

ZHIHUITUFEI

JIANSHE FANGFA YANJIU YU

SHIJIAN TANSUO

智慧土肥

建设方法研究

实践探索

与

赵永志 王维瑞 主编

 中国农业出版社

智慧土肥建设

方法研究与实践探索

赵永志 王维瑞 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

智慧土肥建设方法研究与实践探索/赵永志, 王维瑞
主编. —北京: 中国农业出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-109-19685-8

I. ①智… II. ①赵… ②王… III. ①土壤肥力—研究
IV. ①S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 239755 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 肖 邦 黄向阳

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月北京第 1 次印刷

开本: 700mm×1000mm 1/16 印张: 17.75

字数: 320 千字

定价: 36.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编写人员

主编 赵永志 王维瑞

参编 (按姓氏笔画排序)

于跃跃	王胜涛	王维瑞	文方芳
曲明山	刘 彬	刘 瑜	刘自飞
刘继远	李 萍	李旭军	李昌伟
杨涵默	吴文强	何威明	陈 娟
陈天恩	季 卫	金 强	赵永志
赵青春	贾小红	高 飞	高启臣
高振新	郭 宁	梁金凤	韩亚钦
韩秀海	廖 洪	谭晓东	颜 芳

前 言

随着信息技术的不断发展,特别是互联网、云计算、物联网等信息网络技术的广泛应用,使社会生产方式与生活方式发生了深刻而天翻地覆的变化与变革,也使社会各个领域不断变得更“智能”、更“智慧”,智慧化已不可否认、不可避免地成为当今社会各领域、各行业、各地区重要的发展方向、目标与时尚。

近年来,物联网、云计算等计算机技术、微电子技术、通信技术、光电技术、遥感技术等多项技术开始在农业生产中广泛推广、应用,并包括了产前、产中、产后全过程管理,实现农业的智能化、智慧化发展。建设智慧农业在农业领域逐渐形成共识,并不断深入人心。智慧农业是现代农业发展到信息化进而向智慧化演进的过程,表现为以信息技术和信息控制装备为基础到以知识、网络、自动控制和智慧决策为基础的转变。智慧农业的实现可以促进农业的可持续发展,进而促进生态文明建设目标的实现。

智慧农业的建设离不开土肥的智慧发展。智慧土肥是智慧农业的有机组成部分和建设基础,智慧土肥建设对于智慧农业完善具有重要意义。从工作对象上看,智慧土肥管理的土壤、肥料、作物是智慧农业的基础要素,是智慧农业工作对象的子集。从应用成熟度上看,农业环境智能监测、墒情自动监测、耕地质量全面管理、智慧施肥等在当前的智慧农业建设中均既是基础也是应用相对成熟的领域,在当今智慧农业建设过程中已率先取得突破。从技术应用上看,支撑土肥智慧发展的智慧技术的研究与应用必然带动智慧农业支撑技术体系的完善和发展。从发展经验上看,智慧土肥建设的经验必将为智慧农业的建设提供经验支持,为智慧农业建设提供参考。

从概念上看,可以说智慧土肥是土肥工作信息化发展的高级阶段。从实效上看,智慧土肥在提高农业生产效率、改善农业生态环境、

变革农业管理和服务模式等方面具有重要作用。因此,以发展的眼光来看,无论是在智慧土肥的研究还是实践方面,进行积极有效的探索都显得尤为重要和紧迫。

从当前智慧发展研究的现状看,虽然各类智慧技术在农业不同领域的应用取得了一定的成果,然而,无论在顶层设计、理论体系、标准体系、安全体系、应用体系和组织体系等各方面,智慧农业的研究与实践仍处于起步与探索阶段。随着智慧农业的研究与实践不断发展,智慧土肥研究与实践也在各地、各领域逐渐展开,相关案例和效果经常见诸报端,但作为一个独立的研究与实践领域,智慧土肥的理论研究和实践探索多是分散的、非自主的,系统性、体系性的智慧土肥理论与实践还须加强。

本书从智慧农业的内涵与特征出发,系统性地分析了智慧土肥的地位与作用、发展基础及发展愿景;进而基于土肥业务发展的智慧化需求出发,提出了智慧土肥的总体框架、技术体系,并对智慧土肥建设中的核心业务系统进行了需求分析和设计。然后,本书结合各地区、各领域的智慧土肥实践经验,对智慧土肥的建设方法进行了研究,分析了智慧土肥建设的组织架构、推动策略、投入模式、标准规范建设策略、系统建设与整合策略以及应用实施策略,以期为智慧土肥的推动与建设提供参考。

全书共分为八章。

第一章首先介绍了智慧农业提出的背景、智慧农业的内涵与特征、智慧农业发展的基础与挑战,然后分析了智慧农业建设与土肥智慧发展的关系,最后基于智慧土肥建设的基础,提出了土肥智慧发展的愿景。

第二章首先介绍了土肥工作的对象与内容、土肥业务的基本框架,然后以土肥业务框架为基础,分析了土肥智慧业务需求,最后基于农业种植管理计划模型,分析了土肥智慧技术需求。

第三章首先建立了智慧土肥关键技术应用框架,以应用框架为指导,具体介绍了物联网技术、土肥信息采集技术、土肥信息传输技术、土肥信息处理技术、自动控制技术以及智慧支撑技术,并分析了相关

技术在智慧土肥中的应用。

第四章提出了智慧土肥建设原则,设计了智慧土肥应用的总体框架和多层级建设框架,并重点对框架中的通用和基础内容进行了设计,主要包括感知终端架构设计、传输网络架构设计及智慧土肥应用支撑平台设计。

第五章主要对智慧土肥中的作物生长及需肥水规律智慧管理系统,耕地质量及肥力智慧管理系统,作物、肥、水关系动态控制与管理系统,农业投入品(肥料)智能监管系统,智慧设施农业系统,智能决策系统进行了需求分析与简要设计。

第六章重点分析了智慧土肥的建设方法,具体包括智慧土肥建设的总体思路、组织架构、投入模式、标准规范建设,提出了智慧土肥系统建设与整合策略、智慧土肥应用的实施策略。

第七章对当前土肥智慧发展中的技术、业务与发展案例进行了分析。

第八章对智慧土肥的未来发展进行了展望。

由于编者水平有限,书中疏漏在所难免,请读者多提宝贵意见。感谢各位老师、朋友和同事对本书出版的帮助和支持。

编 者

2014年6月

目 录

前言

第一章 绪言	1
第一节 信息技术与农业智慧化	1
一、智慧农业提出的背景	1
二、智慧农业的内涵	2
三、智慧农业的特征	4
四、智慧农业发展的基础与挑战	8
第二节 智慧农业建设与土肥智慧发展	12
一、土肥工作是现代农业发展的基础工作	12
二、智慧农业是土肥智慧发展的基础	13
三、智慧土肥是智慧农业的有机组成部分	13
四、智慧土肥是土肥信息化的高级阶段	14
第三节 土肥智慧化发展的基础	14
一、网络基础	15
二、数据基础	16
三、业务系统基础	17
四、新技术应用示范基础	19
第四节 土肥智慧化发展的愿景	21
第二章 土肥业务智慧化需求分析	23
第一节 土肥业务概述	23
一、土肥工作对象与内容	23
二、土肥基本业务框架	24
第二节 土肥智慧业务需求分析	27
一、作物生长及需肥水规律智慧管理	27
二、耕地质量及肥力智慧管理	29
三、作物、肥、水关系动态控制与管理	31
四、土肥投入品智能监管	32
五、智慧土肥决策	33
六、土肥信息智慧服务	34

第三节 土肥智慧技术需求分析	35
一、土肥业务的技术过程分析	35
二、土肥智慧支撑技术需求分析	37
第三章 智慧土肥关键技术	45
第一节 关键技术体系框架	45
第二节 物联网	46
一、物联网的提出	46
二、物联网的内涵	47
三、物联网的技术架构	48
四、物联网的关键技术	48
五、物联网在土肥中的应用	49
第三节 土肥信息采集技术	51
一、土肥信息传感器技术	51
二、土肥图像信息采集技术	66
三、遥感技术	67
四、土肥个体信息识别技术	70
五、卫星导航信息采集技术	73
六、地理信息系统技术	76
第四节 土肥信息传输技术	77
一、无线传感网络技术	77
二、移动通信技术	82
三、信息传输技术在土肥领域的应用	83
第五节 土肥信息处理技术	84
一、大数据技术	84
二、云计算技术	87
三、计算机视觉信息处理技术	93
第六节 自动控制技术	94
第七节 智慧支撑技术	96
一、预测预警技术	96
二、模型技术	97
三、专家系统技术	98
四、知识推理技术	99
五、本体及其应用	101
第四章 智慧土肥总体框架	103
第一节 建设原则	103

第二节 智慧土肥应用总体框架	103
一、智慧土肥层次框架	104
二、智慧土肥多级应用框架	105
第三节 感知终端架构设计	106
一、传感设备布点基本方法	106
二、信息采集节点设计	107
第四节 传输网络架构设计	109
一、智慧土肥传输网络基本框架	109
二、无线传感网络架构设计	111
第五节 智慧土肥应用支撑平台设计	113
一、智慧土肥应用支撑平台定位与框架	113
二、传感设备接入管理系统	115
三、传感设备编码赋码系统	118
四、传感设备基础信息管理系统	119
五、智慧土肥信息交换管理系统	120
六、智慧土肥信息整合系统	122
七、智慧土肥信息位置服务系统	123
八、认证授权管理系统	125
九、云存储系统基本功能	128
第五章 智慧土肥核心应用系统需求与设计	132
第一节 作物生长及需肥水规律智慧管理系统	132
一、概述	132
二、业务需求	132
三、系统结构及功能	134
第二节 耕地质量及肥力智慧管理系统	137
一、概述	137
二、业务需求	138
三、系统构成及功能	141
第三节 作物、肥、水关系动态控制与管理系统	142
一、概述	142
二、智能灌溉子系统	143
三、智慧施肥子系统	148
第四节 农业投入品(肥料)智能监管系统	154
一、概述	154
二、总体框架	155
三、系统与功能设计	157

第五节 智慧设施农业系统	161
一、概述	161
二、业务需求	162
三、系统架构	164
四、功能设计	164
第六节 智能决策系统	166
一、概述	166
二、业务需求	167
三、主要模型	168
四、处理过程与系统结构	174
第六章 智慧土肥建设方法	176
第一节 智慧土肥建设的总体思路	176
第二节 智慧土肥建设的组织架构	178
第三节 智慧土肥推动策略	180
第四节 智慧土肥投入模式	184
第五节 智慧土肥标准规范建设	187
一、智慧土肥标准规范体系框架	187
二、智慧土肥标准建设策略	189
第六节 智慧土肥系统建设与整合策略	191
一、当前智慧土肥系统建设模式	191
二、智慧土肥系统整合策略	195
第七节 智慧土肥应用实施策略	201
一、区域试验策略	201
二、因地制宜策略	203
三、地域推进策略	204
四、阶段性推进策略	206
第七章 智慧土肥的萌芽	207
第一节 土肥智慧技术研究情况	207
一、土肥信息采集技术研究情况	207
二、作物监测技术研究情况	208
三、传感网络技术研究及应用	210
四、预测模型与预测方法研究情况	211
五、精准与变量技术研究情况	212
第二节 智慧土肥系统研究与建设情况	214
一、土肥信息自动监测系统建设情况	214

二、作物生长及需肥智能监测系统建设情况	215
三、自动控制系统建设情况	216
四、智能施肥系统建设情况	217
五、设施农业智慧化应用系统建设情况	217
六、决策与智慧支持系统建设情况	219
第三节 区域智慧土肥实践进展情况	219
一、省级实践案例	220
二、市级实践案例	224
三、区县级实践案例	226
第四节 基于云服务的智慧土肥系统构建与应用探索	231
一、概述	231
二、土壤养分采集布点策略分析	231
三、智慧施肥推荐系统	240
第八章 土肥智慧发展展望	251
第一节 智慧土肥技术发展的趋势	251
第二节 当前智慧土肥建设中急需解决的问题	254
第三节 智慧土肥发展近期面临的主要任务	257
参考文献	263

第一章 绪 言

随着信息技术的不断创新发展及其与社会各个领域的相互融合渗透，信息技术的提升为科学和社会经济的发展带来了巨大的机遇。农业作为关系着国计民生的基础产业，其信息化、智慧化的程度尤为重要。从感知中国到感知农业，从智慧地球到智慧农业，智慧农业的建设正成为我国农业从传统农业向现代农业推进的重要助力。智慧农业的建设为土肥工作带来了机遇也提出了挑战。作为农业基础组成部分的土壤、肥料、水资源管理工作如何在智慧化建设过程中充分发挥自身的作用，并充分利用信息技术武装自己，在实现自身智慧化发展的同时，为智慧农业的建设贡献出自身的力量，成为土肥工作者继网络化、数字化建设之后的又一重要课题。本章首先分析智慧农业产生的背景及内涵，然后探讨智慧农业建设对于土肥工作的要求，最后探索土肥智慧发展的基础和愿景。

第一节 信息技术与农业智慧化

一、智慧农业提出的背景

智慧农业的提出与发展是伴随着智慧地球的提出与发展的。2008年，IBM公司首席执行官彭明盛（Samuel J. Palmisano）首次提出了“智慧地球”（Smart Planet）的概念。他认为，智能技术正应用到生活的各个方面，如智慧的医疗、智慧的交通、智慧的电力、智慧的食品、智慧的货币、智慧的零售业、智慧的基础设施甚至智慧的城市，这使地球变得越来越智能化。此后不久“智慧地球”成为美国国家战略的一部分。

2009年11月，温家宝发表了题为《让科技引领中国可持续发展》重要讲话，提出“在应对这场国际金融危机中，各国正在进行抢占经济科技制高点的竞赛，全球将进入空前的创新密集和产业振兴时代。我们必须在这场竞争中努力实现跨越式发展。”“要着力突破传感网、物联网的关键技术，及早部署后IP时代相关技术研发，使信息网络产业成为推动产业升级，迈向信息社会的‘发动机’”。目前，中国已将物联网技术列入国家中长期科技发展规划。

在农业方面，以物联网为代表的信息技术和智能化技术在农业生产和管理过程中不断得到普及和应用。20世纪90年代，随着互联网技术在中国的成熟

和普及，计算机互互联网开始进入农业领域，从事农业人员甚至普通农民，可以随时随地及时快捷地获得各种科技信息、管理信息、市场供求信息、气象与土壤信息、作物信息等。互互联网和计算机信息技术的结合，正在改变因农业高度分散、生产规模小、时空变异大、量化与规模化程度低、稳定性和可控程度差等行业性弱点。另一方面，我国的农业技术也得到了快速发展，农作物栽培管理、测土配方施肥等农业技术不断完善，并开始服务农业发展。进入 21 世纪，随着物联网技术、移动通信技术、云计算技术以及大数据技术在农业领域的应用逐渐深入，并与农业生产技术不断相互融合、相互支撑，形成了新的生产力，使得农业网络化、数字化、智能化水平不断得到提高，智慧农业的建设也提到了议事日程。

智慧农业实质上是适应新时代的技术革命、新型智能化革命和关注人类身体健康而提出的一种新的发展思路。它是建立在信息智能化技术基础之上，既体现现代科技管理和科技方法在生产过程中的广泛应用，又要兼顾考量生态环境可持续发展和人类的身心健康与幸福。智慧农业是生态农业建设的手段和发展道路。

二、智慧农业的内涵

作为一种新兴事物和正在探索建设过程中的内容，对于智慧农业的理解可谓是“仁者见仁、智者见智”。目前对于智慧农业的界定典型的有形态说、目标说、系统说、阶段说和道路说等观点和看法。

1. 形态说 智慧农业的形态说将智慧农业看成是现代农业的发展模式与形态。典型的说法有：李道亮认为智慧农业是以最高效率地利用各种农业资源，最大限度地降低农业成本和能耗、减少农业生态环境破坏以及实现农业系统的整体最优为目标，以农业全产业、全过程智能化为特征，以全面感知、可靠传输和智能处理等物联网技术为支撑和手段，以自动化生产、最优化控制、智能化管理、系统化物流和电子化交易为主要生产方式的高产、高效、低耗、优质、生态和安全的一种现代农业发展模式与形态（李道亮，2012）。唐世浩等认为智慧农业是以物联网技术为支撑和手段的一种现代农业形态。其最大特点是以高新技术和科学管理换取资源的最大节约。智慧农业为现代农业的发展提供了一条光明之路，将各式传感器，如温度、湿度、水分，放置在种植区域，再把众多农业技术专家收集的数据输入电脑，建立一套科学的程序。这样，就形成了用电脑模拟人脑进行推理决策的完整系统，实现了对各种单项农业先进技术成果进行综合组装配套。综上所述，智慧农业不仅能提高资源的附加值、减少资源的消耗，还能彻底改变粗放的农业经营管理方式（唐世浩等，2002）。

2. 目标说 智慧农业的目标说则是认为智慧农业建设是为了实现农业的

各项发展目标。如中国农业科学院研究员周国民研究员认为：智慧农业是充分利用信息技术，包括更透彻的感知技术、更广泛的互联互通技术和更深入的智能化技术，使得农业系统的运转更加有效、更加智慧，以使农业系统达到农产品竞争力强、农业可持续发展、农业资源有效利用和环境保护的目标。智慧农业着眼的不是农业信息技术在农业中的单项应用，而是把农业看成一个有机联系的系统，信息技术综合、全面、系统地应用到农业系统的各个环节，是以促进和实现农业系统的整体目标为己任的（周国民，2009）。

3. 系统说 智慧农业的系统说则是将智慧农业看作是计算机信息系统，持这种观点的学者较多。例如，李保国、刘忠认为：“智慧农业”是智能农业专家系统，是“感知中国”理念在农业发展中的具体应用，指利用物联网技术、云计算技术等信息化技术实现“三农”产业的数字化、智能化、低碳化、生态化、集约化，从空间、组织、管理整合现有农业基础设施、通信设备和信息化设施，使农业和谐发展实现“高效、聪明、智慧、精细”。“智慧农业”是两化融合在农业发展领域中的具体实践和应用（李保国、刘忠，2005）。

彭程认为：智慧农业是农业专家智能系统、农业生产物联控制系统和有机农产品安全溯源系统，三大系统利用网络平台技术、运用云计算方法，实现农业信息数字化、农业生产自动化、农业管理智能化，从而构建低碳节能、高效高产、绿色生态的现代农业体系（彭程，2012）。

李宝林认为：智慧农业信息化系统就是基于物联网技术，通过各种无线传感器实时采集农业生产现场的光照、温度、湿度等参数及农产品生长状况等信息而进行远程监控生产环境。将采集的参数信息进行数字化和转发后，实时对传输网络进行汇总整合，利用智慧农业信息化系统进行定时、定量、定位云计算处理。同时可以通过移动终端（如 Android 智能手机等）访问远程的数据库服务器来获取相关的数据信息，并可以远程操控这些部署在农田内的传感器，利用移动互联网和云服务科学调配资源，实现对农作物的科学管理（李宝林，2013）。

4. 阶段说 智慧农业阶段说将智慧农业看作是农业发展的一个阶段，普遍的观点认为智慧农业是农业发展的高级阶段。如施连敏等认为：所谓智慧农业就是充分应用现代信息技术成果，集成应用计算机与网络技术、物联网技术、音视频技术、3S 技术、无线通信技术及专家智慧与知识，实现农业可视化远程诊断、控制、灾变预警等智能管理。智慧农业是农业生产的高级阶段，集新兴的互联网、移动互联网、云计算和物联网技术为一体，依托部署在农业生产现场的各种传感节点（环境温、湿度，土壤水分，二氧化碳，图像等）和无线通信网络实现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、智能化决策（施连敏等，2013）。

5. 我们的观点：道路说 我们延续《生态文明视域下的土肥未来发展道路》一书中的理解，智慧农业是生态农业的一种发展道路，智慧农业建设的目标是利用新技术实现农业可持续发展，进而实现生态文明建设的目标。

农业智慧化是智慧地球的一部分。它首先是一种社会经济形态，是农业经济发展到某一特定过程的概念描述。它不仅包括物联网、云计算等计算机技术，还应包括微电子技术、通信技术、光电技术、遥感技术等多项技术在农业上普遍而系统应用的过程。农业智慧化又是现代化农业发展到信息农业进而向智慧农业演进的过程，表现为以信息技术和信息控制装备为基础到以知识、网络、自动控制和智慧决策为基础的转变。

“智慧农业”能够有效改善农业生态环境。智慧农业将农田、畜牧养殖场、水产养殖基地等各个生产单位和周边的生态环境视为整体，并通过对其物质交换和能量循环关系进行系统、精密运算，保障农业生产的生态环境。

“智慧农业”能够显著提高农业生产经营效率。智慧农业基于精准的农业传感器进行实时监测，利用云计算、数据挖掘等技术进行多层次分析，并将分析指令与各种控制设备进行联动完成农业生产、管理。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。

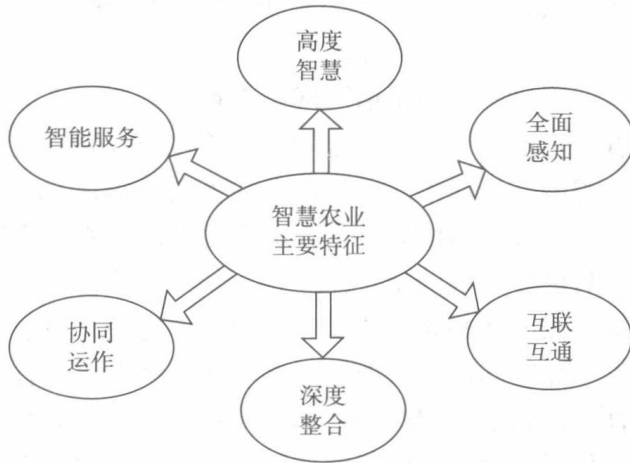
“智慧农业”能够彻底转变农业生产者、消费者观念和组织体系结构。智慧农业完善的农业科技和电子商务网络服务体系，使农业相关人员足不出户就能够远程学习农业知识，获取各种科技和农产品供求信息；专家系统和信息化终端成为农业生产者的大脑，指导农业生产经营，改变了单纯依靠经验进行农业生产经营的模式，彻底转变了农业生产者和消费者对传统农业落后、科技含量低的认识。另外，智慧农业阶段，农业生产经营规模越来越大，生产效益越来越高，迫使小农生产被市场淘汰，必将催生以大规模农业协会为主体的农业组织体系。

三、智慧农业的特征

从智慧农业的内涵不难发现，智慧农业从技术上和业务上均呈现出有别于数字农业的特征，而正是这些特征明确了智慧农业的发展目标。

1. 智慧农业的技术特征 如图 1-1 所示，智慧农业具有如下技术特征：

(1) 全面感知 更全面、更加透彻的感知是智慧农业的基础也是其基本特征，即运用视觉采集和识别设备、各类传感器、无线定位系统、射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)、条码识别等各种传感技术和设备，实现对农业生产与管理各方面的监测和感知，变被动为主动地全面感知。充分



利用各类随时随地的传感设备和智能化系统，智能识别、立体感知农业生产环境、状态、位置等信息的全方位变化，对感知数据进行融合、分析和处理，并能与业务流程智能化集成，继而主动做出响应，促进农业生产和管理各个关键系统和谐高效地运行。另一方面，智慧农业基于云计算、物联网、移动互联网、大数据等基础信息架构，不间断地通过信息终端提供信息服务，信息需求者可按需随时获取信息，从而增强环境的友好性，提高农业生产和管理的效率和科学性。

实现全面、透彻的感知是一项艰巨的任务，传感技术和设备的发展是关键，传感设备在智慧农业中的广泛嵌入是基础，这种基础形成了智慧农业的“感觉器官”。应该指出的是，“广泛覆盖”并不意味着对农业的每一个角落进行全方位的信息采集，这既不可能也无必要，智慧农业的信息采集体系应以农业系统的适度需求为导向，过度追求全面覆盖既增加成本又影响效率。

(2) 互联互通 在广泛的连接基础上形成互联互通的网络体系，实现可靠传递是智慧农业的基本特征之一。各类宽带有线、无线网络技术的发展为农业生态系统中物与物、人与物、人与人的全面互联、互通、互动，为农业各类随时、随地、随需、随意应用提供了基础条件。宽带泛在网络作为智慧农业的“神经网络”，极大地增强了智慧农业作为自适应系统的信息获取、实时反馈、随时随地智能服务的能力。智慧农业融合移动互联网、电信网、互联网、物联网形成泛在化的网络承载系统，并安全可靠地将各种采集信息和控制信息进行实时准确的可靠传递。基于广泛联结的可靠传递是智慧农业的信息来源的基础，广泛联结如同智慧农业的“经络”，而可靠传递如同智慧农业传递来自外界的准确“刺激”信息，是智慧农业对外界信息的准确通信途径。“深度互联”