doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.038

疫苗毒株胚蛋成活性检测方法研究

黄 超1,2 刘衍聪1

(1. 中国石油大学(华东)机电工程学院, 青岛 266580; 2. 滨州学院电气工程学院, 滨州 256600)

摘要:针对人工光照法在生物疫苗毒株(胚蛋)成活性检测中,存在劳动强度大、效率低、准确性差的缺点,提出了 一种仿生胚蛋成活性图像无损检测方法。针对以往研究中胚蛋图像上下灰度不一、胚蛋蛋壳质量不一等因素影响 胚蛋血脉提取的问题,提出了一种基于最小类内指数方差的自适应阈值图像处理方法。通过对去噪后的胚蛋图像 进行图像边缘检测及数学形态学处理,准确构建了成活胚蛋主血脉二值形态,通过计算胚蛋内主血脉二值面积百 分比判定胚蛋成活性。对胚蛋图像进行识别实验,结果表明,该系统识别一枚胚蛋用时 0.093 s,胚蛋活性判定准确 率为100%,可满足灭活疫苗、冻干疫苗生产的活性准确率要求。

关键词:疫苗毒株;成活性检测;图像分割;自适应阈值 中图分类号:TP391.4 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2017)10-0300-07

Experiment on Detection Method of Vaccine Strain Activity

HUANG Chao^{1,2} LIU Yancong¹

College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China
 College of Electrical Engineering, Binzhou University, Binzhou 256600, China)

Abstract: Given the high labor intensity, low efficiency and poor accuracy of the artificial lighting method in the detection of biological vaccine strain, embryo egg, activity, a bionic embryonic egg activity image nondestructive detection system was designed. Considering the blood vessel extraction was affected by factors such as the uneven gray level of the embryo egg image and the uneven eggshell quality of the embryo egg, an adaptive threshold method based on the minimum class inner exponential variance was proposed to segment the image and extract the blood. Arterial inclusion of egg embryo imaging was a critical factor for the accuracy of the fertility detection. By analyzing the development process and lighting experiment of egg embryo, it was found that the method shooting light at the bigger part and imaging from the side was an optimal way for the egg embryo imaging. In embryo egg image acquisition, the brightness of the image was varied under the influence of the camera environment and the image acquisition system. In view of this problem, the V component was used to realize automatic image classification, and then the image process was performed respectively. The main blood vessel of the active embryo egg was constructed accurately through the image edge detection and mathematical morphology process of the denoised embryo egg image, and the embryo egg activity was determined by calculating the two values area percentage and area perimeter ratio of the main blood vessel in the embryo egg. Experimental results showed that the system can recognize one embryo egg with 0.093 s, and the detection accuracy of embryo egg activity was 100%. This system can meet the accuracy requirement of the production of inactivated vaccine and freeze-dried vaccine.

Key words: vaccine strains; fertility detection; image segmentation; adaptive gray value

引言

生物疫苗主要采用"鸡胚法"生产,即将毒种注

入鸡胚中,毒种伴随鸡胚的发育自然繁殖,鸡胚继续 发育3d左右,每枚鸡胚含有8~12mL的半成品抗 原^[1-2]。鸡胚孵化培养9~11d后,向鸡胚注射毒

收稿日期:2017-06-03 修回日期:2017-07-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51405512)和山东省重点研发计划项目(2016GNC112015) 作者简介:黄超(1981—),男,博士生,滨州学院讲师,主要从事智能控制与检测技术研究,E-mail: hc8247@163.com 通信作者:刘衍聪(1962—),男,教授,博士,主要从事工程图学及机器视觉识别技术研究,E-mail: liuycupc@163.com

301

种(接种),接种后继续孵化2~3d后,进行尿囊液 提取(收获)。在流感疫苗接种和收获前,均需要对 鸡胚进行成活性检测,剔除无精蛋、弱胚、死胚蛋,避 免其污染正常胚蛋。国内疫苗毒株的成活性检测采 用光照法,查看鸡胚血脉的粗细、血脉纹路确定鸡胚 的活性。长时间光照检测不仅造成人眼视觉疲劳, 易发生胚蛋的误判,而且劳动强度大、效率低,鸡胚 离开孵化器时间长,影响鸡胚的发育。因此,研制一 种快速有效的鸡胚成活性检测方法,对疫苗制造行 业具有重要意义。

国内学者对胚蛋成活性检测技术进行了大量的 研究^[3-8],研究成果加速了我国在胚蛋成活性自动 检测领域的发展。主要检测手段有胚蛋透光度检 测、胚蛋表面温度检测、胚蛋失水率检测等相关特征 信息的自动检测。由于胚蛋的蛋壳质量不一、胚蛋 重量差别较大、孵化温度变化率和环境温湿度变化 的影响,使得批量自动检测胚蛋时,区分度变弱,难 以准确判别胚蛋的活性。中国电子科技集团 41 所 研发的胚蛋成活性自动检测技术,实现了对孵化 18 d 后胚蛋的自动检测。但是该技术不能应用于孵化 16 d 以内的胚蛋,针对这一问题,结合胚蛋检测现状 和技术要求,提出一种仿生图像自动检测方 法^[9-22],用以判别活胚、死胚和无精蛋,以确保胚蛋 活性判断的准确率。

1 胚蛋图像的获取

1.1 成像系统

成像系统采用海康威视 30 万像素 1/4" CMOS 千兆以太网工业相机 MV - CA003 - 20GM/GC,每个 光源采用功率为 1 W 的 LED 冷白灯珠 3 颗。为得 到蛋胚的清晰血纹图像,采用内置 LED 灯珠的吸盘 将蛋胚吸起后,通过胚蛋气室投光,经胚蛋透光漫反 射,在胚蛋侧面成像。一次吸持 15 枚胚蛋,采用 15 台 工业相机同时取相,取相速度为 15 幅/(1.4 s),每 小时采集胚蛋图像约为 35 000 幅。胚蛋图像采集 装置如图 1 所示。

1.2 光源与投射方式的确定

成相系统是对一行15个胚蛋同时拍照,胚蛋的 间距较近。由于光源与胚蛋耦合不好,导致漏光现 象,使光源照射到相邻的胚蛋外壳上,产生反射光, 从而将该胚蛋的折射光覆盖掉,取照时容易取到蛋 壳的本色,而不是胚蛋的血管纹理,因此失去判定依 据,造成误判。为此,吸盘采用多层皱褶式硅胶吸 盘,吸盘的盘口形状为倒锥形,在负压的作用下,容 易和胚蛋的外壳耦合。吸盘采用黑色,起到光线的 阻挡作用,避免产生背景光,影响暗室拍照。胚蛋处



图1 胚蛋图像采集装置简图

Fig. 1 Acquisition device of embryonic image
1. 桁架移动电动机 2. 胚蛋传送带 3. 胚蛋吸盘 4. LED 灯珠
5. 工业相机 6. 计算机 7. 传送带电动机

于孵化 10~11 d 时,作为疫苗毒株培养毒种,该时 期胚蛋发育的皮肤羽毛原基遍及全身,翼和腿部羽 毛的尖端已微露,尿囊血管已在小端合拢,血管变多 变粗,成树状分布。

胚蛋的大头(有气室端)朝上放置于蛋盘中,由 于蛋盘的影响,注光灯在胚蛋上方和下方进行注光 较方便且效率高。为确定注光方位,进行上下注光 取相比较试验,如图2所示。大头注光成像,图像的 灰度自上而下逐渐增大,胚蛋的血管纹路有2/3可 以清晰可辨,能够完成胚蛋的成活性判断。小头注 光成像,图像的灰度自下而上灰度逐渐增大,胚蛋的 血管纹路只有1/3清晰可辨,不足以作为胚蛋成活 性判定的依据。因此本系统的注光取相,采用胚蛋 大头吸持注光方式。



(a) 大头注光

(b) 小头注光

图 2 同一枚胚蛋大、小头注光成像图 Fig. 2 Light injection imagings of embryo egg's different heads

1.3 成像过程

胚蛋大头朝上放置于 10 行×15 列的蛋盘中, 由传送带将整盘蛋传送至暗箱中。到达暗箱后,桁 架在电动机的驱动下定位至最后一行胚蛋的正上 方。胚蛋专用吸盘将 15 枚胚蛋吸起一定高度,脱离 蛋盘,内置于吸盘的 LED 启动,冷白光透过胚蛋的 气室将光投入胚蛋中,由 15 个相机——对应进行取 照,相机通过千兆交换机将胚蛋照片传至计算机,吸

盘下落将胚蛋放下,启动桁架定位至下一行胚蛋的 上方进行取照,完成10行胚蛋的取照后,传送带将 蛋盘送出暗室。

1.4 相机视野的确定

胚蛋在10~11d时,需完成接种前的胚蛋成活 性检测,以及入库前的成活性检测。胚蛋在这个时 期,尿囊血管在胚蛋小头合拢,整个胚蛋除了气室都 布满了血管,且血管变粗、颜色变暗。这个时期给胚 蛋投光成像,上半部分血管纹理清晰,而下半部分由 于胚胎及血管对光线的吸收和阻碍作用,图像变得 灰暗不清。为确保相机取相传输的速度,每个相机 为30万像素,在1.4 s时间内完成15幅图像的传 输。图像的大小影响图像的处理和血管纹路的提取 速度,影响胚蛋的成活性判定效率。为了使胚蛋图 像信息能够满足图像识别的要求,又能实现图像的 快速处理和提高血管纹理的提取效率,因此只需按 照图像上半部分血管纹路就能判定胚蛋的活性。调 整相机的视野时,应尽量避免包含暗箱背景和相邻 胚蛋,来提高胚蛋图像的有效信息比。相机视野范 围的调整,不影响图像的大小,对图像传输、处理存 储没有影响。采用无畸变镜头的放大倍数为6~ 12,在调整相机视野时,由于相机视野的长宽比,胚蛋 的小端部分图像采集不到,图像的采集如图3所示。

基于图像处理的胚蛋成活性判断 2

2.1 胚蛋血脉纹理分割

由于图像在采集过程中受到环境影响,不同批



(a) 暗图像

图 3 胚蛋图像 Fig. 3 Embryonic images

次所采集的图像会有所差异(图3),从而影响毒株 血脉纹理的提取。在兼顾图像采集效率的情况下, 无法完全保证拍摄环境亮度一致,针对这一问题,本 文提出了自适应血脉纹理提取方法。按照图像的明 暗程度进行分类,采用不同图像处理方法对所采集 的图像进行血脉分割和提取。

胚蛋图像亮度对其内部纹理的提取具有很大程 度的影响,且胚蛋区域基本位于图像的中间。首先 将 RGB 图像转换成 HSV 图像,然后在 V 分量图像 中提取位于中部的一个 50 像素 × 50 像素子区域, 并计算此区域的亮度均值,实现依据图像采集质量 进行自动分类。然后设定阈值,来判断图像的亮度, 针对不同亮度的图像,采用不同的血脉提取方法。

2.1.1 较亮图像的处理

对于质量较高的图像,图像亮度较高,比较容易 将胚蛋从背景中分割出来。经过对胚蛋图像各分量 的研究发现,血脉在 G 分量图像上相对比较明显, 因而在 G 分量图像上进行血脉提取。具体步骤如 图4所示。

(1)对 G 分量图像 $G = f_a(x, y)$ 采用全局阈值 T 进行分割,得到二值图像,记为 I₁₁,与自适应阈值得



较亮图像的血脉提取过程 图 4

Fig. 4 Blood extraction process for lighter image

到二值图像进行异或。

$$b(x,y) = \begin{cases} 0 & (f_g(x,y) < T) \\ 1 & (f_g(x,y) \ge T) \end{cases}$$
(1)

式中 b(x,y)——图像二值函数

(2)由于所采集图像的亮度差别较大,采用全 局阈值无法直接将血管分离出来,为使分割算法适 应不同亮度图像,采用基于最小类内指数方差的自 适应阈值分割方法进行图像分割。

假设图像 I = f(x, y) 的尺寸为 $M \times N$,且具有 L 个 灰度等级,设J={0,1,2,…,L-1}为灰度级集合, g(x,y)表示像素点(x,y)处的区域平均灰度。因 此,图像的像素本身灰度 f(x, y) 和其邻域均值 g(x,y)联合概率函数为

$$h(m,n) = Prob(f(x,y) = m\&g(x,y) = n)$$
 (2)

图像的二维直方图综合了像素的空间关系,便 于更好地呈现像素的分布情况。通过阈值向量 (t,s)对图像进行分割,t为图像像素本身灰度 f(x,y)的阈值, s 为其邻域均值 g(x,y) 的阈值^[6]。 将图像的二维直方图进行划分,如图5所示。

图 5 中,分割线 L₁和 L₂平行于主对角线((0,0) 到(L-1,L-1)),直线 L_1 和 L_2 之间区域像素点的灰 度级及其邻域平均灰度差别不大,认为是图像的目

值



Fig. 5 Division of two-dimensional histogram

标和背景内点区; L₃、L₄平行于主对角线, L₂与 L₄和 L₁与 L₃之间的两区域点的灰度级及其邻域平均灰度 有一定差别,将该区域定义为目标和背景之间过渡 的边界区; L₄右下方及 L₃左上方区域像素的灰度级 与其邻域灰度均值差别很大, 认为是图像的噪声点 区。设直线 L₅的方程为

$$g = -f + T \tag{3}$$

令 L₅的右上方为目标 O,L₅的左下方为背景 B, 背景和目标的类概率分别为

$$P_{B}(T) = \sum_{i+j \leq T}^{r} P(i,j)$$

$$(4)$$

$$P_o(T) = 1 - P_B(T) \tag{5}$$

式中 P(i,j)——联合灰度值概率

i----像素本身灰度

j----邻域灰度均值

图像的所有像素对于自身灰度和邻域平均灰度 均值矢量为

$$\boldsymbol{\mu} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\mu}_i \\ \boldsymbol{\mu}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{L} i \sum_{j=1}^{L} P_{ij} & \sum_{j=1}^{L} j \sum_{i=1}^{L} P_{ij} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} (6)$$

式中 µ_i——像素对于自身灰度矢量

μ_j——像素对于邻域平均灰度矢量 背景和目标类的均值矢量为

$$\boldsymbol{\mu}_{B} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\mu}_{Bi} \\ \boldsymbol{\mu}_{Bj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{P_{B}} \sum_{i+j \leq T} i P_{ij} & \frac{1}{P_{B}} \sum_{i+j \leq T} j P_{ij} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$
(7)

$$\boldsymbol{\mu}_{o} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\mu}_{oi} \\ \boldsymbol{\mu}_{oj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{P_{o}} \sum_{i+j>T} i P_{ij} & \frac{1}{P_{o}} \sum_{i+j>T} j P_{ij} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$
(8)

$$\sigma_{WB}^{q}(T) = \sum_{i+j \leq T} \frac{P_{ij}(|i - \mu_{Bi}(T)|^{q_1} + |j - \mu_{Bj}(T)|^{q_1})}{P_{B}^{q_2}(T)}$$
(9)

$$\sigma_{WO}^{q}(T) = \sum_{i+j>T} \frac{P_{ij}(|i - \mu_{Oi}(T)|^{q_1} + |j - \mu_{Oj}(T)|^{q_1})}{P_{O}^{q_2}(T)}$$
(10)

$$\sigma_{W}^{q}(T) = \sigma_{WB}^{q} + \sigma_{W0}^{q}$$
(11)

最小化图像的总体类内指数方差,得到最佳阈

$$T^* = \underset{0 \le T \le 2L-1}{\operatorname{arg\,min}} \sigma_w^q(T) \tag{12}$$

得到最佳阈值 T*后,将图像二值化为目标、背景

$$f_b(x,y) = \begin{cases} 0 & (f(x,y) + g(x,y) \le T^*) \\ 1 & (f(x,y) + g(x,y) > T^*) \end{cases}$$
(13)

其中, $f_{b}(x,y)$ 为分割后的二值化图像,目标灰度为 1,背景灰度为 0,将得到的二值图像记为 I_{b2} 。

(3) 将二值图像 *I*_{b1}和 *I*_{b2}进行异或操作(XOR) 得到图像 *I*_b,将胚蛋内的血管纹理变成白色

$$f_{b}(x,y) = f_{b_{1}}(x,y) \oplus f_{b_{2}}(x,y)$$
(14)

式中 *f*_{b1}(*x*,*y*)——全局阈值得到的二值图像

f_{b2}(x,y)——自适应阈值得到的二值图像

(4)为得到胚蛋内的血脉,将步骤(3)得到的图像 *I*_b与腐蚀后的 *I*_b进行与运算(AND),这样就只保留了胚蛋内的血脉纹理图像。

$$f_{b}(x,y) = f_{b}(x,y) \wedge f_{b_{1}}(x,y)$$
(15)

2.1.2 较暗图像的处理

对于较暗图像,直接对 *C* 分量进行图像分割不能将胚蛋从背景中提取出来。经过对胚蛋图像的 RGB 各颜色分量进行分析,参考 Ohta 颜色系统^[7], 经过多次实验验证,发现使用

$$I = 2.5R - 2G - 0.5B \tag{16}$$

计算特征值 I(其中 R、G、B 分别表示 3 个颜色分量) 能够将胚蛋从复杂背景分离出来,并将复杂的背景 转换为单一的黑色,使用全局阈值就可以很容易将 胚蛋从背景中分离出来。

血脉提取的效果如图6所示,具体步骤为:

(1)根据式(16)计算特征值 *I*,并采用全局阈值52(实验测得)进行二值化,得到二值图像 *I*_{b1}。

(2)根据所得到的二值图像 *I*₆₁,将 *G* 分量图像的背景部分变为黑色,然后对其采用自适应阈值法^[6]进行图像分割,得到二值图像 *I*₆₂。

(3)将二值图像 *I*_{b1}和 *I*_{b2}进行异或操作,将胚蛋内的血管脉络变成白色。

(4)为了得到胚蛋内的血脉,将步骤(3)得到的 图像与腐蚀后的图像 *I*_{b1}进行与运算,这样只保留了 胚蛋内的血脉纹理图像。





2.2 疫苗毒株成活性判断

通过分类识别,识别率基本满足需求,生产工艺 允许将活胚误判定为死胚,但不允许将弱胚或者死 胚判定为活胚。将胚蛋里面的血脉提取出来后,接 下来就根据所提取的脉络判断是否为活胚。如果所 提取的脉络为树状血脉(图 7a),则为活胚;若为血 脉不连续或模糊团块(图7b、7c),则为死胚。

为了判定可靠,采用两步判定法。第1步,在二 值图像中寻找最大连通区域记为 P,然后分别计算 区域 P 的轮廓周长和面积(像素数),记为 P_1 和 P_a , 接着计算区域 P 的面积和周长比 $R = P_a/P_{1o}$ 通过 样本测试,选取阈值为0.94,如果 R ≥0.94,则为死 胚;否则为活胚。通过该判别方法,将图7c中的死









胚剔除,但无法剔除图 7b 中的死胚。第2 步,对所 提取的血脉结果的二值图像,寻找最大联通区域,将 最大血脉区域面积与胚蛋的面积百分比作为胚蛋成 活性判断的标准

$$\gamma = \frac{A_u}{A_e} \times 100\% \tag{17}$$

式中 A₄——胚蛋血脉最大联通区域面积

A.——整个胚蛋面积

通过求取图7中二值图像的最大血脉面积占整 个胚蛋面积的百分比,即使最后获得的二值血脉结 构图中存在少量的孤点噪声像素,也不会影响γ值, 不会对最终的判别结果产生实质性影响。

根据获取的胚蛋特征值 γ,可以使用贝叶斯分 类器对被检胚蛋进行快速分类[8]。首先对样本训 练组的1000枚胚蛋(840枚活胚、160枚死胚)进行 训练,提取特征参数γ并生成盒状图(图8)。

可见,特征参数γ对活胚和死胚具有很大的区



Fig. 8 Box diagram of characteristic parameter γ

分度,我们使用贝叶斯分类器来确定特征参数γ的 分类阈值,贝叶斯分类函数可定义为^[5]

$$g(x) = \boldsymbol{W}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{x} - \boldsymbol{W}_{0} \tag{18}$$

其中
$$W_0 = \frac{1}{2} (\widetilde{m}_1 + \widetilde{m}_2)$$
 (19)

W——系数矩阵 W。——分类阈值

根据所提取的活胚和死胚两类样本的γ特征均 值,可以得到分类阈值 W₀。但由于在实际检测中, 生产工艺允许将活胚误判定为死胚,但不允许将弱 胚或者死胚判定为活胚。因此,我们在确定分类阈 值时,还需要考虑死胚的特征参数 y 的最大值,分类 阈值 W 可定义为

$$W = \begin{cases} W_0 & (W_0 \ge \gamma_{\max}) \\ \gamma_{\max} & (W_0 < \gamma_{\max}) \end{cases}$$
(20)

其中, W₀是由式(17)计算得到的分类阈值, γ_{max}为死 胚的特征参数 γ 的最大值。通过分类阈值,将图 7b 中的死胚进行剔除。经过两步判定,针对不同类型 的死胚,可实现对图7b、7c中死胚的剔除。

3 实验结果与分析

实验在某疫苗厂进行,实验样机如图9所示。

根据上述两步的毒株成活性判定法,对疫苗厂 的 600 枚 10 日龄胚蛋进行胚蛋成活性在线实时检 测,检测结果如表1所示,其中准确率P。漏判率P。 和误判率 P " 定义为



图 9 检测装置测试图 Fig. 9 Test chart of test device

 加加 2. 垂直桁架电动机 3. 水平桁架电动机 4. 水平 传动模组 5. 垂直传动模组 6. 胚蛋吸持模组

$$\begin{cases}
P_{e} = \frac{Q_{a}}{Q_{TA}} \times 100\% \\
P_{m} = \frac{Q_{m}}{Q_{TA}} \times 100\% \\
P_{w} = \frac{Q_{w}}{Q_{TA}} \times 100\%
\end{cases}$$
(21)

式中 Q_a ——活胚个数 Q_{TA} ——胚蛋总数 Q_m ——死胚被误判成活胚个数 Q_m ——活胚被错判为死胚个数

表1 胚蛋成活性检测结果

Tab. 1 Test results of embryo egg activity

数据类别	活胚	死胚	准确率/%	漏判率/%	错判率/%
	数/个	数/个	1E 94 /2	(H) 1	и),,-, ,-
标准数据	542	58			
人工检测	531	69	98.17	0	1.83
自动检测	527	73	97.50	0	2.50

由表1可以发现,人工检测和无损检测的漏判 率均为0。自动检测在胚蛋判别的准确度上接近人 工检测,影响自动检测准确度的原因主要是图像采 集角度和采集质量,以致获得的图像的血管面积比 较小。为了确保活胚的健康性,特意将血管纹理面 积比的参数调高,因此使得自动检测的错判率稍高, 但在允许范围内,保证了活胚率。人工检测平均效 率为0.4 s/枚,自动检测的平均效率为0.093 s/枚, 综合检测效率和稳定性,自动检测的优势更为 明显。

4 结束语

为了提高接毒胚蛋成活性自动检测的准确性和 高效性,采用气室注光的透射取相法,最大限度地得 到胚蛋清晰血管纹路图像。提出了基于最小类内指 数方差的灰度自适应算法,实现了胚蛋图像上、下两 部分的血管纹路提取。通过对所提取的纹路采用 基于面积周长比的区域形状判断法,消除了胚蛋 图像血环、干涸胚胎、蛋壳裂纹的影响。通过计算 胚蛋的最大血脉区域面积与胚蛋的面积比,采用 贝叶斯分类方法完成了胚蛋在线实时分类。实验 数据表明,无损检测系统的每枚胚蛋成活性判定 平均用时 0.093 s,分拣出胚蛋的活胚率为 100%, 满足灭活、冻干苗的疫苗毒株活性判别的生产 要求。

参考文献

- 目峰,张辉.孵化温湿度对鸡胚尿囊液的影响[J].中国兽医杂志,2011,47(4):28-30.
 YAN Feng,ZHANG Hui. The incubation temperature and humidity effects on chicken embryo allantoic fluid[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine,2011,47(4):28-30. (in Chinese)
- 2 张彦杰,贾玲霞,李爱芬,等. 禽流感 H9 亚型 SD696 株疫苗生产工艺改进试验[J]. 中国兽药杂志,2011,45(1):45-48. ZHANG Yanjie, JIA Lingxia, LI Aifen, et al. Experiment of improve technological processon avian influen zaVirus(H9) strain SD696 vaccine production[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine,2011,45(1):45-48. (in Chinese)
- 3 邓立苗,陈辉,马文杰. 基于反射与透射图像的糯玉米叶片机器视觉识别效果分析[J]. 粮油食品科技,2013,21(4):80-83. DENG Limiao, CHEN Hui, MA Wenjie. Study on identification of waxy corn leaf by computer vision based on reflection and transmission image[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013,21(4):80-83. (in Chinese)
- 4 杨简,石莹,刘海燕,等. 基于 DSP 和模糊神经网络种蛋识别系统[J]. 中国农机化学报, 2014,35(5):175-178. YANG Jian,SHI Ying,LIU Haiyan, et al. Unfertilized eggs verification system based on DSP system and fuzzy neural networks [J].

Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014,35(5):175-178. (in Chinese)

- 5 单宝明.基于机器视觉的疫苗制备中胚蛋成活性检测[J]. 农业机械学报, 2010,41(5):178-181. SHAN Baoming. Hatchingegg fertility detection in vaccine preparation based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(5):178-181. (in Chinese)
- 6 阳树洪. 灰度图像阈值分割的自适应和快速算法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2014.
- 7 吴迪,陈孝敬,何勇.基于离散余弦变换和支持向量机的多光谱纹理图像的茶叶分类研究[J].光谱学与光谱分析,2009, 29(5):1382-1385.

WU Di, CHEN Xiaojing, HE Yong. Application of multispectral image texture to discriminating tea categories based on DCT and LS-SVM[J]. Spectroscopy and Spetral Analysis, 2009,29(5):1382-1385. (in Chinese)

- 8 张学工.模式识别[M].3版.北京:清华大学出版社,2010.
- 9 刘川来,呼进国. 疫苗制造中接毒 SPF 胚蛋成活性无损检测系统 [J]. 中国科技论文, 2013, 8(7):711-716. LIU Chuanlai, HU Jinguo. Non-destructive detection of the survival of inoculated SPF eggs in vaccine production [J]. China Science

Paper, 2013, 8(7):711-716. (in Chinese)

- 10 冯娟,曾立华,刘刚,等.融合多源图像信息的果实识别方法[J/OL].农业机械学报,2014,45(2):72-79.http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20140213&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.013. FENG Juan,ZENG Lihua,LIU Gang, et al. Fruit recognition algorithm based on multi-source images fusion[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(2):72-79.(in Chinese)
- 11 吕继东,赵德安,姬伟.苹果采摘机器人目标果实快速跟踪识别方法[J/OL].农业机械学报,2014,45(1):65-71.http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no=20140111&flag=1.DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.
 01.011.

LÜ Jidong, ZHAO Dean, JI Wei. Fasttracing recognition method of target fruit for apple harvesting robot [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):65 - 71. (in Chinese)

12 张春龙,张楫,张俊雄,等.近色背景中树上绿色苹果识别方法[J/OL].农业机械学报,2014,45(10):277-281.http:// www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20141043&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014. 10.043.

ZHANG Chunlong, ZHANG Ji, ZHANG Junxiong, et al. Recognition of green apple in similar backgroud [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10):277 - 281. (in Chinese)

13 张建华,孔繁涛,李哲敏,等. 基于最优二叉树支持向量机的蜜柚叶部病害识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19):222-231.

ZHANG Jianhua, KONG Fantao, LI Zhemin, et al. Recognition of honey pomelo leaf diseases based on optimal binary tree support vector machine [J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(19):222 - 231. (in Chinese)

- 14 王献锋,张善文,王震,等.基于叶片图像和环境信息的黄瓜病害识别方法[J].农业工程学报,2014,30(14):148-153. WANG Xianfeng,ZHANG Shanwen,WANG Zhen, et al. Recognition of cucumber diseases based on leaf image and environmental information[J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(14):148-153. (in Chinese)
- 15 陶华伟,赵力,奚吉,等.基于颜色及纹理特征的果蔬种类识别方法[J].农业工程学报,2014,30(16):305-311. TAO Huawei, ZHAO Li, XI Ji, et al. Fruits and vegetables recognition based on color and texture features[J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(16):305-311. (in Chinese)
- 16 张善文,张传雷.基于局部判别映射算法的玉米病害识别方法[J].农业工程学报,2014,30(11):167-172. ZHANG Shanwen, ZHANG Chuanlei. Maize disease recognition based on local discriminant algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(11):167-172. (in Chinese)
- 17 熊俊涛,邹湘军,王红军,等.基于 Retinex 图像增强的不同光照条件下的成熟荔枝识别[J].农业工程学报,2013, 29(12):170-177.

XIONG Juntao, ZOU Xiangjun, WANG Hongjun, et al. Recognition of ripe litchi in different illumination conditions based on Retinex image enhancement[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(12):170-177. (in Chinese)

18 徐彦伟,徐爱军,颉潭成,等.基于多信息融合的疫苗制备中鸡蛋胚体分拣系统[J/OL].农业机械学报,2015,46(2):20-26. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20150204&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn. 1000-1298.2015.02.004.

XU Yanwei, XU Aijun, XIE Tancheng, et al. Automatic sorting system of egg embryo in biological vaccines production based on multi-information fusion [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2):20 - 26. (in Chinese)

19 吴一全,吴文怡,潘喆,等. 基于二维直方图斜分的最小类内方差阈值分割[J]. 仪器仪表学报, 2008,29(12):2651-2657.

WU Yiquan, WU Wenyi, PAN Zhe, et al. Minimum within-class variance thresholding based on two-dimensional histogram oblique segmentation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(12):2651-2657. (in Chinese)

- 20 LIEW A W C, SHU H L, WING H L. Lip contour extraction from color images using a deformable model [J]. Pattern Recognition, 2002, 35: 2949 2962.
- 21 LEE H H, HONG K S. Automatic recognition of flower species in the natural environment [J]. Image and Vision Computing, 2017,61:98-114.
- 22 袁挺,纪超,张震华,等. 基于近红外图像的温室小型西瓜采摘信息获取技术[J/OL]. 农业机械学报, 2012,43(7):174-178. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20120732&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.032.

YUAN Ting, JI Chao, ZHANG Zhenhua, et al. Information acquisition technique of mini-watermelon for harvesting based on nearinfrared image in greenhouse [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(7):174 - 178. (in Chinese)