



陈鲁晟,陈祺祥,陈玉仑,等.猪胴体重在线分级预测线性回归模型研究[J].南京农业大学学报,2024,47(4):803-808.

CHEN Lusheng, CHEN Qixiang, CHEN Yulun, et al. Study on linear regression model of pig carcass weight prediction for grading online[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(4): 803-808.

猪胴体重在线分级预测线性回归模型研究

陈鲁晟¹,陈祺祥²,陈玉仑^{2,3*},王胜²,李毅念²,李春保^{1,3}

(1.南京农业大学食品科学技术学院,江苏南京210095;2.南京农业大学工学院,江苏南京210031;

3.南京农业大学农业农村部畜产品加工重点实验室/教育部肉品加工与质量控制重点实验室,江苏南京210095)

摘要:[目的]针对国内大多数屠宰企业仍通过人工测量猪胴体背膘厚度,再结合胴体重对其进行分级,存在劳动强度大、作业效率低、人畜交叉污染风险高等问题,本文旨在建立猪胴体重预测模型,以便利用图像处理等技术获取模型中的相关参数,进而获得胴体重。[方法]在14:00—15:00、15:20—16:20、16:30—17:30三个时段内,随机选取按照标准化工艺屠宰后15 min左右、胴体重50~90 kg的猪胴体60头,在完成各试样前腿处横长(L_f)、1/2处横长($L_{1/2}$)、后腿处横长(L_r)、1/2处背膘厚度($t_{1/2}$)、胴体直长(L_l)及胴体重(w)等参数测定的基础上,建立不同的胴体重预测模型并进行优化及准确率验证。[结果]采用横长加权均值(L_c)代替背膘厚度,与直长建立的胴体重预测模型为 $w = 4.05L_c + 0.45L_l - 116.32$,其决定系数由0.48提高到0.96($P=0.01$),预测准确率最高达94.16%。[结论]采用横长加权均值减小了误差,建立的猪胴体重预测模型准确性较其他模型高。

关键词:猪胴体重;特征参数;预测;线性回归;模型

中图分类号:TS251.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)04-0803-06

Study on linear regression model of pig carcass weight prediction for grading online

CHEN Lusheng¹, CHEN Qixiang², CHEN Yulun^{2,3*}, WANG Sheng², LI Yinian², LI Chunbao^{1,3}

(1.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; 3. Key Laboratory of Animal Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract:[Objectives] In view of the fact that the backfat thickness of pig carcass is still measured manually in most slaughtering enterprises, and then pig carcasses are graded manually according to their weight and the backfat thickness, which results in such problems as labor intensive, time-consuming and high risk of disease transmission between humans and animals. This paper aimed to establish a prediction model for pig carcass weight. This model could be applied to predict the pig carcass weight and automatically grade pig carcass by using image processing and other technologies to obtain relevant parameters of the model from carcass. [Methods] Twenty pig carcasses removed hooves with weight 50-90 kg were selected respectively in the three periods of 14:00-15:00, 15:20-16:20 and 16:30-17:30 after pig had been slaughtered within 15 min according to standardized technology. The models for pig carcass weight prediction were established, optimized, and accuracy verified, on the basis of the measured parameters of carcasses' three widths ($L_f, L_{1/2}$ and L_r), length (L_l), backfat thickness ($t_{1/2}$) and weight (w). [Results] Test results showed that, by using weighted mean value of carcasses (L_c) instead of $t_{1/2}$, the carcass weight prediction model of $w = 4.05L_c + 0.45L_l - 116.32$ consisted of L_f, L_c and constant, its correlation coefficient (R^2) increased from 0.48 to 0.96, and significant coefficient was 0.01, and the prediction accuracy reached 94.16%. [Conclusions] The accuracy of the carcass weight prediction model established was further improved compared with other models due to reducing the error of the width by using weighted mean value.

Keywords: pig carcass weight; characteristic parameters; prediction; linear regression; model

2022年我国肉类总产量9 227万t,其中猪肉产量5 541万t,占比约为60%^[1-2]。随着社会经济的发展,人们的生活水平也不断提高,不同消费群体对猪肉的品质要求也发生了变化。对猪胴体进行分级,有利于实现优质优价、公平交易^[3-4]。然而,目前我国生猪屠宰企业仍通过人工测量猪胴体背膘厚度,结合

收稿日期:2023-09-09

基金项目:国家生猪产业技术体系项目(CARS-35)

*通信作者:陈玉仑,副教授,研究方向为畜产品加工装备设计、技术开发与质量控制, E-mail:Chenyulun@njau.edu.cn。

机械称重获得的胴体重对其进行分级,存在劳动强度大、作业效率低、人畜交叉污染风险高等问题。猪胴体重作为分级的重要指标^[5-7],虽然可以通过机械称重的方式获得,但该方法效率较低,且不便与采用图像处理或机器学习等方法获得的背膘厚度融合,实现胴体在线自动分级。

生猪体重或宰后胴体重与其体长、体宽、体高、臀围及背膘厚度等参数密切相关^[8-9],不同猪种体重与平均背膘厚度等呈显著正相关^[10-11]。随着胴体重的增加,莱芜猪背膘厚度变化不显著^[12];硒都黑公猪的胸围、体长、臀围与体重相关性较高,母猪的胸围、体长、臀围、体高、臀长与体重相关性较高,剔除回归系数不显著的体尺寸参数,硒都黑公猪和母猪体重最优回归方程的决定系数(R^2)分别为0.91和0.86($P < 0.01$)^[13];雌性内江猪的体长与体重相关性最高,雄性内江猪的体高与体重相关性最高,雌性和雄性内江猪的胸围与体重相关性均最低,其最佳体重预测模型的 R^2 分别为0.65和0.78^[14];不同日龄大白猪的体重回归模型显示,180日龄大白公猪与母猪体重最优回归模型的 R^2 分别为0.92、0.96,而210日龄大白公猪与母猪体重最优回归模型的 R^2 则分别为0.99、0.97^[15]。此外,Lun等^[16]基于二维图像,采用机器学习的方法,建立了不受生猪形态及光照环境影响的体重预测模型;Kongsro^[17]应用微软 Kinect 原型成像技术,利用红外深度图像,对生猪体重进行了估测;Tan等^[18]开发了基于深度视觉的动态生猪体重估计算法;Kawasue等^[19]设计了基于RGB-D传感器和AR眼镜的养殖场活猪体重预测系统。有关生猪宰后胴体重预测问题,唐毅^[20]采用图像处理获取相关体尺参数的方法,建立了胴体重与胴体面积和长宽比间的关系模型。

鉴于目前与生猪或其宰后胴体重预测的相关研究多围绕活体展开,仅唐毅^[20]建立了猪胴体重预测模型,且未作准确率验证。结合当前生猪宰后胴体分级作业存在的问题,本文旨在建立猪胴体重与体尺参数的较优预测模型,为采用图像处理等技术对其进行在线自动分级奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料 供试样品为江苏苏食淮安食品加工物流中心按照标准化工艺屠宰后15 min左右、三元杂交猪胴体[杜洛克父本×(长白父本×大白母本)],胴体重50~90 kg。

1.1.2 试验仪器 电子单轨秤(HBOY系列,江苏黑豹检测技术有限公司,精度为0.1 kg);称重显示器(XK3190-D10上海耀华称重系统有限公司)。

1.2 试验方法

由于企业在不同时段屠宰的生猪体重存在一定差异,为提高模型的可靠性,试验分别于14:00—15:00、15:20—16:20、16:30—17:30三个时段随机选取宰后15 min左右的猪胴体各20头,人工测得各试样的相关参数,记录胴体重,用不同参数组合拟合胴体重预测模型并进行优化、优选;试验重复5次。

1.2.1 特征参数确定 由于猪胴体形状不规则,不同位置横长存在一定差异,为能获得较准确的预测模型,选前腿处横长(L_f)、1/2处横长($L_{1/2}$)、后腿处横长(L_r)、胴体直长(L_t)、1/2处背膘厚度($t_{1/2}$)及胴体重(w)为特征参数(图1)。为保证各参数测定位置及方法规范、统一, L_t 规定为猪胴体前、后趾骨两端间的垂直距离, L_f 在前腿与腹部过渡凹点处, L_r 在后腿与腹部过渡凸点处, $L_{1/2}$ 和 $t_{1/2}$ 则在胴体中点处,皆垂直于 L_t 方向测定,分别记 L_f 和 L_r 2个参数的测定位置到胴体底部的垂直距离为 y_1 、 y_2 。

1.2.2 样本处理 将每次采集的60头猪胴体相关参数随机分为5组,根据“留一法”^[21-22],依次从中选取1组作为验证样本集,其余组作为训练样本集,分别用于胴体重预测模型拟合训练及效果分析。

1.2.3 胴体重预测模型建立 将猪胴体按50~60 kg、>60~70 kg、>70~80 kg、>80~90 kg及90 kg以上等分段统计,在完成相关参数正态分布检验、参数间相关性及其共线性分析的基础上,建立由不同参数组合构成的胴体重预测模型。

以 $L_{1/2}$ 、 $t_{1/2}$ 及 L_t 为自变量, w 为因变量,建立式(1)所示猪胴体重预测模型:

$$w_1 = 0.69L_{1/2} + 0.46t_{1/2} + 0.73L_t - 42.41 \quad (1)$$

以 $L_{1/2}$ 、 L_r 、 L_f 及 L_t 为自变量, w 为因变量,建立式(2)所示猪胴体重预测模型:

$$w_2 = 1.79L_f + 1.13L_{1/2} + 1.15L_r + 0.45L_t - 118.83 \quad (2)$$

采用因子分析法对 $L_{1/2}$ 、 L_f 及 L_r 进行归一化^[23]处理,即依据式(3)一式(5)分别计算各成分得分、权重,得横长加权均值 L_e ,以 L_e 和 L_t 为自变量, w 为因变量,建立式(6)所示猪胴体重预测模型:

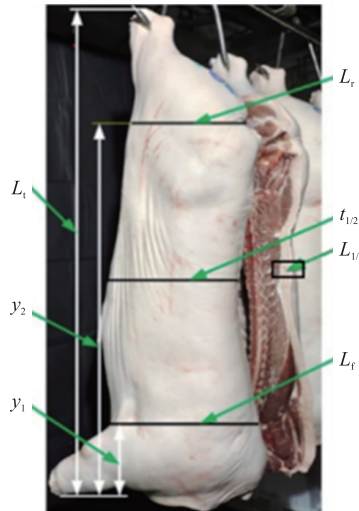


图 1 各参数示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the parameters

L_f :前腿处横长; $L_{1/2}$:1/2 处横长; L_r :后腿处横长; L_e :胴体直长; $t_{1/2}$:1/2 处背膘厚度; y_1, y_2 : L_f 和 L_r 2 个参数的测定位置到胴体底部的垂直距离。

L_f :Horizontal length at the front leg; $L_{1/2}$:Horizontal length at 1/2; L_r :Horizontal length at the hind legs; L_e :Carcass straight length; $t_{1/2}$:Back fat thickness at 1/2; y_1, y_2 :The vertical distance from the measurement position of parameters L_f and L_r to the bottom of the carcass.

$$T_i = \frac{Z_{score_i}}{\sqrt{\lambda_i}} \tag{3}$$

$$W_i = \frac{T_i}{T_f + T_{1/2} + T_r} \tag{4}$$

$$L_e = W_f L_f + W_{1/2} L_{1/2} + W_r L_r \tag{5}$$

$$w_3 = 4.05 L_e + 0.45 L_f - 116.32 \tag{6}$$

以上各式中: T_i 为成分 i 得分; Z_{score_i} 为主成分标准化系数; λ_i 为主成分特征根; $T_f, T_{1/2}, T_r$ 为分别为前腿处、1/2 处及后腿处横长的主成分得分; W_i 为成分 i 的权重; $W_f, W_{1/2}, W_r$ 为分别为前腿处横长、1/2 处横长、后腿处横长的权重。

1.2.4 模型评价 为能客观评价模型的预测效果,将验证集样本相关数据代入各模型获得其预测值,依据式(7)一式(9)分别计算各模型预测值的平均绝对百分比误差(MAPE)、均方根误差(RMSE)及准确率(ACC)。

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\% \tag{7}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i|^2} \tag{8}$$

$$ACC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{|F_i - A_i|}{F_i} \times 100\% \right] \tag{9}$$

以上各式中: A_i 为实际值; F_i 为预测值; $MAPE$ 为平均绝对百分比误差,衡量预测准确性的统计指标,一般介于 0~10,数值越小准确性越高; $RMSE$ 为均方根误差,反映预测值与实际值的偏差,越小越好。

1.3 数据处理

采用 Origin 2017 进行各参数与胴体重相关性分析,采用 SPSS 22.0 软件进行胴体重正态分布及模型显著性检验。

2 结果与分析

2.1 猪胴体各横长权重

依据式(3)一式(5)计算所得胴体各横长的主成分特征根(λ_i)、标准化系数(Z_{score_i})、成分得分(T_i)和

权重(W_i),由表 1 可以看出,胴体的 3 处横长中,前腿处横长权重最大,后腿处横长权重最小,分别为 0.37 和 0.28。结合图 1 可知,猪胴体各横长权重与其值成正比。

表 1 通过因子分析法计算的猪胴体各横长的特征根、标准化系数、成分得分及权重

Table 1 $\lambda_i, Z_{scorei}, T_i$ and W_i of pig carcass width calculated by factor analysis

成分 Factor	特征根(λ_i) Characteristic root	标准化系数(Z_{scorei}) Standardized coefficient	成分得分(T_i) Score of factor	权重(W_i) Weight
前腿处横长(L_f) Carcass width at foreleg position	2.24	0.95	0.63	0.37
后腿处横长(L_r) Carcass width at rearleg position	0.43	0.73	0.49	0.28
1/2 处横长($L_{1/2}$) Carcass width at the middle position	0.33	0.90	0.60	0.35

2.2 猪胴体重预测模型拟合效果

不同参数组合猪胴体重预测模型的决定系数(R^2)及 P 值如表 2 所示。从表 2 可以看出,猪胴体重预测模型中,模型 1 的决定系数最小,为 0.48;由胴体 3 处横长及直长拟合得到的模型 2,其决定系数为 0.95;而由 3 处横长加权均值及直长拟合获得的模型 3,其决定系数最大,为 0.96;各模型的 P 值皆不大于 0.05,说明模型中各拟合参数与胴体重皆显著相关。

表 2 猪胴体重预测模型拟合效果

Table 2 Fitting effect of pig carcass weight prediction models

预测模型 Model for prediction	拟合方程 Fitting equation	决定系数(R^2) Coefficient of determination	P 值 P -value
1	$w_1 = 0.69L_{1/2} + 0.46t_{1/2} + 0.73L_1 - 42.41$	0.48	0.05
2	$w_2 = 1.79L_f + 1.13L_{1/2} + 1.15L_r + 0.45L_1 - 118.83$	0.95	0.03
3	$w_3 = 4.05L_e + 0.45L_1 - 116.32$	0.96	0.01

2.3 猪胴体重预测模型准确率

不同参数组合构成的胴体重预测模型的平均绝对百分比误差、均方根误差及准确率计算结果如表 3 所示。从表 3 可见,采用胴体多处横长或其加权均值代替 1/2 处背膘厚度,再结合直长拟合获得的胴体重预测模型,其平均绝对百分比误差和均方根误差均明显减小,而预测准确率则明显提高。各胴体重预测模型中,由胴体 1/2 处横长、1/2 处背膘厚度及直长拟合获得的模型 1,其平均绝对百分比误差和均方根误差均最大,预测准确率最低,其值分别为 0.24%、8.36 kg 和 75.74%。而采用 3 处横长加权均值代替 1/2 处背膘厚度结合胴体直长拟合获得的模型 3,其平均绝对百分比误差和均方根误差均最小、预测准确率最高,其值分别为 0.08%、2.25 kg 和 94.16%。

表 3 猪胴体重预测模型误差及准确率

Table 3 Error and accuracy of pig carcass weight prediction model

预测模型 Model for prediction	拟合方程 Fitting pig carcass weight equation	平均绝对百分比误差/% Mean absolute percentage error	均方根误差/kg Root mean squared error	准确率/% Accuracy
1	$w_1 = 0.69L_{1/2} + 0.46t_{1/2} + 0.73L_1 - 42.41$	0.24	8.36	75.74
2	$w_2 = 1.79L_f + 1.13L_{1/2} + 1.15L_r + 0.45L_1 - 118.83$	0.11	3.35	91.42
3	$w_3 = 4.05L_e + 0.45L_1 - 116.32$	0.08	2.25	94.16

3 讨论与结论

3.1 胴体重预测模型拟合效果

体重作为生猪生长、健康状态监测及猪胴体分级的重要指标,与生猪或宰后胴体的体长、体宽、背膘厚度等体尺参数密切相关。本研究采用 3 处横长加权均值代替 1/2 处背膘厚度,结合胴体直长建立的胴体重预测模型 3($P < 0.1$),其决定系数为 0.96,显著高于由 1/2 处横长、1/2 处背膘厚度及直长等所建立模型 1 的决定系数(0.48),而且较唐毅^[20]采用胴体面积、长宽比所建立的预测模型的决定系数(0.91)也有一定的提高,说明合理选择参数并对相关数据进行科学处理,有助于提高模型的预测效果。

一般来说,模型决定系数越高,其预测效果越好。本研究中,模型 3 的决定系数高于晒都黑公猪以体长、胸围和臀围,母猪以体高、体长、胸围、臀长和臀围为自变量所建立的最优胴体重预测模型的决定系数^[13],高于以体长、体高和胸围为自变量所建立的雄性和雌性内江猪最佳体重预测模型的决定系数^[14],高于以体长、腹围和背膘等参数为自变量所建立的 180 日龄大白公猪胴体重预测模型的决定系数。参照欧洲共同体猪胴体分级标准关于估测公式中 $R^2 > 0.8$ 的要求^[24],模型 3 能较好反映各参数与胴体重的关

系,说明其具有较好的预测效果。

3.2 胴体重预测模型准确率

本研究中模型1的胴体重预测准确率为75.74%,明显低于模型2(91.42%)和模型3(94.16%)的预测准确率,其原因在于1/2处背膘厚度与胴体横长、直长在数值上存在数量级差异,测量易产生较大误差。采用因子分析法合理确定各横长权重、用横长加权均值代替3处横长或1/2处背膘厚度建立模型,既消除了背膘厚度的测量误差,又减小了3处横长因权重分配不合理而产生的误差。模型3的预测准确率虽然略低于Kongsro^[17]应用微软Kinect的原型成像系统的预测准确率,但其均方根误差(RMSE)和平均绝对百分比误差(MAPE)均优于Tan等^[18]开发的基于深度视觉的动态生猪体重估算模型,能满足胴体重预测要求,便于利用图像处理等技术^[25]直接测定模型中的相关参数值而获得胴体重。

基于因子分析法获得猪胴体前、后腿及1/2处横长的加权均值,结合直长建立的胴体重预测模型 $w_3 = 4.05L_e + 0.45L_l - 116.32$,其决定系数及准确率分别达到0.96和94.16%,预测精度高、稳定性好($P=0.01$),不仅为猪胴体重预测相关研究提供了参考,还为后续利用其他技术获取猪胴体相关体尺参数,进而实现其在线自动分级奠定了理论基础。

参考文献 References:

- [1] 张海峰,郑建明,王楠,等. 2022年我国生猪生产情况以及未来发展趋势[J]. 中国猪业,2022,17(4):13-16,22.
Zhang H F,Zheng J M,Wang N, et al. Production situation and future development trend of live pigs in China in 2022[J]. China Swine Industry,2022,17(4):13-16,22(in Chinese).
- [2] 李凡. 中国畜禽肉类生产的时空演变及影响因素[D]. 兰州:兰州大学,2022.
Li F. Spatio-temporal evolution of livestock and poultry meat production and its influencing factors in China[D]. Lanzhou:Lanzhou University, 2022(in Chinese with English abstract).
- [3] 王继鹏,涂宝峰,葛雨萱,等. 国内外猪胴体分级研究进展[J]. 肉类工业,2022(6):37-40.
Wang J P,Tu B F,Ge Y X, et al. Research progress of pig carcass grading at home and abroad[J]. Meat Industry,2022(6):37-40(in Chinese with English abstract).
- [4] 张楠,周光宏,徐幸莲. 国内外猪胴体分级标准体系的现状与发展趋势[J]. 食品与发酵工业,2005,31(7):86-89.
Zhang N,Zhou G H,Xu X L. Developmental status trends of pig carcass grading system in China and other countries[J]. Food and Fermentation Industries,2005,31(7):86-89(in Chinese with English abstract).
- [5] Hwang Y H, Lee S J, Lee E Y, et al. Effects of carcass weight increase on meat quality and sensory properties of pork loin[J]. Journal of Animal Science and Technology,2020,62(5):753-760.
- [6] Kim G W, Kim H Y. Effects of carcass weight and back-fat thickness on carcass properties of Korean native pigs[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources,2017,37(3):385-391.
- [7] Barducci R S,Zhou Z,Tulpan D, et al. Relationship between carcass weight, muscle, fat, and predicted lean yield for commercial pigs in Ontario[J]. Meat and Muscle Biology,2019,3(2):107.
- [8] 宋粤湘,高虎,张跃博,等. 宁乡猪及杜宁二元杂种猪的胴体与肉质性状测定[J]. 中国畜牧杂志,2021,57(4):68-72.
Song Y X,Gao H,Zhang Y B, et al. Carcass and meat quality traits determination and correlation analysis of Ningxiang pig and its binary cross[J]. Chinese Journal of Animal Science,2021,57(4):68-72(in Chinese with English abstract).
- [9] 李业国,高峰,周光宏,等. 良种猪胴体性状分析及瘦肉率最佳预测模型筛选研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(6):1083-1085.
Li Y G,Gao F,Zhou G H, et al. Analysis of carcass characteristics and study on the best model of leanest-bred pigs[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2006,34(6):1083-1085(in Chinese with English abstract).
- [10] Bahelka I, Hanusová E, Peškovičová D, et al. The effect of sex and slaughter weight on intramuscular fat content and its relationship to carcass traits of pigs[J]. Czech Journal of Animal Science,2007,52(5):122-129.
- [11] 吴昊旻,薛云,陆雪林,等. 托佩克三元猪不同体重阶段胴体性能和肉质性能分析[J]. 养猪,2021(3):57-60.
Wu H M,Xue Y,Lu X L, et al. Analysis on carcass characteristics and meat quality of topigs three-way crossbred pigs at difference weight stages[J]. Swine Production,2021(3):57-60(in Chinese with English abstract).
- [12] 任一帆,高世超,赵雪艳,等. 莱芜猪胴体重、背膘厚和肌内脂肪含量的相关分析[J]. 山东农业科学,2021,53(10):109-115.
Ren Y F,Gao S C,Zhao X Y, et al. Correlation analysis among carcass weight, backfat thickness and intramuscular fat content in Laiwu pigs[J]. Shandong Agricultural Sciences,2021,53(10):109-115(in Chinese with English abstract).
- [13] 李梓芄,董斌科,孙华,等. 硒都黑猪体重与体尺指标的通径分析及最优回归模型的建立[J]. 养猪,2022(1):63-67.
Li Z P,Dong B K,Sun H, et al. Path analysis and optimum regression equation between body size and body weight of xidu-black pigs[J]. Swine Production,2022(1):63-67(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈景运,甘麦邻,胡晓,等. 内江猪生长曲线拟合及体重预测模型构建[J]. 中国畜牧杂志,2023,59(8):76-80.
Chen J Y,Gan M L,Hu X, et al. Growth curve fitting and weight prediction model construction of Neijiang pig[J]. Chinese Journal of Animal

- Science, 2023, 59(8): 76–80 (in Chinese).
- [15] 刘琦. 大白猪体重尺和繁殖性状的通径分析及最优回归模型的建立[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
Liu Q. Pathway analysis of body weight, body size and reproductive traits of Yorkshire and establishment of optimal regression model[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [16] Lun K, Kim S J, Ji H W. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 153(8): 169–176.
- [17] Kongsro J. Estimation of pig weight using a Microsoft Kinect prototype imaging system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 109(11): 32–35.
- [18] Tan Z J, Liu J B, Xiao D Q, et al. Dual-stream fusion network with ConvNeXtV2 for pig weight estimation using RGB-D data in Aisles[J]. Animals 2023, 13(24): 3755.
- [19] Kawasue K, Wai P P, Win K D, et al. Pig weight prediction system using RGB-D sensor and AR glasses: analysis method with free camera capture direction[J]. Artificial Life and Robotics, 2023, 28(1): 89–95.
- [20] 唐毅. 基于机器视觉技术的猪胴体等级在线评定系统[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
Tang Y. On-line evaluation system of pig carcass grade based on machine vision technology[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [21] 齐丹丹, 刘佳欣. 基于支持向量机的中国猪肉产量预测研究[J]. 中国商论, 2021(1): 18–20.
Qi D D, Liu J X. Research on China pork production forecast based on support vector machine[J]. China Journal of Commerce, 2021(1): 18–20 (in Chinese with English abstract).
- [22] 文冰梅, 赵联文, 黄磊. AIC 准则与留一法交叉验证渐近等价的证明[J]. 统计与决策, 2022, 38(6): 40–43.
Wen B M, Zhao L W, Huang L. Proof of the asymptotic equivalence between AIC criterion and LOOCV[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(6): 40–43 (in Chinese with English abstract).
- [23] 杨寒雨, 赵晓永, 王磊. 数据归一化方法综述[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(3): 13–22.
Yang H Y, Zhao X Y, Wang L. Review of data normalization methods[J]. Computer Engineering and Applications, 2023, 59(3): 13–22 (in Chinese with English abstract).
- [24] Official Journal of the European Union. Council Regulation (EEC) No 3220/84 of 13 November 1984 determining the Community scale for grading pig carcasses as amended by Commission Regulation (EEC) No 3530/86 of 24 November 1986 and No 3513/93 of 14 December 1993 [EB/OL]. (1994–07–01) [2022–10–01]. http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexdoc!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&numdoc=31984R3220&model=guicheti.
- [25] 刘亚楠, 沈明霞, 刘龙申, 等. 基于机器视觉的母猪哺乳行为监测方法研究[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(2): 404–411. DOI: 10.7685/jnau.202106027.
Liu Y N, Shen M X, Liu L S, et al. Research on monitoring method of sow's nursing behaviour based on machine vision[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2022, 45(2): 404–411 (in Chinese with English abstract).

责任编辑: 沈波