



李道亮◎编著

# 农业4.0

——即将来临的智能农业时代

农业4.0飓风来袭！全球农业未来发展风向标！

学习农业4.0理念，深度推进供给侧改革，是中国未来农业发展的必由之路！

这是一本深刻影响中国未来农业发展的书。  
引领第四次农业革命，开启农业智能时代！



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 农业 4.0

## ——即将来临的智能农业时代

李道亮 编著

机械工业出版社

本书从资源约束、环境压力、劳力老龄化、农产品国际竞争力缺失等我国的基本国情分析入手，系统论述了我国农业 4.0 发展的必然性和紧迫性；从传统农业、机械化农业、自动化农业和智能化农业（无人化农业）给出了农业 1.0 到农业 4.0 的基本定义、本质特征、技术支撑，并指出了农业 1.0 到农业 4.0 演变跃升的基本规律以及阶段跃升的大致年代；从种植业、畜牧业、渔业、市场、旅游、管理、农民生活等方面系统分析了农业 4.0 的基本内涵、技术体系和基本特征；最后提出了我国农业到 2050 年全面实现农业 3.0 的目标，到 2070 年前后全面实现农业 4.0 的发展目标和主要战略措施。希望本书能对农业领域的同行有所借鉴。

本书可供农业领域的各级管理者及相关人员学习使用，也可供农业信息化相关专业的在校师生参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

农业 4.0：即将来临的智能农业时代/李道亮编著. —北京：机械工业出版社，2018. 1

ISBN 978-7-111-58731-6

I. ①农… II. ①李… III. ①智能技术—应用—现代农业—农业发展—研究报告—中国 IV. ①F323

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 303791 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：陈保华 臧弋心 责任编辑：陈保华 臧弋心

责任校对：朱继文

封面设计：马精明

责任印制：李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13 印张 · 238 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-58731-6

定价：49.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线：010-68326294

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

策划编辑：010-88379734

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

2013年，德国政府提出“工业4.0”的概念在国际社会引起很大反响。工业技术和生产模式，从机械化生产、电气化生产、自动化和信息化生产，到网络化和智能化生产，德国人把它们形象地称为现代工业模式的四级演变，即“工业4.0”。新一轮的工业化带来的重要变革就是智能制造，而农业作为工业生产原材料的提供行业和工业制成品的使用行业，必将融入这场时代的变革中，也在向智能化时代发展。从第一次听到“工业4.0”，笔者就开始思考农业是不是也有类似工业发展的一般规律，有没有类似“工业4.0”的发展经历，如果有，应如何划分？每一个阶段的特征是什么，每个阶段跃升的条件是什么，发展规律是什么，我们国家现代农业应该推进的路径是什么，要注意哪些问题和关键要素等一系列问题。

2015年，国务院出台了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》，把“互联网+”现代农业作为第三大行动领域，笔者有幸受农业部委托，牵头起草《“互联网+”现代农业三年行动实施方案》。在该方案起草的过程中，本人及所带领的团队针对“互联网+”农业，从物联网、大数据、云计算、移动互联网、空间信息技术、人工智能及智能装备等新一代信息技术与农业资源、劳动力、农业装备、市场、信息等要素融合，粮经饲作物种植、设施园艺、畜禽和水产养殖业态跃升，农业生产、加工、流通、市场、经营、管理、服务一体化演进，生产体系、经营体系、产业体系、科技支撑体系、市场体系构建和运营等方面开展了大量的地方调研，多次与政府、企业和高校科研院所的专家进行探讨，力图把“互联网+”对农业转型升级的动力、步骤、过程搞清楚。

这一系统的调研，对形成农业 4.0 的基本思路起到了关键的助推作用，也基本形成了“互联网+”农业顶级阶段也就是农业 4.0 的基本结论。

从 2010 年开始，充分利用笔者主持的 3 个欧盟第七框架项目和德国科学基金、国家留学基金等资助，有幸对德国、比利时、荷兰、挪威、丹麦的猪场、牛场、渔场、鸡场，蔬菜、花卉设施农场，大麦、玉米、甜菜、菜花等大田种植农场进行了系统深入的现场参观考察，从生产体系、经营体系、产业体系、市场体系、科技体系进行了详尽、系统、深入、全面的考察研究，对欧洲典型的农业生产模式、经营模式、支撑体系和发展历程等方面与农场主进行了深入访谈。总的结论就是欧洲农业已经历了传统农业、机械化农业和自动化农业这三个阶段，现在基本已经实现现代化。对于现代化农业而言，农业规模化和集约化是前提，设施化和装备化是支撑，在线化和数据化是特征，市场化和信用化是本质，产供销一体化和标准化是保障。信息化和智能化是目前欧洲农业发展的引擎，通过信息化和智能化使农业更加精准、更加高效、更加安全。这些考察活动和系统的分析与思考对从全球的视野、前瞻的视角系统地分析农业 4.0 的基本特征、发展阶段、演变条件和支撑体系起到了根本的保障作用。

通过对欧洲和国内农业的调研可看出，世界各国农业的发展历程基本是：从以体力和畜力劳动为主的农业 1.0 阶段，到以农业机械为主要生产工具的农业 2.0 阶段，再到以农业生产全程自动化装备支撑的农业 3.0 阶段，最后达到以无人化为主要特征，以物联网、大数据、云计算和人工智能为主要技术支撑的全要素、全链条、全产业、全区域的智能农业阶段，即农业 4.0 阶段。

随着物联网等信息技术的强力渗透，信息流的“无孔不入”以及智能化的快速发展，农业逐渐转变为以物联网、大数据、云计算、人工智能等技术为支撑和手段的一种现代农业形态，是继传统农业、机械化农业、信息化农业之后的更高阶段的农业发展阶段，即智能农业阶段，将农业多功能性所内含的教育文化、历史传承等非经济功能彰显出来，带动农业生产回嵌资源环境，达到

“人类回嵌自然”的生态文明新时代。在农业 4.0 阶段，人们充分运用物联网、大数据、云计算、移动互联网、空间信息技术、人工智能（以机器人为代表）等新一代信息技术，对土地、劳动力、资金、技术、市场、信息等各种农业要素进行重新配置与优化，实现对大田种植、设施园艺、畜禽养殖、水产养殖、农产品物流等农业行业的数字化设计、在线化处理、智能化控制、精准化运行、无人化作业和科学化管理，使农业实现大区域范围内整体优化配置，使农业的生产方式、经营方式、管理方式和服务方式跃升到一种新的形态。在这种形态下，农业高产、高效、优质、生态、安全、智能，这也代表了农业发展的方向。

2015 年 7 月笔者撰写了《“互联网+”农业导论》一书，开始了“互联网+”农业的理论体系、生产体系、技术体系、产业体系、运营体系的梳理工作，从那时开始就在思考的生产、流通、消费三大领域将相互衔接，而劳动者、劳动工具和劳动对象这生产力的三要素也将发生本质性变化。2015 年 12 月机械工业出版社特邀笔者撰写《农业 4.0——即将来临的智能农业时代》，从那时起，我就一直在思考“互联网+”农业与农业 4.0 是什么关系，它们之间能画等号吗？随着《“互联网+”农业导论》的成稿，《农业 4.0——即将来临的智能农业时代》也逐渐清晰，农业 4.0 是“互联网+”农业的顶级阶段或高级阶段的基本定位决定了两者的相互关联、不可截然分开，同时“互联网+”农业更强调信息技术对资源的重新配置作用，突出“互联网+”的理论体系，农业 4.0 更强调不同阶段的演进和每一阶段的本质特征，更强调实践和实际的应用，“互联网+”农业是农业 4.0 的理论基础，农业 4.0 是“互联网+”农业的形象化和案例化，是“互联网+”农业的高级阶段。按照这个关系和逻辑，两本书就是姊妹篇，相互支持又相互联系。

按照上述理解，本书从我国国情分析入手，论述农业 4.0 为什么是我国农业发展的必由之路；分析了从农业 1.0 到农业 4.0 的基本定义、技术支撑及其主要特征；讨论了农业演变跃升的基本规律；从 6 个维度分析农业 4.0 的本质；从


种植业、畜牧业、渔业、市场、旅游、管理等方面系统分析农业 4.0 的基本内涵、技术体系和基本特征；最后提出和分析了相关政策。

农业 4.0 是一个崭新的提法，也是一个复杂的系统工程，目前全世界范围内也是小荷才露尖尖角，我国目前正处于从农业 2.0 到农业 3.0 的过渡阶段，因此本书的很多内容很大程度上是一种理论推算和预测，同时农业 4.0 涉及电子、通信、计算机、农学、工程、管理等若干学科和领域，知识的交叉性和集成性很强，加上农业 4.0 是一个新生事物，其理论、方法、技术、案例都不成熟，深感出版此书的责任和压力的巨大。

作者学科团队的相关老师和研究生为本书的出版提供了翔实的资料并参与历次书稿的讨论及修改，具体分工为：第 1 章，刘晓倩、文洪星；第 2 章，张彦军；第 3 章，袁晓庆；第 4 章，刘利永；第 5 章，杨卫中；第 6 章，孙明；第 7 章，位耀光；第 8 章，陈英义；第 9 章，李振波；第 10 章，段青玲、沈立宏；第 12 章，孙龙清。作者的研究生于辉辉、杨昊、包建华、乔曦、王聪、李震等参与了本书的文字勘误工作，之后作者又进行了若干轮的修正和统稿。由于作者水平有限且时间较紧，书中存在错误或不妥之处在所难免，诚恳希望同行和读者批评指正，以便以后进行改正和完善，如有任何建议和意见，欢迎指正。

本书凝聚了很多农业信息化领域专家、领导和科研人员的智慧和见解，我首先要感谢我的导师中国农业大学傅泽田教授，他为我搭建了农业信息化领域研究平台，培养了我的系统研究方法、前瞻的国际视野和宏观的战略思维，多年来在科研教学、做人做事等方面的教诲和指导让我受益良多。特别要感谢国家农业信息化工程技术研究中心主任赵春江研究员、上海交通大学刘成良教授、浙江大学何勇教授、中国农科院许世卫研究员，他们带领我在农业信息化领域不断努力进取，他们兄长般的关爱和帮助使我不断成长。还要特别感谢汪懋华、孙九林、罗锡文院士和梅方权、王安耕研究员等老一辈专家在历次农业农村信息化会议上的指导和建议，他们的许多观点令我茅塞顿开。感谢农业部余欣荣、

屈冬玉副部长，张合成、唐珂司长，王小兵、张辉、陈萍副司长，张国、王松、宋代强处长，农业部信息中心张兴旺主任，杜维成、吴秀媛副主任，刘桂才总工程师在历次农业信息化研讨会议上的指导与建议，对“互联网+”农业和农业4.0理论框架的深化和形成有很大促进作用，也对许多不清楚的理论问题进行了更深入的探讨。

Handwritten signature in black ink, reading '李道亮' (Li Dongliang).



## 前 言

## 第 1 章



### 我国农业发展的必由之路 / 1

- 1.1 耕地资源约束 / 1
- 1.2 劳动力约束 / 3
- 1.3 环境约束 / 4
- 1.4 敢问路在何方 / 6
- 参考文献 / 7

## 第 2 章



### 1.0~4.0 踽踽前行的农业之路 / 9

- 2.1 从社会发展阶段来看农业 1.0~农业 4.0 / 9
  - 2.1.1 农业 1.0 是农业社会的产物 / 10
  - 2.1.2 农业 2.0 是工业社会的产物 / 10
  - 2.1.3 农业 3.0 是信息社会的产物 / 11
  - 2.1.4 农业 4.0 是智能社会的产物 / 11
- 2.2 农业 1.0——人力与畜力为主的传统农业 / 11
- 2.3 农业 2.0——隆隆作响的机械化农业 / 13
- 2.4 农业 3.0——高速发展的自动化农业 / 16

2.5 农业 4.0——即将来临的智能农业时代 / 19

参考文献 / 24

## 第 3 章

### 前路漫漫——农业 4.0 的发展路线图 / 25

3.1 农业代际演进的基本规律 / 25

3.1.1 农业代际演进的基本动因 / 25

3.1.2 农业代际演进的主要特征 / 27

3.1.3 农业代际演进的状态分布 / 28

3.2 农业代际演进的技术依赖 / 30

3.2.1 技术成熟度曲线的基本原理 / 30

3.2.2 农业代际演进的技术发展趋势 / 32

3.3 农业代际演进的动态跃迁 / 36

3.3.1 从农业 1.0 到 2.0: 虫蠕龟行 / 36

3.3.2 从农业 2.0 到 3.0: 随风潜入 / 37

3.3.3 从农业 3.0 到 4.0: 巅峰一跃 / 38

参考文献 / 40

## 第 4 章

### 农业 4.0 的六个维度 / 41

4.1 构成农业 4.0 的六个维度 / 41

4.1.1 农业资源要素——农业 4.0 要优化配置哪些资源? / 42

4.1.2 信息技术——农业 4.0 的核心技术有哪些? / 44

4.1.3 产业链——农业 4.0 由哪些产业环节构成? / 50

4.1.4 行业领域——农业 4.0 能给哪些行业带来改变? / 55

4.1.5 支撑体系——农业 4.0 建设需要哪些支撑条件? / 58

- 4.1.6 运行机制——农业 4.0 如何实现可持续发展? / 60
- 4.2 从六个视角谈农业 4.0 的先进性 / 60
  - 4.2.1 资源高效利用 / 60
  - 4.2.2 信息技术深度应用 / 61
  - 4.2.3 各行业高度发达 / 62
  - 4.2.4 全产业链高度智能化 / 62
  - 4.2.5 外部支撑条件强劲有力 / 64
  - 4.2.6 运行机制良性可持续 / 65
- 4.3 从六个维度构建农业 4.0 理论体系 / 65
- 参考文献 / 67

## 第 5 章



### 种植业 4.0 / 69

- 5.1 种植业 1.0 / 69
- 5.2 种植业 2.0 / 71
  - 5.2.1 蒸汽拖拉机的发明与应用 / 72
  - 5.2.2 内燃机拖拉机的发明与应用 / 73
  - 5.2.3 各种农具的发展与应用 / 74
- 5.3 种植业 3.0 / 75
  - 5.3.1 高度发展的农业机械化 / 76
  - 5.3.2 精准农业 / 77
  - 5.3.3 工厂化农业 / 79
- 5.4 种植业 4.0 / 81
  - 5.4.1 种植业农情自动获取及智能处理 / 81
  - 5.4.2 农机自动作业及调度 / 82
  - 5.4.3 智能植物工厂 / 85
  - 5.4.4 全自动无人农场 / 88
- 参考文献 / 91

## 第 6 章



### 畜牧业 4.0 / 92

- 6.1 畜牧业 1.0 / 92
- 6.2 畜牧业 2.0 / 94
- 6.3 畜牧业 3.0 / 97
- 6.4 畜牧业 4.0 / 103
  - 6.4.1 智能牧场养殖信息系统 / 104
  - 6.4.2 互联网+畜牧业 / 105
  - 6.4.3 牧场的无人值守化 / 106
  - 6.4.4 畜牧业的智能化 / 109
  - 6.4.5 畜牧业的多元协同化 / 110
- 参考文献 / 111

## 第 7 章



### 水产养殖 4.0 / 113

- 7.1 水产养殖 1.0——粗放的养殖时代 / 113
- 7.2 水产养殖 2.0——设施化养殖时代 / 115
- 7.3 水产养殖 3.0——开启自动化养殖新篇章 / 118
  - 7.3.1 工程化池塘精准养殖 / 118
  - 7.3.2 陆基工厂循环水精准养殖 / 120
  - 7.3.3 网箱精准自动化养殖 / 123
- 7.4 渔业 4.0——跨入无人系统时代 / 125
  - 7.4.1 智能生态养殖是池塘养殖未来发展之路 / 125
  - 7.4.2 智能化陆基工厂养殖 / 126

7.4.3 智能网箱养殖 / 127

参考文献 / 129

## 第 8 章



### 农业市场 4.0——农业的“e”化经营时代 / 130

8.1 农业市场 1.0 / 130

8.1.1 地摊式集贸市场成为农业市场主场所 / 130

8.1.2 地摊式集贸市场逐渐走向农业市场配角 / 131

8.2 农业市场 2.0 / 133

8.2.1 批发市场作为中间商业组织成为交易平台 / 133

8.2.2 批发市场为电子商务时代的到来奠定了基础 / 134

8.3 农业市场 3.0 / 136

8.3.1 农村电子商务走向时代舞台 / 136

8.3.2 农村电子商务异军突起 / 137

8.4 农业市场 4.0 / 140

参考文献 / 141

## 第 9 章



### 农业休闲旅游 4.0 / 142

9.1 农业旅游 1.0——农业旅游的早期形态 / 143

9.2 农业旅游 2.0——以农家乐为主的乡村休闲 / 144

9.3 农业旅游 3.0——“互联网+”农业旅游 / 148

9.4 农业旅游 4.0——多功能休闲智慧的乡村生活 / 151

参考文献 / 153

## 第 10 章



### 农业管理与服务 4.0——新时代下的管理与服务革命 / 155

- 10.1 农业管理与服务的基本内涵 / 155
  - 10.1.1 农业行业管理 / 157
  - 10.1.2 企业信息服务 / 157
  - 10.1.3 面向农民的公共信息服务 / 158
- 10.2 农业管理与服务 1.0——传统的农民管理和服务 / 158
- 10.3 农业管理与服务 2.0——基于电子政务的农业管理 / 159
- 10.4 农业管理与服务 3.0——基于大数据的农业管理 / 162
- 10.5 农业管理与服务 4.0——基于智能决策的超高效农业管理 / 163
- 参考文献 / 164

## 第 11 章



### 农民生活 4.0 / 166

- 11.1 农民成为令人向往的职业 / 166
  - 11.1.1 农民生活 1.0——农民是一种身份的象征 / 166
  - 11.1.2 农民生活 2.0~3.0——完成身份向职业的转变 / 167
  - 11.1.3 农民生活 4.0——农民成为令人羡慕的职业 / 169
- 11.2 农村将变为美丽幸福的智能家园 / 169
  - 11.2.1 农村状态 1.0——城乡鸿沟巨大 / 169
  - 11.2.2 农村状态 2.0——城乡差距逐步缩小 / 170
  - 11.2.3 农村状态 3.0——城乡实现一体化 / 171
  - 11.2.4 农村状态 4.0——农村是美丽幸福的智能家园 / 174
- 11.3 农业 4.0 时期的农民智慧生活 / 175
  - 11.3.1 智慧家居 / 175
  - 11.3.2 智慧医疗 / 177

- 11.3.3 电子商务 / 178
- 11.3.4 智慧养老 / 179
- 11.3.5 智慧娱乐 / 180
- 参考文献 / 182

## 第 12 章



### 放眼未来——农业 4.0 发展的战略与对策 / 183

- 12.1 总体目标及发展思路 / 183
  - 12.1.1 总体目标 / 183
  - 12.1.2 发展思路 / 184
- 12.2 主要技术路线 / 185
- 12.3 对策与措施 / 187
  - 12.3.1 组织与机制创新 / 187
  - 12.3.2 强化支撑与完善保障 / 189
  - 12.3.3 加大投入与政策集成 / 192
- 参考文献 / 193



## 第 1 章

# 我国农业发展的必由之路

农业 4.0 是以物联网、大数据、人工智能、机器人等技术为支撑的一种高度集约、高度精准、高度智能、高度协同、高度环保的现代农业形态，是继传统农业、机械化农业、自动化农业之后的更高阶段的农业发展阶段，即智能农业。这个阶段将农业多功能性所涵盖的教育文化、历史传承等非经济功能彰显出来，带动农业生产回嵌资源环境，达到“人类回嵌自然”的生态文明新时代。目前我国农业面临着土地等资源约束趋紧、劳动力老龄化问题突出、农业生态环境压力加剧等问题，迫使我国农业不得不加快农业生物技术、信息技术、装备技术的推进步伐，转变传统生产方式、经营方式和管理方式，充分利用国家实施“互联网+”农业行动计划的契机，扎实推进我国向农业 4.0 时代迈进。

### 1.1 耕地资源约束

我国是人口众多、耕地资源相对贫乏的大国，人口和耕地矛盾十分突出。我国耕地资源虽然总量较大，但是数量不足的问题也十分明显，一方面从耕地面积占国土总面积的比重来看，中国仅为 13%，远低于印度的 49.4%、法国的 33.2%、英国的 24.9% 以及美国的 18.7%；另一方面我国人均耕地面积不足。



联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization) 根据分析研究提出人均占有耕地面积的最低标准为 0.0531 公顷 ( $\text{hm}^2$ )，而根据我国国土资源部 2013 年 12 月 30 日公布的第二次全国土地调查主要数据成果显示，我国当前的耕地总面积为 13538.5 公顷，人均耕地面积为 0.08 公顷，相比之下目前我国的人均占用耕地面积仅为世界人均耕地面积的 1/3、印度的 1/1.6、美国的 1/6.5、俄罗斯的 1/8.4、加拿大的 1/14.5 以及澳大利亚的 1/26 (见图 1-1)。不仅如此，近年来在经济压力发展下，人均耕地面积仍有下降趋势。而且我国可供开发的耕地后备资源也十分短缺，只有 2 亿亩<sup>⊖</sup>左右。

除了数量上的不足之外，耕地资源总体质量差的威胁也不容忽视。具体来说，质量上的问题主要体现在以下几个方面。

(1) 耕地中的中低产地比重大。根据 2016 年 4 月国土资源部发布的《中国土地资源公报》结果显示，全国耕地平均质量总体偏低。对占全国耕地评定总面积 52.9% 的

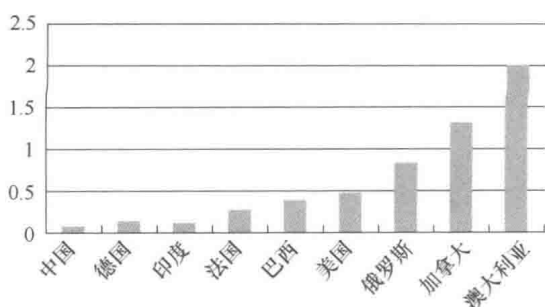


图 1-1 2013 年人均耕地面积国际比较 (单位: 公顷)

样本进行评定中，优等地占总评定面积的 2.9%，高等地占总评定面积的 26.5%，中等地占总评定面积的 5.8%，低等地占总评定面积的 17.7%。较大的中低产耕地比重，基本上决定了我国耕地的总体生产力及产投比。

(2) 耕地资源养分含量低且水土匹配条件差。从全国第二次土壤普查资料中可以看出，耕地有机质含量低于 10 克/千克的就有 1405.3 千公顷，占被统计耕地面积的 15.06%；有机质含量在 10~30 克/千克之间的有 55026 千公顷，占被统计面积的 59.08%；有机质含量高于 30 克/千克的土地，占被统计面积的 25.86%。

(3) 耕地资源总体质量尚存在不断恶化的趋势。2014 年 4 月 17 日，环境保护部与国土资源部联合公布了《全国土壤污染状况调查报告》，首次对我国土壤环境状况进行调查。调查显示我国土壤环境问题突出，耕地土壤环境很不乐观。

⊖ 1 亩 = 666.67 $\text{m}^2$ 。