

高光谱技术在常规水稻种子活力检测中的应用

吴小芬¹, 赵光武², 祁亨年^{1*} (1. 湖州师范学院信息工程学院, 浙江湖州 313000; 2. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 浙江临安 311300)

摘要 [目的]实现常规水稻种子活力的快速自动化检测。[方法]采用高光谱成像技术(波长范围 874~1 734 nm),提取甬粳69和中早39 2种常规水稻种子未老化、老化 48 h 和老化 72 h 的光谱反射率,在提取样本光谱时采用小波变换(WT)剔除像素点光谱噪声部分,并基于全波段光谱建立了支持向量机(SVM)判别分析模型。[结果]未老化种子与老化种子可以准确识别,而老化 48 h 种子与老化 72 h 种子之间无法准确识别,与基于种子活力参数的测量结果相符,且不同水稻品种对老化的反应存在差异。[结论]高光谱成像技术结合化学计量学方法用于种子活力的快速自动化无损检测是可行的。

关键词 常规水稻;种子活力;高光谱成像技术;支持向量机;特征波长

中图分类号 S-3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)29-0012-03

Inspect Rice Seed Vigor of Conventional Rice by Hyperspectral Imaging with Chemometric Methods

WU Xiao-fen¹, ZHAO Guang-wu², QI Heng-nian^{1*} (1. School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000; 2. Key Laboratory of Agricultural Products Quality Improvement Technology in Zhejiang Province, Faculty of Agricultural and Food Science, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300)

Abstract [Objective] The aim was to realize fast and automatic detection of rice seed vigor. [Method] Hyperspectral imaging covering the spectral range of 874~1 734 nm was applied to detect conventional rice seed vigor. Two rice seed cultivars (named Yongxian69 and Zhongzao 39) were used for analysis. Spectral information of untreated rice seeds, rice seeds accelerated aging for 48 hours and 72 hours was extracted from hyperspectral images. Wavelet transform was applied to eliminate obvious random noises of pixel-wise spectra before spectra extraction. Support vector machine (SVM) was applied to build discriminant models using full spectra. The SVM models of the two rice cultivars showed acceptable results. [Result] The untreated seeds and treated seeds could be accurately discriminated, while seeds accelerated aging for 48 hours and 72 hours could not be discriminated. The results matched with the vigor test by traditional methods, and the accelerated aging showed differences on different seed cultivars. [Conclusion] The hyperspectral imaging combined with chemometric methods could be used for fast, automatic and non-invasive detection of rice seed vigor.

Key words Conventional rice; Rice seed vigor; Hyperspectral imaging technology; SVM; Characteristic wavebands

种子是农业生产的基本生产资料,种子活力是种子质量的重要指标,高活力种子具有更大的生长潜能和优势。由于种子活力的特殊性,大多数的活力测定耗时、耗资,而且有的测定方法如四唑法要求操作者的经验相当丰富,活力测定结果在实验室内也往往不一致,这些不利的特点限制了活力测定在不发达国家的广泛应用。因此,快速无损的种子活力检测方法是未来的发展趋势。

高光谱成像技术是一种结合了光谱和图像技术的无损检测技术,目前的研究主要集中在作物品种识别、果蔬品质以及精准农业中作物长势监测上。Choudhary 等^[1]用小波纹理分析方法对小麦品种进行分类。有研究者通过挑选敏感波段,再采用图像处理方法对小麦种子中的杂质进行在线识别^[2]。黄敏等^[3]利用高光谱成像技术对 9 个玉米品种真伪进行识别。朱启兵等^[4]利用高光谱成像系统对 17 类玉米品种进行识别。张初等^[5]采用高光谱成像技术对西瓜品种进行鉴定。Tan 等^[6]利用高光谱成像技术对大豆品种进行分类。杨小玲等^[7]利用高光谱成像技术对玉米成熟和未成熟种子进行分类。有关高光谱成像技术在种子活力检测中的研究甚少,许思等^[8]通过提取杂交水稻种子的光谱反射率对种子活力等级进行了分级探讨,但常规水稻的活力快速无损

检测还有待于进一步研究。水稻是我国主要的粮食作物之一,随着我国杂交水稻育种在品质和产量上瓶颈问题的出现,近几年常规稻越来越受到重视,鉴于常规稻的优良品质及遗传的一致性,笔者以 2 种常规稻品种的不同老化程度的种子为材料,通过近红外高光谱成像仪,对不同活力水平的种子样品进行图像识别并测定其活力指标,建立了判别分析模型,研究了高光谱成像技术检测常规水稻种子活力的可行性,以期为实现常规水稻种子活力的快速自动化无损检测提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料 试验采用的是 2016 年收获的常规水稻种子甬粳 69 和中早 39。将收获的水稻种子自然风干,从中选取 1 g 水稻种子(50 粒左右)作为一个样本(便于测量种子活力),每个品种分别采集 90 个样本,编号后装入塑封袋,密封。

1.2 方法

1.2.1 种子老化试验。种子老化试验设计按照浙江农林大学农业与食品科学学院教授设计进行。在每个品种中,随机选择 30 个样本于室温(20℃,湿度 60%)下放置,剩余 60 个样本置于 HL-150S 人工老化箱(温度 45℃,湿度 95%)中。老化 48 h 后,随机取出 30 个样本,置于室温条件下,剩余 30 个样本继续放置 24 h,最终得到未老化、老化 48 h 和老化 72 h 的水稻种子,将 2 个水稻品种种子中未老化、老化 48 h、老化 72 h 的样本分别赋予类别值 1、2、3。

1.2.2 高光谱图像采集。采用地面近红外高光谱成像系统,其波长范围为 874~1 734 nm,光谱分辨率为 5 nm。其

基金项目 浙江省自然科学基金项目(Y14C130046);国家公益性行业(农业)科研专项(201303002)。

作者简介 吴小芬(1983—),女,浙江临安人,硕士研究生,研究方向:模式识别。*通讯作者,博士,博士生导师,从事模式识别、机器视觉研究。

收稿日期 2017-08-09

中,成像光谱仪 N17E (ImSpector N17E; Spectral Imaging Ltd., Oulu, Finland), 相机 (Xeva 992; Xenics Infrared Solutions, Leuven, Belgium) 以及镜头 (OLES22; Specim, Spectral Imaging Ltd., Oulu, Finland) 用来获取高光谱图像, 一个光源系统 (3900 Lightsource, Illumination Technologies Inc., Elbridge, USA) 提供线光源, 一个电移动平台 (Isuzu Optics Corp., 中国台湾) 用于移动样本。在进行高光谱图像采集时, 高光谱成像系统的曝光时间设定为 3 ms, 平台移动速度为 20 mm/s, 镜头距离样本的高度为 22.5 cm。

该近红外高光谱成像系统获取的是原始高光谱图像, 无法直接进行处理, 需要对原始图像进行校正得到反射高光谱图像^[9]。高光谱图像的校正基于以下公式:

$$I_R = \frac{I_{raw} - I_d}{I_w - I_d} \quad (1)$$

式(1)中, I_R 为校正后的图像; I_{raw} 为校正前的原始图像; I_w 为反射率接近 100% 的标准白板校正图像; I_d 为反射率接近于 0 的黑板校正图像。

1.2.3 光谱信息提取。校正后的高光谱图像, 首先基于 1 200 nm 波段的灰度图像进行二值化构建掩膜图像, 样本区域变为 1, 而背景区域变为 0。将掩膜图像应用于所有波段的灰度图像, 从而使高光谱图像背景反射率变为 0, 而样本反射率保持不变。在进行高光谱图像分析时, 以每一粒水稻种子作为一个单独样本, 以每一个样本区域作为感兴趣区域 (ROI) 提取光谱信息, 每一个样本所有像素点平均光谱作为该样本光谱。在提取光谱信息前, 考虑到像素点光谱存在较明显的随机噪声, 采用小波变换 (WT) 对像素点光谱进行预处理以去除噪声, 小波基函数选择 Daubechies 8, 信号分解尺度选择 3。经过 WT 预处理后的像素点光谱, 用于计算每个水稻种子的平均光谱。

1.2.4 数据处理方法。

1.2.4.1 判别分析模型。支持向量机 (SVM) 是一种应用广泛的有监督判别分析方法。SVM 通过将数据从原始空间映射到高维空间, 在高维空间中构建 1 个或一系列的超平面, 使不同类别样本在高维空间中与超平面的距离最远, 从而使判别误差最小^[10]。SVM 中数据的映射需要核函数实现, 径向基核函数 (RBF) 是最常用的核函数, 具有良好的非线性映射能力。

1.2.4.2 数据分析软件和模型评价。高光谱图像光谱数据提取、WT 预处理、PCA、SVM 建模采用 Matlab 2010b (The Math Works, Natick, USA) 实现, 判别分析模型的判别效果由判别准确率进行评价。

1.2.5 种子老化程度可视化。高光谱成像技术同时获取样本的光谱和图像信息, 在高光谱图像中, 每一个像素点都有 1 条光谱, 而每一个光谱波段下都有 1 幅灰度图。高光谱成像技术的优势使其可以预测每一个像素点的理化特征和类别归属, 从而得到预测图 (或可视化分布图)。高光谱成像预测图的流程: ①对高光谱图像进行预处理, 提取样本光谱信息; ②结合理化特征或类别归属建立回归或判别分析模型; ③将建立的模型应用于像素点光谱预测。高光谱成像可视化有助于直观地对种子老化程度进行判别, 为种子老化程度实时在线的可视化检测提供了技术支撑。

1.2.6 发芽试验。为保持前后数据的一致性, 采用经高光谱采集后的种子进行发芽试验。将种子均匀置于发芽盒后放入光照培养箱中发芽, 培养箱条件设置为: 黑暗条件 (温度 20 ℃, 时间 16 h) 和光照条件 (温度 30 ℃, 时间 8 h, 光照强度为 12 000 lx)。第 5 天计算发芽势, 第 14 天计算发芽率和平均根长, 计算种子活力指数。由表 1 可知, 未老化种子和老化种子的活力等级差异较大。

表 1 不同老化处理的种子活力指数

Table 1 Seed vigor index with different artificial aging

品种 Varieties	老化时间 Artificial aging time//h	平均根长 Average root length//cm	发芽率 Germination rate//%	简易活力指数 Simple vigor index	活力等级分组 Vigor grade group
甬粳 69 Yongxian 69	0	4.55	93.24	4.24	A
	48	3.57	82.07	2.93	B
	72	3.46	79.23	2.74	B
中早 39 Zhongzao 39	0	4.91	90.36	4.43	A
	48	4.32	72.39	3.13	B
	72	4.12	70.32	2.89	B

注: 简易活力指数 = $G \times S$ 。式中 G 为发芽率, S 为平均根长

Note: Simple vigor index = $G \times S$. Among them, G was germination rate, and S was average root length

2 结果与分析

2.1 光谱特征 高光谱成像系统采集的是样本在 874 ~ 1 734 nm 的光谱信息, 考虑到由于仪器和环境的影响, 在首尾两端均存在较明显的噪声, 所以选择 975.01 ~ 1 611.96 nm 的光谱进行分析。由图 1 可知, 同一水稻品种的种子在不同的老化时间下光谱无明显差异, 在反射率上存在一定差异; 不同水稻品种的光谱曲线一致, 而光谱反射率上存在差异。

2.2 基于全谱的判别分析模型 基于 2 个不同品种老化与

未老化的水稻种子全波段光谱, 分别建立 SVM 模型。SVM 模型中惩罚系数 C 和核函数宽度 γ 由网格搜索 (grid-search) 获取。基于全波段光谱的判别分析结果如表 2 所示。基于甬粳 69 的 SVM 模型, 建模集判别准确率达 85.4%, 预测集判别准确率仅为 68.8%。而未老化的种子的判别准确率在 98.9% 以上, 能够与老化种子进行较好的判别。但老化 48 h 与老化 72 h 种子的判别准确率较低, 有大量样本错判, 原因是老化 48 h 和老化 72 h 种子的活力水平差异较小 (表 1)。基于中早 39 的 SVM 模型, 建模集和预测集的整体

判别准确率在 73.8% 以上,而未老化的种子的判别准确率在 98.7% 以上,能够与老化种子进行较好的判别。但老化 48 h 与老化 72 h 种子的判别准确率较低,有大量样本错判,与基于甬籼 69 的 SVM 模型效果一致。研究结果表明,不同品种

水稻种子的光谱存在差异,未老化种子与老化种子之间差异明显,而老化 48 h 与老化 72 h 水稻种子光谱的信息差异并不明显,活力水平差异也不明显。

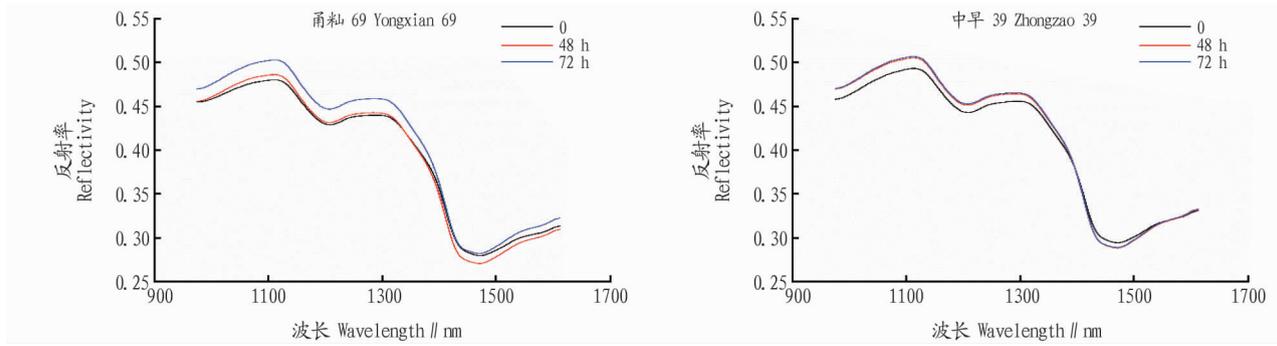


图1 甬籼 69 和中早 39 分别老化 0、48 和 72 h 的水稻种子平均光谱

Fig. 1 Averaged spectra of Yongxian 69 and Zhongzao 39 with ageing time of 0, 48 and 72 h

表2 基于全谱的 SVM 模型判别结果

Table 2 Results of SVM models based on the full wavelength

品种 Varieties	参数 Parameter	样本 Sample	建模集 Modeling set					预测集 Prediction set				
			1	2	3	识别数 Identification number	识别 Identification %	1	2	3	识别数 Identification number	识别 Identification %
甬籼 69	256,9.189 6	1	1 000	0	0	1 000	100	490	2	3	490	98.9
Yongxian 69		2	1	788	211	788	78.8	4	271	255	271	51.1
		3	0	226	774	774	77.4	4	206	282	282	57.3
	(合计)					2 562	85.4				1 043	68.8
中早 39	256,5.278 0	1	999	1	0	999	99.9	458	6	0	458	98.7
Zhongzao 39		2	4	663	333	663	66.3	4	273	190	273	58.4
		3	4	342	654	654	65.4	1	158	282	282	63.9
	(合计)					2 316	77.2				1 013	73.8

3 结论

采用近红外高光谱成像技术(874 ~ 1 734 nm)对 2 个常规水稻品种(甬籼 69 和中早 39)的种子老化程度进行了研究。采用人工加速老化方法,分别获取老化 48 h 和老化 72 h 样本,提取种子光谱信息。基于全谱建立了 SVM 判别分析模型,发现不同水稻品种种子的判别结果存在差异,而对于每一个水稻品种而言,未老化种子与老化种子之间能够准确判别,老化 48 h 以及老化 72 h 种子因种子活力水平差异较小,误判为彼此的误判率较高。研究结果表明,高光谱成像技术结合化学计量学方法可用于种子活力的快速无损检测,为保障种子供应提供了参考。

参考文献

- [1] CHOUDHARY R, MAHESH S, PALIWAL J, et al. Identification of wheat classes using wavelet features from near infrared hyperspectral images of bulk samples[J]. Biosystems engineering, 2009, 102(2): 115 - 127.
- [2] WALLAYS C, MISSOTTEN B, DE BAERDEMAEKER J, et al. Hyperspec-

tral waveband selection for on-line measurement of grain cleanness[J]. Biosystems engineering, 2009, 104(1): 1 - 7.

- [3] 黄敏, 朱晓, 朱启兵, 等. 基于高光谱图像的玉米种子特征提取与识别[J]. 光子学报, 2012, 41(7): 868 - 873.
- [4] 朱启兵, 冯朝丽, 黄敏, 等. 基于图像熵信息的玉米种子纯度高光谱图像识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 271 - 276.
- [5] 张初, 刘飞, 孔汶汶, 等. 利用近红外高光谱图像技术快速鉴别西瓜种子品种[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 270 - 277.
- [6] TAN K Z, CHAI Y H, SONG W X, et al. Identification of soybean seed varieties based on hyperspectral image[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2014, 30(9): 235 - 242.
- [7] 杨小玲, 由昭红, 成芳. 高光谱成像技术检测玉米种子成熟度[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(12): 4028 - 4033.
- [8] 许思, 赵光武, 邓飞, 等. 基于高光谱的水稻种子活力无损分级检测[J]. 种子, 2016, 35(4): 34 - 40.
- [9] WU D, WANG S J, WANG N F, et al. Application of time series hyperspectral imaging (TS-HSI) for determining water distribution within beef and spectral kinetic analysis during dehydration[J]. Food and bioprocess technology, 2013, 6(11): 2943 - 2958.
- [10] 顾亚祥, 丁世飞. 支持向量机研究进展[J]. 计算机科学, 2011, 38(2): 14 - 17.