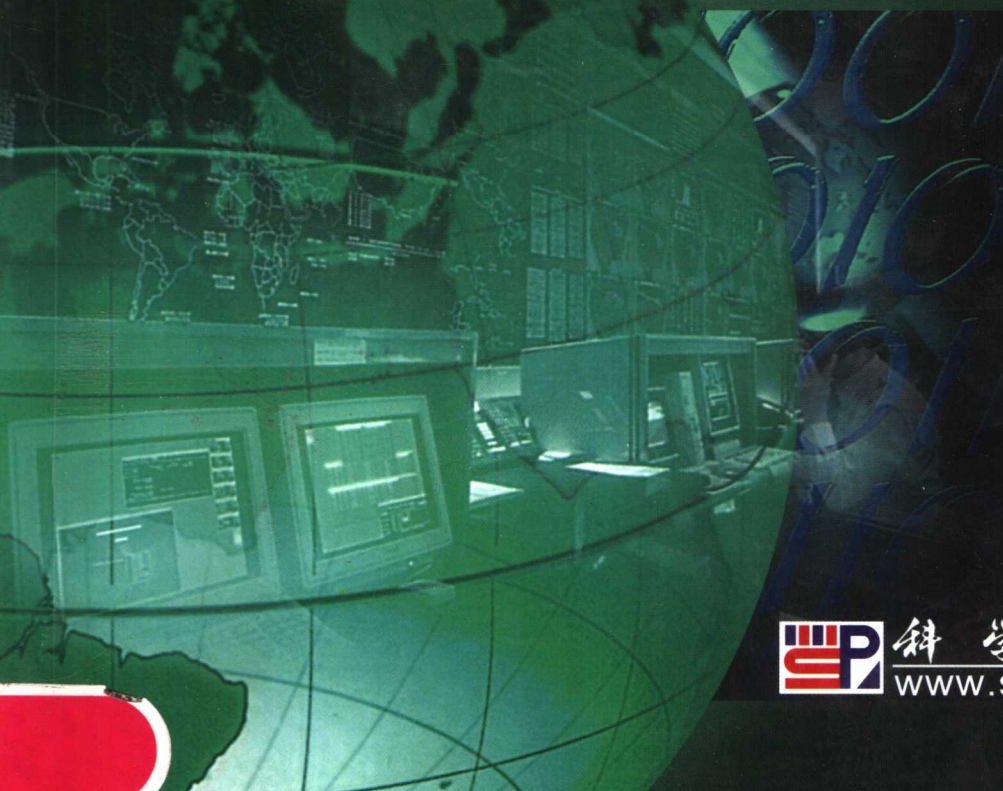


地球信息科学基础丛书

精准农业 技术与应用

承继成 主编



科学出版社
www.sciencep.com

国家农业科学出版社

精准农业 技术与应用

（第二版）

中国农业出版社
CHINA AGRICULTURAL PUBLISHING HOUSE

地球信息科学基础丛书

精准农业技术与应用

承继成 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书由4部分组成。第一部分(第一章)概要介绍现代农业的发展和精准农业产生的背景、基本概念、基础理论和支撑技术。第二部分(第二章至第七章)详细叙述GIS、RS、GNSS、网络、快速自动分析与监测、全自动化农业机械电子监控等技术及其在精准农业中的应用。第三部分(第八章)为精准农业的集成技术及其应用,包括技术集成、实践过程和我国第一个精准农业示范工程——北京小汤山国家精准农业基地的应用范例。第四部分(第九章)介绍了精准农业的延伸应用,包括精准园艺、精准养殖、精准农产品深加工、精准林业等。

本书可供从事农业科学技术与空间信息技术研究、开发的科技工作者和大专院校有关专业师生,以及农业、区域规划与管理部門的科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

精准农业技术与应用/承继成主编. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-013226-2

I. 精… II. 承… III. 地理信息系统-应用-农业 IV. S

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 038513 号

责任编辑:彭胜潮 汪福忻/责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年8月第一次印刷 印张:22 3/4

印数:1—3 000 字数:522 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《精准农业技术与应用》编委会

顾问: 陈德纯 陈运泰 何昌垂 胡兆璋 金继运 李小文
林 培 刘燕华 马俊如 邵立勤 石玉林 童庆禧
汪懋华 武国祥 向本春 徐冠华 许智宏

名誉主编: 陈述彭

主 编: 承继成

副 主 编: (以姓氏拼音字母为序)

陈秀万 李民赞 马洪兵 王长耀 张建华 赵春江

编 委: (以姓氏拼音字母为序)

陈 谦 承继成 陈秀万 范闻捷 冯仲科 黄 斌
黄 骞 孔 军 李贵才 李民赞 李相平 李增元
刘 瑜 马洪兵 彭以祺 隋殿志 唐华俊 王长耀
王纪华 王 秀 邬 伦 吴才聪 吴继兴 杨凯欣
杨朋润 张 兵 张建华 赵春江 郑立中

序 言

由承继成院士主编，北京大学数字中国研究院、北京大学遥感与地理信息系统研究所和石河子大学农学院教授们联手合作的《精准农业技术与应用》新著，是一部技术先进，内容丰富，深入田间，操作性强，既可作为自学教授，又可指导“处方作业”的优秀读物。面对当前“三农问题”的严峻形势，实现生态农业，提高耕作地利用效率，减少水、肥资源浪费，降低生产成本，提高经济效益与保护生态环境的协调统一，是非常切合时代需求的及时雨。

开卷有益，引人入胜。书中生动地介绍了绿色、白色、蓝色革命的思潮，膜覆盖在我国推广了 22 万亩，仅占耕地面积的万分之一，大型温室面积约 700 公顷，每年增长 100 公顷。种植业园艺化、工厂化，实现全天候、反季节的基础设施和规模生产，与农业发达国家相比还有很大的差距。农业用水每年高达 3600 亿~3800 亿立方米，利用率仅 40%~45%，低于农业发达国家的 75%。印度人口很多，2000 年牛奶产量人均 70 公斤。以色列耕地水源很少，但农产品充满“欧洲的冬季厨房”。我国海带、扇贝等海水养殖业有了很快的发展，但经常需要禁渔，对虾、鱼类等海洋农牧业和捕捞规模都还小。中国占世界耕地的 9%，养活着世界人口的 22%，还有能力退耕还林还草，不愧为农业大国。但从“科教兴国”与“可持续发展”二大国策来反思，我们还不能说是农业强国。

精准农业的兴起，基于两个主要背景：一是水、土等再生资源的可持续发展的理念；二是卫星定位、遥感、地理信息系统、人工智能与网络通讯等信息技术的进步。前者提出了需求，后者提供了保障可能，从而形成生态农业、系统工程与信息管理的理论方法与实践方案。包括：①地理、气候、土地与土壤等基础数据库；②1km×1km 分辨率的灾害补充预报、病虫害监测及预警、农作物长势及估产等遥感监测与网络系统；③有线或无线控制的农业机械，自动化的喷药、防草、施肥灌溉遥控系统设施；④农产品产、运、销的物流调控与电子商务辅助决策系统。

我国精准农业刚刚起步，本书只着重介绍了北京市小汤山试验场一个案例。其实在黑龙江、内蒙古和新疆、山东、河南、河北、江西……等地都有一些现代化的试点样区。珠江三角洲的基塘系统，更是历史悠久，效益卓著，已推广到南美和欧洲的“菜单农业”。它们不同于以色列那种高投入、

高效益的方式，而是地道的中国特色的可持续发展的生态农业模式，值得探讨和研究。

中国成功发射了系列卫星，包括中巴资源卫星、风云气象卫星、海洋卫星、北斗定位卫星和通讯卫星。正在开发环境与灾害卫星，拟提供高分辨率、超光谱动态监测数据。部分江河流域、城市郊区正在建设大比例尺的地图数据库，包括地形高程 (DEM)、土地利用与土地覆盖、地表沉积及地下水等精准农业所必须的数据。在目前情况下，配合 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 格网气象数据和像元级遥感动态监测数据，从精准农业的需求来谈虽然精度不够高，但在一些国际合资经营的大型农场，可以引进亚米级的国际遥感数据，如 IKONOS, Quick-brid 与 1995 年美国的地球观测计划 (Geo Earth Resources Observation System, GEROS) 发射了一个小卫星星座，获取 3~4 天重复周期、分辨率 10m、16 波段遥感器 6 个的数据，编制症候图 (Symptom Map) 和行动方案图 (Action Plan Map)，这就是趋向遥感卫星更加针对“精准农业”、趋向专业化的一个例子。

生物科学技术的进步，潜力很大，捷报频传。如果用石油产品的 1%，和微生物工程来生产单细胞蛋白质，可供 10 亿人口吃一年。我国 5 亿 t 作物秸秆的 20% 用生物发酵，可获 400 亿 kg 的饲料，可供全国饲料的 1/3。黄渤海沿岸的盐碱滩地，用于培育螺旋藻的实验，太空辐射种子的栽培，中医药材的化学指纹图谱探索，都有可能给“处方农业”带来更加辉煌的前景。

本书所推荐的网格数据结构及其转化的矢量数据的操作方法，很值得注意。这是目前既实用又简单的空间分析技术。对土壤采样分析、拖拉机往复回转作业方案、除草剂喷洒处方等作业部署，都是技术途径的最佳选择，而进一步整合大量数据，提高智能化、自动化水平，更是与网格运算能力的整合分不开的。熟练地掌握、运用网格制图方法，无疑是制订“精准农业”预案的一条捷径。

这部新著的创新思维和技术亮点很多，以上只是根据个人学习心得，斗胆点评其中凸显的几个例子。无论是农学专家还是信息专家通读这部新著，一定会有所启迪，有所反思。由于知识局限，挂一漏万，希望读者、内行专家不吝赐教。

中国科学院院士

陈述彭

2004 年 8 月

前 言

精准农业是现代农业的发展趋势，其目标是所谓的“farming by the inch”，即“寸土寸耕”、“处方作业”。它充分利用信息技术，根据作物生长的土壤性状、水肥状况、环境背景、气候条件等因子的空间变异，定位、定时、定量地实施一整套现代化农事操作与管理，以最少的或最节省的投入达到最高的收入，并保护和改善环境，高效地利用各类农业资源，取得最佳的经济效益和环境效益。精准农业也是可持续发展农业，是当今世界农业发展的新潮流，对于提高农业产量、降低农业生产成本和保护生态环境都具有重大意义。

精准农业作为一种新型农业，必须实现信息技术与农业生产的全面结合，特别是要解决好以“3S”（遥感 RS、地理信息系统 GIS 和全球卫星导航系统 GNSS）技术为核心的农业生产与管理实用关键技术，并使之在农业生产中发挥最大效益。世界范围、特别是欧美发达国家的精准农业已在迅速发展，据 1998 年对美国精准农业服务商和种子公司的调查显示，在他们的用户中，有 82% 进行土壤采样时使用 GIS，74% 用 GIS 制图，38% 收割机带测产器，61% 采用产量分析，77% 采用精准农业技术。我国是农业大国，农村人口数量巨大，人均占地少，农业基础薄弱，农村贫困，实施精准农业要比欧美国国家复杂得多，难度也大得多，但农业的发展离不开包括信息技术在内的高新技术的支持，精准农业也是农业发展的必然趋势。

《精准农业技术与应用》由 4 部分组成。第一部分（第一章）概要介绍现代农业的发展和精准农业产生的背景、基本概念、基础理论和支撑技术。第二部分（第二章至第七章）为 GIS、RS、GNSS、网络、快速自动分析与监测、全自动化农业机械电子监控等技术及其在精准农业中的应用。第三部分（第八章）为精准农业的集成技术及其应用，包括技术集成、实践过程和我国第一个精准农业示范工程——北京小汤山国家精准农业基地的应用范例。第四部分（第九章）介绍了精准农业的延伸应用，包括精准园艺、精准养殖、精准农产品深加工、精准林业等。

本书的编写出版是北京大学对口支援石河子大学的合作内容之一，由北京大学遥感与地理信息系统研究所和石河子大学农学院组织实施。受邀参与本书编写的人员都是在该领域内具有扎实的专业知识和丰富的研究经历与实践经验的国内知名专家，其中第一章由承继成、范闻捷、吴才聪编写，第二章由刘瑜编写，第三章由王长耀、李贵才编写，第四章由陈秀万、杨凯欣、吴才聪编写，第五章由马洪兵编写，第六章由王秀、赵春江编写，第七章由李民赞编写，第八章由承继成、王秀、陈秀万、范闻捷编写，第九章由李民赞、冯仲科编写。

本书在编写过程中得到了有关领导和一批德高望重的专家的亲切指导和大力支持。科技部部长徐冠华院士、副部长刘燕华教授、新疆生产建设兵团胡兆璋副司令员、北京大学校长许智宏院士和石河子大学校长向本春教授等领导对该项工作给予了非常宝贵的

支持。陈述彭院士作为名誉主编，自始至终关注和指导本书的编写和修改。陈运泰院士、童庆禧院士、石玉林院士、汪懋华院士、李小文院士、马俊如教授、林培教授、郑立中教授等专家对初稿提出了非常中肯的修改意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。同时也感谢科学出版社的大力支持。

本书可供从事农业科学技术与空间信息技术研究、开发的科学技术工作者和大专院校师生以及农业、区域规划与管理等部门的有关技术人员和管理人员参考使用。也将作为北京大学遥感与地理信息系统研究所和石河子大学农学院、新疆生产建设兵团农科院、国家农业信息化工程技术研究中心、石河子市科委等联合举办的主要针对新疆生产建设兵团农业科技人员和管理干部的“精准农业”系列培训班的教材之一。

限于编者水平，加之精准农业是一个新兴的、正在快速发展的领域，有关技术及其在精准农业中的应用也正处于不断完善之中，书中必然存在许多缺点乃至错误，恳请读者批评指正，也敬请各位专家、学者多提宝贵意见。我们将根据各方意见和精准农业技术与应用的最新发展，在再版时适时予以修正、完善。

目 录

序 言

前 言

第一章 概述	1
1.1 现代农业与精准农业	1
1.1.1 农业的社会发展阶段	1
1.1.2 农业技术革命	3
1.1.3 农业信息化	7
1.1.4 精准农业及其发展	10
1.2 精准农业的基础理论	11
1.3 精准农业的支撑技术	12
第二章 地理信息系统技术与精准农业	17
2.1 GIS 技术概述	17
2.2 GIS 技术在精准农业中的应用	19
2.2.1 从数据的角度看精准农业应用 GIS 的必要性	19
2.2.2 精准农业中的 GIS 应用	20
2.3 支持精准农业的地理信息系统建设	39
2.3.1 需求分析	39
2.3.2 数据建设	39
2.3.3 专业模型研究	40
2.3.4 系统软硬件平台建设	40
2.3.5 系统设计	40
2.3.6 系统实现和集成	40
第三章 遥感技术与精准农业	41
3.1 遥感的基本概念	41
3.1.1 遥感的定义	41
3.1.2 遥感的特性	42
3.1.3 遥感的分类	43
3.2 农业遥感监测机理	43
3.2.1 地物的波谱特征	43
3.2.2 气象卫星遥感	46
3.2.3 高光谱遥感	49
3.2.4 微波遥感	51
3.3 作物类型及播种面积的遥感监测	54
3.3.1 作物类型遥感图像识别的原理	54

3.3.2	遥感图像分类方法	55
3.3.3	高光谱遥感在作物识别分类中的应用	58
3.4	农作物水分、养分、病虫害等的遥感监测	59
3.4.1	土壤和作物水分的遥感监测	59
3.4.2	作物养分的遥感监测	63
3.4.3	农作物病虫害遥感监测	64
3.5	农作物长势与产量的遥感估算	66
3.5.1	作物长势监测	67
3.5.2	农作物遥感估产	70
第四章	卫星定位技术与精准农业	74
4.1	全球导航卫星系统及其定位原理	75
4.1.1	卫星定位系统的应用与发展	75
4.1.2	全球导航卫星系统概述	77
4.1.3	GPS 原理及其数据处理	87
4.2	卫星定位系统在精准农业中的应用	100
4.2.1	卫星定位系统的作用	100
4.2.2	卫星定位系统在精准农业中的应用概况	101
4.2.3	卫星定位系统在精准农业中的具体应用	102
4.3	农用卫星定位系统	110
4.3.1	系统组成	110
4.3.2	工作方式	115
4.3.3	应用实例	117
第五章	网络技术与精准农业	121
5.1	计算机网络技术基础	121
5.1.1	计算机网络的基本概念	121
5.1.2	局域网	126
5.1.3	Internet 技术基础	133
5.1.4	www 服务	141
5.2	农业信息采集与监控中的网络技术	147
5.2.1	农业信息采集与监控中的串行通信技术	148
5.2.2	现场总线技术	151
5.2.3	农业机械自动化中的网络技术	154
5.2.4	农业自动监测系统中的网络技术	156
5.3	农业信息网	160
5.3.1	农业信息服务	160
5.3.2	网络农业专家系统	168
5.3.3	农业电子商务	171
第六章	快速自动分析监测技术与精准农业	175
6.1	土壤信息采集与制图	175

6.1.1 土壤采样方法	175
6.1.2 土壤养分的快速测定	180
6.1.3 土壤水分快速采集	183
6.1.4 土壤养分的快速制图技术	189
6.2 农作物长势监测与产量测定	199
6.2.1 农作物长势监测	199
6.2.2 农作物产量的遥感估测	204
6.2.3 农作物计产收获	211
6.3 农作物病虫害监测	215
6.3.1 农作物病虫害遥感监测	215
6.3.2 计算机视觉技术识别杂草	219
6.3.3 田间调查处方图生成方法	223
第七章 全自动化农业机械电子监控技术与精准农业	227
7.1 拖拉机的自动控制技术	228
7.1.1 拖拉机的全自动导航技术	229
7.1.2 多台机器的伺服控制与导向技术	236
7.1.3 拖拉机——农业机械标准总线与系统集成	239
7.2 变量作业机械的自动控制技术	242
7.2.1 精准播种与施肥设备	243
7.2.2 精准农药喷洒设备	248
7.3 农作物产量自动监测技术及设备	249
7.3.1 应用于谷物联合收割机的测产系统	250
7.3.2 采棉机的测产系统	260
7.4 车载式精准农业自动作业系统	264
7.4.1 基于近红外分光技术的土壤在线分析仪	264
7.4.2 激光控制平地系统	266
7.4.3 土壤电导率 (EC) 实时测试系统	268
7.5 精准灌溉技术及设备	271
7.5.1 精准灌溉的基本思路	272
7.5.2 基于固定式喷灌与滴灌设备的精准灌溉技术	272
7.5.3 基于大型平移式喷灌机的精准灌溉技术	274
第八章 精准农业技术集成与应用	284
8.1 精准农业技术集成	284
8.1.1 精准农业技术体系	284
8.1.2 信息获取	285
8.1.3 信息处理与分析	286
8.1.4 田间实施	288
8.2 精准农业实践过程	288
8.2.1 信息采集	290

8.2.2 信息处理	292
8.2.3 田间实施	295
8.3 应用范例——北京小汤山国家精准农业示范	295
8.3.1 北京小汤山国家精准农业示范基地介绍	297
8.3.2 高光谱遥感技术用于作物苗情诊断和生化组分测试的研究	297
8.3.3 精准农业资源管理地理信息系统建设	299
8.3.4 精准农业农田信息采集系统	300
8.3.5 变量作业机具的研制	303
8.3.6 产量填图的方法及应用	307
第九章 精准农业的延伸应用	316
9.1 精准园艺——自动控制蔬菜、水果栽培管理设备	316
9.1.1 收获机器人	317
9.1.2 栽培、管理机器人	319
9.2 精准养殖——自动养殖技术与设备	323
9.2.1 家畜饲养中的电子识别装置	324
9.2.2 全自动奶牛饲养机器人	325
9.2.3 全自动家蚕饲养机器人	327
9.3 精准食品加工——农产品品质分析检测技术	329
9.3.1 水果、蔬菜品质检测技术	329
9.3.2 谷物品质检测技术	332
9.4 精准林业	334
9.4.1 精准林业导论	334
9.4.2 遥感技术在精准林业中的应用	336
9.4.3 专家系统在精准林业中的应用	337
9.4.4 精准林木检测技术	338
9.4.5 精准林业管理平台	341
结 语	345
参考文献	348

第一章 概述

导读：精准农业是现代农业的一个重要组成部分和重要的发展方向之一，越来越受到广泛关注。精准农业也叫精细农业或精确农业，有时也被称作数字农业，通俗地讲就是综合应用现代高新科学技术、以获得农田高产、优质、高效的现代化农业生产模式和技术体系。精准农业的战略目标是：实现提高经济效益和保护生态环境的协调统一，遵循可持续发展原则，达到减少资源浪费、减轻环境污染、提高土地利用效率、降低农业生产成本等目的。

本章分三节，分别介绍现代农业与精准农业、精准农业基础理论、技术支撑与战略目标。

1.1 现代农业与精准农业

1.1.1 农业的社会发展阶段

农业是社会经济的一个重要组成部分，而且也是基础部分和最早出现的产业。“民以食为天”，所以在社会发展的最初阶段就有了农业。那时工业尚未出现，即使手工业也是在农业社会发展到一定程度后才出现的，所以那时的社会称为农业社会。考察社会经济发展的驱动力或生产要素就会发现不同的社会发展阶段，其生产要素或社会经济发展的驱动力是不同的。在农业社会，生产的发展，主要是农牧业的发展，主要靠两要素即资源与劳动力。资源是指土地资源和牲口资源。劳动力是指体力较强的人口。社会经济的发展是以拥有的资源量和劳动力的多少来决定的。

在工业社会中，生产的发展或社会经济的发展，除了依靠资源和劳动力两要素外，还增加了资金要素，所以称为“生产三要素”或经济发展“三要素”。资源除了土地资源外，还包括机器和厂房等，劳动力除了农民外，主要还包括工人。资金在工业社会中起到十分重要的作用，有了资金（本）就可以买到资源和雇佣劳动力，到了工业社会的中后期，又称为资本主义社会。在工业社会中，农业生产也受“三要素”的影响，资金在农业生产中也起到了明显的作用，有了资金也就有了土地和劳动力。

在信息社会或知识经济社会中，生产的发展或社会经济的发展，生产“三要素”是必要的保障，还主要依靠知识和科技，尤其是信息技术，科学技术成为第一生产力。

因此要发展农业生产，在农业社会主要依靠资源，尤其是土地资源和劳动力；在工业社会主要依靠资源、劳动力和资金；在知识经济或信息社会，主要靠知识和科技，尤其是靠信息技术。所以农业生产发展的驱动力，随着社会发展而变化。

当前人类社会正进入知识经济社会或信息社会，科学技术是第一生产力，发展经济或生产要靠科学技术，要靠信息。发展现代农业生产虽然仍离不开土地资源、资金和劳

动力,即原来的“生产三要素”仍然是今天必不可少的保障条件,但主要还是要靠科技和信息,而不再以扩大耕地面积、增加劳动力和资金投入作为首要条件。虽然资金是非常重要的,但资金主要用于开发农业科技和信息,而不是用于开垦荒地或扩大耕地面积。劳动力也十分重要,但主要是指有知识的农民和技术人员。

把发展农业生产的驱动力重点放在依靠科技和信息,不仅是科学的、符合时代特点和当前的大趋势,而且也有利于生态环境建设和实现农业的可持续发展。

近10年来,我国无论在信息传播硬件建设,还是在农业信息平台 and 资源建设上都取得了较大进展(科技日报,2002)。目前,我国拥有涉农网站2600多个;国家科技攻关计划开展了“农业决策支持信息系统研究”、“农业信息化关键技术研究”,为国家宏观决策和农业科技信息传播发挥了重要作用。国家“863计划”开展了“智能化农业信息技术应用示范工程”,在全国建立了20个示范区。“网络农业”、“精准农业”、“虚拟农业”等探索研究也应运而生。在农业研究信息系统、科技基础数据库、小麦-玉米连作智能决策系统、农业词表和机器翻译系统、多媒体光盘应用系统、农场管理系统、畜牧营养数据库、土肥信息管理系统、草地信息系统等方面也取得了一系列科技成果。

农业现代化是人们十分关心的问题。但对于“现代农业”的理解,众说纷纭,见仁见智。在20世纪的70年代,有人认为农业现代化就是指农业的机械化、水利化、化学化和电气化。到了90年代,有人认为农业现代化就是指生态农业、可持续农业和集约农业。《百科全书》对农业现代化的注释是:“指用现代科学技术,现代工业装备和现代管理方法改造农业的过程”。江泽民在20世纪90年代指出:“在经济发达地区率先基本上实现农业现代化”。他又说:“四个现代化,哪一个也离不开信息化”,农业现代化主要是指农业信息化。

信息技术正在对农业产生广泛而深刻的影响。智能化农业专家系统使农业由定性到量化,由经验到科学;网络技术使农业由分散封闭到信息灵通;精准农业技术使农业由粗放到精准;3S技术(遥感、地理信息系统和全球定位系统)使农业管理由宏观到微观。信息技术正在大大改善农业的分散性、区域性、时空多变性、经验性以及不稳定性 and 可控程度低的行业弱势,使农业登上信息化的历史巨轮。

在世界人口激增和工业革命的双重压力下,科技和工业革命大潮激发了农业科技革命,出现了化学肥料、合成农药、育种技术、拖拉机和农用电力,外源的物质和能量打破了古代农业封闭式的循环,带来了20世纪农业的高速发展。高投入,高产出,也付出了高代价,化学物质的污染、自然资源的破坏、能源的高消耗,深深地困扰着当今社会,近代农业陷入困境,人们又在求索新的出路。

生产力是社会发展的原动力,作为第一生产力的科技,它的每一次重大突破都会将生产力提升到一个新的水平,不断发展和发展的阶段性是客观世界发展的基本规律。

精细化工、新型材料、自动控制、航空航天等现代工程技术也加速了对农业的武装。紧密贴近作物营养需求,工业与农业相结合以及高效、多元、无公害的肥料生产和施肥技术体系正在形成;灌溉正由传统的沟输畦灌向着激光平地与低压管道输水、精细灌溉与水肥药联用相结合的节水农业方向发展;工厂化种植和养殖,是工程设计、新型材料、自动控制、专用品种、专门栽培饲养和植保防疫技术相结合的一种先进生产和管理方式。

生物技术、信息技术和现代工程技术不是常规农业技术一般意义上的发展,而是在分子和信息化层次上的一次重大技术突破,一个崭新的现代农业技术平台。在未来的二三十年里,将逐渐完善以生物技术和信息技术为先导的技术和生产体系,使现代农业成为现代技术高度密集的产业。

1.1.2 农业技术革命

农业技术经历了从“刀耕火种”到“木犁-铁犁”,从单靠人力劳动到畜力支持劳动,尔后在工业革命的推动下,又出现了大量的农业机械,一些发达国家和地区实现了农业生产机械化和自动化或半自动化的大农业生产。在农业生产过程中,体力劳动所占的比例逐渐减少,智力劳动所占的比例逐渐增加。资金也主要用于农业科技开发上,于是在20世纪中叶开始,进行了一系列的农业技术革命,主要包括以下几个方面。

1) 绿色革命

狭义绿色革命是指发生在印度的“绿色革命”。1967~1968年印度开始了靠先进技术提高粮食产量的绿色革命的第一次试验,结果粮食总产量有了大幅度提高,使印度农业发生了巨变。广义的绿色革命是指在生态学和环境科学基本理论的指导下,人类适应环境,与环境协同发展、和谐共进所创造的一切文化和活动。

20世纪70年代以来,绿色革命在发达国家、尤其是在发展中国家开花结果。可以说发达国家是在实现农业现代化的基础上,从绿色革命所提供的新品种获益的。由于对高肥土壤和水分反应良好的矮秆、半矮秆小麦和水稻品种的使用和推广,全世界粮食产量增加了2倍多,有18个粮食长期匮乏的国家改善了粮食的供应状况或基本上实现了粮食自给。我国也从这场绿色革命中受益,依靠传统的精耕细作和现代科技产品相结合,让占世界不到7%的耕地养活了占世界22%的人口。

此后不久,绿色革命就逐渐暴露其局限性。化肥、农药和农业机械的使用,必然要增加大量投资,不仅生产成本高,还会加重国家财政负担。由于大量灌溉,长期使用化肥、农药,造成土地板结和盐碱化,环境污染等问题也日益突出。90年代初,又发现其高产谷物中矿物质和维生素含量很低,用作粮食常因维生素和矿物质营养不良而削弱了人们抵御传染病和从事体力劳动的能力,最终使一个国家的劳动生产率降低,经济的持续发展受阻。

2) 白色革命

1828年法国人莱达诺发明聚氯乙烯,此后德国人又对聚氯乙烯进行了大量的研究,1938年,美国开始进行聚氯乙烯的工业化生产。1951年,日本开始试验用塑料薄膜代替油纸和玻璃,此后塑料薄膜在农业上的应用迅速发展起来。50年代初期,美国在夏威夷将薄膜用于地面覆盖。1976年日本地面用塑料薄膜覆盖面积已达20万 hm^2 以上,也正是这一项新技术,在人类农业生产史上掀起了一场以大幅度增产为目的的“白色革命”。随着世界各国用于地面覆盖的塑料薄膜种类的不断更新和发展,目前,“白色革命”仍在持续和发展。

日本是世界上研究应用地膜覆盖栽培最早的国家之一,在农田地膜的研究开发中成绩卓著。在生产上开发并应用了普通透明地膜、黑色膜、绿色膜等十几种,促进了地膜覆盖栽培技术的改进。日本还研制开发出了适用小型的轻型地膜覆盖机,普及到农户,为适时、优质覆盖地膜提供了必要的机械。美国在地膜覆盖栽培技术的研究及新覆盖材料的开发方面也做了大量工作,如研究应用了可以改变地膜覆盖小气候和土壤条件的农田保苗覆盖膜,加入杀菌剂,制成了防病杀菌膜,使用后可以被植物吸收利用的聚烯烃薄膜。还有遇水能分解的纤维素材料组成的多乳性薄膜片——地面覆盖片,可保护种子及土壤不受侵蚀。地膜覆盖栽培技术不仅仅限于半干旱地区应用,目前在欧洲水源丰富的地中海沿岸国家也大量采用,法国、意大利、英国、原苏联、德国等分别根据本国实际情况而采用不同地膜覆盖栽培技术,在农作物及经济作物方面取得了显著的增产效果。

我国在 20 世纪 60 年代开始进行塑料薄膜地面覆盖的试验研究。1980 年塑料薄膜地面覆盖栽培面积已达 5 万多亩,1981 年推广面积已发展到 22 万亩,从北到南,包括 30 个省、市、自治区,试验作物由蔬菜发展到棉花、花生、水稻、甘蔗、烟草、西瓜、甜瓜、草莓、葡萄等粮食、瓜果和经济作物 60 余种。各地对比试验的结果表明,地膜覆盖对促进作物早熟、增产有着显著作用,一般增产幅度在 30% 以上,不少作物增产超过 50%,使作物稳定早熟 7~10 天,产品质量也有明显提高。

覆盖地膜在农田上的作用主要有 6 点:能够调节土壤温度,充分利用生长季节;保持水土湿润,提高水分利用率,且在旱季能节水抗旱,在雨季能抗涝;维持土壤疏松,减轻土壤盐渍化程度;促进土壤养分分解转化,提高土壤肥力,从而提高产量;防止和减轻病虫害,增强抗害能力;使用地膜可抑制和减轻杂草的危害,显著增加收益。

但是,事物总是一分为二的,随着种植面积的扩大和使用年限的增加,土壤中残存的塑料薄膜片越来越多,造成土壤板结、通透性差、地力下降,严重影响了作物的生长、发育和产量。当然,造成这类污染还有乱弃塑料包装袋等原因。随着塑料包装袋进入千家万户,给城乡带来的环境污染越来越大,这就是所谓的“白色污染”。白色污染的危害是显而易见的、不可忽视的,它像白色幽灵一样在天地间任意横行。现在,它已成为污染人类生存环境的顽疾,因此,“消除白色污染,倡导绿色消费”成为 1999 年“世界地球日”环境宣传活动的主题。开发可降解塑料、使其成为环境消纳的包装材料的应用产品,是解决白色污染的有效措施。目前,世界各国在这一研究领域已经取得了一系列突破性的成果,产品已实用化。

对于“白色革命”的另外一种解释是印度倡导的奶业生产。二战后,日本提出“一杯牛奶强壮一个民族”口号,印度则倡导一场被认为全球规模最大、成绩最佳的发展奶业生产的“白色革命”。现在,印度已成为仅次于美国的世界第二大牛奶生产国,2000 年牛奶产量 70kg/人。

牛奶含有几乎全部已知的维生素以及多种免疫活性因子,是营养最全面的食品,不但婴儿受益,成年人长期饮用也能强身健体,延年益寿。我国奶业发展潜力大,目前,我国肉蛋奶比例很不协调,肉类蛋类总产量分别占世界总产量的 29% 和 40%,而奶类仅占 1%。从肉蛋奶的人均占有量看,肉类超过世界平均水平,禽蛋达到发达国家水平,而奶类人均不到 7kg,仅为世界平均水平的 1/15、发达国家的 1/46。牛奶在我国