

# 我国土壤多参数快速检测方法和技术研发进展与展望<sup>①</sup>

周 怡<sup>1,2</sup>, 纪荣平<sup>1</sup>, 胡文友<sup>2\*</sup>, 黄 标<sup>2</sup>, 涂勇辉<sup>3</sup>, 姜 军<sup>3</sup>, 马 力<sup>3</sup>

(1 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 3 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘 要:** 快速、准确获取土壤多种属性信息是土壤质量快速检测与评估以及现代精准农业发展的必然需求。本文系统阐述了我国在土壤水分、盐分、养分、pH、温度等多参数快速检测方法、技术与设备等方面的研发进展, 比较了不同快速检测方法和技术的优缺点, 分析了土壤多参数检测技术及设备的研发现状、专利申请情况以及国家重大科研仪器项目的资助情况。未来应加强土壤快速检测设备的核心软硬件系统开发与集成技术研究, 实现土壤检测的多参数快速智能化, 同时应进一步加大土壤快速检测方法和技术的科技投入与联合攻关研究, 以满足我国土壤多参数快速检测及土壤质量快速调查与评估的实际需要。

**关键词:** 土壤; 快速检测; 专利分析; 研究进展; 发展趋势

中图分类号: S151.9+5 文献标识码: A

土壤是人类赖以生存和可持续发展的基础, 快速、准确获取土壤环境质量信息是土壤资源调查与评价等工作的重要前提与基础。土壤参数的常规实验室检测方法具有前处理复杂、分析周期长、测试费用高等缺点。寻找便捷、安全、可靠的快速分析方法, 及时准确获取土壤多种属性信息及其质量状况尤为重要。2016 年国家《土壤污染防治行动计划》出台, 提出“建立十年一次的土壤环境质量状况定期调查制度, 2020 年底前, 实现土壤环境质量监测点位所有县(市、区)全覆盖”<sup>[1]</sup>。可见, 未来对土壤环境质量的监测将成为环境监测工作的常态, 迫切需要开展土壤多参数快速检测方法与技术方面的研究, 以实现多尺度土壤属性数据的快速获取与更新, 满足土壤快速监测科研与应用需求<sup>[2]</sup>。

我国目前土壤快速检测技术与国外相比还存在很大的差距, 多数土壤传感器及土壤检测设备均从国外引进<sup>[3]</sup>。在研制具有高精度低能耗的具有无线传输功能的土壤快速检测设备上还存在较大的困难。为了全面了解我国土壤多参数快速检测技术与设备方面的研发情况, 本文系统总结了我国目前在土壤水分、盐分、养分、pH、温度等多参数快速检测方法、技

术与设备等方面的研发进展, 比较了不同快速检测方法和技术的优缺点, 分析了土壤快速检测设备的研发现状、专利申请情况以及国家重大科研仪器项目的资助情况, 进而提出下一步研发建议与展望, 以期为我国土壤多参数快速检测方法和技术研发与发展提供科学依据和参考资料。

## 1 土壤多参数快速检测方法研究进展

### 1.1 水分检测

水分是构成土壤肥力的一个重要因素, 它不仅影响着土壤的物理性质, 还制约着土壤中养分的溶解和迁移, 是监控土壤干旱和退化的重要指标<sup>[4]</sup>。测定土壤水分的方法大致可分为三类: 取样法<sup>[4]</sup>、定位法<sup>[5]</sup>和遥感法<sup>[6]</sup>。不同的检测技术存在不同的局限性且有着相应的优缺点(表 1)。常用的土壤水分检测方法有烘干称重法、介电法、遥感法。烘干称重法指根据测定土样的质量变化来计算含水率, 主要用于标定检验, 该方法简单且测量精度高, 但在取样时会破坏土壤, 难以进行长期原位监测, 不能连续测定土壤水分。介电法克服了烘干法的弊端可以进行连续土壤水分监测, 目前常用的方法包括时域反射法(time domain

基金项目: 国家重点研发计划重大科学仪器专项项目(2017YFF0108201)、中国科学院南京土壤研究所“一三五”计划和领域前沿重点项目(ISSAASIP1629)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(Y20160005)资助。

\* 通讯作者(wyhu@issas.ac.cn)

作者简介: 周怡(1994—), 女, 江苏溧阳人, 硕士研究生, 主要从事区域土壤环境质量调查、快速检测与评估方面的研究。E-mail: zhouyi@issas.ac.cn

reflectometry, TDR)和频域反射法(frequency domain reflectometry, FDR)<sup>[7]</sup>。TDR 技术自从 1980 年 Topp 等人提出了土壤介电常数与土壤含水量之间的经验关系便开始广泛使用<sup>[8]</sup>。当温度在 10 ~ 36 °C、实际体积含水量 0 ~ 35% 变化时, TDR 测量值不受土壤质地、容重、温度等因素的影响, 测量速度快、精度高、不会干扰土壤<sup>[9]</sup>。FDR 是利用 LC(谐振)电路的振荡, 通过土壤中介电常数的变化引起的频率变化来测定土壤的水分含量, 该方法最早起源于荷兰瓦格宁根大学 Hilhorst 教授, 可以通过调节传感器的位置测

定不同深度土壤的含水量, 受外界影响小, 测得的结果准确<sup>[10]</sup>。传统的土壤水分检测方法还有遥感法。遥感法是一种非接触式、大面积、多时相的土壤水分监测方法, 能够反映大面积的地表信息, 适用于大范围监测<sup>[11-12]</sup>。目前遥感法主要集中在光学遥感和微波遥感领域<sup>[13]</sup>, 光学遥感法包括常见的热惯量法<sup>[14]</sup>、植物缺水指数法<sup>[15]</sup>、热红外法等<sup>[16]</sup>。光学遥感法目前研究应用较广, 但是易受到气象条件的影响。随着“3S”技术的不断发展, 微波遥感监测土壤水分具有很大的发展前景, 将是未来发展的重点方向。

表 1 土壤水分测定方法及优缺点  
Table 1 Methods for soil moisture detection and their merits and demerits

测定方法			优点	缺点
取样法 <sup>[4]</sup>	物理法	烘干法 比重法 称重法 离心机法	简单直观、测量结果准确	破坏土壤原样, 采样费时费力, 花费时间过长, 不能实现原位测定
	化学法	碳化钙法 浸入法 浓硫酸法		
定位测定法 <sup>[5]</sup>	非放射法	电阻法 电容法 微波法 时域反射法 频域反射法 驻波率法	技术成熟、精度高, 便于携带可以进行原位测量	受传感器影响较大, 依赖进口, 造价高
	放射法	γ 射线法 中子法	在原地不同深度周期性反复测定而不破坏土壤	表层测量困难, 辐射危害健康
遥感法 <sup>[6]</sup>	光学遥感法	热红外法 热惯量法 作物缺水指数法 距平植被指数法	实现对土壤参数快速测定和土壤参数与质量的动态监测	易受天气状况的干扰, 指数法计算较为复杂
	微波遥感	主动微波遥感法 被动微波遥感法	全天时、全天候, 具有较好穿透性, 适用范围广	受地表参数影响较大, 成本高

基于驻波率原理, 裴正军等<sup>[17]</sup>研制了基于 GPS (全球定位系统, global positioning system)定位的快速水分测量仪, 采用 SWR-2 型土壤水分传感器来测定土壤水分, 这样既能快速测定土壤水分含量又能实现精准定位, 实现了土壤水分测定的多功能化, 为实时在线监测提供了便利。冯磊<sup>[18]</sup>研制出了 TSC-1 便携式土壤水分测试仪, 该仪表可以快速检测土壤容积含水量, 设计了基于 RS-485 总线应用信息融合技术的智能土壤水分传感器, 降低了安装成本, 提高了土壤水分传感器的精度。由中国科学院南京土壤研究所研发的 TS-1 型土壤水分速测仪, 可以测定土壤、砂、水泥等多孔性物质的含水量, 测量一个土样大约只需

3 min, 与烘干法测出的精度相比小于 2%, 测量精度高、时间短, 大大节省了土壤水分的测定时间, 提高了野外土壤水分检测的工作效率。

## 1.2 盐分检测

土壤盐分是土壤盐渍化研究的重要指标, 也是制约农业生产的重要因素。对土壤盐分的测定通常是先对土壤中的电导率进行测定, 然后通过土壤电导率计算出土壤中盐分含量的多少<sup>[19]</sup>。这种方法测定过程繁琐, 费时费力, 且破坏了土壤原样。为了实现对土壤盐分快速、有效的测定, 目前主要应用的有基于原位监测的土壤溶液法和土壤表观电导率法<sup>[20]</sup>。在土壤溶液电导率测定中, 可采用土壤盐分传感器直接测

定土壤溶液电导率,盐分传感器适合长期连续监测土壤盐分,对一定深度的土壤溶液长期观测具有很高的精确性,但在使用过程中传感器需要重新校正,不适用于监测快速和短期的盐分变化,且在干燥土壤环境中无法使用<sup>[21]</sup>。土壤表观电导率是一种快速、高效、稳定的测定土壤盐分时空分布特性的方法,可采用电阻法(ER)、电磁感应仪法(EM)和时域反射法(TDR)确定土壤盐分,具有操作简单、响应速度快、获取数据能力强的特点,但是容易受到土壤含水量、质地等因素的影响<sup>[22]</sup>,至今仍缺乏普适性强的关系模型,所以测量精度上受到一定的限制<sup>[23]</sup>。电阻法测定的土体范围较大,可以抵消土体局部的差异性,但是测定过程中需要不断地将传感器深入土壤,因此不适合在干燥的土体中测定。电磁感应法恰好能弥补这种不足,但是测得的是不同土壤深度的加权值而非平均值,在后期计算过程中较为复杂<sup>[24]</sup>。电磁感应法适用于大面积土壤盐分的监测,近年来许多学者将电磁感应技术与遥感技术相结合来监测农业土壤<sup>[25-26]</sup>,受到广泛的应用。时域反射法(TDR)是通过分析电磁波在土壤中的衰减来测定电导率值,易受到土壤温度、质地等因素的影响,在使用前必须进行校正<sup>[27]</sup>。TDR因为其测定简便,不破坏原状土壤结构,能同时测定水分和电导率,近几年在土壤水分及盐分测定方面发展速度很快,相信在未来可以有更大的发展空间,能够进行不同尺度范围内土壤中水分、盐分的快速检测。

### 1.3 养分检测

土壤养分的快速检测对指导合理施肥具有重要意义,一直是精细农业信息获取的技术难题<sup>[28-29]</sup>。传统的土壤养分数据采集方法主要是通过田间取样-实验室常规分析手段进行获取,操作繁琐,分析效率低而且时效性很差。土壤养分的快速检测是一种相对于常规化学分析,采用光电比色原理,速度更快捷、成本更低廉、测试设备更简便,而测试精度能满足测土配方施肥要求的养分测试技术<sup>[30]</sup>。快速测量仪器设备一般由公司与农业研究应用机构合作开展相关研究共同开发,如美国 HACH 公司生产的 NPK-kit、德国 MERCK 公司生产的 RQflex 等,目前国内土壤养分快速检测的仪器有北京强盛分析仪器制造中心研发的 TFC 系列土壤养分速测仪、河南农大机电技术开发中心研制的 YN 型土壤肥料养分速测仪等<sup>[31]</sup>。近年来土壤养分分析中应用较多的是可见光-近红外反射光谱(visible and near infrared reflectance spectrometer, Vis-NIR),利用化学分子含氢官能团对特定谱带近红外光的特异性吸收而获得吸收光谱,利用化学

计量方法定性定量检测养分含量<sup>[32]</sup>。该方法土壤无需进行预处理,运行速度快,测试结果受人为干扰影响小。利用 Vis-NIR 技术,李民赞等<sup>[33]</sup>开发了一款便携式土壤有机质测定仪,该设计不仅降低了能耗,且精度能满足便携式仪器实时测量的要求。贾生尧<sup>[34]</sup>采用 Vis-NIR 技术,结合化学计量学方法,开发了一套便携式土壤养分快速分析系统,可以实现土壤养分信息的快速无损检测。由中国科学院南京土壤研究所研制的 SFM-1 型智能化基于电化学方法测试的土壤肥力测定仪,具有较宽的测量范围,并且不需要在每次测定前标定,可用于带色的或有悬浮质点的土壤溶液和环境水样测定,操作简便,可广泛应用于农业土壤及环境监测部门。

### 1.4 pH 检测

土壤 pH(酸碱度)是影响土壤环境质量的一个重要指标<sup>[35]</sup>,也是土壤肥力的重要影响因素之一,土壤的酸化将严重影响粮食安全和土地生产潜力的发挥<sup>[36]</sup>。在测定土壤 pH 方面,国际化标准组织于 2005 年发布了《土壤质量 pH 的测定》国际标准<sup>[37]</sup>。国内外目前采用的主要是电极法,采用 pH 计测定溶液中氢离子的活度<sup>[38]</sup>。除此之外,常用的方法还有混合指示剂比色法、pH 试纸法、可见光光谱提取法、传感器检测方法等。在测定 pH 前,应预先选好相应的检测方法,混合指示剂比色法和 pH 试纸法适用于较简单的测定溶液 pH,如对 pH 精度要求比较高则适合采用电极电位法和可见光光谱提取法。目前,土壤 pH 检测还受外界影响较大,测量精度高、受外界影响小的检测技术还亟待突破。胡永强等<sup>[39]</sup>为了改善传统 pH 检测技术手段落后、时效性差等特点,研究了一种基于 GPRS(通用分组无线服务技术, general packet radio service)的远程土壤 pH 快速检测系统,解决了传统设备功能单一的问题,精度高、灵活性强,满足土壤 pH 快速检测的需求;土壤 pH 在测定过程中受到土壤含水率和温度的影响,赵燕东等<sup>[40]</sup>设计了带有温度含水率补偿模型的铂电极土壤 pH 在线实时检测系统,在 pH 范围为 3.06 ~ 10.36 之间可实现有效测定。

### 1.5 温度检测

土壤温度对土壤养分的吸收和转运具有重要影响。在实验室中常用的测定温度的方法有非接触式温度传感器和接触式温度传感器法。非接触式温度传感器法主要指红外测温法,不需直接接触被测物体,使用方便,灵敏度高,但其测量精度差,易受干扰。接触式温度传感器法与被测对象有良好的接触,包括热

电阻、热电偶、集成温度传感器及数字温度传感器等,适用于中低温的测定,成本较低但不适用于极低和极高温度的测定。谢忠斌等人<sup>[41]</sup>针对传统土壤温度检测的局限性,采用美国 DALLAS 公司生产的单线数字温度传感器 DS18B2 进行温度采集,开发了土壤温度无线检测系统,可以对土壤温度进行实时监测,检测精度高,节点功耗低,克服了传统土壤温度检测的缺点。同样,为了解决传统土壤温度测定方法的不足,李增祥等<sup>[42]</sup>在测定土壤温度时将整个传感器节点埋入土层长期监测土壤温度,利用无线通信芯片以无线方式进行数据传输,有效地解决了传统测量方法中劳动强度和测量准确性不能兼顾的矛盾,并且具备运行速度快、传输距离远、精度高、抗干扰能力强等优点。

## 2 土壤多参数快速检测技术研发进展

### 2.1 土壤多参数快速检测技术研发现状

我国土壤多参数快速检测技术领域较多的主要

集中在测量、测试领域,占整个申请比例的 69%;其次是在农业、林业、畜牧业领域,占比 14%;在信号装置领域占比 6%;占比较少的为控制、调节,通信技术,计算、推算和发电、变电领域,表明目前土壤快速检测技术仍以测量为主,在农林业、信号装置和通信技术上还有很大的研发前景(表 2)。

表 2 土壤多参数快速检测技术领域分类及占比  
Table 2 Classification and percentages of rapid detection techniques of soil multi-parameters

技术领域	G01	A01	G08	G05	H04	G06	H02	其他
占比(%)	69	14	6	3	2	2	1	3

注:G01:测量、测试;A01:农业、林业、畜牧业;G08:信号装置;G05:控制、调节;H04:通信技术;G06:计算、推算;H02:发电、变电。

随着信息技术的快速发展,目前我国土壤快速检测技术和设备也开始向多元化和多功能化方向发展(表 3)。

表 3 土壤多参数快速检测技术及设备分类和特点

Table 3 Classification and characteristics of rapid detection techniques and equipment of soil multi-parameters

功能分类	技术特点
定位系统	基于北斗或 GPS 定位,对土壤地理位置进行实时定位,与其他多参数信息集中统一存储,建立信息集成化的采集系统
网络传输	基于传感网络的土壤检测,有效地反映出土壤的墒情、盐分及 pH 等,信息数据传输快速,安全性能高,检测数据精确,可以摆脱地域限制
实时监控	土壤检测设备可以显示土壤的温度和湿度,实时监测并且提供完整的监控数据变化过程,提高了土壤的利用率
可拆卸	解决现有的土壤检验装置不能拆卸、不能单独控制每个传感器工作的问题,设置了多个传感器信号输出端,可以连接数据采集仪的信号输入端来传输数据
原位检测结合及实验室验证	实现土壤多种参数的原位快速检测,结合少量土壤样品的传统实验室方法验证,提高土壤多参数的检测效率与精度
便携式	适用于随身携带,能够测出土壤的湿度、温度、pH 以及氮、钾、磷等肥力,能够帮助农民快速了解耕地的土壤状况,并根据土壤的实际情况选择种植合适的作物,以及所需要施肥的种类和灌溉的水量,同时可通过 WIFI 连接网络传输至网络平台进行数据共享
可移动土壤探针	土壤养分测定仪和 pH 计设计基于可移动的土壤检测探针上,通过设置采样时间和采样深度使得土壤养分值和土壤 pH 更加可控和精确,以实现对植物生长的土壤状况的更好掌握
全方位	能够全方位地对土壤进行检测分析,加强了土壤检测仪器的功能性
高精度度	土壤检测设备能够对土壤的温湿度及性质进行精确的检测,并且电路结构能够非常精准地实现各信号的传输。设备结构简单,实用性强,应用范围广
快速钻孔	结构简单,实现了快速钻孔取样,以及快速检测土壤参数,操作方便

### 2.2 国家重大科研仪器项目资助情况

近年来,国家自然科学基金委在重大科研仪器研发上的投入总体上呈现逐渐增长的趋势(图 1),到 2010 年以后,投入和支持的数量呈现快速增长趋势。另外,2016—2018 年间,科技部国家重点研发计划

资助的仪器研发项目数分别为 40, 50, 53 项,资助数量也呈现增加的趋势。上升曲线总体反映了我国科技事业的快速发展,国家对重大科研仪器设备的研发越来越重视。因此,我国土壤快速检测技术和设备的研发今后仍将处于快速发展时期,应在这个良好的发

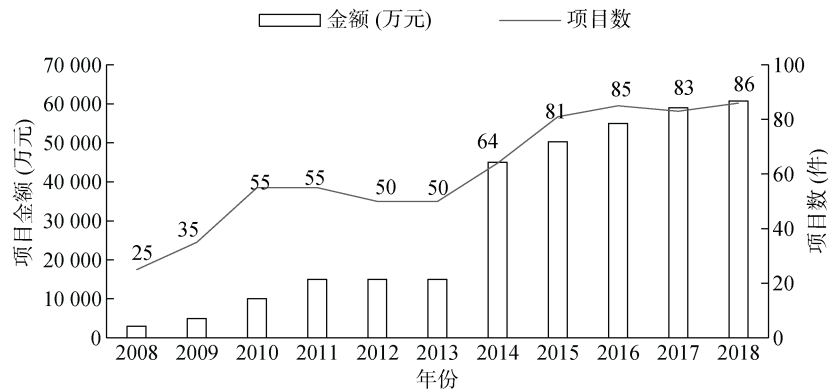


图 1 国家自然科学基金委重大科研仪器研制项目(自由申请)资助情况

Fig. 1 Changes of key scientific research instrument development projects supported by the National Natural Science Foundation of China (free application)

展前景下,抓住机遇、面对挑战,研发更多具有自主知识产权的、高精度、智能化的便携式土壤多参数快速检测设备。

### 3 土壤多参数快速检测设备研发进展

#### 3.1 土壤多参数快速检测设备研发现状

目前国内研发的土壤多参数快速检测设备已改变原先功能单一、集成度不高、成本昂贵的局面,一些新型复合土壤检测设备朝着多元化的方向进展。对土壤温度、水分、盐分以及 pH 的多参数检测上,程坤等<sup>[43]</sup>设计的基于 STM32 的便携式土壤多参数快速检测设备,可以实现在线检测并且测试数据会实时显示在手机端 APP 上;对土壤水分、电导率(EC)和温度的同时测定,一种基于 SDI-12 总线的土壤多参数检测仪可以实现,该设备结合 5TE 三合一土壤传感器,可在实验室同步测定和传输,且测量参数精度较高,速率较快,集成度高,满足了对土壤快速检测的要求<sup>[44]</sup>;在保持单个参数精度不变的情况下可以同时测定土壤水分、温度和电导率的土壤多复合传感器,在精准农业的智能检测中能将数据进行远程监控,保持数据快速、稳定<sup>[45]</sup>。在仪器的数据通信方式上,基于 GPS 和 SMS (short messaging service)无线传输技术的土壤养分、水分速测系统可以利用计算机技术和无线通讯技术实现土壤养分速测、管理决策系统的远程数据通讯和资源共享。通过集成 GIS,实现了具有空间属性的土壤养分、水分数据的可视化管理,提供了高精度的空间位置属性,实现了数据采集、定位和储存一体化<sup>[46]</sup>。

#### 3.2 土壤多参数快速检测设备专利申请情况

从我国土壤多参数快速检测设备研发的发展年代变化趋势可以发现(图 2),从 2009 年开始,土壤多参数快速检测设备专利申请量呈现缓慢增长的趋势,

说明该领域开始进入初步成长期,从 2014 年起专利数量呈现高速增长趋势,到 2017 年土壤多参数快速检测专利的数量已经达到 190 项,表明该领域已进入快速发展期。由于专利申请到公开之间有较长时间的延迟,2018 年申请的专利数量还未全部公开,截至 2018 年上半年的数据检索到的数量为 98 件,说明研发热情仍很积极,该领域今后仍有较大的发展空间。

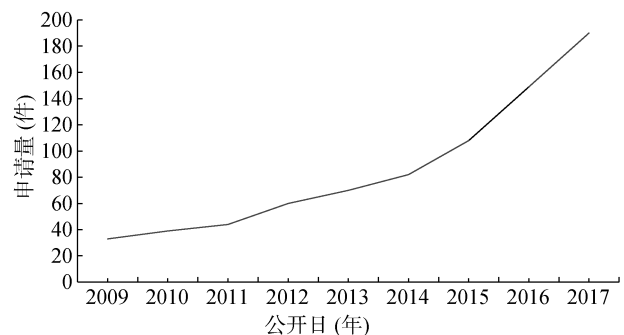


图 2 土壤快速检测设备专利数量变化趋势(数据来源:国家知识产权局专利数据库)

Fig. 2 Changes of patents for soil rapid detection equipment

在土壤多参数快速检测设备的专利中,土壤水分、养分和 pH 专利是发表最多、也最为成熟的。从土壤多参数快速检测技术发表的专利数量来看(图 3),土壤水分检测技术的数量最多、研发热度也最高,从 2009 年起,测定土壤水分的专利呈波浪式上升;其次是土壤养分检测技术,相比于水分测定,土壤养分初期发展较慢,但从 2012 年起发表的专利数量开始逐渐增多,在未来该领域有较大的发展前景。土壤 pH 和温度检测技术相比水分和养分起步较晚,从 2015 年起逐渐进入增长期。土壤盐分检测技术在国家知识产权局专利检索到的数量较少,表明未来在土壤盐分检测设备上需要投入更多的经费和精力,攻克盐分传感器研发的技术难题,解决和弥补目前土壤盐

分快速检测方面的难点和不足。

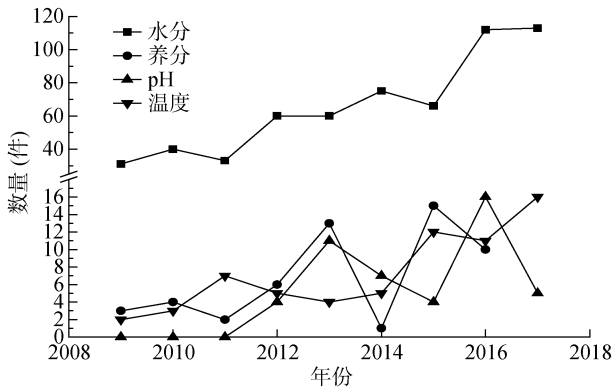


图 3 不同参数土壤快速检测设备专利数量变化趋势(数据来源: 国家知识产权局专利数据库)  
 Fig. 3 Changes of patents of soil rapid detection equipment for different parameters

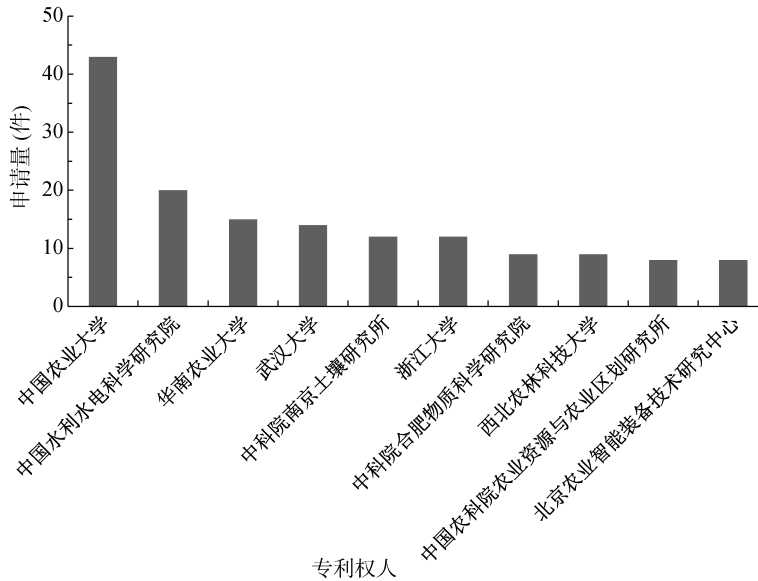


图 4 土壤快速检测设备专利权人申请量分布图(数据来源: 国家知识产权局专利数据库)  
 Fig. 4 Application numbers and distribution of patentees for soil rapid detection equipment

在国家知识产权局专利检索及分析高级检索上检索相关土壤多参数快速检测的专利,将搜索到的文献加入文献分析库统计出土壤快速检测设备专利权人申请量分布图(图 4)。从土壤多参数快速检测专利发明排名较前的专利权人来看,中国农业大学发明的专利数量最多,排名第一,说明中国农业大学在土壤多参数快速检测领域具有较强的研发实力和技术领先优势,紧随其后的有中国水利水电科学研究院、华南农业大学、武汉大学和中国科学院南京土壤研究所,发明专利的数量不相上下,但与中国农业大学相比仍有较大的差距。研发数量排名前十的机构中没有企业单位,表明我国土壤多参数快速检测技术和设备研发的主要力量还是高校和科研院所。高校和科研院所虽然具有较强的专业技能,但目前还停留在基础研发阶段,真正实现研发的产业化将来还需要企业共同参与。

#### 4 土壤多参数快速检测方法和技术研发展望

##### 4.1 加强土壤多参数快速检测技术的核心硬件开发与集成技术研究

当前土壤质量和污染物监测主要依赖常规实验室检测技术,而现有的现场快速检测设备在检测灵敏度、精密度和准确度方面无法满足对土壤多参数原位或现场快速检测的需求,而且核心部件主要依赖进口。因此,急需研发和推广具有完全自主知识产权的高精度、集成化、智能化的土壤多参数快速检测技术,加强核心硬件开发和集成技术的研究,研制土壤多参数原位或现场快速检测设备,大力发展土壤多参数同时测定的高效方法<sup>[47]</sup>,并进行系统集成、工程化开

发、应用示范和产业化推广,为及时掌握环境质量状况提供坚实的技术和装备支撑,同时弥补我国土壤高精度多参数快速检测技术和装备的空白。

##### 4.2 加强土壤多参数快速检测设备的软件系统开发,实现土壤检测的智能化

随着自动控制、通信和网络技术的不断发展,迫切需要将遥感与无线通信及 GPRS 技术应用于土壤多参数快速检测设备方面<sup>[48]</sup>。当前的土壤检测系统是以计算机、单片机等为中心控制单元,综合使用电子技术、自动控制技术以及软件编程技术等,利用软件实现硬件设备的功能,朝着网络化、智能化方向发展。在物联网技术的发展和国家智慧农业政策的扶持下<sup>[49]</sup>,加强开发专业软件系统,通过软件来实现管

理程序、采集处理程序和数据通讯程序,建立基于物联网技术的大数据共享平台,搭建专家系统体系,及时显示获得的土壤多参数数据以方便实时掌握动态信息,实现土壤检测的智能化和信息化。

#### 4.3 加大土壤多参数快速检测方法和技术的科技投入与联合攻关研究

目前我国土壤多参数快速检测的关键技术依然存在瓶颈,相关核心技术、部件或设备主要还是依赖进口,有必要进一步加大研发力度,如土壤传感器的研发、土壤多参数高精度快速检测设备的集成与研制等。近年来我国虽然已经在不断加大土壤快速检测技术和设备方面的经费投入,但研发的主体目前还是以高校和科研院所为主,在项目主持和专利数量方面,企业所占比例还较小,产学研合作力度较小<sup>[50]</sup>。因此需要进一步加大土壤快速检测方法和技术的科技投入,加强企业与高校、科研院所的合作,产学研用联合攻关及合作研发模式。同时,地方政府和相关企业也应加大土壤快速检测方法和技术方面的科技投入和人才培养,通过联合攻关、技术集成、模式优化,共同推动土壤多参数快速检测设备的研发和产业化。

#### 参考文献：

- [1] 沈仁芳,王超,孙波.“藏粮于地、藏粮于技”战略实施中的土壤科学与技术问题[J].中国科学院院刊,2018,33(2):135-144
- [2] 张桃林,王兴祥.推进土壤污染防治与修复后植农业高质量发展根基[J].土壤学报,2019,56(2):251-258
- [3] 史舟,郭燕,金希,等.土壤近地传感器研究进展[J].土壤学报,2011,48(6):1274-1281
- [4] 邓英春,许永辉.土壤水分测量方法研究综述[J].水文,2007,27(4):21-23
- [5] 杨柳,徐榕,雷廷武,等.近红外反射土壤含水率测量仪设计[J].农业工程学报,2015,20(31):1-2
- [6] 李震,Wang N,洪添胜,等.农田土壤含水率监测的无线传感器网络系统设计[J].农业工程学报,2010,26(2):212-217
- [7] Hummel J W, Sudduth K A, Hollinger S E. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2001(32): 149-165
- [8] Quinones H, Ruelle P, Nemeth I. Comparison of three calibration procedures for TDR soil moisture sensors[J]. Irrigation & Drainage, 2003, 52: 203-217
- [9] 李旺霞,陈彦云.土壤水分及其测量方法的研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(10):335-339
- [10] 孙蕾,王磊,蔡冰,等.土壤水分测定方法简介[J].中国西部科技,2014(11):54-55
- [11] 张学礼,胡振琪,初士立.土壤含水量测定方法研究进展[J].土壤通报,2005,1(36):118-123
- [12] 汪潇,张增祥,赵晓丽,等.遥感监测土壤水分研究综述[J].土壤学报,2007,44(1):157-158
- [13] Khanal S, Fulton J, Shearer S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 139: 22-32
- [14] Pratt A, Ellyett C D. The thermal inertia approach to mapping of soil moisture and geology[J]. Remote Sensing of Environment, 1979, 8(2): 151-168
- [15] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J. Canopy temperature as a crop water stress indicator[J]. Water Resources Research, 1981, 17(1): 133-138
- [16] Antonucci F, Pallottino F, Costa C, et al. Development of a rapid soil water content detection technique using active infrared thermal methods for in-field applications[J]. Sensors, 2011, 11(11): 10114-10128
- [17] 裘正军,何勇,葛晓峰.基于GPS定位的土壤水分快速测量仪的研制[J].浙江大学学报,2003(29):135-136
- [18] 冯磊.基于驻波率原理的土壤水分测量技术的研究[D].北京:中国农业大学,2005
- [19] 李晓佳.大青山南北坡不同海拔高度表土理化性质研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2008
- [20] Rhoades J D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity[J]. Advances in Agronomy, 1993, 49: 201-251
- [21] 尤文瑞,肖振华,孟繁华,等.土壤盐分传感器的研制[J].土壤,1982,14(3):105-112
- [22] Friedman S P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 46: 45-70
- [23] 刘梅先,杨劲松.土壤盐分的原位测定方法[J].土壤,2011,43(5):689-670
- [24] 黄亮亮,张慧琴,劳丽燕,等.电导率在土壤盐分检测中的研究进展[J].低温建筑技术,2018,40(11):77-79
- [25] 吴亚坤,杨劲松,刘广明.基于遥感与电磁感应仪数据的土壤盐分空间变异性[J].农业工程学报,2009,25(7):148-152
- [26] Yao R J, Yang J S. Quantitative evaluation of soil salinity and its spatial distribution using electromagnetic induction method[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(12): 1961-1970
- [27] 杨胜利,刘洪禄,吴文勇,等.时域反射仪(TDR)的应用现状与发展趋势[J].水资源与水工程学报,2009,20(6):52-53
- [28] 张小超,王一鸣,方宪法,等.精准农业的信息获取技术[J].农业机械学报,2002,33(6):125-128
- [29] 何东健,杨成海,杨青,等.面向精准农业的农田土壤成分实时测定研究进展[J].农业工程学报,2012,28(7):78-85
- [30] 梁宏玲,袁辉.土壤养分速测仪与常规方法测定土壤养分含量的比较研究[J].安徽农业科学,2013,41(35):13544-13545
- [31] 杜森,江荣风,黄青青,等.便携式土壤养分速测技术研究与应用[J].现代农业科技,2010(17):286-287

- [32] 李明真. 快速土壤养分测定方法综述[J]. 农业开发与装备, 2018(6): 41-42
- [33] 李民赞, 潘雯, 郑立华, 等. 基于近红外漫反射测量的便携式土壤有机质测定仪的开发[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(4): 1146-1148
- [34] 贾生尧. 基于光谱分析技术的土壤养分检测方法 with 仪器研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015
- [35] 刁硕, 王红旗, 邱晨. 土壤酸碱度测定方法的差异研究与探讨[J]. 环境工程, 2015, 33(增刊): 1015-1016
- [36] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244
- [37] 国际标准化组织. 土壤质量——pH 值的测定(ISO 10390—2005)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
- [38] 李强, 文唤成, 胡彩荣. 土壤 pH 值的测定国际国内方法差异研究[J]. 土壤, 2007, 39(3): 488-491
- [39] 胡勇强, 姜晟, 叶云, 等. 基于 GPRS 的远程土壤 pH 值快速检测系统设计[J]. 广东农业科学, 2014(20): 178-179
- [40] 赵燕东, 梁超, 杜升. 基于含水率与温度补偿的土壤 pH 值在线实时检测系统设计[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 159-167
- [41] 谢忠兵, 武佩, 韩国栋, 等. 基于 ZigBee 技术的土壤温度无线检测系统研究[J]. 农机化研究, 2013(2): 189-190
- [42] 李增祥, 李田泽, 巨童升. 基于 MSP430 的土壤温度检测系统[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(9): 2241-2242
- [43] 程坤, 高铭萱, 朱勇, 等. 基于 STM32 的便携式土壤综合参数检测仪设计[J]. 信息系统工程, 2017(4): 150-151
- [44] 徐一清, 周益民. 基于 SDI-12 总线的土壤多参数检测仪设计与实现[J]. 科技创新与应用, 2018(12): 101-103
- [45] 李宁. 土壤多参数复合传感器的研究与系统开发[D]. 北京: 北京林业大学, 2016
- [46] 李志伟, 潘剑君, 张佳宝. 基于 GPS 和 SMS 技术的土壤养分水分速测系统的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 165-169
- [47] 胡冠久, 陈素兰, 王光. 中国土壤环境监测方法现状、问题及建议[J]. 中国环境监测, 2018, 34(2): 10-19
- [48] 孙小春. 基于 GPRS 技术的土壤信息采集关键技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010
- [49] 马力, 王辉, 杨林章, 等. 基于物联网技术的土壤温度水分远程实时监测系统的构建和运行[J]. 土壤, 2014, 46(3): 526-533
- [50] 林志坚, 赵蕴华, 谏凯, 等. 土壤信息采集和分析技术专利情报研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 200-205

## Advancement and Prospect in Methods and Techniques for Soil Multi-parameter Rapid Detection of China

ZHOU Yi<sup>1,2</sup>, JI Rongping<sup>1</sup>, HU Wenyong<sup>2\*</sup>, HUANG Biao<sup>2</sup>, TU Yonghui<sup>3</sup>, JIANG Jun<sup>3</sup>, Ma Li<sup>3</sup>

(1 College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3 State Key Laboratory of Soil & Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Rapid and accurate detection of soil multi-parameters is an inevitable requirement for soil quality assessment and the development of modern precision agriculture. This paper systematically elaborated the research progresses and prospects of methods, techniques and equipment of rapid detection of soil multi-parameters in China, such as soil moisture, salinity, nutrients, pH and temperature. The merits and demerits of different rapid detection methods and techniques were also compared in this paper. In addition, the current situation of soil rapid detection techniques and equipment, the thesis analyzes, the related patent application and the funding project supported by the National Key Research and Development Program were also analyzed. In the future studies, the development of the core hardware and software techniques and integrated systems for the soil multi-parameter rapid detection equipment should be strengthened to accomplished rapidness and intellectualization of soil multi-parameters detection. Furthermore, the investment of science and technology and joint efforts on the methods and techniques for soil multi-parameter rapid detection should also be increased to meet the actual demand of soil multi-parameter rapid detection of China.

**Key words:** Soil; Rapid detection; Patent analysis; Research progress; Development trend