



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

精细农业

Precision Agriculture

■ 汪懋华 主编

03.3



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

F303.3

1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

精细农业

Precision Agriculture

汪懋华 主编

昆明理工大学图书馆
呈贡校区
中文藏书章



03002096470

中国农业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍精细农业的基本概念、技术思想、技术支撑及国内外发展概况,重点介绍精细农业学科的最新发展动态和技术体系,包括卫星定位技术、地理信息系统、遥感技术及其在精细农业中的应用,面向精细农业的农业信息采集与数据处理技术,变量作业技术及其关键设备,农业装备自动化及农业机器人技术,以及精细农业技术的集成与应用等。

图书在版编目(CIP)数据

精细农业/汪懋华主编. —北京:中国农业大学出版社,2011.6

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-5655-0296-5

I. ①精… II. ①汪… III. ①精细农业 IV. ①F303.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 094733 号

书 名 精细农业

作 者 汪懋华 主编

策划编辑 张苏明

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 17 印张 420 千字

印 数 1~2 000

定 价 29.00 元

责任编辑 张苏明

责任校对 陈 莹 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换



主 编 汪懋华

副主编 张 漫 李民赞 刘 刚

编 者 邝朴生

王 熙、庄卫东

陈树人

刘燕德

刘 卉

孙旭东

孟志军

汪懋华、张 漫、李民赞、

刘 刚、张彦娥、李 莉

河北农业大学

黑龙江八一农垦大学

江苏大学

华东交通大学

首都师范大学

江西农业大学

国家农业信息化工程技术研究中心

中国农业大学

前言

精细农业是现代农业的发展趋势,是从 20 世纪 90 年代发展起来的基于信息和知识的现代农业管理与经营理念,是实现农业可持续发展的技术支持。它是充分利用现代信息技术,根据作物生长状态、土壤条件、水肥状况、环境和气候条件等因子的时空变异,定位、定时、定量地进行农田作业和农资投入的现代农业管理体系,以最少的或最节省的投入获得同等收入或更高收入,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。精细农业也是可持续发展农业,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。

从 20 世纪 90 年代中期开始,中国农业大学致力于引进、传播和推广精细农业理念,并于 1998 年成立了我国第一个精细农业专门研究机构——中国农业大学精细农业研究中心,从事精细农业的研究和人才培养。随着精细农业理念的深入与推广,东北农业大学、吉林大学、沈阳农业大学、黑龙江八一农垦大学、河北农业大学、浙江大学、江苏大学、华南农业大学、西北农林科技大学等我国一些知名大学都相继开展了相关的研究与教育,并分别获得了国家科技攻关计划、国家 863 计划、国家自然科学基金等的资助,已经取得了一些适合我国国情的研究成果,并通过研究生培养造就了一大批精细农业高级技术人才。2002 年在中国农业大学精细农业研究中心的基础上,教育部批准成立了“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室,成为第一个相应的部级重点实验室,为精细农业的教育与科研提供了新的平台。

随着精细农业理念的传播,我国一些研究机构也相继开始了精细农业的相关研究,其中有中国科学院、中国农业科学院、国家农业信息化工程技术研究中心等国家级科研院所。在过去的 10 年里,我国“十五”和“十一五”期间的 863 计划项目中都安排了相关的专项和重大专题,在“十五”攻关课题和“十一五”科技支撑计划中也设置了相关研究与开发项目。在国家“十二五”科技计划中,精细农业继续被列入重点发展项目。我国农业技术和相关信息产业、工程制造业的发展以及智能控制技术的广泛应用,为进一步研究实践精细农业提供了良好的基础。

为了适应我国精细农业教育和研究的飞速发展,为教学和科研提供合适的教材和参考书目,作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材项目,我们编写了这本《精细农业》。

本教材共 8 章。前言由汪懋华和李民赞编写,第 1 章概述由汪懋华、李民赞编写,第 2 章卫星定位技术及其在精细农业中的应用由庄卫东、张漫编写,第 3 章地理信息系统及其在精细农业中的应用由李莉、刘刚编写,第 4 章遥感技术及其在精细农业中的应用由张彦娥、李民赞编写,第 5 章面向精细农业的农业信息采集与数据处理技术由陈树人、张漫、刘卉、李民赞编写,第 6 章变量作业技术及其关键设备由张漫、邝朴生、李民赞编写,第 7 章农业装备自动化及农业机器人技术由刘燕德、刘刚、张漫、孙旭东、李民赞编写,第 8 章精细农业技术集成与应用由刘卉、王熙、孟志军、张漫编写。最后由汪懋华、李民赞、张漫对全书进行了统稿。

本书的编写出版得到了国内同行和专家的大力支持,他们中有中国工程院院士、华南农业

大学教授罗锡文先生,中国农业大学副校长傅泽田教授,国家农业信息化工程技术研究中心主任赵春江教授、副主任王纪华教授以及黄文江教授,国家农业智能装备工程技术研究中心主任陈立平教授,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所金继运教授、白由路教授,黑龙江八一农垦大学副校长汪春教授、工程学院院长张伟教授、信息技术学院院长衣淑娟教授,华南农业大学区颖刚教授、洪添胜教授,浙江大学农业生命环境学部副主任,“长江学者”、国家教学名师应义斌教授,浙江大学求是特聘教授、国家教学名师何勇教授,南京农业大学原副校长曹卫星教授和朱艳教授,江苏大学农业工程研究院院长毛罕平教授、胡永光博士,河北农业大学刘俊峰教授,西北农林科技大学机械与电子工程学院院长何东健教授、杨青教授,还有中国农业大学信息与电气工程学院院长杨仁刚教授以及李道亮教授、王鹏新教授、朱德海教授,中国农业大学工学院院长、“长江学者”韩鲁佳教授和“长江学者”李洪文教授,中国农业大学水利与土木工程学院副院长李保明教授、“长江学者”康绍忠教授,中国农业大学资源与环境学院院长、“长江学者”张福锁教授和苗宇新博士,在此表示深深的感谢。

中国农业大学出版社以及责任编辑为本书的出版付出了辛劳和心血,保证了书籍的按时出版,在此向出版社和责任编辑表示深深的敬意和感谢。

本书可供从事现代农业、精细农业、农业信息化技术研究、开发的科技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使用参考。在编写中我们精益求精、一丝不苟,努力把一部优秀教材奉献给读者,但是书中难免存在缺点乃至错误,恳请各位读者批准指正,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细农业技术与应用的最新发展,在再版时修正、完善。

作者

2011年1月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 现代农业与精细农业	1
1.2 精细农业关键技术	4
1.3 精细农业的发展	6
参考文献	9
第 2 章 卫星定位技术及其在精细农业中的应用	11
2.1 全球导航卫星系统及其定位原理	11
2.2 卫星定位系统在精细农业中的应用	34
参考文献	40
第 3 章 地理信息系统及其在精细农业中的应用	41
3.1 GIS 技术概述及发展	41
3.2 GIS 技术在精细农业中的应用	43
3.3 支持精细农业的地理信息系统工程	61
参考文献	71
第 4 章 遥感技术及其在精细农业中的应用	73
4.1 遥感的基本概念	73
4.2 农业遥感监测机理	76
4.3 作物类型及播种面积的遥感监测	90
4.4 作物生长环境及病虫害等的遥感监测	96
4.5 农作物长势与产量的遥感估算	102
参考文献	107
第 5 章 面向精细农业的农业信息采集与数据处理技术	109
5.1 土壤信息采集与制图	109
5.2 农作物长势监测与产量测定	124
5.3 农作物病虫草害监测	142
5.4 农田土壤温湿度监测无线传感器网络技术	149
参考文献	159
第 6 章 变量作业技术及其关键设备	161
6.1 变量作业原理及处方图的生成	161
6.2 变量施肥技术及其关键设备	166
6.3 变量施药技术及其关键设备	176
6.4 变量灌溉技术及其关键设备	180

6.5 变量播种技术及其关键设备	182
参考文献	184
第7章 农业装备自动化及农业机器人技术	186
7.1 拖拉机的自动导航控制技术	186
7.2 农业作业机器人技术	205
7.3 车载式精细农业自动作业技术与系统	214
7.4 自动养殖技术与设备	220
7.5 农产品品质分析检测技术	223
参考文献	230
第8章 精细农业技术集成与应用	233
8.1 精细农业技术集成	233
8.2 精细农业实践过程	239
8.3 精细农业应用范例	244
参考文献	261

第1章

概述

1.1 现代农业与精细农业

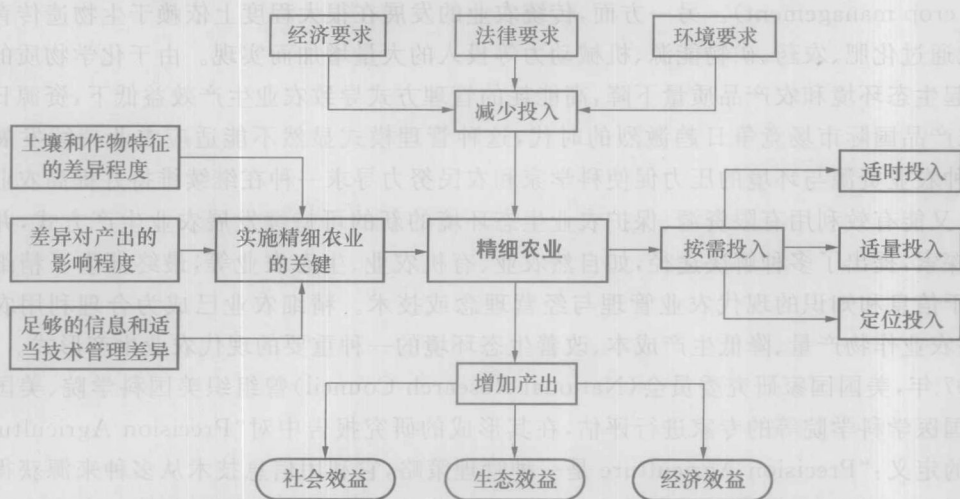
精细农业是从20世纪90年代发展起来的基于信息和知识的现代农业管理与经营理念,是实现农业可持续发展的技术支持。精细农业技术体系是农学、农业工程、电子与信息科技等多种学科知识的集成,其应用研究与发展涉及直接面向农业生产者应用服务的电子信息高新技术,农田信息快速采集与可视化表达技术,农田耕作、土肥管理、农药利用、污染控制等适用技术和农业工程装备及其产业化技术。

精细农业即国际上已趋于共识的“Precision Agriculture”或“Precision Farming”学术名词的汉语意译。这一技术体系的早期研究与实践始于20世纪80年代初期,当时发达国家从事作物栽培、土壤肥力、作物病虫害防治的农学家在进行作物生长模拟模型、栽培管理、测土配方施肥和植保专家系统应用研究与实践中,为进一步揭示出农田内小区作物产量和生长环境条件的明显时空差异性,提出对作物栽培管理实施定位、按需变量投入,或称“处方农作”(site-specific crop management)。另一方面,传统农业的发展在很大程度上依赖于生物遗传育种技术,以及通过化肥、农药、矿物能源、机械动力等投入的大量增加而实现。由于化学物质的过量投入引起生态环境和农产品质量下降,高能耗的管理方式导致农业生产效益低下,资源日显短缺,在农产品国际市场竞争日趋激烈的时代,这种管理模式显然不能适应农业持续发展的需要。这种农业资源与环境的压力促使科学家和农民努力寻求一种在继续维持并提高农业产量的同时,又能有效利用有限资源、保护农业生态环境的新的可持续发展农业生产方式,并进行了多种探索,提出了多种解决途径,如自然农业、有机农业、生态农业等,最终催生了精细农业这一基于信息和知识的现代农业管理与经营理念或技术。精细农业已成为合理利用农业资源、提高农业作物产量、降低生产成本、改善生态环境的一种重要的现代农业生产形式。

1997年,美国国家研究委员会(National Research Council)曾组织美国科学院、美国工程院和美国医学科学院等的专家进行评估,在其形成的研究报告中对“Precision Agriculture”作了如下的定义:“Precision Agriculture是一种管理策略,它利用信息技术从多种来源获得的数据,为作物生产管理提供科学的决策支持。”报告还指出:“传统农业管理和精细农业之间的关键差别在于,后者是应用现代信息技术以提供、处理和分析多方面高时空分辨率的数据信息来制定管理决策和实施作物生产管理。”20世纪80年代初期个人计算机技术的突破和应用逐步普及,国外开始了有关作物生产定位管理技术思想的早期实践,曾使用过“spatially-variable crop management”(空间变量作物管理)、“site-specific management”(SSM,定位管理)、“prescription agriculture”(处方农业)等名称,到90年代中期国际上才统一为“Precision Agricul-

ture”,在科技与产业界广泛采用,欧洲基于面向大田作物和动物饲养精细管理的实践,多用“Precision Farming”的学术名词。它实际上容纳了两层含义,即:“precision”,可译作“精密”、“精确”、“精细”、“精准”(如小汤山国家精准农业研究示范基地);“agriculture”,译作“农业”,“farming”则可译为“农作”、“耕作”等。作物生产涉及时空变异的农田生态环境,它既需要从技术角度更精细地认识和管理农田土壤与合理利用各种物质投入,谋求基于空间变量信息实现管理决策的精细化;同时又要考虑实施方案的技术经济与环境效益的可行性。基于农田小区差异性进行精细农作管理的理念是一种近似概念,是随着技术进步和不同地区社会经济发展不断改善和优化农作管理使之精细化的发展过程。同时,“精耕细作”本是中华民族传统农业的精华,采用“精细农作”或“精细农业”的学术名词,既是传统“精耕细作”思想的继承,又能体现基于现代信息高新技术实施大面积“精耕细作”技术思想的发展。“精细农业”应是为了达到优质、高产、高效益,适应不同地区社会、经济、科技发展需求的信息时代的现代农业精细管理与经营技术。

图 1.1 是精细农业思想的示意图,实施精细农业的关键包括对土壤和作物特征的差异程度的调查和理解,在理解了土壤和作物特征差异的基础上对产量的预测和分析,以及进一步的基于土壤和作物特征差异的农田管理。上述农田管理的核心即按需投入。这一过程可描述为在获取农田小区作物产量和影响作物生长的环境因素(如土壤结构、地形、植物营养、含水量、病虫害害等)实际存在的空间和时间差异性信息的基础上,分析影响小区产量差异的原因,采取技术上可行、经济上有效的调控措施,区别对待,按需实施定位调控。因此精细农业技术体系就包括了信息获取与数据采集、数据分析与可视化表达、作业决策分析和精细农田作业的控制实施等主要组成部分。



(1)数据采集 精细农业技术是通过产量测量、作物监测以及土壤采样等方法来获取数据,以便了解整个田块的作物生长环境的空间变异特性。①产量数据采集。在农作物收获的同时,实时记录每一小区的产量,记录数据还包括产量数据对应的位置信息和其他必要的农产品特性信息(如谷物含水量等)。②土壤数据采集。土壤信息一般包括土壤含水率、土壤肥力、土壤有机质含量、土壤 pH、土壤压实程度、耕作层深度等。土壤采样以及采集土壤特性数据

时也需要记录位置信息。③苗情、病虫害数据采集。记录作物长势或病虫害害的分布情况。④其他数据采集,例如地块边缘测量,农田近年来的轮作情况、平均产量、耕作和施肥情况,作物品种、化肥、农药、气候条件等有关数据。

(2)数据分析 采集的数据一般以文本表形式表示,需要利用一些数学方法进行处理,生成分布图。①产量数据分布图。由于产量数据是通过连续采样获得的,一般需要对数据进行预处理,以消除采样测试误差。②土壤数据分布图。由于土壤采样是非连续的采集,需要估计采样点之间的数据,这种估计过程称为插值。③苗情、病虫害分布图。该数据采集既不像产量测量那样连续采样,也不像土壤采样那样以栅格形式采集,而是在行走中人为定点,记录数据。

(3)决策分析 精细农业技术是根据田间采集到的不平衡空间分布数据及有关作物的其他信息,经过决策分析,来控制投入方式和施用量。决策分析是精细农业的核心,直接影响精细农业技术的实践效果。GIS被用于描述农田空间的差异性,而作物生长模拟技术则被用来描述某一位置上特定生长环境下的生长状态。只有将GIS与模拟技术紧密地结合在一起,才能制订出切实可行的决策方案。GIS作为存储、分析、处理、表达地理空间信息的计算机软件平台,其空间决策分析一般包括网络分析、叠加分析、缓冲区分析等。作物生长模拟技术是利用计算机程序模拟在自然环境条件下作物的生长过程。作物生长环境除了不可控制的气候因素外,还包括土壤肥力、墒情等可控因素。GIS提供田间任一小区、不同生长时期的时空数据,利用作物生长模拟模型,在决策者的参与下,提供科学的管理方法,形成田间管理处方图,指导田间作业。

(4)控制实施 精细农业技术实施的目的是科学管理田间小区,降低投入,提高生产效率。支持精细农业技术的农业机械设备包括精细收获、精细播种、精细施肥、精细除草以及精细灌溉机械等。

现代农学技术与电子信息技术的发展,使定量获取这些影响作物生长及最终收成的空间差异性信息,实施基于知识和现代科技的分布式调控,达到田区内资源潜力的均衡利用和获取尽可能高的经济产量成为可能。图1.2是精细农业技术循环的示意图,其实施过程可描述为:带定位系统和产量传感器的联合收获机自动采集田间定位及对应小区平均产量数据→通过计算机处理,生成作物产量分布图→根据田间地形、地貌、土壤肥力、墒情等参数的空间数据分布图,作物生长发育模拟模型,投入、产出模拟模型,作物管理专家知识库等建立作物

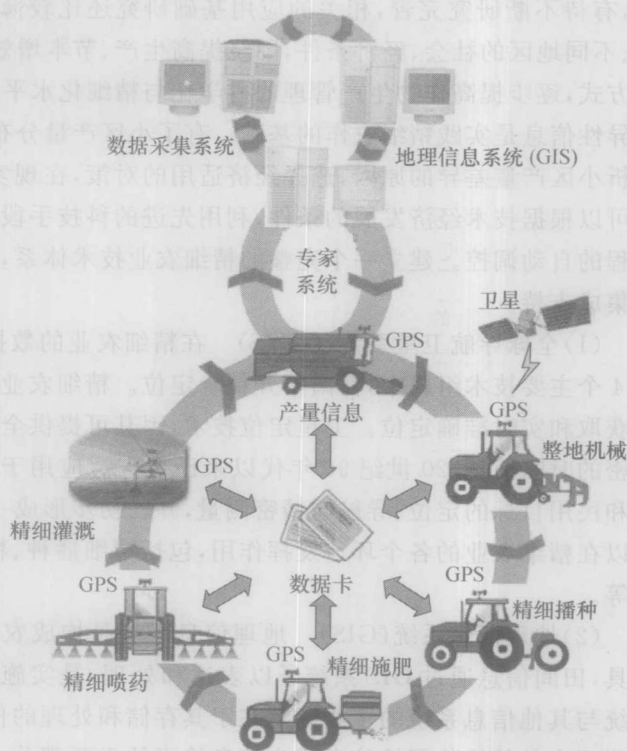


图 1.2 FieldStar 精细农业技术循环示意图

(Schmerler J. 等, 1997)

管理辅助决策支持系统,并在决策者的参与下生成作物管理处方图→根据处方图采用不同方法与手段或相应的处方农业机械按小区实施目标投入和精细农业管理。上述精细农业技术体系在许多发达国家的试验和应用表明,可以显著节约投入,获得良好的经济效益,受到农户的欢迎。

1.2 精细农业关键技术

精细农业是基于田间小区农作条件的空间差异性实现优化作物生产系统目标的,但工程支持技术的开发研究,对实现这一技术思想起着关键的作用。例如:农田信息采集与处方农作的空间定位,需要依靠全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System,GNSS);地理空间信息管理和数据处理,需要应用地理信息系统(geographical information system,GIS);未来大量地理空间数据的更新,需要遥感技术(remote sensing,RS)的支持;作物产量计量与小区产量图的生成,需要能按秒记录收获机累计产量和对应地理坐标位置的智能型收获机械以及计算机数据处理和产量图自动生成技术;田区空间变量信息的快速实时采集,需要研究基于新原理的传感技术与信号处理技术;按小区实施自动处方农作、调控目标投入,需要变量处方农业机械;制订科学的农作处方,需要计算机作物管理辅助决策支持系统的支持;作为一个能协调运作的智能化系统,需要有高效的信息集成以及有关信息传输、标准化技术的研究;等等。迄今为止,精细农业在发达国家也不过十几年的应用试验历史,部分支持技术手段还不十分成熟,有待不断研究完善,相关的应用基础研究还比较薄弱。精细农业应用实践可根据不同国家、不同地区的社会、经济条件,围绕提高生产、节本增效、保护环境的目标,采用不同的技术组装方式,逐步提高作物生产管理的科学化与精细化水平。其中,获取农田小区产量空间分布的差异性信息是实践精细农作的基础。有了小区产量分布图,农户既可以根据自己的经验知识,分析小区产量差异的原因,选择经济适用的对策,在现实可行条件下采取适当措施实施调控;也可以根据技术经济发展的条件,利用先进的科技手段或智能化变量处方农业机械实现生产过程的自动调控。建立一个完整的精细农业技术体系,需要有多种技术知识和先进技术装备的集成支持。

(1)全球导航卫星系统(GNSS) 在精细农业的数据采集、数据分析、决策分析、控制实施等4个主要技术组成中,都离不开精确定位。精细农业广泛采用全球导航卫星系统来实现信息获取和实时准确定位。卫星定位技术,因其可提供全天候、实时、高精度三维位置、速度以及精密的时间信息,20世纪90年代以来已被广泛应用于陆地、海洋、空间和航天领域内各类军用和民用目标的定位、导航与精密测量,并已初步形成一个新兴的高科技产业。卫星导航技术可以在精细农业的各个环节发挥作用,包括精细播种、精细施肥、精细喷药、精细灌溉、精细收割等。

(2)地理信息系统(GIS) 地理信息系统是构成农作物精细管理空间信息数据库的有力工具,田间信息通过GIS系统予以表达和处理,是实施精细农业的关键技术之一。地理信息系统与其他信息系统的主要区别在于其存储和处理的信息是经过地理编码的,地理位置及与该位置有关的地物属性信息成为信息检索的重要部分。在地理信息系统中,现实世界被表达成一系列的地理要素和地理现象,这些地理特征至少有空间位置参考信息和非位置信息两个组成部分。一个完整的GIS主要由5个部分构成,即硬件、软件、数据、人员和方法。硬件和

软件为地理信息系统建设提供环境;数据是GIS的重要内容;方法为GIS建设提供解决方案;人员是系统建设中的关键和能动性因素,直接影响和协调其他几个组成部分。

(3)遥感技术(RS) 遥感技术是精细农业实践中支持大面积快速获得田间数据的重要工具,它利用高分辨率传感器,在不同的作物生长期实施全面监测,根据光谱信息,进行空间定性、定位分析,为定位处方农作提供大量的田间时空变化信息。精细农业实践中,RS虽不能直接测量土壤水分、植物冠层营养水平、籽粒与生物产量等信息,但可通过多光谱测量推断出结果。由测量引导推理的过程,需利用数据分析工具寻求传感数据与土壤或植物的相关关系,一旦这种关系建立起来,就可以对大面积的条件进行推理。现有的RS软件均与流行的主要GIS软件具有数据通信接口,容易将RS分析与图像数据组装到GIS图层中支持作物生产管理决策分析。

(4)农田信息采集与处理技术 农田信息包括过去积累的信息和作物生产过程中实时收集的信息,如何合理利用这些信息必须首先从获得信息的方法入手,尽量以低成本的方法获得多方面的生产信息,为农业生产提供更多的决策依据。这些信息包括:产量数据,土壤数据(含水率、肥力、有机质含量、pH、压实程度、耕作层深度),苗情、病虫害数据以及其他数据(如地块边缘测量,农田近年来的轮作情况、平均产量、耕作和施肥情况,作物品种、化肥、农药、气候条件等)。

(5)变量作业控制技术 精细农业是基于时空变异的现代农业经营、管理技术,因此变量作业控制技术(variable rate treatment,VRT)是精细农业的核心,变量作业机械是实现这一核心必不可少的关键手段。变量作业控制技术包括基于作业处方图(map-based)的VRT和基于传感器(sensor-based)的VRT。基于作业处方图的变量作业技术,为得到作业处方图,首先必须全面获取作物产量、土壤参数等的时空变异信息,接着还要根据植物生长模型以及气象等环境条件,预测作业的发芽率、长势以及养分需求,然后综合上两步的分析结果,再利用地理信息系统和决策支持系统(DDS)得到所期望的作业处方图。由于这张处方图是建立在试验分析基础上的,因此它与实际的农田需要(如施肥需求量)总是存在一定差异。因此,人们期望在条件允许的情况下应用现代传感技术实时监测作物(或土壤)的需肥量,然后实时控制机器进行变量作业,从而实现更精细的因时、因地、按需施肥,但这种基于传感器的变量作业技术需要具备能实时监测作物需要或土壤成分或病虫害分布的技术与设备,要达到实用程度还有一定的困难。

在现代精细农业中,变量技术应用于农作物的播种、施肥、灌溉等环节。精细播种是将精细种子工程与精细播种技术有机结合,要求精细播种机播种均匀、精量播种、播深一致。精细播种技术既可节约大量优质种子,又可使作物在田间获得最佳分布,为作物的生长和发育创造最佳环境,从而大大提高作物对营养和太阳能的利用率。精细施肥要求根据不同地区、不同土壤类型以及土壤中各种养分的盈亏情况及作物类别和产量水平,将N、P、K和多种可促进作物生长的微量元素与有机肥加以科学配方,从而做到有目的地施肥,既可减少因过量施肥造成的环境污染和农产品质量下降,又可降低成本。这就要求有科学合理的施肥方式和具有自动控制的精细施肥机械。化学农药精细喷洒是根据田间杂草的分布情况在有杂草分布的地方喷洒农药,在没有杂草的地方不喷洒农药。化学农药喷洒时根据田间杂草分布处方图,通过计算机程序或者人工半自动方法按照喷洒处方图实现化学农药的喷洒。通过上述方法尽量减少化学农药的使用数量,减少化学农药对环境造成的污染。精细灌溉是在自动监测控制条件下的

精细灌溉工程技术,如喷灌、滴灌、微灌和渗灌等。根据不同作物不同生育期间的土壤墒情和作物需水量,实施实时精量灌溉,可大大节约水资源,提高水资源有效利用率。

随着科学技术的不断发展,信息技术的前沿成果不断被精细农业技术体系所吸收。例如无线传感器网络技术(wireless sensor network, WSN)正在精细农业的各个方面发挥越来越重要的作用。在旱作区大田里,WSN 被用来监测土壤墒情,为精细灌溉和抗旱保墒提供基础信息。在温室栽培环境,WSN 被用来监测环境温湿度、土壤(或栽培基质)温湿度、温室内 CO_2 浓度等指标,成为温室自动化控制和精细管理的关键环节。WSN 还被用于精细养殖和农产品的可追溯系统,WSN 与移动通信技术、互联网技术相结合,正在成为精细农业的又一支柱技术。此外,物联网技术、云服务技术也正在成为精细农业技术体系的组成部分,现代信息技术的发展必将进一步推动精细农业技术体系的发展与普及。

1.3 精细农业的发展

1.3.1 国外精细农业技术的普及与发展

精细农业作为一种基于知识的农业技术体系,是知识经济在农业中的最好体现,也是农业创新体系的主要组成部分,对于实现“高产、高效、优质、持续”的农业发展将会起到重要作用。作为精细农业的发源地,美国国家研究委员会 1997 年已建议将精细农业的研究纳入国家发展战略,欧洲各国也相继开展了精细农业的研究与实践,日本政府还专门启动了“21 世纪农业机械紧急开发计划”,亚洲的韩国及马来西亚也相继开展了这方面的研究。特别是近年来与精细农业有关的配套产品也相继开发销售,这些农业领域的高技术产品展现了很好的市场前景。

在国外,最先接受精细农业技术的多是比较年轻的、受过较好教育的农户和经营规模较大、利润较高的农场,这些农场首先在有关生产厂家的帮助下开展精细农业技术示范。随着这些技术的日益完善,在其他区域相继获得了大面积的推广使用。虽然它作为一个新的技术体系在科技界、产业界都有了共同的认识,并开展了比较广泛的研究及产品产业化开发,但迄今还有许多技术装备手段仍处于研究和完善阶段。目前发达国家进行的精细农业实践,多是使用者通过其相关部分技术环节的组装来实施的,目前农场主多数采纳的技术是土壤信息定位采集、土壤肥力定位管理、定位使用化学农药、收获机械流量监测与产量空间分布信息的自动生成。从精细农业最近几年的发展趋势来看,完整技术体系的组装与应用取决于农户通过采用这项新的技术后能否获得更好的经济效益和能否适应环境保护的法律要求。精细农业一个可喜的趋势是农业生产资料销售商和各国农业推广服务部门对精细农业技术服务的兴趣日益增长,如化肥和农药供应商同时为农户提供土壤空间信息采集、测土配方和机械化定位施肥、农田作物病虫害诊断和选用农药、实施机械化精细定位施药的综合服务;农机服务商为规模较小的农场提供收获、计量和产量分布信息采集服务;农业咨询商根据农户获得的田间信息提供农田资源的综合利用与农作物病虫害诊断业务及处方决策咨询服务等。过去大多数研究涉及的是关于土壤、作物生长条件与产量分布的空间差异性,杂草和病虫害空间分布规律,产量图的分析方法,产量与土壤和作物管理的相关关系,土壤采样密度设计和合理确定处方农作管理单元,应用遥感技术直接进行土壤参数和作物苗情的识别等领域。在北美地区,精细农业应用最广的作物是玉米,之后是小麦、大豆、棉花、甜菜、土豆等。近年来一些亚洲国家开始研究应

用甘蔗、茶叶、水稻等产量信息采集技术,如日本京都大学和三菱公司联合开展有关粮食计产系统的研制。为了减少获得土壤信息的成本,实时土壤参数传感与空间分布信息处理技术成为目前研究的热点,利用机载土壤电导率传感器实时测量土壤参数的研究已取得实用的商品化成果。

日本的农田经营规模与我国相似,日本的精细农业研究对我国更具借鉴意义。日本是工业化强国,也是农业机械化强国。日本不仅引进了欧美的大型农业机械,更根据日本农业自己的特点开发出了独具特色的产品。日本的农业生产基本上全面实现了机械化,其食品自给率尽管很低,但是高效的农业生产一方面提供了尽可能多的优质农产品,另一方面也为国家的工业化输送了优质的劳动力。日本最具代表性的农业机械是半喂入水稻联合收获机和水稻插秧机,目前这些农业机械也已经在我国大量生产,也成为保证我国粮食生产的重要工具。

但是,从20世纪80年开始,日本的农业逐渐面临新的问题。主要有:农业劳动力缺乏和高龄化,熟练的农业操作人员数量减少以及全国范围内粮食自给率下降(低于40%,粮食安全问题凸显)。日本的农业机械专家们经过研究思考得出结论,只有进一步提高农业劳动生产率,才能解决面临的困境。进一步提高农业劳动生产率的途径,就是要将信息技术应用于农业机械,开发出新的基于现代信息技术的农机产品。这种新一代农机产品也被称做农业机器人,是精细农业的重要组成部分。

日本政府为了促进新型农业机械的开发,从1993年开始投入巨资,实施了每5年一期的农业机械紧急开发项目。在紧急开发项目中对以农业机器人为代表的新型农业机械和装备的开发给予了高度重视。第一期(1993—1997年)项目名称为“农业机械等紧急开发事业”,开发的代表性产品有蔬菜全自动移栽机、蔬菜栽培管理作业车、萝卜收获机械、大葱收获机械等。第二期(1998—2002年)项目名称为“21世纪型农业机械等紧急开发事业”,在这一期里鉴于精细农业技术可以在降低环境负荷的同时提高生产率,对精细农业相关装备的开发给予了特别重视,开发了土壤采样和分析装备、农作物生长信息测定装备、高精度水田除草机械等精细农业机械,另外还开发了大葱产后加工装备、挤奶机单元自动移动装备、山区用半喂入联合收获机、山坡地果树栽培多用途单轨吊车等多项效率高、能减轻劳动负担的新型农业机械。第三期(2003—2007年)项目名称为“下一代农业机械等紧急开发事业”,在这一期项目里为了配合日本的农业结构调整,开发了蔬菜嫁接机器人自动供苗装置、自动跟随型蔬菜搬运车、通用型饲料收获机械、自动测产联合收获机、生活体信息自动监测装备以及其他促进农业可持续发展和建立循环型社会的多种农业机械。第四期(2008—2012年)项目名称为“第四期农业机械等紧急开发事业”,目标是通过采用高新技术,进一步完善农业机械化体系,计划开发的机械和装备有草莓收获机器人、加工用甘蓝收获机械、洋葱产后加工装备、高机动性果树栽培高台作业车、可变直径式全混合日粮成形密封装备、高精度甜菜播种机、农药飞撒自动控制型果树防除机械、高精度高速施肥机、高精度旱田中耕除草机等。

1.3.2 精细农业在我国的研究进展与示范

我国与欧美及日本等经济发达国家相比,在精细农业技术水平和普及程度等方面还存在一定的差距。但是经过我国科技人员十几年的研究探索,在精细农业研究方面已取得了一批高水平的成果。我国农业技术和相关信息产业、工程制造业的发展以及智能控制技术的广泛应用,为进一步研究实践精细农业提供了良好的基础。在过去的10年里,我国“十五”和“十一

五”期间的 863 计划项目中都安排了相关的专项和重大专题,包括车载农田土壤信息快速采集关键技术与产品研发、多平台作物信息快速获取关键技术与产品研发、精细农业生产设计与管理决策模型技术研究、农田作业机械智能导航控制技术与产品研发、精细农业智能变量作业装备研究开发、精细农业技术集成平台研究与开发、精细作业系统构建与应用示范等课题。在“十五”攻关课题和“十一五”科技支撑计划中也设置有相关研究与开发项目。在国家“十二五”科技计划中,精细农业继续被列入重点发展项目。

我国精细农业技术的主要进展如下:

(1)3S 技术应用研究 GPS 和 GIS 技术已经被熟练地应用于我国精细农业的实践中,利用 GPS 不仅可以精确定位、测算农田面积,还可进行变量作业机械的控制和导航;GIS 技术则被用于从生成产量(或土壤水肥参数)分布图到给出精细农作处方图的农田精细管理各个环节;RS 虽主要用于宏观监测和决策,但最近在田间生物信息获取方面显示出了巨大潜力。

(2)信息获取与数据采集技术研究 在这方面已有了一些接近成熟的成果,例如测产系统的开发、GPS 嵌入式田间计算机的开发、土壤水分传感器的开发、土壤肥力先进传感器的开发、土壤电导率传感器的开发、移动式农田信息采集系统的开发、基于无线传感器网络的温室环境监测系统的开发、作物长势先进传感技术的开发等。这些技术已经在科学研究和实际生产中得到应用,为精细农业技术体系的建立和普及发挥着重要作用。

(3)精细作业机械开发 在消化吸收国外同类产品的基础上,我国科研人员相继开发了一些精细农作机械。激光平地机通过平整土地,不仅可以改善灌溉条件、达到节水的目的,还能够改善另一个重要的栽培条件——种床,中国农业大学已完成了面向 50 马力轮式拖拉机的激光平地机的开发,正在进行进一步的中试和推广;北京农林科学院、中国农科院土肥所、吉林大学都进行了变量施肥机的研究,田间试验表明取得了良好效果;中科院、中国农科院系统等的有关单位也都在进行在土壤水分测量的基础上实施变量灌溉的研究;华南农业大学开发的自走式拖拉机和自走式插秧机已经达到田间作业实用化的水平。

(4)其他 在数据采集设备、系统集成研究等方面也都有了一些进展和成果。我国在北京、上海和东北农垦都建立了精细农业示范工程项目。东北垦区已分别引进了美国 CASE IH (凯斯)和 John Deere (约翰迪尔)公司生产的大型变量作业机械,已经成为旱作农业作业的主要机型,成为东北垦区粮食生产稳产、高产的保证。由国家农业信息化工程技术研究中心、中国农业大学、中国科学院等单位联合建设的“精准农业关键技术与示范”项目在精细农业生产农田信息采集、农田采集信息分析处理和精细农业变量实施等关键技术上都取得了重要突破,具有高的创新性和实用性。项目在国内外率先提出了以土壤养分变异尺度特性为基础、地统计学空间分析为手段、机械作业效率和资源效益最佳组合为临界点,合理划分变量作业单元的理论方法体系;开发了联合收获机产量数据处理系统,精细农业 GIS 管理系统,变量施肥、灌溉、喷药处方图生成系统,可提供基于像元、农机作业单元、作业区和地块尺度的精细管理决策处方。项目实现了作业导航、变量实施、谷物测产等作业环节共性关键技术的突破,研发了农田作业机械通用总线技术和电子控制单元技术,开发了基于 CAN 总线的导航控制系统和智能控制终端,初步建立了适合我国国情的精细农业装备技术体系。

精细农业追求综合效益最大化原则,在不降低产出的前提下,通过实施精细农业,减少资源的投入,降低农业生产对环境的破坏。精细农业从技术上保证了农业的可持续发展,符合科学发展观的原则。在政府的重视和支持下,在广大农业科技工作者的努力和辛勤工作下,精细

农业技术在下一个十年一定会上一个新的台阶。

参考文献

- [1] 邝朴生,蒋文科,刘刚,等. 精确农业基础[M]. 北京:中国农业大学出版社,1999.
- [2] 田魁祥,王建江,陈素英. 精确农业研究[M]. 北京:气象出版社,1999.
- [3] 王长耀,牛铮,唐华俊. 对地观测技术与精细农业[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 汪懋华. 精细农业发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报,1999,56(1):1-8.
- [5] 汪懋华. 实现现代集约持续农业的工程科学技术——以色列、荷兰科技考察观感[J]. 农业工程学报,1998,14(3):1-9.
- [6] 汪懋华. 精细农业的实践与农业科技创新[J]. 中国软科学,1999,4:21-25.
- [7] 梁士东,李德明. 黑龙江垦区引进精准农业技术的几点建议[J]. 现代化农业,1999,6:2-4.
- [8] 严泰来,朱德海,杨永侠. 精确农业的由来与发展及其在我国的应用策略[J]. 计算机与农业,2000,1:3-5.
- [9] 金继运. “精准农业”及其在我国的应用前景[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(1):1-7.
- [10] 李德仁. 空间信息技术与农业发展[J]. 大自然探索,1999,18(1):1-6.
- [11] Baker J, Colvin T S, Jaynes D B. Potential environmental benefits of adopting precision agriculture[C]//Proceedings of the 3rd International Conference. Minneapolis, Minnesota, June 23-26, 1996:1051-1052.
- [12] Stafford J V. Implementing precision agriculture in the 21st Century[J]. J Agric Engng Res, 2000, 76:267-275.
- [13] Schueller J K. Technology for precision agriculture[C]//Proceedings of the First European Conference on Precision Agriculture. Warwick University, UK, September 7-10, 1997:33-44.
- [14] Ancha Srinivasan. Precision farming in Asia: Progress and prospects[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, July 19-22, 1998, St. Paul, MN:623-640.
- [15] Zhang Naiqian, Wang Maohua, Wang Ning. Precision agriculture—A worldwide overview[C]//Proceeding of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000, October 11, 2000, Beijing, China:121-132.
- [16] Jutta Rogasik, Dirk Schoeder, Ewald Schnug, et al. Operational precision agriculture on a large scale farm in eastern Germany[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, July 19-22, 1998, St. Paul, MN:885-896.
- [17] Simon Blackmore. Developing the Principles of Precision Farming[C]//Proceeding of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000, October 11, 2000, Beijing, China:133-136.
- [18] Zhao Chunjiang, Wang Maohua. Progress of Beijing demonstration project on precision farming[C]//Proceeding of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000, October 11, 2000, Beijing, China:142-146.