

基于单传感器补偿融合的农药检测系统设计

罗伟^{1,2} 李淼¹ 张健¹ 李华龙^{1,2} 高翔^{1,2}

¹中国科学院合肥智能机械研究所智能农业与环境监测研究室, 安徽 合肥 230031

²中国科学技术大学信息学院, 安徽 合肥 230026

摘要 针对当前用于农药残留的现场检测仪器存在检测时间长、重复性差及抗温光干扰能力有限等不足, 基于酶抑制法结合前置光路补偿及数据融合算法设计了一种稳定、可用于现场检测的便携式农药残留检测系统。该系统主要包括吸光度感知模块和信号数据融合调理模块。吸光度感知模块在样品水浴恒温前提下, 增加前置补偿检测光路, 降低温度及杂光信号干扰; 数据融合调理模块将经光电转化及电路采集的信号分组融合, 增强信号真实性。测试表明, 该传感器系统具有良好的稳定性与重复性(相对标准偏差小于2.5%), 补偿光路的引入有效降低了外界光干扰。经实验证实抑制率高于70%的样品验证率达85%, 且抑制率高于50%时不同农药检出浓度均在0.5~5.0 mg/kg范围内, 满足现场检测需求。

关键词 传感器; 农残检测; 数据融合; 光补偿

中图分类号 X859

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201643.0114001

Design of Pesticide Detection System Based on Single Sensor Fusion Compensation

Luo Wei^{1,2} Li Miao¹ Zhang Jian¹ Li Hualong^{1,2} Gao Xiang^{1,2}

¹Laboratory of Intelligent Agriculture and Environment Monitoring, Hefei Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China

²School of Information, University of Science & Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China

Abstract Considering the problems of long detection time, poor reproducibility and limited resistance to light and temperature interference of equipment used for on-site detection of pesticide residues in the current market, a portable pesticide residue detector is designed based on enzyme inhibition and the data fusion algorithm. The system mainly includes an absorbance sensing module and a signal data fusion conditioning module. The absorbance sensing module uses front optical compensation path to eliminate common optical signal interference. The signal data fusion conditioning module groups and fuses the electrical signal in order to enhance signal authenticity. The test shows that the sensor system has good stability and reproducibility (relative standard deviation is lower than 2.5%), and the introduction of front optical compensation path eliminates the common optical signal interference effectively. Validation rate of samples whose inhibition rate is higher than 70% is up to 85%. When the sample inhibition rate reaches 50%, the pesticides in the concentration range of 0.5~5.0 mg/kg can be detected, which meets the demand of on-site detection.

Key words sensors; pesticide residue detection; data fusion; optical compensation

OCIS codes 280.4788; 040.1880; 350.4600; 350.2450

收稿日期: 2015-06-05; 收到修改稿日期: 2015-09-22

基金项目: 国家863计划(2013AA102302)

作者简介: 罗伟(1989—), 男, 博士研究生, 主要从事光谱学与表面等离子共振在生境感知的应用方面的研究。

E-mail: zjlw1018@mail.ustc.edu.cn

导师简介: 李淼(1955—), 女, 研究员, 博士生导师, 主要从事人工智能和农业知识工程等方面的研究。

E-mail: mli@iim.ac.cn(通信联系人)

1 引 言

当前农药残留检测方法有气相色谱法(GC)、气相色谱-串联质谱法(GC-MS)、高效液相色谱法(HPLC)等^[1-6], 这些方法检测精度高、适用范围广,但需在实验室条件下借助于大型仪器来完成。基于酶抑制法的检测仪由于其结构简单便携而广泛应用于各级市场部门的现场检测,但其抗干扰能力有限,重复性及稳定性差^[7],需多次重复检测才可用于初步筛查。因此,探索提升当前便携式农残检测仪器的抗干扰能力及稳定性具有重要意义。

本文基于酶抑制法原理,结合水浴温度控制及光强补偿检测,采用一致性数据处理及单传感器融合,设计了一种便携式农残检测系统。该系统主要包括吸光度感知和信号数据融合调理两个模块,实现了光源信号补偿和数据融合检测。实验结果表明该检测系统具有良好的重复性和稳定性,抗温光干扰能力强,满足现场快速检测要求。

2 基本原理

基于单传感器融合的光强补偿式农药残留检测系统主要包括吸光度感知模块和信号数据融合调理模块。吸光度感知模块记录适宜温度时的传感器检测值;信号数据融合调理模块实现光源光强补偿和电信号的融合处理。检测系统整体结构如图1所示。

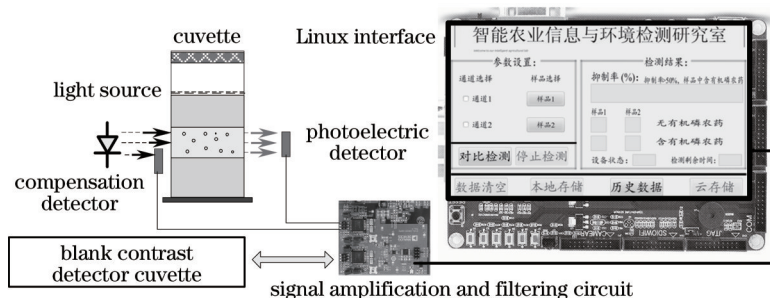


图1 单传感器融合农药检测系统结构

Fig.1 Structure of pesticide detection system based on single sensor fusion

2.1 吸光度感知模块

吸光度感知模块由点光源、前置补偿检测与光电信号采集模块构成。包括两个同型号蓝紫色LED[发射波长为(410±5) nm]及硅光电池组成的光电探测器等。采用高增益反馈网络结合偏置放大电路构成LED驱动电流源^[8],尽可能保证两个LED的初始光强一致^[9];硅光电池位于光源的横向正对位置,将由光源经检测池吸收过后的光强最大限度地转化为电信号,从而完成对吸光度信号的感知;补偿模块检测出射光路,为后续实现软件剔除歧义检测值及光源补偿提供参考^[10]。

2.2 数据融合调理模块

数据融合调理模块主要由嵌入式硬件结合软件算法组成。硬件电路包括微弱信号滤波放大电路和基于S3C6410(Samsung公司,16/32位RISC微处理器)主控芯片的Linux系统电路。信号滤波放大电路完成了对硅光电池输出信号的放大、滤波等调理工作^[11];嵌入式系统实现采集信号的补偿和融合分析处理,从而得到农药抑制率,并通过QT界面显示。

2.3 单传感器数据融合采集

检测系统中对硅光电池所得电压值的分析及抑制率数值融合至关重要。该系统观测值有限,且存在同相分布干扰等影响^[12]。结合温度补偿和多传感器信息融合思想,采用信息融合算法。将多次采集数据分组,看作多个同精度传感器采集数据^[13],根据极大似然估计思想,定义边界距离并计算相互支持度,用加权值作为最终采样值后计算抑制率并融合传感数据得到最终抑制率,增强数据可信度和真实性。

补偿及光电探测器每秒采集的 $n \times m$ 个采样值分为 n 组,每组 m 个数据,组成一个数据矩阵 $Z(Z_{ij}$ 为矩阵中第 i 行第 j 列的采样值)。将整体采样值看作由 n 个独立同精度传感器检测同一个物理量^[14]。分别计算每个传感器的采样均值 \bar{z}_i 和方差 σ_i^2 。设 α_i 为各个传感器的权值,则由 n 个传感器所得的 Z 的融合方差 σ^2 是 α_i 的

二次函数,存在最小值。构造代价函数,利用拉格朗日乘子法得到代价函数最小值条件进而确定 α_i ,求得各分组数据的无偏估计:

$$\hat{x}_i = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} Z_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

式中 β_{ij} 为第 i 组数据加权系数; Z 的无偏估计为 $\hat{Z}_i = \sum_{j=1}^m \frac{\bar{z}_i}{\sigma_i^2 \left(\sum_{j=1}^m \sigma_j^2 \right)}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

通过定义 k 和 p 传感器的距离测度,结合相互支持度分段线性函数:

$$r_{kp} = \begin{cases} 1; & 0 \quad (d_{kp} \leq \varepsilon_1; d_{kp} \geq \varepsilon_2) \\ 1 - \frac{d_{kp} - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} & (\varepsilon_1 < d_{kp} < \varepsilon_2) \end{cases}, \quad (2)$$

式中 $d_{kp} = \frac{\text{erf}(\hat{x}_k - \hat{x}_p)}{2\sqrt{2}\sigma_p} + \frac{\text{erf}(\hat{x}_p - \hat{x}_k)}{2\sqrt{2}\sigma_k}$; erf 为误差函数。则非负相互支持矩阵 R , 存在 $\lambda \geq 0$ 满足 $\lambda C = RC$ (C_i 构成特征向量 C), 得每秒的最优融合采样值

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^n \hat{Z}_i \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}. \quad (3)$$

再由算术平均值与分批估计融合^[15],求得连续间隔相同时间抑制率并将间隔分两组^[16],得到最终抑制率:

$$\alpha = \frac{\sigma_{(2)}^2}{\sigma_{(1)}^2 + \sigma_{(2)}^2} \bar{\alpha}_{(1)} + \frac{\sigma_{(1)}^2}{\sigma_{(1)}^2 + \sigma_{(2)}^2} \bar{\alpha}_{(2)}, \quad (4)$$

式中 $\bar{\alpha}_{(1)}$ 、 $\bar{\alpha}_{(2)}$ 及 $\sigma_{(1)}^2$ 、 $\sigma_{(2)}^2$ 分别为两组抑制率的平均值和标准差。

2.4 检测原理

采用酶抑制法检测农药残留,即有机磷和氨基甲酸酯类农药能够特异地抑制胆碱酯酶活性,从而减弱胆碱酯的水解产物与显色剂的颜色反应:当农药残留浓度高时,乙酰胆碱酯酶的活性被抑制,导致乙酰胆碱水解产物减少。而该水解产物可与特定显色剂发生显色反应,故在同等条件下该水解产物量的多少直接关系显色反应的显著情况。同理可得农药残留浓度低时的情况,进而可用吸光度值来度量该显色反应程度,实现对农药残留量的检测。

采用恒温水浴降低温度干扰^[17],恒流源驱动同型号 LED 点光源。引入光源光强信号的检测作为补偿参考值,降低光源温度漂移^[18]及外界光信号干扰。补偿检测器位于入射光路上,多次实验得到入射和补偿检测光强比值 k ,实现软件标定,用于检测中剔除歧义检测值及实现比例补偿。检测入射光路的光强值并结合比值 k 反演光源光强,再取其与吸收后光强检测值的差值得到被吸收的光强值。当入射光路检测值异常,较正常值大 10% 时,剔除该组检测值。利用融合算法处理光电探测器检测的电压信号得到抑制率,最大限度地减小检测误差,增强检测结果的可信度和真实性。

3 实验及结果分析

3.1 实验试剂及步骤

参照 GB5009.199-2003 标准分别配制 pH 8.0 磷酸盐缓冲液、显色剂和底物^[19]。称取 0.12 g 乙酰胆碱酯酶粉末加入 6 mL 磷酸盐缓冲溶液中,溶解作为胆碱酯酶溶液。综合考虑各影响因素^[20],实验中水浴恒温装置将检测温度稳定在 37 °C。将待测液用缓冲液定容至 12.5 mL,依次加入 0.5 mL 酶液和 0.5 mL 显色剂,摇匀静置 15 min 后取 2.5 mL 该混合液于比色池中,加入 0.1 mL 底物并迅速将其和空白标准对照液比色池同时放入仪器中,抑制时间为 180 s,计算得抑制率并显示在 QT 界面。

3.2 检测结果分析

3.2.1 稳定性

为衡量该检测系统的稳定性,每间隔两天进行一次实验,每次实验分别配比不同浓度西维因,连续两

周^[21]检测各浓度对应的抑制率值。由补偿检测去除歧义值和反演光源强度^[22],分别计算抑制率^[23]:

$$R = \left(1 + \log_{\frac{p_1}{p_2}} \frac{q_2}{q_1} \right) \times 100\%, \quad (5)$$

式中 p_1 、 p_2 、 q_1 、 q_2 分别为参照液和待测样的初始检测值和结束检测值,底数及真数相对于1符号相反。

结果发现一周内检测抑制率基本不变,但由于显色剂、底物及检测酶的存储时间增长而活性降低,导致后期数据失真。重新实验,每间隔两天进行检测,每次检测时重新配比检测用剂,多次对同浓度敌敌畏进行检测。所得抑制率波动范围小于5%,表明检测系统自身具有较强稳定性。

3.2.2 重复性

通过对不同浓度敌敌畏、伏杀磷和马拉硫磷溶液多次测量所得抑制率的相对标准偏差(RSD)来衡量传感器重复性。

某浓度农药检测抑制率为需要计算的动态指标,RSD为

$$C = \frac{1}{\bar{R}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} \times 100\%, \quad (6)$$

式中均值 $\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$ 。

利用(6)式对不同种类、浓度的农药检测所得抑制率的相对标准偏差进行分析。结果如表1所示。可知RSD小于2.5%,检测系统具有良好的重复性。

表1 传感器系统多点重复性测试结果

Table 1 Sensor system repeatability test

Pesticide	Repeatability /%	RSD /%	Pesticide	Repeatability /%	RSD /%
Carbaryl	13.8	1.143	DDVP	31.5	0.955
Carbaryl	50.6	1.136	DDVP	48.9	1.064
Carbaryl	58.1	1.992	DDVP	77.6	1.985
Carbaryl	94.2	0.955	DDVP	83.2	1.013
Dimethoate	18.5	1.095	Phosalone	37.3	1.957
Dimethoate	27.3	1.279	Phosalone	43.1	0.967
Dimethoate	45.9	2.018	Phosalone	61.0	1.136
Dimethoate	60.4	1.042	Phosalone	73.5	1.023

3.2.3 抗光干扰能力测试

吸光度的检测极易受到外界杂光干扰。为验证该检测系统的抗光干扰性能,对不同浓度敌敌畏、伏杀磷和马拉硫磷检测液分别在黑暗环境和室外阳光条件下进行对比实验,补偿光路结合k值补偿得光源光强并求得抑制率。发现稳定性基本不变(小于2%)。表明补偿光路的引入有效增强检测系统的抗光干扰性能。

3.2.4 现场检测

验证该检测系统实用价值,对现场检测中的样本提取时间、温度及植物中次生物^[19]等因素的影响进行评测。按照国标进行前处理并限定具体条件进行现场检测。选用超声波提取仪在30℃温度下提取样本6min后的上清液作为检测液^[20]。校准检测系统,将已知浓度的配比溶液喷洒到回收率已知的农作物样品上,再进行残留农药提取。通过回收率换算最终残留浓度,并与相同标准配比检测液进行对比。发现喷洒浓度、回收率及抑制率符合逻辑关系,与气相色谱对比可知,在检出的抑制率大于70%的样品中,验证符合率在85%以上,且由表2可得,传感器检测所得抑制率与农药浓度的对应关系与国标基本相同。增加农药种类及实验作物,选取不同前处理方法降低不同检测物质的假阳性^[24],当抑制率大于50%时,不同农药检出限均在0.5~5.0 mg/kg范围内,满足现场检测要求。

表2 酶抑制法与气相色谱法检验结果对比

Table 2 Comparison between enzyme inhibition method and gas chromatography

Plant	Pesticide	Enzyme inhibition /%	Gas chromatography /(mg·kg ⁻¹)
Cucumber	Dipterex	91.2	3.53
Bean	Dipterex	77.9	3.16
Vegetables	Methamidophos	70.8	1.45
Cabbage	Methamidophos	86.4	1.83
Pakchoi	Carbaryl	93.8	3.75
Spinach	Dimethoate	27.2	2.52
Tomato	Carbofuran	85.6	0.04

4 结 论

基于酶抑制法原理结合补偿检测及数据融合设计了一种便携式农药检测系统。通过前置补偿光路检测来反演光源光强,降低了杂光干扰。通过数据分组及单传感器融合,增强了数据可信度。测试结果表明,该检测系统具有良好的重复性和稳定性,抗温光干扰能力强。与抑制率高于70%的样品的气相色谱结果相比,该系统验证率达85%,满足现场快速、稳定检测需求。

致谢 感谢翁士状博士对论文的帮助,感谢合肥市凤阳路菜市场及无锡市安镇菜场对实验的设备支持。

参 考 文 献

- 1 Filho A M, dos Santos F N, Pereira P A. Development, validation and application of a methodology based on solid-phase micro extraction followed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (SPME/GC-MS) for the determination of pesticide residues in mangoes [J]. *Talanta*, 2010, 81(1-2): 346-354.
- 2 LeDoux M. Analytical methods applied to the determination of pesticide residues in foods of animal origin. A review of the past two decades [J]. *Journal of Chromatography A*, 2011, 1218(8): 1021-1036.
- 3 Lehotay S J, Mastovska K, Lightfield A R, *et al.* Multi-analyst, multi-matrix performance of the QuEChERS approach for pesticide residues in foods and feeds using HPLC/MS/MS analysis with different calibration techniques[J]. *Journal of AOAC International*, 2010, 93(2): 355-367.
- 4 Sun Tong, Xu Huirong, Ying Yibin. Progress in application of near infrared spectroscopy to nondestructive on-line detection of products/food quality[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(1): 122-126.
孙 通,徐慧荣,应义斌. 近红外光谱分析技术在农产品/食品品质在线无损检测中的应用研究进展[J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(1): 122-126.
- 5 Weng Shizhuang, Zheng Shouguo, Li Pan, *et al.* Quantitative analysis of fenitrothion based on surface-enhanced Raman spectroscopy [J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(8): 0815001.
翁士状,郑守国,李 盼,等. 基于表面增强拉曼光谱的杀螟硫磷定量分析[J]. *中国激光*, 2013, 40(8): 0815001.
- 6 Xue Long, Li Jing, Liu Muhua. Detecting pesticide residue on navel orange surface by using hyperspectral imaging[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(12): 2277-2280.
薛 龙,黎 静,刘木华. 基于高光谱图像技术的水果表面农药残留检测试验研究[J]. *光学学报*; 2008, 28(12): 2277-2280.
- 7 Luan Yunxia, Li Yang, Ping Hua, *et al.* Development and effective evaluation of rapid detection instruments of pesticide residues in fruits and vegetables based on enzyme inhibition method[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2012, 3(6): 690-694.
栾云霞,李 杨,平 华,等. 基于酶抑制法的农药残留快速检测仪器现状及评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2012, 3(6): 690-694.
- 8 Wei Yongqin, Gao Jianfeng. Artful design of a constant current source circuit[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, 27(8): 1170-1172.
卫永琴,高建峰. 一种恒流源电路的巧妙设计[J]. *仪器仪表学报*, 2006, 27(8): 1170-1172.
- 9 Xu Chao, Gao Shumei, Su Zhouping, *et al.* A new optical design method of uniform lumination based on extended LED source[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, 51(2): 022203.
徐 超,高淑梅,苏宙平,等. 一种基于LED扩展光源的均匀照明设计新方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2014, 51(2): 022203.

- 10 He Shaoling, Hao Fenghuan, Liu Pengfei, *et al.*. High precision fiber Bragg grating pressure sensor with real-time temperature compensation [J]. Chinese J Lasers, 2015, 42(6): 0605003.
何少灵, 郝凤欢, 刘鹏飞, 等. 温度实时补偿的高精度光纤光栅压力传感器[J]. 中国激光, 2015, 42(6): 0605003.
- 11 Yang Yujie, Tian Qingguo, Ge Baozhen. Correction technique for joint error of multi-sensor point cloud[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(3): 0314002.
杨玉杰, 田庆国, 葛宝臻. 多传感器点云拼接误差的修正方法[J]. 中国激光, 2014, 41(3): 0314002.
- 12 Liu Xijing, Yang Dewei, Yu Jia, *et al.*. Quasi-reciprocal reflective digital closed-loop optical voltage sensor[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(2): 0205002.
刘汐敬, 杨德伟, 于佳, 等. 准互易反射式数字闭环光波导电压传感器[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 0205002.
- 13 Zhou Wei, Ma Xiaodan, Zhang Lijiao, *et al.*. Three dimensional point cloud splicing of tree canopy based on multi-source camera[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(12): 1215003.
周薇, 马晓丹, 张丽娇, 等. 基于多源信息融合的果蔬冠层三维点云拼接方法研究[J]. 光学学报, 2014, 34(12): 1215003.
- 14 Zhou Yun. Study on Rapid Detection System of Pesticide Residues Based on Chemiluminiscence[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 39-49.
周芸. 基于光电法的农药残毒快速检测系统研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 39-49.
- 15 Pan Quan, Yu Xin, Cheng Yongmei, *et al.*. Essential methods and progress of information fusion theory[J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29(4): 600-610.
潘泉, 于昕, 程咏梅, 等. 信息融合理论的基本方法与进展[J]. 自动化学报, 2003, 29(4): 600-610.
- 16 Cai Feina, Liu Qinxian, Zhu Genxing, *et al.*. Data fusion method for single sensor system[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2005, 20(1): 88-90.
蔡菲娜, 刘勤贤, 朱根兴, 等. 数据融合方法在单传感器系统中的应用[J]. 数据采集与处理, 2005, 20(1): 88-90.
- 17 Xiao Jianjun, Hua Zezhao, Xu Fei. The study of influence of temperature on inhibition of pesticide on plant-esterase[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2002, 23: 105-108.
肖建军, 华泽钊, 徐斐. 温度影响农药抑制植物酶的研究[J]. 工程热物理学报, 2002, 23: 105-108.
- 18 Ding Tianping, Guo Weiling, Cui Bifeng, *et al.*. The effect of temperature on the PL spectra of high power LED[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(6): 1450-1453.
丁天平, 郭伟玲, 崔碧峰, 等. 温度对功率LED光谱特性的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1450-1453.
- 19 National Standardization Technical Committee. GB/T5009. 199 - 2003 Rapid determination for organophosphate and carbamate pesticide residues in vegetables[S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
国家标准化技术委员会. GB/T5009. 199 - 2003 蔬菜中有机磷和氨基甲酸酯类农药残留量的快速检测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- 20 Li Shun, Ji Shujuan, Li Donghua. Study on optimal conditions of enzyme inhibition for rapid detection of organophosphate pesticide residues in vegetables[J]. Food Science and Technology, 2006, (1): 171-173.
李顺, 纪淑娟, 李东华. 酶抑制法快速检测蔬菜中有机磷农药残留的最佳条件研究[J]. 食品科技, 2006, (1): 171-173.
- 21 Qiu Zhengjun, Lu Jiangfeng, He Yong. Rapid detection system development and influence factor analysis for pesticide residues in agricultural products by enzyme inhibition method[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 229-233.
裘正军, 陆江峰, 何勇. 基于酶抑制法的农产品农药残留快速检测系统及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 229-233.
- 22 Dong Yude, Zhao Han, Liu Guotian, *et al.*. Development of WX-201 automatic vegetable pesticide rapid detector[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 110-113.
董玉德, 赵韩, 刘国田, 等. WX-201全自动蔬菜农药残留快速检测仪的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 110-113.
- 23 Qian Lili. Rapid Detection Technologies and Sample Pretreatment Means in Determination of Pesticide Residues[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007: 48-50.
钱立立. 农药残留的快速检测和前处理技术的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007: 48-50.
- 24 Sang Yuanyuan, Chai Lina, Wei Chaojun, *et al.*. Study on eliminating false positive results of pesticide residues in four acrid vegetables with enzyme inhibition assay[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(11): 60-64.
桑园园, 柴丽娜, 魏朝俊. 酶抑制法检测4种辛辣蔬菜农药残留假阳性消除的研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 60-64.

栏目编辑: 吴秀娟