



现代农业高新技术成果丛书

现代精细农业理论与实践

Study and Practice on Modern Precision Agriculture

汪懋华 李民赞 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

现代精细农业理论与实践

Study and Practice on Modern Precision Agriculture

汪懋华 李民赞 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书共分为两篇,第一篇为“农田信息获取及先进传感技术”,第二篇为“变量作业机械及智能农机装备”。在第一篇中,土壤信息获取技术包含了近红外光谱法、电特性方法、选择性电极法等最新的研究进展,作物生长检测涵盖了从近地遥感到卫星遥感、从多光谱成像技术到高光谱成像技术、从细胞检测到冠层检测、从营养监测到病虫害监测预警等多个研究领域,从不同侧面展示了作物生长检测的最新成果。第一篇中还包含了目前广受关注的无线传感器网络技术和物联网技术以及食品追溯和安全技术。第二篇以农用车辆自动驾驶技术、农业机器人、精细喷药技术与装备、激光控制平地技术与装备为主,代表了我国在本领域的最前沿研究成果。本书的内容不仅对目前从事精细农业关键技术与系统集成相关研究的教学和科研工作者具有重要的参考价值,对于了解本领域研究的动向和发展趋势也大有裨益。

图书在版编目(CIP)数据

现代精细农业理论与实践 / 汪懋华,李民赞主编. —北京:中国农业大学出版社,2012.10
ISBN 978-7-5655-0572-0

I. ①现… II. ①汪… ②李… III. ①现代农业-精细农业 IV. ①F303.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 166844 号

书 名 现代精细农业理论与实践

作 者 汪懋华 李民赞 主编

责任编辑 张苏明

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 37 印张 910 千字

定 价 198.00 元

责任校对 陈 莹 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

编写人员

主 编 汪懋华 李民赞

副主编 刘 刚 张 漫 孙 红

编写人员

前 言	汪懋华	李民赞					
第1章	郑立华	张 森	李民赞	汪懋华			
第2章	孙 红	李民赞	郑立华	杨 玮			
第3章	李民赞	王忠义	黄 岚	杨 玮			
第4章	王鹏新	韩 萍					
第5章	孙 红	李民赞	刘 刚				
第6章	李民赞	王忠义	张小栓	张 漫	汪懋华		
第7章	张 漫	刘 刚	高红菊	郑立华	李民赞	汪懋华	
第8章	张 漫	刘 刚	籍 颖	汪懋华			
第9章	刘 刚	李 莉	张铁中	徐丽明	司永胜	杨 丽	
第10章	何雄奎						
第11章	刘 刚	司永胜	汪懋华				

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣做出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前言

精细农业(Precision Agriculture 或 Precision Farming)技术体系的早期研究与实践始于 20 世纪 80 年代,当时发达国家从事作物栽培、土壤肥力、作物病虫草害防治的农学家在进行作物生长模拟模型、栽培管理、测土配方施肥和植保专家系统的应用研究与实践中,发现农田内小区作物产量和生长环境条件存在明显的时空差异性。无视这种时空差异,采用传统的农业资源(肥料、灌溉、田间管理)均一化投入模式,既造成资源的巨大浪费,又对环境造成严重的破坏,使得农业综合效益大幅度降低。从而提出了对作物栽培管理实施定位、按需变量投入或称“处方农作”(site-specific crop management)的新一代农业生产与经营管理理念。随着现代科学技术的进步,以 3S 技术(即 GPS——全球卫星定位技术、GIS——地理信息系统和 RS——遥感技术)为支撑,到 20 世纪 90 年代,“处方农作”逐渐发展成为基于信息和知识的现代农业生产与经营管理技术体系,即精细农业。精细农业已成为合理利用农业资源、提高农业作物产量和品质、降低生产成本、改善生态环境的一种重要的现代农业生产形式。

精细农业技术体系是农学、农业工程、电子与信息科技等多种学科知识的集成,其应用研究与发展涉及直接面向农业生产者应用服务的电子信息高新技术,农田信息快速采集与可视化表达技术,农田耕作、土肥管理、农药利用、污染控制等适用技术和农业工程装备及其产业化技术。精细农业按照田间每一操作单元的具体条件,精细准确地调整各项土壤和作物管理措施,最大限度地优化使用各项农业投入,以获取最高的产量和效益,同时保护农业生态环境,保护土地等农业自然资源。

我国农业工程领域的一批领航科学家,通过国际交流与合作,敏锐地捕捉到这一现代农业前沿技术。从 20 世纪 90 年代后期开始将精细农业技术体系介绍、引进到我国,同时开始了我国的精细农业研究与实践。1998 年中国农业大学在国内率先成立了精细农业的专门研究机构“中国农业大学精细农业研究中心”,随后在全国一大批高等院校和研究机构也相继成立了精细农业(精准农业)研究团队。1999 年,国家发展计划委员会批准在北京市实施我国第一个政府支持的“北京精准农业示范工程”项目,依托该项目的科研成果“精准农业关键技术研究示范”分别获得了 2006 年度北京市科学技术奖一等奖和 2007 年度国家科学技术进步奖二等奖。2002 年教育部批准建设“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室,成为第一个专门从事精细农业关键技术和系统集成研究的部级科研基地。

我国科技主管部门适应现代农业和信息技术的发展趋势,及时在国家科技规划中给予农业信息化以及数字农业、精细农业等相关研究以重要位置。“农业精准作业与信息化”在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中,被确定为农业科技发展的优先主题,从国家科技政策方面确保了我国精细农业的未来发展。“十五”规划以来,国家863计划、973计划、科技支撑计划、自然科学基金等一系列国家科技计划以及部门、地方科技计划对精细农业的相关研究给予了大力支持,特别是“十一五”期间实施的国家863计划“精准农业技术与装备”重大专项和“数字农业技术”专题,国家科技支撑计划“现代农村信息化关键技术研究”与示范、“TD-SCDMA农村信息化应用方案开发及示范验证”、“高效施肥关键技术研究”与示范”等重大项目以及“村镇数字化关键技术研究与应用”等重点项目,催生了一大批拥有自主知识产权的精细农业相关研究成果,有的已获得或正在申请国家科技奖励。“十二五”期间国家继续在国家科技计划中给予精细农业相关研究高度重视,国家自然科学基金委员会启动了与精细农业研究相关的信息获取系列重点项目,2011年度和2012年度已经连续支持两届,还将继续支持。“十二五”863计划重大项目“农业物联网和食品质量安全控制体系研究”、“农业精准作业技术与装备”、“智能化农机技术与装备”以及科技支撑计划项目“田间作业智能控制关键技术与装备研发”、“农田作业机器人关键技术与装备研发”等已经立项启动,还有一些精细农业项目正在立项或启动准备阶段。“十二五”期间的精细农业相关研究计划项目以物联网技术和智能农业装备技术为特点,其研究成果将会把精细农业技术以及农业信息化提高到一个新的水平。

“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室暨中国农业大学精细农业研究中心于“十一五”期间,在国家863计划、973计划、科技支撑计划、自然科学基金等一系列国家科技计划以及部门、地方科技计划支持下,围绕精细农业关键技术及其系统集成,多角度、多领域开展了深入研究,获得了丰硕的研究成果,研究方向包括农业生物-环境信息获取与无线传感器网络技术研究、农田土壤信息快速采集关键技术与产品研发、基于近红外光谱的土壤参数分析机理与方法研究、冬小麦和水稻作物氮素营养和水分胁迫信息的自动获取与先进传感技术研究、多平台作物信息快速获取关键技术与产品研发、基于光谱学原理的温室番茄长势监测诊断机理与方法研究、作物水分胁迫信息的遥感定量反演与同化技术研究、植株营养诊断与养分调控技术研究、农田作业机械智能导航控制技术与产品开发、农业机械智能导航系统多传感器信息融合模式与方法研究、水果采摘机器人关键技术研究、激光控制平地关键技术研究、小麦收获机械智能测产系统的研究开发、移动式农业信息智能服务系统开发、基于快速无损检测的畜产品品质先进传感器研究、农产品质量安全可追溯建模方法研究等等。实施了4项政府间国际合作项目:中-美国际合作项目“基于生物传感器的动物病毒快速检测技术研究”、中-德DAAD/CSC国际合作项目“精细农业中的先进传感技术研究”、中-德两国自然科学基金委员会资助项目“精细农业中的先进传感器科学与技术研究”和中-希国际合作项目“信息与通信技术在可持续温室生产中的应用”。另外还实施了3项示范项目:天津设施农业精细生产管理技术试验示范项目、内蒙古准格尔旗智慧农业示范建设项目和山东桓台县精准农业示范项目。总结“十一五”期间取得的科研成果,将对提高我国精细农业关键技术及系统集成研究水平,扩大精细农业技术普及与示范的范围和成果,以及为进一步强化“十二五”期间的精细农业相关研究开发,为在我国普及农业信息化技术和建设现代农业发挥重要的作用,这就是我们撰写本书的目的和初衷。

本书共分为两篇,第一篇为“农田信息获取及先进传感技术”,第二篇为“变量作业机械及智能农机装备”。第一篇包括7章内容:土壤信息获取及先进传感技术,基于光谱学原理的作物营养状态检测与诊断技术,基于图像分析和植物电信号的作物营养状态检测与诊断技术,农业干旱的遥感监测与预测技术,作物病害监测与预警技术,精细农业中的其他检测与传感技术,农业现场信息获取无线传感器网络技术;第二篇包括4章内容:农用车辆自动驾驶技术,农业机器人,精细喷药技术与装备,激光控制平地技术与装备。

精细农业技术体系大体上可分为3个主要环节,即农业信息获取、精细管理决策支持和处方图生成、变量作业及农田精细管理。本书内容主要集中在农业信息获取和变量作业及农田精细管理2个技术性很强的环节,研究内容几乎涵盖了这2个环节的各个热点,不仅对目前从事相关研究的教学和科研工作者具有重要的参考价值,对于了解精细农业关键技术及系统集成研究的动向和发展趋势也大有裨益。例如,土壤信息获取技术包含了近红外光谱法、电特性方法、选择性电极法等最新的研究进展,作物生长检测更是涵盖了从近地遥感到卫星遥感、从多光谱成像技术到高光谱成像技术、从细胞检测到冠层检测、从营养监测到病虫害监测预警等多个研究领域,从不同侧面展示了作物生长检测的最新成果和研究热点。在“农田信息获取及先进传感技术”一篇中,还包含了目前广受关注的无线传感器网络技术和物联网技术以及食品追溯和安全技术,是当今精细农业以及农业信息化相关研究的前沿。普及推广精细农业技术,信息获取是根本,第一篇的研究成果将为我国的精细农业事业打下坚实的基础。第二篇的4章是变量作业机械及智能农机装备的标志性成果,这些成果都是国内相关国家级研究机构和国内知名大学合作研究的结晶,代表了我国在本领域的最高水平。农用车辆自动驾驶技术、农业机器人、精细喷药技术与装备、激光控制平地技术与装备都已开始了从书斋向农田的转化过程,将为我国建设现代农业发挥重要的作用。从这个意义上讲,报告这些研究成果,不仅具有很高的理论意义,更具有很好的应用前景。

本书主要由“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室暨中国农业大学精细农业研究中心教师撰写而成,中国农业大学理学院和工学院部分教授撰写了“精细喷药技术与装备”一章和“蔬菜嫁接机器人”一节。“十五”、“十一五”期间就读于“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室暨中国农业大学精细农业研究中心的研究生是创造这些研究成果的主力,有的更直接参与了本书相关章节的准备及撰写,在这里一并向他们表示感谢。其中直接参与书稿撰写的部分研究生如下:博士生——李斌、李偲钰、李修华、赵瑞娇、赵勇、丁永军、李树强、刘兆祥、王俊、颜小飞、安晓飞、邓小蕾、张丽楠、王圣伟、冯娟、王志强、孟庆宽、张天蛟、孙威、苏涛、田苗、邢雅娟、许文宁;硕士生——张锋、张梦龙、王雯、王诗丛、唐文冰、盛明娅、张瑶、武佳、李颖慧、刘玉萌、吴琼、刘春红、王伟珍、李茗萱、张帆、何蓓、刘寅、杨飞、任雯、于亮亮、谢宇博、王洸、王辉、梁栋、颜凯、黄建、杨鹤松、陈俊蕙、孙月青、刘东升、侯姗姗、马泉、张丹、黄弘、唐妍。

如前所述,本书的主要内容是在“十一五”期间国家863计划、973计划、科技支撑计划、自然科学基金等一系列国家科技计划以及部门、地方科技计划支持下取得的研究成果之大成,因此,首先向为研究提供支持的国家和地方、部门基金表示衷心的感谢。这些成果也是在国内外众多专家的帮助和指导下,与国内知名大学、国家重点研究机构合作取得的,在此向他们表示深深的谢意。这些机构和专家有:中国工程院院士、华南农业大学罗锡文教授,国家农业信息化工程技术研究中心主任赵春江教授、副主任王纪华教授,国家信息农业工程技术中心主任、南京农业大学曹卫星教授以及常务副主任朱艳教授,中国农业机械化科学研究院首席专家张

小超教授,国家测土配方施肥中心实验室主任、中国农业科学院白由路研究员,中国科学院南京土壤研究所张佳宝研究员,中国水利水电科学研究院水利研究所所长许迪教授、副所长兼书记李益农教授,浙江大学应义斌教授、何勇教授,国家农业智能装备工程技术研究中心主任陈立平教授,天津市农业机械推广总站,内蒙古准格尔旗奇·达楞太副旗长以及准格尔旗农牧业局,山东桓台县农业局,中国农业大学资源与环境学院张福锁教授、吴文良教授、苗宇新副教授。积极接受中国农业大学精细农业研究中心的访问学者、合作培养研究生并给予支持和帮助的国外专家有:中国农业大学兼职教授、堪萨斯州立大学教授 Naiqian Zhang 博士,中国农业大学兼职教授、华盛顿州立大学教授 Qin Zhang 博士,中国农业大学兼职教授、阿肯色大学教授 Yanbin Li 博士,中国农业大学兼职教授、北海道大学教授 Noboru Noguchi 博士,中国农业大学兼职教授、东京农工大学教授 Sakae Shibusawa 博士,雅典农业大学教授 Nick Sigrimis 博士,阿肯色大学教授 Simon S. Ang 博士,俄克拉荷马州立大学副教授 Ning Wang 博士,佛罗里达大学副教授 Wonsuk Lee 博士,等等。与作者来自同一个教育部重点实验室的中国工程院院士康绍忠教授、中国农业大学副校长傅泽田教授、中国农业大学工学院院长韩鲁佳教授、农业信息化专家李道亮教授、朱德海教授虽没有直接参与本书的撰写,但作为共同承担国家科研项目的成员,为本书的撰写做出了巨大贡献,在此一并表示感谢。

本书总结了“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室暨中国农业大学精细农业研究中心在“十一五”期间与精细农业有关的主要成果,其中主要是成功的探索和经验,也不乏挫折和弯路。研究成果的发表既是为了承前,更着眼于启后。把这些成功的或尚不成熟的研究进展发表出来,既是对“十一五”期间研究工作的总结,也是为了在“十二五”期间厘清研究思路、明确研究方向。从目前的内容可以看出,精细农业技术体系 3 个主要环节中的变量作业及农田精细管理环节还有待继续加强,决策支持和处方图生成环节还有待起步、提升。我们将以这部专著作为起点,继续保持在农业信息获取研究领域的先进地位,进一步加强变量作业及农田精细管理相关研究,积极开展精细农业决策支持和处方图生成相关研究,为我国精细农业技术的研究与实践做出更大的贡献,在“十二五”期间创造更大辉煌。

作 者

2012 年 9 月

目 录

第一篇 农田信息获取及先进传感技术

第1章 土壤信息获取及先进传感技术	3
1.1 基于光谱学原理的土壤检测技术研究	3
1.2 基于选择性电极的土壤肥力指标检测技术研究	38
1.3 土壤电导率检测技术研究	67
参考文献	79
第2章 基于光谱学原理的作物营养状态检测与诊断技术	83
2.1 作物营养状态的光谱学诊断方法	84
2.2 冬小麦叶绿素含量检测	86
2.3 玉米氮素含量检测	98
2.4 温室番茄叶绿素含量预测	107
2.5 基于光导纤维的作物长势监测仪开发	117
2.6 便携式双通道冠层分析仪开发	128
2.7 车载式四通道冠层监测系统开发	138
参考文献	145
第3章 基于图像分析和植物电信号的作物营养状态检测与诊断技术	148
3.1 基于图像分析的黄瓜叶片营养状态检测	148
3.2 基于多光谱图像分析的番茄营养素含量预测	160
3.3 基于双目视觉系统的叶倾角提取	165
3.4 植物电信号检测与生物学诊断	174
参考文献	187

第 4 章 农业干旱的遥感监测与预测技术	191
4.1 农业干旱的遥感监测方法	191
4.2 基于条件植被温度指数的干旱监测	195
4.3 基于条件植被温度指数的干旱预测	210
4.4 本章小结	227
参考文献	228
第 5 章 作物病害监测与预警技术	234
5.1 概述	234
5.2 大豆锈病监测	235
5.3 葡萄卷叶病监测	246
5.4 基于航空遥感的柑橘黄龙病监测	253
5.5 苹果病害监控预警系统	268
参考文献	278
第 6 章 精细农业中的其他检测与传感技术	281
6.1 谷物自动测产技术	281
6.2 农产品品质检测技术	295
6.3 农产品冷链物流中的监测与传感技术	308
参考文献	317
第 7 章 农业现场信息获取无线传感器网络技术	322
7.1 农田信息获取无线传感器网络技术	323
7.2 温室信息获取无线传感器网络技术	352
7.3 农田信息获取移动通信与传感技术	366
参考文献	396

第二篇 变量作业机械及智能农机装备

第 8 章 农用车辆自动驾驶技术	401
8.1 基于 GPS 的农用车辆定位检测技术	401
8.2 基于机器视觉的农用车辆导航技术	413
8.3 农业车辆转向操纵控制方法和导航控制决策	420
8.4 自动驾驶农用车辆平台	428
参考文献	439
第 9 章 农业机器人	440
9.1 苹果采摘机器人关键技术	440

9.2 菠萝采摘机器人关键技术	469
9.3 蔬菜嫁接机器人	485
9.4 面向自主行走收获机器人的果园导航关键技术	497
参考文献	509
第 10 章 精细喷药技术与装备	512
10.1 自动对靶喷雾技术与机具	512
10.2 循环喷雾技术与机具	523
10.3 防飘喷雾技术与机具	528
参考文献	538
第 11 章 激光控制平地技术与装备	541
11.1 激光控制平地技术概述	541
11.2 激光控制平地系统	543
11.3 三维地形测量技术与装备	561
参考文献	578

第一篇

农田信息获取及 先进传感技术

1.1 基于光谱学原理的土壤检测技术研究

1.1.1 基于光谱学原理的土壤参数快速分析方法研究^[1]

1.1.1.1 研究背景

精细农业作为一种崭新的现代化农业管理理念和方式,摒弃了现行农业管理方式的缺陷,它要求按照农田的时空差异进行精确、科学的施肥以及养分管理^[2],因而实施精细农业需要清晰地了解土壤的空间变异特性及其实时营养状况。土壤养分的实时测定研究既可以为精细农业的实施提供精确、科学的数据,也可作为开发低成本智能化实时测试仪器的技术理论基础。

光谱分析技术是综合光谱学、化学计量学和计算机应用等多学科知识的现代分析技术。与传统分析技术相比,光谱分析技术在几秒至几分钟之内,就可同时测定样品中多种成分的浓度或性质参数;可见光及近红外光对物质具有一定的穿透能力,无需对样品做任何预处理,可实现无损测量;无需化学试剂,对样品和环境不会造成污染;能量较低(近红外能量比可见光能量还低),不会对人体造成危害。因此光谱分析技术作为一种快速、非破坏性、无污染的分析测试技术,具有能够定量反演地物特性的潜力,可以用来分析物质的物理和化学特性,并且已经在很多领域取得越来越多的骄人成绩,在农业领域也越来越多地表现出非凡的发展潜力。利用光谱分析技术来预测土壤营养参数,再结合其他技术判定土壤养分的空间变异性,对于实现精细农业意义极其重大。但目前的相关研究还处在实验室阶段,研究对象大都是经过干燥、过筛等预处理的土壤样品,亟待向实用阶段的突破。本研究探讨应用高光谱技术实时分析土壤营养状况的机理和方法,并进而开发利用光谱技术实时预测土壤养分的技术和装置。

根据物质的电磁波理论,任何物质,其光谱的产生均遵循着严格的物理机制。当分子振动能量级差较小时,产生相应近红外区的光谱;当分子振动能量级差较大时,产生的光谱位于近红外至可见光范围内。可见光波长在 380~760 nm 范围内,近红外光波长在 760~3 000 nm

范围内。近红外光谱(near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)的信息主要是有机分子含氢基团如 C—H、O—H、N—H、S—H 等伸缩振动的各级倍频与合频吸收的信息,不同基团产生的光谱在吸收峰位置和强度上有所不同。根据朗伯-比尔吸收定律(Lambert-Beer Law),随着样品组成或者结构的变化,其光谱特征也将发生变化,这是近红外光谱分析技术的理论基础。由于近红外光谱含有丰富的物质分子结构信息,所以可用来分析绝大多数种类的化合物及其混合物的成分浓度或者品质参数。

土壤养分实时监测是精细农业的战略需要,是开发低成本智能化实时测试仪器的前提,是深入研究土壤营养状况机理的手段。而如果能够应用光谱分析技术精确地实现土壤养分的实时监测,则对于精细农业来说起着极大的促进作用。中国农业大学精细农业研究中心在国家自然科学基金资助下,以 3 个最重要的土壤参数——水分、有机质(soil organic matter, SOM)和全氮(total nitrogen, TN)为研究对象,通过多种方法探索了基于光谱的土壤参数实时定量分析方法。

1.1.1.2 材料与方法

本研究中研究对象为北方潮土和东北黑土。北方潮土样本采自位于北京市海淀区上庄的中国农业大学试验麦田,共计 150 个土样。采集的土样直接用于可见光光谱、近红外光谱和水分的测量,之后在实验室测得土壤有机质含量、全氮含量等参数。可见光光谱采用美国 ASD 公司生产的手持式分光光度计(ASD FieldSpec HH)测量,其光谱测量范围是 325 ~ 1 075 nm,分辨率为 1 nm,扫描次数设定为 30 次。近红外光谱采用美国 Thermo Nicolet 公司生产的 Antaris 型傅里叶变换近红外光谱仪测量,它配有光导纤维探头,可以直接将探头插入土中进行测量。光谱仪的光谱测量范围为 12 000 ~ 4 000 cm^{-1} (833 ~ 2 500 nm),分辨率为 2 cm^{-1} ,波数精度为 0.1 cm^{-1} ,扫描次数为 32。

东北黑土的土样采自黑龙江省哈尔滨市郊区一块农用地,共计 200 个样本。土样的近红外光谱采用德国布鲁克公司生产的 MATRIX-I 型傅里叶变换近红外光谱仪测量,它带有旋转样品池,可以直接将少许土样放入样品池中进行测量。光谱仪的光谱测量范围设定为 12 798 ~ 3 599 cm^{-1} (781 ~ 2 779 nm),分辨率为 4 cm^{-1} ,波数精度为 0.1 cm^{-1} ,扫描次数为 32。东北黑土测得的土壤参数包括水分、有机质含量和全氮含量。测得的东北黑土和北方潮土的光谱用于研究建立普适性土壤预测模型。

1.1.1.3 基于 BP 神经网络的定量分析方法研究

BP 神经网络(BP NN, back-propagation neural network)是利用非线性可微函数进行权值训练的反向传播网络。根据 BP 神经网络的定义,对于闭区间内的任何一个连续函数都可以用单隐层的 BP 神经网络逼近,因而一个三层 BP 神经网络可以完成任意的 n 维到 m 维的映射。这种网络具有很强的非线性映射能力,非常适合用于非线性函数逼近^[3]。

在已经报道的土壤参数预测研究中经常使用的方法包括多元线性回归(MLR)、主成分回归(PCR)、偏最小二乘回归(PLSR)以及局部权重的偏最小二乘回归(LWPLSR)等,通过特定的数据预处理后使用这些方法虽然可以得到较高精度的预测模型,但是样本集合中的少数几个异常值对模型的精度具有毁灭性的影响,而神经网络则可以很好地规避这个风险。

研究资料表明,对光谱数据的数学预处理能够提高光谱定量分析组成成分的能力,并可提高模型的预测能力。本研究首先对近红外反射光谱数据进行了预处理。

由于近红外反射光谱仪本身的误差、光导纤维探头所遇到的具体观察面的局部特殊性等