

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2016)05-0302-06

应用CGMD-302光谱仪监测马铃薯病害

陈青春¹, 黎学记^{1,2}, 刘鹏飞¹, 张姿丽¹, 王晓明¹, 蒋 锋^{1*}

(1. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510225; 2. 广州市越秀区中小学生综合实践活动教育基地, 广东 肇庆 526200)

摘要: 为了快速监测马铃薯病害程度, 利用便携式光谱仪CGMD-302分别于2011和2012年开展马铃薯病害监测研究。结果表明, 基于便携式光谱仪光谱反射率构建的植被指数可以有效地反演马铃薯植株病斑面积, 其中810 nm光谱反射率、归一化植被指数(NDVI)以及比值植被指数(RVI)与病斑面积呈负相关, 而720 nm光谱反射率与病斑面积呈正相关, 预测精度 R^2 均达到0.95以上, 均方根误差(RMSE)和平均相对误差(RE)均低于8.0%, 模型检验结果良好。研究结果可以为马铃薯植株病害快速监测提供依据。

关键词: 马铃薯; 病害; 光谱; 模型

Rapid Monitoring for Potato Disease by CGMD-302 Spectrometer

CHEN Qingchun¹, LI Xueji^{1,2}, LIU Pengfei¹, ZHANG Zili¹, WANG Xiaoming¹, JIANG Feng^{1*}

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. Students Comprehensive

Practical Activities Education Base of Guangzhou Yuexiu District, Zhaoqing, Guangdong 526200, China)

Abstract: Two experiments were carried out in 2011 and 2012 using CGMD-302 spectrometer to monitor potato diseases of different potato varieties of various seed grades in order to rapidly monitor potato diseases. The results showed that there was a negative correlation between canopy spectral reflectance at 810 nm, normalized difference vegetation index (NDVI), ratio vegetation index (RVI) and lesion area, while a positive correlation was found between canopy spectral reflectance at 720 nm and lesion area. The prediction accuracy was above 0.95, and the root mean square error (RMSE) and the average relative error (RE) were both less than 8.0%. The findings might provide the technical basis for rapid monitoring of potato disease grade.

Key Words: potato; disease; spectrum; model

马铃薯是广东省主要冬种作物之一, 因广东省冬季特殊的天气条件, 许多常见病害均有不同程度发生。传统的田间观测效率低下, 耗时耗力。病害植株形态和生理的变化会导致相应光谱信息的变动, 这为遥感技术在马铃薯病害的快速实时监测提供了可能^[1]。国内外早在20世纪20~30年代已开始棉花根腐病、马铃薯烟草花叶病、条锈病等

病害的光谱特征研究^[2-20]。不同作物的病虫害危害光谱信息识别的敏感波段主要位于可见光波段和近红外波段^[4-6], 其最佳敏感波段因病害和作物种类不同而变化^[7-14]。目前, 国内外对马铃薯病害监测也进行了一些研究, 周竹等^[20]利用光谱检测马铃薯黑心病, 认为透射光谱系统优于高光谱成像系统, 而高光谱成像系统效果优于傅里叶近红外光谱仪; 李

收稿日期: 2016-01-05

基金项目: 广东省优质早粮生产示范基地建设项目(粤财农[2009]36; 粤财农[2011]17号)。

作者简介: 陈青春(1983-), 男, 讲师, 博士, 从事作物精确管理研究。

*通信作者(Corresponding author): 蒋锋, 博士, 副教授, 从事玉米、薯类高产栽培育种研究, E-mail: breakthrough@139.com。

小昱等^[21]研究发现,采用DS证据理论和支持向量机相结合的方法融合获取图像特征和光谱特征,建立多源信息融合马铃薯痂疮病光谱检测模型,能够实现对痂疮病的快速无损监测;席那顺朝克图等^[22]研究表明,运用Matlab默认阈值法对马铃薯光谱进行小波消噪,通过对比原始光谱和消噪后的光谱,能有效消除马铃薯光谱中多余的噪声,实现马铃薯环腐病的监测。但目前研究多集中于马铃薯块茎病害^[23-26],对马铃薯叶片病害的研究相对较少,因此本研究拟通过开展不同品种马铃薯试验,利用便携式光谱仪进行马铃薯病害监测,以期对马铃薯大面积病害监测预警提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设在广州市越秀区中小學生综合实践活动教育基地(肇庆四会市贞山区莲四路)旱地。属亚热带季风气候,湿度偏大,热量丰富,光照充足,雨量充沛,气候温暖,无霜期长。据多年气象资料统计结果,年平均气温21.3℃,年极端最高气温37.9℃,年极端最低气温-2.6℃。土壤为赤红壤,肥力中等,前茬为甜玉米。前茬收获后及时整田纳雨蓄墒。试验采用随机区组设计,每个品种3次重复,小区面积10 m²。2011年收获后留于2012年继续种植,用于观察病害发生情况。其他管理同大田。小区一垄双行,株距25 cm,行距30 cm,垄宽60 cm,各重复间设0.5 m走道。种薯于播前催芽。播种时施复合肥(氮磷钾比为10:5:10,下同)600 kg/hm²、猪粪5 000 kg/hm²;幼苗具有3~4叶时追施尿素150 kg/hm²;结薯膨大期追施复合肥400 kg/hm²、硫酸钾400 kg/hm²;生长后期分2次喷施0.2%磷酸二氢钾溶液;成熟期以大部分叶片落黄为准。

试验一(2011年冬种试验):各试验品种(‘大西洋’原种、‘费乌瑞它’原种、‘夏波蒂’原种,‘大西洋’一级种、‘费乌瑞它’一级种、‘新大坪’一级种,‘大西洋’二级种、‘费乌瑞它’二级种、‘夏波蒂’二级种)于2011年11月25日种植,2012年3月20日收获。

试验二(2012年冬种试验):各试验品种(‘大

西洋’原种、‘费乌瑞它’原种、‘夏波蒂’原种、‘陇薯3号’原种、‘陇薯6号’原种、‘陇薯8号’原种、‘冀张薯8号’原种,‘大西洋’原种、‘夏波蒂’原种、‘费乌瑞它’原种、‘新大坪’原种,‘大西洋’一级种、‘费乌瑞它’一级种、‘夏波蒂’一级种,‘大西洋’二级种、‘费乌瑞它’二级种、‘夏波蒂’二级种,‘克新1号’商品薯、‘中薯3号’商品薯)于2012年11月22日种植,2013年3月28日收获。

1.2 病害调查

于马铃薯开花期,使用高清数码相机获取植株冠层图像,经过后期图像分析,获取马铃薯病害程度数据,同步于田间人工调查统计,二者数据结合作为最终病害程度资料。因试验设施限制,本研究不分病害种类,将所有病害病斑作为整体进行分析。

按照病害程度分为4级:

正常——无病害,叶片呈绿色;

轻度——病斑面积小于30%;

中度——病斑面积小于60%,大于30%;

重度——病斑面积大于60%。

1.3 光谱数据测定

于马铃薯开花期,采用国家信息农业工程技术中心研制的便携式光谱仪CGMD-302^[27]测定马铃薯冠层光谱反射率(R)。CGMD-302便携式光谱仪为两波段(810和720 nm)被动光谱仪。测量时选择晴朗天气10:00~14:00,距离冠层0.5 m,探头垂直向下。

1.4 数据分析

本研究采用决定系数、均方根误差、平均相对误差以及预测精度等指标综合评价构建模型。数据分析、绘图均于Microsoft Excel 2010中进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理马铃薯病害程度

从表1可以看出,不同供试材料发病程度差异明显,同一品种之间,原原种几乎无病害,原种轻度,一级种中度,而二级种发病最为严重,商品用种薯(‘克新1号’、‘中薯3号’)为中度发病。广东地区冬季温度较高,湿度相对较大,容易出

表1 马铃薯病害程度
Table 1 Disease grade of potato

品种 Variety	病害程度 Disease grade	品种 Variety	病害程度 Disease grade
‘大西洋’原原种 ‘Atlanti’ c pre-elite	正常	‘费乌瑞它’一级种 ‘Favorita’ certified I	中度
‘大西洋’原种 ‘Atlantic’ elite	轻度	‘费乌瑞它’二级种 ‘Favorita’ certified II	严重
‘大西洋’一级种 ‘Atlantic’ certified I	中度	‘陇薯3号’原原种 ‘Longshu 3’ pre-elite	正常
‘大西洋’二级种 ‘Atlantic’ certified II	严重	‘陇薯6号’原原种 ‘Longshu 6’ pre-elite	正常
‘夏波蒂’原原种 ‘Shepody’ pre-elite	正常	‘陇薯8号’原原种 ‘Longshu 8’ pre-elite	正常
‘夏波蒂’原种 ‘Shepody’ elite	轻度	‘冀张薯8号’原原种 ‘Jizhangshu 8’ pre-elite	正常
‘夏波蒂’一级种 ‘Shepody’ certified I	中度	‘新大坪’原种 ‘Xindaping’ elite	轻度
‘夏波蒂’二级种 ‘Shepody’ certified II	严重	‘克新1号’商品薯 ‘Kexin 1’ marketable tuber	中度
‘费乌瑞它’原原种 ‘Favorita’ pre-elite	正常	‘中薯3号’商品薯 ‘Zhongshu 3’ marketable tuber	中度
‘费乌瑞它’原种 ‘Favorita’ elite	轻度	-	-

表2 马铃薯冠层光谱反射率(%)
Table 2 Canopy spectral reflectance of potato

品种 Variety	冠层光谱反射率 Canopy spectral reflectance		品种 Variety	冠层光谱反射率 Canopy spectral reflectance	
	810 nm	720 nm		810 nm	720 nm
‘大西洋’原原种 ‘Atlantic’ pre-elite	60.5	18.1	‘费乌瑞它’一级种 ‘Favorita’ certified I	43.7	23.9
‘大西洋’原种 ‘Atlantic’ elite	50.3	20.4	‘费乌瑞它’二级种 ‘Favorita’ certified II	36.9	25.8
‘大西洋’一级种 ‘Atlantic’ certified I	43.6	23.7	‘陇薯3号’原原种 ‘Longshu 3’ pre-elite	62.4	18.2
‘大西洋’二级种 ‘Atlantic’ certified II	36.8	25.4	‘陇薯6号’原原种 ‘Longshu 6’ pre-elite	62.6	18.4
‘夏波蒂’原原种 ‘Shepody’ pre-elite	61.4	18.2	‘陇薯8号’原原种 ‘Longshu 8’ pre-elite	64.2	18.6
‘夏波蒂’原种 ‘Shepody’ elite	52.3	20.8	‘冀张薯8号’原原种 ‘Jizhangshu 8’ pre-elite	63.1	18.8
‘夏波蒂’一级种 ‘Shepody’ certified I	42.4	24.4	‘新大坪’原种 ‘Xindaping’ elite	52.4	21.0
‘夏波蒂’二级种 ‘Shepody’ certified II	37.8	25.1	‘克新1号’商品薯 ‘Kexin 1’ marketable tuber	44.7	22.9
‘费乌瑞它’原原种 ‘Favorita’ pre-elite	62.4	18.8	‘中薯3号’商品薯 ‘Zhongshu 3’ marketable tuber	43.9	23.0
‘费乌瑞它’原种 ‘Favorita’ elite	53.4	21.7	-	-	-

现病害, 因此对于种苗的质量要求较高, 普通商用种易发病。

2.2 不同处理光谱反射率变化

从表2可以看出, 不同材料马铃薯冠层光谱反射率差异较大, 810 nm波段与720 nm波段光谱反射率呈负相关关系(图1), 决定系数高达0.97。在810 nm波段, 反射率原原种 > 原种 > 一级种 > 二级种, 品种间无明显差异, 在720 nm波段, 关系相反, 反射率原原种 < 原种 < 一级种 < 二级种。

2.3 发病病斑面积与光谱参数关系

从表1和表2可以看出马铃薯病斑面积与光谱反射率有着明显的相关性。图2表明, 810 nm光谱反射率与病斑面积呈显著负相关关系, 二次函数形式决定系数高达0.97; 图3表明720 nm光谱反射率与病斑面积呈显著正相关关系, 二次函数形式决定系数高达0.99。归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)(810, 720)和比值植被指数(Ratio vegetation index, RVI)(810, 720)与

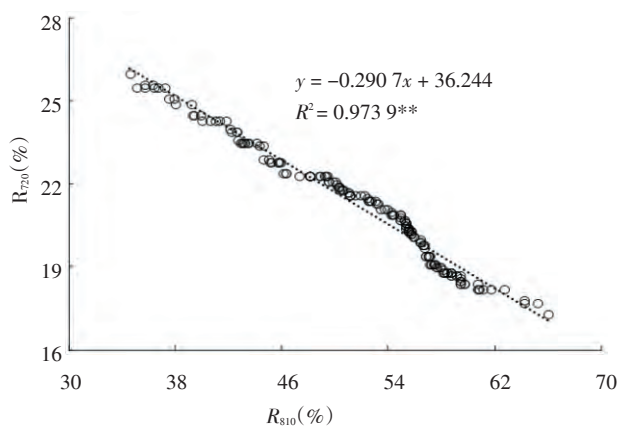


图1 810 nm光谱反射率与720 nm光谱反射率关系

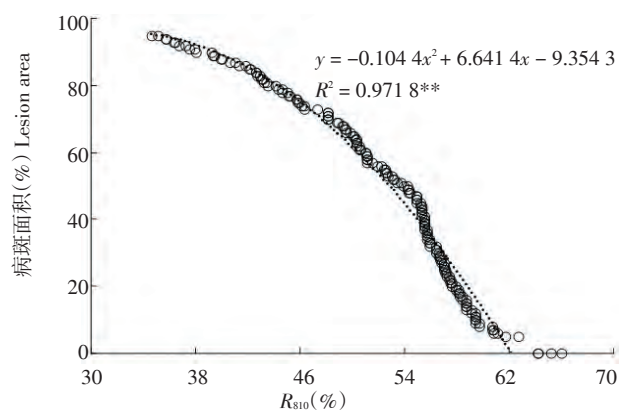
Figure 1 Relationship between R_{810} nm and R_{720} nm

图2 810 nm光谱反射率与病斑面积关系

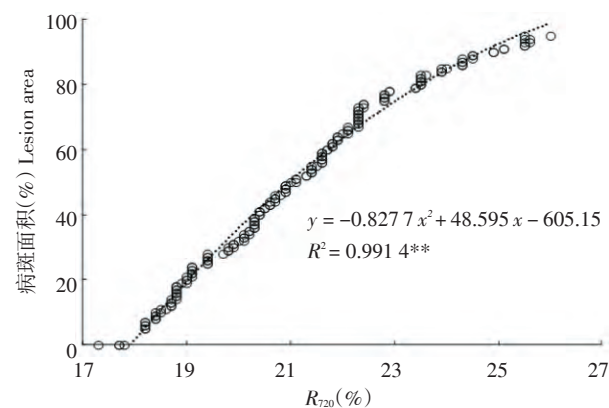
Figure 2 Relationship between R_{810} nm and lesion area

图3 720 nm光谱反射率与病斑面积关系

Figure 3 Relationship between R_{720} nm and lesion area

病斑面积的关系与810 nm波段光谱反射率的相似, 均与病斑面积呈显著负相关关系, 决定系数高达0.98以上(图4、图5)。由此可以看出, 利用光谱参数可以有效地实现马铃薯病斑面积的快速监测。

2.4 模型检验

利用独立数据对所构建模型进行检验, 结果显示(表3), 4种光谱参数构建的模型预测精度均高达0.95以上, 均方根误差(RMSE)以及平均相对误差(RE)均低于8.0%。综上所述, 利用CGMD-302便携式光谱仪获得的冠层光谱数据构建的光谱参数, 可以实现对马铃薯病斑面积的快速监测。

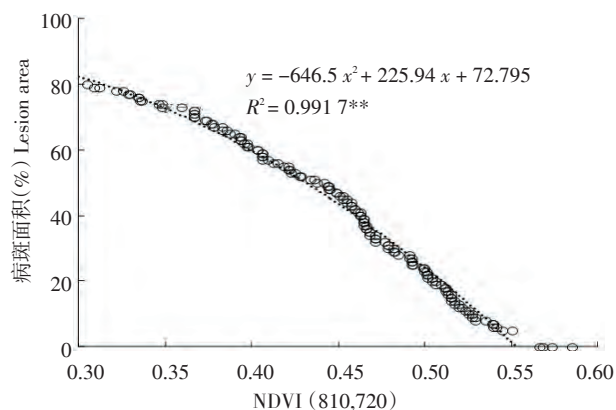


图4 NDVI(810,720)与病斑面积关系

Figure 4 Relationship between NDVI (810, 720) and lesion area

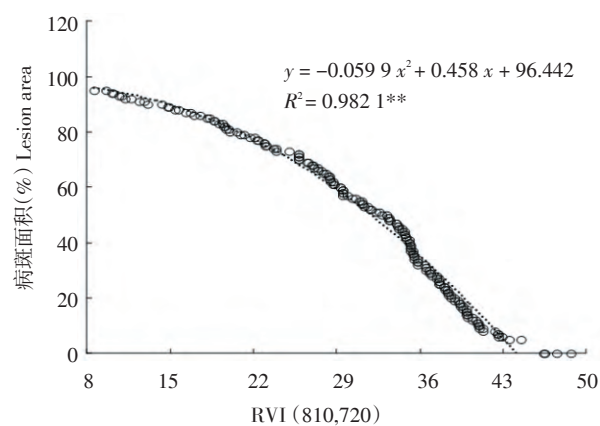


图5 RVI(810,720)与病斑面积关系

Figure 5 Relationship between RVI (810, 720) and lesion area

表3 模型检验
Table 3 Model test

光谱参数 Spectral parameter	预测精度 Prediction accuracy	均方根误差(%) RMSE	平均相对误差(%) RE
R_{820}	0.98	7.4	3.4
R_{710}	0.97	6.0	7.5
NDVI(810, 720)	0.98	5.8	5.1
RVI(810, 720)	0.98	6.4	5.7

3 讨 论

马铃薯脂肪含量低, 蛋白质品质高, 热量较小麦、水稻低, 符合当前中国居民膳食多元、饮食健康的追求, 同时马铃薯全粉贮存时间长, 适宜作为战略储备粮^[28]。2015年2月1日, 中央一号文件明确提出将马铃薯列为水稻、小麦、玉米之后的第四大主粮作物。

由于广东省冬季特殊的气象条件, 为冬种马铃薯提供了便利, 但由于高湿高热的现实也给冬种马铃薯病害发生创造了适宜条件。如何实现对马铃薯病害的快速监测, 对马铃薯生产管理具有重要的意义^[29,30]。遥感技术的出现, 为这一问题的解决提供了可能。目前国内外学者对其他作物病虫害监测做了大量的工作^[2-19], 给出了不同病害监测的适宜波段, 但以往的研究多使用的是高光谱仪, 成本高, 不适合大面积使用, 南京农业大学国家信息农业工程技术中心^[27]结合目前国内外研究结果研制了两波段便携式光谱仪, 为光谱仪大面积应用提供了方便。通过本研究结果也表明, 利用该仪器获得的数据构建的光谱参数, 可以有效地实现马铃薯病斑面积的快速监测, 预测精度高达0.95以上, 均方根误差(RMSE)以及平均相对误差(RE)均低于8.0%。

同时本研究也表明, 不同等级的马铃薯种薯发病程度差异显著, 原原种因其规范的生产, 田间发病程度相对较低, 而本田留种的马铃薯, 在田间表现相对较差, 属于病害高发群体。鉴于广东本地高温高湿的特殊情况, 不适合本地繁种, 如何选择适宜等级的马铃薯种薯对于广东省马铃薯冬种具有特殊的意义^[31]。

因试验场地和材料限制, 本研究涉及品种相对较

少, 在以后的研究中应该加大不同等级马铃薯品种的引入, 更加深入地研究不同马铃薯品种在冬种条件下的表现, 对所构建的模型进行进一步的验证和完善。

[参 考 文 献]

[1] Wu D, Zhu D-S, He Y, *et al.* Nondestructive detection of grey mold of eggplant based on ground multi-spectral imaging sensor [J]. Spectroscopy Spectral Anal, 2008, 28(7): 1496-1500.

[2] Bawden F C. Infra-red photography and plant virus diseases [J]. Nature, 1933, 132: 168.

[3] Taubenhous J J, Ezekiel W N, Neblette C B. Airplane photography in the study of cotton root rot [J]. Phytopathology, 1929, 19(11): 1025-1029.

[4] Raikes C, Burpee L L. Use of multispectral radiometry for assessment of *Rhizoctonia* blight in creeping bentgrass [J]. Phytopathology, 1998, 88(5): 446-449.

[5] Wang D, Dowell F E, Lan Y, *et al.* Determining pecky rice kernels using visible and near-infrared spectroscopy [J]. International Journal of Food Properties, 2002, 5(3): 629-639.

[6] Zhang J C, Yuan L, Wang J H, *et al.* Research progress of crop diseases and pests monitoring based on remote sensing [J]. Trans CSAE, 2012, 28(20): 1-11.

[7] Zhang M, Qin Z, Liu X, *et al.* Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2003, 4(4): 295-310.

[8] Huang M, Wang J H, Huang W J, *et al.* Hyperspectral character of stripe rust on winter wheat and monitoring by remote sensing [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2003, 19(6): 154-158.

[9] Jiang J, Huang W. Using the distance between hyperspectral red

- edge position and yellow edge position to identify wheat yellow rust disease [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(6): 1614-1618.
- [10] 陈兵, 王克如, 李少昆, 等. 病害胁迫对棉叶光谱反射率和叶绿素荧光特性的影响 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 86-93.
- [11] 李泽东, 李宏宁, 方玉萍, 等. 黄瓜霜霉病害的窄带多光谱图像光谱分类和评估研究 [J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2011, 31(6): 63-69.
- [12] 冯洁, 廖宁放, 赵波, 等. 常见黄瓜病害的多光谱诊断 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 467-470.
- [13] 邢东兴, 常庆瑞. 基于光谱反射率的果树病虫害级别量化测评——以红富士苹果树黄叶病害, 红蜘蛛虫害为例 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(11): 143-148.
- [14] 赵聪慧, 张淑娟. 作物病害的计算机视觉和光谱检测技术研究进展 [J]. 农机化研究, 2009(11): 230-234.
- [15] 冯伟, 王晓宇, 宋晓, 等. 基于冠层反射光谱的小麦白粉病严重程度估测 [J]. 作物学报, 2013, 39(8): 1469-1477.
- [16] 王斌, 薛建新, 张淑娟. 基于高光谱成像技术的腐烂, 病害梨枣检测 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 205-209.
- [17] 柴阿丽, 廖宁放, 田立勋, 等. 基于高光谱成像和判别分析的黄瓜病害识别 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(5): 1357-1361.
- [18] 刘良云, 黄木易, 黄文江, 等. 利用多时相的高光谱航空图像监测冬小麦条锈病 [J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 275-281.
- [19] 蒋金豹, 李一凡, 郭海强, 等. 不同病害胁迫下大豆的光谱特征及识别研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(10): 2775-2779.
- [20] 周竹, 李小昱, 高海龙, 等. 漫反射和透射光谱检测马铃薯黑心病的比较 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 237-242.
- [21] 李小昱, 陶海龙, 高海龙, 等. 基于多源信息融合技术的马铃薯痂疮病无损检测方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 277-284.
- [22] 席那顺朝克图, 郁志宏, 张宝超, 等. 基于小波分析的马铃薯环腐病光谱数据去噪 [J]. 农村牧区机械化, 2013(3): 19-22.
- [23] 汤全武, 史崇升, 汤哲君. 基于 HIT 的马铃薯外部缺陷特征的提取 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(6): 114-121.
- [24] 周竹, 李小昱, 陶海龙, 等. 基于高光谱成像技术的马铃薯外部缺陷检测 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 221-228.
- [25] 苏文浩, 何建国, 刘贵珊, 等. 近红外高光谱图像技术在马铃薯外部缺陷检测中的应用 [J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 127-133.
- [26] 代芬, Bergholt M S, Benjami A J V. 近红外激发荧光光谱与拉曼光谱快速鉴别马铃薯品种 [J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(3): 677-680.
- [27] 倪军, 姚霞, 田永超, 等. 便携式作物生长监测诊断仪的设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 150-156.
- [28] 曾凡遼, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [29] 赵多长. 加强重大病害综合防治促进马铃薯产业发展 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(3): 190-191.
- [30] 曹先维, 陈洪. 广东省马铃薯生产及青枯病的危害 [J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(1): 32-33.
- [31] 李小波, 安康, 方志伟, 等. 2014 年广东省冬种马铃薯品种比较试验 [J]. 中国马铃薯, 2016, 30(1): 6-9.

欢迎订阅《中国马铃薯》杂志

《中国马铃薯》杂志是由东北农业大学和中国作物学会马铃薯专业委员会主办的国内唯一的马铃薯专业领域科技期刊。它以繁荣中国马铃薯事业为办刊宗旨, 设有遗传育种、栽培生理、土壤肥料、病虫害防治、综述、简报、品种介绍等栏目。

本刊国内外公开发行人, 双月刊, 大 16 开本, 每期定价 12.00 元, 全年 72.00 元, 哈尔滨市邮局发行, 全国各地邮局订阅, 邮发代号: 14-167。读者也可直接汇款至编辑部订阅。

本刊承揽广告业务, 欢迎各界广为利用。

通讯地址: 哈尔滨市东北农业大学《中国马铃薯》编辑部 邮编: 150030 电话: 0451-55190003