



邓为,孙卫东,刘龙申,等.产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系的构建[J].南京农业大学学报,2024,47(4):741-749.

DENG Wei,SUN Weidong,LIU Longshen,et al.The construction of sub-health evaluation index system for laying hens during peak laying period[J].  
Journal of Nanjing Agricultural University,2024,47(4):741-749.

## 产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系的构建

邓为<sup>1</sup>,孙卫东<sup>2</sup>,刘龙申<sup>3,4</sup>,沈明霞<sup>3,4</sup>,姚文<sup>1,4\*</sup>

(1.南京农业大学动物科技学院,江苏南京210095;2.南京农业大学动物医学院,江苏南京210095;  
3.南京农业大学人工智能学院,江苏南京210031;4.农业农村部养殖装备重点实验室,江苏南京210031)

**摘要:**[目的]产蛋高峰期是蛋鸡养殖的关键时期,构建产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系,不仅有利于准确评估鸡群健康并根据鸡群健康状况展开精准饲养与管理调整,也可无损监测产蛋高峰期蛋鸡健康状况提供参考指标和科学依据。[方法]本文基于对蛋鸡场调研、资料收集和专家咨询,并从鸡群的健康状况、行为表现、生产性能和环境与鸡群信息4个方面初步构建了产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标集,运用专家咨询法筛选指标确立评价指标体系,通过层次分析法确定指标权重。[结果]共邀请了14位专家进行咨询,专家咨询问卷有效回收为100%,专家权威系数为0.875,肯德尔协调系数为0.386,表明专家积极性、权威程度、意见协调程度均较好,最终确立的评价指标体系包括4个一级指标,27个二级指标。健康状况、行为表现、生产性能和鸡舍环境4个一级指标的权重分别为0.254、0.245、0.253、0.248。[结论]构建的产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系,专家咨询可靠性较好,评价指标覆盖较全面。

**关键词:**产蛋高峰期;亚健康评价;指标;层次分析法

中图分类号:S831.7

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)04-0741-09

## The construction of sub-health evaluation index system for laying hens during peak laying period

DENG Wei<sup>1</sup>,SUN Weidong<sup>2</sup>,LIU Longshen<sup>3,4</sup>,SHEN Mingxia<sup>3,4</sup>,YAO Wen<sup>1,4\*</sup>

(1.College of Animal Science and Technology,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China;

2.College of Veterinary Medicine,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China;

3.College of Artificial Intelligence,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210031,China;

4.Key Laboratory of Breeding Equipment,Ministry of Agriculture and Rural Affairs,Nanjing 210031,China)

**Abstract:**[Objectives]Peak laying period is a critical period of layer breeding. The construction of a sub-health evaluation index system for laying hens during peak laying period is not only conducive to accurately evaluating the health of flocks and carrying out accurate feeding and management adjustments according to the health status of the flocks,and it can also provide reference indicators and scientific basis for non-destructive monitoring of the health status of laying hens during the peak laying period. [Methods]Based on the research on laying hen farms,data collection and expert meetings,this paper initially constructed a set of evaluation indexes for sub-health of laying hens during peak laying period from four aspects,namely,health status,behavioural performance,production performance,environment and flock information of hens,and used the expert consultation method to screen the indexes to establish the evaluation index system,and determined the indexes' weights through the hierarchical analysis method. [Results]A total of 14 experts were invited for consultation,and the effective recovery of the expert consultation questionnaire was 100%,the expert authority coefficient was 0.875,and the Kendall's coordination coefficient was 0.386,which indicated that the experts' motivation,authority,and coordination of their opinions were all better,and the final established evaluation index system included 4 first-level and 27 second-level indicators. The weights of the four first-level indicators,namely,health status,behavioural performance,production performance and henhouse environment,were 0.254,0.245,0.253 and 0.248,respectively. [Conclusions]This study constructed the evaluation index system of sub-health of laying hens during the peak laying period,with better reliability of expert consultation and more comprehensive coverage of evaluation indexes.

**Keywords:**peak laying period;sub-health evaluation;indicators;hierarchical analysis method

收稿日期:2023-09-06

基金项目:“科技创新2030”项目(2021ZD0113803-02)

\*通信作者:姚文,教授,博导,主要从事单胃动物饲料营养和智慧健康养殖的研究与技术集成推广工作,E-mail:yaowen67jp@njau.edu.cn。

蛋鸡养殖业是我国重要的畜牧产业之一。目前蛋鸡养殖行业从“大群体、小规模”趋于规模化、现代化演变,而高密度的养殖环境会导致禽病发现晚、传播快、控制难,同时对蛋产量增长的要求逐渐转变为对质量、安全、效益的要求,抗生素促生长饲料添加剂的全面禁用进一步加剧了蛋鸡养殖疾病防控工作的难度。蛋鸡的健康状态可分为健康态、亚健康态、亚临床态、临床疾病4个状态,从健康状态到疾病状态是一个量变到质变的过程,亚健康状态是趋于疾病的,若管理干预得当可恢复到健康状态<sup>[1]</sup>。因此,监测蛋鸡健康状况,精准辨别亚健康态,在疾病发生前尽早干预能降低疫病风险,可以提高蛋鸡健康水平和养殖生产收益以及蛋产品质量。传统家禽业以生产高效为决策目标,缺乏建立针对蛋鸡健康状态的评价指标体系和标准<sup>[2]</sup>。

在人的健康研究中,无法通过简单的生理生化等方法有效检测亚健康状态,目前主要通过构建亚健康评价指标体系和制定诊断标准来编制评价量表,实现人亚健康的定量化评价<sup>[3-4]</sup>。目前动物福利评价<sup>[5-6]</sup>、疼痛评估<sup>[7-8]</sup>以及运输应激测试<sup>[9]</sup>也常采用量表评价法,通过归纳多种评价指标(例如形态、行为、声音等)实现综合评价,在家禽养殖中,也多运用于鸡舍环境综合评价。Wen等<sup>[10]</sup>利用灰色关联度分析法构建鸡舍环境指标评价体系来实现鸡舍环境的综合评价。同样在蛋鸡的亚健康评价研究中可以通过构建蛋鸡亚健康评价指标体系形成评价量表来实现亚健康状态的诊断。与大动物猪牛羊相比,蛋鸡的养殖规模大、个体评价价值小,仅对个体进行亚健康评价,无法达到有价值的疾病预警效果,蛋鸡的亚健康评价应从个体出发,对养殖群体的健康进行综合评价<sup>[2]</sup>。

基于此,本研究选取蛋鸡养殖中容易产生亚健康状态的产蛋高峰期进行研究,通过专家咨询法来确定产蛋高峰期蛋鸡亚健康指标,并采用层次分析法来设置各指标权重,最后完成指标体系的构建,以期监测产蛋高峰期蛋鸡健康状况提供工具和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标集与框架的构建

基于蛋鸡养殖场实地调研以及归纳相关文献著作,将产蛋高峰期蛋鸡疾病的主要表型症状和影响因素总结形成初级表型指标集。通过专题小组讨论和专家会议法确定4个一级评价指标,并按一级指标归类初级表型指标形成二级评价指标,完成蛋鸡亚健康评价体系基本框架的构建。初步拟定的产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标包括一级指标4个,二级指标35个。

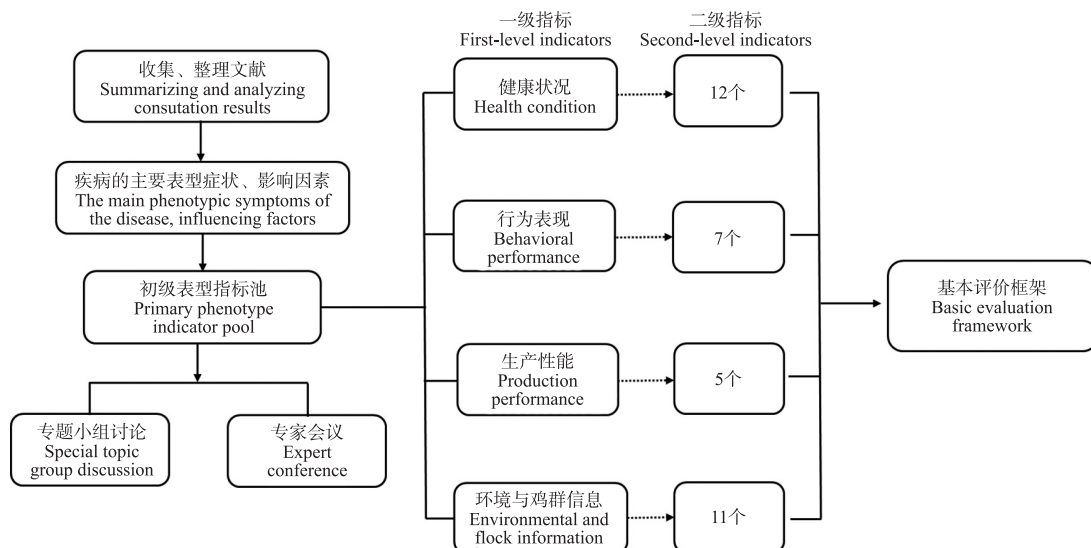


图1 产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系基本框架的构建

Fig. 1 Construction of the basic framework of sub-health evaluation index system for laying hens during the peak laying period

### 1.2 综合评价指标的专家咨询法

1.2.1 专家选择 本研究选择了有丰富蛋鸡养殖经验的禽病专家以及在相关专业有一定知名度的大学教授/副教授等相关领域的14位专家进行专家咨询。咨询专家分别来自高校/研究机构、畜牧业行政部

门、蛋鸡养殖企业等,平均年龄为 47.7 岁,平均工作年限为 24.1 年,有丰富的蛋鸡养殖经验;专业以畜牧学与兽医学为主,从事领域以蛋鸡生产以及禽病防疫为主。具体情况见表 1。

表 1 专家基本情况

Table 1 Basic information about the experts

变量 Variant	水平 Level	人数 Numbers(n)	比例/% Ratios
年龄(岁) Age	31~40	3	21
	41~50	6	43
	≥51	5	36
教育背景 Education background	本科 Undergraduate	7	50
	研究生及以上 Postgraduate and above	7	50
职称 Title	副高级或副教授 Associate senior or associate professor	6	43
	正高级或教授 Senior or professor	8	57
工作年限 Working experience	<20	4	29
	≥20	10	71

1.2.2 咨询过程 通过电子邮件发放专家咨询表,分为一级指标和二级指标,要求专家对所有评价蛋鸡亚健康指标的重要性进行评分(指标的相对重要性采用 5 个等级进行评分,各等级分别赋以 1、2、3、4、5 分,代表从很不重要到很重要),要求专家对指标的熟悉程度和判断依据进行评分,每项指标设置备注栏供专家对指标提出意见。本研究专家咨询流程如图 2。

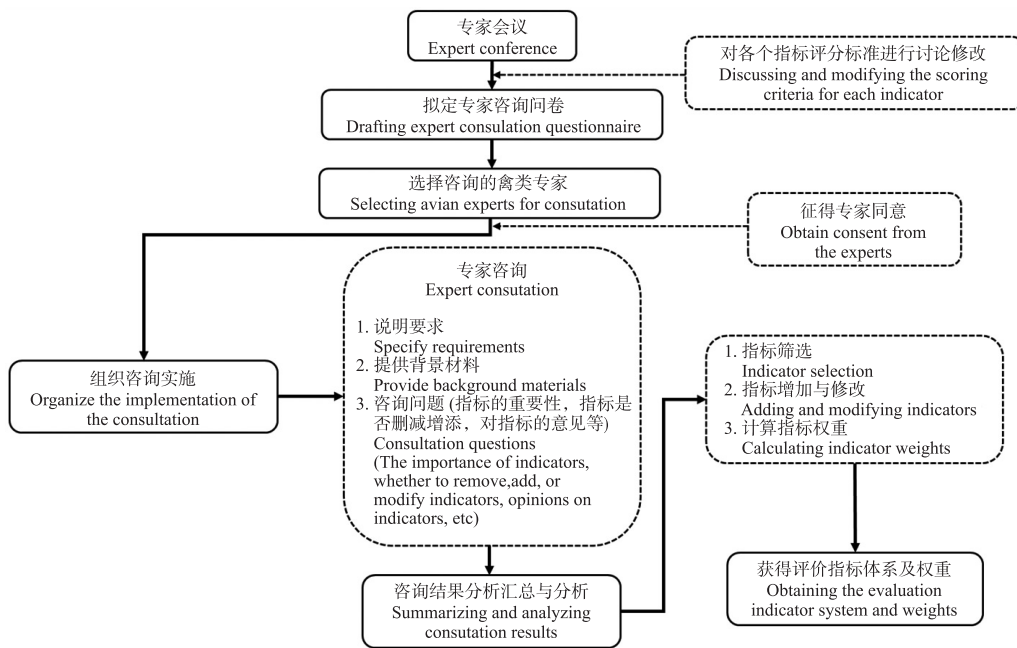


图 2 专家咨询流程

Fig. 2 Expert consultation process

1.2.3 咨询指标结果及分析 专家的积极性用专家的问卷回收率表示(专家积极性=收回的问卷数/发放问卷数×100%);专家权威系数( $C_r$ )为专家判断依据( $C_a$ )和熟悉程度( $C_s$ )之和的算数平均数,即  $C_r = (C_a + C_s)/2$ ;专家意见协调程度用肯德尔协调系数(Kendall's W)反映<sup>[11]</sup>。

1.3 指标筛选的界值法

采用临界值法<sup>[12]</sup>进行指标筛选,计算每个指标重要性评分的算术平均数、变异系数、满分频率界值,其中指标算数平均数和满分频率的界值为其均值减去其标准差,筛选低于界值的指标;变异系数的界值为其均值加上标准差,筛选高于界值的指标。着重考虑为满足界值筛选法要求的评价指标的删除与修改,综合专家修改意见并进行小组讨论、专家会议后,决定该指标的修改或删除。

1.4 指标权重的层次分析法

本研究采用层次分析法计算各指标权重。根据指标合集中一级指标与二级指标的相互关系构建层次结果模型,利用各指标重要性评分的平均数之比构建判断矩阵,并进行一致性检验,最终确定各指标相对

权重以及组合权重。

计算指标权重公式如下：

$$\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

式中： $a_{ij}$ 为判断矩阵中的第  $i$  行第  $j$  列的元素。

计算矩阵各行元素之和( $\bar{\omega}_i$ )公式如下：

$$\bar{\omega}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

对矩阵各列进行归一化处理。归一化权重系数( $\omega_i$ )公式如下：

$$\omega_i = \bar{\omega}_i / \sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{3}$$

应用层次分析法时,要检验计算得出的权重系数是否符合逻辑。通常使用一致性指标(CI)检验其相对优先顺序有无逻辑性混乱。为度量不同阶判断矩阵是否具有满意的一致性,需引入判断矩阵的平均随机一致性指标(RI),见表 2。当阶数大于 2 时,CI 与同阶的 RI 之比为随机一致性比率(CR)。通常认为:CR<0.1 时,判断矩阵具有良好的一致性,计算结果可作为指标的权重值。其中:

$$CR = \frac{CI}{RI}; \quad CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}。$$

式中: $n$  为评价指标数; $\lambda_{\max}$  为最大特征根。

表 2 1~9 阶平均随机一致性指标(RI)的取值

Table 2 The values of random index(RI) for orders 1 to 9

指标 Index	阶数 Orders								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

1.5 数据的处理与统计方法

使用 Excel 2016、SPSS 26.0 软件处理专家咨询数据,计算各指标的重要性评分均数、标准差、变异系数、肯德尔协调系数(Kendall's W)等。用 SPSSAU 计算各级指标权重,并进行一致性检验。

2 结果与分析

2.1 专家咨询法构建评价指标体系

2.1.1 专家积极系数 本次专家咨询共发放 14 份专家咨询表,回收 14 份,有效回收率为 100%,有 86% 的专家提出了意见,共 68 条。表明专家参与咨询的积极性高,对咨询内容关心程度高。

2.1.2 专家权威程度 通过对 14 位专家对产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标的熟悉程度和判断依据进行量化(表 3、表 4)<sup>[13]</sup>。计算得到 14 位专家对指标熟悉程度系数( $C_s$ )均数为 0.83,判断依据系数( $C_a$ )均数为 0.92。因此,专家权威系数( $C_t$ )为 0.875,表明本次咨询专家权威程度高,咨询结果较为可靠且具有权威性。

表 3 判断依据量化表

Table 3 Quantification of judgemental basis

判断依据 Basis of judgement	影响程度 Level of impact		
	大 Large	中 Medium	小 Small
理论依据 Theoretical foundation	0.3	0.2	0.1
工作经验 Working experience	0.5	0.4	0.3
国内外文献 Domestic and foreign literature	0.1	0.1	0.1
直观感觉 Intuitive impression	0.1	0.1	0.1

表 4 熟悉程度量化表

Table 4 Quantification of familiarity scale

指标 Index	熟悉程度 Familiarity				
	很熟悉 Very familiar	熟悉 Familiar	一般 Average	不熟悉 Unfamiliar	很不熟悉 Very unfamiliar
熟悉系数 Familiarity factor	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2

**2.1.3 专家意见的协调程度** 对专家评分的协调性系数进行计算,蛋鸡亚健康评价指标重要性评分的 Kendall's W 系数为 0.386,数据结果经检验差异显著。说明专家对蛋鸡亚健康评价指标的意见协调性较好,各专家对评价指标意见一致,咨询结果可取。

**2.1.4 指标筛选** 根据专家对评价指标的重要性评分统计结果,采用界值法筛选二级评价指标。根据各个指标的重要性评分计算指标算数平均数( $\bar{x}$ )、变异系数(coefficient of variation, CV)和满分频率,计算得  $\bar{x}$ 、CV 和满分频率的界值分别为 3.9、0.22% 和 22.06%。界值法评价结果见表 5。

表 5 专家咨询二级指标评分(满分 5 分)的统计筛选

Table 5 Statistical screening of expert consultation on secondary indicator ratings(out of 5 points)

指标 Indicators	$\bar{x}$	CV/%	满分频率/% Perfect frequency
健康状况 Health status			
死淘率 Deadweight loss rate	4.71	0.10	71.43
体温 Temperatures	<b>3.83</b>	0.20	25.00
鸡冠颜色 Crest colour	4.38	0.14	46.15
鸡冠啄伤 Crown-pecking	<b>3.38</b>	<b>0.25</b>	<b>7.69</b>
眼部健康 Eye area health	4.71	0.10	71.43
肿头 Swollen head	4.79	0.12	85.71
整洁 Neatly feathered	<b>3.86</b>	0.20	24.43
脚垫损伤 Footpad damage	<b>3.86</b>	<b>0.22</b>	28.57
跗骨关节损伤 Tarsal joint injury	4.00	<b>0.22</b>	28.57
粪便 Faeces	5.00	0.00	100.00
呕吐 Vomit	4.00	0.22	28.57
声音异常 Sound anomaly	4.79	0.09	78.57
行为表现 Behaviour			
采食量 Quantity of food intake	5.00	0.00	100.00
饮水量 Water intake	4.79	0.09	78.57
冷颤扎堆 Cold shiver piles up	3.92	<b>0.27</b>	30.77
热喘 Asthma	4.29	0.19	50.00
异常行为 Abnormal behaviour	3.93	0.21	21.43
运动障碍 Movement disorder	<b>3.86</b>	0.17	<b>14.29</b>
饲养关系 Feeding relationships	<b>3.54</b>	0.18	<b>0.00</b>
生产性能 Production performance			
产蛋率 Egg production	4.86	0.07	85.71
畸形蛋以及蛋破损率 Deformed eggs and egg breakage	4.71	0.10	71.43
体重 Body weight	4.50	0.14	50.00
均匀度 Uniformity	4.36	0.17	50.00
平均蛋重 Average egg weight	<b>3.79</b>	<b>0.24</b>	<b>21.43</b>
环境与鸡群信息 Environmental and flock information			
环境温度 Environmental temperature	4.93	0.05	92.86
湿度 Humidity level	4.29	0.17	42.86
养殖密度 Stocking density	4.43	0.12	42.86
光照强度 Light intensity	4.31	0.11	28.57
通风量 Ventilation capacity	4.79	0.09	78.57
CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> concentration	3.92	0.21	25.00
NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	4.31	0.17	46.15
H <sub>2</sub> S 浓度 H <sub>2</sub> S concentration	4.00	<b>0.22</b>	30.77
用药免疫程序 Medication and immunisation procedures	4.79	0.09	78.57
日粮水平 Dietary level	4.57	0.11	57.14
员工素质 Quality of employees	4.36	0.15	42.86

注:加粗字体表示指标未满足界值法筛选要求。Bolded text indicates that the indicator does not fulfil the screening requirements of the threshold approach.

将界值法筛选结果结合专家意见,经专题小组讨论以及专家会议后进行指标筛选,删除一级指标“健康状况”下的“鸡冠啄伤、脚垫损伤、跗骨关节损伤”3个二级指标,将指标“羽毛整洁度”修改为“羽毛整洁度与损伤”;删除一级指标“行为表现”下的二级指标“饲养关系”;考虑一级指标“生产性能”下的二级指

标“平均蛋重”能在一定程度上反映鸡群健康状况,予以保留;将一级指标“环境与鸡群信息”更改为“鸡舍环境”,并将不易量化的用“药免疫程序、日粮水平、员工素质”3个二级指标改为辅助信息指标,在评价鸡群健康前收集,评价后辅助调整鸡群生产管理。综合专家意见以及小组讨论结果,调整后的指标体系包括4个一级指标,27个二级指标。

## 2.2 层次分析法计算权重

**2.2.1 一致性检验** 结合专家对蛋鸡亚健康评价指标的重要性评分构建判断矩阵并计算权重,以一级指标健康状况的二级指标打分为例,健康状况有死淘率、体温、鸡冠颜色、眼部健康、肿头、羽毛整洁度与损伤、粪便、呕吐、声音异常9个二级指标,分别标记为B1、B2、B3、…、B9。详情见表6。

表6 健康状况的二级指标判断矩阵

Table 6 Judgement matrix of secondary indicators of health status

指标 Indicator	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	1.000	1.230	1.075	1.000	0.985	1.222	0.943	1.179	0.985
B2	0.813	1.000	0.874	0.813	0.801	0.994	0.767	0.958	0.801
B3	0.930	1.144	1.000	0.930	0.916	1.137	0.877	1.096	0.916
B4	1.000	1.230	1.075	1.000	0.985	1.222	0.943	1.179	0.985
B5	1.015	1.249	1.092	1.015	1.000	1.241	0.957	1.196	1.000
B6	0.818	1.006	0.880	0.818	0.806	1.000	0.771	0.964	0.806
B7	1.061	1.305	1.140	1.061	1.045	1.296	1.000	1.250	1.045
B8	0.848	1.044	0.912	0.848	0.836	1.037	0.800	1.000	0.836
B9	1.015	1.249	1.092	1.015	1.000	1.241	0.957	1.196	1.000

运用公式(1)(2)(3)计算权重,得到本例指标相对权重:WB1=0.118, WB2=0.096, WB3=0.109, WB4=0.118, WB5=0.119, WB6=0.096, WB7=0.125, WB8=0.100, WB9=0.119。

计算特征最大特征向量。最大特征向量的公式如下:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \lambda_i / n; \quad \lambda_i = \sum_{j=1}^n B_{ij} w_j / w_i。$$

式中: $n$ 为评价指标个数; $\lambda_{\max}$ 为最大特征根; $\lambda_i$ 为子目标成对比较判断优选矩阵的特征根。

即

$$\lambda = \begin{bmatrix} 1.000 & 1.230 & 1.075 & 1.000 & 0.985 & 1.222 & 0.943 & 1.179 & 0.985 \\ 0.813 & 1.000 & 0.874 & 0.813 & 0.801 & 0.994 & 0.767 & 0.958 & 0.801 \\ 0.930 & 1.144 & 1.000 & 0.930 & 0.916 & 1.137 & 0.877 & 1.096 & 0.916 \\ 1.000 & 1.230 & 1.075 & 1.000 & 0.985 & 1.222 & 0.943 & 1.179 & 0.985 \\ 1.015 & 1.249 & 1.092 & 1.015 & 1.000 & 1.241 & 0.957 & 1.196 & 1.000 \\ 0.818 & 1.006 & 0.880 & 0.818 & 0.806 & 1.000 & 0.771 & 0.964 & 0.806 \\ 1.061 & 1.305 & 1.140 & 1.061 & 1.045 & 1.296 & 1.000 & 1.250 & 1.045 \\ 0.848 & 1.044 & 0.912 & 0.848 & 0.836 & 1.037 & 0.800 & 1.000 & 0.836 \\ 1.015 & 1.249 & 1.092 & 1.015 & 1.000 & 1.241 & 0.957 & 1.196 & 1.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.118 \\ 0.096 \\ 0.109 \\ 0.118 \\ 0.119 \\ 0.096 \\ 0.125 \\ 0.100 \\ 0.119 \end{bmatrix}$$

经计算得到: $\lambda_1=1.059, \lambda_2=0.861, \lambda_3=0.985, \lambda_4=1.059, \lambda_5=1.075, \lambda_6=0.866, \lambda_7=1.123, \lambda_8=0.898, \lambda_9=1.075$ 。因此计算出 $\lambda_{\max}=9$ 。

计算完指标权重需对其相对优先顺序进行检验,确定其没有混乱的逻辑关系。当阶数大于2时,用一致性比率(CR)检验,计算得本例 $CR=0<0.1$ 。满足一致性检验,认为各指标权重判断无逻辑错误,可以接受。

同理,对其他指标构建判断矩阵,计算指标的相对权重并进行一致性检验,各指标权重均通过一致性检验。表明本研究各个蛋鸡亚健康评价指标权重判断无逻辑错误,可以接受所计算的各个指标权重。

**2.2.2 计算各指标权重以及组合权重** 同样构建一级指标和其二级指标的判断矩阵,计算每个指标的相对权重。健康状况、行为表现、生产性能和鸡舍环境4个一级指标的权重分别为0.254、0.245、0.253、0.248,其中权重最大的一级指标为健康状况。运用乘法计算二级指标的组合权重,组合权重最大二级指标为产蛋率。综合已经计算出的一、二级指标权重,构建产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系,如表7所示。

表7 一、二级指标内容及其权重统计结果

Table 7 Content and statistical results of primary and secondary indicators

一级指标 First-level indicators	权重 Weights	二级指标 Second-level indicators	权重 Weights	组合权重 Combination weights
健康状况 Health status	0.254	死淘汰率 Deadweight loss rate	0.118 0	0.030 0
		体温 Temperatures	0.096 0	0.024 4
		鸡冠颜色 Crest colour	0.109 0	0.027 7
		眼部健康 Eye area Health	0.118 0	0.030 0
		肿头 Swollen head	0.119 0	0.030 2
		羽毛整洁度及损伤 Feather tidiness and damage	0.096 0	0.024 4
		粪便 Faeces	0.125 0	0.031 8
		呕吐 Vomit	0.100 0	0.025 4
行为表现 Behaviour performance	0.245	声音异常 Sound anomaly	0.119 0	0.030 2
		采食量 Quantity of food intake	0.194 0	0.047 5
		饮水量 Water intake	0.186 0	0.045 6
		扎堆冷颤 Cold shiver piles up	0.152 0	0.037 2
		热喘 Asthma	0.166 0	0.040 7
		异常行为 Abnormal behaviour	0.152 0	0.037 2
生产性能 Production performance	0.253	运动障碍 Movement disorder	0.150 0	0.036 8
		产蛋率 Egg production	0.219 0	0.055 4
		畸形蛋率以及鸡蛋破损率 Deformed eggs and egg breakage	0.212 0	0.053 6
		体重 Weight	0.203 0	0.051 4
		均匀度 Uniformity	0.196 0	0.049 6
鸡舍环境 Henhouse environmental	0.248	平均蛋重 Average egg weight	0.170 0	0.043 0
		温度 Environmental temperature	0.162 0	0.040 2
		湿度 Humidity level	0.140 5	0.034 8
		光照强度 Length of exposure	0.140 5	0.034 8
		通风量 Ventilation capacity	0.157 0	0.038 9
		CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> concentration	0.128 0	0.031 7
		NH <sub>3</sub> 浓度 NH <sub>3</sub> concentration	0.141 0	0.035 0
H <sub>2</sub> S 浓度 H <sub>2</sub> S concentration	0.131 0	0.032 5		

### 3 讨论

#### 3.1 评价指标体系的意义

建立科学的评价指标体系和合理的评价方法是科学决策的关键,受到各个行业的重视<sup>[14-17]</sup>。构建一套科学合理的产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系对于蛋鸡养殖中疾病防疫、生产管理决策以及智能化疾病预警技术均具有重要意义。目前现代化智能蛋鸡养殖设备有较多研究,尤其在蛋鸡生理信息监测以及早期疾病预警技术有颇多研究和成果,其主要基于蛋鸡的外表形态(鸡冠部、眼部、羽毛状态等)<sup>[18-19]</sup>、行为特征(呼吸状态、步态、活动频率等)<sup>[19-20]</sup>、生理特征(体温、粪便、声音等)<sup>[20-21]</sup>来实现监测与预警。但大多监测预警模型是通过量化单一特征进行健康监测和疾病诊断,少有的商用蛋鸡养殖机器人也只结合了死鸡识别和环控数据监测,缺乏综合多种特征的信息监测和诊断分析,忽略了数据间的多源联系和技术耦合。而蛋鸡养殖以高效生产为最终目标,没有建立有关蛋鸡健康状况的评价指标体系和评价标准,这也在一定程度上使得各监测预警技术之间整合程度差、诊断标准不统一,无法综合多种特征对蛋鸡的健康状况进行综合评价,从而制约了成套智能化蛋鸡健康监测和疾病预警设备的开发设计。因此构建科学合理的蛋鸡亚健康指标体系,可以形成评价蛋鸡健康状况的评价量表,从而细分蛋鸡的健康状况,为多种智能化的健康监测技术和疾病预警技术耦合提供科学依据。

#### 3.2 评价指标体系的科学性以及合理性

蛋鸡的健康受环境、饲养管理等方面的影响,处于亚健康的蛋鸡主要表现为生长缓慢、活力以及免疫力下降、羽毛粗乱、生产性能降低和产沙壳蛋、畸形蛋等不合格蛋比例上升<sup>[22]</sup>。在项目前期鸡场调研、兽医专家交流和文献资料研究的基础上,产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系从蛋鸡的健康状况、行为表现、生产性能以及养殖环境4个方面构建基本框架,亚健康评价指标体系的涵盖范围较为全面,各指标间相互独立且兼具联系和层次性。本研究主要采用专家咨询法和层次分析法确定产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系并设置权重,其中包含4个一级指标和27个二级指标,为蛋鸡亚健康的评价提供了工具。在指标体系评价阶段,选取的畜牧兽医专家主要从事蛋鸡的养殖或疾病研究工作,覆盖了高校、研究所、一线

养殖企业,咨询专家副高级职称以上比例达100%,平均工作年限达24年,具有丰富的实践及理论研究经验。咨询数据分析显示,咨询专家对本研究的积极性、熟悉程度和权威系数均较高,对亚健康评价指标的判断依据都来自于理论基础和实际工作经验,评价意见具有一致性,因此可认为本次咨询结果可取。层次分析法是定性和定量相结合解决多目标复杂问题常用的一种方法<sup>[23]</sup>。采用层次分析法,依据专家对指标的重要性评分构建判断矩阵,进行一致性检验并通过,最后确定指标权重,保证了指标权重的客观性和严谨性。

本研究的产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价体系具有较好的灵活性,虽然受指标信息的可获得性以及丰富度的制约,会对蛋鸡亚健康评价结果造成影响,但只要灵活运用仍可以获得较为可靠的评价。同时产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系可以灵活应用于蛋鸡生产的其他阶段,例如可删除本研究指标体系中的表现性发育状态的鸡冠指标以及有关产蛋性能的相关指标来构建蛋鸡育成期的亚健康评价体系。

### 3.3 评价体系的局限性

本研究针对产蛋高峰期的蛋鸡构建了亚健康评价体系,对科学合理评估蛋鸡健康状况进行了初步研究,但本研究也存在一定局限性,采样专家咨询法和层次分析法构建蛋鸡亚健康评价指标体系可能会存在咨询专家的主观因素,且咨询专家较少,结果的普遍性有待进一步验证。同时还未进行实际应用,各项评价指标的区分度以及代表性还需实际研究验证。基于本次研究结果,下一步将对产蛋高峰期蛋鸡亚健康评价指标体系进行实践研究验证,将其各项指标和评价结果与临床生理、生化等方面的检测诊断进行关联分析,验证其作为蛋鸡亚健康评价指标的可靠性,从而完善亚健康评价指标体系,为准确评估产蛋高峰期蛋鸡的健康状况提供参考依据。

#### 参考文献 References:

- [1] 卢德勋. 动物营养学科发展在战略方向上的重大突破:构建动物健康营养理论和技术体系及其实际应用[J]. 动物营养学报,2021,33(1):1-12.  
Lu D X. A major breakthrough in development of animal nutrition in strategic direction:building an animal health and nutrition theory and technology system and its application[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2021,33(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [2] 姚文,邓为,许毅,等. 家禽亚健康状态监测与健康预警展望[J]. 南京农业大学学报,2023,46(4):635-644. DOI:10.7685/jnau.202212018.  
Yao W,Deng W,Xu Y,et al. Poultry sub-health status monitoring and health warning prospect[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2023,46(4):635-644(in Chinese with English abstract).
- [3] 薛允莲. 中国城镇居民亚健康评定量表的常模制定及亚健康状态影响因素模型的构建研究[D]. 广州:南方医科大学,2020.  
Xue Y L. Norm establishment for sub-health measurement scale(SHMS V1.0)in Chinese urban residents and construction study of influencing-factor models for sub-health status[D]. Guangzhou:Southern Medical University,2020(in Chinese with English abstract).
- [4] 张金华. 亚健康评定量表的初步编制[D]. 广州:南方医科大学,2010.  
Zhang J H. Development of sub-health measurement scale[D]. Guangzhou:Southern Medical University,2010(in Chinese with English abstract).
- [5] Butterworth A,Arnould C,van Niekerk T G C M,et al. Welfare Quality<sup>®</sup>, Assessment Protocol for Poultry (Broilers, Laying Hens) [M]. Lelystad,Netherlands:Welfare Quality<sup>®</sup> Consortium,2009:1-142.
- [6] de Jong I C,Hindle V A,Butterworth A,et al. Simplifying the Welfare Quality<sup>®</sup> assessment protocol for broiler chicken welfare[J]. Animal,2016,10(1):117-127.
- [7] da Rocha B P,Driessen B,McDonnell S M,et al. A critical evaluation for validation of composite and unidimensional postoperative pain scales in horses[J]. PLoS One,2021,16(8):e0255618.
- [8] Holton L,Reid J,Scott E M,et al. Development of a behaviour-based scale to measure acute pain in dogs[J]. The Veterinary Record,2001,148(17):525-531.
- [9] Minka N S,Ayo J O. Assessment of the stresses imposed on adult ostriches (*Struthio camelus*) during handling, loading, transportation and unloading[J]. The Veterinary Record,2008,162(26):846-851.
- [10] Wen P,Li L H,Xue H,et al. Comprehensive evaluation method of the poultry house indoor environment based on gray relation analysis and analytic hierarchy process[J]. Poultry Science,2022,101(2):101587.
- [11] 薛本立,薛雅卿,郑晓,等. 健康促进行动领域视角下中小学近视防控示范校评价指标体系构建研究[J]. 现代预防医学,2023,50(1):91-96.  
Xue B L,Xue Y Q,Zheng X,et al. Construction of the evaluation index system for myopia prevention and control demonstration school in primary and secondary school from the perspective of the action areas of health promotion[J]. Modern Preventive Medicine,2023,50(1):91-96(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈旭波,姜敏敏,顾文娟,等. 不同疾病阶段社区糖尿病管理质控评价指标体系构建[J]. 中国全科医学,2020,23(7):837-843.

- Chen X B, Jiang M M, Gu W J, et al. Construction of quality control evaluation system for community diabetes management in different disease stages[J]. Chinese General Practice, 2020, 23(7): 837-843 (in Chinese with English abstract).
- [13] 曹淳力, 徐俊芳, 许静, 等. 湖沼型血吸虫病流行区高危传播环境快速评估体系的构建和应用 I. 应用德尔菲法建立指标体系[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2013, 25(3): 232-236.
- Cao C L, Xu J F, Xu J, et al. Establishment and application of rapid assessment system of environment with high transmission risk of schistosomiasis in marshland and lake regions I. Establishment of an index system with Delphi method[J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2013, 25(3): 232-236 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李桂英, 柯福来, 朱凯, 等. 高粱品种生态适应性综合评价指标体系的构建与应用[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(2): 27-34.
- Li G Y, Ke F L, Zhu K, et al. Construction and application of evaluation index system for ecological adaptability of sorghum varieties[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(2): 27-34 (in Chinese with English abstract).
- [15] 毛智宇, 徐力刚, 赖锡军, 等. 基于综合指标法的鄱阳湖生态系统健康评价[J]. 湖泊科学, 2023, 35(3): 1022-1036.
- Mao Z Y, Xu L G, Lai X J, et al. Assessment on ecosystem health of Lake Poyang based on a comprehensive index method[J]. Journal of Lake Sciences, 2023, 35(3): 1022-1036 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李帅, 花立民, 杨思维. 高寒草甸健康评价方法的研究与应用[J]. 草原与草坪, 2022, 42(2): 1-10.
- Li S, Hua L M, Yang S W. Research and application of health assessment method in alpine meadow[J]. Grassland and Turf, 2022, 42(2): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [17] 闫东, 刘冠纯, 任兴宇, 等. 利用层次分析法和德尔菲法构建疾控机构鼠疫应急能力评价指标体系[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2022, 33(4): 568-572.
- Yan D, Liu G C, Ren X Y, et al. Construction of an evaluation index system for plague emergency response capability of disease control agencies using analytic hierarchy process and Delphi method[J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2022, 33(4): 568-572 (in Chinese with English abstract).
- [18] 李亚硕, 毛文华, 胡小安, 等. 基于机器视觉识别鸡冠颜色的病鸡检测方法[J]. 机器人技术与应用, 2014(5): 23-25.
- Li Y S, Mao W H, Hu X A, et al. Detection method of sick chickens based on machine vision recognition of comb color[J]. Robot Technique and Application, 2014(5): 23-25 (in Chinese).
- [19] Wu D H, Cui D, Zhou M C, et al. Information perception in modern poultry farming: a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 199: 107131.
- [20] 王琰翰, 张良, 高建波, 等. 蛋鸡健康监测和行为识别及死鸡移除系统研究进展[J]. 中国家禽, 2022, 44(10): 83-88.
- Wang L H, Zhang L, Gao J B, et al. Research progress on health monitoring, behavior recognition and dead chicken removal system for layer production[J]. China Poultry, 2022, 44(10): 83-88 (in Chinese with English abstract).
- [21] Huang J D, Wang W Q, Zhang T M. Method for detecting avian influenza disease of chickens based on sound analysis[J]. Biosystems Engineering, 2019, 180: 16-24.
- [22] 常剑鑫, 黄志琴. 家禽亚健康状态及其防治[J]. 中国家禽, 1999, 21(12): 31.
- Chang J X, Huang Z Q. sub-health status of poultry and its prevention and control[J]. China Poultry, 1999, 21(12): 31 (in Chinese).
- [23] 刘莹昕, 刘飒, 王威尧. 层次分析法的权重计算及其应用[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2014, 26(5): 372-375.
- Liu Y X, Liu S, Wang W Y. Computation of weight in AHP and its application[J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2014, 26(5): 372-375 (in Chinese with English abstract).

责任编辑:周广礼