

基于 Android 手机平台的玉米叶片含氮量无损检测

郭文川 薛宪法 杨彪 周超超 朱新华
(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为了提供一种玉米叶片含氮量无损快速检测方法,分析了玉米叶片的颜色特征参数与含氮量的关系,并基于 Android 手机平台开发了玉米叶片含氮量检测软件。首先获取包含被测玉米叶片与标定色块组的图像,利用标定色块对图像色彩进行校正,以减小外界光照等因素对图像色彩造成的失真。进而进行图像分割、图像平滑和颜色特征信息提取等处理,分析了各颜色特征参数与玉米叶片含氮量的关系,发现绿光标准化值与含氮量之间线性关系最好。应用 Java 语言和 OpenCV 计算机视觉库在 Android 手机平台上实现了玉米叶片的图像获取、图像处理和查看结果等功能。实验结果表明,该方法对玉米叶片含氮量的绝对测量误差为 $-0.40\% \sim 0.35\%$,均方根误差为 0.20% ,从采集图像到给出结果所用时间小于 10 s 。

关键词: 玉米叶片; 含氮量; Android; 手机; 无损检测

中图分类号: S24; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)09-0137-06

Non-destructive and Rapid Detection Method on Nitrogen Content of Maize Leaves Based on Android Mobile Phone

GUO Wenchuan XUE Xianfa YANG Biao ZHOU Chaochao ZHU Xinhua
(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Maize is widely planted in China and even in the world. Nitrogen is an essential nutrient for the growth and development of maize, which has a significant impact on maize yield. In order to provide a non-destructive and rapid detection method for nitrogen content of maize leaves, the relationship between the color characteristics and nitrogen content of maize leaves was analyzed, and a nitrogen content detection software for maize leaves was developed based on Android platform. The image containing the measured maize leaf and the calibration color block group (red, green, blue, white, black and grey) were obtained. In order to reduce the distortion caused by the external illumination and other factors, the image color was corrected by the calibration color block. After the image segmentation, image smoothing, and color feature information extraction, the relationship between the color features and the nitrogen content of the maize leaves was analyzed. The experimental results showed that the linear relationship between the green standard value and the nitrogen content was the best. Besides, Java programming language and OpenCV were applied to realize image acquisition, image processing and results viewing based on Android platform. The validation results indicated that the absolute error of the method for the nitrogen content of maize leaves was between -0.40% and 0.35% , and the root mean square error was 0.20% . The time from image collection to giving results was less than 10 s . The proposed nitrogen detection method had the advantages of rapidity, economy and portability, and can be used for real-time detection on nitrogen content of maize leaves.

Key words: maize leaf; nitrogen content; Android; mobile phone; non-destructive detection

引言

氮素是植物最重要的营养元素,也被称为“生

命元素”。植物缺氮会造成植株矮小、生长缓慢;氮素过剩又会导致植株修长倒伏、贪青晚熟。实时、精准地获取植物的氮素含量信息,不仅有利于按需施

肥,促进植物更好地生长,还能有效地缓解因过量施肥造成的环境污染问题^[1-2]。

传统的植物含氮量检测方法主要有凯氏定氮法、奈氏比色法和杜马斯燃烧法等^[3-4]。这些检测方法具有检测精度高、可靠性好的优点,但同时存在检测过程繁琐、检测成本较高,且需专业人员操作的缺点。此外,这些方法都很难应用于植物含氮量的现场、无损和快速检测。相关研究发现,植物在可见光区的光谱反射属性与叶绿素显著相关^[5-6],而氮素又是叶绿素的重要组成成分,二者变化趋势相近,这使得利用 SPAD 叶绿素仪无损、快速地检测植物含氮量成为可能^[7-9],然而该方法需要与植物叶片接触^[10]。孙俊等^[11]基于高光谱成像技术定性分析了离体生菜叶片氮素水平的丰缺状况。王巧男等^[12]利用高光谱成像技术实现了柑橘冠层氮素水平的定量预测,模型决定系数为 0.607 1。但高光谱仪器比较昂贵,目前仅用于实验室研究中,且测量精度有限。贾良良等^[13]利用数码相机获取田间冬小麦冠层图像,利用图像处理技术提取颜色特征指标,发现其绿色分量与红绿蓝分量和的比值与小麦植株的含氮量具有很好的相关性。张立周等^[14]将数字图像技术应用于夏玉米氮素营养诊断中,研究得出蓝光标准化值 $B/(R+G+B)$ 是进行夏玉米氮素营养诊断的最佳色彩参数指标。但这些研究存在数据处理滞后的问题。

近年来,功能强大、方便实用的智能手机在农业中得到了一定的应用。例如,智能手机被应用于无损、快速检测生长中的植物叶片面积^[15],用于诊断农作物病虫害^[16],用于开发农业信息发布平台等^[17-19]。然而,目前尚未有利用智能手机进行无损、非接触、快速检测植物叶片含氮量的报道。为此,本文以玉米^[20-21]为对象,提出一种基于 Android 手机平台实现玉米叶片含氮量无损、非接触、快速检测的方法,以期为玉米田间变量施肥及玉米产量的提高提供技术支撑。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

以“咸科 858”玉米品种为研究对象,实验地点为西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院实验田。将实验田均分为 4 块,每块长 12 m、宽 3.5 m。设置氮肥施用量为 4 个梯度:不施氮肥、正常施氮肥量的一半、正常施氮肥量和正常施氮肥量的 1.5 倍。施肥方案为施基肥 1 次,追肥 2 次,追肥时间分别在拔节期和抽雄期^[22]。其中基肥使用过磷酸钙和尿素,每块地过磷酸钙用量均为 2.5 kg,各块地尿素施

肥量按照上述 4 个梯度设置,其中正常施肥量为 1.6 kg,每块均匀施肥。2 次追肥只施尿素,同样采用上述 4 个梯度施肥方式,正常情况下尿素用量为 1.6 kg。除各块施肥量不同外,其余栽培条件均相同。分别在玉米拔节期、抽雄期以及乳熟期^[23]采集数据。每次实验分别在 4 块实验田中各随机抽取不相邻的 10 株玉米作为研究对象,共用玉米植株 120 株进行数据采集。有效实验样本数为 115 株。

1.2 测量方法

以玉米植株中部的叶片为对象,用华为 Honor 3C 智能手机获取叶片中部的彩色图片。然后从玉米植株上剪下该叶片,放入保鲜袋内迅速带回实验室后,置于 105℃ 的电热鼓风干燥箱(WG-71 型,天津泰斯特仪器有限公司,天津)中杀青 30 min,再于 80℃ 下干燥至恒质量后研磨成粉状。然后利用 FOSS-2300 型自动凯氏定氮仪(福斯分析仪器有限公司,瑞典),按照农业标准 NY/T 2017—2011(植物中氮、磷、钾的测定)测量玉米叶片的含氮量。每个玉米叶片的含氮量重复测量 3 次,3 次测量的平均值作为测量结果。

2 玉米叶片图像处理及含氮量检测模型的建立

2.1 图像获取

将拍摄玉米叶片的背景设置为不含绿色分量的品红色($R:255,G:0,B:255$)。由于光照、背景和成像系统等因素会造成图像颜色的失真^[24-25],为克服该问题,在背景板中设置 6 个色块以对图像色彩进行校正。该 6 个色块分别是:标准红($R:255,G:0,B:0$)、标准绿($R:0,G:255,B:0$)、标准蓝($R:0,G:0,B:255$)、白($R:255,G:255,B:255$)、黑($R:0,G:0,B:0$)和灰($R:120,G:120,B:120$)。图像获取示意图如图 1 所示。

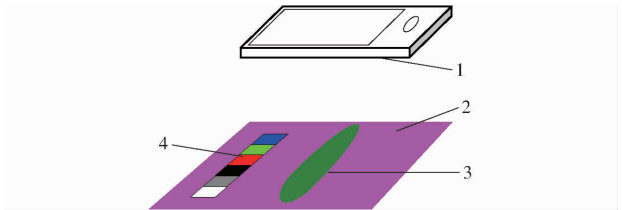


图 1 图像获取方法

Fig. 1 Image acquisition method

1. 手机 2. 背景 3. 待测玉米叶片 4. 标定色块

2.2 色彩校正

为克服光照等各种外在因素对图像色彩的影响,以获得预测玉米叶片含氮量较精确的模型,对获得的图像进行色彩校正。校正过程如下:

(1)采用阈值分割法分割出图像中的灰度色

块,然后遍历灰度色块区域,分别统计该区域 R 通道的均值 R_{Gray} 、 G 通道的均值 G_{Gray} 和 B 通道的均值 B_{Gray} 。

(2) 求出 R_{Gray} 、 G_{Gray} 和 B_{Gray} 的均值 A_{Gray} ,再分别求出 R 、 G 、 B 3 通道的校正系数 G_r 、 G_g 和 G_b 。

$$\begin{cases} G_r = A_{Gray}/R_{Gray} \\ G_g = A_{Gray}/G_{Gray} \\ G_b = A_{Gray}/B_{Gray} \end{cases} \quad (1)$$

(3) 采用阈值分割法分割出图像中的标准红色色块、标准绿色色块和标准蓝色色块,并分别统计标准红色色块 R 通道的均值 R_{Red} 、标准绿色色块 G 通道的均值 G_{Green} 和标准蓝色色块 B 通道的均值 B_{Blue} ,分别求出标准红色色块 R 通道、标准绿色色块 G 通道和标准蓝色色块 B 通道的色彩校正系数 r 、 g 和 b ,计算式为

$$\begin{cases} r = 255/R_{Red} \\ g = 255/G_{Green} \\ b = 255/B_{Blue} \end{cases} \quad (2)$$

(4) 用校正系数 G_r 、 G_g 、 G_b 和色彩校正系数 r 、 g 、 b 分别对玉米叶片图像的 R 、 G 、 B 通道进行校正。校正方法为

$$\begin{cases} f_{CR}(x, y) = f_R(x, y) G_r r \\ f_{CG}(x, y) = f_G(x, y) G_g g \\ f_{CB}(x, y) = f_B(x, y) G_b b \end{cases} \quad (3)$$

式中 $f_R(x, y)$ 、 $f_G(x, y)$ 、 $f_B(x, y)$ 、 $f_{CR}(x, y)$ 、 $f_{CG}(x, y)$ 、 $f_{CB}(x, y)$ 为校正前、后图像中某像素点 (x, y) 在 R 、 G 、 B 通道的值。

图像校正前、后的对比效果如图 2a、2b 所示。从图 2a 中的灰度标定色块可以看出,色彩校正前图片颜色明显偏蓝,校正后的颜色与图 1 给出的拍摄背景的颜色比较接近。说明该方法能有效地实现色彩校正。

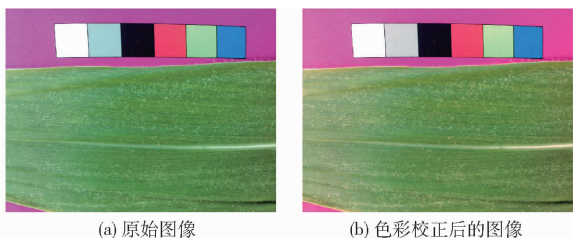


图 2 原始图像和色彩校正后的图像

Fig. 2 Original image and color corrected image

2.3 图像分割与平滑

由于玉米叶片图像都是在如图 1 所示的背景下采集的,因此叶片区域的 R/G 小于 1,而背景中 R/G 大于 1,因此将 R/G 设为 1 作为玉米叶片图像分割的阈值。

由于拍摄背景中预设有标定色块,为更好地将玉米叶片分割出来,首先需将标定色块从图像中裁减掉,因此需对标定色块进行识别定位。结果表明,黑色和白色标定色块均有较好的识别效果,文中选择黑色色块用作定位,进而完成图像裁剪。由于标定色块整齐地排列于叶片的上侧,根据阈值 $R < 70$ 、 $G < 70$ 和 $B < 150$ 可以找到标定色块中的黑色色块。再根据黑色色块在图像中的坐标,可以很方便地对叶片进行裁剪,裁剪后的图像如图 3 所示。然后利用 R/G 值进行图像分割。由于叶片表面颜色不均匀,使得阈值分割后的叶片区域内会出现空洞,为消除此现象,对分割后的图像进行膨胀、腐蚀和填充空洞等操作,再对叶片区域的轮廓采用线性滤波法进行平滑处理,处理后的结果如图 4 所示。



图 3 裁剪后的图像

Fig. 3 Image after cutting

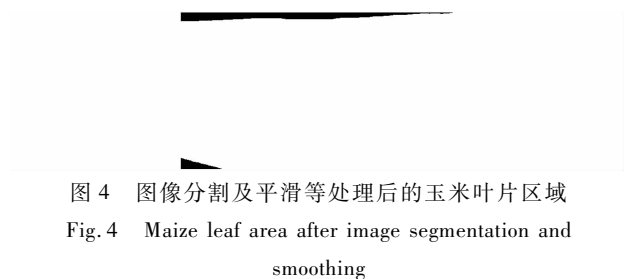


图 4 图像分割及平滑等处理后的玉米叶片区域
Fig. 4 Maize leaf area after image segmentation and smoothing

对图 4 进行二值化处理生成图像分割的掩膜,将掩膜与原图像按像素进行“与”操作,最后得到玉米叶片的图像如图 5 所示。



图 5 最终得到的玉米叶片图像

Fig. 5 Final maize leaf image

2.4 玉米叶片含氮量检测模型的建立

遍历图 5 中玉米叶片区域的每一个像素点的 R 、 G 、 B 信息,统计整个叶片区域的颜色特征信息。提取该玉米叶片的 R 、 G 和 B 的均值 R_{ave} 、 G_{ave} 和 B_{ave} ,并计算红光标准化值 R_s 、绿光标准化值 G_s 和蓝光标准化值 B_s

$$\begin{cases} R_s = R_{ave}/(R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}) \\ G_s = G_{ave}/(R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}) \\ B_s = B_{ave}/(R_{ave} + G_{ave} + B_{ave}) \end{cases} \quad (4)$$

将其作为玉米叶片区域的颜色特征值。

将所有样本按照含氮量由小到大排列,每3个数据为1组,每组中最小和最大含氮量的样本用作建模,处于中间含氮量的样本用作验证。据此方法得到建模样本77个。求取该77个玉米叶片图像的 R_{ave} 、 G_{ave} 、 B_{ave} 、 R_S 、 G_S 和 B_S 。分别建立 R_{ave} 、 G_{ave} 、 B_{ave} 、 R_S 、 G_S 、 B_S 与玉米叶片含氮量的线性关系式。各颜色特征参数与含氮量的线性相关系数 r 见表1。表1说明, G_S 与含氮量的线性相关性最高,线性相关系数为0.775。图6为玉米叶片的 G_S 与含氮量 N 的关系图,其线性拟合关系为

$$G_S = 6.74 \times 10^{-2} N + 0.237 \tag{5}$$

因此,在已知玉米叶片 G_S 条件下,可根据式(5)很方便地求出玉米叶片的含氮量。

表1 玉米叶片颜色特征参数与含氮量之间的线性相关系数

Tab.1 Linear correlation coefficient between color parameters and nitrogen content of maize leaves

颜色特征值	r
R_{ave}	-0.649
G_{ave}	0.321
B_{ave}	-0.748
R_S	-0.517
G_S	0.775
B_S	-0.633

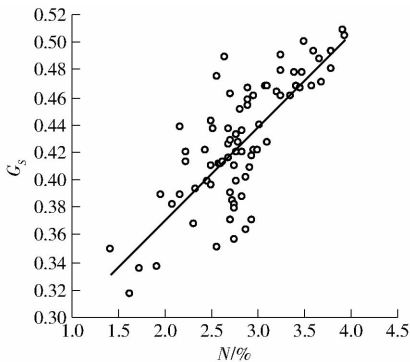


图6 玉米叶片含氮量与 G_S 的关系

Fig.6 Relationship between nitrogen content and G_S of maize leaves

3 软件设计

3.1 系统硬件平台

基于Android手机平台的玉米叶片含氮量无损快速检测系统硬件部分采用智能手机华为Honor 3C(华为技术有限公司),其操作系统为Android 4.2.2,CPU为QSD8255(高通公司,美国),主频1GHz,2GB RAM。

3.2 软件开发平台

在Windows 7操作系统下,搭建基于Android

SDK(Software development kit)+Java JDK 7(Java development kit)+Eclipse 4.2.1+ADT 21.1(Android development tools)+OpenCV(Open source computer vision library)的应用程序开发环境。

OpenCV为Android软件开发提供了异步初始化与静态初始化2种使用方式。由于静态初始化下的开发过程比较繁琐,为此本研究采用异步初始化方式。在异步初始化下需要在Android手机中安装合适版本的OpenCV Manager,软件运行时,链接OpenCV Manager即可调用OpenCV库文件。

3.3 系统软件

为实现良好的人机交互,通过编写XML文件对软件的用户界面进行了设计,检测软件的主界面如图7所示。通过Java语言编写软件算法,实现基于Android手机的OpenCV Manager链接、图像获取、图像处理 and 含氮量计算等功能。



图7 开发系统的用户界面

Fig.7 User interface of developed system

3.3.1 图像获取

软件启动后,以异步初始化方式实现OpenCV库的链接,避免了静态初始化下繁琐的开发过程。软件提供了2种图像获取方式,用户既可以通过“拍摄图像”功能调用手机摄像头来完成图像的实时采集,也可以通过“加载图像”功能对本地图像进行显示、处理,进一步提高了软件的实用性。为方便用户对图像数据的管理,还对软件的存储功能进行了设计。在拍摄图像时,软件可自动获取系统当前时间,并以当前时间命名图像,保存至手机SD卡所建立的工作目录下。“拍摄图像”和“加载图像”通过Android系统提供的Intent对象和ListView控件实现。

3.3.2 图像处理

图像处理过程包括色彩校正、图像分割、图像平滑和颜色特征信息提取等步骤,相关算法同2.2~

2.4 节。软件将待处理图像转换成 Mat 类型的数据结构,再借助于 OpenCV 库提供的函数实现图像处理过程。收到图像处理命令后,软件通过 new Thread()方法创建子线程,子线程每完成 1 个图像处理步骤,向主线程发送消息,使主线程做出相应的响应。在图像处理过程中,主线程主要处理人机交互信息和根据消息队列中不同的信息更新 UI 界面,从而快速、有序地完成以上图像处理步骤。

3.3.3 结果查看

软件经颜色特征信息提取后得到当前玉米叶片的绿光标准化值,利用式(5)便可计算出该玉米叶片的含氮量。通过编写结果显示布局文件实现结果显示界面的设计,并运用 setContentView()方法加载此界面,最后由 TextView 组件将含氮量计算结果显示出来,如图 8 所示。

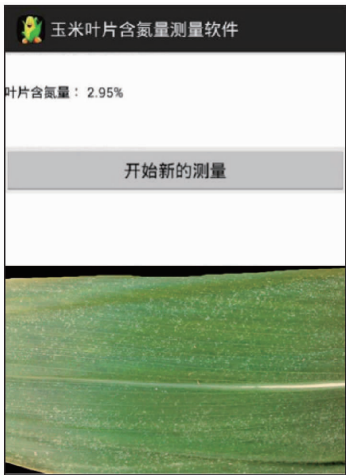


图 8 含氮量计算结果显示界面

Fig. 8 Display interface of calculated nitrogen content

4 系统验证

为验证该系统的操作性和可行性,以及该方法的可靠性,对式(5)建模中未用到的 38 个玉米叶片

进行验证。图 9 所示是采用凯氏定氮法实测的玉米叶片含氮量与利用该软件计算的含氮量的比较。结果表明,含氮量的计算值与实测值之间的绝对误差为 -0.40% ~ 0.35%,均方根误差为 0.20%,从采集图像到给出含氮量测量结果所需时间小于 10 s。表明该方法可以方便、快速、准确地测量玉米叶片的含氮量。

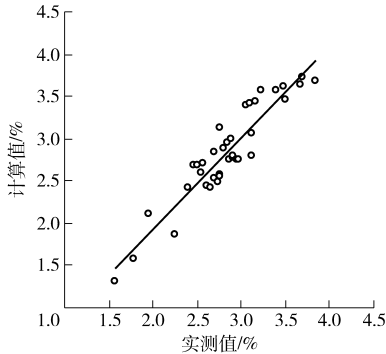


图 9 玉米叶片含氮量实测值与计算值的比较

Fig. 9 Comparison between measured and calculated nitrogen contents of maize leaves

5 结论

(1)开发了一种基于 Android 手机平台的玉米叶片含氮量无损、快速、便携式检测系统,有助于实现按需施肥。

(2)提出了基于标定色块的图像色彩校正方法,有效地克服了因光照条件、成像系统等因素造成的图像色彩失真问题。

(3)分析了玉米叶片的 6 个颜色特征参数与含氮量的关系,发现绿光标准化值与玉米叶片的含氮量相关性最好,其线性相关系数为 0.775。对该方法的验证结果表明,含氮量计算值与实测值之间的绝对误差为 -0.40% ~ 0.35%,均方根误差为 0.20%,本研究具有较好的检测效果。

参 考 文 献

1 INTARAVANNE Y, SUMRIDDETKAJORN S. Android-based rice leaf color analyzer for estimating the needed amount of nitrogen fertilizer[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2015, 116: 228 – 233.

2 银敏华,李援农,李昊,等. 氮肥运筹对夏玉米根系生长与氮素利用的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 129 – 138. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160617&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.06.017.

YIN Minhua, LI Yuannong, LI Hao, et al. Effects of nitrogen application rates on root growth and nitrogen use of summer maize [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(6): 129 – 138. (in Chinese)

3 高凤梅,武际. 2 种植株全氮测定方法比较[J]. 现代农业科技, 2012(14): 204 – 205.

GAO Fengmei, WU Ji. Comparison of determining the plant total nitrogen with two methods[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(14): 204 – 205. (in Chinese)

4 范志影,刘庆生,张萍. 用凯氏法和杜马斯法测定植物样品中的全氮[J]. 现代科学仪器, 2007(1): 46 – 47.

FAN Zhiying, LIU Qingsheng, ZHANG Ping. Comparison of the Kjeldahl method and the Dumas method for total nitrogen determination in grasses[J]. Modern Scientific Instruments, 2007(1): 46 – 47. (in Chinese)

5 THOMAS J R, GAUSMAN H W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops[J]. Agronomy Journal, 1977, 69(5): 799 – 802.

6 刘燕婕,李建设,高艳明. 可见光波段不同氮处理生菜叶片光谱反射率与叶片全氮、叶绿素的相关性研究[J]. 北方园艺,

- 2015(22): 12–16.
LIU Yanjie, LI Jianshe, GAO Yanming. Correlation between lettuce leaf spectral reflectance in visible light area and leaf nitrogen content and leaf chlorophyll content under different levels of nitrogen[J]. Northern Horticulture, 2015(22): 12–16. (in Chinese)
- 7 杨亦扬, 马立锋, 石元值, 等. 叶绿素仪(SPAD)在茶树氮素营养诊断中的适用性研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(4): 301–308.
YANG Yiyang, MA Lifeng, SHI Yuanzhi, et al. Evaluation of nitrogen status in tea plants by SPAD[J]. Journal of Tea Science, 2008, 28(4): 301–308. (in Chinese)
- 8 RAMBO L, MA B L, XIONG Y C, et al. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn[J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 2010, 173(3): 434–443.
- 9 王秋红, 周建朝, 王孝纯. 采用 SPAD 仪进行甜菜氮素营养诊断技术研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 92–98.
WANG Qiuhong, ZHOU Jianchao, WANG Xiaochun. Diagnostic technique of sugarbeet nitrogen nutrient status using SPAD–502 chlorophyll meter[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(36): 92–98. (in Chinese)
- 10 LI Li, QIN Yonglin, LIU Yanchun, et al. Leaf positions of potato suitable for determination of nitrogen content with a SPAD meter [J]. Plant Production Science, 2012, 15(4): 317–322.
- 11 孙俊, 卫爱国, 毛罕平, 等. 基于高光谱图像及 ELM 的生菜叶片氮素水平定性分析[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 272–277. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140742&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.07.042.
SUN Jun, WEI Aiguo, MAO Hanping, et al. Discrimination of lettuce leaves' nitrogen status based on hyperspectral imaging technology and ELM[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 272–277. (in Chinese)
- 12 王巧男, 叶旭君, 李金梦, 等. 基于双波段植被指数(TBVI)的柑橘冠层含氮量预测及可视化研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(3): 715–718.
WANG Qiaonan, YE Xujun, LI Jinmeng, et al. Estimation and visualization of nitrogen content in citrus canopy based on two band vegetation index (TBVI) [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(3): 715–718. (in Chinese)
- 13 贾良良, 范明生, 张福锁, 等. 应用数码相机进行水稻氮营养诊断[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(8): 2176–2179.
JIA Liangliang, FAN Mingsheng, ZHANG Fusuo, et al. Nitrogen status diagnosis of rice by using a digital camera [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(8): 2176–2179. (in Chinese)
- 14 张立周, 王殿武, 张玉铭, 等. 数字图像技术在夏玉米氮素营养诊断中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1340–1344.
ZHANG Lizhou, WANG Dianwu, ZHANG Yuming, et al. Diagnosis of N nutrient status of corn using digital image processing technique[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(6): 1340–1344. (in Chinese)
- 15 郭文川, 周超超, 韩文霆. 基于 Android 手机的植物叶片面积快速无损测量系统[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 275–280. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140142&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.042.
GUO Wenchuan, ZHOU Chaochao, HAN Wenting. Rapid and non-destructive measurement system for plant leaf area based on Android mobile phone[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 275–280. (in Chinese)
- 16 田磊, 李丽, 王明绪. 基于 Android 的玉米病虫害机器视觉诊断系统研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 207–211.
TIAN Lei, LI Li, WANG Mingxu. Research on the diagnosis system of maize plant diseases and insect pests based on Android [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(4): 207–211. (in Chinese)
- 17 程曼, 袁洪波, 蔡振江. 基于智能手机的农业信息综合服务平台的设计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(5): 224–227, 242.
CHENG Man, YUAN Hongbo, CAI Zhenjiang. The design of agricultural information service platform based on smartphone[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(5): 224–227, 242. (in Chinese)
- 18 张海峰. 基于 Android 智能手机的农业信息服务平台应用展望[J]. 黑龙江农业科学, 2014(8): 126–128.
ZHANG Haifeng. Prospect of application of agricultural information service platform based on Android intelligent mobile phone [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2014(8): 126–128. (in Chinese)
- 19 CONFALONIERI R, FOI M, CASA R, et al. Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2013, 96(12): 67–74.
- 20 BO Xiaodong, DU Taisheng, DING Risheng, et al. Stem flow of seed-maize under alternate furrow irrigation and double-row ridge planting in an arid region of Northwest China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(7): 1434–1445.
- 21 SHIFERAW B, PRASANNA B M, HELLIN J, et al. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security[J]. Food Security, 2011, 3(3): 307–327.
- 22 郑惠玲, 姬变英, 武继承, 等. 氮肥分期施用对夏玉米生长发育和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2007, 36(10): 67–69.
ZHENG Huiling, JI Bianying, WU Jicheng, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on terms on the growth, development and yield of corn[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007, 36(10): 67–69. (in Chinese)
- 23 刘景辉, 刘克礼. 春玉米需氮规律的研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 1994, 15(3): 12–18.
LIU Jinghui, LIU Keli. A study on the regularity of nitrogen requirement in spring maize [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 1994, 15(3): 12–18. (in Chinese)
- 24 RIZZI A, GATTA C, MARINI D. A new algorithm for unsupervised global and local color correction[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(11): 1663–1677.
- 25 徐晓昭, 沈兰荪, 刘长江. 颜色校正方法及其在图像处理中的应用[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(8): 2250–2254.
XU Xiaozhao, SHEN Lansun, LIU Changjiang. Color correction methods and application in image processing[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(8): 2250–2254. (in Chinese)