

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0355-06

# 基于计算机视觉和神经网络检测鸡蛋新鲜度的研究

潘磊庆<sup>1</sup> 屠康<sup>1\*</sup> 刘鹏<sup>1</sup> 邹秀容<sup>1</sup> 邵兴锋<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 南京农业大学食品科技学院,农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室,江苏南京 210095)  
<sup>2</sup> 宁波大学生命科学与生物工程学院,浙江宁波 315211)

**摘要** 为了实现鸡蛋新鲜度的无损检测和分级,建立了利用计算机视觉检测鸡蛋内容物透射图像信息的装置,通过图像处理,获取了蛋壳表面颜色信息和表示鸡蛋新鲜的参数哈夫单位值(HU),得到了利用计算机视觉预测鸡蛋新鲜度的有关的  $H, I, S, a, b, a^*, b^*, a-a^*, b-b^*$  共 9 个参数,然后通过分析哈夫单位 HU 与 9 个参数之间的相关性,并建立多元线性回归方程,确立了与鸡蛋新鲜度密切相关的三个参数  $H, I, b$ 。并以  $H, I, b$  作为输入变量,创建了基于 Matlab 的结构为 3-15-4 的 3 层 BP 神经网络模型,对鸡蛋的新鲜度进行分级,模型具有较好的泛化功能和鲁棒性,对各个等级鸡蛋的新鲜度分级准确率达 90%,对整体鸡蛋新鲜度分级的准确率达到 93.3%。

**关键词** 计算机视觉;分级模型;神经网络;鸡蛋;新鲜度;检测

中图分类号 TP274+.3 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0355

## Egg Freshness Detection Based on Computer Vision and BP Neural Network

Pan Leiqing<sup>1</sup> Tu Kang<sup>1</sup> Liu Peng<sup>1</sup> Zou Xiurong<sup>1</sup> Shao Xingfeng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Food Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Nanjing, Jiangsu 210095, China  
<sup>2</sup> Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

**Abstract** In order to achieve non-destructive detection and grading of egg freshness, an experimental system was set up based on computer vision. Then egg internal substance transmission images were acquired. After pre-processing,  $H, S, I, a, b$  values were extracted. The egg shell color information ( $a^*, b^*$ ) was also measured. And the weight of egg was measured using electronic balance and the height of egg albumen was measured using height vernier calliper. Egg freshness was calculated according to its weight and albumen height. The linear regression model for egg Hough unit and egg information ( $H, I, S, a, b, a^*, b^*, a-a^*, b-b^*$ ) was established by SAS. Afterwards the 3 parameters ( $H, I, b$ ) which is greatly correlated with egg freshness (HU, Egg Hough unit) was reserved. With 3 parameters ( $H, I, b$ ) of input, the best BP neural network model (3 input nodes, 15 hidden nodes, 4 output nodes) was established by using Matlab. On the BP neural network model of detecting the egg freshness, the automatic detection system was designed, which can immediately show the results according to the egg's color data after the network initialization. The results showed that the grading accuracy by using computer vision and BP neural network for egg freshness exceeds 90%.

**Key words** computer vision; grading model; neural network; egg; freshness; detection

## 1 引 言

鸡蛋含有人体必须的蛋白质、脂肪、维生素及微量元素等营养物质,与人民生活有着密切的关系。但是,鸡蛋是生物体,容易受环境因素的变化而使之

成为不新鲜蛋或成为变质不能食用的废弃蛋<sup>[1]</sup>。目前,鸡蛋新鲜度物理检测多用人工照蛋法,要检测鸡蛋的内容物和新鲜度,用化学计量学分析方法检测鸡蛋内容物的生化指标,以此来确定鸡蛋的新鲜度

**基金项目:**国家 863 计划(2007AA10Z213),教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-05-0491)资助,江苏省自然科学基金重点项目(BK2006707-2),江苏省农业攻关项目(BE 2007320)和校青年科技创新基金(Y200827)资助课题。

**作者简介:**潘磊庆(1980—),男,博士,讲师,主要从事农产品无损检测方面的研究。E-mail:pan\_leiqing@njau.edu.cn

\* 通信联系人。E-mail:kangtu@njau.edu.cn

等级,由于主观和客观因素的影响,费时费力,对于自动化分级并不适用。根据蛋的光学特性可知,鲜鸡蛋对光的透射率会随着贮存时间的加长而下降<sup>[2]</sup>。光的透射率变化,表明蛋的新鲜度等内部品质发生了变化<sup>[3]</sup>,这种变化可以用鸡蛋内部颜色信息变化反映出来。因此,可以将蛋的新鲜度指标(哈夫值)的变化和鸡蛋颜色信息之间的变化联系起来,用鸡蛋图像颜色信息的变化直接表征蛋的新鲜度变化。人工神经网络(ANN, artificial neural networks)是从微观结构与功能上对人脑神经系统的模拟而建立起来的一类模型,具有非线性、学习能力和自适应型,是模拟人的智能的一条重要途径<sup>[4]</sup>。神经网络技术结合计算机视觉等技术在农产品检测、分级和缺陷识别方面得到了广泛的应用<sup>[5~13]</sup>。本文试图利用计算机视觉获取鸡蛋内容物透射信息,分析与鸡蛋新鲜度密切相关的参数,采用人工神经网络技术根据鸡蛋内容物图像颜色信息判别其新鲜度,为实现对鸡蛋新鲜度的自动无损检测和分级提供理论基础。

## 2 试验材料、方法与装置

### 2.1 试验材料

产后 2~3 天的无公害褐壳鲜鸡蛋 330 枚,由江苏省源创禽业发展有限公司提供,鸡蛋多为近椭球体,蛋形指数大多数为 1.2~1.4。共分为两批,第一批鸡蛋用来构建 BP 神经网络,共有 210 枚,作为样本鸡蛋。第二批鸡蛋供检验网络检测精度,共有 120 枚,作为非样本鸡蛋。神经网络检测的准确率通过与人工判别相比较得出。

### 2.2 试验方法与装置

#### 2.2.1 系统组成

系统由硬件系统和软件系统组成,硬件系统为图像采集系统,由暗室、CCD 摄像头、光源、图像采集卡、照蛋器、和计算机组成,如图 1 所示。软件系统为自行开发的鸡蛋图象处理系统,在 Visual C++6.0 环境下编制。鸡蛋试验样本放置在白炽灯光源上的圆台型灯罩上底面的透光孔上,透光孔周围固定一层黑色软海绵,使得鸡蛋试验样本与透光孔之间能够紧密接触,防止光线未透射过鸡蛋内容物而直接进入黑暗光室。开启鸡蛋试验样本下部的白炽灯光源,使得光透射过鸡蛋内容物进入 CCD 摄像机视场的采集范围,调节 CCD 摄像机的光圈、焦距到合适设置,并通过微调摄像机焦距使其聚焦于鸡蛋样本,使得鸡蛋样本的内容物透射图像能够被

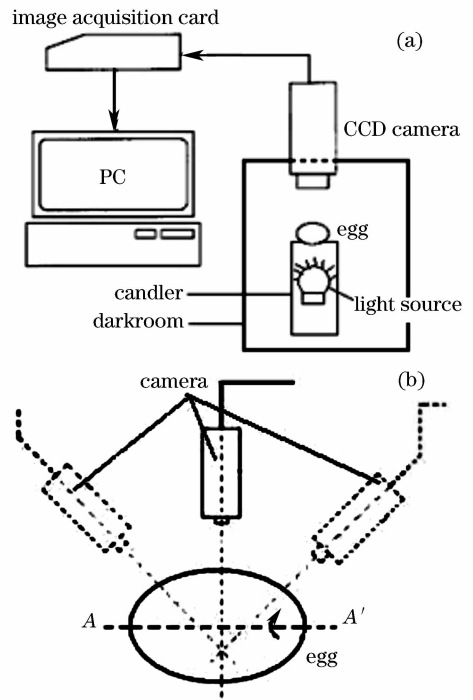


图 1 计算机视觉检测系统

Fig. 1 Detection system based on computer vision

CCD 摄像头捕获,并通过图像采集卡转换与传输,显示计算机的显示屏上。

对于每一枚鸡蛋样本,CCD 摄像头拍摄内容物透射图片共 3 张,拍摄的图像如图 2 所示,鸡蛋内容物的颜色特征信息被获取,这些信息采用 HIS 颜色空间和 CIE- $L^*a^*b^*$  表色系来描述,并通过开发的软件获得  $H, I, S, a^*, b^*$  的值,并且为了和蛋壳表面颜色区分  $a^*$  记为  $a, b^*$  记为  $b$ 。



图 2 鸡蛋内容物透射图像

Fig. 2 Image of a chicken egg

鸡蛋内容物透射图像每个像素点的颜色特征分量被一一提取出来。主要提取了鸡蛋内容物透射目标边缘范围内每个像素点的  $H, S, I, a, b$  这五个颜色特征分量,鸡蛋内容物透射图像和颜色特征信息获取软件示意图如图 3 所示。并在颜色特征提取的

过程中,对每个鸡蛋试验样本均记录下其内容物透射目标边缘范围内的总像素数,对于每一个鸡蛋样本,把它的各个像素点的颜色特征分量值逐一累加起来,再除以总像素数,就可以得到鸡蛋内容物透射目标边缘范围内  $H, S, I, a, b$  这五个颜色特征分量的平均值。

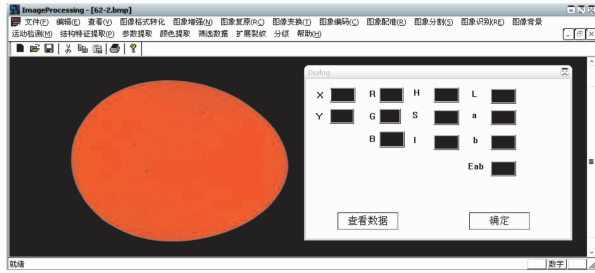


图3 颜色特征信息获取软件示意图

Fig.3 Graph of information obtained from chicken-egg image

2.2.2 哈夫单位(HU)

哈夫单位 HU 是食用鲜鸡蛋新鲜度参数,采用哈夫单位测定仪测定。

2.2.3 鸡蛋表面色泽

用 Minolta 公司的 CR-200 型色差仪,光源为  $D_{65}$  (相当于色温 6500 K 的白昼光),以标准板标定。测定 CIE- $L^* a^* b^*$  表色系中  $a^*$  (正数代表红色,负数代表绿色)、 $b^*$  (正数代表黄色,负数代表蓝色)。每个鸡蛋在赤道部位读取 3 个点,颜色值取其平均值。

2.3 数据统计与分析

所得数据均采用 SAS/STAT 8.2 进行分析和处理<sup>[14]</sup>。

3 BP神经网络输入变量确定

为了保证神经网络的稳定性和分级的准确性,网络的输入变量选择是关键。鸡蛋的新鲜度可以用哈夫单位量化指标来表征,鸡蛋内容物经透射后的颜色特征也可以由其颜色特征分量来量化和表征。鸡蛋的蛋壳表面颜色变量  $a^*, b^*$  有可能对结果产生影响。为了充分反映蛋壳颜色可能对鸡蛋内容物透射物图片的影响,故也引进了变量  $(a - a^*)$  和  $(b - b^*)$  两个变量。本文中以表征新鲜度的哈夫单位 HU 为因变量,可能对新鲜度有影响的  $H, S, I, a, b, a^*, b^*, (a - a^*), (b - b^*)$  共 9 个参数为自变量作多元回归模型分析,最后确定对新鲜度预测有显著影响的参数,用来作为输入变量。

3.1 哈夫单位与参数间的相关性

作为神经网络输入变量的备选参数  $H, S, I, a, b, a^*, b^*, (a - a^*), (b - b^*)$  以及哈夫单位 HU 的简单统计结果见表 1,各备选参数与哈夫单位之间的相关性见表 2,可以看出,反映鸡蛋表面颜色的参数  $a^*, b^*$  对哈夫单位的相关系数很低,影响不显著,故将  $a^*$  和  $b^*$  两个参数剔除。其他的  $H, S, I, a, b, (a - a^*), (b - b^*)$  共 7 个参数与哈夫单位的相关系数最高为  $I: 0.623$ ,最低为  $(b - b^*): 0.1734$ ,但影响比较显著,因此需要对此进行进一步研究。

表1 参数统计

Table 1 Statistics of parameters

| Parameter | N   | Average  | Standard error | Minimum | Maximum  |
|-----------|-----|----------|----------------|---------|----------|
| $a^*$     | 210 | 16.2844  | 3.8983         | 11.2833 | 64.0933  |
| $b^*$     | 210 | 27.5754  | 1.8968         | 20.7200 | 45.2366  |
| $H$       | 210 | 25.4600  | 2.2484         | 21.4576 | 34.0285  |
| $S$       | 210 | 125.7347 | 13.1341        | 77.5170 | 150.0576 |
| $I$       | 210 | 77.0947  | 11.5440        | 44.6158 | 100.4888 |
| $a$       | 210 | 73.0437  | 3.5361         | 59.7571 | 78.7230  |
| $b$       | 210 | 51.9196  | 6.7778         | 36.2545 | 80.7571  |
| $a - a^*$ | 210 | 56.7593  | 4.7834         | 7.3559  | 64.8266  |
| $b - b^*$ | 210 | 24.3441  | 7.2778         | 8.9745  | 54.4738  |
| HU        | 210 | 42.0999  | 19.5183        | 10.5237 | 86.3970  |

表2 皮尔逊(Pearson)相关系数表 ( $N = 210$ )

Table 2 Coefficients of Pearson correlation ( $N = 210$ )

|    | $a^*$  | $b^*$  | $H$      | $S$      | $I$      | $a$       | $b$      | $a - a^*$ | $b - b^*$ |
|----|--------|--------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| HU | 0.0676 | 0.0481 | 0.3678** | 0.5655** | 0.6230** | -0.3895** | 0.1997** | -0.3430** | 0.1734*   |

\*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

### 3.2 鸡蛋新鲜度多元线性回归模型筛选变量

本研究中采用向后消去法,试图通过加入全部参数作为自变量,建立多元线性回归方程,并逐个剔除已加入的影响不显著的变量,直到加入的变量都显著为止。

SAS 对该多元线性回归模型的相关性分析和显著性分析结果如表 3 所示,可以看出  $p < 0.01$ ,表明回归模型是极显著的。进入回归模型方程且对

方程影响显著的保留自变量参数检验结果如表 4 所示, $p$  均小于 0.01,可以看出变量  $H, I, b$  对回归模型的影响都是极显著的,与新鲜度指标 HU 的关系最密切。经过变量筛选后,用 SAS 8.2 建立起了鸡蛋内容物的颜色特征分量  $H, I, b$  与哈夫单位 HU 之间的多元线性回归模型,其表达式为

$$HU = -86.52953 + 9.43797H + 1.15528I - 3.86611b.$$

表 3 模型方差分析结果

Table 3 Analysis of variance of the model

| Variance source | Sum of squares | Degree of freedom | Mean square | F     | p-value |
|-----------------|----------------|-------------------|-------------|-------|---------|
| Model           | 44391          | 3                 | 14797       | 86.52 | <0.0001 |
| Error           | 35231          | 206               | 171.0225    |       |         |
| Sum             | 79622          | 209               |             |       |         |

R-squared = 0.5575  
Adj R-squared = 0.5511

表 4 保留自变量参数

Table 4 Reserved independent variables

| Variable  | parameter estimation | Standard error | F value | Pr > F  |
|-----------|----------------------|----------------|---------|---------|
| Intercept | -86.52953            | 20.07062       | 18.59   | <0.0001 |
| H         | 9.43797              | 2.31059        | 16.68   | <0.0001 |
| I         | 1.15528              | 0.17585        | 43.16   | <0.0001 |
| b         | -3.86611             | 0.60448        | 40.90   | <0.0001 |

## 4 基于 Matlab 的 BP 神经网络设计

### 4.1 样本数据的定义

根据回归模型对变量的筛选,确定鸡蛋内容物透射图像信息参数  $H, I$  和  $b$  为神经网络输入变量。

为了消除各特征值间幅值的差异,提高反向传播(BP)神经网络(Back Propagation neural network)的精度,需要对获取的原始特征数据进行归一化处理<sup>[4]</sup>。利用 Matlab 自带的 prestd 函数对输入网络的原始数据进行归一化,归一化后的数据具有零均值和单位方差。归一化公式为

$$p = [pn - f_{\text{mean}}(pn)] / f_{\text{std}}(pn), \quad (1)$$

式中  $pn$  和  $p$  分别为归一化前后的输入数据,  $f_{\text{mean}}(pn)$  和  $f_{\text{std}}(pn)$  为原始数据  $P$  的均值和方差<sup>[15]</sup>。

根据美国农业部(USDA)制定的鸡蛋品质分级标准将食用鲜鸡蛋按 Haugh 单位值分为四级,编为不同的编码,分别为

- AA 级:  $72 \leq HU$ , 编码为 1 0 0 0;
- A 级:  $60 \leq HU \leq 72$ , 编码为 0 1 0 0;
- B 级:  $31 \leq HU \leq 60$ , 编码为 0 0 1 0;
- C 级:  $HU \leq 31$ , 编码为 0 0 0 1。

### 4.2 网络参数设置和网络结构

进行多次试验和比较,鸡蛋裂纹识别神经网络的各参数设置情况如表 5 所示。该 BP 网络结构采用 3 层前馈结构,分别为输入层、隐含层和输出层。输入层节点数等于确定的输入变量个数 3,输出层有 4 个节点(对应新鲜度四各等级的编码)。隐含层数目、学习速率、动量常数和目标误差的通过试验确定,并保证网络结构的稳定和建网训练时间最优的目标。网络的生成语句为

```
net = newff(minmax(p), [15, 4],
            {'tansig', 'purelin'}, 'trainlm')
```

表 5 BP 神经网络的参数设置

Table 5 Parameter of BP neural network

| Item                 | Content           |
|----------------------|-------------------|
| Network type         | BP neural network |
| Training function    | trainlm           |
| Network layers       | 3                 |
| Structure            | 3-15-4            |
| Transfer function    | tansig purelin    |
| Learning rate        | 0.35              |
| Momentum coefficient | 0.9               |
| Max training time    | 10000             |
| Goal error           | 0.05              |

其中  $\text{tansig}$  为双曲正切 S 型传递函数,用于将神经元上范围为整个实数集的输入值映射到区间  $(-1, 1)$  上。 $\text{purelin}$  为线性传递函数,可以得到任意大小的输出值。 $\text{trainlm}$  为 Levenberg-Marquardt 的 BP 算法训练函数。

### 4.3 网络训练

利用  $\text{train}$  函数对网络进行训练, Matlab 程序语句为

```
[net, tr]=train(net,p,t)
```

运行该程序后,得到鸡蛋的某次训练结果如下:  
 $\text{trainlm}$ , epoch 337/10000, mse 0.0499953/0.05,  
 gradient 0.0215781/1e-010  
 $\text{trainlm}$ , Performance goal met.

图 4 是相应的误差变化曲线,  $\text{goal}$ (训练目标误差)为 0.05。当网络训练次数达到 337 步时,训练停止,时间为 10.984 s,网络误差为 0.0499953,达到训练目标误差。但经过多次试验, BP 神经网络的训练精度达到 90%,且网络比较稳定,如表 6 所示,可以看出网络的训练精度可达 91.24%,效果比较好。

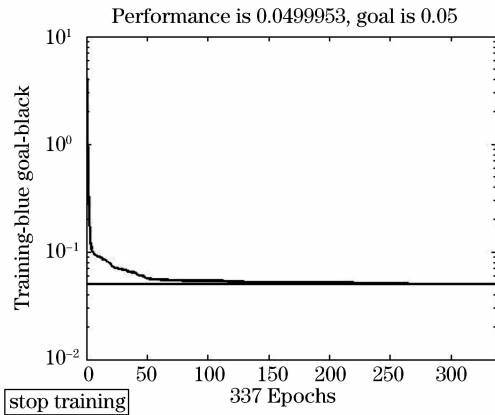


图 4 误差变化曲线

Fig. 4 A error change curve

表 6 BP 神经网络的训练精度

Table 6 Accuracy of training for BP neural network

| N       | Train time /s | Recognition accuracy /% |       |       |     |       |
|---------|---------------|-------------------------|-------|-------|-----|-------|
|         |               | AA                      | A     | B     | C   | Total |
| 1       | 306           | 94.12                   | 95.83 | 92.31 | 100 | 95.24 |
| 2       | 306           | 85.29                   | 95.83 | 76.92 | 100 | 90.48 |
| 3       | 308           | 91.18                   | 91.67 | 100   | 80  | 91.43 |
| 4       | 295           | 82.35                   | 97.92 | 76.92 | 80  | 88.57 |
| 5       | 306           | 88.23                   | 93.75 | 92.31 | 80  | 90.48 |
| Average | 304.2         | 88.23                   | 95.00 | 87.69 | 88  | 91.24 |

率,又将第二批非样本鸡蛋进入 BP 神经网络识别系统。鸡蛋共有 120 枚。试验步骤为:先由计算机设视觉系统拍摄待测鸡蛋透射表面的图像,经过对图像的采集和分析,提取图像的  $H, I$  和  $b$  的信息参数值,输入建立的 BP 神经网络模型,最后输出鸡蛋新鲜度的等级。鸡蛋新鲜度等级判别示意图如图 5 所示。

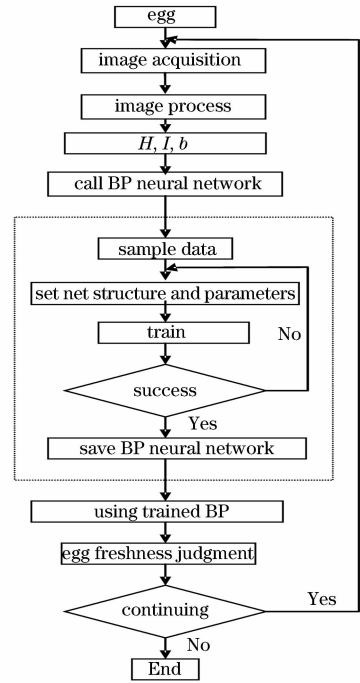


图 5 鸡蛋新鲜度 BP 神经网络分级流程

Fig. 5 Course chart of egg freshness classification of BP neural network

非样本鸡蛋检测的准确率如表 7 所示。所建立的 3 层 BP 神经网络模型对鸡蛋新鲜度分级的总体检测准确率达到 93% 以上,通过试验发现对各个新鲜度等级的鸡蛋蛋检测的准确率都在 90% 以上,因此该模型对鸡蛋新鲜度的分级比较理想。

表 7 非样本鸡蛋分级的准确率 (N = 120)

Table 7 Accuracy of classification of non-sample eggs (N = 120)

| Egg grade | N   | Correct | Accuracy | Wrong | Error rate |
|-----------|-----|---------|----------|-------|------------|
| AA        | 30  | 27      | 90%      | 3     | 10%        |
| A         | 30  | 28      | 93.3%    | 2     | 6.7%       |
| B         | 30  | 27      | 90%      | 3     | 10%        |
| C         | 30  | 30      | 100%     | 0     | 0          |
| Total     | 120 | 112     | 93.3%    | 8     | 6.7%       |

## 5 BP 神经网络模型可靠性验证

为了检验建立的 BP 识别网络模型的性能和效

## 6 结 论

本实验建立了一套利用计算机视觉检测获取鸡

蛋内容物透射图像信息的装置,通过图像处理,获取了蛋壳表面颜色信息,得到了利用计算机视觉预测鸡蛋新鲜度的有关的  $H, I, S, a, b, a^*, b^*, a - a^*, b - b^*$  共 9 个参数,然后通过分析哈夫单位 HU 与 9 个参数之间的相关性,并建立多元线性回归方程,确立了与鸡蛋新鲜度密切相关的三个参数  $H, I, b$ 。然后,以三个参数  $H, I, b$  作为输入变量,创建了基于 MATLAB 的结构为 3-15-4 的 3 层 BP 神经网络模型对鸡蛋的新鲜度进行分级,模型具有较好的泛化功能和鲁棒性,对各个等级鸡蛋的新鲜度分级准确率达 90%,对整体鸡蛋新鲜度分级的准确率达到 93.3%,为实现对鸡蛋新鲜度的自动无损检测打下基础。

### 参 考 文 献

- 1 Li Xiaodong. Egg Science and Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005  
李晓东. 蛋品科学和技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2005
- 2 Liu Yande, Qiao Zhenxian. A correlative analysis on the freshness of chicken eggs and storing conditions [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2002, **24**(1):45~47  
刘燕德,乔振先. 鸡蛋光特性及其新鲜度的相关性研究[J]. 江西农业大学学报, 2002, **24**(1):45~47
- 3 Fang Ruming, Xiang Zhongping, Li Guowen. Nondestructive detection of chicken-egg internal quality by optical properties [J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1993, **9**(3):102~107  
方如明,向忠乎,李国文. 鸡蛋内部品质的光特性无损检测[J]. 农业工程学报, 1993, **9**(3):102~107
- 4 Xu Lina. Neural Network Control [M]. Beijing: Publication House of Electronics Industry, 2003  
徐丽娜. 神经网络控制[M]. 北京:电子工业出版社, 2003
- 5 Bao Xiaolan, Zhang Ruilin, Zhong Lehai. Apple grade identification method based on artificial neural network and image processing [J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, **20**(3):210~212  
包晓安,张瑞林,钟乐海. 基于人工神经网络与图像处理的苹果识别方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, **20**(3):210~212
- 6 Wang Shuwen, Zhang Changli, Fang Junlong. Automatic identification and classification of tomatoes with bruise using computer vision [J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, **21**(5):98~101  
王树文,张长利,房俊龙. 基于计算机视觉的番茄损伤自动检测与分类研究[J]. 农业工程学报, 2005, **21**(5):98~101
- 7 Wang Qiaohua, Ren Yilin, Wen Youxian. Study on non-destructive detection method for fresh degree of eggs based on BP neural network [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, **37**(1):104~106  
王巧华,任奕林,文友先. 基于 BP 神经网络的鸡蛋新鲜度无损检测方法[J]. 农业机械学报, 2006, **37**(1):104~106
- 8 Zhang Junxiong, Xun Yi, Li Wei. Detection of surface cracks of corn kernel based on morphology [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(6):951~956  
张俊雄,荀一,李伟. 基于形态特征的玉米种子表面裂纹检测方法[J]. 光学精密工程, 2007, **15**(6):951~956
- 9 Kivanc Kilic, Ismail Hakki Boyael, Hamit Köksel. A classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks [J]. *Journal of Food Engineering*, Corrected Proof, Available online 24 January 2006
- 10 Liu Yande, Chen Xingmiao, Ouyang Aiguo. Non-destructive measurement of soluble solid content in gannan navel oranges by visible/near-infrared spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3):478~481  
刘燕德,陈兴苗,欧阳爱国. 可见/近红外光谱法无损检测赣南脐橙可溶性固形物[J]. 光学学报, 2008, **28**(3):478~481
- 11 Zou Xiaobo, Zhao Jiewen. Methods of characteristic wavelength region and wavelength selection based on genetic algorithm [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7):1316~1321  
邹小波,赵杰文. 用遗传算法快速提取近红外光谱特征区域和特征波长[J]. 光学学报, 2007, **27**(7):1316~1321
- 12 Liu Fei, He Yong, Wang Li. Methods for the prediction of sugar content of rice wine using visible-near infrared spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11):2054~2058  
刘飞,何勇,王莉. 黄酒糖度预测的可见近红外光谱方法研究[J]. 光学学报, 2007, **27**(11):2054~2058
- 13 Wang Yun, Xu Kexin, Chang Min. Study on multi-band NIR spectroscopy for the determination of fat and protein contents in milk [J]. *Optical Instruments*, 2006, **28**(3):3~7  
王云,徐可欣,常敏. 近红外光谱技术检测牛奶中脂肪及蛋白质含量校正模型的建立[J]. 光学仪器, 2006, **28**(3):3~7
- 14 SAS (2002). SAS System Release 8. 2. [M]. SAS, Institute Inc. USA
- 15 Xu Dong, Wu Zheng. MATLAB 6. X Sustem Analysis and Design—Neural Network [M]. Xi'an: Xi'an University Press, 2002  
许东,吴铮. 基于 MATLAB 6. X 系统分析和设计——神经网络[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002