

前 言

当今世界，人工智能、移动通信等技术飞速发展，大数据加速向传统产业渗透，改变了人们的思维方式和社会的生产方式，对社会生活、经济运行、公共治理等产生了重大影响。农业是大数据产生和应用的重要领域之一，也是我国大数据发展的基础和重要组成部分。随着信息化和农业现代化的深入推进，农业大数据正与农业产业全面深度融合，成为农业生产的定位仪、农业市场的导航灯和农业管理的指挥棒。

本书以农业大数据为主线进行撰写。第1~3章首先从农业发展阶段、当代世界农业、信息技术发展等方面介绍农业大数据产生的背景；然后介绍大数据在气象、交通、金融、健康等行业的应用情况以及大数据技术流程、技术挑战等；最后对计算机农业应用历史进行梳理，介绍农业大数据内涵、农业大数据类别、农业大数据应用等。第4~8章分别从农业大数据的采集、预处理、管理、处理、分析等五个方面进行介绍。第9~11章介绍农业大数据在智慧种植、智慧养殖以及农产品溯源等领域的应用情况。本书基于作者在农业大数据和智慧农业领域多年积累的研究成果，旨在帮助读者全面了解农业大数据理论与实践。

特别感谢导师王文生老师一直以来的指导、督促和鼓励，使得本书能够得以撰写完成。另外，在本书的撰写过程中得到了李敏、钱学梁、王鑫、彭杨威、于晓翠、文青青、章阳亮、张宇芹、胡天赐、刘严红、晏川博、李泽昱等的支持和帮助，他们为本书的资料搜集、案例整理、图片修订、文字校对、公式编辑等做了大量工作；感谢中国石油大学陈明教授，中国农业科学院农业信息研究所杨勇研究员、孙志国研究员、谢能付研究员以及农业农村部信息中心尹国伟研究员等为本书撰写给予的指导。

本书得到了科技创新2030“新一代人工智能”重大项目(2021ZD0110901)、国家重点研发计划青年科学家项目(2025YFD1700700)、中国农业科学院创新工程、内蒙古自治区科技重大专项课题(2020ZD0004)、新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2022B02027、2023B02013)、贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2023])以及新疆智慧养殖重点实验室的支持。在本书撰写过程中参考了大量国内外文献资料和优秀研究成果，大大充实了本书的内容，在此对相关作者表示

衷心感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

2025 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 农业发展阶段	1
1.1.1 原始农业	1
1.1.2 传统农业	2
1.1.3 现代农业	2
1.2 当代世界农业	3
1.2.1 世界农业基本情况	3
1.2.2 世界农业面临挑战	4
1.2.3 世界农业发展趋势	5
1.3 信息技术发展	7
1.3.1 现代移动通信技术	7
1.3.2 人工智能与大语言模型	8
1.3.3 虚拟现实	9
参考文献	10
第 2 章 大数据技术与行业应用	11
2.1 大数据概述	11
2.1.1 大数据时代	12
2.1.2 大数据涌现	12
2.1.3 大数据概念	15
2.2 大数据技术	17
2.2.1 大数据技术流程	17
2.2.2 大数据技术挑战	19
2.3 大数据行业应用	21
2.3.1 气象大数据	22
2.3.2 交通大数据	22
2.3.3 金融大数据	23
2.3.4 健康医疗大数据	24
参考文献	24

第3章 农业大数据概述	26
3.1 计算机农业应用	26
3.1.1 计算机农业	26
3.1.2 数字农业	27
3.1.3 精准农业	27
3.1.4 智慧农业	28
3.2 农业大数据内涵	29
3.2.1 农业大数据概念	29
3.2.2 农业大数据特征	31
3.2.3 农业大数据架构	33
3.2.4 农业大数据流程	34
3.3 农业大数据类别	36
3.3.1 农业生产数据	36
3.3.2 农业管理数据	37
3.3.3 农业经营数据	38
3.3.4 农业服务数据	39
3.3.5 农业科研数据	39
3.4 农业大数据应用	40
3.4.1 环境优化与生态持续领域	40
3.4.2 生产高效与智能管理领域	41
3.4.3 灾害监测与风险防范领域	42
3.4.4 种业资源与科技竞争领域	43
3.4.5 产品安全与追溯管理领域	43
3.4.6 产品市场与消费舆情领域	44
参考文献	45
第4章 农业大数据采集	46
4.1 农业大数据采集概述	46
4.1.1 定性数据采集	46
4.1.2 样本数据采集	47
4.1.3 局部数据采集	48
4.1.4 系统数据采集	49
4.2 农业大数据采集平台	50
4.2.1 农业卫星	50
4.2.2 农业无人机	51
4.2.3 农业机器人	52

4.3 农业大数据采集渠道	53
4.3.1 农业遥感数据采集	53
4.3.2 农业物联网数据采集	54
4.3.3 农业数据直报采集	55
4.3.4 农业互联网数据采集	56
4.4 农业网络爬虫技术	57
4.4.1 网络爬虫基本概念	57
4.4.2 常用网络爬虫技术	57
4.4.3 网络爬虫主要步骤	58
4.4.4 网络爬虫合规与安全	61
参考文献	62
第 5 章 农业大数据预处理	64
5.1 农业大数据清洗	64
5.1.1 数据清洗方法	65
5.1.2 数据清洗流程	66
5.2 农业大数据转换与标准化	67
5.2.1 数据标准化/归一化	68
5.2.2 数据离散化	68
5.2.3 数据重采样	69
5.2.4 数据标注	70
5.3 农业大数据去噪与增强	72
5.3.1 数据去噪	72
5.3.2 数据增强	73
5.4 农业大数据质量评估	75
5.4.1 数据质量调查评估	76
5.4.2 数据质量指标法	78
参考文献	80
第 6 章 农业大数据管理	81
6.1 数据管理技术发展	81
6.1.1 数据管理阶段划分	81
6.1.2 数据管理技术挑战	82
6.2 关系型数据管理	83
6.2.1 关系型数据模型	84
6.2.2 关系型数据库系统	84
6.2.3 NewSQL 数据库	85

6.3 非关系型数据管理	86
6.3.1 键值数据库	88
6.3.2 文档数据库	88
6.3.3 列式数据库	89
6.3.4 图数据库	91
6.4 基于 Neo4j 的农业大数据管理	92
6.4.1 Neo4j 数据库	92
6.4.2 数据清洗和预处理	95
6.4.3 知识图谱构建与整合	96
6.4.4 “一村一品”知识图谱	98
参考文献	99
第 7 章 农业大数据处理	102
7.1 数据处理概述	102
7.1.1 常见的数据处理技术	103
7.1.2 大数据处理技术分类	104
7.2 批处理技术	105
7.2.1 函数式编程	106
7.2.2 MapReduce 起源	107
7.2.3 MapReduce 模型	107
7.2.4 主要批处理系统	109
7.3 流处理技术	111
7.3.1 有向无环图	111
7.3.2 流处理有向无环图表示	112
7.3.3 流处理基本模型	113
7.3.4 主要流处理系统	113
7.4 马智慧养殖大数据平台	115
7.4.1 非结构化存储集群	116
7.4.2 全局化数据分析	117
7.4.3 Web 集群化一体平台	117
7.4.4 马智慧养殖大数据中心	118
参考文献	119
第 8 章 农业大数据分析	120
8.1 数据分析概述	120
8.1.1 数据分析类型	121
8.1.2 数据分析步骤	121

8.2 传统数据分析方法	122
8.2.1 统计学分析	122
8.2.2 图表分析	125
8.2.3 机器学习分析	126
8.3 大数据分析方法	128
8.3.1 大数据分析特点	128
8.3.2 大数据分析技术	130
8.3.3 农业大数据分析	135
8.4 防返贫大数据分析	137
8.4.1 防返贫风险预警模型	137
8.4.2 脱贫人口数据	138
8.4.3 返贫风险预警分析	139
参考文献	142
第 9 章 智慧种植大数据	144
9.1 农作物生长环境数据	144
9.1.1 农作物生长环境概述	145
9.1.2 农作物生长环境监测技术	148
9.2 农作物生长数据	151
9.2.1 农作物生长表型概述	151
9.2.2 农作物生长感知技术	155
9.3 农作物生长管理数据	160
9.3.1 农业生产管理	160
9.3.2 农作物宏观监测	163
9.3.3 大数据与农场大脑	164
9.4 作物种植数据监测	166
9.4.1 作物种植数据采集	167
9.4.2 作物种植分类方法	167
9.4.3 作物种植分类预测	168
参考文献	171
第 10 章 智慧养殖大数据	172
10.1 畜禽养殖环境数据	172
10.1.1 畜禽养殖环境概述	173
10.1.2 畜禽养殖环境监测技术	173
10.2 畜禽养殖表型数据	177
10.2.1 畜禽养殖表型概述	177

10.2.2 数据采集技术	180
10.3 畜禽养殖管理数据	182
10.3.1 畜禽电子档案管理	183
10.3.2 畜禽繁育信息管理	185
10.3.3 畜禽饲喂信息管理	187
10.3.4 畜禽防疫信息管理	188
10.4 放牧绵羊行为监测	189
10.4.1 相关技术	190
10.4.2 放牧绵羊行为数据集构建	191
10.4.3 放牧绵羊行为分类模型	191
10.4.4 放牧绵羊行为监测系统	192
参考文献	194
第 11 章 农产品溯源大数据	196
11.1 农产品溯源概述	196
11.1.1 农产品溯源链条	196
11.1.2 畜产品溯源链条	198
11.2 农产品溯源数据	200
11.2.1 农产品溯源数据类型	200
11.2.2 农产品溯源数据采集	201
11.2.3 农产品溯源数据存储	202
11.2.4 农产品溯源数据共享	202
11.2.5 农产品溯源数据安全	203
11.3 农产品溯源技术	204
11.3.1 条形码技术	204
11.3.2 二维码技术	204
11.3.3 RFID 技术	205
11.3.4 区块链标识技术	206
11.4 基于区块链的猕猴桃溯源大数据系统	206
11.4.1 猕猴桃溯源大数据系统架构	207
11.4.2 猕猴桃溯源系统功能模块设计	208
11.4.3 Fisco-Bcos 区块链网络实现	209
11.4.4 猕猴桃溯源大数据系统实现	209
参考文献	210

第1章 引言

信息技术与经济社会的交汇融合引发了数据迅猛增长，数据已成为国家基础性战略资源，大数据正日益对全球生产、分配、流通、消费活动以及经济运行机制、社会生活方式和国家治理能力产生重要影响。农业是大数据产生和应用的重要领域之一，随着智慧农业的快速发展，农业大数据正与农业产业各个环节深度融合，为生产环节精准管控、市场供需动态匹配、产业管理科学决策等提供数据支撑，为后续研究农业大数据的落地应用明确现实背景。

1.1 农业发展阶段

农业是指利用动物、植物等的生长发育规律，通过人工培育来获得农产品的生产活动。农业涵盖种植业、林业、畜牧业、渔业等，具有明显的地域性、季节性和周期性等特征。农业是人类文明的源头，在上百万年的进化过程中，人类主要以被动地从自然界获取食物为生。直至约一万年前的新石器时代，人类开始有意识地播种植物果实、驯养野生动物以供其食用或使用，原始农业生产形态由此产生，人们开始从事农业种植和畜牧，不再被动地依赖大自然提供食物。原始农业经历了漫长的演化过程，从最初的手工耕作逐渐演变为现代农业，深刻影响着世界各国的社会变革和经济发展。

1.1.1 原始农业

原始农业是指在完全原始的自然环境下，运用简陋的石器、棍棒等生产工具，开展简单农事活动的农业类型。这一农业形态大致起始于新石器时代，是由采集、狩猎逐步转变而来的一种接近自然状态的农业，属于世界农业发展的最初阶段。原始农业的基本特点为使用简易的石制工具，采用粗放的刀耕火种耕作方式，实行以简单协作为主的集体劳动模式。在原始农业形成之前，采集和狩猎是人类获取生活资料的主要生产方式。随着生产工具的改善和生产经验的积淀，人类逐渐开始了解动植物的生活习性，并通过主动栽培植物、驯养动物、依靠劳动增加天然生产物，原始农业由此产生。原始农业让人类有了稳定的粮食来源，促进了定居点(聚落)的形成，是人类发展史上的第一次重大革命。

原始农业的基本特征包括如下几点，①生产工具简单落后，以石犁、石斧、石刀、石铲、石镰、石铧等为主；②耕作方式原始粗放，采用刀耕火种

的方式，即使用石刀、石斧等砍伐树木后再用火焚烧，使土地变松软，获得富含钾等元素的草木灰作为肥料，就地挖坑播种；③在生产组织方式上以简单协作的集体劳动为主，所获取的生活资料较为有限，仅能满足低水平的共同生活需求。

1.1.2 传统农业

原始农业为传统农业的出现奠定了物质基础和技术基础。随着技术的不断发展，以铁犁牛耕、精耕细作为标志的传统农业逐渐成为新的农业生产形态，这是农业发展史上的第二次重大革命。其中，犁具的革新成为关键驱动力，促进了耕作方式的三大质变。其一，突破点式作业局限，形成线性翻土播种模式；其二，推动单一农具向系统化配套农具体系演进；其三，作为农耕文明的分水岭，标志着人类开始主动改造自然生态。

传统农业是主要采用传统手工工具及铁器，以人力和畜力为基本动力，凭借精耕细作和经验知识体系从事生产活动的农业形态。其技术特征呈现显著进步，金属、木质农具全面替代石器，形成包括铁犁、铁锄、耒车、水车等在内的专用农具系统；畜力作为核心动力源，推动耕作效率发生了质的飞跃；配套技术措施日趋完善，涵盖良种选育、积肥施肥、水利建设、病虫害防控、土壤改良、农具革新、能源利用及轮作制度等多个维度。随着牛马等畜力资源的系统性运用，农田规模持续扩大，单位面积产量显著提升，农业生产力实现突破。

在欧洲，传统农业成熟于古希腊罗马时期，历经中世纪到工业革命前夜的漫长演进，直至 20 世纪初方完成向现代农业的转型。在中国，自新石器时代，逐步构建起以精耕细作为特色的传统农业技术体系，其技术传承与发展脉络绵延达两千余年，深刻塑造了中华文明的物质基础与社会结构。在这一过程中，生产工具革新与耕作技术升级形成双向驱动，不仅实现了土地生产力的深度开发，而且推动了农业经营组织形态的持续演化。

1.1.3 现代农业

相较于传统农业，现代农业是借助现代科学技术、运用现代工业提供的生产资料，并结合科学管理方法所开展的社会化农业形态。现代农业运用了农业机械、化肥、农药、种子、灌溉技术等一系列的农业新技术。以农业生产工具为例，拖拉机、收割机、播种机等现代化农机在犁耕、播种、收获等各个环节的广泛应用，彻底改变了农业的生产方式，使得大规模农业生产逐渐成为可能，生产效益大幅提高。化肥让农田从培肥-生产的长周期转变为连续生产的短周期，极大地提高了

农田产出效率；基因编辑和遗传改良等生物技术可以培育出抗虫、抗病、耐旱的作物品种；分子标记技术可以识别和调控作物目标性状，提高育种的准确性和效率，从而缩短育种周期。随着信息技术的飞速发展，先进的物联网技术、卫星遥感技术、大数据分析技术、机器人技术等广泛应用于农业生产中，实现了对土壤、动植物、气象等多方面信息的自动采集、实时监测和智能分析，农业生产全过程管理更精细化，不断推动农业向更高级形态发展。

现代农业是健康农业、有机农业、绿色农业、循环农业、再生农业、观光农业的统一，其核心在于科学化发展，特征体现为商品化运营，方向指向集约化生产，目标定位于产业化经营。相较于传统农业，现代农业呈现四大显著特征，其一，改变了传统农业仅以初级农产品原料生产为主的单一模式，构建起种养加工、产供销及贸工农一体化的全产业链生产体系；其二，打破了传统农业远离城市或城乡界限分明的空间局限，形成了城乡经济社会一元化发展格局，促成城市农业与农村工业的协调布局；其三，突破了传统农业部门分割、管理交叉及服务滞后的体制障碍，按照市场经济规律与农村生产力发展需求，建立起权责明晰、上下联动的全方位管理服务体系；其四，扭转了传统农业封闭低效、自给半自给的发展状态，依托资源禀赋与区位优势，实现了农产品优势区域专业化布局及国内外市场双向流通。

1.2 当代世界农业

农业不仅为人类提供最基本的生活资料——食物，而且为工业提供原料，为服务业提供市场。农业的稳定发展，直接关系到国家的粮食安全、经济安全和社会稳定，没有农业的繁荣，就没有国家的强盛，因此，无论是发达的工业化国家，还是发展中的农业大国，农业都在国民经济中占据着举足轻重的地位。近年来，世界农业经历了快速发展与变革，产业链相对完整，产业结构多元化，产业关联日益紧密，产业聚集效应突出。

1.2.1 世界农业基本情况

世界主要国家的气候条件各不相同，从而形成了各具特色的农业生产类型和农产品^[1]。

从资源分布来看，美国地域辽阔，气候类型多样，中部大平原地区夏季温暖湿润，冬季寒冷干燥，降水充沛，土壤肥沃，是世界著名的商品谷物农业区，主要种植小麦、玉米等作物，其农业生产大规模机械化作业，农业生产方式成熟，效率非常高，美国也因此成为玉米、大豆、小麦等作物的主要出口国之一。中国

气候复杂多样,从南到北跨越了热带、亚热带、温带和寒温带,南方以水田农业为主,种植水稻等作物;北方以旱作农业为主,种植小麦、玉米等。印度大部分地区属于热带季风气候,终年高温,分旱雨两季,年降水量丰富且雨热同期,恒河平原和德干高原是印度主要的农业区,广泛种植水稻、小麦、棉花等作物。巴西拥有广阔的土地,大部分地区位于热带,巴西高原气候较为温和,土地辽阔,是重要的农牧业产区,主要种植咖啡、甘蔗、大豆等作物,巴西也是世界上最大的咖啡生产国和出口国。澳大利亚大部分地区气候干燥,其农业主要集中在东南部和西南部的沿海地区,这些地区气候较为湿润,土壤肥沃,适合发展混合农业,主要种植小麦、牧草,同时养殖绵羊。

从科技发展来看,西方发达国家在农业现代化程度与劳动生产率方面显著高于发展中国家。美国作为全球农业最发达的国家之一,其农业体系以高度集约化、科技驱动和全球化贸易为核心特征。美国的玉米、大豆等转基因作物品种在抗虫害、耐除草剂等方面全球领先;美国利用卫星遥感实现农作物种植面积、自然灾害等的宏观监测;农业生产中,大型农机智能化作业逐渐替代人工,农业生产效率显著提升。荷兰大力发展设施农业,实现了光照系统、加温系统、液体肥料灌溉施肥系统、二氧化碳补充装置,以及机械化采摘、监测系统等全部自动化控制,拥有育种、育苗、生产、交易和流通的完整产业链,各环节科学分工、高效联动,作物产量高且品质好。以色列通过传感器采集土壤特性及作物生长信息,实时跟踪农田状况,并结合嵌入的作物模型确定灌溉时间和灌溉量,实现了精准灌溉与施肥一体化管理。与发达国家相比,作为发展中国家的中国现代农业发展同样迅猛,生物育种技术不断取得新突破,三大主粮生产已基本实现机械化,同时国家高度重视智慧农业技术的发展,以无人农场等为代表的最先进的农业生产模式正在逐步推广应用。相比较之下,非洲、亚洲南部、拉丁美洲部分地区仍然以小农经济为主,依赖传统技术,生产力水平较低,劳动力素质有待提高,亟须现代科技助力。

总体而言,在全球经济一体化的今天,各国的农业生产相互依存、相互补充,共同满足着世界人口对粮食和农产品的需求。

1.2.2 世界农业面临挑战

世界农业发展总体呈现不平衡状态,不同地区、不同产业、不同农户之间存在经济发展水平、资源配置、技术应用、市场接入等方面的显著差异。与此同时,世界百年变局加速演进,多重挑战并存,世界正面临着粮食需求持续增长、资源日益紧张,以及生态环境日益恶化等多重挑战,全球气候灾害频发、生态安全脆弱、生物多样性持续下降、国际竞争与单边主义日益盛行等因素也进一步加剧了全球农业生产面临的困难。

全球人口增长与粮食安全的动态平衡始终牵动着社会的发展。当前,世界人口规模持续扩大,全球人口格局不断演变,印度成为世界人口第一大国,非洲成为人口增长的主要引擎,发达国家人口老龄化问题突出。尽管现代农业不断提高农业生产能力,但受制于地域性资源分配失衡、供应链效率差异等结构性矛盾,全球仍有数亿人口长期处于饥饿之中。面对持续的人口规模扩张与饮食需求升级,大数据农业正成为突破生产瓶颈的核心路径。通过卫星遥感与物联网构建农田数字孪生系统,实时优化智能灌溉与施肥决策;借助病虫害预测模型和气候模拟算法,动态调适抗灾品种基因库;结合区块链溯源的分布式仓储网络,精准匹配区域供需缺口。未来,数据驱动的生产要素全局优化将成为粮食增量的核心动能。与此同时,发达国家生育率下降与人口老龄化的全球蔓延,正在重构人口金字塔的底层逻辑,劳动力萎缩推动农业机器人加速应用,养老成本攀升促使生产能耗模型迭代。大数据农业通过劳动力替代算法与资源循环仿真,为破解人口结构的“双重挤压”提供了技术缓冲^[2]。

根据联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告,自1950年以来,全球变暖、海平面上升、大气二氧化碳浓度升高和冰雪覆盖面积缩减等气候变化现象,是几十年乃至千年以来罕见的。进入21世纪以来,气候变暖已成为不可回避的重大理论和实际问题。气候变暖会引发自然灾害,导致大面积、大范围农业病虫害传播,造成农业减产,增加农业生产成本,引发农业生产环境的恶化,给农业生产带来威胁,为全球粮食安全增添更多不确定性。例如,2023年厄尔尼诺现象推动全球气温飙升,受其持续影响,非洲南部多国2024年夏季普遍遭遇高温和干旱,极端天气事件加剧了尼日利亚、南苏丹等西非、东北非国家的洪水,同时使埃塞俄比亚、肯尼亚和索马里等所在的东非地区遭遇更为严重的干旱天气。此外,沙漠蝗虫、草地贪夜蛾等农作物宿敌也大范围入侵全球多个粮食主产国。

1.2.3 世界农业发展趋势

当前,世界农业发展面临技术驱动的生产模式创新。随着生物技术、信息技术和绿色技术的快速发展和广泛应用,农业进一步向规模化、生态化和智能化方向转变,未来将有更多的农业技术应用于农业生产中。一些颠覆性技术也将为整个农业的生产方式带来改变,如科技型高产农业、集约化高效农业、智能型低碳农业、工厂化基因农业、生物质能源农业、都市型生态农业、三产融合型农业等,这些技术的不断应用,产生了新的模式和新的业态,打破了过去传统农业与现代工业之间的界限。无人农场、垂直农业、生态牧场等新业态不断涌现,在提高农业生产效率和智能化水平的基础上,进一步生产出更加有机、更加绿色的农产品。

当今社会,基因工程技术发展日新月异,新的理论机制不断明晰、新的成果产品不断涌现,人类对生命奥秘的认知在基因层面更科学、更深入。基因是决定农业生物驯化和改良过程的根本。未来,基因工程技术通过改变动植物基因组,不仅能够改善作物品种,提高其抗病能力,而且可以更加精准和高效地进行基因编辑,提升农业生产效率,优化作物和畜禽品种迭代的进程。具体来说,一是可以精准定向改良农作物和畜禽品种。利用分子生物学、基因编辑和遗传标记分析等技术,挖掘与抗逆性、高繁殖性和耐受力等性状相关的基因和遗传变异,从而加快优秀基因在群体中的固定,培育新品系。二是可以实现农作物和畜禽种质资源高效保存。利用表型鉴定和基因组测序技术,解析品种的分子特征,建立品种特征库、脱氧核糖核酸(deoxyribo nucleic acid, DNA)指纹图谱和种质资源数据库,筛选能够区分品种的核心单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)标记,建立优良品种的分子鉴定方法。

智慧农业是农业现代化的一个重要方向。未来,智慧农业将逐步替代传统人工作业,引领农业产业迈向更加智能化、高效化和可持续化的新纪元。以物联网、大数据和人工智能为基础的信息技术,是智慧农业发展的核心动力。这些技术的集成应用,将推动传统农业生产方式的变革,显著提升生产效益和水平。其先进性主要体现在三个方面,一是多维感知实现全方位信息获取。通过集成传感器、穿戴设备、无人机等多重感知技术与装备,准确高效地获取与监测农业生产过程中涉及的空间信息、环境信息、动物本体信息等,构建高质量的农业数据采集体系。二是智能分析提供科学决策。利用机器学习、深度学习等大数据处理与分析手段,建立作物生长模型、进行疫病自动诊断、优化资源配置与养殖方案、实现风险评估,为农业生产管理提供科学的决策依据。三是自动装备解放传统劳动力。利用环境控制装备、农业机械装备、自动化喂食机、清洁机器人、巡检机器人等减少人力成本,降低劳动强度,提高农业作业效率和水平。

未来,绿色低碳在农业生产全链条应用将成为推动农业可持续发展的关键动力。从农作物种植、管理、收获到养殖、屠宰、加工,绿色低碳理念将贯穿整个农业产业链条,一系列绿色技术和方法正逐渐融入农业生产全过程,在减少环境污染、降低投入品消耗和改善生态功能等方面效果显著。采用绿色低碳的饲料配方、智能化种植技术、生物质能源和太阳能等可再生能源,将大幅降低资源消耗和环境污染。绿色低碳的农业生产模式不仅有助于减缓气候变化,而且能提高产品品质,满足消费者对健康环保食品的需求。因此,积极推广绿色低碳农业生产模式,是实现农业可持续发展的关键途径,也是实现农业现代化的必由之路。其中,资源循环利用技术,通过养殖、沼气发酵、有机肥还田和农田种植的结合,将畜禽粪便等废弃物转化为有用的资源,建立生态农业种养循环系统,有效减少环境污染,提高资源利用效率。同时,利用太阳能、风

能等可持续能源为农业生产提供清洁能源,降低对化石燃料的依赖,减少温室气体的排放。

然而,不可忽视的是科技的发展也成为一些西方发达国家的武器,通过种子、技术、农资、农机等垄断,进一步限制了广大发展中国家自身科技发展与产业自主的空间。

1.3 信息技术发展

新一代信息技术是以物联网、云计算、5G、大数据、人工智能等为代表的新兴技术,正在全球范围内引发新一轮的科技革命^[3]。物联网拓展了人类感知和获取数据的能力,也延伸了人类的动作和执行范围;虚拟化和云计算为后端透明化的超大规模数据处理提供了基础设施;深度学习技术使人工智能获得跨越式发展。信息技术的蓬勃发展正在深刻改变人类社会的生产、生活和思维方式,其影响已渗透到经济、政治、文化等各个领域。现代农业的快速发展,离不开现代信息技术的支撑。农业大数据从概念形成,到技术发展,再到实践应用,都是在现代信息技术发展的整体环境中完成的。

1.3.1 现代移动通信技术

移动通信技术延续着每十年一代的发展规律,先后经历了1G、2G、3G、4G、5G时代,每次代际跃迁与技术革新均显著推动了产业升级和经济社会发展。从1G到2G,移动通信技术完成了模拟通信向数字通信的转型,推动移动通信服务实现规模化普及;从2G到3G、4G的演进,则实现了以语音业务为主向以数据业务为主的跨越,传输速率提升近百倍,有力促进了移动互联网应用的蓬勃发展。从通信1G(0.9GHz)到4G(1.8GHz以上),无线电磁波的频率不断升高,允许分配的带宽范围越来越大,单位时间内所能传递的数据量也越来越大。4G网络造就了繁荣的互联网经济,满足了人与人随时随地通信的需求。随着移动互联网的快速发展,新服务、新业务不断涌现,移动数据业务流量爆炸式增长,4G移动通信系统已难以满足数据流量激增的需求。2019年,我国第五代移动通信技术(5G技术)正式迈入商用阶段。5G作为前沿的宽带移动通信技术,具备高速率、低时延与大连接的显著特性,5G通信设施构成了实现人机物互联的核心网络基础设施。国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)明确界定了5G的八大关键性能指标,其中,高速率、低时延、大连接尤为凸显。5G可以实现1Gbit/s的用户体验速率,时延低至1ms,每平方公里支持100万连接的用户接入能力。

随着数字化需求的持续爆发,6G技术也正加速进入公众视野。6G作为下一

代移动通信技术,通过太赫兹(THz)频段的开发与空天地一体化组网技术的突破,其理论传输速率可达 1Tbit/s,时延低于 0.1ms,在峰值速率、时延、流量密度、连接数密度、移动性、频谱效率、定位能力等方面远优于 5G。同时,通过深度融合人工智能感知技术,6G 可支持数字孪生、脑机接口等新场景。6G 网络将是一个地面无线与卫星通信集成的全连接世界。目前,全球 6G 研发加速推进,我国凭借华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司等企业在太赫兹频段等关键技术上的突破,在 6G 竞争中占据先发优势,计划于 2029 年完成首个技术规范,预计 2030 年前后进入商用阶段,推动通信技术从万物互联迈向意识互联的智能时代。

1.3.2 人工智能与大语言模型

人工智能(artificial intelligence, AI)是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学,是计算机科学的一个分支。人工智能领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。1956 年,在美国达特茅斯学院举办的一场学术研讨会被视为人工智能正式诞生的标志。约翰·麦卡锡(John McCarthy)在会上提出“人工智能”的概念。之后,人工智能领域的科研人员围绕专家系统、自动翻译、文字处理等开展研究。1986 年,Rumelhart 等^[4]阐述了反向传播神经网络的效果,引起轰动。2006 年,Hinton 等^[5]提出了深度置信网络,巧妙地利用逐层预训练克服了深层网络训练的困难,为深度学习的热潮奠定了基础。

随着信息技术的快速发展,人工智能技术也取得了突破性进展,这主要得益于三个方面。一是人类产生的数据呈爆炸式增长,计算机能够低成本获取大量数据样本。生成式人工智能的出现使模型能够从海量未标注数据中自主学习,大幅降低了对人工标注数据的需求,推动了人工智能在语音识别、图像识别等领域的应用。二是计算机硬件及相关计算技术进步与成本大幅度降低。图形处理器加速了图像、音视频等数据处理,并行计算、大规模分布式训练大大缩短了数据处理时间,边缘计算技术允许 AI 模型直接处理本地数据。三是深度学习算法等不断发展,权重初始化、正则化方法和激活函数的改进,极大缓解了深层网络训练中的梯度消失等难题。卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)、循环神经网络(recurrent neural network, RNN)和长短期记忆(long short-term memory, LSTM)网络等架构,能够从各种数据中自动学习抽象的和高层次的特征表示,从而提高了模式识别和预测的能力。Transformer 等网络架构能够将不同类型的媒体数据进行深度融合,结合文本、图像、语音等多维度信息,更全面地理解用户需求。

当前人工智能技术已经具备了思考和学习能力,拥有了一定的思维和推理能力。随着技术的不断进步和硬件设备的显著提升,大语言模型(特别是美国

OpenAI 公司发布的生成式预训练(generative pre-trained, GPT)系列模型)已成为人工智能技术研究和应用的热点。大语言模型特指参数量超过百亿级的深度学习模型,其核心是通过海量数据与算力支撑,实现强大的语言理解、生成和泛化能力,这种能力会随模型规模扩大而自发涌现。大语言模型的典型代表有 DeepSeek、GPT-4 等,实现对自然语言的理解与创造性内容的生成,推动教育、医疗、法律等知识密集型行业的流程再造。在农业领域,大语言模型^[6, 7]正为农业知识的获取、传播和应用注入新的活力,相关应用如表 1-1 所示,这些应用不仅展示了大语言模型强大的语言理解能力和生成能力,而且极大地提高了许多领域的自动化水平和智能化水平。

表 1-1 大语言模型在农业领域的应用

应用方向	具体内容	实例
农业知识问答	利用自然语言处理和语义理解,为农户问题提供准确答案	农户查询“如何防治枣树炭疽病”,大语言模型生成详细防治方案,包括农药选择、施药时间等
病虫害诊断与防治	结合图像识别,辅助农户诊断作物病虫害,并给出防治建议	农户上传病虫害图片,大语言模型结合图像识别结果和农业知识库,生成诊断报告和防治方案
农业技术推广	制作易于理解的农业技术推广资料,助力农户掌握新技术	大语言模型生成“枣树修剪技术”推广材料,包括文字说明、图片和视频链接
农业教育与培训	支持农业在线学习,为农户提供个性化学习资源和路径	大语言模型根据农户的学习进度和兴趣推荐相应的课程和资料,提高农业人才的专业素养

1.3.3 虚拟现实

虚拟现实是一种虚拟和现实相互结合的计算机技术。从理论上讲,虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统^[8],它利用计算机生成一种模拟环境,使用户沉浸到该环境中。虚拟现实技术利用现实生活中的数据,通过计算机技术产生电子信号,并将电子信号与各种输出设备结合使其转化为能够让人们感受到的现象^[9],这些现象可以是现实中真真切切的物体,也可以是通过三维模型表现的肉眼看不到的物质。因为这些现象并非直接能看到的,而是通过计算机技术模拟出来的现实中的世界,所以称为虚拟现实^[8, 9]。虚拟现实技术集成了人类的听觉、视觉、触觉乃至味觉、嗅觉等多种感知功能,通过模拟环境的高逼真度,营造强烈的沉浸感,让用户在虚拟环境中获得高度真实的体验,因此日益获得人们的认可。此外,虚拟现实设备还配备先进的仿真系统,能够实现深度人机交互。虚拟现实技术在农业中应用广泛,可以让人通过不同的视角来观察植物、动物的生产活动,进入微观领域研究生理遗传问题,利用算法模型虚拟出事情的成因和未来的发展趋势,并以可视化的方式呈现,利用三维仿真地图、基

于多媒体的可视化、虚拟现实与网络环境等空间信息可视化技术,研究多维数据模型、数据结构,以及图形、图像的实时动态处理等关键技术,构建农情数据三维空间数据库,实现农情遥感信息空间可视化表达^[10]。

参 考 文 献

- [1] 余欣荣. 当代世界农业研究需要处理好的几个关系[J]. 世界农业, 2022, (3): 5-6.
- [2] 乌拉尔·沙尔赛开. 世界人口展望: 人口、资源与环境[J]. 生态经济, 2017, 33(9): 2-5.
- [3] 孙坦, 黄永文, 鲜国建, 等. 新一代信息技术驱动下的农业信息化发展思考[J]. 农业图书情报学报, 2021, 33(3): 4-15.
- [4] Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning representations by back-propagating errors[J]. Nature, 1986, 323(6088): 533-536.
- [5] Hinton G E, Osindero S, Teh Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets[J]. Neural Computation, 2006, 18(7): 1527-1554.
- [6] 张宇芹, 朱景全, 董薇, 等. 农业垂直领域大语言模型构建流程和技术展望[J]. 农业大数据学报, 2024, 6(3): 412-423.
- [7] 张政, 冯少飞. 大模型算力基础设施技术趋势、关键挑战与发展路径[J]. 信息通信技术与政策, 2024, 50(6): 2-9.
- [8] Lee L K, Wei X D, Chui K T, et al. A systematic review of the design of serious games for innovative learning: Augmented reality, virtual reality, or mixed reality?[J]. Electronics, 2024, 13(5): 890.
- [9] Yan Z Q, Lv C, Chen Q, et al. Impact of user engagement on virtual reality behavioral response from the human-computer interaction perspective toward a service context: A hybrid statistics and machine learning approach[J]. Expert Systems with Applications, 2024, 247: 123243.
- [10] 王文生, 郭雷风. 大数据技术农业应用[J]. 数据与计算发展前沿, 2020, 2(2): 101-110.