

# 基于机器视觉的鸡蛋体积与表面积计算方法<sup>\*</sup>

周平<sup>1,2</sup> 赵春江<sup>1</sup> 王纪华<sup>1</sup> 郑文刚<sup>1</sup> 孙忠富<sup>2</sup> 文友先<sup>3</sup>

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心农业自动化部, 北京 100097;

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 华中农业大学工程技术学院, 武汉 430070)

**【摘要】** 鸡蛋体积与表面积传统手工检测方法速度慢、效率低, 不能满足实际生产的需求。利用机器视觉技术, 假设理想鸡蛋图像关于纵径对称, 提出像素体积和  $V_p$  与像素表面积和  $S_p$ , 给出在数字图像中的计算方法; 最后建立了鸡蛋体积  $V$ 、表面积  $S$  与  $V_p$ 、 $S_p$  之间的关系模型。试验验证表明: 鸡蛋体积预测模型相关系数为 0.965, 实测误差  $\pm 1 \text{ cm}^3$  内准确率达 92%; 鸡蛋表面积预测模型相关系数为 0.971, 实测误差  $\pm 1 \text{ cm}^2$  内准确率达 88%。

**关键词:** 鸡蛋 体积 表面积 机器视觉

中图分类号: TS253.2; TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)05-0168-04

## Egg Geometry Calculations Based on Machine Vision

Zhou Ping<sup>1,2</sup> Zhao Chunjiang<sup>1</sup> Wang Jihua<sup>1</sup> Zheng Wen'gang<sup>1</sup> Sun Zhongfu<sup>2</sup> Wen Youxian<sup>3</sup>

(1. Department of Agricultural Automation, Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, The Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China 3. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

### Abstract

The conventional manual methods for egg volume ( $V$ ) and surface area ( $S$ ) detection are usually slow, inefficient and not able to meet the actual production requirements, so machine vision technology was researched to replace them. Assumed the ideal egg image was symmetric about longitudinal diameter, the definition of volume pixel ( $V_p$ ), surface areas pixel ( $S_p$ ) and the calculation were proposed. Then, the module between volume (surface area) and  $V_p$  ( $S_p$ ) was established. Experimental results showed that the determination coefficient of volume module and surface area was 0.965 and 0.971, respectively; the test accuracy of egg volume module and surface area reached 92% with  $\pm 1 \text{ cm}^3$  error and 88% with  $\pm 1 \text{ cm}^2$  error respectively.

**Key words** Egg, Volume, Surface areas, Machine vision

### 引言

鸡蛋体积与表面积等几何特征参数在蛋品加工业和生物学研究上有重要的意义, 已广泛用于不同年龄蛋鸡的数量分布及生态形态学的研究中<sup>[1]</sup>, 可以预测幼仔出生质量<sup>[2]</sup>、孵化率<sup>[3]</sup>、蛋壳表面特性<sup>[4]</sup>及蛋内部品质参数<sup>[5]</sup>等。精确测量鸡蛋体积

可利用排水法<sup>[6]</sup>, 但目标测完后需风干, 速度慢, 效率低; 而表面积几乎不能直接测量。因此, 国内外学者主要利用纵横径来建立鸡蛋体积与表面积的预测模型<sup>[7-12]</sup>。此类方法主要存在以下不足: 因变量与自变量的预测模型通常是非线性的, 它们之间的关系不能从几何意义上给出满意的解释; 检测时主要利用手工检测出纵、横径, 再把参数代入回归方程,

收稿日期: 2009-08-17 修回日期: 2009-11-27

<sup>\*</sup> 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA10Z212, 2007AA10Z203)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD30B03)

作者简介: 周平, 博士后, 主要从事农业自动化方向研究, E-mail: zhou@nercita.org.cn

通讯作者: 赵春江, 研究员, 博士生导师, 主要从事数字农业技术相关研究, E-mail: zhaocj@nercita.org.cn

速度慢,效率低。文献[13]提出了基于机器视觉的新方法,但算法假设存在一定的缺陷。本文利用视觉技术,捕获鸡蛋图像,计算出像素体积和与像素表面积和,然后分别建立体积与像素体积和、表面积与像素表面积和之间的线性预测模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为北京市农林科学院养殖场提供的70周龄蛋鸡所产的新鲜鸡蛋150枚。从鸡蛋试验样本中随机抽取50枚用于试验建模,另100枚用于检验模型预测准确性。清洗除去表面污物、快速风干后分别对鸡蛋进行顺序编号。

### 1.2 试验装置

如图1所示,试验装置由光源(DPS-24W30-4T)、光室(透光孔为 $\phi = 35\text{ mm}$ ,镜头与透光孔距离为35.5 mm)、CCD摄像头(SRC-500HP)、光缆、图像采集卡(DH-VRT-CG200)、计算机等组成。

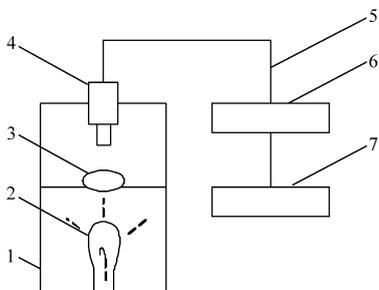


图1 试验装置

Fig. 1 Test equipment

1. 光室 2. 光源 3. 鸡蛋 4. 摄像头 5. 光缆 6. 图像采集卡
7. 计算机

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验步骤

具体步骤为：①将鸡蛋置于透光孔上,确保鸡蛋与透光孔间无缝隙,避免光直接从缝隙进入光室。②将光室中鸡蛋图像采集到计算机中。③由试验程序对所采集的图像进行处理,检测出鸡蛋图像的边界,用下文的算法计算出像素体积和 $V_p$ (单位: $\text{pix}^3$ ;  $\text{pix}$ 表示像素)与像素表面积和 $S_p$ (单位: $\text{pix}^2$ )。④用排水法测出鸡蛋的真实体积 $V$ (单位: $\text{cm}^3$ )。⑤打破鸡蛋,取出内容物,用排水法测出鸡蛋壳的总体积,利用螺旋测微仪测出蛋壳厚度,由体积等于表面积乘以厚度的近似关系,计算出蛋壳近似真实的表面积 $S$ (单位: $\text{cm}^2$ )。⑥建立鸡蛋体积、表面积的预测模型。

#### 1.3.2 特征参数算法

假设理想鸡蛋是关于纵径的旋转体。图2是理想鸡蛋轮廓,图中 $L$ 是纵径,且为竖直方向, $A$ 是顶

点,直线 $MN$ 、 $EF$ 与纵径垂直,与轮廓的左交点为 $M$ 、 $E$ ,右交点为 $N$ 、 $F$ , $MN$ 与 $EF$ 之间的距离为 $\Delta h$ 。 $d_1 = |\overline{EF}|$ 、 $d_2 = |\overline{MN}|$ 。

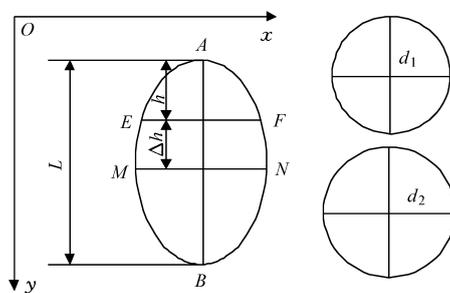


图2 鸡蛋假设模型

Fig. 2 Supposed module for egg geometry

当 $\Delta h$ 逐渐变得很小时,由 $EF$ 、 $MN$ 所围部分可近似看成圆台,如图3所示。

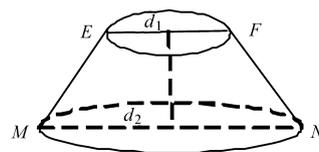


图3  $EF$ 、 $MN$ 所截圆台

Fig. 3 Cone frustum formed by  $EF$  and  $MN$

可见 $EF$ 、 $MN$ 所截理想鸡蛋部分的体积、表面积可认为与上述圆台的体积 $\Delta V$ 与侧面积 $\Delta S$ 有很大的相关性。由公式可计算圆台的体积与侧面积

$$\Delta V = 1/12\pi(d_1^2 + d_2^2 + d_1d_2)\Delta h = V(h)\Delta h \quad (1)$$

$$\Delta S = 1/2\pi(d_1 + d_2)\Delta l = S(h)\Delta l \quad (2)$$

因此,从微积分的角度看,理想鸡蛋的像素体积可看作一系列圆台体积在纵径方向的积分

$$V = \int_L V(h) dh \quad (3)$$

理想鸡蛋的像素表面积可近似看作一系列圆台侧面积在纵径方向的积分

$$S = \int_L S(h) dl \quad (4)$$

考虑图像数据是离散的,且当纵径竖直时 $\Delta h$ 最小值为1个像素值,即 $EF$ 、 $MN$ 之间为相邻两行图像。因此,当 $\Delta h = 1$ 时,定义像素体积和为

$$V_p = \sum_{h=1}^L V(h)\Delta h = \sum_{h=1}^L V(h) \quad (5)$$

其中  $V(h) = \prod (d_1^2 + d_2^2 + d_1d_2)/12$

式中  $L$ ——图像纵径的长度,  $\text{pix}$

$d_1$ ——离纵径端点 $A$ 距离为 $h$ 处截图像长度,  $\text{pix}$

$d_2$ ——距离为 $h + 1$ 处的截长度,  $\text{pix}$

$V_p$ 的单位为立方单位像素,  $\text{pix}^3$ ,  $d_1$ 、 $d_2$ 取值与 $h$ 有关。

定义像素表面积和为

$$S_p = \sum_{h=0}^L S(h)\Delta l \quad (6)$$

$d_1, d_2$  意义上,其中,  $S(h) = \pi(d_1 + d_2)/2$ ,  $S_p$  的单位是平方单位像素,  $\text{pix}^2$ 。  $\Delta l$  计算可由两点的距离公式得到, 设点  $E$  在图像坐标系中的坐标为  $(x_1, y_1)$ , 点  $M$  为  $(x_2, y_2)$ , 则

$$\Delta l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (7)$$

若鸡蛋的纵径不是竖直时,  $\Delta h \neq 1$ , 这时体积公式形式上会发生很大的变化。如图 4 所示。

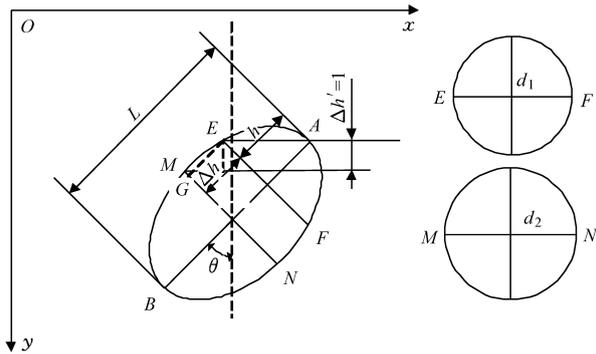


图 4 鸡蛋随机放置图像

Fig. 4 Egg image captured at random direction

如图 4 可知, 此时  $\Delta h$  不再是 1, 而等于  $|EG|$ 。当  $\Delta h' = 1$  时(由图像采样量化造成),  $E, M$  为相邻两行的边缘点, 两点之间的弧线可近似看成直线, 则两点在纵径方向的距离

$$\Delta h = \sqrt{|EM|^2 - |MG|^2} \quad (8)$$

$|EM|$  计算方法参照  $\Delta l$ ,  $|MG| = |d_1 - d_2|/2$ , 这样体积公式就变为

$$V_p = \sum_{i=0}^L V(h) \Delta h \quad (9)$$

当鸡蛋纵径竖直时, 此时

$$|EM|^2 = \Delta l^2 = (y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2 \quad (10)$$

$$|MG|^2 = |d_1 - d_2|^2/4 = (x_1 - x_2)^2 \quad (11)$$

$$\Delta h = \sqrt{|EM|^2 - |MG|^2} =$$

$$\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2 - (x_1 - x_2)^2} = \sqrt{(y_1 - y_2)^2} = |y_1 - y_2| \quad (12)$$

因为  $E, M$  相邻, 因此  $\Delta h = |y_1 - y_2| = 1$ , 即竖直情况可看作上述公式的特殊情况。特征参数提取的总体流程如图 5 所示。

体积、表面积提取的关键步骤是: ①检测边缘点并顺序保存, 由此检测出鸡蛋的纵径<sup>[14]</sup>。②以纵径为分界线, 对顺序保存的边缘点进行重新保存。以图 4 为例, 即要求把左边的边缘点以  $A$  点为起点, 按逆时针顺序保存至  $B$  点。③以  $A$  点为起点, 依次每次取相邻两点, 如图中  $E, M$  两点, 作两点到纵径的垂线, 分别交另半边缘于点  $F, N$ 。计算  $EF, MN$  长度及  $EM$  的距离。④根据算法计算相关特征参数。

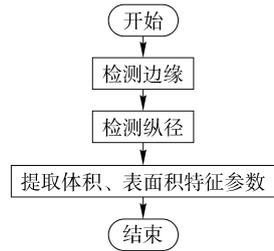


图 5 特征参数提流程

Fig. 5 Flow of get target parameter

在上述 4 个步骤中, 难点是第 ②步与第 ③步。其中第 ②步的保存方法是: 首先, 根据纵径端点  $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2)$  的坐标, 写出纵径在图像坐标系中的参数方程:  $y = kx + b$ , 式中,  $k = (y_1 - y_2)/(x_1 - x_2)$ ,  $b = y_1 - kx_1$ ; 其次, 令函数  $f(x, y) = y - kx - b$ , 把所有的边缘点代入此函数进行运算, 符号相同的在纵径的同一侧, 这样就可把边缘点按纵径为界进行划分; 最后把记录下来的边缘点重新进行排列存储。排列的方法依据离端点  $A$  距离的远近, 这样可得到所需的边缘点。

第 ③步的方法是: 首先, 计算出纵径的方程  $y = kx + b$ , 其斜率为  $k$ ; 其次, 设  $E$  点坐标为  $(x'_1, y'_1)$ , 经过  $E$  点与纵径垂直交边缘另一点为  $F$ , 则  $EF$  的方程为:  $y - y'_1 = k'(x - x'_1)$ ,  $k' = -1/k$ ; 最后令函数  $f(x, y) = y - y'_1 - k'(x - x'_1)$ , 在除  $E$  点的其他边缘点寻找另一点, 使得  $f(x, y) = 0$ , 那么此点即为  $F$  点。又因为方程是理论方程, 而坐标是离散的, 因此, 可能找不到此点, 这里需要进一步处理。处理的依据是, 端点另一端附近的边缘点代入到构造函数中异号, 因此只要找到符号变换的那两点, 不妨设这两点的坐标分别为  $(x_3, y_3), (x_4, y_4)$ , 则满足  $f(x_3, y_3) \cdot f(x_4, y_4) < 0$ , 这样  $F$  点的坐标可用  $((x_3 + x_4)/2, (y_3 + y_4)/2)$  来表示。

## 2 结果与分析

试验数据采集程序用 VC++ 6.0 编写, 分析软件为 SAS, 建立鸡蛋体积、表面积的像素表示值与其真实值之间的一元线性回归模型,  $V_p, S_p$  表示值较大, 在建模前  $V_p$  除以 10 000,  $S_p$  除以 1 000。鸡蛋体积回归模型的表达式为

$$V = 0.3476V_p + 22.6390 \quad (13)$$

相关性和显著性结果如表 1 所示。

表 1 鸡蛋体积模型分析

Tab. 1 Results of egg volume model analysis

回归平方和	误差平方和	相关系数 $R$	$F$ 值	$F_{0.96}(1, 48)$
487.068	35.972	0.965	649.930	4.675

该回归模型的总平方和为 487.068, 误差平方

和为 35.972, 相关系数为 0.965, 这表明模型具有很高的相关性。查  $F$  分布表, 可得到  $F_p(n_1, n_2) = F(1, 48) = 4.675$ 。计算出  $F$  值为 649.930, 远大于  $F_p(n_1, n_2)$ , 这表明该回归模型具有极高的显著性。

鸡蛋表面积回归模型的表达式为

$$S = 0.5821S_p + 46.3530 \quad (14)$$

相关性和显著性结果如表 2 所示。

表 2 鸡蛋表面积模型分析

Tab. 2 Results of egg surface area model analysis

回归平方和	误差平方和	相关系数 $R$	$F$ 值	$F_{0.97}(1, 48)$
290.313	17.600	0.971	791.763	5.320

该回归模型的总平方和为 290.313, 误差平方和为 17.600, 模型的相关系数为 0.971, 这表明模型具有很高的相关性。查  $F$  分布表, 可得到  $F_p(n_1, n_2) = F(1, 48) = 5.320$ 。从表 2 可得到,  $F$  值为 791.763, 远大于  $F_p(n_1, n_2)$ , 这表明该回归模型具有较高的显著性。

分析以上图和表中数据可以发现, 无论是对鸡蛋体积、还是表面积的检测, 以特征算法所建立的一元线性回归模型都具有较高的相关性和显著性。利用上述机器视觉方法对 100 枚鸡蛋进行体积和表面积进行测试, 结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 鸡蛋体积模型检测结果

Tab. 3 Prediction of egg volume by the model

误差范围/cm <sup>3</sup>	累计数/个	准确率/%
±1	92	92
±2	96	96
±3	99	99
其他	100	100

表 4 鸡蛋表面积模型检测结果

Tab. 4 Prediction of egg surface area by the model

误差范围/cm <sup>2</sup>	累计数/个	准确率/%
±1	88	88
±2	92	92
±3	97	97
其他	100	100

因此, 采用机器视觉技术, 通过像素体积和与像素表面积和建立的预测模型, 无论是从几何意义, 还是效果都是比较理想的。

### 3 结论

(1) 根据鸡蛋体积与表面积在现实中的意义, 针对现行检测手段的不足, 提出了利用机器视觉新方法预测蛋的几何特征参数, 该方法具有检测速度快, 效率高等特点。

(2) 结合鸡蛋的实际特征, 提出了理想的假设模型, 定义了像素体积和与像素表面积和两个新概念。

(3) 建立了蛋的实际体积与像素体积和、实际表面积与像素表面积之间的关系模型, 从几何学的角度更好地解释了模型的实际涵义。

(4) 若进一步提高模型的精度, 可尝试对 CCD 进行标定; 同时在检测中, 尽量保持蛋的纵径成像与图像的某一坐标方向一致, 以提高算法可靠性; 此外也可尝试多元线性回归, 进而从理论或试验上证明该方法的先进性和实用性。

(5) 该方法对禽蛋品及其他农产品的几何特征参数的在线检测提供了新的参考方法, 具有一定的实际应用价值。

### 参 考 文 献

- Mänd R. Intrapopulation variation of Avian eggs[M]. Tallinn, Estonia, 1988.
- Narushin V G, Romanov M N, Bogatyr V P. Relationship between pre-incubation egg parameters and chick weight after hatching in layer breeds[J]. Biosystems Engineering, 2002, 83(3): 373 ~ 381.
- Narushin V G, Romanov M N. Physical characteristics of chicken eggs in relation to their hatchability and chick weight[C]// Proceedings of ASAE Annual International Meeting/CIGR World Congress. Chicago, IL, 2002.
- Narushin V G. What egg parameters predict best its shell strength? [C]//IX European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. Kusadasi, Turkey, 2001: 349 ~ 355.
- Narushin V G, Romanov M N. Egg physical characteristics and hatchability [J]. World's Poultry Science Journal, 2002, 58(3): 297 ~ 303.
- Rush S A, Maddox T, Fisk A T, et al. A precise water displacement method for estimating egg volume[J]. Journal of Field Ornithology, 2009, 80(2): 193 ~ 197.
- Narushin V G. New indestructive method of egg parameters and eggshell quality determination[C]// Proceedings of Fifth European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. Tours, France, 1993: 217 ~ 222.
- Narushin V G. The avian egg: geometrical description and calculation of parameters[J]. J. Agric. Eng. Res., 1997, 68(3): 201 ~ 205.

## 参 考 文 献

- 1 Shinohara J, Suda M, Furuta K, et al. A high pressure-resistance micropump using active and normally-closed valves[C]// Proceedings IEEE Thirteenth Annual International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2000: 86 ~ 91.
- 2 Richter M, Congar Y, Nissen J, et al. A multi-material micro-pump for applications in micro-fluidics[C]// First International Conference on Multi-material Micro Manufacture, 2005: 397 ~ 400.
- 3 Yosida K, Watanabe K, Yokota S. Development of a piezoelectric micro-pump using resonantly-driven active check valve[C]// SICE Annual Conference, 2005.
- 4 阚君武, 杨志刚, 华顺明, 等. 有阀压电薄膜泵性能研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 84 ~ 87.  
Kan Junwu, Yang Zhigang, Hua Shunming, et al. Study on performance of a check-valve piezoelectric pump [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(5): 84 ~ 87. (in Chinese)
- 5 方科, 李欣欣, 杨志刚, 等. 基于压电泵自主流体驱动的新型精密位移机构[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(2): 421 ~ 424.  
Fang Ke, Li Xinxin, Yang Zhigang, et al. New type of precise motion mechanism driven by piezoelectric hydro-pump[J]. Mechanical Science and Technology, 2007, 26(2): 421 ~ 424. (in Chinese)
- 6 彭太江, 阚君武, 杨志刚. 新型压电一流体混合驱动精密位移机构[J]. 农业机械学报, 2005, 36(2): 51 ~ 54.  
Peng Taijiang, Kan Junwu, Yang Zhigang. New type of accurate-motion mechanism with hydro-piezoelectric drive [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(2): 51 ~ 54. (in Chinese)
- 7 李鹏. 主动阀压电泵的理论及实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
Li Peng. Theoretical and experimental study on piezoelectric pump with active valve[D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese)
- 8 高建民, 任宁, 谌志伟. 无阀微压电泵关键部件工作过程仿真[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 130 ~ 133.  
Gao Jianmin, Ren Ning, Chen Zhiwei. Simulation study on key part of a novel valveless piezoelectric pump[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 130 ~ 133. (in Chinese)
- 9 吴丽萍, 程光明, 曾平, 等. 单振子双腔体无阀压电泵结构设计与机理分析[J]. 光学精密工程, 2007, 15(7): 1 ~ 2.  
Wu L P, Cheng G M, Zeng P, et al. Structural design and mechanism analysis of a valveless piezoelectric pump with single bimorph and double chamber[J]. Opt. Precision Eng., 2006, 15(7): 1 ~ 2. (in Chinese)
- 10 何秀华, 张睿, 邓许连, 等. 基于有限元模拟的泵用压电振子正交优化设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 219 ~ 222.  
He Xiuhua, Zhang Rui, Deng Xulian, et al. Orthogonal optimum design of the actuator for the piezoelectric pump based on finite element simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 219 ~ 222. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 171 页)

- 9 Narushin V G. AP-animal production technology: shape geometry of the Avian egg[J]. J. Agric. Eng. Res., 2001, 79(4): 441 ~ 448.
- 10 Narushin V G. Non-destructive measurements of egg parameters and quality characteristics [J]. World's Poultry Science Journal, 1997, 53(2): 141 ~ 153.
- 11 Ayupov F G. On the egg mathematical model[C]// Advanced Scientific-Industrial Experience in Poultry Breeding, Express Information, 1976, 9: 14 ~ 16.
- 12 Narushin V G. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth[J]. Poultry Science, 2005, 84(3): 482 ~ 484.
- 13 Zhou Ping, Zheng Wengang, Zhao Chunjiang, et al. Egg volume and surface area calculations based on machine vision[C]// Proceedings of the 2nd CCTA, 2008: 1 647 ~ 1 653.
- 14 周平, 刘剑英, 文友先. 鸡蛋图像检测方法与质量预测模型[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 80 ~ 83.  
Zhou Ping, Liu Jianying, Wen Youxian. Egg image detection method and weight prediction model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 80 ~ 83. (in Chinese)