

# 基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测方法

李新成, 赵登鲁, 石红蕾, 员玉良\*

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

**摘要:** **目的** 以蛋品质评价指标—哈夫单位值为检测标准, 建立一种基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测方法。**方法** 通过摄像头捕捉到鸡蛋图像信息, 利用 MATLAB 对鸡蛋图像的 G 分量以及 I 分量进行特征参数提取, 并计算出与鸡蛋新鲜度相关的 4 个特征参数: 蛋黄面积比、气室面积比、气室高度比与气室直径比, 将其作为自变量, 通过高精度游标卡尺实测每个鸡蛋样本哈夫值作为因变量, 分别建立一元回归模型, 寻找特征参数与哈夫值的关系, 并根据哈夫值对鸡蛋新鲜度进行分级。**结果** 实验表明, 所测 4 个特征参数中, 蛋黄面积比与哈夫值存在较强的相关性, 相关系数为 0.78, 拟合优度为 0.62, 蛋黄面积比越小, 鸡蛋哈夫值越大, 说明鸡蛋越新鲜。**结论** 基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测方法不仅具有较强的应用价值, 还可以为鸡蛋品质智能分级提供技术支撑。

**关键词:** 鸡蛋新鲜度; 机器视觉; 图像处理; 无损检测

## Non-destructive testing method of egg quality based on machine vision

LI Xin-Cheng, ZHAO Deng-Lu, SHI Hong-Lei, YUN Yu-Liang\*

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a nondestructive testing method for egg quality based on machine vision wased, with the evaluation index of egg quality-Haff unit value as test standard. **Methods** Images of eggs were captured by a camera, than characteristic parameters in I component images and G component images of eggs were extracted based on MATLAB. Four characteristic parameters of egg freshness could be calculated, including tatio of egg yolk area, air chamber area, chamber height and chamber diameter. The single-element regression model was established with Haff values measured by high precision vernier caliper as dependent variables and the 4 characteristic parameters as independent variables to find the relationship between them respectively, and then the egg freshness was graded according to Haff values. **Results** The experiment showed that there was a strong correlation between the area ratio of egg yolk and Haff value. The correlation coefficient was 0.78 and the goodness of fit was 0.62. The smaller the egg yolk area ratio, the larger the egg Huff value, indicating that the egg was fresher. **Conclusion** The non-destructive testing method for egg quality not only has a strong application value, but also provides technical support for egg quality intelligent grading.

**KEY WORDS:** egg fresh degree; machine vision; image processing; nondestructive testing

基金项目: 青岛市民生科技计划项目(16-6-2-35-nsh)、国家级大学生创新创业训练计划项目(201710435081)

Fund: Supported by the Qingdao Minsheng Science and Technology Plan Project (16-6-2-35-nsh) and National College Students Innovation and Entrepreneurship Training Program (201710435081)

\*通讯作者: 员玉良, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能仪器与检测系统。E-mail: ylyun1981@163.com

\*Corresponding author: YUN Yu-Liang, Ph.D, Associate Professor, College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China. E-mail: ylyun1981@163.com

## 1 引言

鸡蛋是人们日常食用的食物之一,随着生活水平不断提高,国民对食品品质的要求越来越高,如何挑选放心鸡蛋成为国民关注焦点。目前,我国普遍采用的人工挑选分级方法大都在暗房中进行,借用照蛋器、凭肉眼观察鸡蛋内部品质。此种方法效率低下,主观性强,准确率欠佳,严重影响鸡蛋的出口率,失去国际市场份额。随着贮藏时间的增加,鸡蛋内部成分不断变化,蛋内温度升高,蛋白水分减少,蛋黄水分增加,蛋黄膜由于水分的渗入会变薄甚至失去弹性,直至蛋黄膜破裂出现散黄<sup>[1-3]</sup>。

现阶段,国内外许多学者在鸡蛋新鲜度无损检测方面做了不少探索与研究。目前,普遍被接受的检测方法有:机器视觉技术检测、光学特性检测、声学冲击特性检测及介电特性检测等。其中,机器视觉技术多用于采集图像进行外部特征检测,如鸡蛋形状大小、重量、表面裂纹、表面污渍等特征指标。例如,Goodrum 与 Elster 基于机器视觉技术对转动的鸡蛋进行了裂纹检测,实验准确率很高,但检测方法复杂,且处理速度较慢,实用性不强<sup>[4]</sup>。

美国在鸡蛋品质研究方面领先于其他国家,早在 1937 年便提出一个蛋品质量评价指标:哈夫单位值(Haugh unit),以下简称哈夫值。哈夫值是反映鸡蛋新鲜度的重要指标,且已在国际上被普遍认可。利用哈夫值可以将鸡蛋新鲜度转化为数据,进而科学分级。哈夫值的测量需将鸡蛋称重后打开,摊开在平面上,以高精度的测量工具立即测量环绕蛋黄周围蛋白的高度。然而,哈夫值的测量需要破坏鸡蛋本身,不能实现鸡蛋的无损检测<sup>[5,6]</sup>。目前,关于以哈夫单位值作为评测指标的机器视觉无损检测方法研究报道较少。

本研究采用机器视觉技术,通过对图像的数字化处理与特征性处理进行图像关键信息的识别,提取鸡蛋、蛋黄、气室特征,探索提取出的参数与哈夫值的联系,建立回归模型,进而计算出鸡蛋哈夫值。该方法检测成本低,且可快速实现鸡蛋品质检测,为鸡蛋的无损检测提供了新思路。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料与设备

新鲜无裂纹无污染待测鸡蛋购买于大润发超市。

戴尔 Inspiron 5567 笔记本计算机(美国 Dell 公司); HXY-800 USB 高清摄像头(深圳市鸿轩赢科技有限公司);自制图像采集暗室。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 待测鸡蛋实验步骤

取 30 枚当日生产的鸡蛋作为实验样品,要求蛋壳表面无污物,外表光滑且没有裂纹。实验样品随机分为

10 组,每组 3 个,并将每个样品标以序号区分,统一放置在相同环境中贮藏。

具体实验方法、步骤如下:

(1)鸡蛋生产当日开始实验。取一组样品进行图像采集与处理,记录每枚鸡蛋的 4 个特征参数。取 3 组特征参数的平均值作为该日的新鲜度参数。

(2)3 枚鸡蛋分别进行称重、通过高精度游标卡尺测量蛋白与蛋黄的高度,计算每枚鸡蛋的哈夫值并记录。取哈夫值的平均值作为该日实测的新鲜度指标。哈夫值计算公式如下:

$$HHU = 100 \times \lg(h + 7.57 - 1.7 \times w^{0.37}) \quad (1)$$

其中, $h$ 为测量蛋品摊在平面上的蛋白高度,单位为 mm; $w$ 为测量蛋品整蛋的质量,单位为 g。

(3)每 3 天取一组样品重复以上操作。共 10 组样品,需重复进行 10 次实验,周期约一个月。

(4)汇总实验数据,除去明显异常的实验数据,对剩余数据进行分析。

图像采集与处理采用 USB 摄像头+MATLAB 矩阵实验室。基于 USB 摄像头模块完成图像采集,摄像头与上位机直接连接,图像通过 USB 线传输。

#### 2.2.2 图像采集处理步骤

图像处理部分,在创建视频输入对象前,首先利用 MATLAB 提供的函数查询所用设备的具体信息,进行视频图像预览。图像捕捉后直接在 MATLAB 中进行处理。图像处理实现对鸡蛋、蛋黄、气室的识别,并进行相关参数提取,根据提取的参数计算出与新鲜度相关比值:蛋黄面积比、气室面积比、气室高度比、气室直径比。

### 2.3 图像处理

图像处理包括提取鸡蛋特征、蛋黄特征、气室特征以及特征参数计算。

#### 2.3.1 鸡蛋特征提取

提取鸡蛋特征只需将整个鸡蛋与背景分离即可。

原始图像如图 1 所示,灰度效果如图 2 所示。为实现对鸡蛋面积的计算,以及对鸡蛋长轴、短轴的测量,本文通过阈值分割并调用  $BW = \text{im2bw}(\text{gray}, \text{level})$  函数对图像进行二值化处理。图像传输过程中因各种干扰导致的图像模糊,质量下降,淹没特征,不利于图像分析<sup>[7,8]</sup>。本文采用平滑滤波器  $\text{fspecial}$  函数与  $\text{filter2}$  函数可有效抑制噪声、改善图像质量。二值化与平滑滤波后图像对比如图 3、图 4 所示。

将图像看作  $M \times N$  的矩阵,函数  $f(x,y)$  是每个像素的值,利用公式(2),即可求得鸡蛋面积。

$$\text{Area} = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N f(x,y) \quad (2)$$

采用外接最小矩形法如图 5 所示,自建函数寻找最大连通区域的最小外接矩形,矩形的长和宽即所求的鸡蛋长轴、短轴。



图 1 原始图像  
Fig. 1 Original image

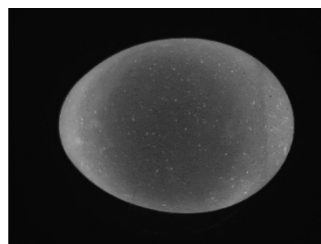


图 2 灰度图像  
Fig. 2 Gray image

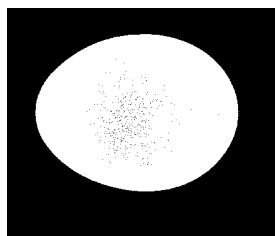


图 3 二值化结果  
Fig. 3 Binary image

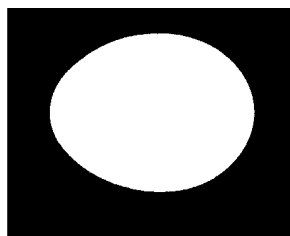


图 4 平滑滤波图像  
Fig. 4 Smoothing Filtering image

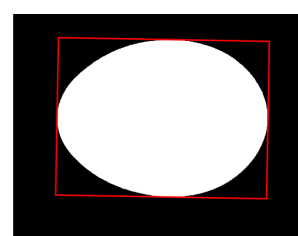


图 5 外接最小矩形  
Fig. 5 External minimum rectangle

### 2.3.2 蛋黄特征提取

由鸡蛋的原始图像图 1 可以看出, 蛋黄明显呈现深红色。将蛋黄处理为白色, 其他为黑色背景, 即可计算蛋黄面积。

通过调用 histeq 函数与 adapthisteq 函数对图像进行直方图均衡化处理<sup>[9]</sup>。结合“反色”和逻辑“与”运算操作, 将背景替换为纯黑色, 效果如图 6、7 所示。利用腐蚀将二值图的鸡蛋图像(白色区域)缩小, 再与“反色”后图像相“与”, 可将边界擦除, 进而提高计算蛋黄面积的准确率。

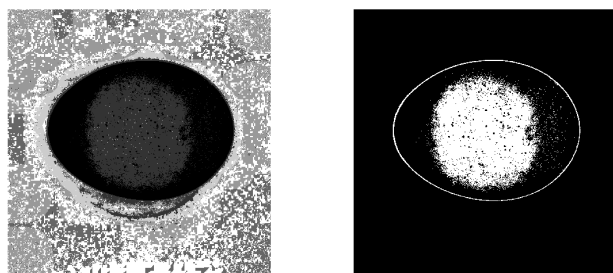


图 6 “反色”与“与”运算效果图  
Fig. 6 “Reverse color” and “and” operation

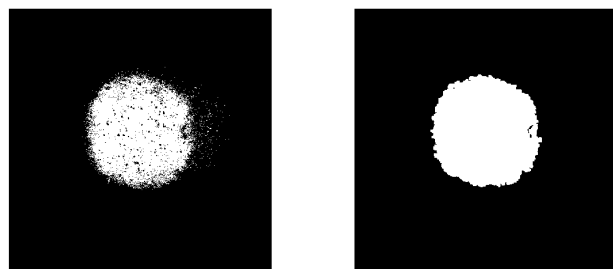


图 7 腐蚀与膨胀  
Fig. 7 Erosion and dilation

### 2.3.3 气室特征提取

新鲜鸡蛋的气室约小于 6 mm, 在图像中只占取一小部分<sup>[7,8]</sup>。与 RGB 颜色空间相比, HSI 颜色空间更能显现出气室特征。其中, I 分量表示亮度图像, 鸡蛋照射时由于气室内无填充液体, 亮度与蛋黄、蛋白明显不同。进行阈值分割处理后, 气室部分白色区域不饱满, 其余部分存在残余噪点(见图 8~10), 再通过特定区域填充, 最大连通区域选择等算法处理。由于气室内仍存在黑色块, 部分边缘还有噪声点, 继续进行中值滤波、膨胀。若经处理后, 边缘部分仍存在, 此处可选择最靠右方的最大连通区域。处理结果如图 11 所示。

### 2.3.4 特征参数计算

图像经一系列处理后提取出 6 个参数, 分别是鸡蛋面积、鸡蛋长轴、鸡蛋短轴、蛋黄面积、气室面积、气室高度与气室直径<sup>[10]</sup>。利用以上参数可计算出 4 个与鸡蛋新鲜度相关的比值: 蛋黄面积比、气室面积比、气室高度比与气室直径比, 计算公式分别如(3)~(6)所示。

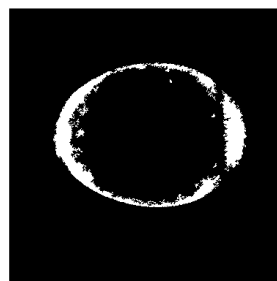


图 8 阈值分割结果  
Fig. 8 Result of threshold segmentation

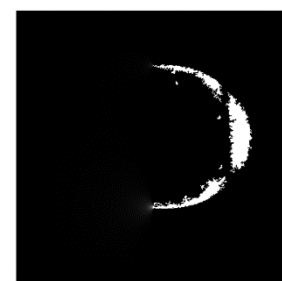


图 9 特定区域填充结果  
Fig. 9 Result of fill the specific region

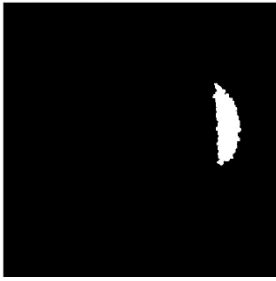


图 10 最大连通区域

Fig. 10 Largest connected region

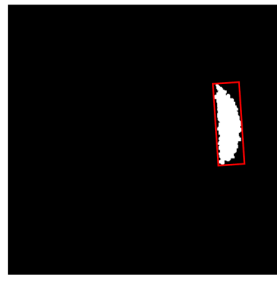


图 11 气室外接最小矩形

Fig. 11 Air chamber of external minimum rectangle

$$\text{Pro1} = \frac{S_{dh}}{S_{jd}} \quad (3)$$

$$\text{Pro2} = \frac{S_{qs}}{S_{jd}} \quad (4)$$

$$\text{Pro3} = \frac{L_{qs}}{L_{jd}} \quad (5)$$

$$\text{Pro4} = \frac{W_{qs}}{W_{jd}} \quad (6)$$

蛋黄面积比计算公式如(3)所示,其中,  $S_{dh}$  为蛋黄面积,  $S_{jd}$  为鸡蛋面积;气室面积比计算公式如(4)所示,其中,  $S_{qs}$  为气室面积,  $S_{jd}$  为鸡蛋面积;气室高度比计算公式如(5)所示,其中,  $L_{qs}$  为气室高度,  $L_{jd}$  为鸡蛋长轴;气室直径比计算公式如(6)所示,其中,  $W_{qs}$  为气室直径,  $W_{jd}$  为鸡蛋短轴<sup>[11-14]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 图像提取参数与实际测量参数的比较

由于鸡蛋内部的蛋黄、气室难以实现人工测量且测量数据误差较大,本方法选择蛋形指数来检验图像采集的准确性。蛋形指数即蛋的长轴与短轴之比,鸡蛋的蛋形指数

约在 1.20~1.37 之间,小于 1.30 近似于球体,多为较小的鸡蛋;大于 1.35 为细长型,略为扁长。本实验采集了 30 枚大小不一的鸡蛋进行图像处理,建立图像提取参数与实测参数的一元回归模型<sup>[14]</sup>,如图 12 所示。

回归模型的回归统计参数如表 1 所示:

由表 1 可见,长轴短轴回归模型的相关系数  $r$  与决定系数  $r^2$  的数值均 0.95 以上。图像处理所得的长轴、短轴与实际所测长轴、短轴的线性度很高,可知蛋形指数与实际测量的蛋形指数相差不大。表明图像采集精度较高。

表 1 回归统计  
Table 1 Regression statistics

回归统计	长轴	短轴
相关系数 $r$	0.976077	0.974516
决定系数 $r^2$	0.952726	0.949681
校正决定系数	0.951037	0.947884
标准误差	0.554827	0.27485
观测值	30	30

#### 3.2 实验特征参数与哈夫值线性拟合

利用前述试验方法测取鸡蛋相关参数,根据所测数据,实验拟将所提取的 4 个特征参数作为自变量,所测哈夫值作为因变量,分别建立回归模型,寻找特征参数与哈夫值的关系。其中建立蛋黄面积比与哈夫值的一元回归模型<sup>[15]</sup>,如图 13 所示。该一元回归模型的相关系数为 0.78(0.5~1.0 为显著相关),拟合优度为 0.62,蛋黄面积比与哈夫值存在较强的相关性,蛋黄面积比越小,鸡蛋哈夫值越大,证明鸡蛋越新鲜。

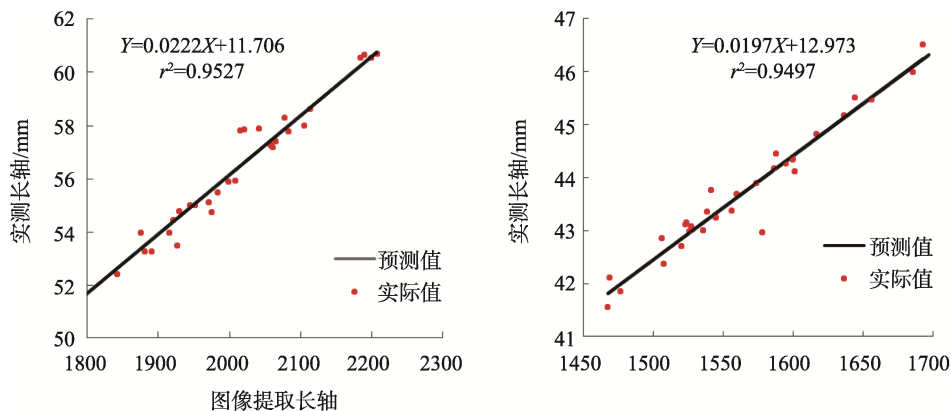


图 12 图像提取参数与实测参数的回归模型

Fig. 12 Regression model of extracted parameters and measured parameters

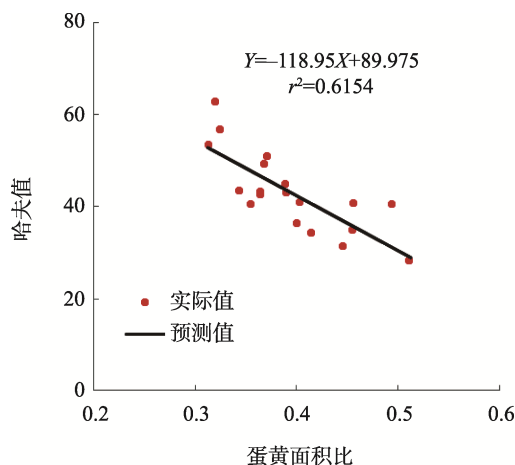


图 13 蛋黄面积比与哈夫值的回归模型

Fig. 13 Regression model of the area ratio of egg yolk and Haff value

## 4 结 论

本实验运用机器视觉技术, 对与鸡蛋新鲜度相关的 4 个特征参数: 蛋黄面积比、气室面积比、气室高度比与气室直径比进行了提取, 并尝试将其分别与哈夫值建立回归模型, 寻找特征参数与哈夫值的关系。其中蛋黄面积比与哈夫值存在较强的相关性, 蛋黄面积比越小, 鸡蛋哈夫值越大, 证明鸡蛋越新鲜, 表明基于机器视觉的鸡蛋品质无损检测并进行分级是可行的。

## 参考文献

- [1] 陆秋君, 王俊, 蒋瑞涛, 等. 鸡蛋贮藏品质及其与敲击响应特性[J]. 科技通报, 2009, 25(6):816-819.  
Lu QJ, Wang J, Jiang RS, *et al.* Egg quality and dynamic resonance characteristic during storage [J]. Bull Sci Technol, 2009, 25(6): 816-819.
- [2] 潘爱鑫, 孙静, 吴艳, 等. 江汉鸡蛋品质测定与分析[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(16): 3113-3116.  
Pan AL, Sun J, Wu Y, *et al.* Study on egg quality of Haniiang chicken [J]. Hubei Agric Sci, 2017, 56(16): 3113-3116.
- [3] 董传豪, 徐亚欧, 郑玉才, 等. 3 品种鸡蛋外在品质及营养价值的对比分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10):351-354.  
Dong CH, Xu YO, Zhen YC, *et al.* Comparative analysis of external quality and nutritional value of 3 varieties of eggs [J]. jiangsu Agric Sci, 2016, 44(10): 351-354.
- [4] 王巧华, 王彩云, 马美湖. 基于机器视觉的鸭蛋新鲜度检测[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 268-274.  
Wang QH, Wang CY, Ma MH. Duck egg freshness detection based on machine vision [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(8): 268-274.
- [5] 宋爱祎. 鸡蛋品质的测定及氨基酸螯合钙的工艺研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.  
Song AW. Determination of egg quality and research of amino acids chelating calcium [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012.
- [6] 刘燕德, 乔振先. 鸡蛋光特性及其与新鲜度的相关性研究[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(1): 45-47.  
Liu YD, Qiao ZX. A correlative study on the optical properties and freshness of chicken-egg [J]. Acta Agric Univ Jiangxiensis, 2002, 24(1):

45-47.

- [7] 印爱丽. 基于图像处理的光纤缠绕均匀度评价方法的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.  
Yin AL. Research on method of fiber winding uniformity evaluation based on image processing [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.
- [8] 颜秉忠. 机器视觉技术在玉米苗期杂草识别中的应用[J]. 农机化研究, 2018, 40(3): 212-216.  
Yan BZ. Identification of weeds in maize seedling stage by machine vision technology [J]. J Agric Mech Res, 2018, 40(3): 212-216.
- [9] 姜沛宏, 张玉华, 钱乃余, 等. 基于机器视觉技术的肉新鲜度分级方法研究[J]. 食品科技, 2015, (3): 296-300.  
Jiang PH, Zhang YH, Qian NY, *et al.* Research on method to freshness grading of meat based on machine vision technology [J]. Food Sci Technol, 2015, (3): 296-300.
- [10] 刘亚丽. 机器视觉技术在农业工程中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(23): 149-151.  
Liu YL. Application of machine vision technology in agricultural engineering [J]. Comput Knowl Technol, 2017, 13(23): 149-151.
- [11] 白修云, 刘旭明, 龚海岩, 等. 我国与欧美鲜禽蛋质量分级及检验标准比较解析[J]. 中国家禽, 2014, 36(1): 51-53.  
Bai XY, Liu XM, Gong HY, *et al.* Comparison of quality grading and inspection standards for fresh eggs in China and Europe and America [J]. China Poultry, 2014, 36(1): 51-53.
- [12] 陈微微. 基于颜色特征提取的图像搜索引擎研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2012.  
Chen WW. Research on image search engine based on color feature extraction [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2012.
- [13] 沈昊. 基于 DSP 图像处理的鸡蛋新鲜度实时无损检测研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.  
Shen H. Real time nondestructive detection of egg freshness based on DSP image processing [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [14] 魏小彪, 王树才. 鸡蛋新鲜度综合无损检测模型及试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 242-247.  
Wei XB, Wang SC. Comprehensive nondestructive testing model and experiment of egg freshness [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2009, 25(3): 242-247.
- [15] 陈明晶, 方源敏, 陈杰. 最小二乘法法和迭代法圆曲线拟合[J]. 测绘科学, 2016, 41(1): 194-197.  
Chen MJ, Fang YM, Chen J. Fitting of circular curve based on least square method and iterative method [J]. Sci Surv Mapp, 2016, 41(1): 194-197.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



李新成, 主要研究方向为图像处理。  
E-mail: 1426115866@qq.com



员玉良, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能仪器与检测系统。  
E-mail: ylyun1981@163.com