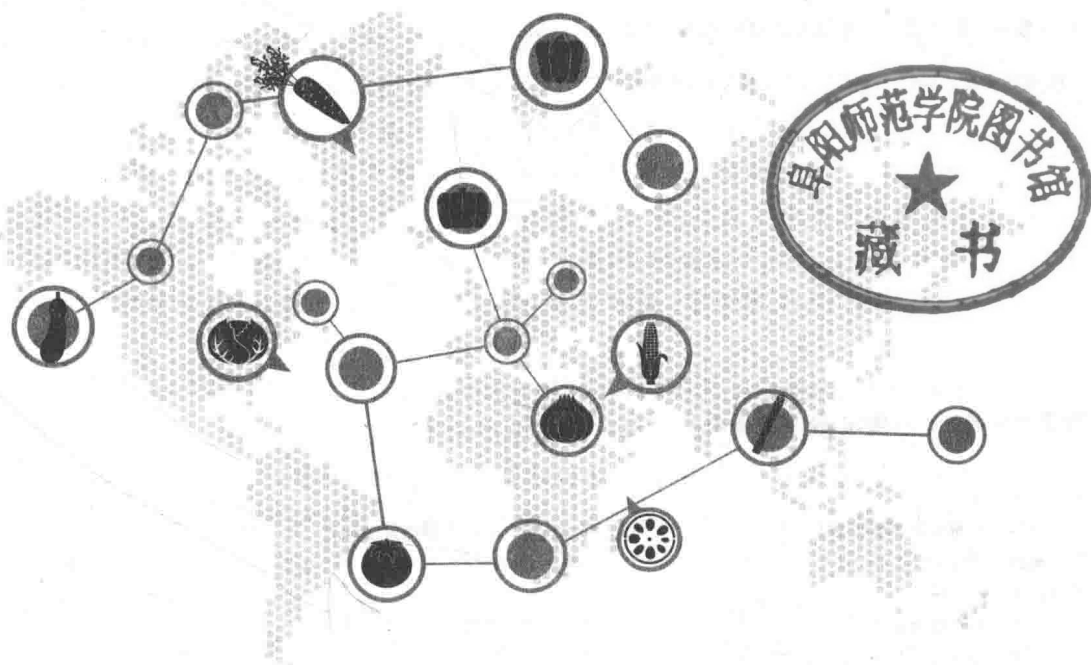




# 智慧农业导论

## 理论、技术和应用

江洪◎主编



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书较为详细地介绍了智慧农业的概念、发展历史、应用前景以及智慧农业的技术框架、技术要点、核心技术等。对一些典型的应用系统作了重点介绍,同时结合多利农庄自身的发展和案例进行了详细的分析。本书中的案例分析均是以多利农庄为依托的典型案列,如多利水肥一体化系统、成都郫县产业化生产项目、Imec 膜种植技术、质量追溯系统案列、电商系统等,具有很强的实用性。通过阅读本书,读者能对智慧农业的发展趋势和业务形态有所了解,为智慧农业的应用开发及项目的实施提供一定的指导。

本书主要面向智慧农业、农业物联网相关行业的从业人员以及对智慧农业行业有兴趣的读者。

## 图书在版编目(CIP)数据

智慧农业导论:理论、技术和应用/江洪主编. —上海:上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-13601-5

I. ①智… II. ①江… III. ①信息技术—应用—农业 IV. ①S126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 192829 号

## 智慧农业导论——理论、技术和应用

主 编:江 洪

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海颀辉印刷厂

开 本:889mm×1194mm 1/16

字 数:406千字

版 次:2015年9月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-13601-5/S

定 价:88.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:15

印 次:2015年9月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-57602918

# 前 言

## Preface

智慧(狭义的)是高等生物所具有的基于神经器官(物质基础)一种高级的综合能力,包含有:感知、知识、记忆、理解、联想、情感、逻辑、辨别、计算、分析、判断、文化、中庸、包容、决定等多种能力。智慧让人可以深刻地理解人、事、物、社会、宇宙、现状、过去、将来,拥有思考、分析、探求真理的能力。与智力不同,智慧表示智力器官的终极功能,与“形而上谓之道”有异曲同工之处,智力是“形而下谓之器”。智慧使我们做出导致成功的决策,有智慧的人称为智者(摘自“百度百科”)。

这是一个智能化迅猛发展的时代。“智慧地球”这一概念是 IBM 前首席执行官彭明盛在 2009 年 1 月 28 日,奥巴马就任美国总统后与美国工商业领袖举行的“圆桌会议”上首次提出。“智慧地球”的战略认为,IT 产业下一阶段的任务是把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中,具体地说,就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中,并且被普遍连接,形成所谓“物联网”,然后将“物联网”与现有的互联网整合起来,实现人类社会与物理系统的整合,在这个整合的网络当中,存在能力超级强大的中心计算机群,能够对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制,在此基础上,人类可以以更加精细和动态的方式管理生产和生活,达到“智慧”状态,提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。智慧,作为高等生物特有的特征,开始被赋予许多没有生命的物体,许多行业和地域。例如智慧城市、智慧江苏、智慧上海、智慧社区、智慧家庭、智慧校园、智慧工业、智慧农业等。

在发展智慧的进程中,物联网(Internet of Things, IOT)是非常重要的基础。物联网是新一代信息技术的重要组成部分,也是“信息化”时代的重要发展阶段。顾名思义,物联网就是物物相连的互联网。这有两层意思:其一,物联网的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展的网络;其二,其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间,进行信息交换和通信,也就是物物相息。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算等通信感知技术,广泛应用于网络的融合中,也因此被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第 3 次浪潮。

农业是一个古老的关系民生的重要行业。近年来,在各种高科技的推动下,农业技术的发展也是日新月异。其中,以信息技术为基础的精准农业一枝独秀。精准农业是一种基于空间信息管理和变异分析的现代农业管理策略和农业操作技术体系。它根据土壤肥力和作物生长状况的空间差异,调节对作物的投入,再对耕地和作物长势进行定量的实时诊断,在充分了解大田生产力的空间变异的基础上,以平衡地力、提高产量为目标,实施定位、定量的精准田间管理,实现高效利用各类农业资源和改善环境这一可持续发展目标。显然,实施精准农业不但可以最大限度提高农业现实生产力,而且是实现优质、高产、低耗和环保的可持续发展农业的有效途径。因而精准农业技术被认为是 21 世纪农业科技发展的前沿,是科技含量最高、集成综合性最强的现代农业生产管理技术之一。一般而言,基于知识和先进技术的现代农田“精耕细作”技术体系至少包括以下几个方面:地理信息技术(GIS, RS, GPS)、生物技术、农业专家系统(ES)、决策支持系

统(DSS)、工程装备技术、计算机及网络通讯技术等。

智慧农业不光吸收了精准农业的优点,同时大力扩展了智能感知、识别与普适计算等的物联网技术,融合了大数据与云计算等海量数据集成和挖掘的技术,使其上了一个新的台阶。工业中智能化的快速发展,产生了德国“工业4.0”和中国版的“工业4.0”规划《中国制造2025》等这样的新技术体系,类似的工作必将在农业中得到体现。特别是最近互联网+等的迅速推广,将使得以物联网技术和大数据分析技术为核心的智慧农业在推动现代农业的发展中发挥越来越大的作用。

笔者主要从事生态模型模拟、遥感应用和数据管理与分析的研究。在长期工作中,与信息技术和数据分析技术有过很密切的接触。笔者的博士论文,主要内容是以数学模型研究植物种群动态和生态系统发展;1990—1995年,在中国科学院植物研究所做生态学博士后研究,后来留在中国科学院植物研究所和中国科学院地理科学与资源研究所工作,在此期间从事跨学科的观测与调查、数据管理、模型模拟等方面的研究。1993年,笔者受中国科学院的安排,带队去美国长期生态研究网络(Long Term Ecological Research, LTER)总部(位于美国新墨西哥大学, University of New Mexico),学习和合作研讨长期生态学观测与科学试验数据的管理和集成、挖掘与共享;在水土气生的综合观测、分布式数据管理、网络化信息传输、多尺度数据集成和分析方面有了全新的提高。回国后,在中国生态系统研究网络(CERN)举办了多期学习班,推广和传播科学数据管理、分析和共享的知识。从1995年开始,笔者陆续在美国俄勒冈州立大学(Oregon State University)、美国 LTER 的 H. J. Andrews 定位站、加拿大阿尔伯塔大学(University of Alberta)、加拿大自然资源部、美国保护生物学研究所、南京大学和浙江农林大学等从事数据集成和分析、计算机模型模拟、全球变化与遥感应用等工作,继续在分布式数据管理、网络化信息传输、多尺度数据集成和分析方面进行研究。

从2008年开始,我陆续接触物联网方面的工作。这要得益于两个方面,首先是参加了清华大学的刘云浩教授和北京邮电大学的马华东教授主持的科技部国家重点基础研究发展规划(973计划)项目“物联网体系结构基础研究”的课题“物联网验证平台和碳平衡监测应用示范”、国家自然科学基金重大项目的课题“规模化自组织传感网在碳排放和碳汇监测中的典型应用”以及参与清华大学、西安交通大学、上海交通大学、浙江农林大学、香港科技大学等单位合作建立的“低碳和物联网应用”九校联合实验室。通过这些项目和合作,使我在物联网方面的理论、方法和应用方面都学习了许多知识。其次,笔者参加了中国科学院地理科学与资源研究所孙九林院士主持的科技部重大平台项目“地球系统科学数据共享平台”,主持组建了“全球变化集成模拟科学数据中心(南京大学),在有关大气环境时空变化、全球温室气体和污染气体收支和源汇解析、土地覆盖和土地利用演变、陆地生态系统对气候变化响应等方面进行数据集成和分析、计算机模型模拟、分布式数据管理、网络化信息传输、数据共享服务方面开展了工作,比较系统地进行了大数据同化集成和挖掘分析的研究。

2011年,笔者开始主持物联网技术应用和智慧农业的平台建设,应邀担任上海多利农业发展有限公司的科技顾问。在这个平台中,我们组建了产学研结合的团队,包括南京大学、上海交通大学、浙江农林大学、上海宝钢信息技术公司、中国联通(上海)公司、多利农业发展有限公司、上海彩链信息技术公司、上海绿邑智能灌溉公司、上海绿度信息技术公司、大华公司、美国安治南宝公司等高校、研究所和公司一起进行有关物联网技术和大数据分析技术在有机农业的具体应用方面的研究,推动了智慧农业的发展。同时,我们建立了国内外首家相关的工程技术研究中心〔上海市有机蔬菜工程技术研发中心(筹)(上海市科委批准)和上海多利有机农业技术工程中心(上海市农委批准)〕。该工程技术研发中心(筹)汇聚了国内外多名从事有机农业、有机蔬菜、植物学、生态学、植保、植物营养和农业水肥管理、物联网和信息技术等方面的专家。同时有上海交

通大学农学院、南京大学、上海海洋大学、同济大学、上海农科院、浙江大学、浙江农林大学、西北农林大学、中国科学院微生物研究所和上海宝钢信息技术公司等单位参与合作。该工程技术研发中心致力于智慧农业和有机农业的研发,包括①智慧农业和农业物联网技术体系;②水肥植保智能一体化技术体系;③有机蔬菜工厂化生产技术体系等。

在智慧农业的研发中,我们陆续得到了农业部和上海市农委“农业物联网示范基地建设”项目,上海市发改委和经信委的上海市战略性新兴产业重大项目“现代智慧农业园物联网关键技术集成与综合示范”,上海市科委“有机蔬菜水肥植保智能一体化系统建设”项目,上海市商委“电子商务平台及物流配送设施建设”项目,上海市浦东新区经信委“有机蔬菜质量信息追溯系统开发”项目,上海市浦东新区农委“有机蔬菜工厂化种植和智能管控”项目等研发项目的大力支持。

在这些项目和平台的支持下,我们初步开发了智慧农业的技术体系,归纳起来,主要包括了以下8个方面:①开发农业生产环境监控系统,充分利用综合的感知技术监测作物生长和农业环境的变化;②研发农业生产远程可视化系统,通过远程可视,直观了解生产和农业经营管理的关键环节;③与宝信公司合作,利用工业信息技术建立动态数据库管理系统和云计算平台,实现海量监控数据的动态集成和优化管理;④实现大数据集成与模型模拟系统建设,对农业的生长与病虫害发生进行大数据分析,模型模拟和预测预报;⑤通过智能化水肥植保一体化系统开发,实现农业生产的智能管控;⑥建设冷链物流调配系统,达到生鲜物流冷链配送与时空优化调控;⑦研发农产品质量追溯系统,确保有机食品质量追溯和食品安全;⑧建立综合集成的电子商务平台,农产品的O2O销售,促进农产品增值和农民增收。

我们在智慧农业方面的工作得到了国内外有关专家的关注,如美国俄勒冈州立大学的David Hannaway教授、Todd Bastian博士,美国加州大学Davis分校Wendy Beecham博士,美国哈佛大学商学院的David Baron博士,德国哥廷根大学Julian Voss教授,日本早稻田大学森有一博士,日本东京大学李大寅博士,英国爱丁堡皇家科学院院士,都丁大学Arthur Cracknel教授,加拿大魁北克大学彭长辉教授等都到现场进行了考察和指导。同时,国内许多省市政府和农业厅局领导,有关高校科研院所和技术公司的专家到智慧农业应用基地进行了参观,给予了较高的评价。

智慧农业和农业物联网技术开发应用的成果得到农业部、工信部和上海市有关方面的高度重视。例如,2015年初,农业部信息中心在上海多利农业发展有限公司召开了有各省市自治区农业信息中心主任参加的智慧农业和农业物联网技术的现场会议,对我们的工作给予了充分的肯定。我们开发的系统,在2015年新华社(上海分社)和上海市经信委举办的“智慧城市及其应用”的评比中,于参评的300多个系统中进入前10名,荣获“智慧城市创新技术应用奖”。

这方面的工作得到上海多利农业发展有限公司大力帮助,特别是该公司的董事长张同贵。张同贵董事长是我在四川农业大学(都江堰分校)任教时的学生,后来就读于中欧国际工商管理学院,获EMBA。他长期致力于有机农业和食品安全的事业,2005年创建了多利农业发展公司,通过十年的努力,该公司已经成为中国有机农业的龙头企业,2014获得“上海市名牌产品”、“上海市著名商标”和“市农业龙头企业”称号;张同贵本人被评为2015年“上海市劳动模范”,为社会做出了较大的贡献。他对于智慧农业和有关技术的研发给予了大力的支持。

物联网技术和智慧农业的开发,得到了清华大学刘云浩教授、北京邮电大学马华东教授、浙江农林大学周国模教授、上海交通大学黄丹枫教授、浙江大学常杰教授和葛滢教授、美国USGS刘金勋高级研究员、上海市物联网协会叶晓华秘书长、南京国环的肖兴基主任和张纪兵副主任、国际有机运动联盟亚洲分会副主席周泽江教授、环保部有机食品发展中心总工程师席永官博士等的大力帮助。

我们同时感谢国家科技部、农业部、国家自然科学基金委、工信部;上海市发改委、市农委、市

科委、市经信委、市商委；上海市浦东新区经信委、区农委、区商委和区科委、上海市崇明县科委和农委等部门和有关科研项目的支持。

参与智慧农业和应用研发的有关人员有：上海市有机蔬菜工程技术研发中心(筹)的张宏伟、辛赞红、接成月、袁建、陈云飞、孙成、顾正腾、徐杨洋、乔卫花、翟晶、辛世杰、文明、蔺恩杰等，多利农庄 IT 技术部臧云飞、聂雷和朱雷；生产部郑爱民和由美娜，运营部丁亚平和杨爽，工程部张同华、李舟和蔡雨应，成都分公司车宗斌，崇明分公司巫方毅和黄勇，北京分公司杨卫东等；南京大学的博士研究生陈书林、张金梦，博士卢学鹤和金佳鑫；浙江农林大学的硕士研究生吴丹娜和牛晓栋；上海宝钢信息技术公司执行总裁丛力群、研发中心总监董文生、高级工程师李淞、戴骏伟、黄奕飞、张凯和杨波等；大华公司工程师程中明；上海彩链公司董事长陆军和工程师陈超；上海绿邑农业科技有限公司总经理李勇；上海绿度追溯公司副总经理邹晓明；美国安治南宝生物科技有限公司董事长王亦宁和首席科学家黄亦存教授；日本 MeBIO 公司总裁和早稻田大学的森有一博士和坂卷工程师等单位和个人。

为了总结最近几年我们从事智慧农业和农业物联网技术方面工作的进展，推动该领域的有关应用，同时为有关系统开发和实际操作的第一线工程技术人员提供帮助，我们组织了这部专著的编写。本书由江洪主持编著，参与编写的有上海市有机蔬菜工程技术研究中心(筹)的有关人员袁建、孙成、聂雷和张宏伟，南京大学博士研究生张金梦和陈书林，浙江农林大学的硕士研究生吴丹娜和牛晓栋，上海宝钢信息技术公司工程师戴骏伟和黄奕飞等。

由于智慧农业和农业物联网技术涉及的范围广泛，发展日新月异，非常迅速，本书的内容可能不够全面，有关技术的编写还不够深入准确；同时，由于时间仓促，文字描述和图表等还有不规范的地方，有待于专家和读者的批评指正，以便在今后进一步修改完善。

江 洪

博士、教授、博导

上海市有机蔬菜工程技术研究中心(筹) 主任

2015年6月

# ·····目 录·····

## Contents

第一章 导论 .....	1
第一节 智慧农业的发展历史 .....	1
第二节 智慧农业的框架 .....	8
第三节 智慧农业的关键技术 .....	11
第二章 智慧农业中的感知技术 .....	15
第一节 物联网的感知技术 .....	15
第二节 植物生长和生理信息的感知技术 .....	35
第三节 感知技术的应用 .....	47
第四节 遥感技术及其应用 .....	51
第三章 农业生产视频可视化和信息传输技术 .....	56
第一节 农业生产可视化 .....	56
第二节 农业信息传输技术 .....	67
第三节 应用实例:多利农庄远程可视化系统和通信平台 .....	75
第四章 动态数据库管理系统和云计算 .....	83
第一节 数据管理储存 .....	83
第二节 动态数据库系统特点和数据管理原理 .....	85
第三节 动态数据库与关系性数据库的整合 .....	88
第四节 监测数据、视频数据和管理数据的整合集成方法 .....	89
第五节 数据综合分析的方法 .....	92
第六节 云平台的数据管理和分析 .....	92
第五章 大数据分析 with 模型模拟 .....	96
第一节 基于大数据的气候变化和产量的预测预报 .....	96
第二节 智慧农业中的模型模拟 .....	98
第三节 有机蔬菜生长模型特点和构建 .....	101
第四节 有机蔬菜病害预警预报模型构建 .....	121
第五节 有机蔬菜病害模型的检验与应用 .....	124
第六章 农业智能管控技术 .....	131



第一节	农业智能管控技术体系建设	131
第二节	农业智能管控系统集成	138
第三节	智能管控系统应用实例	144
<b>第七章</b>	<b>农产品冷链物流智能管控系统</b>	<b>158</b>
第一节	农产品冷链物流面临的挑战和国内外进展	158
第二节	农产品(蔬菜)仓储保鲜技术概述	160
第三节	农产品(蔬菜)冷链物流保鲜控制技术	162
第四节	农产品(蔬菜)冷链物流智能管控的技术	163
第五节	实例:多利农庄有机蔬菜冷链物流智能管控系统	175
<b>第八章</b>	<b>农产品质量追溯系统</b>	<b>183</b>
第一节	农产品质量追溯关键技术	183
第二节	实例分析:多利农庄有机蔬菜质量追溯系统	196
<b>第九章</b>	<b>农产品电子商务</b>	<b>213</b>
第一节	农产品电子商务关键技术	213
第二节	实例:上海多利农庄电子商务平台	226

## 导论

智慧农业的技术由3个方面构成:①物联网技术:信息的感知和传输;②大数据管理和分析:大数据的存储同化、挖掘分析和模型模拟;③综合集成应用:农业智能管控、冷链物流调控、农产品质量追溯、农产品电子商务等。

物联网(Internet of Things, IOT)最早是由美国麻省理工学院 Ashton 教授在 1999 年研究 RFID 时提出。Sun 公司在 2003 年发表文章介绍物联网的基本工作流程,并提出解决方案。从此,对物联网技术和应用的研发逐渐在国内外得到重视。在中国,2009 年 8 月,温家宝总理在视察中科院无锡物联网产业研究所时,对物联网应用也提出了一些看法和要求。自温总理提出“感知中国”以来,物联网被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一,被写入“政府工作报告”,受到了极大的关注。

IBM 前首席执行官彭明盛在 2009 年 1 月 28 日于奥巴马就任美国总统后举行的美国工商业领袖“圆桌会议”上,首次提出“智慧地球”这一概念,建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。当年,美国将新能源和智慧地球中核心的物联网技术列为振兴经济的两大重点。从而催生了一系列智慧城市、智慧工业、智慧农业等新兴的行业。

### 第一节 智慧农业的发展历史

智慧农业是农业生产的高级阶段,通过互联网、计算机、现代通信技术、物联网技术、现代化机械等高新技术应用,增强对农业生产环境条件的感知,实现农业可视化远程诊断、远程控制、灾变预警等智能化管理,加强对农业生产工人的管理,减少农产品流通损耗,实现农业的产、供、销高度的智能化、自动化、精细化。相对传统农业,智慧农业极大地提高农业生产经营的综合效率,降低工作劳动强度和资源损耗,提高农产品附加值,保障农民增收。智慧农业的内涵主要是指在环境条件相对可控的情况下,利用工业化的生产模式,打造集约高效可持续发展的农业生产模式,将高新技术应用到农业生产的各个环境,配备高度智能化的专家系统进行分析和决策,使得农业生产各个环境的决策和运行更加智能化、自动化和标准化。

智慧农业对现代农业的发展具有非常重要的作用。智慧农业能够显著提高农业生产经营效率。通过传感器对农业环境的精准、实时、长期监测,利用云计算、数据挖掘等技术进行多层次深入分析,并将分析指令与各控制设备进行连接完成农业生产、管理和决策。这种智能机械代替人的农业劳作,不仅解决了农业劳动力日益紧缺的问题,而且实现了农业生产高度规模化、集约化、工厂化,提高了农业生产对自然环境风险的应对能力,使弱势的传统农业成为具有高效率的现代产业。发展智慧农业能够有效地改善农业生态环境。将农田、畜牧养殖场、水产养殖场等生产单位和周边的生态环境视为整体,并通过物质循环和能量流动关系进行系统、精准运算,保证农业

生产的生态环境在其自身可调节范围内,如定量施肥不会造成土壤板结,也不会营养流失导致富营养化;经处理后的畜禽的粪便不会造成水和大气污染,反而有利于改善土壤结构和提高土壤肥力。“智慧农业”能够彻底转变农业生产者、消费者观念和组织体系结构。完善的农业科技和电子商务网络服务体系,使农业相关人员足不出户就能够远程学习农业知识,获取各种科技和农产品供求信息;专家系统和信息化终端成为农业生产者的大脑,指导农业生产经营,改变了单纯依靠经验进行农业生产经营的模式,彻底转变了农业生产者和消费者对传统农业落后、科技含量低的观念。

另外,智慧农业阶段,农业生产经营规模越来越大,生产效益越来越高,迫使小农生产被市场淘汰,必将催生以大规模农业协会为主体的农业组织体系。智慧农业功能构建包括特色有机农业示范区、农科总部园区和高端休闲体验区,有利于促进农业的现代化精准管理、推进耕地资源的合理高效利用。

智慧农业实现现代农业生产环境的智能感知、智能预警、智能决策、智能分析、专家在线指导,为农业生产提供精准化种植、可视化管理和智能化决策。除了精准感知、控制与决策管理外,广泛意义上,智慧农业还包括农业电子商务、食品追溯防伪、农业休闲旅游、农业信息服务等方面的内容。

## 一、国外智慧农业发展历史与现状

美国是全球农业规模巨大和技术先进的国家,也是全球范围智慧农业起步早,成效显著的国家。19世纪60年代,美国农业开始进入机械化进程。20世纪40年代,在全国范围就基本实现农业机械化。美国农业生产主要依靠家庭农场,农场经营规模大,农业现代化、机械化程度高,全部实现机械标准化作业,生产效率高。美国的现代化农业涉及生物学、地理学、气象学、生态学等学科门类,将农业生产、工业制造、商品流通、信息服务等产业融为一体,是多部门、多学科的系统化综合体。早在20世纪初,美国农业已基本实现种植专业化。目前,美国形成了专业化、区域化的布局,建立了各种特色鲜明的产业带。如东北地区雨量充沛、气温较低,牧草生长茂盛,形成了“牧草和乳牛带”;中北部地区地势平坦、土地肥沃,冬季寒冷漫长,形成了“小麦带”;还有五大湖区附近的“玉米带”、南方的“棉花带”等。但是,随着美国农业的发展、补贴状况的迥异,美国农场早已出现了明显的两极分化。产业化农场不断扩大种植规模,可以保持竞争优势,得到更多补贴;小规模家庭农场则几乎被逐出商品化农产品的种植领域,只能在无补贴的其他农作物上生产,并依赖地区性贸易体系,难以维系生存。多重因素的压迫,使得美国农业面临严峻的考验。求变,刻不容缓。智慧农业为这些改变提供了一条重要的途径。

同时,美国智慧农业的发展与温室及温室内信息化技术的发展密不可分。20世纪80年代,美国提出智慧农业的前身,即精准农业的构想,其微电子技术发展推动了智能化监控技术的发展,农作物生长的模拟、栽培管理、测土配方施肥等农业系统构成了智慧农业的早期技术基础。摩托罗拉、雨鸟公司等共同合作开发智能中央计算机灌溉控制系统,将计算机应用于温室控制与管理。90年代,温室计算机控制与管理系统可以根据温室作物的特点与需求,对温室内温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub>、肥料施用等因子进行自动调控,还可以利用温差技术管理实现农产品的开花结果期的控制,适应市场的需求。随着大规模现代信息技术的普及,智慧农业有了更快、更长足的发展。目前,美国已将全球定位系统(GPS)、遥感监测系统(RS)、农田信息采集与环境监测系统、地理信息系统(GIS)、决策支持系统和智能化农机具系统等应用于农业生产(见图1-1和图1-2)。



图 1-1(左)  
运用 GPS 等传感  
技术的美国智慧农  
药喷洒系统  
图 1-2(右)  
智能化土壤信息采  
集设备

智能化农机具系统的发展也是美国智慧农业重要的成果。早在 1933 年,美国就通过了《农业调整法》,确定了农业的基础地位。20 世纪 80 年代后,美国农业法成为一个独立的法律。2007 年,美国出台新的农业法案,形成了以农业法为基础、一百多部重要法律为配套的完善的农业法律体系,内容涵盖农业市场、农产品贸易、农业信贷、土地利用与开发、农业资源与环境保护、病虫害防治等各个方面。随着互联网时代的发展,网络成为政府关注的农业发展的重要工具。Data.gov 是奥巴马政府在 2009 年推出的,该网站上有关于诸如植物基因学和当地天气情况的详尽数据库。还有一些比如特定土壤条件下最好的作物研究、降水量的变化、害虫和疾病的迹象,以及当地市场作物的期望价格等数据库。这些数据如果免费开放给农民、企业和科研机构的话,那么这些数据所产生的价值将是非常巨大的。

智慧农业中的大数据分析技术,推动了农业保险和农业期货等行业的发展。投资在美国农业发展中具有举足轻重的地位,在不同发展阶段,美国政府针对农业发展中存在的矛盾和问题,适时出台一系列农业保护政策,包括价格支持、财政补贴、信贷税收、对外贸易等方面,即为了稳定农产品价格和农场主收入,配套了相应的目标价格、差额补贴、贷款率、无追索权贷款等投资手段。这些投资手段虽然不是强制性的,但它是具有吸引力的,这关系到农场主的切身利益。美国还有比较健全的农业保险体系,通过实行农业保险制度,规避了农业生产造成的风险,减少了自然灾害对农业生产造成的损失,并对农业投资实行税收优惠政策,税收减免可达应缴税收的 48%。利用大数据分析技术,The Climate Corporation 为农业种植者提供名为 Total Weather Insurance (TWI),涵盖全年各季节的天气保险项目。项目利用公司特有的数据采集与分析平台,每天从 250 万个采集点获取天气数据,并结合大量的天气模拟、海量的植物根部构造和土质分析等信息对意外天气风险做出综合判断,以向农民提供农作物保险。公司声称该保险的特点是:当损失发生并需要赔付时,只依据天气数据库,而不需要繁琐的纸面工作和恼人的等待。该公司总部位于美国加州,已经运营 6 年,从 Google Ventures、Founders Fund 等多家公司获得超过 5000 万美元的风险投资。

另外,还有智能化控制系统的快速发展。位于美国加利福尼亚州 Oxnard 的草莓培育商 Norcal Harvesting 安装一套物联网系统,实时追踪植物的状况。系统还可以根据空气和土壤的状况,自动触发相关行为,如浇水或调节温度。这套系统由 Climate Minder 开发,目的是帮助培育商更好地管理植物的生长情况。通过在农业园区安装生态信息无线传感器和其他智能控制系统,可对整个园区的生态环境进行检测,从而及时掌握影响园区环境的一些参数,并根据参数变化适时调控,如灌溉系统、保温系统等,确保农作物有最好的生长环境,以提高产量、保证质量。在保温系统中,通过采集、分析和控制土壤湿度、土壤成分、pH 值、降水量、温度、空气湿度和气压、光照强度、CO<sub>2</sub> 浓度等来获得作物生长的最佳条件,将生物信息获取方法应用于无线传感器

节点,为温室精准调控提供科学依据。在灌溉系统中,通过感应土壤的水分,并在设定条件下与接收器通信,控制灌溉系统的阀门打开、关闭,达到自动节水灌溉的目的。

广泛应用传感器和视频终端采集的信息,除在精准农业中监测农作物的害虫、土壤酸碱度和施肥状况等外。还包括从种子遴选到病虫害防治,从幼苗培育到收割入库等方面。监测范围涵盖广义农业的各个方面,包括畜牧业、农副产品加工业及渔业。通过物联网对牲畜家禽、水产养殖、稀有动物的生活习性、环境、生理状况及种群复杂度进行观测研究。对森林环境监测和火灾报警(平时节点被随机密布在森林之中),平常状态下定期报告环境数据,当发生火灾时,节点通过协同合作会在很短的时间内将火源的具体地址、火势大小等信息传送给相关部门。据《今日美国报》报道,佐治亚大学近期召开了一次学术会议,讨论无线互联网技术等高新技术在农业中的应用问题。据与会专家介绍,佐治亚州的两个农场已经用上了与无线互联网配套的远距离视频系统和GPS定位系统,分别监控蔬菜的包装和灌溉系统。伊利诺伊大学的专家则在不久前测试了无人驾驶拖拉机。这种拖拉机配备了电子地图和GPS信号接收器。测试时,人可坐在房屋里通过无线互联网遥控拖拉机的操纵杆,可使拖拉机自动工作。将来有望用小型无人驾驶拖拉机编队,取代目前在田间工作的大型拖拉机。研究人员认为,尽管美国部分地区现在仍主要通过拨号上网,但若在这些地区普及无线互联网,则有望实现在家遥控开启水泵、畜栏,控制土壤湿度传感器、气象传感器等农业设备的工作。

加大对农副产品从生产到流通整个流程的监管,可以将食品安全隐患降至最低,而物联网则可在这方面发挥重要的作用。以猪肉安全为例:进入农贸市场的猪肉安装上电子芯片,以跟踪猪肉产品的生产、加工、批发以及零售等各个环节。消费者在购买猪肉时索取含食品安全追溯码的收银条,凭借收银条上的追溯码查询生猪来源、屠宰场、质量检疫等多方面信息。美国几家大学组成的一组研究团队获得了美国农业部(USDA)发的国家食品安全项目资金,用于为期三年研究,采用RFID感应器追踪供应链中多叶绿色蔬菜的温湿度状况。希望能判断出在什么时候,什么状况下,“高风险”产品开始产生食源性致病菌感染。研究人员在运输卡车内的农产品货箱里放置RFID感应器,测量温湿度水平,波动的发生时间及它们可能如何对零售商销售农产品里的大肠杆菌或其他病原体的产生造成影响。举个例子,湿度水平会影响绿色食品塑料包装的渗透性,从而减少农产品上架周期。研究人员也希望利用研究结果为包装、配送专业人士提供培训,通过监测运输和配送过程中的新鲜食品,防止食源性致病菌的发生。

关于智慧农业应用在食品安全的质量追溯方面,欧洲已经实现了对农产品进行原料供应、加工、包装、销售等整个流通过程的全程追溯管理,利用农产品标示,对产品进行跟踪识别,用信息化保障食品安全。通过信息系统进行追溯时,要求在产品供应链中的每一节点,不仅要加工成品进行标识,还要采集产品原料上已有的标识信息,并将其全部信息标识在加工成品上,以备下一个环节的加工者或消费者使用,从而实现了对农产品整个流通过程的跟踪管理,排除瘦肉精、禽流感等食用农产品的安全隐患。此外,欧洲也非常重视将信息化应用于现代农业,尤其是在发展精细农业、农产品物流以及农业信息服务等方面。早在20世纪50年代,欧洲农业就开始使用现代工业技术、微电子技术。

荷兰的农业以家庭私有农场生产为主,65.6%的农场从事畜牧业。温室产业是荷兰最具特色的农业产业(见图1-3),居世界领先地位。荷兰的工业基础雄厚,其中化工、食品加工、机械与材料、电子工



图1-3  
荷兰温室园艺设施

业技术尤为先进。世界级的大型公司如化工业的壳牌、食品工业的联合利华、电子工业的飞利浦在国际工业舞台上扮演着重要的角色。在高度发达的工业化影响下,荷兰温室农业也具有高度工业化的特征。温室设施本身就是工业化集成技术的产物,由于摆脱了自然气候的影响,温室园艺产品的生产完全可以实现按照工业生产方式进行生产和管理。而且不仅体现在种植过程中有其特定的生产节拍、生产周期,还体现在产品生产之后的包装、销售方面。与工业生产如出一辙,因此被称为工厂化农业。事实上荷兰的农业特别是温室农业是被当成工业来办的。温室产业中广泛采用现代工业技术,包括机械技术、工程技术、电子技术、计算机管理技术、现代信息技术、生物技术等。荷兰从20世纪80年代开始开发温室计算机自动控制系统,并不断开发模拟控制软件。到20世纪80年代中期,荷兰近85%的温室种植者使用环境控制计算机,进行对温室的管理,按照不同作物的特点及需求进行自动控制,从而满足作物生长发育的最适要求。温室内的生产环节如搅拌基质、施肥、灌溉等均实现自动化管理,温室内环境条件如温度、湿度、光照等全部由计算机监控,并智能化调控。

德国农业利用现代信息技术,改善传统的农业经营方式。德国政府有一套完整的信息技术应用体制,向农民提供从农业生产资料供应到农产品销售、加工、运输、仓储及咨询、信贷、保险等服务。已经在全国范围内建成地理信息系统、全球定位系统和遥感技术,即3S技术,应用于农业资源和灾害的检测预报方面。德国注重模型模拟技术、计算机决策系统技术、精准农业技术等关键技术的研发和集成。主要的农业信息系统有:德国联邦农业科技文献电子信息网络服务系统、农业生产技术网络服务系统、计算机自动控制技术、网络计算机辅助决策技术的应用等。计算机辅助决策系统为农民提供咨询服务,如开发的麦类病害流行预测和损失预测模拟模型,生长发育模型等。应用模型减少田间调查次数,预测病虫害发生发展趋势,判断作物不同生长阶段的耐害能力,在农业生产中发挥积极作用。

法国是欧洲第一农业生产大国,其农业产值占欧盟农业的20%以上,农产品出口长期位居欧洲首位。从1950年开始,法国积极推进农业机械化,到1970年就全部实现机械化。农业的机械化和自动化大大提高了农民的劳动生产效率,减轻了劳动强度,使农民有能力展开多种经营。20世纪90年代,法国制定和实施生态农业发展计划来控制和提高农产品的品质。观光农业是法国典型的现代化农业模式,无污染且经济效益显著。目前法国正在投入大量的资金、精力来建设智慧城市,智慧农业也是其中一项重要的目标。通过新技术的整合,运用信息和通信技术、机器人技术和智能管控系统等新技术,促进多网络信息资源的共享与运用,发展生产效率更高、资源利用最少、污染最小、食品品质更好、更安全的农业生产环境。

英国较高的工业水平使英国的农业发展早早进入机械化和自动化生产阶段。在英国农业生产结构中,畜牧业占主要地位,其次是种植业。以机器人、自动控制技术、专家系统为代表的信息化技术,使英国农业进入信息化时代,提高了农产品的产量和品质。目前英国自动挤奶设备的普及率达90%以上(见图1-4),一些更为先进的挤奶机器人在一些农场使用。机器人的作用不仅仅是挤奶,还要在挤奶过程中对奶质进行检测,检测内容包括蛋白质、脂肪、含糖量、温度、颜色、电解质等,对不符合质量要求的牛奶,自动传输到废奶存储器;对合格的牛奶,机器人也要把每次最初挤出的一小部



图1-4  
英国自动化挤奶  
设施

分奶弃掉,以确保品质和卫生。挤奶机器人还有一个作用,即自动收集、记录、处理奶牛体质状况、泌乳数量、每天挤奶频率等,并将其传输到电脑网络上。一旦出现异常,会自动报警,大大提高了劳动生产率和牛奶品质,有效降低了奶牛发病概率,节约了管理成本,提高了经济效益。

在英国,通过加载了信息化技术的机械已成为可能。一些养殖场利用电子智能机械手和自动配料机、送料机等进行自动化饲料配制、运输和分发。如一些农场使用的智能饲喂机器,可自动采集来到机器前的牛、猪等个体信息,并根据每头牲畜的具体情况给出不同的饲料组合和饲喂量,保证同一群体中的每个个体都能得到最合理的营养,提高牲畜生长速度和质量。目前,英国大多数养牛和养猪、养鱼场都实现了从饲料配制、分发、饲喂到粪便清理、圈舍等不同程度的智能化、自动化管理。在英国,当农场主把本农场不同地块的具体数据输入专家软件,就可以得到该地块的最佳种植方案、最佳施肥施药方案、农田投入产出分析、农场成本收益分析等。种植过程中,一些农场利用智能化、自动化控制技术开展生产作业。有的农场在作物施肥喷药机械中加装土地智能扫描仪,作业过程中,土地扫描仪对土地状况、作物长势等进行自动扫描和数据处理,并将数据即时传输给施肥喷药设备。施肥喷药设备则根据扫描数据精准区别不同位置作物生长状况,进行变量精准施肥施药,很好地解决了因土地多样性、复杂性带来的施肥不均、施药不均等问题。

日本不仅实现了农业现代化,而且农业整体水平已经达到了世界先进的水平,主要原因是日本政府在发展现代农业的过程中不断对农业政策进行创新和完善,形成了独具特色的现代农业政策体系。日本智慧农业发展先期十分注重农业基础设施的建设,侧重对农村的通信网络如广播、电视、互联网等的建设。在1994年底,日本开发建立农业网络400多个,农业生产部门计算机普及率达到93%。20世纪90年代建立了全国农业技术服务联机网络(实时管理系统:DRESS),每个县都设有DRESS分中心,可迅速得到有关信息,并随时交换信息。日本建立了农业市场信息服务系统,主要是由“农产品中央批发市场联合会”主办的市场销售信息服务系统和“日本农协”发布的农产品生产数量和价格行情预测系统组成。政府为批发市场的运行制定了一套严密的法律。根据法律,批发市场及时将农产品每天的销售及进货数量、价格在网上公布。因此日本的农产品信息的准确、及时和全面的发布,对整个农业起到很好的指导作用。日本建造了

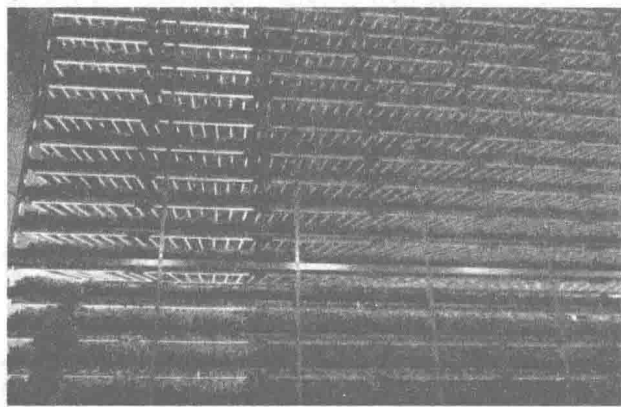


图1-5  
日本的植物工厂

世界上比较先进的植物工厂(见图1-5)。植物工厂(Plant Factory)一词是日本首先提出的。根据日本植物工厂的现状,植物工厂是完全控制型和太阳光利用型营养液栽培系统的总称。它是利用环境自动控制、电子技术、生物技术、机器人和新材料等进行植物周年连续生产的系统,也就是利用计算机对植物生育的温度、湿度、光照、二氧化碳浓度、营养液等环境条件进行自动控制,使设施内植物生育不受自然气候制约的省力型生产。

韩国农业与日本农业特点较为相似,同样也十分注重智慧农业的建设。建立了作物基因、作物育种、动物改良、农业图书馆和文献信息、数据统计分析的五大信息系统。同时,建立了农产远程管理咨询系统,帮助农场主与专家进行沟通交流,专家可通过系统定期传授农业生产知识、生产技术,同时发布作物长势、病虫害预警预报等农业生产信息。韩国的温室自动化控制系统、农业生产环境监控系统十分先进,系统能够远程监控温室内温度、湿度、光照等环境条件数据,农场主可远程实时控制温室内环境条件。

以色列是世界上唯一一个在沙漠上的发达国家,常年干旱缺水,自然条件不利于农业生产,但是以色列发展了先进的节水用水技术,将以色列农业发展成为世界农业学习的榜样。在以色列,90%以上的农业采用了水肥一体化技术,由电脑自动把掺入肥料的水通过塑料管道渗入植株根部。在温室种植方面,科学家们设计了一系列软件,对温室的施水、施肥、气温及作物生长环境进行自动化控制。近年来,以色列又将先进的电子技术应用到农业机械方面,发明了装有计算机和自动装置的拖拉机,能高效完成从犁地、种植到收割的全套田间作业,并以最经济的方式保持操作速度和降低燃料消耗。农业生产部门也十分注重信息的搜集、传播和反馈,以利于将最新的科研成果与技术发明运用到农业中来;通过互联网了解国际需求动态,同时将国内状况向国际市场发布,使供需紧密衔接。

## 二、国内智慧农业发展历史与现状

我国农业领域引进信息技术主要起源于20世纪80年代初,首个计算机应用研究机构:中国农业科学院计算中心于1981年建立,同时引进FELIXC-512系统。农业部首次将农业计算机应用研究列入“七五”公关内容,1986年创刊并公开发行的《计算机农业应用》是第一本农业信息技术专业刊物。1987年农业部设立了信息中心,主要推动信息技术在农业生产管理中的应用,各类专用程序软件大量开发并应用于农业生产和管理。90年代,专家系统研究出现了高潮,农业系统计算机已超过万台。1992年,成立全国性专业学术团体——计算机农业应用分会。目前,农业信息技术在农业中的应用已经越来越普遍,应用目标也从最初的提高产量到现在的生产有竞争力的农产品,农业可持续发展、和谐农村、农业能源的有效利用和环境保护。目前,农业信息技术主要应用于占农业最大比重的种植业领域,包括智能化育种、智能化环境监控、智能化病虫害预警预报、智能化仓储等。

我国是世界农业大国,农业是我国的传统和基础产业。我国政府部门高度重视农业的发展,先后出台了《农业科技发展“十二五”规划》、《关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见》、《全国农垦农产品质量追溯体系建设发展规划(2011—2015)》等政策,全力支持“十二五”期间我国农业的发展。

随着物联网技术的不断发展,越来越多的技术应用到农业生产中。目前,RFID电子标签、远程监控系统、无线传感器监测、二维码等技术日趋成熟,并逐步应用到了智慧农业建设中,提高了农业生产的管理效率、提升了农产品的附加值、加快了智慧农业的建设步伐。

智慧农业建设的脚步日益加快,先进的农业应用系统被广泛推广,越来越多的农民群众接受了这种“开心农场”式的生产方式。目前,利用RFID、无线数据通信等技术采集农业生产信息,以帮助农民及时发现问题,并且准确地确定发生问题的位置,使农业生产自动化、智能化,并可远程控制。比较典型的应用有:

(1) 宁波用物联网技术栽培葡萄。宁波地区通过点击鼠标,中心基站的1台电脑页面上显示1串参数。附近6666.67m<sup>2</sup>葡萄园内的土壤温度、水分含量、空气湿度等一目了然。这些即时数据是由看不见的无线传输网络来完成采集和传送的,可减少人工成本1/3以上。

(2) 郴州智能大棚。2010年5月31日,郴州烟草专卖局将物联网技术应用于郴州烟草现代农业示范基地的建设,实时采集数据,为烟叶作物生长对温、湿、光、土壤的需求规律提供精准的科研实验数据。通过智能分析与联动控制功能,及时精确地满足烟叶作物生长对环境各项指标要求;通过光照和温度的智能分析和精确干预,使烟叶作物完全遵循人工调节等高效、实用的农业生产效果。

(3) 锦州M2M(机器到机器)技术让农民“在家种菜”。锦州市农委成功将M2M技术应用于农业温室大棚监控,利用短信报警和远程监控技术实现了对农业大棚的高效管理。该系统由传



感器将室内的温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub> 浓度传至通信模块,由通信模块通过 GPRS 网络传到 M2M 平台,指标的数据超过预警阈值就产生告警,平台将告警信息以短信的形式发送到大棚工作人员的手机上。同时工作人员利用远程终端登陆 M2M 平台及时提取和查看数据,实现自动监控。

(4) 广西农产品质量追溯升级,柑橘有了“身份证”。广西农垦源头农场全面建立农产品质量追溯系统。在源头农场,柑橘带着小小的“身份证”远销海内外。这张“身份证”就是农产品质量安全追溯系统的安全信息条码,不仅提升了农产品质量安全水平和全程监管能力,还带来了经济效益。

(5) 南京某物联网公司为某农场开发的物联网技术应用案例。这家农场近 30 个标准化大棚内,布满了 40 个温度、湿度、视频、光照等类型的传感器,利用传感器采集数据,系统实时绘制出一目了然的数值空间分布场图,通过物联网模块传输数据,操作人员凭着电脑和手机就能对蔬菜进行实时了解和监控。

(6) 在江苏宜兴市新建镇新建村,“物联网”技术则应用到养殖业领域,切切实实为当地的蟹农们“养”起了螃蟹,蟹农们用手机能随时随地了解养殖塘内的溶氧量、温度、水质等指标参数,并操控自动投喂机按预先设定的间隔时长、投喂量为塘区的水产动物投喂饲料。监控几十亩的水塘,不到 10 分钟就可以全部完成。山东省七级镇为推广食用菌种植,2011 年给冬暖棚配备智能化喷淋系统。解决了食用菌种植的技术“瓶颈”,为菌农们带来了巨大收益。

虽然,目前国内外在农业物联网方面的研究工作方兴未艾,也取得了较多的技术积累。但与欧美等发达国家相比,我国的农业物联网发展还处在起步阶段,尤其体现在应用方面。从已发表的论文和专利看,多数只就问题的一个侧面介入,大多数技术只是在某一生产或流通过程中进行应用,而未涉及农业生产及流通整个体系,在大面积上、大范围内对众多技术实施集成并强调综合生产成本的研究则不多见。

## 第二节 | 智慧农业的框架

### 一、物联网技术信息的感知和传输

物联网被称为继计算机、互联网之后,世界信息产业的第 3 次浪潮。业内专家认为,物联网一方面可以提高经济效益,另一方面可以大大节约成本。农产品生产不同的阶段,都可以用物联网技术来提高工作效率。在种植和培育阶段,应用物联网技术分析实时的土壤信息,来选择合适的农作物;在农产品的收获阶段,应用物联网技术可以实现廉价的信息采集,从而在种植收获阶段进行更精准的测算。目前,美国、欧盟等都在投入巨资深入研究探索物联网。

目前公认的物联网定义是由国际电信联盟给出的。物联网是通过智能传感器、射频识别(RFID)、激光扫描仪、全球定位系统(GPS)、遥感等信息传感设备及系统和其他基于物-物通信模式(M-M)的短距无限自组织网络,按照约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种巨大智能网络(国际电信联盟,2005)。国内,工业和信息化部电信研究院认为物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸,它利用感知技术与智能装备对物理世界进行感知识别,通过网络互联,进行计算、处理和知识挖掘,实现人与物、物与物信息交互和无缝链接,达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的(工业和信息化部电信研究院,2011)。通过上述两个定义可以看出,物联网需要利用感知技术对物理世界进行感知与识别,通过网络互联,进行传输、计算、处理和知识挖掘,实现对物理世界实时控制、精确管理和科学决策,包含感知、传输、处理和应用等层次。

农业物联网是物联网技术在农业生产、经营、管理和服务中的具体应用,就是运用各类传感