

基于高光谱图像信息的李果实成熟度判别

李丽丽¹, 王斌², 张学豪³, 张淑娟³

(1. 山西农业大学信息科学与工程学院, 山西太谷 030801) (2. 山西农业大学信息学院, 山西太谷 030801)

(3. 山西农业大学工学院, 山西太谷 030801)

摘要: 本文以李果实作为研究对象, 基于高光谱图像技术对不同成熟度的李果实(未熟、半熟、成熟和过熟)样本的图像信息进行采集, 对采集样本的图像进行中值滤波去噪处理。运用 Matlab 软件编程对各种成熟度样本的图像进行颜色特征值提取, 分别获得 RGB 和 HSV 彩色图像模型不同分量的平均值(μ)和标准差(σ)作为颜色特征值, 并建立 RGB、HSV 颜色特征值以及 RGB-HSV 特征值相融合的样本成熟度 PLS 判别模型, 并对所建立的判别模型进行预测。结果表明, 基于 RGB-HSV 相融合颜色特征值的判别模型准确率优于 RGB 与 HSV, 其对未熟、半熟、成熟、过熟的判别准确率达到 98.4%、90.0%、85.6% 及 90.9%。该方法建立的判别模型不仅简化, 而且增强了模型的判别能力, 为实现李果实成熟度的无损检测和判别提供理论依据。

关键词: 李果实; 成熟度; 高光谱; 颜色特征; 无损

文章编号: 1673-9078(2017)12-228-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.034

Discrimination on Maturity of Plums Based on Hyperspectral Imaging Information

LI Li-li¹, WANG Bin², ZHANG Xue-hao³, ZHANG Shu-juan³

(1. College of Information Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China) (2. College of Information, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China) (3. College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: In this paper, plum was regarded as the research object, and image informations of different mature degrees of plum fruit (unripe, ripe, mature and overmature) samples were collected based on hyperspectral image. Then the images were treated with median filtering denoising. RGB and HSV color image models were obtained from different mature degrees by Matlab software and average and standard deviation of different components were regarded as the color feature value. RGB, HSV and RGB-HSV color characteristic value were established to identify the plum maturity PLS, and the established models were predicted. The results showed that the accuracy rate of discriminated model based on RGB-HSV color feature value was better than that of RGB and HSV. The accuracy rate of immaturity, instrumental, mature and overmature plum reached 98.35, 90.00%, 85.85% and 90.85%, respectively. The results showed that this discriminated model not only simplified but also enhances the discriminated ability of models, and provided the theoretical basis for the nondestructive detection and discrimination of plum maturity.

Key words: Plum; maturity; hyperspectral imaging; color feature; non destructive

李果实是蔷薇科李属植物, 别名麦李、脆李、嘉庆子、李实、金沙李、山李子。李果实跟其他大部分水果一样, 影响水果品质的主要因素是其采收期, 若过早采摘, 果实还未成熟, 影响果实成熟后口味, 难以达到现代人民的食用要求。当前, 水果生产由数量

收稿日期: 2017-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31271973); 山西省自然科学基金资助项目(2012011030-3); 山西农业大学青年科技创新项目(2016005)

作者简介: 李丽丽(1988-), 女, 硕士, 助教, 研究方向: 农业信息化技术
通讯作者: 张淑娟(1963-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 农产品信息智能化检测与分级装备

向质量方向转变, 这就对果实合理采摘有了更高要求。根据经验和人眼观察等传统方法对果实进行采摘, 由于其采摘的不确定性, 已经不能够适应现代水果行业发展需求。

高光谱成像检测技术不仅聚集上边所有方法的优点, 而且它将光谱与图像相融合, 不仅具有光谱信息, 还有图像信息以及波段的多样化, 正是由于其所具有的巨大优势, 高光谱成像检测技术得到了飞速的发展, 并且受到了大量研究者的青睐, 在水果品质无损检测方面硕果累累^[1,2]。

迟茜等^[3]利用主成分分析确定最佳光谱区域, 结

合光谱相关性优选了4个特征波长,结果表明平均识别率达到了97.9%。黄双萍等^[4]基于高光谱成像技术,提出光谱词袋模型分析法并采用支持向量机分类算法建立穗瘟病害程度分级模型,识别精度达到94.72%。章海亮等^[5]基于高光谱成像技术,对蒂腐和黑斑等缺陷果和正常果结合主成分分析确定2个最佳波长,并作主成分分析,实验识别率达到了94%。强锋等^[6]利用高光谱技术对灵武长枣可溶性固形物含量(SSC)检测进行研究,采用去趋势(Detrend)预处理算法效果最优,CARS-PLSR建模效果最优,其相关系数(Rp)为0.864,预测均方根误差(RMSEP)为1.174。R Lu^[7]基于高光谱成像系统,利用主成分分析实现新的和旧的伤痕判别,正确的检测率从62%到88%为红新苹果,从59%至94%为金冠苹果。Haiyan Cen等^[8]利用高光谱图像基于特征选择和监督分类算法对黄瓜果实中的低温损伤进行了检测,结果表明基于序列向前选择分类结果达到100%,而分为三级的总体精度达到90.5%。

本研究利用高光谱图像信息^[9]对李果实成熟度进行判别,首先经过中值滤波去除图像中存在的噪声,然后就图像信息对各种成熟度样本的图像进行颜色特征值提取,分别采用RGB和HSV模型^[10]提取得到不同颜色分量上的平均值(μ)和标准差(σ)作为颜色特征值,并分别建立RGB、HSV以及RGB和HSV颜色特征值融合的李果实成熟度PLS判别模型,并进行预测。

1 实验材料和方法

1.1 实验样本

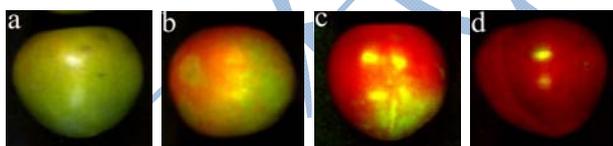


图1 不同成熟度的样本图

Fig.1 Different Maturity of plums

注: a, 未熟; b, 半熟; c, 成熟; d, 过熟。

实验材料李果实样本于2015年6月份~8月份采摘至山西太谷侯城乡。分别采摘并从中挑选出过熟样本80个、成熟样本80个、半熟样本80个、未熟样本80个(共计320个样本)。利用Kennard-Stone算法^[11]将各类样本按照3:1的比例随机分成校正集和预测集,并选出20个未熟样本、20个半熟样本、20个成熟样本,20个过熟样本作为预测集,其余240个校正集样本为60个未熟样本、60个半熟样本、60个成熟样本、60个过熟样本。4类样本各假定一个值作为成

熟度判别的依据,将未熟样本赋值为1,半熟样本赋值为2,成熟样本赋值为3,过熟样本赋值为4。图1为四种成熟度的样本图。

1.2 高光谱数据采集

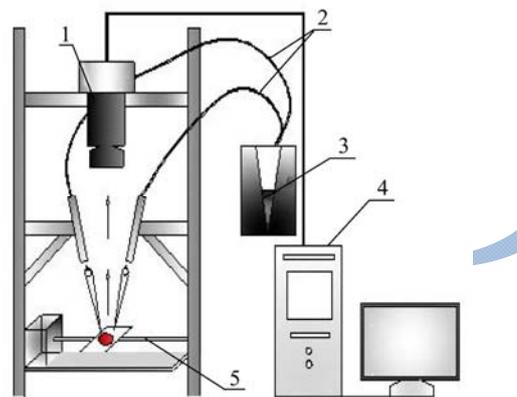


图2 高光谱采集系统

Fig.2 Hyperspectral imaging system

注: 1.摄像头; 2.光纤; 3.光源; 4.计算机; 5.输送平台。

图2为高光谱成像系统结构示意图。仪器中有两个信号检测模块,分别为MSC 621 VIS II和MCS 611 NIR 1.7HR,采集的数据分别为420~1000 nm和980~1700 nm,积分时间分别为1.2 s和3.2 s,本实验采用420~1000 nm的MSC 621 VIS II模块,其中采集信息物距(对象至镜头边缘)为30 cm,曝光时间为3000 μ s,平台运行速度为20 mm/s,总的运行距离为400 mm。

1.3 高光谱图像校正

由于系统暗电流和光源不均匀等的影响,采集梨枣样本图像后,须对高光谱图像进行黑白标定。系数调整好后,先扫描反射率为99%的标准白色校正板得到全白的参考图像 A_C ,然后采集全黑的参考图像 B_C ,黑白标定公式为:

$$R_C = \frac{I_C - B_C}{A_C - B_C}$$

式中, I_C -原始的高光谱图像; B_C -全黑的标定图像; A_C -全白的标定图像; R_C -标定后的高光谱图像。

所有高光谱图像数据的采集都是基于台湾五铃光学股份有限公司提供的信息采集软件为(Isuzuo-ptics)软件平台,数据处理基于ENVI4.7(Research System Inc.,Boulder, Co.,USA)和Matlab R2010b软件平台。

2 结果与讨论

2.1 图像信息

2.1.1 图像预处理

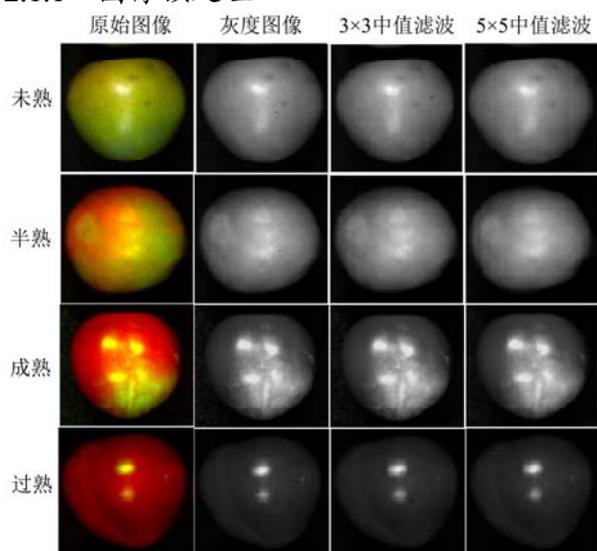


图3 灰度与预处理图

Fig.3 Gray and Pretreatment Maps

如图3所示,从上到下分别代表不同成熟度样本,从左到右分别表示原始样本图、原始样本灰度图像、3×3中值滤波图像以及5×5中值滤波图像。对图像进行中值滤波去除图像中存在的噪声,采用峰值信噪比(PSNR)作为图像除噪效果的评价指标,经过3×3中值滤波图像的PSNR为92.06,而经过5×5中值滤波图像的PSNR为91.38,所以我们选择3×3中值滤波对图像进行去噪。

2.1.2 颜色特征值提取

不同成熟度的李果实其表皮颜色差别比较大,由未熟的青色到过熟的深红色,所以通过颜色特征值的提取判别其成熟度是可行的。本文利用Matlab R2010b软件编程,分别采用RGB和HSV两种模型提取得到颜色特征值平均值(μ)和标准差(σ),作为判别李果实成熟度的输入。

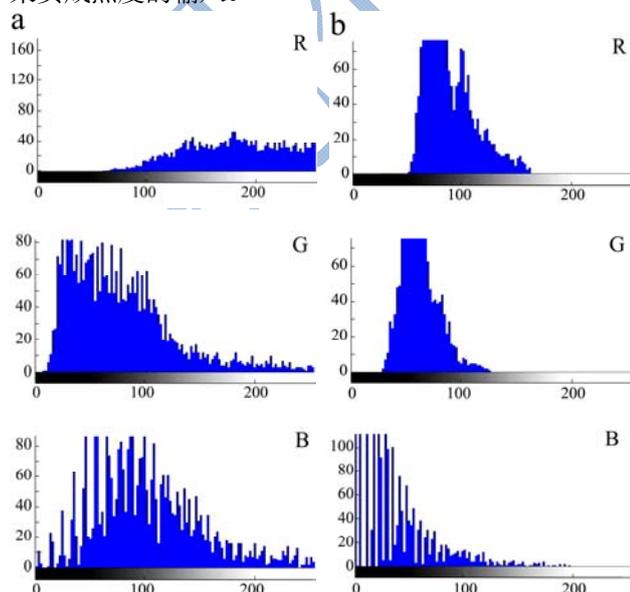


图4 各种成熟度RGB分量直方图

Fig.4 RGB histograms of all mature components

注: a, 未熟; b, 半熟; c, 成熟; d, 过熟。

如图4所示,各种成熟度样本的R、G、B分量的直方图。从图中可以看出,各种成熟度李果实样本其R、G、B分量存在明显的差距。未熟样本G分量明显高于其他样本,而过熟样本R分量占据主要,对于B分量各种成熟度样本表现不明显,没有一定的规律。所以通过对三个分量分别进行一阶矩(均值)和二阶矩(方差)特征值提取,然后基于特征值建立判别李果实成熟度的PLS模型。

2.2 基于RGB特征值判别

建立基于RGB特征值为输入的李果实成熟度的PLS模型,对李果实成熟度进行判别分析。

由图5和表1可以看出,基于RGB特征值对李果实成熟度进行预测时,半熟的误判个数为2个,识别率达到了90.0%。成熟和过熟误判个数为6个和1个,识别率达到了70.0%和95.0%。而未熟误判个数为0个,识别率达到了100%。

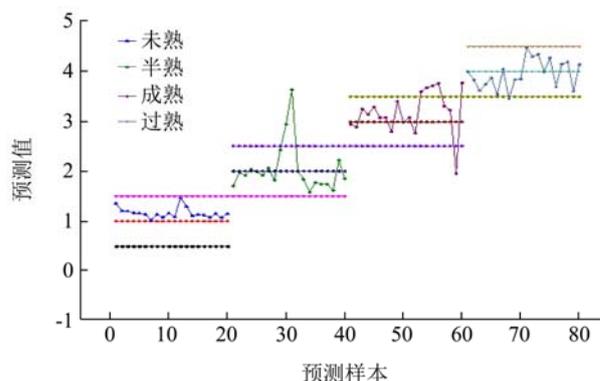


图5 RGB-PLS模型判别结果

Fig.5 Classifying results of RGB-PLS model

表 1 基于 RGB-PLS 的成熟度预测集判别结果

Table 1 Recognition results of maturity prediction set based on

RGB-PLS						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	20	0	0	0	20	100%
2	0	18	1	1	20	90.0%
3	0	1	14	5	20	70.0%
4	0	0	1	19	20	95.0%

表 2 基于 RGB-PLS 的成熟度校正集判别结果

Table 2 Recognition results of maturity correction set based on

RGB-PLS						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	57	3	0	0	60	95.0%
2	5	54	1	0	60	90.0%
3	5	2	53	0	60	88.3%
4	0	0	7	53	60	88.3%

由图 5 和表 2 可以看出, 基于 RGB 特征值对李果实成熟度进行校正时, 成熟和过熟误判数均为 7 个, 识别率为 88.3%。半熟误判数为 6 个, 识别率达到 90.0%, 而未熟误判数为 3 个, 识别率达到 95.0%。整体来说, 通过 RGB 特征值对果实成熟度进行判别, 准确率比较高, 其对李果实成熟度的总体判别准确率为 97.5%、90.0%、79.2%及 91.7%。

2.3 基于 HSV 特征值判别

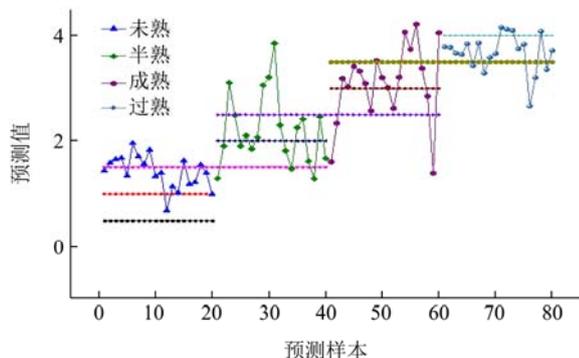


图 6 HSV-PLS 模型判别结果

Fig.6 Classifying results of HSV-PLS model

表 3 基于 HSV-PLS 的成熟度预测集判别结果

Table 3 Recognition results of maturity prediction set based on

HSV-PLS						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	12	8	0	0	20	60.0%
2	3	13	4	0	20	65.0%
3	0	3	12	5	20	60.0%
4	0	0	5	15	20	75.0%

表 4 基于 HSV-PLS 的成熟度校正集判别结果

Table 4 Recognition results of maturity correction set based on

HSV-PLS						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	37	23	0	0	60	61.7%
2	15	38	7	0	60	63.3%
3	0	18	38	4	60	63.3%
4	0	0	12	48	60	80.0%

建立基于 HSV 特征值为输入的李果实成熟度的 PLS 模型, 对李果实成熟度进行判别分析。

由图 6 和表 3 可以看出, 基于 HSV 特征值对李果实成熟度进行预测时, 未熟和成熟的误判个数分别为 8 个, 识别率均为 60.0%。半熟误判个数达到 7 个, 识别率为 65.0%。而过熟误判数为 5 个, 识别率为 75.0%。

由图 6 和表 4 可以看出, 基于 HSV 特征值对李果实成熟度进行校正时, 未熟误判数为 23 个, 识别率为 61.7%, 半熟和成熟误判数均为 17 个, 识别率为 63.3%。而过熟误判数为 12 个, 识别率为 80.0%。整体来说, 对李果实成熟度的总体判别准确率为 60.9%、64.2%、61.7%及 77.5%。通过 HSV 特征值对李果实成熟度进行判别, 准确率不高, 明显没有通过 RGB 特征值的判别准确率高。

2.4 基于 RGB 与 HSV 特征值融合判别

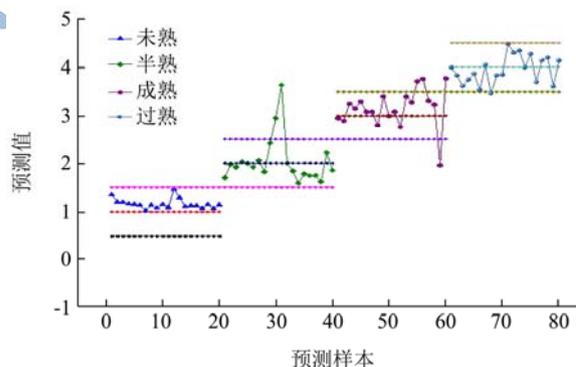


图 7 RGB-HSV-PLS 模型判别结果

Fig.7 Classifying results of RGB-HSV-PLS model

表 5 基于 RGB-HSV-PLS 成熟度预测集判别结果

Table 5 Results of maturity prediction set based on

RGB-HSV-PLS model						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	20	0	0	0	20	100%
2	0	18	2	0	20	90.0%
3	0	1	16	3	20	80.0%
4	0	0	1	19	20	95.0%

表 6 基于 RGB-HSV-PLS 的成熟度校正集判别结果

Table 6 Results of maturity correction set based on

RGB-HSV-PLS model						
成熟度	1	2	3	4	样本数	识别率/%
1	58	2	0	0	60	96.7%
2	5	54	1	0	60	90.0%
3	0	4	55	1	60	91.7%
4	0	0	8	52	60	86.7%

并建立基于 4 类样本 RGB 与 HSV 特征值融合为输入的李果实成熟度的 PLS 模型, 对李果实成熟度进行判别分析。

由图 7 和表 5 可以看出, 基于 RGB-HSV 特征值对李果实成熟度进行预测集预测时, 未熟的误判个数分别为 0 个, 识别率为 100%。半熟误判个数为 2 个, 识别率 90.0%。成熟误判个数为 4 个, 识别率 80.0%, 而过熟误判个数为 1 个, 识别率 95.0%。

由图 7 和表 6 可以看出, 基于 RGB-HSV 特征值对李果实成熟度进行校正集预测时, 未熟误判数是 2 个, 识别率为 96.7%, 半熟和成熟误判数分别为 6 个和 5 个, 判别率分别为 90.0%和 91.7%。而过熟误判数为 8 个, 判别率为 86.7%。整体来说, 通过将 RGB 和 HSV 融合作为特征值来对李果实成熟度进行预测时, 其准确率很满意, 对李果实成熟度的总体判别准确率为 98.4%、90.0%、85.6%及 90.9%。

3 结论

该研究以不同成熟度的李果实为研究对象, 基于颜色特征值, 分别运用 RGB 和 HSV 模型的特征值作为模型输入值建立 PLS 模型, 通过图像处理技术, 基于机器视觉对李子样本的成熟度进行预测。具体结论如下:

3.1 建立基于 RGB 特征值为输入的李果实成熟度 PLS 模型, 结果表明, 基于 RGB 特征值对样本成熟度判别准确率比较高, 综合准确率达到 97.5%、90.0%、79.2%及 91.7%。

3.2 运用 Matlab 2010b 软件编程将 RGB 图像模型转换为 HSV 模型, 从色调、亮度以及饱和度方面建立 HSV 特征值为输入的李果实成熟度 PLS 判别模型, 结果表明, 基于 HSV 特征值对样本成熟度判别不理想, 其判别准确率为 60.9%、64.2%、61.7%及 77.5%。

3.3 将 RGB 特征值和 HSV 特征值融合并建立 PLS 模型, 结果表明, 其准确率优于如上所述的 RGB 和 HSV 模型。其综合准确率达到 98.4%、90.0%、85.6%及 90.9%。

参考文献

- [1] 赵凡,董金磊,郭文川.高光谱图像光谱提取区域对猕猴桃糖度检测精度的影响[J].现代食品科技,2016,32(4):223-228
ZHAO Fan, DONG Jin-lei, GUO Wen-chuan. Effect of spectral extraction regions in hyperspectral images on the precision in determining the sugar content of Kiwifruits [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 223-228
- [2] 孙静涛,马本学,董娟.基于特征波长提取的哈密大枣可溶性固形物的高光谱预测[J].现代食品科技,2016,32(9):174-179
SUN Jing-tao, MA Ben-xue, DONG Juan, et al. Characteristic wavelength selection-based prediction of soluble solids content of Hami Big Jujubes using the hyperspectral imaging technology [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(9): 174-179
- [3] 迟茜,王转卫,杨婷婷,等.基于近红外高光谱成像的猕猴桃早期隐性损伤识别[J].农业机械学报,2015,46(3):235-241
CHI Qian, WANG Zhuan-wei, YANG Ting-ting, et al. Recognition of early hidden bruises on kiwifruits based on near-infrared hyperspectral imaging technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 235-241
- [4] 黄双萍,齐龙,马旭,等.基于高光谱成像的水稻穗瘟病害程度分级方法[J].农业工程学报,2015,31(1):212-219
HUANG Shuang-ping, QI Long, MA Xu, et al. Grading method of rice panicle blast severity based on hyperspectral image [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 212-219
- [5] 章海亮,高俊峰,何勇,等.基于高光谱成像技术的柑橘缺陷无损检测[J].农业机械学报,2013,44(9):177-181
ZHANG Hai-liang, GAO Jun-feng, HE Yong, et al. Nondestructive detection of citrus deflection using hyper-pectra imaging technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 177-181
- [6] 强锋,王芹志,何建国,等.基于 VIS/NIR 高光谱技术的灵武长枣 SSC 含量的无损检测研究[J].现代食品科技,2017,33(4):283-288
QIANG Feng, WANG Qin-zhi, HE Jian-guo, et al. Application of VIS/NIR hyperspectral imaging technology in non-destructive measurement of soluble solid content in Lingwu jujube [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(4): 283-288
- [7] Lalit Mohan Kandpal, Santosh Lohumi, Moon S Kim, et al. Near-infrared hyperspectral imaging system coupled with multivariate methods to predict viability and vigor in

- muskmelon seeds [J]. *Sensors and Actuators*, 2016, 229(28): 534-544
- [8] Haiyan Cen, Renfu Lu, Fernando Mendoza, et al. Nondestructive detection of chilling injury in cucumber fruit using hyperspectral imaging with feature selection and supervised classification [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 111: 352-361
- [9] 刘涛,孙成明,王力坚,等.基于图像处理技术的大田麦穗计数[J].*农业机械学报*,2014,45(2):282-290
LIU Tao, SUN Cheng-ming, WANG Li-jian, et al. Infield wheatear counting based on image processing technology [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(2): 282-290
- [10] 赵高长,张磊,武风波,等.改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用[J].*应用光学*,2011,32(4):678-682
ZHAO Gao-chang, ZHANG Lei, WU Feng-bo, et al. Application of improved median filtering algorithm to image de-noising [J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, 32(4): 678-682
- [11] 薛建新,张淑娟,张晶晶.基于高光谱成像技术的沙金杏成熟度判别[J].*农业工程学报*,2015,31(11):300-307
XUE Jian-xin, ZHANG Shu-juan, ZHANG Jing-jing. Ripeness classification of Shajin apricot using hyperspectral imaging technique [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(11): 300-307