价模型。首先,利用因子分析法对评价指标进行了降维处理;然后,根据 DEA 模型需要对指标数据进行了标准化处理;最后,利用 DEA 模型完成了对 50 亩智能农业大棚各经营方案的评价,结果表明:将光伏发电和温室大棚种植相结合具有良好的技术经济效益。

关键词:因子分析;DEA 模型;光伏农业;技术经济;综合评价

中图分类号:F323.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2017)01-0068-05

发展现代光伏农业是加快推进农业现代化进程的迫切需要。目前国民经济发展进入新常态,处于工业转型发展、城镇化加速发展、农业加快发展的阶段,但工业化、信息化、城镇化和农业现代化的发展还非常不协调。加快发展现代光伏农业,既是转变经济发展方式、全面建设小康社会的重要内容,也是提高农业综合生产能力、增加农民收入、建设社会主义新农村的必然要求。因此,分析不同经营模式的现代光伏农业,对其进行技术经济性综合评价,并寻找增效节支途径,具有十分重要的意义。

目前,针对农业生产的综合评价研究主要应用数据包络分析法^[1]、网络分析法^[2]、灰色理论^[3]、层次分析法^[4]、神经网络^[5]等方法理论。其中,数据包络分析法主要用于对农业生产效率的评价研究,该方法以决策单元的输入输出权重作为变量,运用最优化方法内定变量,分析时无需加总投入(或产出)项,可有效避免确定指标权重带来的主观性^[6],但是,DEA 模型在实际应用中可能会出现投入产出指标间存在强线性关系、过多的投入产出指标造成主次不分等问题,对评价的有效性产生影响。

针对上述问题,本文采用因子分析法和 DEA 模型相结合的综合评价模型。本文所提现代光伏农业

技术经济性综合评价模型主要分为 4 个部分:首先,利用因子分析法对投入产出指标降维,将过多的投入产出指标归并成几个有特定意义的公共因子^[7];其次,根据 DEA 模型的需要对指标数据进行标准化处理;然后,利用 DEA 模型计算出各个决策单元的相对效率值,实现决策单元的排序。最后,以某地区 50 亩智能农业大棚项目为案例进行分析。

1 现代光伏农业技术经济性综合评价模型

1.1 因子分析模型

因子分析模型把原始变量分成两部分,一部分是所有变量共同具有的公共因素,简称主因子,另一部分是各变量独自具有的特殊因素,简称特殊因子。当主因子的累计方差和累计贡献率达到一定程度时,就说明主因子集中反映了原始变量所提供的大部分信息,因而通过对主因子的分析可以达到解决问题的目的^[8]。

以下是因子分析的基本步骤:

- 1)通过 KMO 检验和 Bartlett 球型检验等对变量进行检验,以确定是否适合做因子分析。
- 2)提取公因子以构造因子变量。
- 3)利用旋转方法使因子变量更具有解释性。
- 4)计算各因子变量得分及综合得分^[9]。

收稿日期:2016-09-08

基金项目:中国工程院重点咨询项目(2015-XZ-04)。

作者简介:马天男(1992—),男,宁夏吴忠人,华北电力大学经济与管理学院,博士研究生,研究方向:输电线路覆冰预测、技术经济评价及预测的研究;牛东晓(1962—),男,安徽宿县人,华北电力大学经济与管理学院,教授,博士生导师,研究方向:项目预测与决策理论及其应用、项目综合评价方法及其应用的研究;李美成(1976—),男,华北电力大学可再生能源学院,教授,博士生导师,研究方向:可再生能源与清洁能源。

1.2 指标数据的标准化处理

由于所选取的指标具有不同的单位,不同的阈值范围,有些指标是绝对数字,有些是比率,因此不同单位无法统一起来衡量一个事物的好坏,使得数据包络分析(DEA)评价解释发生困难。为了消除不同指标之间量纲、变量自身变异大小和数值大小的影响,在进行数据包络分析(DEA)分析评价之前必须将指标数据标准化。

指标数据标准化处理过程主要包括:数据同趋化和无量纲化两个方面。其具体步骤如下:

1)规范化方法。对序列 x_1, x_2, \dots, x_n 进行变换:

$$y_i = \frac{x_i - \min_{1 \leq j \leq n} \{x_j\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \{x_j\} - \min_{1 \leq j \leq n} \{x_j\}} \quad (1)$$

则新序列 $y_1, y_2, \dots, y_n \in [0, 1]$ 且无量纲。一般的数据需要时都可以考虑先进行规范化处理。

2)数据正规化方法。对序列 x_1, x_2, \dots, x_n 进行变换:

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (2)$$

这里 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

则新序列 y_1, y_2, \dots, y_n 的均值为 0,而方差为 1,且无量纲。

3)数据归一化。对正项序列 x_1, x_2, \dots, x_n 进行变换:

$$y_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (3)$$

则新序列 $y_1, y_2, \dots, y_n \in [0, 1]$ 且无量纲,并且

显然有 $\sum_{i=1}^n y_i = 1$ 。

1.3 数据包络分析(DEA)模型

数据包络分析(DEA)是评价同类型决策单元(DMU)投入和产出相对有效性的系统分析方法,是一种运筹学、管理科学和经济学交叉研究的方法,可以起到避免主观因素、简化算法等作用,相对效率值是某决策单元相对于其他决策单元生产能力的效率水平^[10]。

DEA 模型有很多种类,其中 C^2R 模型的理论比较完善,因此本文选用 C^2R 模型。将不同的经营模式作为决策单元,设共有 n 种经营模式,每种经营模式有 m 种类型的输入(X)和 S 种类型的输出(Y), DWU_j 的输入和输出 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T, y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T, j = 1, 2, \dots, n$ 。

$$\begin{cases} \max \frac{u^T y_0}{v^T x_0} \\ s. t. \frac{u^T y_j}{v^T x_j} \leq 1 \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T, u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$ 分别表示 m 种输入和 s 种输出的权系数。将式(1)进行 Charnes-Cooper 变换,可以化为一个等价的线性规划模型:

$$\begin{cases} \min \theta \\ s. t. \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq v_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \in E_1^+ \end{cases} \quad (5)$$

又经非阿基米德无穷小(ϵ)处理之后的模型:

$$\begin{cases} \min(\theta - \epsilon^T S^- + \epsilon^T S^+) \\ s. t. \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - S^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \in E_1^+, S^- \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中, $\epsilon^T = (1, 1, \dots, 1)^T$,若满足 $\theta_0 = 1, S^- = 0, S^+ = 0$ 则称 DWU_{j_0} 为 DEA 有效。

设模型的最优解为, $\theta^0, \lambda^0, S^{0-}, S^{0+}$,若 $\theta^0 = 1$,且 $S^{0-} = 0, S^{0+} = 0$,则称 DMU 为 DEA 有效,这表明,该经营方式很好,投入要素达到最佳组合,取得了最大产出效果;若 $\theta^0 = 1$,且 $S^{0-} \neq 0, S^{0+} \neq 0$,则称 DMU 为弱 DEA 有效,这表明,该种经营方式较好;若 $\theta^0 < 1$,则称 DMU 为非 DEA 有效,这表明,该经营方式还有待进一步改善,可通过将投入降至原投入的 θ^0 比例而保持原产出不减^[11]。

1.4 FA-DEA 模型

FA-DEA 模型利用因子分析法对变量进行简化,并应用 DEA 模型分析项目方案的投入产出效率,避免了确定指标权重时的主观确定性。该模型评价流程如图 1 所示。

2 现代光伏农业技术经济性综合评价指标体系构建

现代光伏农业包含多方面内容,具有较强的系统性与层次性,遵循全面性原则、独立性原则、可测性原则和导向性原则有助于科学开展现代光伏农业的技术经济性综合评价。根据以上构建原则,结合现代光伏农业发展的实际,本文构建的现代光伏农业投入指

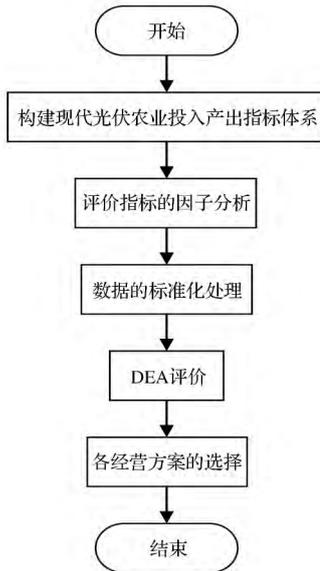


图 1 FA-DEA 模型评价流程

标体系包含静态总投资(X_1)、建设期利息(X_2)、科研人员数量(X_3)三项投入指标;构建的现代光伏农业产出指标体系则选取技术指标、经济指标和社会指标 3 个一级指标,光伏电站系统、温室系统、投资价值、投资效率、盈利能力、偿债能力、运营能力、能源环境、经济发展和生态负面影响 10 个二级指标,30 个三级指标进行分析^[12],如表 1 所示。

3 实证分析

3.1 项目基本情况

本文以 50 亩智能农业大棚项目为案例进行实证分析,初步设计为三种建设方案,第一种方案在该地区建设 20 MW 风光互补光伏电站供给温室大棚能源使用,多余电量并网外输;第二种方案是在第一种方案的基础上增加储能系统,保证大棚内温室 24 小时循环电力供应;第三种方案通过购买当地电力供给温室大棚能源使用。

三个推荐方案建设期都为 1 年,生产经营期为 25 年,财务评价计算期采用 26 年,拟建设的 20 MW 风光互补光伏和储输电站在第一年末全部并网,并在第二年年年初全部正常运行投产发电。本项目计算采用不含税价格体系。

本项目的销售收入主要来源于光伏发电销售收入和农产品销售收入,预计本项目投入商业运行后,方案一年销售收入为 8 441 万元,方案二年销售收入为 8 117 万元,方案三年销售收入为 7 600 万元。其中暂设定:光伏发电上网电价为 0.812(不含税);大西红柿年产量为 49 吨/亩,10 元/kg;小西红柿产量为 16 吨/亩,15 元/kg;小黄瓜产量为 49 吨/亩,15 元/kg。

表 1 现代光伏农业产出指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
技术指标	光伏电站系统	电站厂址条件(Y_1)
		系统和运维水平(Y_2)
		光辐射资源条件(Y_3)
		发电系统性能(Y_4)
	温室系统	温室智能化水平(Y_5)
		温室选址合理性(Y_6)
		温室架构稳定性(Y_7)
		温室耐久性(Y_8)
		灾害防御能力(Y_9)
		作业方便性(Y_{10})
		规划布局合理性(Y_{11})
		建筑节能性(Y_{12})
经济指标	投资价值	净现值(Y_{13})
		净年值(Y_{14})
	投资效率	内部收益率(Y_{15})
		净现值比率(Y_{16})
		动态投资回收期(Y_{17})
	盈利能力	总资产报酬率(Y_{18})
		净资产报酬率(Y_{19})
	偿债能力	资产负债率(Y_{20})
		流动比率(Y_{21})
	运营能力	总资产周转率(Y_{22})
流动资产周转率(Y_{23})		
社会指标	能源环境	节能减排(Y_{24})
		生态效率(Y_{25})
		改善能源结果(Y_{26})
	经济发展	促进就业(Y_{27})
		带动经济(Y_{28})
	生态负面影响	光伏电站电磁干扰(Y_{29})
	对植被影响(Y_{30})	

3.2 项目各方案指标数值

通过调研该项目的原始数据,计算出定量指标值;定性指标值由专家进行评分得到,为了方便起见,这些定性指标均采用 1 分制,1 分为条件最好,0 分为条件最差,所以,定性指标的赋值均落在 $[0, 1]$ 区间内,最后根据这些专家的打分情况,取其平均值,作为这个定性指标的最终指标值。

经过数据处理和计算,得到三个方案的项目指标数值,如表 2、表 3 所示。

表 2 三种方案投入指标值

指标名称	静态总投资 (万元)	建设期利息 (万元)	科研人员 数量(个)
方案一	28 000	647.43	3
方案二	31 000	716.8	5
方案三	10 050	232.38	2

表 3 三种方案产出指标值

指标名称	电站厂址条件	系统安装运维水平	光辐射资源条件	发电系统性能	温室智能化水平	温室选址合理性	温室架构稳定性	温室耐久性	灾害防御能力	作业方便性
方案一	0.71	0.79	0.83	0.68	0.65	0.75	0.66	0.70	0.72	0.69
方案二	0.71	0.82	0.83	0.69	0.72	0.73	0.68	0.74	0.79	0.72
方案三	—	—	—	—	0.68	0.78	0.73	0.69	0.71	0.68
指标名称	规划布局合理性	建筑节能性	净现值(万元)	净年值(万元)	内部收益率(%)	净现值比率(%)	动态投资回收期(年)	总资产报酬率(%)	净资产报酬率(%)	资产负债率(%)
方案一	0.62	0.65	10 955.1	813.94	9.69	37.68	13.86	7.43	7.44	80.00
方案二	0.65	0.72	6 214	461.69	7.76	52.42	17.77	27.68	36.87	80.00
方案三	0.60	0.62	2 260.87	167.98	7.71	21.05	19.06	15.65	6.87	80.57
指标名称	流动比率(%)	总资产周转率(%)	流动资产周转率(%)	节能减排	生态效率	改善能源结果	促进就业	带动经济	光伏电站电磁干扰	对植被影响
方案一	283	22.51	37.94	0.85	0.86	0.90	0.69	0.72	0.55	0.68
方案二	126	92.93	54.57	0.81	0.83	0.86	0.70	0.76	0.55	0.66
方案三	112	35.85	40.56	0.78	0.77	0.81	0.72	0.75	1.00	0.71

3.3 因子分析

本文采用主成分法来构造项目指标的因子变量,通过 SPSS 软件分别对项目投入指标和产出指标进行分析,得到项目投入指标的 KMO 值为 0.366,小于 0.5,所以不能对其进行因子分析;项目产出指标的 KMO 值为 0.530,大于 0.5,巴特利特球形检验 P 值为 0.000,小于 0.001,可以进行因子分析,选取 6 个因子累积贡献率达 86.55%,然后运用最大方差法对因子进行旋转,并根据旋转后的因子载荷对变量进行命名,各公共因子的具体含义如表 4 所示。

表 4 产出公共因子命名表

变量命名	所解释的指标
光伏电站发电效能因子(C ₁)	Y ₁ 、Y ₂ 、Y ₃ 、Y ₄
温室建筑智能性因子(C ₂)	Y ₅ 、Y ₆ 、Y ₇ 、Y ₈ 、Y ₉ 、Y ₁₀ 、Y ₁₁ 、Y ₁₂
项目经营能力因子(C ₃)	Y ₁₃ 、Y ₁₄ 、Y ₁₅ 、Y ₁₆ 、Y ₁₈ 、Y ₁₉ 、Y ₂₂ 、Y ₂₃
项目清偿能力因子(C ₄)	Y ₁₇ 、Y ₂₀ 、Y ₂₁
项目生态影响因子(C ₅)	Y ₂₄ 、Y ₂₅ 、Y ₂₆ 、Y ₂₉ 、Y ₃₀
项目社会效益因子(C ₆)	Y ₂₇ 、Y ₂₈

3.4 DEA 评价

对于项目投入指标和产出公共因子的数据进行标准化处理的结果如表 5 所示。

上文已述,选取 C²R 模型进行 DEA 分析,实验结果如表 6 所示。

通过表 6 我们可以看到,三种方案的相对效率值普遍较好,三种方案相对效率值的平均值达到了 0.951 6,其中方案一相对效率值最高,为 1,表明

DEA 有效;方案二和方案三相对效率值都不为 1,表明 DEA 无效。根据 DEA 有效的经济意义可以知道,方案一既是技术有效又是规模有效,也就是说方案一的投入取得了最优产出,和其他两个无效的方案相比,在相同的投入下,第一种经营方案的产出最大,表明该方案拥有较高的资源利用率,即具有较好的经济效益。这是其他无效方案所不能做到的,因此本文将第一种经营方案选择为该项目的最佳经营方案。

表 5 处理后的投入与产出指标值

DMU	方案一	方案二	方案三
X ₁	0.66	0.82	0.35
X ₂	0.71	0.75	0.36
X ₃	0.41	0.56	0.12
C ₁	0.55	0.62	0.01
C ₂	0.52	0.63	0.45
C ₃	0.25	0.51	0.13
C ₄	0.62	0.35	0.16
C ₅	0.57	0.58	0.22
C ₆	0.35	0.53	0.37

表 6 三种方案的 DEA 分析结果

DWU	方案一	方案二	方案三
相对效率值	1	0.998 6	0.896 2
名次	1	2	3

同时可以发现,三种方案相对效率值从高到低的排序为方案一、方案二、方案三,且方案二的相对效率值为 0.998 6,接近于 1,而方案三相对效率值为 0.896 2,与 1 差距较大,这说明方案二的相对效率值虽然不足 1,但是仍有高于方案三且较高的经营收

益,相对于方案三,方案二仍是比较好的选择。其中相对效率值较高的方案一和方案二共同特点是建设 20 MW 风光互补光伏电站供给温室大棚能源使用,方案三则是通过购买当地电力供给温室大棚能源使用,未与光伏发电相结合,由此可以说明光伏农业相对于依靠外部能源的智能农业大棚具有更好的技术经济性。

4 结论

本文通过设计基于因子分析方法和 DEA 模型的现代光伏农业技术经济性综合评价模型,对 50 亩智能农业大棚项目三种建设方案的相对效率值进行测度,可以发现建设 20 MW 风光互补光伏电站供给温室大棚能源使用并将多余电量并网外输这种方案为最优方案,而通过购买当地电力供给温室大棚能源使用的方案三的相对效率值最低,这说明将光伏发电和温室大棚种植相结合技术上可行,且具有良好的生态效益、经济效益和社会效益,在现代农业中有着广泛的应用前景和重大的现实意义。

参考文献

[1] 郭亚军,张晓红. 基于数据包络分析(DEA)的河北省农业生产效率综合评价[J]. 农业现代化研究,2011(6):735-739.

- [2] 毕然,魏津瑜,陈锐. ANP 方法在都市型农业评价指标体系中的应用[J]. 中国农机化,2008(6):30-34.
- [3] 乌东峰,张世兵,滕湘君. 基于灰色理论的现代多功能农业评价研究——以湖南省湘潭市为例[J]. 农业技术经济,2009(6):105-112.
- [4] 吴小庆,王亚平,何丽梅. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境,2012(6):714-719.
- [5] 王肖芳. 基于因子分析-BP 神经网络的河南省生态农业效益评价[J]. 经济经纬,2015(4):37-42.
- [6] 冯丽,侯林春,闫晓冉. 基于 DEA 的宜昌市农业生产效率评价[J]. 湖北农业科学,2013(21):5378-5380,5393.
- [7] 杨坚争,郑碧霞,杨立钊. 基于因子分析的跨境电子商务评价指标体系研究[J]. 财贸经济,2014(9):94-102.
- [8] 宁连举,李萌. 基于因子分析法构建大中型工业企业技术创新能力评价模型[J]. 科研管理,2011(3):51-58.
- [9] 林海明. 因子分析模型的改进与应用[J]. 数理统计与管理,2009(6):998-1012.
- [10] 王秋红,吕沙. 基于 DEA-CCR 模型的甘肃主导产业选择[J]. 开发研究,2013(4):38-41.
- [11] 曲艺,刘国有,牛博涵. 基于 DEA-CCR 模型的中国各地区电信业运营绩效评价实证研究[J]. 理论观察,2013(11):74-75.
- [12] 吴旻硕. 大型地面并网光伏电站技术经济综合性评价理论研究[D]. 北京:华北电力大学,2013.

Research on Economy and Comprehensive Evaluation of Modern Photovoltaic Agriculture Based on Factor Analysis and DEA Model

MA Tian-nan¹, NIU Dong-xiao¹, LI Mei-cheng²

(1. College of Economics and Management; 2. College of Renewable Energy, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Developing modern photovoltaic agriculture is an important way to promote the sustainable development of modern agriculture. It has a strong practical significance to the comprehensive evaluation of technology and economy. So, a comprehensive evaluation model for the economic evaluation of the modern photovoltaic technology based on the combination of factor analysis and DEA was established. Firstly, factor analysis is used to reduce the dimension of evaluation indexes; then, data was standardized according to DEA model requires; Finally, the DEA model is used to evaluate the management plan of the 50 mu intelligent agricultural greenhouse. The results show that the combination of PV generation and greenhouse cultivation has good technical and economic benefits.

Key words: factor analysis; DEA; photovoltaic agriculture; technical economy; comprehensive evaluation