

# 基于改进模糊层次分析法的生猪养殖场标准化综合评价

于合龙<sup>1,2</sup>, 李允<sup>1</sup>, 温长吉<sup>1</sup>, 郭宏亮<sup>1</sup>, 姜海龙<sup>3\*</sup>

(1. 吉林农业大学信息技术学院, 长春 130118; 2. 吉林省精准农业与大数据工程研究中心, 长春 130118; 3. 吉林农业大学动物科学技术学院, 长春 130118)

**摘要:** 为了提高评价指标权重的合理性, 实现生猪养殖场标准化的合理评价, 利用精确值、区间值、三角模糊数结合方法构建判断矩阵, 采用模糊一致性矩阵避免一致性检验并提高权重精度, 实现对模糊层次分析法的改进。建立一种基于改进模糊层次分析法、隶属度、欧式贴近度的生猪养殖场标准化评价模型, 对3个不同养殖规模的猪场进行综合评价, 分析了评价价值(HI)与各猪场每年每头母猪出栏肥猪头数(MSY)的皮尔森相关性以及评价模型敏感度。结果表明, A、B、C生猪养殖场标准化处于不同水平, 评价得分为 $HI_A=0.639$ 、 $HI_B=0.675$ 、 $HI_C=0.744$ , 且与 $MSY_A=17.5$ 、 $MSY_B=19.15$ 、 $MSY_C=22.54$ 为显著的正向影响关系。以MSY为分级标准, A和B猪场为4等水平, C猪场为2等水平, 评价结果与实际相符, 评价模型具有一定的合理性和有效性, 且投资情况、场区规划、圈舍建筑、生产管理、生物安全因素权重的变动对最终评价结果的敏感性程度较高, 需要注意其权重的量化问题。

**关键词:** 生猪养殖场; 标准化评价; 模糊层次分析法(FAHP); 隶属度; 欧式贴近度

中图分类号: S821.4<sup>+</sup>1; S828

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)01-0116-08

## Comprehensive Evaluation of Pig Farm Standardization Based on the Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process

YU Helong<sup>1,2</sup>, LI Yun<sup>1</sup>, WEN Changji<sup>1</sup>, GUO Hongliang<sup>1</sup>, JIANG Hailong<sup>3\*</sup>

(1. College of Information Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Jilin Precision Agriculture and Big Data Engineering Research Center, Changchun 130118; 3. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** In order to improve rationality of evaluation index weight and realize the reasonable evaluation of pig farm standardization, this paper used the combination method of precise value, interval value and triangular fuzzy number to construct the judgment matrix, and adopts the fuzzy consistency matrix to avoid the consistency test and improve weight precision to improve fuzzy analytic hierarchy process. An evaluation model of pig farm standardization based on improved fuzzy analytic hierarchy process, membership degree and European closeness degree was established, and comprehensive evaluation of three pig farms with different breeding scale was carried out. Pearson correlation between evaluation value and the number of fattening pigs per sow per year (MSY) was analyzed. And the sensitivity of the evaluation model is also analyzed. The results showed that the standardization of each pig farm was at different levels, and the evaluation scores were  $HI_A=0.639$ ,  $HI_B=0.675$ ,  $HI_C=0.744$ . It was significantly positively correlated with  $MSY_A=17.5$ ,  $MSY_B=19.15$ ,  $MSY_C=22.54$ . With MSY as the grading standard, pig farms A and B were rated at level 4, while pig farm C was rated at level 2. The evaluation results are consistent with the reality, and the evaluation model is reasonable and effective. Moreover, the changes of investment, site planning, enclosure construction, production management and biosafety factors are highly sensitive to the final evaluation results.

**Key words:** Pig farm; Standardized evaluation; FAHP; Degree of membership; Euclid approach degree

收稿日期: 2020-02-18

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20200403176SF、20190301024NY); 长春市科技计划项目科技创新“双十工程”重大科技攻关项目(18SS018)

作者简介: 于合龙(1974-), 男, 教授, 博士, 从事精准农业与农业大数据研究。

通讯作者: 姜海龙, 男, 博士, 教授, E-mail: hljiang18@outlook.com

我国生猪养殖正处于转型阶段,标准化规模化养殖模式快速发展。但中国在生猪养殖业的总体水平却远远不及欧美,养殖方式规模化标准化程度较低,抗风险能力较弱,使我国生猪养殖产业面临巨大挑战。生猪养殖场的标准化建设能够提升养殖水平,加快我国生猪养殖业的发展,是提高我国生猪产业生产水平的重要途径<sup>[1]</sup>。从生猪饲料配合、科学养殖技术等方面进行研究,得出的一套切实可行的生猪养殖配套技术<sup>[2]</sup>;张树敏等<sup>[3]</sup>研究了不同猪种间生长性能及肉质品质的差异;谢秋菊等<sup>[4]</sup>根据猪舍养殖环境标准建立各环境因子的隶属度函数,对猪舍多环境因子适宜性进行综合评价;赵聪哲等<sup>[5]</sup>检测了大白猪生长激素(pGH)的多态性,分析其对生长性状的影响;陈国友<sup>[6]</sup>对标准化规模猪场和动物疫病防控人员进行调查,提出科学的养殖管理制度;沈玉君等<sup>[7]</sup>通过连续监测堆肥过程中各气体排放浓度的变化,优化堆肥通风方式;王美芝等<sup>[8]</sup>以哺乳母猪为试验对象,比较不同饲喂方式对哺乳母猪采食量、体况和生产性能的影响;乔艳明等<sup>[9]</sup>采用3种不同饲料对杜长大(DLY)猪进行饲养试验,为饲料生产与猪肉生产企业提供品质依据。

生猪养殖研究是一个庞大复杂的领域,现有文献往往针对某一方面进行研究,而从宏观上对生猪养殖场标准化的评价分析往往比较困难,对评价指标选择、权重确定、综合评价方法上需进一步研究。对于复杂问题的评价,模糊层次分析法(FAHP)是一种广泛有效的方法,但在主观方法来构建判断矩阵时,未考虑到专家对指标重要比较中可能存在的不确定性,且面对复杂问题时,一致性检测会加大工作难度<sup>[10-13]</sup>。模糊层次分析法的现有改造方法主要包括相对重要程度数值标度、判断矩阵的不一致性调整和与模糊数学方法相结合3个方面<sup>[14-19]</sup>。综上所述,本研究采用精确值、区间值、三角模糊数相结合可以弥补专家主观评价的不确定性因素,并引入模糊一致性矩阵,解决判断一致性检查问题,并提高权重精度,对模糊层次分析法进行改进并应用到生猪养殖场标准化评价问题中。

### 1 模糊层次分析法的改进

#### 1.1 构造初始判断矩阵

采用 Saaty<sup>[20]</sup>提出的 1~9 比例标度法,各级标度的含义如表 1 所示。专家可以根据自己的判断选择精确值、区间值或三角模糊数,来给出两个元素的相对重要性,保留了专家对指标重要程度比

表 1 1~9 比例标度及描述

| 比例标度    | 描述   |
|---------|--|
| 1       | 两个指标对同一准则,同样重要   |
| 3       | 两个指标对同一准则,前者比后者稍重要   |
| 5       | 两个指标对同一准则,前者比后者明显重要  |
| 7       | 两个指标对同一准则,前者比后者强烈重要  |
| 9       | 两个指标对同一准则,前者比后者极端重要  |
| 2,4,6,8 | 表示上述相邻判断的中间值   |
| 标度      | 若指标 $A_i$ 与指标 $A_j$ 的重要性相比为 $a_{ij}$ , 则指标 $A_i$ 与指标 $A_i$ 的重要性比为 $1/a_{ij}$ |
| 互反      |  |

较的模糊性<sup>[21]</sup>。例如:两个元素相比较,按照 1~9 比例标度法,当专家认为前者“一定”比后者稍微重要,则选精确值  $r_{ij} = 3$ ;当专家认为前者“可能”和后者同等重要,“也可能”比后者明显重要,则选区间值  $r_{ij} = [1, 5]$ ;当专家认为前者“至少”和后者同等重要,“至多”比后者强烈重要且“最有可能”比后者稍微重要,则选三角模糊数  $r_{ij} = [1, 3, 7]$ 。

#### 1.2 初始判断矩阵转化为随机判断矩阵

根据 Jalao 等<sup>[22]</sup>将判断矩阵 R 转化为随机判断矩阵  $R' = (r'_{ij})_{n \times n}$ 。

当  $r_{ij}$  为精确值时,  $r'_{ij} = r_{ij}$  为精确值;当  $r_{ij} \sim U_{ij}((r_{ij}^{LL}, r_{ij}^{UL}), r_{ij}^{ML})$ ,  $r'_{ij} \sim B(\alpha_{ij} = 1, \beta_{ij} = 1, r_{ij}^{LL}, r_{ij}^{UL})$ ; 当  $r_{ij} \sim T_{ij}(r_{ij}^{LL}, r_{ij}^{ML}, r_{ij}^{UL})$  时,  $r'_{ij} \sim B(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, r_{ij}^{LL}, r_{ij}^{UL})$ , 其中期望为:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}^{LL} + r_{ij}^{ML} + r_{ij}^{UL}}{3} \dots \dots \dots (1)$$

方差为:

$$(S_{ij})^2 = \frac{(r_{ij}^{LL})^2 + (r_{ij}^{ML})^2 + (r_{ij}^{UL})^2 - r_{ij}^{LL}r_{ij}^{ML} - r_{ij}^{LL}r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{ML}r_{ij}^{UL}}{18} \dots \dots \dots (2)$$

可得:

$$\alpha_{ij} = \left( \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \left[ \frac{\left( \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \left( 1 - \left( \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \right)}{(S_{ij})^2} - 1 \right] \dots \dots \dots (3)$$

$$\beta_{ij} = \left( 1 - \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \left[ \frac{\left( \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \left( 1 - \left( \frac{\bar{r}_{ij} - r_{ij}^{LL}}{r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}} \right) \right)}{(S_{ij})^2} - 1 \right] \dots \dots \dots (4)$$

#### 1.3 贝塔函数变量转化为精确值

由 Kerman<sup>[21]</sup>贝塔分布中值、Jensen<sup>[23]</sup>贝塔分布公式将随机判断矩阵 R' 转化为精确值判断矩阵  $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 。

$$b_{ij} = r_{ij}^{UL} + \frac{\alpha_{ij} - \frac{1}{3}}{\alpha_{ij} + \beta_{ij} - \frac{2}{3}}(r_{ij}^{UL} - r_{ij}^{LL}) \dots\dots\dots (5)$$

### 1.4 精确矩阵转化为模糊一致性判断矩阵

利用  $\gamma_{ij}(\alpha)$  函数将矩阵 B 转换为模糊互补矩阵  $B' = (\gamma_{ij}(\alpha))_{n \times n}$ 。  $\gamma_{ij}(\alpha)$  函数为:

$$\gamma_{ij} = \frac{b'_{ij}}{18} - \frac{1}{18 \times b'_{ij}} + 0.5 \dots\dots\dots (6)$$

并求模糊互补矩阵的行和

$$f_i = \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \dots\dots\dots (7)$$

再利用转换公式

$$f'_{ij} = \frac{f_i - f_j}{2n} + 0.5 \dots\dots\dots (8)$$

将模糊互补矩阵  $B'$  转换为模糊一致性判断矩阵  $F = (f'_{ij})_{n \times n}$ 。

### 1.5 约束优化求初始权重

由模糊数学的理论可知,模糊一致性判断矩阵的权向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  可由约束规划问题的解<sup>[10]</sup>确定为:

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [0.5 + a(w_i - w_j) - r_{ij}]^2$$

$$s.t. \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, 1 \leq i \leq n$$

可得:

$$w_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{na} \sum_{k=1}^n r_{ik} \dots\dots\dots (9)$$

利用上述优化解得到权重初值解  $W^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  后,为了进一步得到高精度权向量  $W^{(k)}$ ,利用特征根法的幂法迭代思想来求解<sup>[10]</sup>。

### 1.6 幂法迭代求高精度权重

利用式  $a_{ij} = f_{ij}/f'_{ij}$  将  $F$  转化为互反型矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

以  $V_0 = W^{(0)}$  为迭代初值,利用幂法迭代公式求特征向量  $V_{k+1}$ ,再求得  $V_{k+1}$  的无穷级范数  $\|V_{k+1}\|_\infty$ 。特征向量  $V_{k+1}$  即:

$$V_{k+1} = AV_k \dots\dots\dots (10)$$

若  $\|V_{k+1}\|_\infty - \|V_k\|_\infty \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon$  为精度要求,本文取  $\varepsilon = 0.0001$ ),则  $\|V_{k+1}\|_\infty$  就是最大特征值  $\lambda_{max}$ ,然后对  $V_{k+1}$  进行归一化处理得出最终的评价指标的权重向量:

$$W = \left[ \frac{V_{k+1,1}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \frac{V_{k+1,2}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \dots, \frac{V_{k+1,n}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}} \right]^T \dots\dots\dots (11)$$

如果不满足精度要求,则将

$$V_k = \left[ \frac{V_{k+1,1}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \frac{V_{k+1,2}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \dots, \frac{V_{k+1,n}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}} \right]^T \dots\dots\dots (12)$$

作为新的初始值代入式(10)进行迭代,直到满足精度要求,求得权重向量。

### 1.7 计算组合权重

组合权重值  $W_{ij}^b$  为各指标相对于其自身准则层的权重  $w_{ij}^b$  与其自身准则层相对于目标层的权重  $w_{ij}^a$  的乘积。

$$W_{ij}^b = w_{ij}^b w_{ij}^a \dots\dots\dots (13)$$

## 2 基于改进模糊层次分析法的生猪养殖场标准化评价

本研究运用上述改进模糊层次分析法确定各层评价指标的权重,利用隶属度确定的方法对所有评价指标进行量化处理,根据欧式贴近度公式,利用各评价指标的权重与其对应隶属度,计算出生猪养殖场标准化评价价值,具体工作流程图如图1所示。

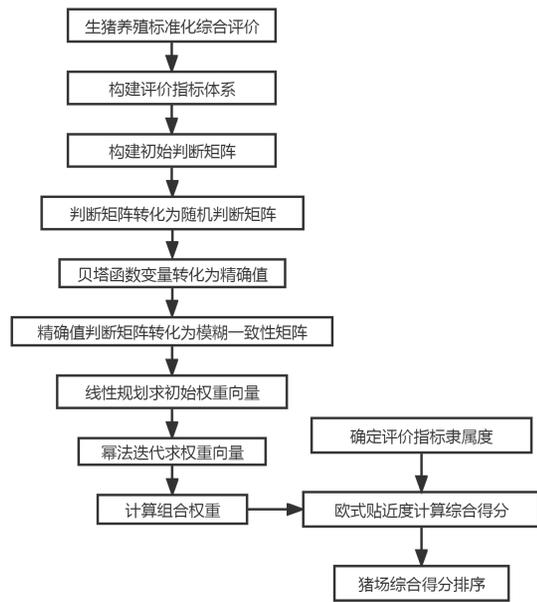


图1 生猪养殖场标准化评价流程图

### 2.1 构建生猪养殖场标准化评价指标体系

为使指标体系科学化、规范化,确保生猪养殖场标准化综合评价模型的结果更加准确合理,本研究以国标 GB/T17824.1~3-2008<sup>[24-26]</sup> 生猪养殖系列中的规定以及相关资料文献<sup>[27-29]</sup> 的论述为依据,在评价指标体系构建时遵循系统性、独立性、

可操作性、协调性、一致性和全面性的原则,筛选出影响生猪养殖场标准化评价的关键性指标,如表2所示。

表2 生猪养殖场标准化评价体系

| 总目标                 | 准则      | 权重    | 指标        | 权重       | 组合权重  |     |
|---------------------|---------|-------|-----------|----------|-------|-----|
| 生猪养殖场<br>标准化水平<br>F | 人力资源 A1 | 0.093 | 技术支撑 B11  | 0.385    | 0.036 |     |
|                     |         |       | 员工数量 B12  | 0.209    | 0.019 |     |
|                     |         |       | 学历结构 B13  | 0.209    | 0.019 |     |
|                     |         |       | 从业时间 B14  | 0.197    | 0.018 |     |
|                     | 投资情况 A2 | 0.074 | 土地征用 B21  | 0.077    | 0.006 |     |
|                     |         |       | 三统一平 B22  | 0.112    | 0.008 |     |
|                     |         |       | 机械设备 B23  | 0.212    | 0.016 |     |
|                     |         |       | 圈舍修建 B24  | 0.19     | 0.014 |     |
|                     |         |       | 猪群占比 B25  | 0.14     | 0.01  |     |
|                     |         |       | 种猪来源 B26  | 0.269    | 0.02  |     |
|                     | 场区规划 A3 | 0.097 | 区域 B31    | 0.136    | 0.013 |     |
|                     |         |       | 地势 B32    | 0.189    | 0.018 |     |
|                     |         |       | 布局 B33    | 0.221    | 0.021 |     |
|                     |         |       | 距离主干道 B34 | 0.162    | 0.016 |     |
|                     | 圈舍建筑 A4 | 0.272 | 占地面积 B35  | 0.293    | 0.028 |     |
|                     |         |       | 棚顶结构 B41  | 0.135    | 0.037 |     |
|                     |         |       | 地面结构 B42  | 0.212    | 0.058 |     |
|                     |         |       | 建舍时间 B43  | 0.118    | 0.032 |     |
|                     |         |       | 墙体结构 B44  | 0.155    | 0.042 |     |
|                     |         |       | 外形结构 B45  | 0.142    | 0.039 |     |
|                     |         |       | 通风方式 B46  | 0.239    | 0.065 |     |
|                     |         |       | 管理软件 B51  | 0.135    | 0.016 |     |
|                     | 生产管理 A5 | 0.117 | 猪群周转 B52  | 0.229    | 0.027 |     |
|                     |         |       | 饲养制度 B53  | 0.24     | 0.028 |     |
|                     |         |       | 配种 B54    | 0.252    | 0.029 |     |
|                     |         |       | 设施设备 B55  | 0.144    | 0.017 |     |
|                     | 营养饲料 A6 | 0.2   |           | 饲料种类 B61 | 1     | 0.2 |
|                     | 生物安全 A7 | 0.147 | 动保费用 B71  | 0.5      | 0.074 |     |
| 免疫程序 B72            |         |       | 0.5       | 0.074    |       |     |

## 2.2 计算评价指标的权重

采用改进的模糊层次分析法确定评价指标权重。具体步骤为:使用德尔菲法共对5位动科方面的教授及生猪养殖领域专家进行现代化生猪养殖模式下各项指标的讨论和问卷调查,专家可采用单一值、区间值、三角模糊数来充分保留自己判断的不确定性,当意见统一后,按照1~9标度法进行决策量化生成包含了专家判断模糊性(单一值、区间值、三角模糊数)的多元化初始判断矩阵;利用Jalao随机值转化公式、Kenman贝塔分布中值、Jensen贝塔分布公式将多元化初始判断矩阵转化为精确值判断矩阵;并引入模糊一致性矩阵的概念,通

过转换函数将精确值判断矩阵转化为模糊一致性矩阵;通过模糊一致性矩阵的约束规划的解结合特征根的幂法迭代计算高精度的指标权重。

由于计算量较大,本研究采用JAVA对算法进行编程,计算所有指标的权重及组合权重,如表2所示。

## 2.3 评价指标隶属度

整理、分析原始数据,根据评价指标评分方案确定各指标下的分值,即为评价指标隶属度。根据各单项指标类型设计的评分方案如下:对定性型指标量纲化,如本研究对免疫程序这一指标分为完善、较为完善、不完善三个等级,即采用最普遍的等级原则,给不同的等级分别赋分值;对定量

型指标,根据猪场在各指标下的原始数据,根据实际情况将其转化为最高分1分,最低分0分值。

### 2.4 欧式贴近度

贴近度是表示两个模糊子集间相似程度的一种度量,量化结果是同一事物全部特征共同作用的综合得分。为反映出被评价的生猪养殖场标准化实际情况,基于评价指标权重和隶属度,利用改进的欧式贴近值公式<sup>[30]</sup>,计算生猪养殖场标准化评价值HI。

$$HI = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i [1 - A(x_i)]^2} \dots\dots\dots (14)$$

HI(HI∈[0, 1])为待评价对象的评价值。HI值越大,待评价对象的水平越高。

## 3 实例分析

### 3.1 生猪养殖场标准化得分及等级

根据猪场基础母猪的数量以及每年出栏育肥猪的数量来分类,可将养猪场分为小型养猪场、中型养猪场、大型养猪场。龙凤生态养猪场A位

于湖南武都城区以东,交通便利,水电设施齐全,猪场占地5亩,年上市仔猪400头,育肥商品猪300头,属于小型养猪场;信阳天目山生态农业开发有限公司生猪养殖场B位于河南省信阳市平桥区,总投资1300万元,占地126亩,年出栏父母代种猪4000头、商品猪7500头,属于中型生猪养殖场;富民畜牧科技开发有限公司猪场C位于湖南省佳民村,总投资5304万元,占地120亩,年可出栏商品猪10000头,销售猪仔20000头,属于大型生猪养殖场。本研究将以这3种不同类型的猪场进行生猪养殖场标准化综合评价和比较分析。

由于生猪养殖场是一个过于庞大和复杂的系统,对猪场情况进行整理,本文对定量型指标以及复杂的定性型指标以表格形式进行简述,如表3、表4所示,各评价指标隶属度情况如表5所示。

根据评价模型计算出7个准则层指标的评价结果,利用雷达图直观地展现出各猪场准则层指标的优劣和差距,如图2所示,最终综合评价结果如表6所示。

表3 定量型评价指标状态数据

| 评价指标  | 内容   | A猪场  | B猪场  | C猪场    |
|-------|--|------|------|--------|
| 员工数量  | 员工平均分配基础母猪(头)                                | 10   | 23   | 14     |
| 从业时间  | 员工普遍从业时间(年)                                  | 3    | 3    | 5      |
| 猪群占比  | 生产母猪占总猪群比例                                   | 0.04 | 0.05 | 0.042  |
| 圈舍修建  | 每头能繁母猪配套建设栏舍面积(m <sup>2</sup> )              | 10   | 8.25 | 12.5   |
| 距离主干道 | 与居民区和主要交通干线、其他畜禽养殖场及畜禽屠宰加工、交易场所的距离(m)        | 2000 | 1500 | 1000   |
| 建设时间  | 栏舍修建至今时年(年)                                  | 8    | 8    | 9      |
| 墙体结构  | 圈舍墙体的材料及厚度(cm)                               | 混砖25 | 复合材料 | 混砖55   |
| 外形结构  | 圈舍的举架高度及圈舍跨度(m)                              | 5,25 | 3,9  | 4.5,12 |
| 动保费用  | 每头母猪的动保费用(元)                                 | 25   | 20   | 35     |
| 占地面积  | 占地面积符合生猪养殖需要,以每头能繁母猪占地面积来衡量(m <sup>2</sup> ) | 83   | 140  | 53.3   |

表4 定性型评价指标状态数据

| 评价指标 | A猪场状态描述                                | B猪场状态描述                                | C猪场状态描述                                |
|------|--|--|--|
| 技术支撑 | 精密型科研单位,驻场型专业公司,本地团队                   | 精密型科研单位,驻场型专业公司,本地团队                   | 精密型科研单位,驻场型专业公司,本地团队                   |
| 学历结构 | 员工普遍为本科,专业多为动物科学                       | 与农业大学合作,员工普遍为本科,专业多为动科学动物医学            | 员工普遍为专科,专业多为动物科学                       |
| 土地征用 | 满足遵循土地征用标准和原则                          | 满足遵循土地征用标准和原则                          | 满足遵循土地征用标准和原则                          |
| 三通一平 | 水电路畅通且配套设施齐全,地面平坦                      | 水电路畅通且配套设施齐全,地面平坦                      | 水电路畅通且配套设施齐全,地面平坦                      |
| 机械设备 | 各种猪栏、地板、喂饲设备、饮水设备、清粪设备、环境控制设备以及运输设备等齐全 | 各种猪栏、地板、喂饲设备、饮水设备、清粪设备、环境控制设备以及运输设备等齐全 | 各种猪栏、地板、喂饲设备、饮水设备、清粪设备、环境控制设备以及运输设备等齐全 |
| 种猪来源 | 外购杜洛克、大约克、汉普夏及地方猪                      | 自繁自养                                   | 外购长白、大白、杜洛克及地方猪                        |
| 区域   | 华中地区                                   | 华中地区                                   | 华中地区                                   |
| 配种   | 本交和人工授精结合                              | 本交和人工授精结合                              | 人工授精                                   |
| 饲料种类 | 改良型自配料                                 | 自配料                                    | 改良型自配料                                 |

续表 4

| 评估指标 | A 猪场状态描述             | B 猪场状态描述             | C 猪场状态描述             |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 地势   | 平坦                   | 较平坦                  | 平坦                   |
| 布局   | 专业规划、合理布局            | 专业规划、合理布局            | 专业规划、合理布局            |
| 地面结构 | 水泥地防滑地面              | 发酵床                  | 水泥地+垫草               |
| 通风方式 | 自然通风                 | 纵向机械通风               | 横向机械通风               |
| 管理软件 | 有                    | 无                    | 有                    |
| 猪群周转 | 多点式生产方式              | 多点式生产方式              | 多点式生产方式              |
| 饲养模式 | 全进全出                 | 全进全出                 | 全进全出                 |
| 设施设备 | 自动化水平中等且进行数据采集       | 自动化水平中等,无数据采集        | 自动化水平高且进行数据采集        |
| 免疫程序 | 面对不同情况有多套较为科学完整的免疫程序 | 面对不同情况有多套较为科学完整的免疫程序 | 面对不同情况有多套较为科学完整的免疫程序 |

表 5 评价指标隶属度

| 评价指标 | A    | B   | C   | 评价指标 | A   | B   | C   |
|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| B11  | 0.8  | 1   | 1   | B12  | 0.9 | 0.8 | 1   |
| B13  | 0.75 | 0.8 | 0.8 | B14  | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| B21  | 1    | 1   | 1   | B22  | 1   | 1   | 1   |
| B23  | 0.9  | 0.8 | 1   | B24  | 1   | 1   | 1   |
| B25  | 0.6  | 0.4 | 1   | B26  | 0.9 | 1   | 0.7 |
| B31  | 0.3  | 0.3 | 0.3 | B32  | 0.8 | 0.7 | 1   |
| B33  | 1    | 0.8 | 1   | B34  | 1   | 1   | 1   |
| B35  | 1    | 1   | 0.8 | B41  | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B42  | 0.4  | 1   | 0.7 | B43  | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| B44  | 0.8  | 0.8 | 1   | B45  | 0.7 | 0.4 | 0.6 |
| B46  | 0.4  | 0.6 | 0.8 | B51  | 1   | 0.5 | 1   |
| B52  | 0.8  | 1   | 1   | B53  | 1   | 1   | 1   |
| B54  | 1    | 1   | 0.8 | B55  | 0.7 | 0.4 | 1   |
| B61  | 0.7  | 0.7 | 0.7 | B71  | 0.8 | 0.6 | 0.9 |
| B72  | 1    | 1   | 1   |      |     |     |     |

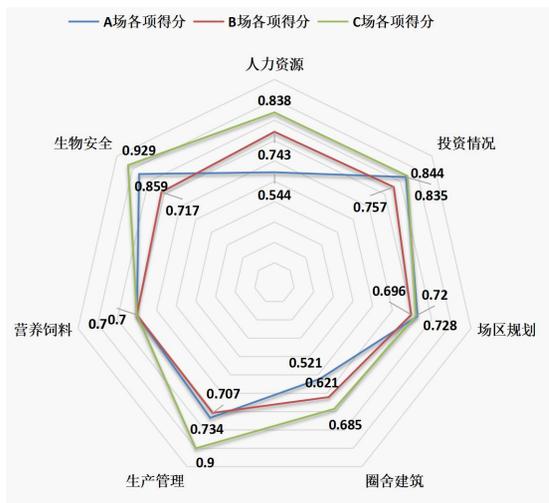


图 2 准则层指标得分

由图 2 可知,A 猪场在人力资源、圈舍建筑和生产管理方面及 B 猪场在生产管理和生物安全方面的评价价值偏低,与 C 猪场具有一定差距。在场

表 6 综合评价结果

| 准则层指标  | A     | B     | C     |
|--------|-------|-------|-------|
| 人力资源   | 0.544 | 0.743 | 0.838 |
| 投资情况   | 0.835 | 0.757 | 0.844 |
| 场区规划   | 0.728 | 0.696 | 0.720 |
| 圈舍建筑   | 0.521 | 0.621 | 0.685 |
| 生产管理   | 0.734 | 0.707 | 0.900 |
| 营养饲料   | 0.700 | 0.700 | 0.700 |
| 生物安全   | 0.859 | 0.717 | 0.929 |
| 综合评价结果 | 0.639 | 0.675 | 0.744 |

区规划、圈舍建筑和营养饲料方面,3 个猪场的评价价值均不高,有较大改善提升空间。通过表 6 综合评价结果可知,C 猪场生猪养殖场标准化水平最高,A 猪场生猪养殖场标准化水平最低,B 猪场位于两者之间。

每头母猪每年提供出栏育肥猪数(MSY)是评价

生猪养殖水平的重要标准之一,本研究以MSY为依据对生猪养殖场标准化评价结果进行分级。将A、B、C猪场综合评价结果与其MSY( $MSY_A=17.5$ 、 $MSY_B=19.15$ 、 $MSY_C=22.54$ )进行皮尔森相关性比较,来验证本研究生猪养殖场标准化评价模型的有效性和合理性。

使用SPSS 25.0数据分析软件对猪场综合评价数组 $HI=[0.639,0.675,0.744]$ 和 $MSY=[17.5, 19.15, 22.54]$ 进行Pearson相关性分析,结果如表7所示。

表7 皮尔森相关性分析结果

|     |      | HI     | MSY |
|-----|------|--------|-----|
| HI  | 相关系数 | 1      |     |
|     | P值   |        |     |
| MSY | 相关系数 | 0.999* | 1   |
|     | P值   | 0.011  |     |

注:“\*”表示差异显著( $P<0.05$ ),“\*\*\*”表示差异极显著( $P<0.01$ )

从表7可知,HI和MSY之间的相关系数值为 $0.999>0$ ,并且 $0.01<P=0.011<0.05$ ,具有显著性,说明HI和MSY之间有显著正相关关系。为便于分析,给出最终评价结果。将HI作为自变量,MSY作为因变量进行线性回归分析,HI的回归系数值为 $48.151(t=57.982, P=0.011<0.05)$ ,HI与MSY的关系为 $MSY=48.151 \times HI - 13.301$ 。目前国内MSY平均水平为20,与5年前MSY平均水平为15相比,提升约5个数值,部分优秀生猪养殖企业MSY接近30,甚至超过30,达到国际水准。以MSY为依据的生猪养殖场标准化分级标准如表8所示。

表8 生猪养殖场标准化分级标准

| MSY | >30   | 25~30    | 20~25    | 15~20     | <15   |
|-----|-------|----------|----------|-----------|-------|
| HI  | >0.89 | 0.8~0.89 | 0.69~0.8 | 0.59~0.69 | <0.59 |
| 等级  | 1     | 2        | 3        | 4         | 5     |

由评价可知,A、B、C生猪养殖场的标准化建设水平为“国内优秀水平>C>全国平均水平>B>A>5年前全国平均水平”,C猪场属于2等水平,A和B猪场为4等水平,评价结果与实际相符,本研究构建的评价模型具有一定合理性和有效性。

### 3.2 敏感度分析

以模糊层次分析法为核心的生猪养殖场标准化评价,各层次评价因素的权重量化最具争议,存在一定的主观因素,最终评价结果在一定程度上受到知识水平、经验的影响。本研究最终的生猪养殖场标准化评价结果,仍然需要利用一定方法对评价结果进行判断校验。层次分析法的敏感

性分析,主要是通过调整变换评价因子的权重,分析其对评价结果的影响<sup>[31]</sup>。研究最终的较优评价结果相对于各指标因素权重的波动变化程度,并辨别出敏感性相对较大的因素。敏感性分析是通过假定唯一准则层重要性发生变化,而其他准则相对重要性比值不变的情况下,A、B、C猪场评分比值相对于目标层的变化状况,主要分析了人力资源、投资情况、场区规划、圈舍建筑、生产管理、营养饲料和生物安全7大指标对最终结果的敏感性影响。

本研究采用以层次分析法为基础的决策支持工具Expert Choice对指标的敏感性进行分析,在无其他准则层指标影响情况下,单一指标权重变化对评价结果的比值变动影响有所不同。当投资情况指标、场区规划指标、圈舍建筑指标、生产管理指标、生物安全指标中的一个指标权重发生变动时,A、B、C猪场的评分比重会有一定程度变化,但评分比重排序在一定范围内未改变,评分结果依旧是“C>B>A”,故投资情况、场区规划、圈舍建筑、生产管理、生物安全是生猪养殖场标准化评价较为敏感的因素;当人力资源指标或营养饲料指标的权重发生变动时,各猪场的评分比值变化程度小,但无比值排序交叉变化情况,故人力资源和营养饲料对生猪养殖场标准化的敏感程度不高。

通过综合分析,在对A、B、C猪场生猪养殖标准化评价过程中,投资情况、场区规划、圈舍建筑、生产管理、生物安全因素的变动对最终评价结果的敏感性程度较高,随着我国生猪养殖行业的发展变化,在重新运用模糊层次分析法进行评价过程中应尤为注意敏感度较高的因素的权重量化问题。

## 4 结论

笔者采用精确值、区间值、三角模糊数的九标度法来构建判断矩阵更贴合人们的思维逻辑,解决了专家对指标重要程度比较的模糊性,减少了度量不准确的可能性;引入模糊一致性矩阵,避免未通过一致性检测时,需要调整判断矩阵或专家重新进行指标重要程度比较,大大减少了工作量;根据评价指标评分方案对定性定量指标打分,确定各指标隶属度,结合欧式贴近度最终建立基于改进模糊层次分析法的生猪养殖场标准化综合评价模型。

对3种不同养殖规模的猪场进行综合评价,分析评价值(HI)与各猪场每年每头母猪出栏肥猪头数(MSY)的皮尔森相关性,以我国当前MSY

水平和5年前MSY平均水平为依据,将评价结果进行分级处理,最后对评价模型指标的敏感性也进行了分析。结果显示,评价值HI( $HI_A=0.639$ 、 $HI_B=0.675$ 、 $HI_C=0.744$ )与猪场MSY( $MSY_A=17.5$ 、 $MSY_B=19.15$ 、 $MSY_C=22.54$ )为显著的正向影响关系,以MSY为分级标准,A和B猪场为4等水平,C猪场为2等水平,能够较好地地区分生猪养殖场标准化水平,且评价结果与实际相符,评价模型具有一定的合理性和有效性,运用模糊层次分析法进行生猪养殖场标准化评价过程中需要注意投资情况、场区规划、圈舍建筑、生产管理、生物安全因素权重量化问题,为生猪养殖场标准化评价提供了一种新方法,为我国生猪养殖场标准化建设的调整提供数据参考。

### 参考文献:

- [1] 刘小红,王健,刘长春,等.我国生猪标准化养殖模式和技术水平分析[J].中国农业科技导报,2013,15(6):72-77.
- [2] 李爱萍,蒲学栋,徐龙鑫,等.凯里市畜牧园区生猪标准化养殖技术推广应用[J].黑龙江畜牧兽医,2016(22):78-79.
- [3] 张树敏,徐炜琳,李娜,等.美系长白猪、大白猪生长性能测定研究[J].东北农业科学,2016,41(6):89-92.
- [4] 谢秋菊,苏中滨, Ji-qin Ni, 等.猪舍环境适宜性模糊综合评价[J].农业工程学报,2016,32(16):198-205.
- [5] 赵聪哲,胡忠昌,张立春,等.大白猪pGH基因的多态性与生长性状的关联研究[J].东北农业科学,2019,44(2):39-43.
- [6] 陈国友.生猪标准化规模养殖场的疫病防控措施[J].黑龙江畜牧兽医,2016(8):148-149.
- [7] 沈玉君,张明月,孟海波,等.通风方式对猪粪堆肥主要臭气物质控制的影响研究[J].农业工程学报,2019,35(7):203-209.
- [8] 王美芝,安涛,刘继军,等.智能饲喂器对哺乳母猪采食量体况和生产性能的影响[J].农业工程学报,2019,35(6):190-197.
- [9] 乔艳明,陈文强,邓百万,等.3种饲料对杜长大猪肉氨基酸与脂肪酸含量的影响[J].江苏农业科学,2015,43(6):204-206.
- [10] 张吉军.模糊层次分析法(FAHP)[J].模糊系统与数学,2000,14(2):80-88.
- [11] 吕跃进.基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J].模糊系统与数学,2002,16(2):79-85.
- [12] 马双忱,范紫瑄,温佳琪,等.基于模糊层次分析的燃煤电厂脱硫废水处理可利用技术评价[J].化工进展,2018,37(11):4451-4459.
- [13] 原豪,曹亚楠.基于模糊层次分析法的RPL路由优化协议[J].传感技术学报,2018,31(12):1900-1905.
- [14] 刘新有,李自顺,朱俊.层次分析法改进及其在橡胶林种植对流域输沙影响评价中的应用[J].三峡大学学报(自然科学版),2017,39(2):29-33.
- [15] 夏亮,杨江平,常春贺,等.大型相控阵雷达软件系统安全性研究[J].系统工程与电子技术,2019,41(8):1755-1762.
- [16] 王建,庞永杰,杨卓懿,等.改进模糊层次分析法在AUV总体性能评价中的应用[J].上海交通大学学报,2015,49(2):275-280.
- [17] 陈建球,唐涛.基于改进FAHP方法的列车运行控制系统仿真可信度研究[J].铁道学报,2014,36(3):59-66.
- [18] 李亮,龚光红,陈金磊,等.群模糊层次分析法的改进及应用[J].北京航空航天大学学报,2014,40(8):1116-1120.
- [19] 段传宏,王晓云,周宁宁,等.基于AHP和熵权法对淮河源4类饲草的评价[J].东北农业科学,2019,44(1):44-48.
- [20] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15(3): 234-281.
- [21] 毛人杰,尤建新,段春艳,等.基于模糊随机层次分析法的供应商可持续评价模型改进[J].同济大学学报(自然科学版),2018,46(8):1138-1146.
- [22] Jalao E R, Wu T, Shunk D. A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences[J]. Information Sciences, 2014, 270: 192-203.
- [23] Morris H Degroot,李永镇,李家凤.贝塔分布、多项分布与二元正态分布[J].邵阳高专学报,1994(2):189-193.
- [24] 全国畜牧业标准化技术委员会. GB/T 17824.1-2008 规模猪场建设[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [25] 全国畜牧业标准化技术委员会. GB/T 17824.2-2008 规模猪场生产技术规程[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [26] 全国畜牧业标准化技术委员会. GB/T 17824.3-2008 规模猪场环境参数及环境管理[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [27] 陈国友.生猪标准化规模养殖场的疫病防控措施[J].黑龙江畜牧兽医,2016(8):148-149.
- [28] 李莉,华再东,郭帅,等.转基因猪试验场标准化饲养管理技术体系探讨[J].湖北农业科学,2014,53(17):4112-4114,4119.
- [29] 周永亮,王学君,王竹伟,等.现代化猪场建设规划设计[J].养殖与饲料,2018(7):12-15.
- [30] 李永壮,鲁文轩,郭华,等.基于群体AHP方法和欧式贴近度的A-E甄选模型构建研究[J].科技管理研究,2013,33(1):225-228.
- [31] 傅职忠.层次分析法中的敏感度分析[J].中国民航学院学报,1993(Z1):132-138.

(责任编辑:王昱)