

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.033

基于 Windows 平台的车载式土壤全氮快速检测系统软件

周鹏 杨玮 冀荣华 兰红 李民赞

(中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了建立一套土壤全氮含量在线快速测量方法, 基于 Windows 平台设计了车载式土壤全氮快速检测系统软件, 系统软件设计包括软件架构设计和软件功能设计。在 Windows 平台上使用 MySQL 数据库管理软件作为检测系统软件数据库进行设计, 实现检测系统软件与 MySQL 数据库的数据交互; 软件功能设计主要包括检测系统软件主界面设计、数据采集、分析界面设计, 以及利用 HTML5 地理位置定位技术实现土壤数据检测点的轨迹成图界面设计。当车载式土壤全氮快速检测系统进行土壤检测时, 系统软件采集不同敏感波长处的土壤光谱数据, 通过嵌入在检测系统软件中的土壤全氮含量预测模型, 反演得到土壤全氮含量信息, 同时采集的 GPS 信息通过 HTML5 地理位置定位技术实现土壤数据检测点的轨迹成图。最后, 对检测系统软件进行了测试, 测试结果表明, 车载式土壤全氮快速检测系统软件能够有效采集和显示不同敏感波长处的土壤光谱信息、土壤全氮含量及 GPS 信息, 并能够准确生成土壤数据检测点的轨迹图, 证明了基于 Windows 平台的车载式土壤全氮快速检测系统软件的可靠性和稳定性, 能够满足田间在线、快速检测土壤全氮含量及生成土壤数据检测点轨迹图的需求。

关键词: 土壤全氮含量; 快速检测; 车载式; Windows; HTML5; MySQL

中图分类号: S126; TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0214-07

Vehicle-mounted Soil Total Nitrogen Rapid Detection System Software Based on Windows

ZHOU Peng YANG Wei JI Ronghua LAN Hong LI Minzan

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Soil total nitrogen (STN) content is an important parameter to ensure the normal growth of crops and measure the nutrient abundance of soil, and it is also the most important indicator for variable fertilization decision of crops in base fertilizer period. In order to establish a set of rapid online measurement method for soil total nitrogen content, a vehicle-mounted soil total nitrogen detection system software was developed based on Windows. The design of the detection system included architecture design and function design. The MySQL database management software was used as the database for development and design, and the data interaction between the detection system software and the MySQL database was realized; the software function design mainly included the main interface design of the detection system, the design of data acquisition and analysis interface, and the trajectory mapping interface design of the soil data detection points based on HTML5 geolocation technology. When the vehicle-mounted soil total nitrogen detection system performed soil detection, soil spectral data at different sensitive wavelengths were collected by the software of detection system, and soil total nitrogen content was obtained by inversion of the soil total nitrogen content prediction model embedded in the software of detection system. Simultaneously, the acquired GPS information was used to generate the trajectory map of the soil data detection points through the HTML5 geolocation technology. Finally, the software of detection system was tested. The test results showed that the vehicle-mounted soil total nitrogen rapid detection system software could effectively collect and display soil spectral information at different sensitive wavelengths, soil total nitrogen content and GPS information, and accurately generate the

收稿日期: 2019-04-20 修回日期: 2019-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201500-2017YFD0201501、2016YFD0700300-2016YFD0700304)和中国农业大学基本科研业务经费资金项目(2019TC049)

作者简介: 周鹏(1990—), 男, 博士生, 主要从事精细农业系统集成研究, E-mail: zhoupeng@cau.edu.cn

通信作者: 杨玮(1981—), 女, 副教授, 博士生导师, 主要从事精细农业系统集成研究, E-mail: cauyw@cau.edu.cn

trajectory map of soil data detection points. It proved the reliability and stability of the software working of vehicle-mounted soil total nitrogen rapid detection system based on Windows. It could meet the needs of field online rapid detection of soil total nitrogen content and generation of soil data detection points trajectory map.

Key words: soil total nitrogen content; rapid detection; vehicle-mounted; Windows; HTML5; MySQL

0 引言

随着人民生活水平的提高,对农产品品质和环境要求越来越高。为了追求农作物高产,过度施肥在增加农作物产量的同时,带来了严重的环境污染,土壤中累积的肥料一方面造成土壤的盐碱化,另一方面随雨水冲刷进入河流湖泊,造成水体富营养化,影响水生生物的生存。因此,减少肥料投入、保证农作物的产量和品质,以及保护生态环境成为当前研究的热点^[1-3]。

变量施肥作为精细农业研究的重要方面,在减少肥料投入、保证农作物产量和保护生态环境方面发挥了重要作用^[4-8]。变量施肥的前提是对土壤的养分丰缺状况进行检测,因此快速、在线检测土壤养分含量十分必要。文献[9-11]在实验室通过实时近红外光谱测量,对土壤全氮含量进行建模预测,建模精度和预测精度均较高;文献[12-14]设计了便携式土壤全氮检测仪,但检测仪只能对土壤全氮敏感波段处的反射率进行检测,大田试验后需将检测数据带回实验室进行建模分析,才能得到土壤全氮含量,不能实现在线、快速检测土壤全氮含量;文献[15]设计了车载式土壤近红外检测仪,能够对大田土壤近红外光谱进行全谱检测,但检测仪不能在线、快速获得土壤养分含量,必须经过复杂的数据分析才能够得到土壤数据。

针对 Windows 平台的车载式土壤全氮快速检测系统着力于解决在线、快速获得土壤全氮含量,并及时、准确地为变量施肥决策提供信息支持。本文针对自主设计的车载式土壤全氮快速检测系统,开发一款配套的车载式土壤全氮快速检测系统软件,当系统检测到不同敏感波长处的土壤光谱数据后,能够在线、快速获取土壤全氮含量,结合 GPS 信息,生成土壤数据检测点轨迹图,以及为农业精细化管理决策提供信息支持。

1 系统设计

1.1 车载式土壤全氮快速检测系统

车载式土壤全氮快速检测系统要求具有数据实时通讯功能,在数据传输过程中保证数据传输的可靠性和准确性,并且数据采集的波特率可根据检测

任务进行调节;具有数据实时分析功能,嵌入有土壤全氮含量预测模型,通过检测到的不同敏感波长处的土壤光谱数据即可反演得到土壤全氮含量;具有数据读写功能,能够对检测到的 GPS 信息、不同敏感波长处的土壤光谱数据以及反演得到的土壤全氮含量进行保存;具有轨迹成图功能,土壤全氮含量检测时,实时调用百度地图,对土壤数据检测点位置进行实时标记并最终生成轨迹图,方便后续进行数据处理和变量施肥作业;具有良好的人机交互界面,布局合理且操作方便简洁。图 1 为车载式土壤全氮快速检测系统设计图^[16],车载式土壤全氮检测仪通过三点悬挂结构与车载平台进行连接,给检测仪提供动力支持;检测仪在暗室结构中对检测土壤进行光谱检测,检测数据经过处理后传输到主控芯片,主控芯片将采集的 GPS 信息和土壤光谱数据一同传输到检测系统软件,检测系统软件对数据进行分析处理,并实时显示在数据采集界面,轨迹成图界面,对土壤数据采集点进行位置显示并生成轨迹图。

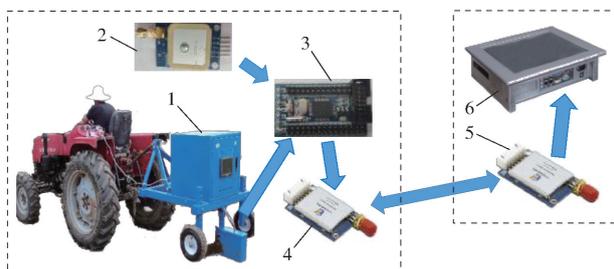


图 1 车载式土壤全氮快速检测系统设计图

Fig. 1 Design diagram of vehicle-mounted soil total nitrogen rapid detection system

1. 车载式土壤全氮检测仪
2. GPS 模块
3. MSP430F149 主控芯片模块
4. C101 无线传输模块发送端
5. C101 无线传输模块接收端
6. Windows 工控机平台

1.2 系统软件总体设计

车载式土壤全氮快速检测系统软件采用模块化的设计思想,由系统主界面、数据采集、分析界面、轨迹成图界面及 MySQL 数据库组成^[17-19]。图 2 为检测软件的功能框架图,检测系统软件架构为客户机/服务器的架构,客户机和服务器同为 Windows 工控机平台,客户机对采集的信息进行分析处理和显示,服务器对接收和处理的数据进行存储。

1.3 系统软件主界面设计

检测系统软件主界面用来对整个检测系统软件

所具备的功能进行展示,方便用户对软件功能进行了解并对软件进行操作。同时,设计有帮助文档,用户可以通过帮助文档对软件有更详细的认识,可以更好地操作软件。图3为检测系统软件主界面。

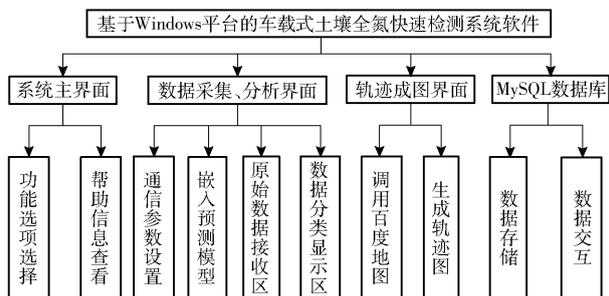


图2 检测系统软件功能框架图

Fig.2 Functional framework chart of detection system software



图3 检测系统软件主界面

Fig.3 Main interface of detection system software

1.4 数据采集与分析界面设计

1.4.1 串口数据通讯

串口数据通讯主要功能有端口选择、波特率设置等,串口通讯采用 RS232 串口通讯协议。串口数据通讯模块采用深圳凌成鑫公司的 C101 无线传输模块,它能够在 0~1 500 m 范围内进行数据的无线交互,并且方便集成在硬件电路部分,是一款高可靠性的数据无线传输模块^[16]。在检测系统软件对主控芯片采集的不同敏感波长处的土壤光谱信息及 GPS 信息进行传输采集时,首先检测系统软件通过 C101 无线传输模块向主控芯片发送触发信息,主控芯片随后将检测数据传输到检测系统软件,用户可以通过对触发信息发送时间间隔的设置,实现对数据传输采集的控制。

1.4.2 数据分析与处理

数据分析与处理模块嵌入有土壤全氮含量预测模型,土壤全氮含量预测模型是在对不同土壤类型的土壤进行光谱检测,并进行多次建模分析得到的,通过对不同类型的土壤进行建模分析,本检测系统

软件土壤全氮含量预测模型主要分为 3 个类型,分别是东北黑土、华北棕壤土以及西南红壤土。在对土壤光谱数据进行采集时,首先对土壤类型进行登记,并调用相应的土壤预测模型,不同土壤类型的预测模型差别很大,会对检测结果产生较大的影响,因此在对土壤全氮含量进行检测时,必须正确选择土壤全氮含量预测模型。此外,不同敏感波长处的土壤光谱数据、GPS 信息以及反演得到的土壤全氮含量会同时进行显示,为了更好地对采集及分析处理的数据进行展示,方便用户对数据进行查看,检测系统软件对采集的不同敏感波长的土壤光谱数据、GPS 信息以及反演得到的土壤全氮含量进行分类显示,检测系统软件实现了更好的人机交互界面。图4为数据采集与分析流程。

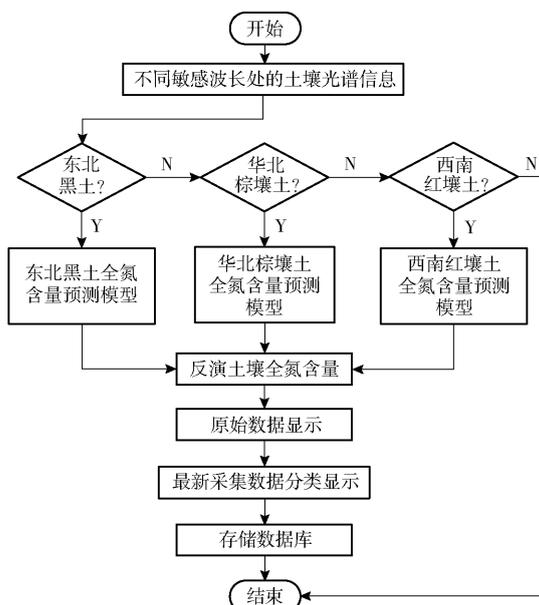


图4 数据采集与分析流程

Fig.4 Flow chart of data collection and analysis

1.5 轨迹成图界面设计

1.5.1 HTML5 地理位置定位技术

利用地理位置(Geolocation)定位技术获取设备的位置对于建立更直观的信息和用户体验越来越重要。地理位置可以用来对设备的位置进行定位,是 HTML5 的重要特性之一,在位置信息应用开发方面发挥着重要作用。HTML5 地理位置定位技术实现的途径主要有 3 类^[20-23]:基于浏览器获取使用者定位位置;使用百度地图或者谷歌地图进行数据交互显示位置信息;依赖高精度的定位设备精确地对使用者的位置进行定位。本文利用 GPS 设备获取车载式土壤全氮快速检测系统的地理位置信息。

1.5.2 轨迹成图设计与实现

为了对土壤数据检测位置进行实时定位显示,并能够更好地给用户展示土壤数据检测点的位置分

布情况,通过调用百度地图并结合 HTML5 地理位置定位技术实现对检测点位置的显示并形成轨迹图。MSP430F149 主控芯片通过 GPS 模块,对检测系统土壤检测点的地理位置信息进行采集,地理位置信息和不同敏感波长处的土壤光谱数据一同进行采集,采集的信息暂时存储在数据库中,新采集的地理位置信息与上一条地理位置信息进行比较,当新采集的地理位置信息与上一条地理位置信息相比,大于设定的最小位置间隔阈值,土壤数据检测点的位置在百度地图上进行标记显示;如果小于设定的最小位置间隔阈值,数据检测点位置信息仅存储在数据库中,并不进行标记显示,防止数据检测点位置间隔过小,造成数据检测点标记重叠,影响后续的变量施肥作业。图 5 为轨迹图成图功能流程。

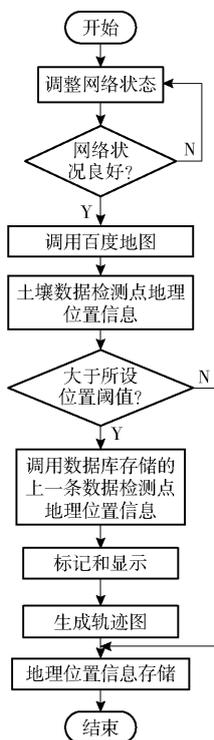


图 5 轨迹图成图功能流程

Fig. 5 Flow chart of trajectory mapping

1.6 数据库设计

检测系统软件使用 MySQL 数据库作为整个检测系统的数据库,数据库对采集的地理位置信息、不同敏感波长处的土壤光谱信息以及反演得到的土壤全氮含量进行存储,并且在轨迹图成图过程中,实现新采集地理位置信息与上一条地理位置信息的比较,最终实现地理位置信息在百度地图上进行标记显示并形成轨迹图。

整个数据库的设计基于多张数据表,数据表包括组别表以及数据表。组别表包括土壤检测点的序号、采样时间、GPS 信息、不同敏感波长处的土壤光谱信息、反演得到的土壤全氮信息,能够让用户以最

快的速度查询到每次土壤检测点的简略信息。数据表包括上述组别表的详细信息,当管理员进入后,能够对检测信息进行修改或完善。

1.7 系统软件工作流程

基于以上功能模块,车载式土壤全氮快速检测系统软件工作流程如图 6 所示。首先输入用户名和密码登录检测系统软件,在主程序界面选择数据采集功能,进入数据采集界面后设置相应的串口通讯参数,检查网络状况是否良好,能否满足轨迹成图功能需求;当参数设置完成及网络状况满足使用要求后,进行土壤全氮含量检测,嵌入的土壤全氮含量模型根据检测到的不同敏感波长处的土壤光谱信息反演得到土壤全氮含量,采集的地理位置信息在经过阈值分析后在调用的百度地图上进行标记和显示,生成轨迹图,最后保存数据。

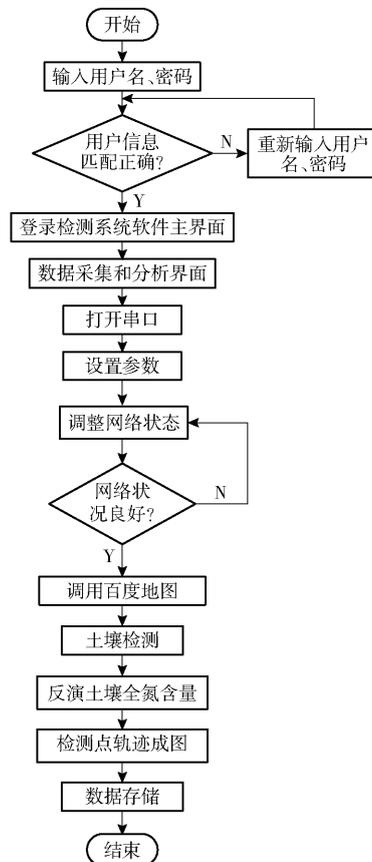


图 6 检测系统软件工作流程

Fig. 6 Working flow chart of detection system software

2 检测系统软件实现与试验

2.1 软件实现

根据车载式土壤全氮快速检测系统软件需求与设计目标,在检测系统软件开发与实现方面既要保证系统软件的鲁棒性、实用性和平台可移植性,又要保证用户界面的友好性,方便不同领域的用户使用。

基于 C#/MFC 框架开发了车载式土壤全氮快速检测系统软件,同时采用 HTML5 地理位置定位技术

实现对土壤数据检测点轨迹图的绘制。C#是由C和C++衍生出来的面向对象的编程语言,它在继承C和C++强大功能的同时去掉了一些它们的复杂特性,方便软件编程者进行编译。MFC是微软公司提供的类库,以类的形式封装了Windows API,包括用于程序的框架,减小了软件编程过程中的代码编写量^[24-28]。

2.2 软件测试

当检测系统软件开发完成后,对其进行测试,测试包括两大部分,一部分为检测系统软件在Windows平台系统的适用性和兼容性测试;另一部分为检测系统软件工作可靠性和稳定性测试。表1为检测系统软件测试结果。

表1 检测系统软件测试结果

Tab.1 Detection system software test

测试 Windows 平台	兼容性、适用性 测试结果	可靠性、稳定性 测试结果
Windows XP	不能运行	不能工作
Windows 7	运行良好	工作良好
Windows 8	运行良好	工作稳定
Windows 10	运行良好	工作稳定

对检测系统软件在不同的Windows平台系统进行了测试,测试结果表明,系统软件在Windows 7及以上系统平台运行良好,而在Windows XP系统平台不能正常运行;同时对检测系统软件的工作可靠性和稳定性进行测试,主要测试检测系统软件在土壤数据采集过程中是否会崩溃或者出现卡顿,经过测试,在Windows 7系统平台时,检测系统软件运行良好,只出现一次软件卡顿情况,而在Windows 8和Windows 10系统平台时,检测系统软件运行稳定,没有出现卡顿或崩溃情况。

2.3 软件田间测试

2018年8月26日在中国农业大学上庄实验站进行了检测系统软件田间测试,所用测试系统为Windows 10平台系统。测试检测系统软件在田间检测时的稳定性和可靠性,田间测试主要分为两大部分,测试数据采集及轨迹成图;测试系统软件工作的可靠性。为了对检测区域土壤状况有一个整体的了解,需要合理均匀地对采样点位置进行选择,因此选择4列16行共64个点,在每个交点处放置一个小红旗作为标杆,便于数据的采集。

在进行土壤检测时,主控芯片采集到的不同敏感波长处的土壤光谱信息、GPS信息通过C101无线传输模块传输到检测系统软件上,光谱信息反演得到土壤全氮含量,上述分析处理后的信息存储到数据库中,当进行下一条数据采集时,通过调用数据库

中的上一条GPS信息进行位置阈值比较,如果阈值大于设定的最小位置阈值间隔,则在调用的百度地图上标记显示,并最终生成轨迹图。图7为数据采集及分析界面,图8为轨迹成图界面。

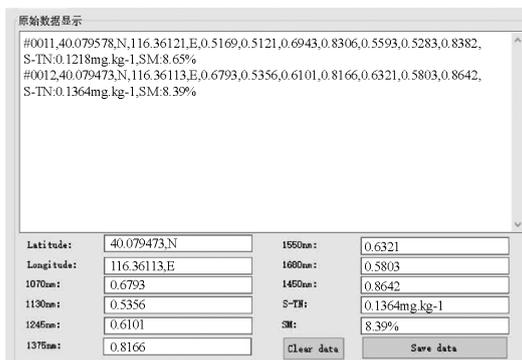


图7 数据采集及分析界面

Fig.7 Data acquisition and analysis interface



图8 轨迹成图界面

Fig.8 Trajectory mapping interface

在数据采集及分析界面,为了用户更方便地对检测数据进行查看,将最新采集和分析后的数据实时分类进行显示。轨迹成图界面能将最新采集到的GPS位置信息及时间进行显示,方便用户对轨迹成图位置信息进行查看。

同时对检测系统软件进行了用户界面测试及轨迹成图功能测试。用户界面测试主要测试用户在非法输入时程序的运行状况,以及测试界面之间跳转是否顺畅,防止程序在数据采集过程中出现阻塞,造成假死状态,轨迹成图功能测试主要是针对大田环境网络信号受到干扰,系统软件在轨迹成图方面还能否正常工作,轨迹成图测试时,通过手机开热点的方式给检测系统提供网络信号,因此在轨迹成图功能测试时,通过用4G和2G网络来模拟网络信号受到干扰的情况。

通过对检测系统软件的分析,检测系统软件出现问题的环节大致包括:检测系统软件登录,操作者没有正确输入用户信息,试图直接登录;在通讯参数

设置过程中,操作者未按参数设定的顺序进行设置,导致系统软件不能正常工作;在网络状况较差时,调用百度地图出现假死状态,采集的地理位置信息不能正确标记和显示。

经过对检测系统软件的测试,在网络环境正常,操作者规范操作的情况下,软件程序正常运行,数据采集及分析功能正常工作,轨迹成图功能也对地理位置信息进行正确的显示和标记;而在网络信号较差以及操作者出现误操作的情况下,软件程序能够对错误进行提示,并且能够快速进行排除。检测系统软件田间测试结果表明,检测系统软件能够满足车载式土壤全氮快速检测系统的使用要求,工作稳定可靠。

3 结论

(1)基于 C#和 HTML5 地理位置定位技术实现

了车载式土壤全氮快速检测系统软件的开发,同时选择 MySQL 数据库软件作为检测系统软件数据库;实现了数据库和检测系统软件的数据交互,并进行了检测系统软件测试,测试结果表明,开发的检测系统软件稳定性和可靠性较高,能够满足田间土壤全氮检测和土壤数据检测点轨迹成图的使用要求。

(2)车载式土壤全氮快速检测系统软件具备土壤全氮含量及地理位置信息采集、传输、分析处理、轨迹成图及存储功能,当网络状况良好时,采集的地理位置信息能够准确地调用的百度地图上进行标记和显示,并最终生成土壤数据检测点轨迹图。操作者在使用过程中,只需要 Windows 7 及以上系统的移动终端平台,即可方便地对检测数据和检测系统的工作情况进行查看,开发的检测系统软件运行稳定,人机交互界面友好,且操作简单。

参 考 文 献

- [1] LIANG J, ZHOU W, GAO S, et al. A simple slash-and-char system to mitigate climate change and environmental pollution [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242: 1904 - 1911.
- [2] LEI H, LI S, LI H. Existing agricultural ecosystem in China leads to environmental pollution: an econometric approach [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(24): 24488 - 24499.
- [3] 孙文广,刘昊选. 农作物施肥存在的问题及改进对策 [J]. *河南农业*, 2018(8): 24 - 25.
- [4] 汪懋华. 精细农业 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2011.
- [5] 汪懋华. 精细农业理论与实践 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2012.
- [6] 何勇. 精细农业 [M]. 杭州:浙江大学出版社, 2010.
- [7] ZHANG N, WANG M, WANG N. Precision agriculture—a worldwide overview [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002, 36(2-3): 113 - 132.
- [8] ZHOU P, ZHANG Y, YANG W, et al. Development and performance test of an in-situ soil total nitrogen-soil moisture detector based on near-infrared spectroscopy [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 160: 51 - 58.
- [9] 张瑶,李民赞,郑立华,等. 基于近红外光谱分析的土壤分层氮素含量预测 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 121 - 126. ZHANG Yao, LI Minzan, ZHENG Lihua, et al. Prediction of soil total nitrogen content in different layers based on near infrared spectral analysis [J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(9): 121 - 126. (in Chinese)
- [10] ZHANG Y, LI M, ZHENG L, et al. Soil nitrogen content forecasting based on real-time NIR spectroscopy [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2016, 124: 29 - 36.
- [11] ZHANG Y, LI M, ZHENG L, et al. Spectral features extraction for estimation of soil total nitrogen content based on modified ant colony optimization algorithm [J]. *Geoderma*, 2019, 333: 23 - 34.
- [12] AN X, LI M, ZHENG L, et al. A portable soil nitrogen detector based on NIRS [J]. *Precision Agriculture*, 2014, 15(1): 3 - 16.
- [13] 安晓飞,李民赞,郑立华,等. 便携式土壤全氮测定仪性能研究 [J]. *农业机械学报*, 2012, 43(增刊): 283 - 288. AN Xiaofei, LI Minzan, ZHENG Lihua, et al. Performance of portable soil TN detector based on NIR spectroscopy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(Supp.): 283 - 288. (in Chinese)
- [14] AN X, LI M, ZHENG L, et al. Eliminating the interference of soil moisture and particle size on predicting soil total nitrogen content using a NIRS-based portable detector [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 112: 47 - 53.
- [15] KODAIRA M, SHIBUSAWA S. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping [J]. *Geoderma*, 2013, 199: 64 - 79.
- [16] ZHOU P, YANG W, LI M, et al. Performance analysis of vehicle-mounted soil total nitrogen detector at different vehicle speeds [J]. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, 51(17): 51 - 56.
- [17] 魏爽,季宇寒,曹如月,等. 农机自动导航控制决策方法与软件系统 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(增刊): 30 - 34. WEI Shuang, JI Yuhuan, CAO Ruyue, et al. Decision control method and software of automatic navigation system for agricultural machinery [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(Supp.): 30 - 34. (in Chinese)
- [18] 郝子源,张旭,杨玮,等. 基于 Android 平台的土壤采样信息自动记录系统 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(增刊): 315 - 320. HAO Ziyuan, ZHANG Xu, YANG Wei, et al. Wireless soil sampling and recording system based on Android [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(Supp.): 315 - 320. (in Chinese)
- [19] 陈玉青,杨玮,李民赞,等. 基于 Android 手机平台的冬小麦叶面积指数快速测量系统 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(增刊): 123 - 128.

- CHEN Yuqing, YANG Wei, LI Minzan, et al. Measurement system of winter wheat LAI based on Android mobile platform[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.): 123 – 128. (in Chinese)
- [20] 朱国艺, 周玉珍. HTML5 中地理位置定位技术的应用与探究[J]. 电子技术与软件工程, 2017(3): 26 – 27.
- [21] 刘威. 基于 HTML5 的旅游移动导览系统的研究与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
LIU Wei. Research and implementation of mobile navigation system based on HTML5 [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [22] 陈达. 基于 HTML5 的跨平台技术在公交服务系统中的应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
CHEN Da. Research about cross-platform technology in real-time public transit application based on HTML5 [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015. (in Chinese)
- [23] 鲁立, 刘桢. 基于 HTML5 地理定位技术的移动终端导航设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20(22): 120 – 122.
LU Li, LIU Zhen. Design of the mobile terminal navigation based on HTML5 geolocation technology[J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(22): 120 – 122. (in Chinese)
- [24] 周阳, 周美娇, 黄波, 等. 基于 C# 的串口通信系统的研究与设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(7): 135 – 140.
ZHOU Yang, ZHOU Meijiao, HUANG Bo, et al. The research and design of serial communication system based on C#[J]. Electronic Measurement Technology, 2015, 38(7): 135 – 140. (in Chinese)
- [25] 王欣, 黎峰. 新型的面向对象的编程语言-C#[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(6): 929 – 931.
WANG Xin, LI Feng. New type of object oriented programming language – C#[J]. Computer Engineering and Design, 2004, 25(6): 929 – 931. (in Chinese)
- [26] 张越男. 试析 C# 编程语言的特点及功能[J]. 软件, 2013, 34(3): 145 – 146.
ZHANG Yuenan. Analysis of the C# programming language features and functions[J]. Software, 2013, 34(3): 145 – 146. (in Chinese)
- [27] 刘秋香, 张永胜. Visual C# 下利用 ADO.NET 访问 SQL Server 技术[J]. 计算机系统应用, 2004(11): 66 – 69.
- [28] 李晓鹿. 基于 C# 的上位机监控组态软件的设计与开发[D]. 济南: 济南大学, 2010.
LI Xiaolu. Design of host computer monitoring configuration software based on C# [D]. Ji'nan: University of Jinan, 2010. (in Chinese)

(上接第 199 页)

- [9] 姚琳, 王志伟. ICP – AES 同时测定水中的痕量钼、钴、硼、锑、钒和钛[J]. 光谱实验室, 2009, 26(3): 605 – 608.
YAO Lin, WANG Zhiwei. Determination of trace Mo, Co, B, Sb, V and Ti in water by ICP – AES[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2009, 26(3): 605 – 608. (in Chinese)
- [10] 徐茂军. 双硫脲水相直接光度法测定食品中铅[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(1): 52 – 55.
XU Maojun. Determination of lead in food by direct spectrophotometry with dithizone aqueous phase[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 36(1): 52 – 55. (in Chinese)
- [11] 王凯, 闵红, 刘曙, 等. 全反射 X 射线荧光光谱法测定水中痕量砷[J]. 检验检疫学刊, 2013, 23(2): 20 – 22, 11.
WANG Kai, MIN Hong, LIU Shu, et al. Determination of trace arsenic in water by total reflection X-ray fluorescence spectrometry[J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2013, 23(2): 20 – 22, 11. (in Chinese)
- [12] 苏帅鹏, 徐斐, 曹慧, 等. 重金属快速检测方法的研究进展[J]. 应用化学, 2013, 42(2): 355 – 359.
SU Shuaipeng, XU Fei, CAO Hui, et al. Perspective in the rapid methods for the detection of heavy metals[J]. Applied Chemical Industry, 2013, 42(2): 355 – 359. (in Chinese)
- [13] LI Chuanguang, LU Zhenda, ZHANG Qiao, et al. Confined growth of CdSe quantum dots in colloidal mesoporous silica for multifunctional nanostructures[J]. Science China Materials, 2015, 58(6): 481 – 489.
- [14] SHYUAN L K, HENG LY, AHMAD M, et al. Abstract: evaluation of pesticide and heavy metal toxicity using immobilized enzyme alkaline phosphatase with an electrochemical biosensor [J]. Asian Journal Biochemistry, 2008, 3(6): 359 – 365.
- [15] OUENDADJI S, GHEMID S, MERADJI H, et al. Theoretical study of structural, electronic, and thermal properties of CdS, CdSe and CdTe compounds[J]. Computational Materials Science, 2011, 50(4): 1460 – 1466.
- [16] LEE J H, CHOY D, LEEI G, et al. Characterization of defects in III – V semiconductor materials (InP, GaAs and InGaAs/InP on Si) in nano-sized patterns by transmission electron microscopy[J]. Microsc. Microanal., 2016, 22(3): 1540 – 1541.
- [17] 贺建同, 傅政. 基于高荧光碳量子点的汞离子荧光探针构建[J]. 实验与检验医学, 2018, 36(3): 300 – 304.
HE Jiantong, FU Zheng. Construction the mercury ion fluorescent probe based on highly luminescent carbon quantum dots[J]. Experimental and Laboratory Medicine, 2018, 36(3): 300 – 304. (in Chinese)
- [18] GHICA M E, BRETT C M A. Glucose oxidase inhibition in poly(neutral red) mediated enzyme biosensors for heavy metal determination[J]. Microchim Acta, 2008, 163(3 – 4): 185 – 193.
- [19] SUSH A S, JAVIER A M, PARAK W J, et al. Luminescent CdTe nanocrystals as ion probes and pH sensors in aqueous solutions[J]. Colloids and Surfaces A, 2006, 281(1 – 3): 40 – 43.
- [20] CAI Z X, YANG H, ZHANG Y. Preparation, characterization and evaluation of water-soluble l-cysteine-capped-CdS nanoparticles as fluorescence probe for detection of Hg(II) in aqueous solution[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 559(2): 234 – 239.
- [21] LI H B, ZHANG Y, WANG X Q. Calixarene capped quantum dots as luminescent probes for Hg²⁺ ions[J]. Mater. Lett., 2007, 61(7): 1474 – 1477.