

基于图像处理的鸡蛋新鲜度预测模型研究

Research on prediction model of egg freshness based on image processing

刘莹莹^{1,2,3} 钟南^{1,2,3}

LIU Ying-ying^{1,2,3} ZHONG Nan^{1,2,3}

(1. 华南农业大学工程学院, 广东 广州 510642; 2. 教育部南方农业机械与装备关键技术重点实验室, 广东 广州 510642; 3. 广东省食品质量安全重点实验室, 广东 广州 510642)

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment [South China Agricultural University], Ministry of Education, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

摘要:采集 98 枚不同贮藏时间鸡蛋图像信息,测量鸡蛋蛋重、蛋白及气室高度等新鲜度常规指标,以 Matlab 图像处理工具箱为研究工具,测量蛋黄面积比、气室高度及整蛋长短径,通过 SPSS 统计分析蛋重与整蛋长短径和气室高度关系回归模型,蛋白高度与蛋黄面积比、气室高度等关系模型;以蛋重及蛋白高度为特征参数,利用深度信念网络建立预测模型,进行新鲜度预测分级。所建蛋重及蛋白高度预测模型相关系数分别为 0.942 和 0.925,新鲜度分级准确率为 93.3%。结果表明:该试验所设计基于图像处理数据的鸡蛋新鲜度分级模型准确率高,采集装置简单,可用于估测鸡蛋新鲜度。

关键词:新鲜度;分级;图像处理;深度信念神经网络

Abstract: Egg freshness is an important index to measure the economic quality of eggs, and 98 eggs' image information of different storage time were collected. In the meantime, the conventional index, includes the weight, the height of protein and chamber of the egg which reflects the egg freshness were measured. To receive a method of nondestructive examination, using MATLAB image processing toolbox as a research tool to measure the area ratio of egg yolk, chamber height and length of the whole egg size. Analyzing the regression model between weight and chamber height, whole egg's major-minor axis, the regression model between protein height and yolk area ratio, chamber height, etc. by SPSS; The egg weight and albumen height were selected to be characteristic parameter to establish the prediction model of fresh grade with DBN (Deep Belief Network), and the well trained network is used to estimate the degree of

freshness of the corresponding target. Experimentally found that the correlation coefficients were 0.942 and 0.925 which made by the prediction model of weight and Albumen Height, and the DBN's classification accuracy of fresh-ness grade is 93.3%. The results showed that the design of egg freshness prediction based on image processing data has high accuracy and low cost, which can be used to estimate egg freshness.

Keywords: freshness; classification; image processing; Deep Belief Network

鸡蛋作为蛋类消费品的主导者,为人体提供丰富的蛋白质、脂肪、矿物质和各种维生素等,营养价值极高。鸡蛋品质与其贮藏期息息相关,随着存放时间的延长,蛋内品质会发生物理、化学及微生物等方面的变化。哈夫单位是表征鸡蛋新鲜度的重要参数,其值越高,表示蛋清黏稠度越好,蛋清品质越高^[1],即新鲜度越高。鸡蛋新鲜度的高低不仅影响口味的好坏,同时直接决定人体蛋白质等各种营养物质吸收程度的高低。

国内外学者在鸡蛋新鲜度的检测方面已有多年的研究历史,其中无损检测技术及手段已日趋完善及高效,光谱分析、气敏传感器检测、机器视觉、超声波等无损检测技术深受欢迎。在光谱分析方面,毕夏坤等^[2-5]采集不同贮藏时间鸡蛋近红外透射光谱,建立鸡蛋品质光谱模型,对鸡蛋新鲜度及货架期进行判别;王巧华等^[6-7]利用高光谱仪采集鸡蛋高光谱透射图像,选用高光谱二阶微分建立哈夫单位值预测模型;Bart J Kemps 等^[8]采集鸡蛋可见透射光谱,建立哈夫单位和蛋白 pH 偏最小二乘(PLS1)模型,发现哈夫单位和蛋白 pH 值具有相同的物理化学背景;在气敏传感器检测方面,刘明等^[9-10]利用电子鼻检测不同货架期鸡蛋气味,验证了气敏传感器及模式识别方法区分货架期鸡蛋新鲜度可行性;在机器视觉方面,王巧华等^[11-13]采集鸡蛋透射光图像,通过图像处理,提取

基金项目:广东省科技计划项目(编号:2017A020208059)

作者简介:刘莹莹,女,华南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:钟南(1965—),女,华南农业大学教授,博士生导师,博士。

E-mail:zhongnan@scau.edu.cn

收稿日期:2017-09-01

L 分量使整蛋及气室特征显现,提取 R 或 G 分量分离鸡蛋蛋黄,利用蛋黄面积比、气室面积比、蛋黄椭圆系数及气室高度与整蛋长轴比值等建立新鲜度关系模型;祝志慧等^[14]通过 VFW 视频捕获鸡蛋图像,提取蛋芯区域的 H、I、S 值作为衡量新鲜度的因子,建立鸡蛋品质识别模型;在超声波方面,Aboonajmi 等^[15]采用非破坏性超声波方法研究了不同贮藏时间鸡蛋超声波信号变化过程,发现超声信号峰值在时域内的振幅随贮存天数的增加而增大。在建模方法上都是采用数理统计模型,除 BP 神经网络外,其它机器学习算法鲜有应用。

本试验以 Matlab 为开发工具,利用图像处理技术提取建模所需特征参数;为解决传统 BP 神经网络预测结果不稳定性问题,提出深度信念网络建模方法;用实测数据训练深度信念网络,图像处理数据验证网络准确率。测量方式上以图像处理手段代替传统人工测量,从而解决传统人工测量方法中出现的不可抗拒的,由主观意识造成的人工误差等问题;建模方法上用深度信念网络模型优化传统 BP 神经网络模型,提高预测结果准确性及稳定性,为便捷、稳定、低价估测鸡蛋新鲜度等级提供方法指导。

1 材料与方法

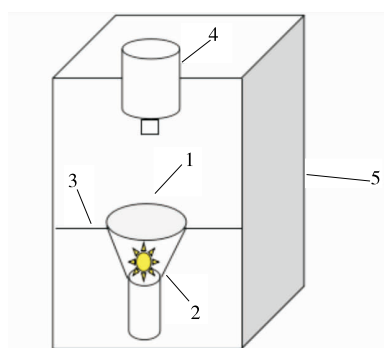
1.1 试验材料选择

试验样品购于华南农业大学原种鸡场,大小均匀的当日产新鲜鸡蛋 120 枚,去除表面脏物,按数字顺序 1~120 进行编号,贮存于 26~29℃,相对湿度 75%~87% 的室内环境中;其中编号 1~100 的鸡蛋为实测组,编号 101~120 为失重率检测组;其中,实测组鸡蛋分别进行图像采集及物理指标测量,失重率检测组鸡蛋在整个试验周期内进行失重率测量。

1.2 鸡蛋图像采集装置

图像采集装置由光源、相机、蛋托、暗箱组成。其中,光源选用 3.7 V,3 W 的 LED 灯,相机选用 iPhone 6 自带相机(光圈值 $f/2.2$,焦距 4 mm),图片分辨率为 $3\,264 \times 2\,448$;采集装置见图 1。

图像采集装置中,相机镜头距透光孔(10+1) cm,暗箱长 15 cm,宽 10 cm,高 30 cm;图像采集过程在无风无强光照射的室内环境中进行。



1. 鸡蛋样本 2. 光源 3. 蛋托 4. 相机 5. 暗箱

图 1 图像采集装置

Figure 1 Image collecting device

(1) 实测组于采购第 2 天开始,第 2~9 天每天取 3 枚鸡蛋,第 10~19 天每天取 6 枚,第 19 天之后每天取 3 枚,分别将其置于透光孔之上,确保被测鸡蛋与透光孔之间无缝隙,用铅笔标记气室位置,通过相机采集鸡蛋图像信息传至电脑保存;直至第 25 天出现散黄蛋终止试验,除去测量过程中人为失误打破一枚鸡蛋,共计采集 98 枚鸡蛋图像信息。

(2) 对采集到的图像信息进行去噪、颜色空间提取^[16]、二值化、形态学操作及边缘曲线拟合等处理以提取蛋黄、气室及整蛋形状及面积信息。

1.3 鸡蛋物理参数采集仪器

1.3.1 器材

电子天平: CX-I2000 型,东莞市南城长协电子制品厂;
游标卡尺: 第三代 IP54 级,鲁匠工具有限公司。

1.3.2 试验步骤

(1) 采集图像后的鸡蛋用电子天平测量重量,重复 3 次,取平均值。

(2) 用游标卡尺测量整蛋长短径。

(3) 沿短径方向轻轻打破鸡蛋,将其平铺在水平校正后的培养皿上,避开系带,测量蛋黄边缘与浓蛋白边缘中点成等边三角形的三点浓蛋白高度,取平均值为所测蛋白高度^[17]。

(4) 在蛋黄表面不同方位取 3 条穿过蛋黄中心直线测蛋黄直径,结果取平均值为最终所测蛋黄直径。

(5) 垂直于培养皿,测量距蛋黄中心 2 cm 内不同位置蛋黄高度,测量 3 次,取平均值为最终所得蛋黄高度。

(6) 将打破壳的鸡蛋钝端气室高度位置用铅笔画出,并从蛋壳打破口按螺旋状将气室区域小心剪出,将气室区域蛋壳平放于水平桌面,气室顶点垂直于桌面进行气室高度测量,取 3 次测量平均值为最终所测气室高度。

(7) 由上述步骤中测得蛋重及蛋白高度,按式(1)计算鸡蛋新鲜度(哈夫值):

$$Hu = 100 \times \lg(H + 7.57 - 1.7 \times w^{0.37}), \quad (1)$$

式中:

Hu ——哈夫值;

H ——蛋白高度,mm;

W ——蛋重,g。

哈夫单位值是美国农业部蛋品标准规定的检验和表示蛋品新鲜度的指标,综合比较了蛋重与蛋白高度 2 个表征鸡蛋新鲜度因子。

1.4 鸡蛋新鲜度等级预测模型神经网络的选择

神经网络是一种通过模拟人脑神经系统,对真实世界物体做出交互反应的学习算法,其基本组成单元是神经元模型;神经网络有较强的自学习、自适应能力和强容错性,可以建立更加接近人类思维模式的综合评价模型^[18]。

本试验选取 2 种神经网络(BP 神经网络及深度信念网络)作为鸡蛋新鲜度等级预测模型,比较二者在结构与性能上的差异。

1.4.1 BP 神经网络 BP 神经网络是一种利用误差反向传播训练算法的前馈型网络^[19],由输入层、隐含层、输出层三

部分组成,结构简单,上下层之间实行权连接,每层神经元之间无任何连接^[20];BP 神经网络可以根据误差反复修正权值和阈值,使误差函数值达到最小,因而有利于信号校正^[21]。

1.4.2 深度信念网络 深度信念网络(Deep Belief Network, 简称 DBN)是一种使用层叠限制波尔兹曼机组成深度神经网络的方法。其中,受限波尔兹曼机(简称 RBM)由显层及隐层两层神经元组成,显层用于数据的输入与输出,隐层用作数据的特征检测器,且 RBM 中仅层间存在连接,层内神经元之间不存在连接^[22]。

DBN 训练过程主要分为预训练与调优两步:第一步,分别单独无监督训练每一层 RBM 网络,确保特征向量映射到不同特征空间时,都尽可能多地保留特征信息;第二步,在 DBN 的最后一层设置 BP 网络,接收 RBM 的输出特征向量作为它的输入特征向量,有监督地训练实体关系分类器。其中,RBM 网络训练模型的过程可以看作对一个深层 BP 网络权值参数的初始化,使 DBN 克服 BP 网络因随机初始化权值参数而容易陷入局部最优和时间长的问题^[23]。

2 鸡蛋特征提取

2.1 整蛋面积提取

考虑到采集图像过程中的机器及人为操作上的不当引起的图像噪声问题,首先对整蛋 RGB 空间图像进行均值滤波以消除噪声^[24];同时因图像采集装置中透光孔及鸡蛋之间无缝隙,即光源所发射的光只聚集在鸡蛋样品上,采用 YUV 颜色空间中的 Y 颜色分量提取整蛋二值图像。在 YUV 颜色空间中,Y 代表亮度,也是指图像的灰度值;U、V 表示的则是色度,作用是描述影像色彩及饱和度,用于指定像素的颜色,即 U、V 代表色差,是构成彩色的两个分量;其中,U 反映了 RGB 输入信号红色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异,V 反映的是 RGB 输入信号蓝色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异^[25]。YUV 色彩空间的亮度信号 Y 和色度信号 U、V 是分离的,YUV 颜色空间可由 RGB 颜色空间经矩阵转换得到^[26]。

对原始图像均值滤波消除噪声后,将图像由 RGB 空间向 YUV 空间转换,提取 Y 分量,经图像亮度调整后,按照图像的灰度特性,将图像分成背景和目标两部分,使用最大类间方差法(Otsu)获得阈值得到整蛋二值图像;开、闭运算以消除因少数边缘漏光现象及蛋壳厚度不均等引起的杂点,对处理后的整蛋区域进行轮廓提取以方便进行整蛋面积椭圆拟合。

2.2 蛋黄轮廓提取

对去噪后的 RGB 图像进行彩色增强算法以增加图像彩色对比度,彩色增强后的图像颜色更加有利于颜色分量提取。鸡蛋蛋黄颜色一般为黄或近红色,对滤波后的图像进行彩色增强后发现,RGB 空间中 G 分量更容易进行蛋黄面积识别。因此,在彩色增强基础上进行 G 分量提取以识别蛋黄区域。

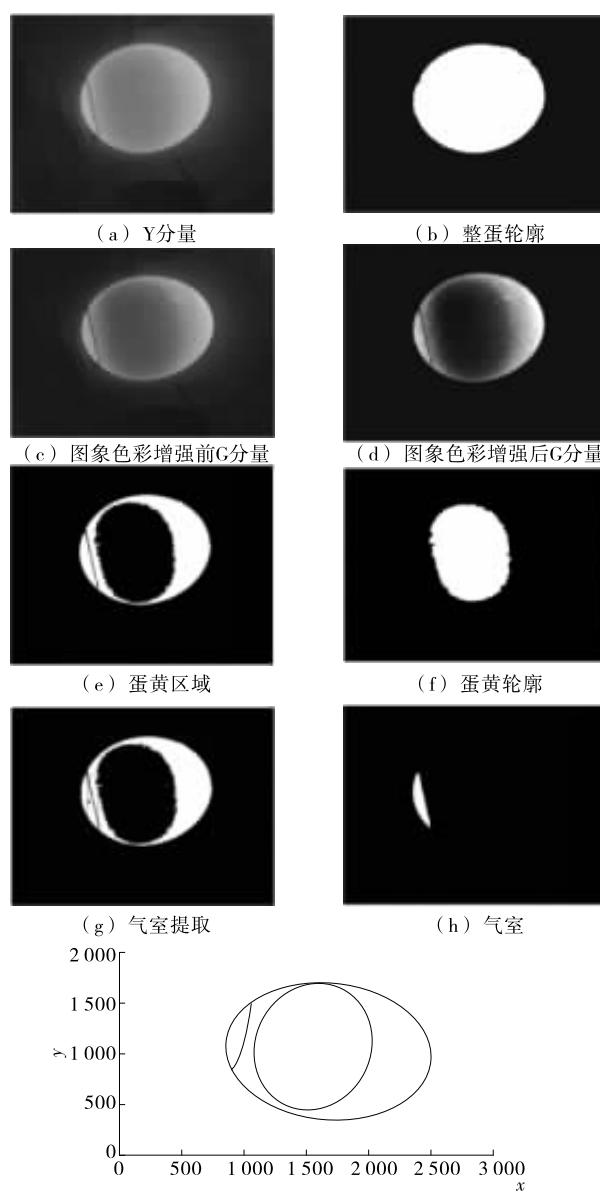
对 G 分量提取后的图像进行最大类间方差法(Otsu)获

得阈值使蛋黄区域凸显出来,然后进行开、闭运算(处理结构,'disk',10)以消除因少数漏光引起的部分蛋壳边缘留存以及因蛋壳厚度不均引起的蛋孔杂点。对处理后的蛋黄区域进行轮廓提取以方便进行蛋黄面积椭圆拟合。

2.3 气室特征提取

对蛋黄图像进行最大类间方差二值化处理后,因铅笔标记气室位置,气室区域将同时被检测出来;进行开、闭等形态学操作('disk',3)以平滑气室边缘,运用 bwlabel 语句进行连通区域提取,并用包含相应区域的最小矩形及质心('BoundingBox','Centroid')标记,进而进行气室提取,最后通过椭圆拟合得到气室形状参数。

通过上述整蛋、蛋黄及气室区域的处理,最终得到的整蛋、蛋黄及气室椭圆拟合结果。图像处理过程见图 2。



(i) 椭圆拟合形状由大到小依次代表整蛋轮廓,蛋黄轮廓及气室轮廓
椭圆拟合形状由大到小依次代表整蛋轮廓,蛋黄轮廓及气室轮廓

图 2 图像处理

Figure 2 Image processing

处理完成的鸡蛋图像利用 regionprops 语句度量鸡蛋整蛋、蛋黄及气室区域属性,并返回 Command Window 窗口进行显示,以便进行鸡蛋属性记录。

3 新鲜度预测模型

3.1 样本质量正态分布

采购当天对所购 120 枚鸡蛋样品称量质量,利用 SPSS 统计变量各个观测值的频数直方图并绘制正态曲线,同时结合正态分布的 Q—Q 图,对其进行正态分布检验,检验结果见图 3。

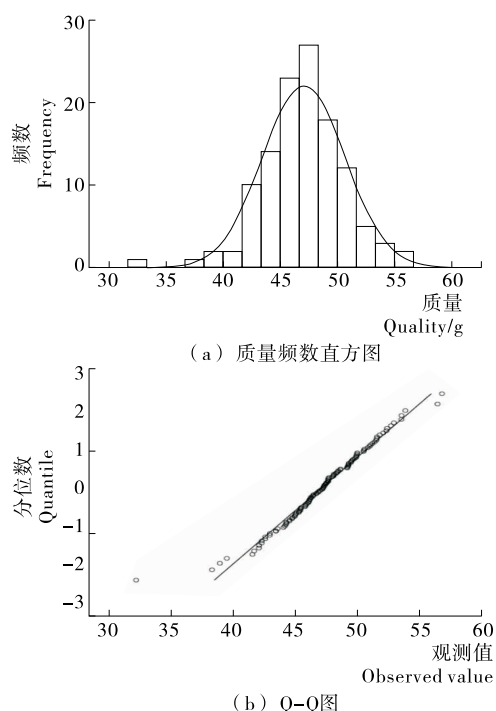


图 3 样本质量正态分布图

Figure 3 Quality normal distribution of samples

质量频数直方图中,横坐标为样本质量,纵坐标为样本质量出现的频数。从图 3 中可以看出,根据直方图绘出的曲线接近正态分布曲线;Q—Q 图中,横坐标为改变量的观测值,纵坐标是根据分布函数公式 $F(x) = i/n + 1$ 得出的分位数,其中 i 为把一组数从小到大排序后第 i 个数据的位置, n 为样本容量。若该数组服从正态分布则其 Q—Q 图应与理论的 Q—Q 图($y=x$ 直线)基本符合。综合直方图正态曲线及 Q—Q 图检验可知,所选样本质量分布符合正态分布。

3.2 鸡蛋质量失重率与贮藏时间关系

失重率检测组 20 枚未破坏鸡蛋在整个试验期内的质量变化与贮藏时间关系见图 4。

由图 4 可知,贮藏期间 20 枚鸡蛋样本质量损失呈上升趋势,随贮藏时间的越长,质量损失越多。

3.3 气室高度模型

气室位置一般处于鸡蛋钝端。考虑到鸡蛋大小不一引起蛋面距相机镜头距离不同,进而影响造成气室高度定标不同,故将上述图像处理后,并经椭圆拟合得到的像素单位下气室椭圆短轴乘以整蛋实测鸡蛋长径与整蛋拟合椭圆长轴

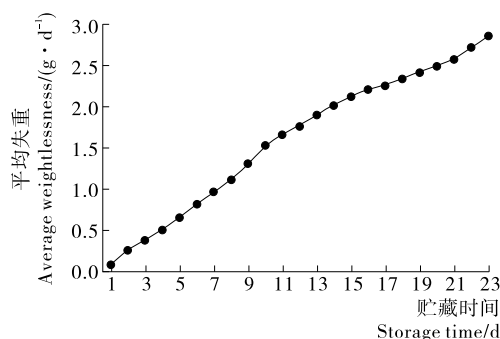


图 4 贮藏期间质量变化

Figure 4 Quality change during storage

(像素单位)之商为图像处理结果下的气室高度,单位为 mm。

3.4 蛋重预测模型

鸡蛋贮藏过程中,因蛋壳上面分布呼吸作用的气孔,储藏期间蛋内物质中的水分不断向外蒸发,导致鸡蛋蛋重减轻,鸡蛋的气室变化与质量损失有直接关系^[27],伴随着质量的损失,气室逐渐增大;由文献^[28]知,鸡蛋质量与横径有很好的相关性,与纵经也有一定相关性;据此,以气室高度、横径、纵经为因素,利用全回归法进行多因素分析,得到多元回归方程:

$$Y_1 = 2.39X'_1 + 0.89X'_2 - 0.343X'_3 - 95.081, R^2 = 0.942, \quad (2)$$

式中:

Y_1 ——蛋重, g;

X'_1 ——短径, mm;

X'_2 ——长径, mm;

X'_3 ——气室高度预测模型。

所得回归关系相关系数高,说明蛋重与气室高度、整蛋长短径有极显著线性相关关系。

3.5 蛋白预测模型

蛋白高度是表征鸡蛋新鲜度的重要指标,新产出的鸡蛋中,卵清蛋白约占总蛋白的 55%,鸡蛋在贮藏过程中,蛋白中卵清蛋白不可逆转地向 S-卵清蛋白转变^[29],蛋清浓厚蛋白逐渐减少,稀薄蛋白逐渐增加,蛋白高度逐渐降低^[30-31];蛋内水分通过蛋壳上的气孔向外蒸发,导致气室逐渐变大;蛋黄主要由蛋白质、水、脂肪等组成,不同贮藏时间的鸡蛋蛋黄扁平状不同,随着贮藏时间的延长,蛋清中水分不断向蛋黄中扩散^[32],导致蛋黄膜弹性变小,蛋黄形状由原先饱满圆形向扁平椭圆状发展;另外,除哈夫值以外,蛋黄指数也是评定鸡蛋新鲜度的主要指标^[33],鸡蛋越新鲜,蛋黄膜包得越紧,蛋黄指数就越高,在蛋清中水分向蛋黄扩散的同时,蛋黄中盐类以相反方向渗透^[34],导致蛋白纯度降低,继而影响蛋白发泡等食用性能^[35]。

考虑到因鸡蛋大小不一引起的后续新鲜度指标分析标准不一,以及因拍摄距离(相机镜头距蛋面距离)的微小变化引起鸡蛋整蛋和蛋黄区域面积的较大变化,故对蛋黄状态的分析选取蛋黄与整蛋面积比值为特征参数,进一步分析新鲜

度变化过程中鸡蛋蛋黄形态的变化。贮藏期间蛋黄指数与蛋黄面积比(蛋黄面积与整蛋面积比值)变化情况见图 5,由图 5 可知,鸡蛋贮藏过程中,蛋黄指数逐渐下降,蛋黄面积与整蛋面积比值逐渐上升。因此,随着贮藏时间的延长,蛋黄面积发生变化,新鲜度越高的鸡蛋,蛋黄高度越高,蛋黄面积越小。

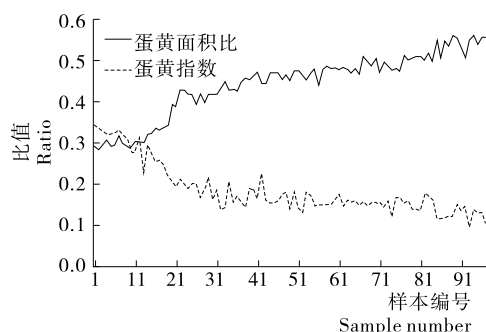


图 5 贮藏期间蛋黄指数与蛋黄面积比变化

Figure 5 Change of egg yolk index and egg yolk area ratio

据此,对蛋白高度与气室高度、蛋黄面积比、整蛋长径、蛋形指数(短径/长径)进行多元回归分析:

$$Y_2 = 51.115 - 15.274X''_1 - 0.136X''_2 - 0.862X''_3 + 1.394X''_4 - 65.589X''_5, R = 0.925, \quad (3)$$

式中:

Y_2 ——蛋白高度,mm;

X''_1 ——蛋黄面积比;

X''_2 ——气室高度,mm;

X''_3 ——长径,mm;

X''_4 ——短径,mm;

X''_5 ——蛋形指数。

3.6 鸡蛋新鲜度预测模型

鸡蛋新鲜度变化过程中,由哈夫单位计算公式知,蛋重及蛋白高度是影响鸡蛋新鲜度的关键因素。上述分析中可知,气室高度、蛋黄面积比随着贮藏时间的延长也发生了相应的变化。因此蛋重及蛋白高度预测模型中将蛋黄面积比、图像处理所得气室高度纳入鸡蛋新鲜度变化研究指标中。

据此,将图像处理与回归分析所得蛋重及蛋白高度预测结果代替实测蛋重与蛋白高度值,代入哈夫值计算公式中,所得哈夫值为回归分析预测哈夫值;哈夫值预测值与实测值对比见图 6。

由图 6 可知,98 枚鸡蛋样本的预测值与实际值的误差较小,平均误差为 6%,最小误差仅为 0.13%,说明通过图像处理数据建立的蛋白、蛋重预测模型可以应用于预测哈夫值。

3.7 深度信念网络预测模型

从所测 98 组数据中随机选取 68 组实测数据作为训练样本,剩余 30 组图像处理数据作为验证样本;按照文献[1]中鸡蛋等级分级制度,将所测鸡蛋按哈夫单位值分为三级:大于 72 为 1 级,60~71 为 2 级,30~59 为 3 级。为避免出现因输入数据单位不同导致神经网络收敛慢、训练时间长的现

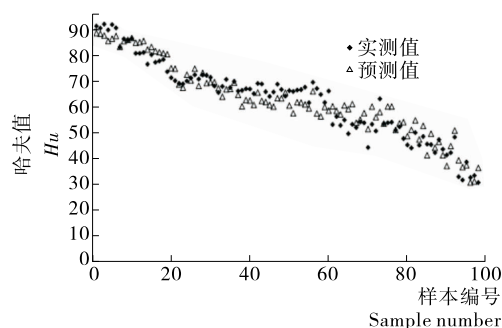


图 6 预测值与实测值

Figure 6 Predicted and measured values

象,网络训练前需对数据进行归一化处理。

3.7.1 BP 神经网络模型 在 BP 神经网络模型中,其隐层节点数对模型预测结果有较大影响,BP 神经网络隐层节点数 m 由式(4)计算^[36]:

$$m = \sqrt{n + l} + \alpha, \quad (4)$$

式中:

n ——隐层节点数;

l ——输出层节点数;

α ——1 与 10 之间的自然数。

本试验隐层节点数分别选取 3、4、5、6,最终隐层节点数由 SPSS 随机筛选同一训练集(68 组),用同一训练集以蛋白高度、蛋重为输入,新鲜度等级(数字 1、2、3 分别代表新鲜度等级由高到低)为输出,比较网络预测结果;各节点数预测结果见图 7。

经测试得知,当隐层节点数为 3 时,预测值的准确性比隐层节点数为 4、5 时要高。当 $m = 6$ 时,虽然个别样本比 $m = 3$ 时的网络预测值要准确,但在 BP 神经网络中,随着隐层节点数的增多,网络训练时间就会增加,同时网络结构越复杂,故网络隐层节点数选为 3,其余网络参数均为默认值。当隐层节点数为 3 时,BP 网络预测准确率为 90%。

3.7.2 深度信念网络模型 在 BP 神经网络预测模型中,因网络权值随机初始化问题,导致即使隐层节点及其他参数不改变,网络预测结果仍然存在差别,即在网络参数不变情况下,不同预测次数得到不同预测结果。基于此,借助深度信念网络对训练数据优良的特征提取功能,优化 BP 网络权值参数,进一步提高模型稳定性及预测结果准确性。

通过 DBN 对 RBM 的无监督训练过程,得到用于 BP 网络建模的初始化权值矩阵,进而利用带标签数据通过 BP 算法去对判别性能做调整。本试验利用深度学习工具箱建立由 2 个 RBM 堆叠而成的 DBN,结合上节所建 BP 神经网络模型,将最后一层 BP 网络初始权值定义为 DBN 训练所得权值矩阵($\text{net.iw}\{1,1\} = \text{dbn.rbm}\{2\}.W$),BP 网络隐层节点数设置为 3,对验证集样本进行新鲜度等级预测。经测试发现,深度信念网络不同预测次数,预测结果相同,即深度信念网络不存在 BP 神经网络因随机初始化权值问题而出现的预测结果不同现象。深度信念网络预测结果见表 1。

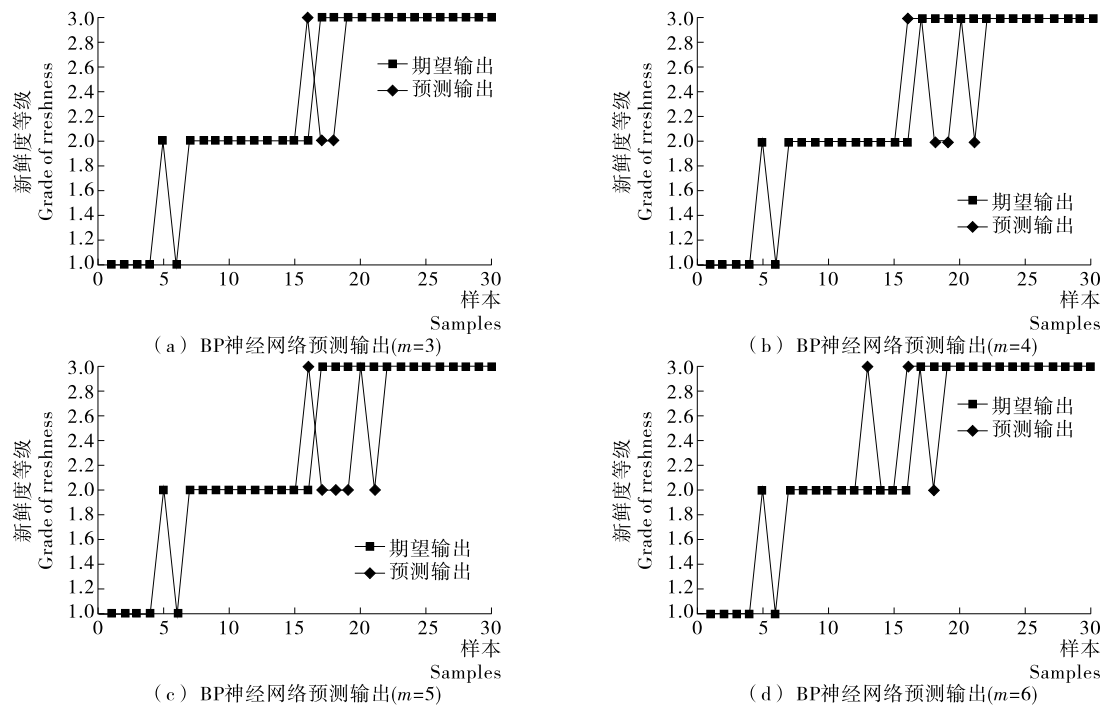


图 7 不同隐含层节点数的 BP 神经网络预测结果
Figure 7 Prediction results of BP neural networks with different hidden layer nodes

表 1 基于图像处理数据的深度信念网络预测
Table 1 Depth belief network prediction based on image processing

序号	实测值	预测值	序号	实测值	预测值
1	1	1.072 3	16	2	2.603 2
2	1	1.009 2	17	3	2.529 4
3	1	1.063 7	18	3	2.343 1
4	1	0.983 4	19	3	2.507 0
5	2	1.620 5	20	3	2.808 5
6	1	1.145 9	21	3	2.505 5
7	2	1.692 6	22	3	2.882 9
8	2	1.993 6	23	3	2.778 4
9	2	1.941 6	24	3	2.683 2
10	2	1.889 8	25	3	3.133 1
11	2	2.320 9	26	3	2.884 8
12	2	1.577 6	27	3	3.074 4
13	2	2.489 5	28	3	3.009 4
14	2	2.024 9	29	3	3.045 7
15	2	2.389 3	30	3	3.062 1

利用 Round 函数对上表所得深度信念网络预测数据进行四舍五入运算,对鸡蛋新鲜度等级进行分级,并与实测新鲜度等级比较得知网络分级准确率为 93.3%。较 BP 神经网络模型而言,深度信念网络不仅预测结果准确性有所提高,同时网络稳定性也显著提高。

4 结论

本试验以 Matlab 为开发工具,以图像处理与深度信念

网络为主要技术,设计了一套鸡蛋新鲜度分级预测系统。借助图像处理技术,通过 SPSS 建立蛋重、蛋白高度预测模型($R_1^2=0.942, R_2^2=0.925$),分析实测数据与预测数据之间关系,以蛋重及蛋白高度为特征参数建立鸡蛋等级深度信念网络预测模型。经实验验证,该方法对鸡蛋新鲜度等级的预测准确率为 93.3%,此方法设计成本低,性价比高,可以为相关检测应用方面提供参考。

本试验所设计方法虽然可以通过测量整蛋长短径外部参数对鸡蛋新鲜度进行无损检测,但不同壳色鸡蛋图像处理效果不尽相同,蛋壳厚度及气孔数目对图像质量也有一定的影响,系统鲁棒性仍不够完善。同时,贮藏环境温度及二氧化碳浓度^[37]、不同品种及鸡龄母鸡所产蛋新鲜度及贮藏性能亦有一定参数的误差。因此,今后需进一步分析物理参数与鸡蛋新鲜度之间的关系,并优化图像处理算法,提高建模样本数量,以进一步提高系统准确性及鲁棒性。

参考文献

[1] 李小利. 哈氏单位是检验鸡蛋品质的重要指标[J]. 检验检疫学刊, 2013, 23(2): 48-49.
[2] 毕夏坤, 赵杰文, 林颖, 等. 便携式近红外光谱仪判别鸡蛋的贮藏时间[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 285.
[3] 侯卓成, 杨宁, 李俊英, 等. 傅里叶变换近红外反射用于鸡蛋品质的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(8): 2 063-2 066.
[4] 介邓飞, 王晓婧, 魏萱. 基于近红外光谱禽蛋新鲜度无损检测模型研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 115-118.
[5] 刘燕德, 周延睿, 彭彦颖. 基于近红外漫反射光谱检测鸡蛋品质[J]. 光学精密工程, 2013, 21(1): 40-45.
[6] 王巧华, 周凯, 吴兰兰, 等. 基于高光谱的鸡蛋新鲜度检测[J].

- 光谱学与光谱分析, 2016, 36(8): 2 596-2 600.
- [7] 付丹丹, 王巧华. 鸡蛋新鲜度、pH 值及黏度的高光谱检测模型[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 173-179.
- [8] KEMPS Bart J, BAMELIS Flip R, KETELAERE Bart De, et al. Visible transmission spectroscopy for the assessment of egg freshness[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86: 1 399-1 406.
- [9] 刘明, 潘磊庆, 屠康, 等. 电子鼻检测鸡蛋货架期新鲜度变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 317-321.
- [10] 周博, 王永维, 王俊, 等. 鸡蛋贮藏时间和新鲜度的电子鼻检测[J]. 浙江大学学报, 2010, 44(5): 863-869.
- [11] 王巧华, 文友先, 林雪冬, 等. 鸡蛋透射光图像形态特征与其新鲜度的相关关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 179-183.
- [12] 刘艳, 李庆武, 黄小微, 等. 鸡蛋透光图像特征提取与新鲜度检测模型研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(25): 72-77.
- [13] 郑丽敏, 杨旭, 徐桂云, 等. 基于计算机视觉的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 335-339.
- [14] 祝志慧, 文友先. 基于 VFW 的鸡蛋图像采集与品质识别[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2 551-2 553.
- [15] ABOONAJMI M, SETAREHDAN S K, AKRAM A, et al. Prediction of poultry egg freshness using ultrasound[J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17: 1 889-1 899.
- [16] DEY Amar Kumar, SHARMA Manisha, MESHRAM M R. An analysis of leaf chlorophyll measurement method using chlorophyll meter and image processing technique [J]. Procedia Computer Science, 2016, 85: 286-292.
- [17] 中华人民共和国农业行业标准. NY/T 823—2004 家禽生产性能名词术语和度量统计方法[S]. [出版地不详]: 中国禽业导刊, 2006: 46.
- [18] 王晓娟. 基于模糊综合与神经网络的制丝工艺多因素评价模型[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 204-210.
- [19] SUN Wei, XU Yang-feng. Financial security evaluation of the electric power industry in china based on a back propagation neural network optimized by genetic algorithm [J]. Energy, 2016, 101: 366-379.
- [20] KANTI K Manikya, RAO P Srinivasa. Prediction of bead geometry in pulsed GMA welding using back propagation neural network [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 200(1/2/3): 300-305.
- [21] LI Zhao-kun, ZHAO Xiao-hui. BP artificial neural network based wave front correction for sensor-less free space optics communication [J]. Optics Communications, 2017, 85: 219-228.
- [22] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 112.
- [23] 吴岸城. 神经网络与深度学习[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016: 113-114.
- [24] OLIVEIRA Paula Cristina, MOURA João Paulo, FEMANDES Luís Filipe, et al. A non-destructive method based on digital image processing for calculate the vigor and the vegetative expression of vines[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 124: 289-294.
- [25] HEMÁNDEZ-HEMÁNDEZ J L, GARCÍA-MATEOS G, GONZÁLEZ-ESQUIVA J M, et al. Optimal color space selection method for plant-soil segmentation in agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 122: 124-132.
- [26] 曹雪婷. 拟南芥叶片面积检测系统的设计与实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2015: 21-22.
- [27] 李剑峰, 王树才. 鸡蛋储藏期间品质特征变化的研究[J]. 湖北农机化, 2008(6): 27-28.
- [28] 任奕林, 刘剑英, 熊利荣. 鸡蛋基本物理参数试验研究[J]. 农机化研究, 2005(3): 191-195.
- [29] HUANG Q, QIU N, MA M H, et al. Estimation of egg freshness using S-ovalbumin as an indicator[J]. Poultry Science, 2012, 91: 739-743.
- [30] 牡丹萌, 王风诺, 王世平. 鸡蛋新鲜度随储藏条件变化的规律[J]. 食品科技, 2014, 39(5): 26-33.
- [31] ABOONAJMI Mohammad, NAJAFABADI Tooraj Abbasian. Prediction of poultry egg freshness using vis nir spectroscopy with maximum likelihood method[J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17: 2 166-2 176.
- [32] 张铭容, 叶劲松, 张子丽, 等. 鸡蛋壳暗斑对鸡蛋贮藏性能的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 118-122.
- [33] 赵杰文, 毕夏坤, 林颢, 等. 鸡蛋新鲜度的可见-近红外透射光谱快速识别[J]. 激光与光电子学进展, 2013(5): 211-220.
- [34] 孙俊, 刘彬, 毛罕平, 等. 基于介电特性与蛋黄指数回归模型的鸡蛋新鲜度无损检测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(21): 290-295.
- [35] CLUFF K, KONDA NAGANATHAN G, JONNALAGADA D, et al. Determination of yolk contamination in liquid egg white using Raman spectroscopy[J]. Poultry Science, 2016, 95: 1 702-1 708.
- [36] 陈雯柏. 神经网络原理与实践[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2016: 57.
- [37] YANAGISAWA T, ARIIZUMI M, SHIGEMATSU Y, et al. Combination of super chilling and high carbon dioxide concentration techniques most effectively to preserve freshness of shell eggs during long-term storage [J]. Food Engineering and Physical Properties, 2010, 75(1): 78-82.