

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.09.030

基于机器视觉图像提取的马铃薯 内部病虫害特征识别

Recognition of plant diseases and insect pests in potato based on
machine vision image extraction

王 奕

WANG Yi

(石家庄职业技术学院, 河北 石家庄 050081)

(Shijiazhuang University of Applied Technology, Shijiazhuang, Hebei 050081, China)

摘要:构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,对采集的马铃薯内部病虫害视觉图像进行分块融合检测,根据马铃薯绿叶素纹理分布进行病虫害的特征检测,提取马铃薯内部病虫害视觉分形特征量,采用表面纹理配准和分块自适应检测方法进行病虫害的特征点标定,结合小波变换方法进行马铃薯内部病虫害视觉图像的特征分解,根据颜色梯度变化的差异性实现机器视觉下的马铃薯内部病虫害特征识别。仿真结果表明采用该方法进行马铃薯内部病虫害特征识别的准确率接近 90%,提高了马铃薯内部病虫害的防治和识别能力。

关键词:机器视觉;图像;马铃薯;内部病虫害;特征识别

Abstract: In order to improve the detection and recognition ability of potato internal diseases and insect pests, image visual feature recognition method was used to detect potato diseases and insect pests, and a method of potato internal diseases and insect pests feature recognition based on machine vision image was proposed. A two-dimensional visual image acquisition model of potato internal diseases and insect pests was constructed, and the visual images of potato internal diseases and insect pests were detected by block fusion, and the characteristics of diseases and insect pests were detected according to the distribution of potato green leafin texture. The visual fractal features of potato internal diseases and insect pests were extracted, the surface texture registration and block adaptive detection methods were used to calibrate the feature points of diseases and insect pests, and the wavelet transform method was used to decompose the visual images of potato internal diseases and insect pests. According to the difference of color gradient change, the characteristics of potato diseases and

insect pests under machine vision were recognized. The simulation results show that the accuracy of the method is close to 90%, which improves the ability of the prevention and identification of the internal diseases and insect pests of potato.

Keywords: machine vision; image; potato; internal diseases and insect pests; feature recognition

马铃薯内部病虫害的隐蔽性较强,对马铃薯的产量具有很大的影响,常规的病虫害检测防治技术对马铃薯内部病虫害的治理效果不佳。随着图像处理技术和机器视觉信息处理技术的发展,采用机器视觉分析方法进行植物的病虫害防治成为可能。在计算机视觉下进行马铃薯内部病虫害检测识别,构建马铃薯内部病虫害的图像信息处理模型,采用机器视觉图像处理方法进行马铃薯内部病虫害检测识别^[1],能提高对马铃薯内部病虫害的区域性防治能力^[2],相关的马铃薯内部病虫害特征识别方法研究对促进马铃薯内部病虫害的防控和治理方面具有重要意义^[3]。

传统方法中,对马铃薯内部病虫害的检测方法主要有小波检测方法、区域分块检测方法以及分组融合滤波检测方法等^[4],构建马铃薯内部病虫害的分块区域视觉特征检测模型,提高对马铃薯内部病虫害的检测和识别能力,Pipaud 等^[5]提出了一种基于 Splines 小波特征分解的马铃薯内部病虫害视觉图像异常特征点提取方法,采用 Snake 算法对马铃薯内部病虫害视觉信息增强,结合特征分解方法进行病虫害特征识别,但该方法的计算处理速度较慢,检测的时效性差。Litjens 等^[6]提出了一种基于多重分形的马铃薯内部病虫害视觉图像特征提取技术,采用分区域特征匹配方法进行二维马铃薯内部病虫害视觉图像的分块融合性检测,采用绿叶素纹理分形实

作者简介:王奕(1982—),女,石家庄职业技术学院讲师,硕士。
E-mail: lindawangyi@163.com

收稿日期:2019-05-02

现特征提取,但该方法的抗干扰性差。

针对上述问题,提出基于机器视觉图像的马铃薯内部病虫害特征识别方法。试验拟通过构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,结合图像的分块融合检测方法进行特征识别和提取,采用颜色提取分解和纹理分割技术,实现对马铃薯内部病虫害的特征识别,并进行仿真试验分析,以期建立一种准确性高、实时性好的马铃薯内部病虫害特征识别方法。

1 机器视觉图像采集模型和预处理

1.1 病虫害视觉图像采集模型

为了实现机器视觉下的马铃薯内部病虫害特征识别,首先构建马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,结合活动轮廓检测方法得到马铃薯内部病虫害视觉图像的边缘轮廓特征量,采用灰度直方图特征分解方法,进行马铃薯内部病虫害视觉特征重构^[7],输出马铃薯内部病虫害视觉特征值满足 $\min_{c \in \{r, g, b\}} \left\{ \min_{y \in \mathbb{N}(x)} \left[\frac{I^c(y)}{A} \right] \right\} \rightarrow 1$, 此时 $\tilde{t}(x) \rightarrow 0$, 由于 $A > 0$, 得到马铃薯内部病虫害的空间区域分布的控制参数 β_i 选择如式(1)所示。

$$\beta_i = \exp\left(-\frac{|x_i - x_j|^2}{2\sigma^2}\right) \frac{1}{\text{dist}(x_i, x_j)}, \quad (1)$$

式中:

x_i —— 像素强度, d ;

x_j —— 边缘轮廓长度, cm ;

$\text{dist}(x_i, x_j)$ —— 特征点 x_i 和 x_j 之间欧式距离, cm ;

σ —— 马铃薯内部病虫害的分布密度, $\text{个}/\text{cm}^2$ 。

构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,对采集的马铃薯内部病虫害视觉图像进行分块融合检测^[8],得到马铃薯内部病虫害的纹理特征渲染信息特征分量为:

$$P(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta, \beta) \propto P(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta) (y_{w_3} | \beta_i) \prod_{k=1}^K \alpha_k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right] \cdot \frac{1}{Z(\beta_i)} \exp\left[-\sum_{c \in C} V_c(Y, \beta_i)\right] \propto \prod_{k=1}^K \frac{\alpha_k}{Z(\beta_i) \sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \cdot \exp\left\{-\left[\sum_{k=1}^K \frac{(x_i - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2} + \sum_{c \in C} V_c(Y, \beta_i)\right]\right\}. \quad (2)$$

在 4×4 子块的局部区域内建立马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,结合病害区域纹理异常特征检测方法提取马铃薯内部病虫害视觉特征量^[9],如式(3)所示。

$$d_{i+1} = 2F(x_{i+1} + \frac{1}{2}, y_i + 2) =$$

$$\begin{cases} 2[\Delta x(y_i + 2) - \Delta y(x_{i,r} + \frac{1}{2} - \Delta xB)], d_i \leq 0; \\ 2[\Delta x(y_i + 2) - \Delta y(x_{i,r} + 1 + \frac{1}{2} - \Delta xB)], d_i > 0. \end{cases} \quad (3)$$

考虑马铃薯内部病虫害视觉特征分量在有限论域 E 上的差异值,得到马铃薯内部病虫害图像二维特征 $F: E \rightarrow R^3$, 设 $T: E \rightarrow \text{PDS}(2)$, 对马铃薯内部病虫害视觉特征值进行信息重构,实现对马铃薯内部病虫害的采集和特征重组。

1.2 马铃薯内部病虫害视觉图像分块融合

在构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型的基础上,对采集的马铃薯内部病虫害视觉图像进行分块融合检测,根据马铃薯绿叶素纹理分布进行病虫害的特征检测和纹理匹配,得到马铃薯内部病虫害视觉图像的纹理分割函数为:

$$D(x, y, \sigma) = [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] \cdot I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma), \quad (4)$$

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \otimes I(x, y), \quad (5)$$

式中:

$I(x, y)$ —— (x, y) 处的分块系数;

$L(x, y, \sigma)$ —— 多重分形系数;

$G(x, y, \sigma)$ —— 关联像素值, dpi 。

关联像素值的计算式如式(6)所示。

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}. \quad (6)$$

判断马铃薯内部病虫害视觉特征分布的差异性,采用差异性检测方法,得到马铃薯内部病虫害视觉图像表面区域分割的灰度像素值为 $E[d(x, y)]$, 得到马铃薯内部病虫害视觉特征分布集 $\alpha^{(1)} = \left[\frac{1}{l}, \frac{1}{l}, \dots, \frac{1}{l}\right]^T$, l 是训练集中的马铃薯内部病虫害视觉信息采样个数,得到马铃薯内部病虫害视觉分布平均像素集为:

$$\bar{x}_T = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T x_i, \quad (7)$$

式中:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_T$ —— 每个子块的模板匹配集;

T —— 纹理分布的像素集。

采用分块融合匹配方法,建立马铃薯内部病虫害视觉图像的统计形状模型,在分块融合模板中,得到马铃薯内部病虫害内部的边缘像素集为:

$$F = \tilde{p}(x, y) = p(x, y) \left[\frac{v(x)}{v(y)}\right]^{1/2}, \quad (8)$$

其中:

$$p(x, y) = \frac{k(x, y)}{v(x)}, \quad (9)$$

$$v(x) = \sum_y k(x, y) \quad (10)$$

根据上述分析,采用绿叶素纹理区域性检测方法,实现马铃薯内部病虫害视觉特征分块融合处理,根据分块检测结果实现内部病虫害的特征识别。

2 马铃薯内部病虫害特征识别优化

2.1 马铃薯病虫害的特征标定

在上述构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,并对采集的马铃薯内部病虫害视觉图像进行分块融合检测的基础上,进行病虫害的特征识别,提取马铃薯内部病虫害视觉分形特征量,采用表面纹理配准和分块自适应检测方法进行病虫害的特征点标定^[10],马铃薯内部病虫害视觉信息分布的能量函数如式(11)所示。

$$\sum_{c \in C} V_c(Y, \beta_i) = \sum_{c \in C} \sum_{y_i \in c} (-\beta_i y_i^k) \quad (11)$$

式中:

β_i ——视觉信息特征分布系数, $\beta_i = [\beta_i^1, \beta_i^2, \beta_i^3, \beta_i^4]^T$ 。

采用动态特性监测方法,分析病虫害分布的区域性,采用多重分形方法进行马铃薯内部病虫害的相似性纹理区域重建^[11],得到区域重建模型描述为:

$$\lim_{P \rightarrow +\infty} \kappa_B^P(f)(x, y) = \max_{(s, t) \in B(x, y)} f(s, t) = \delta_B(f)(x, y) \quad (12)$$

$$\lim_{P \rightarrow -\infty} \kappa_B^P(f)(x, y) = \min_{(s, t) \in B(x, y)} f(s, t) = \epsilon_B(f)(x, y) \quad (13)$$

式中:

δ ——马铃薯内部病虫害视觉性采样的先验特征系数;

ϵ ——马铃薯内部病虫害视觉性采样的关联系数。

在局部区域中通过分区域特征匹配方法进行二维马铃薯内部病虫害分块检测和融合处理,提取马铃薯内部病虫害视觉分形特征量,采用表面纹理配准和分块自适应检测方法进行病虫害的特征点标定,得到特征点标定输出为:

$$P(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta, \beta) = \frac{1}{Z(\beta_i)} P(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta) (y_{w_3} | \beta_i) \quad (14)$$

式中:

$Z(\beta_i)$ ——高斯模板匹配集, $Z(\beta_i) = \sum_{y_{w_3}} P(y_{w_3} | x_{w_3}, \theta) (y_{w_3} | \beta_i)$;

根据上述分析,采用多重分形技术进行马铃薯内部病虫害视觉重构^[12],重构输出的迭代式见式(15)。

$$\begin{cases} x = R \sin \eta \cos \varphi, 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \\ y = R \sin \eta \sin \varphi, 0 \leq \eta \leq \pi; \\ z = R \cos \eta, R = D/2, \end{cases} \quad (15)$$

式中:

η ——视觉信息重构的分形维数;

φ ——偏移值。

根据空间区域重构结果,得到马铃薯内部病虫害特征标定在每个尺度 $\sigma^{(n)}$ ($1, 2, \dots, n$) 上的信息熵分布如式(16)所示。

$$H(x, y, \sigma) = JJ^T = \begin{pmatrix} 1 + L_x^2(x, y, \sigma) & L_x(x, y, \sigma) L_y(x, y, \sigma) \\ L_x(x, y, \sigma) L_y(x, y, \sigma) & 1 + L_y^2(x, y, \sigma) \end{pmatrix} \quad (16)$$

根据信息熵强度,对马铃薯内部病虫害特征标定点进行排序,进行病虫害区域分布视觉重建和识别。

2.2 马铃薯内部病虫害特征检测

结合小波变换方法进行马铃薯内部病虫害视觉图像的特征分解,对马铃薯内部病虫害视觉图像的特征分解的小波函数为:

$$R(x, y) = x^2 + y^2 + dx + ey + f \quad (17)$$

在最大值搜索区域内,提取马铃薯内部病虫害视觉图像的灰阶不变矩满足式(18)。

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial x} = 2x + d = 0; \\ \frac{\partial R}{\partial y} = 2y + e = 0. \end{cases} \quad (18)$$

根据误差分布情况,构建马铃薯内部病虫害视觉图像的分块区域重构模型^[13],得到马铃薯内部病虫害视觉图像的特征分辨强度为:

$$I_{GSM} = I(C^N; D^N | s^N) = \sum_{i=1}^N I(C_i; D_i | s_i) = \sum_{i=1}^N [h(D_i | s_i) - h(D_i | C_i, s_i)] = \sum_{i=1}^N [h(g_i C_i + V_i | s_i) - h(V_i)] \quad (19)$$

根据颜色梯度变化的差异性实现机器视觉下的马铃薯内部病虫害特征识别,马铃薯内部病虫害视觉图像的几何结构重组模型满足式(20)。

$$F_E = \frac{\ln I}{\ln D} \quad (20)$$

在近邻点对马铃薯内部病虫害视觉特征进行图像重构,采用机器视觉分析方法^[14-15],得到马铃薯内部病虫害视觉图像的边缘尺度为:

$$\rho(x, t) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} [\sigma \frac{u - (u + \Delta u)}{\Delta x}] = -\sigma \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (21)$$

式中:

σ ——尺度空间, cm^3 ;

Δx ——Hessian-Laplace角点视觉差, ($^\circ$)。

考虑角点的显著性进行马铃薯内部病虫害视觉图像的深度学习,以 $t(x)$ 表示马铃薯内部病虫害视觉重建的函数,令 $t(x) = e^{-\beta t(x)}$,其中 $0 < t(x) < 1$,形成的雅可比矩阵 $J(x, y, \sigma)$ 可以表示为:

$$J(x, y, \sigma) = \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial P}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L_x(x, y, \sigma) \\ 0 & 1 & L_y(x, y, \sigma) \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \cdot I(x, y), \quad (23)$$

式中:

$G(x, y, \sigma)$ ——尺度 σ 的灰度像素差异值。

在灰度像素区域内根据马铃薯内部病虫害视觉图像的纹理特征,进行灰度直方图提取,实现马铃薯内部病虫害视觉特征识别和重建,根据重建结果,实现马铃薯内部

病虫害的特征识别。

3 仿真试验结果与分析

为了测试试验方法在实现马铃薯内部病虫害特征识别中的应用性能,进行仿真试验。

3.1 试验设备及试验参数

试验的仿真软件平台为 C++,试验中对马铃薯内部病虫害视觉图像采样采用光学传感器 LBP Sensors,利用 Visual C++6.0 MFC 编写处理马铃薯内部病虫害图像信息处理程序,在机器视觉下进行马铃薯内部病虫害特征识别,对病虫害区域的内部特征初始采样像素强度为 120 d,像移值为 1.24,在病虫害区域的能量强度为 1.56 kJ,图像的分辨率为 430×210 ,对病虫害检测的初始评价参数为 3.5,信噪比为 -30 dB,其他参数设置见表 1。

表 1 仿真参数设置

Table 1 Settings of simulation parameters

因子	分辨率/ ppi	清晰度/ %	纹理分形 系数	相关特征 系数	相似度/ %	功率谱密度/ (W · Hz ⁻¹)	均值	二阶距
1	0.345	34.6	0.545	-0.675	0.467	0.765	0.576	-0.465
2	0.456	34.5	0.686	-0.546	0.434	0.545	0.433	-0.565

根据表 1 参数设定,进行马铃薯内部病虫害特征识别和提取研究,选择的样本马铃薯是从某农场购买,且选择的是出土之后就存在病虫害的马铃薯,其质量为 200 g。通过构建二维马铃薯内部病虫害视觉图像采集模型,对采集的马铃薯内部病虫害视觉图像进行分块融合检测,得到图像采集结果如图 1 所示。



图 1 马铃薯内部病虫害视觉图像采集结果

Figure 1 Visual image acquisition of diseases and insect pests in potatoes

3.2 试验分析

以图 1 采集的图像为样本,提取马铃薯内部病虫害视觉分形特征量,采用表面纹理配准和分块自适应检测方法进行病虫害的特征点标定,得到图像融合结果如图 2 所示。

分析图 2 得知,试验方法能有效实现对马铃薯内部病虫害视觉的特征重构,根据重构结果进而实现马铃薯



图 2 马铃薯内部病虫害融合结果

Figure 2 Fusion results of diseases and insect pests in potatoes

内部病虫害特征提取和识别,得到特征提取结果如图 3 所示。

图 3 中,分别对各个像移参数下的马铃薯病虫害特征进行有效识别,提高了对马铃薯内部病虫害的特征检测和识别能力。为了对比性能,采用试验方法、文献[5]方法和文献[6]方法进行对比试验,在不同的像移分布下进行马铃薯内部病虫害特征识别,测试对马铃薯内部病虫害的误检率(正确数量与数据样本总数的比值),得到对比结果如图 4 所示。

分析图 4 得知,试验方法进行马铃薯内部病虫害特征检测识别的误检率最低可至 10%,而其他两种方法下的误检率最低为 20%和 26%,高于试验方法。说明试验方法的

准确率接近 90%。测试不同方法进行马铃薯内部病虫害特征识别的时间开销,得到对比结果如图 5 所示,试验方法进行马铃薯内部病虫害特征识别的时间开销较短。

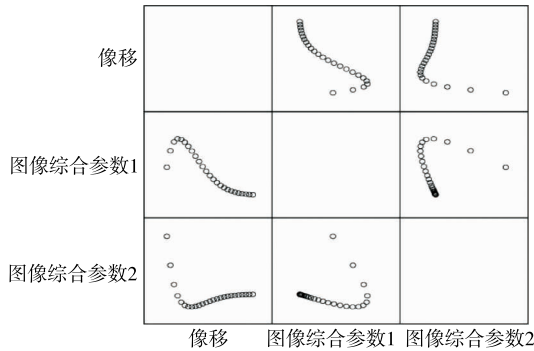


图 3 马铃薯内部病虫害特征识别结果

Figure 3 Recognition of insect pests and diseases in potato

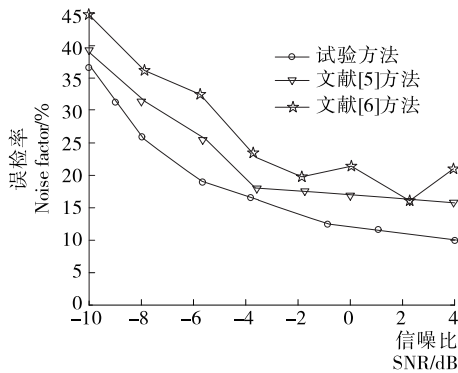


图 4 误检率对比

Figure 4 Mis-detection rate comparison

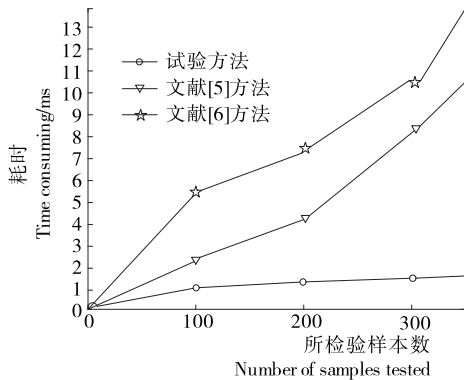


图 5 时间开销对比

Figure 5 Time overhead comparison

4 结论

试验提出基于机器视觉图像的马铃薯内部病虫害特征识别方法,采用灰度直方图特征分解方法,进行马铃薯内部病虫害视觉特征重构,根据马铃薯绿叶素纹理分布进行病虫害的特征检测和纹理匹配,建立马铃薯内部病

虫害视觉图像的统计形状模型,根据颜色梯度变化的差异性实现机器视觉下的马铃薯内部病虫害特征识别。研究得知,构建马铃薯内部病虫害的图像信息处理模型,采用机器视觉图像处理方法进行马铃薯内部病虫害检测识别,能提高对马铃薯内部病虫害的区域性防治能力。

参考文献

- [1] 陈珠琳,王雪峰. 檀香咖啡豹蠹蛾虫害的树干区域分类研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(1): 74-82.
- [2] 王帅帅. 基于高光谱成像的鲜桃虫害检测特征向量的选取[J]. 信阳农林学院学报, 2015, 25(4): 119-123.
- [3] 张军国,冯文钊,胡春鹤,等. 无人机航拍林业虫害图像分割复合梯度分水岭算法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(14): 93-99.
- [4] 田有文,程怡,王小奇,等. 基于高光谱成像的苹果虫害检测特征向量的选取[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 132-139.
- [5] PIPAUD I, LEHMKUHL F. Object-based delineation and classification of alluvial fans by application of mean-shift segmentation and support vector machines[J]. Geomorphology, 2017, 293: 178-200.
- [6] LITJENS G, KOOI T, BEJNORDI B E, et al. A survey on deep learning in medical image analysis[J]. Medical Image Analysis, 2017, 42(9): 60-88.
- [7] 窦立君. 激光雷达图像中的林区虫害区域分割与识别[J]. 激光杂志, 2017, 38(1): 115-118.
- [8] 赵建敏,薛晓波,李琦. 基于机器视觉的马铃薯病害识别系统[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(2): 198-202.
- [9] 刘栋,周冬明,聂仁灿,等. NSCT 域内结合相位一致性激励 PCNN 的多聚焦图像融合[J]. 计算机应用, 2018, 38(10): 3 006-3 012.
- [10] 宋瑞霞,王孟,王小春,等. 基于多层次多方向分解的医学图像融合算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(10): 179-185.
- [11] RAZAVIAN A S, SULLIVAN J, CARLSSON S. Visual instance retrieval with deep convolutional networks[J]. ITE Transactions on Media Technology and Applications, 2016, 4(3): 251-258.
- [12] 田芳,彭彦昆,魏文松,等. 基于机器视觉的马铃薯黑心病检测机构设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 287-294.
- [13] 陈洋,王世峰,都凯悦,王锐. 基于加速引导滤波的图像像素级融合[J]. 长春理工大学学报:自然科学版, 2018, 41(6): 11-15.
- [14] 刘佳鑫,魏嫒. 可见光-近红外 HSV 图像融合的场景类字典稀疏识别方法[J]. 计算机应用, 2018, 38(12): 3 355-3 359, 3 366.
- [15] 薄璐,王立霞. 基于视觉图像识别的番茄表面农药残留量无损检测方法[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 69-72, 77.