

文章编号: 0253-2239(2009)06-1616-05

应用多光谱图像技术获取黄瓜叶片含氮量 及叶面积指数

刘 飞 王 莉 何 勇

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029)

摘要 为了快速准确地获取黄瓜叶片的含氮量和叶面积指数等生长信息,提出了采用多光谱图像技术对黄瓜生长信息进行检测的新方法。利用标定板建立黄瓜叶片光谱反射率同图像灰度值之间的线性公式。通过多光谱相机对样本在绿光、红光和近红外三个通道的图像进行处理,获得叶片样本在每一通道的灰度值,然后根据标定板所建立的灰度值与反射率间的经验线性公式将对应的灰度值转为反射率值,并由反射率值计算出黄瓜的植被指数。采用最小二乘-支持向量机(LS-SVM)建立植被指数同叶片含氮量以及叶面积指数间的拟合模型。结果表明植被指数同叶片含氮量和叶面积指数的拟合相关系数分别为 0.8665 和 0.8553。表明植被指数与黄瓜的叶片含氮量和叶面积指数具有紧密的相关性,也为快速采集黄瓜生长信息提供了一种新方法。

关键词 医用光学与生物技术; 多光谱图像技术; 黄瓜; 含氮量; 叶面积指数; 最小二乘-支持向量机

中图分类号 S642.2 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092906.1616

Application of Multi-Spectral Imaging Technique for Acquisition of Cucumber Growing Information

Liu Fei Wang Li He Yong

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

Abstract In order to rapidly and accurately acquire cucumber growing information, such as the nitrogen content and leaf area index (LAI), a multi-spectral imaging technique was investigated. The linear relation between reflectance and image gray value was developed using the calibration board. The gray value of leaf sample was achieved by image processing of green, red and near infrared channels obtained by a three-channel CCD camera. Then the gray value of the leaf sample was transferred into reflectance value by aforementioned experiential linear function. The reflectance value was used for the calculation of vegetation index. Least squares-support vector machines (LS-SVM) model was developed for the relation between vegetation index and nitrogen content, vegetation index and leaf area index. The results indicate that the correlation coefficients of vegetation index and nitrogen content, vegetation index and LAI are 0.8665 and 0.8553, respectively. The overall results demonstrate that there is a close relation between the vegetation index and growing information of cucumber, and the multi-spectral imaging technique is a new powerful method for the acquisition of cucumber growing information.

Key words medical optics and biotechnology; multi-spectral imaging technique; cucumber; nitrogen content; leaf area index (LAI); least squares-support vector machines (LS-SVM)

1 引 言

在所有营养元素中,氮素对作物生长发育和产

量的影响最大,施用量也最大。氮素营养诊断是植物营养诊断的核心^[1]。叶面积指数(Leaf area index, LAI)作为分析植物群体和群落生长状况的一

收稿日期: 2008-09-26; 收到修改稿日期: 2008-10-20

基金项目: 国家 863 计划(2007AA10Z210), 国家自然科学基金(30671213)和浙江省自然科学基金(Y307158)资助项目。

作者简介: 刘 飞(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事数字农业和农产品多光谱检测技术研究。E-mail: fliu@zju.edu.cn

导师简介: 何 勇(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事数字农业和光谱及多光谱检测技术研究。

E-mail: yhe@zju.edu.cn

个参数自提出以来,已成为一个重要的植物学参数和评价指标,并在农业、果树业、林业以及生物学、生态学等领域得到广泛应用。LAI 是指单位水平土地面积上的植物叶子单面的总面积^[2]。LAI 已成为在植物光合作用、蒸腾作用、联系光合和蒸腾的关系、水分利用以及构成生产力基础等方面进行分析时必不可少的一个重要参数^[3~5]。

目前采用图像技术对黄瓜的研究主要有两个方面,一是对黄瓜品质进行智能快速的分级;二是对黄瓜生长过程中病虫害的影响进行检测。例如应用图像处理技术对黄瓜等级进行判别^[6],对黄瓜叶片缺素症状的研究^[7],对温室黄瓜霜霉病的智能识别^[8],对温室黄瓜的霜霉病、角斑病和白粉病的识别^[9]等。由于传统的机器视觉研究中相机的功能限制,许多作物信息无法采集,而多光谱成像技术把成像技术和光谱技术结合在一起,在探测物体特征的同时对每个空间像元色散形成几十个到上百个波段。多光谱图像是以不同波段对同一物体同时进行扫描,从而获得该物体不同方面的信息特征。多光谱成像中,一般都选用三个波段(通常集中在可见光和短波近红外光谱区)合成彩色图像。随着光谱及图像处理技术的不断发展,使其在遥感、环境、天文、食品工程和农业科学等领域得到日益广泛的应用^[10~13]。

本文应用图像处理技术获得黄瓜叶片的灰度值,根据研究建立的灰度值和反射率的经验线性方程得到黄瓜叶片的反射率值,由此计算出黄瓜叶片的植被指数。应用最小二乘-支持向量机(Least squares-support vector machines, LS-SVM)方法建立植被指数同黄瓜叶片的含氮量和叶面积指数的相关关系模型,为黄瓜生长信息的获取提供新的方法。

2 材料与方法

2.1 样本制备

黄瓜样本采用盆栽种植于智能化人工温室中。对黄瓜种子进行育苗,然后将苗移植于塑料盆中。在 1 m² 种植空间,将 36 盆植株平均分成 3 组,对其实际进行梯度施肥。待黄瓜幼苗长至 3~4 片叶子,将每个植株的所有叶片采至实验室中,并对 36 个植株分别进行编号保存于密闭塑料袋中。将每个植株的所有叶片平均作为一个样本,共计 36 个样本,在室内光源条件下进行图像数据的采集。

2.2 实验设备

试验中采用的多光谱照相机是由美国 DuncanTech 公司生产的 MS3100 Duncan Camera

(3CCD Camera)。相机的图像分辨率为 1040 × 1392。此相机将所有摄入光源经过滤,实时分离成绿(550 nm),红(650 nm),近红外(800 nm)三个波段通道的单色图像,通过 PCI 1424 (National Instrument 公司)的数据接收板连接到计算机,其输入控制端口为 RS232。

采用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 Handheld FieldSpec 光谱仪对标定板的折射率进行标定,其光谱采样间隔(波段宽)为 1.5 nm,测定范围 325 ~ 1075 nm。分析软件为 ASD View Spec Pro、MATLAB 7 和 LS-SVM 工具包。

2.3 含氮量和叶面积指数测量值的获取

采用凯氏定氮法测定黄瓜叶片的含氮量(每张叶片作为一个测量样本)。叶片在进行凯氏定氮之前,须先将叶片样本在烘箱中以 70 °C ~ 80 °C 温度进行烘干,直至叶片样本两次称重(称重间隔时间需大于 1 h)结果都没有变化时,方可确信样本已经烘干。然后可进行凯氏定氮实验(实验采用的仪器有 KXL-1010 型控温消煮炉和 KDY-9820 型凯氏定氮仪)。

黄瓜叶片叶面积指数的测量是以每植株所有叶片作为一个样本,通过图像法测定叶片面积指数测量值。由于实验在实验室中进行,所以 3CCD 的视场范围为一定值。在对叶片样本进行图像采集之前,先采集一个已标定尺寸的物体的图像(此物体需采用规则形状,最好为纯色物体,本实验采用 A4 纸进行参照),设参考物体的面积为 A ,该物体在视场中所占的像素点数是 N_{ref} 。第 i 个样本的像素点数是 N_i ,设植株垂直投影所占地面面积为 B 。将所有植株放于 1 m² 的温室空间中进行盆栽培育,每植株所占的地面面积可近似看作相同,为 277.78 cm²。则叶面积指数(LAI) L_{AI} 可以按下面的公式计算:

$$L_{AI} = \frac{AN_i}{BN_{ref}} \quad (1)$$

3 图像处理及叶片反射率的获取

本实验的目的是得到叶片的植被指数并建立其与黄瓜叶片含氮量和叶面积指数之间的相关关系。植被指数的获得是以反射率为基础,所以首先要计算叶片样本的反射率。多光谱图像法的具体描述如下:通过 3CCD 相机采集叶片样本的数字图像,将其存入计算机,通过对数字图像信息进行处理,得到三通道(绿光、红光和近红外)的叶片样本的图像灰度值。根据标定板建立的灰度值与反射率值之间的经验线性公式将得到的叶片图像灰度值转换为叶片反

射率值,再由叶片反射率值计算获得叶片样本的植被指数。利用凯氏定氮法测得叶片的含氮量,并通过图像方法获得叶面积指数的测量值。最后建立植被指数与这些样本测量值之间的数学模型。

3.1 标定板经验线性公式的建立

通过黄瓜叶片样本的多光谱图像只能获得样本在三个通道的平均灰度值,只有通过灰度值与反射率之间的关系才能将这些灰度值转化为反射率值。标定板的作用就是建立灰度值与反射率之间的关系,并用经验线性公式对它们之间的关系进行描述。同时标定板也可以消除不同光照条件和背景对图像采集质量的影响。利用便携式光谱仪扫描得到的标定板的光谱反射率如图 1 所示。图中在绿、红和近红外波段得到的反射率值分别为,绿光波段: 0.1165, 0.1648, 0.2622, 0.3528; 红光波段: 0.1053, 0.1495, 0.2415, 0.3304; 近红外波段: 0.0923, 0.1302, 0.2147, 0.2995(对应板子颜色从深到浅,分别标记其为 1 号板、2 号板、3 号板和 4 号板)。

为保证叶片在 3CCD 视场中占较大比率,选用了其中三块标定板(1 号板, 2 号板和 3 号板)用以标定反射率值。因为两点确定一条直线,只有通过第

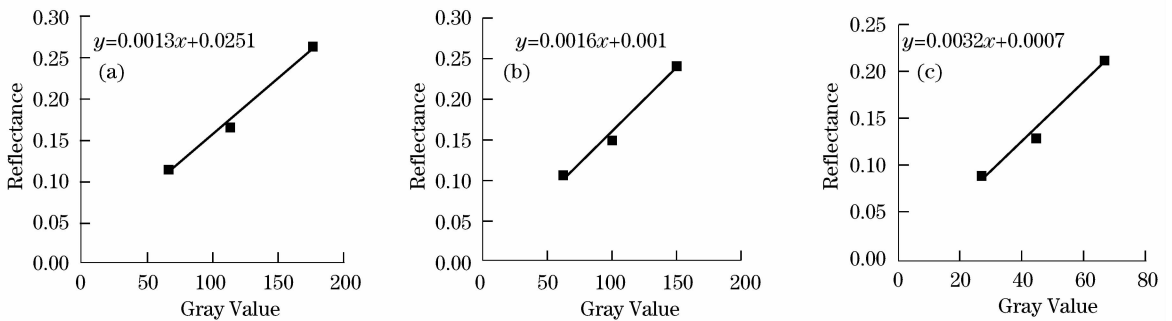


图 2 标定板反射率值与其平均灰度值之间的关系。绿光波段(a),红光波段(b),近红外波段(c)

Fig. 2 Relationship between reflectance and gray value of calibration board. Green (a), Red (b), NIR (c)

3.2 叶片反射率的获取

这部分过程主要包含两个步骤:一是获取图像的灰度值;二是利用得到的经验线性公式将灰度值转换为叶面反射率。图像是以合成图像采集进入计算机的,所以首先应将其分成三个独立通道图像,绿光通道,红光通道和近红外通道。对每个通道的图像进行处理时,首先将叶片与标定板进行分离,并对近红外通道图像进行二值化处理,然后利用近红外通道的二值化图像确定叶片在图像中的位置,并依此去掉其它两个通道的背景。再分别计算这三个通道叶片的平均灰度值,进而由 3 块标定板确定的线性公式将黄瓜叶片的灰度值转化为反射率值。

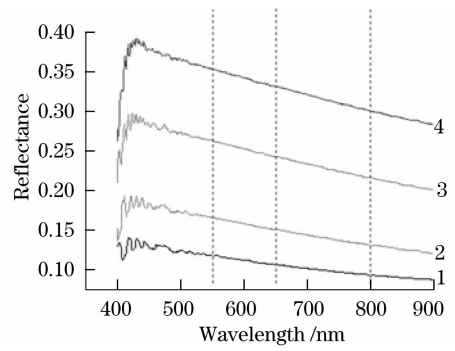


图 1 4 块标定板的反射光谱曲线

Fig. 1 Reflectance spectra of four calibration boards

三点才能确保该直线所确定的标定板的反射率和灰度值之间的线性关系的准确性。所采用的三个标定板在三个波段中所对应的平均灰度值如下:绿光波段, 64. 5226、113. 0343、175. 3314; 红光波段, 62. 4290、100. 8677、49. 6910; 近红外波段, 26. 7614、44. 0821、65. 5235。标定板在三个波段的反射率值与其平均灰度值之间的线性关系及三点分布图如图 2 所示。根据所得线性方程及三点的分布,可以看出三点近似分布在一条直线上,说明标定板的反射率和灰度值之间有良好的线性关系。

4 结果与讨论

通过上述的图像处理过程得到了黄瓜叶片样本的反射率,根据植被指数的定义可以由叶片样本在三个通道的反射率值计算获得样本的植被指数。植被指数是用于表征地表植被和生长状况的度量参数,已经在农业、环境和生态等领域获得了广泛的应用。根据本实验的研究内容,选用三种类型的植被指数进行研究,包括归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)^[14]、绿波段归一化植被指数(GNDVI)^[15]和比值植被指数(Ratio vegetation index, RVI)^[16]。可以通过叶片反射率计算获得每个样本的三种类型的植被指数,进而建

立三种类型的植被指数同黄瓜叶片的含氮量和叶面积指数的相关关系模型。本文采用最小二乘-支持向量机作为建模方法^[17,18]。

在 LS-SVM 建模过程中,三种类型的植被指数 (NDVI、GNDVI 和 RVI) 作为 LS-SVM 模型的输入,以叶片含氮量和叶面积指数作为输出,对植被指数和叶片含氮量、叶面积指数之间进行数值拟合,建立黄瓜叶片含氮量和叶面积指数的相关关系模型。采用 LS-SVM 运算时,必须选择合适的核函数,目前还没有形成一个统一的模式来选择核函数。通过和其他核函数的比较,径向基 (Radial basis function, RBF) 核函数作为非线性函数能够减少训

练过程中计算的复杂性。采用 RBF 作为核函数的 LS-SVM 模型主要有两个参数:超参数 γ 和 RBF 核函数参数 σ^2 ,这两个参数在很大程度上决定了最小二乘-支持向量机的学习能力和预测能力。采用基于交叉验证 (Cross validation) 的网格搜索 (Grid search) 对这两个参数进行优化,对 LS-SVM 模型参数进行优化之后,即可用其建立植被指数同叶片含氮量和叶面积指数间的拟合模型。图 3 为模型的测量值与拟合值的关系,其中图 3(a)为氮含量的拟合结果,拟合值同测量值之间的相关系数为 0.8665;图 3(b)为叶面积指数的拟合结果,拟合值同测量值之间的相关系数为 0.8553。

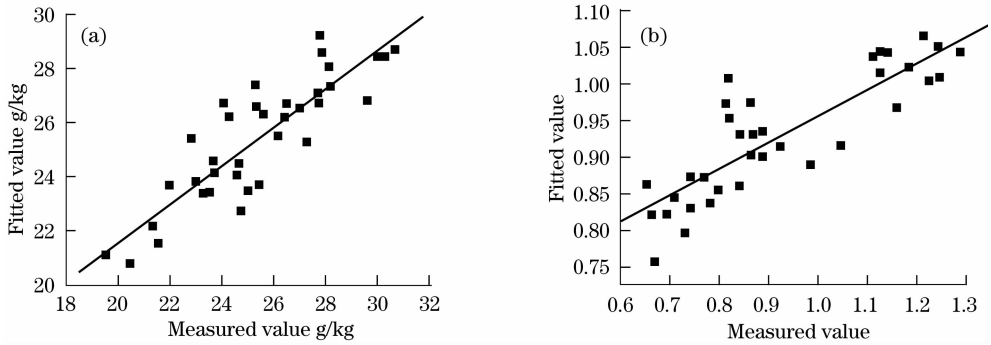


图 3 测量值同拟合值之间的关系. 含氮量(a),叶面积指数(b)

ig. 3 Relationship between the measured value and fitted value. Nitrogen content (a), LAI (b)

采用最小二乘-支持向量机 (LS-SVM) 建立三个植被指数与黄瓜叶片的拟合模型,拟合结果见表 1。从表中可以看出植被指数同叶片含氮量和叶面积指数的拟合相关系数分别为 0.8665 和 0.8553,均达到了较为理想的拟合结果。测量值与拟合值的统

计特性也比较接近,说明植被指数同黄瓜叶片含氮量和叶面积指数具有很大的相关性。该方法为后续大量样本实验以及田间种植黄瓜生长信息的采集与检测提供了可行性的依据。

表 1 植被指数同黄瓜叶片含氮量和叶面积指数的 LS-SVM 拟合结果

Table 1 Fitted results of vegetation index with nitrogen content and LAI by LS-SVM

Parameters	No.	Reference value			Fitted value			
		Range	Mean	S. D. ^a	Range	Mean	S. D. ^a	r^b
Nitrogen content / (g/kg)	36	19.59~30.64	25.42	2.76	20.80~29.19	25.42	2.27	0.8665
Leaf area index	36	0.6545~1.2890	0.9384	0.2026	0.7588~1.0658	0.9328	0.0844	0.8553

^a standard deviation; ^b correlation coefficient

5 结 论

本研究采用多光谱相机 MS3100 Duncan Camera、ASD 便携式光谱仪 FieldSpec HandHeld 和计算机等搭建实验室图像采集平台,采集 36 株黄瓜所有叶片的图像。利用 ASD 便携式光谱仪 FieldSpec HandHeld 采集标定板各色块的光谱反射率,用多光谱相机 MS3100 采集绿光、红光和近红外三个通道的标定板图像,对每个通道标定板图像进行处理,求得各个标定板色块在该通道的灰度值,

建立每一色块图像灰度值同光谱反射率所对应的线性公式。采集黄瓜叶片三通道图像,对所采集的图像进行处理获得叶片样本在每一通道的灰度值,然后根据标定板所建立的反射率与图像灰度值间的经验线性公式将对应的灰度值转为反射率值。根据植被指数公式计算每样本的植被指数。采用最小二乘-支持向量机 (LS-SVM) 对植被指数同黄瓜叶片含氮量和叶面积指数分别进行拟合。植被指数同叶片含氮量和叶面积指数的拟合相关系数 r 分别为

0.8665 和 0.8553, 均达到了较为理想的拟合结果。说明植被指数能够综合反映黄瓜的生长信息, 多光谱图像技术可以作为研究黄瓜生长状况的有效方法。为后续大量样本实验以及田间种植黄瓜生长信息的采集与检测提供了方法和依据。

参 考 文 献

- 1 Yash P. Abrol, Sukumar R. Chatterjee, P. Ananda Kumar *et al.*. Improvement in nitrogen use efficiency: physiological and molecular approaches [J]. *Current Science*, 1999, **76**(10): 1357~1364
- 2 Wu Weibin, Hong Tiansheng, Wang Xiping *et al.*. Advance in ground-based LAI measurement methods [J]. *J. Huazhong Agricultural University*, 2007, **26**(2): 270~275
吴伟斌, 洪添胜, 王锡平等. 叶面积指数地面测量方法的研究进展[J]. *华中农业大学学报*, 2007, **26**(2): 270~275
- 3 Zhang Jiahua, Fu Congbin, Yan Xiaodong *et al.*. Global response analysis of LAI versus surface air temperature and precipitation variations [J]. *Chin. J. Geophysics*, 2002, **45**(5): 631~637
张佳华, 符添斌, 延晓东等. 全球植被叶面积指数对温度和降水的响应研究[J]. *地球物理学报*, 2002, **45**(5): 631~637
- 4 Xi Jianchao, Zhang Hongqi, Zhang Zhiqiang. Retrieving effective leaf area index of conifer forest using landsat TM images [J]. *J. Beijing Forestry University*, 2004, **26**(6): 36~39
席建超, 张红旗, 张志强. 应用遥感数据反演针叶林有效叶面积指数[J]. *北京林业大学学报*, 2004, **26**(6): 36~39
- 5 Zhang Jun, Wang Yiming, Mao Wenhua *et al.*. Dynamic simulation of leaf area in cotton canopy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, **38**(6): 117~120
张 军, 王一鸣, 毛文华等. 棉花冠层叶面积的动态模拟[J]. *农业机械学报*, 2007, **38**(6): 117~120
- 6 Wang Hongyong, Cao Qixin, Liu Wenxiu *et al.*. Neural network based on cucumber grader judgement [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 1999, **30**(6): 83~87
王红永, 曹其新, 刘文秀等. 基于神经网络的黄瓜等级判别[J]. *农业机械学报*, 1999, **30**(6): 83~87
- 7 Hu Chunhua, Li Pingping. Application of computer image processing to extract color feature of nutrient deficiency leaves [J]. *Computer Measurement & Control*, 2004, **12**(9): 859~862
胡春华, 李萍萍. 计算机图像处理在缺素叶片颜色特征识别方面的应用[J]. *计算机测量与控制*, 2004, **12**(9): 859~862
- 8 Peng Zhanwu, Wang Xue, Si Xiuli *et al.*. A study on the method of image pre-processing and feature extraction for intelligent recognition of greenhouse vegetable diseases [J]. *J. Jilin agricultural University*, 2007, **29**(2): 219~223
彭占武, 王 雪, 司秀丽等. 温室蔬菜病害智能识别图像预处理及其特征提取方法的研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2007, **29**(2): 219~223
- 9 Ren Dong, Yu Haiye, Qiao Xiaojun. Research on cucumber disease recognition in greenhouse based on support vector machine [J]. *J. Agricultural Mechanization Research*, 2007, (3): 25~31
任 东, 于海业, 乔晓军. 基于 SVM 的温室黄瓜病害诊断研究[J]. *农机化研究*, 2007, (3): 25~31
- 10 Liu Fei, He Yong, Wang Li. Methods for the prediction of sugar content of rice wine using visible-near infrared spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11): 2054~2058
刘 飞, 何 勇, 王 莉. 黄酒糖度预测的可见-近红外光谱方法研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(11): 2054~2058
- 11 Shi Youming, Liu Gang, Liu Jianhong *et al.*. Identification of auricularia auricula from different regions by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(1): 129~132
时有明, 刘 刚, 刘剑虹等. 不同产地黑木耳的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. *光学学报*, 2007, **27**(1): 129~132
- 12 Liu Gang, Xing Da, Wang Haimin *et al.*. Study of protein in human gallstones by fourier transform infrared spectroscopy and surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(4): 441~446
刘 刚, 邢 达, 王海珉等. 胆结石中蛋白质的傅里叶变换红外光谱和表面增强拉曼光谱研究[J]. *光学学报*, 2002, **22**(4): 441~446
- 13 Feng Fengqin, Zhang Hui, Wang Li *et al.*. Rapid detection of the quality indicators in glycerol monolaurate products using Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 326~330
冯凤琴, 张 辉, 王 莉等. 应用红外光谱技术快速检测月桂酸单甘油酯的品质指标[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2): 326~330
- 14 Guo Ni. Vegetation index and its advances [J]. *Arid Meteorology*, 2003, **21**(4): 71~75
郭 锐. 植被指数及其研究进展[J]. *干旱气象*, 2003, **21**(4): 71~75
- 15 Anatoly A. Gitelson, Yoram J. Kaufman. MODIS NDVI optimization to fit the AVHRR data series-spectral considerations [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, **66**(3): 343~350
- 16 Shibayama M, Akiyama T. A spectroradiometer for field use. VII. Radiometric estimation of nitrogen levels in field rice canopies [J]. *Jpn. J. Crop Science*, 1986, **55**(4): 439~445
- 17 Wang Li, He Yong, Liu Fei *et al.*. Rapid detection of sugar content and pH in beer by using spectroscopy technique combined with support vector machine [J]. *J. Infrared and Millimeter Waves*, 2008, **27**(1): 51~55
王 莉, 何 勇, 刘 飞等. 应用光谱技术和支持向量机分析方法快速检测啤酒糖度和 pH 值[J]. *红外与毫米波学报*, 2008, **27**(1): 51~55
- 18 J. A. K. Suykens, J. Vanderwalle. Least squares support vector machine classifiers [J]. *Neural Processing Letters*, 1999, **9**: 293~300