



精准农业 研究与实践

Research and Practice
of Precision Agriculture

赵春江 © 著



科学出版社
www.sciencep.com

精准农业研究与实践

赵春江 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者十多年来从事精准农业学术研究、技术研发和应用实践等科技活动之成果的系统总结。本书首先系统介绍了精准农业技术概念、技术构成和国内外研究现状,结合我国农业特点进行了需求分析。然后结合具体研究案例,对精准农业信息获取与解析技术、管理决策与处方生成技术、智能装备与精准作业技术等精准农业技术体系中三个关键环节进行了详细论述;从精准农业软件系统和硬件系统集成角度,论述了精准农业技术集成平台的实现过程;结合精准农业试验研究,对精准农业的经济和生态效益进行了评价分析;从设施农业生理生态信息传感器、监控系统、智能管理平台 and 小型智能装备等方面介绍了精准农业技术向设施农业领域拓展的相关研究。最后结合作者带领团队实施北京精准农业应用示范工程的实践和全国开展精准农业技术典型应用的案例,总结分析了我国精准农业技术发展的三种应用模式和三种推广模式;结合我国农业产业发展的重大需求和国家中长期科技发展纲要精神,提出了我国未来精准农业的发展战略。

本书可作为从事农业工程、作物栽培与耕作、资源环境和农业信息技术等相关领域研究人员的参考读物,也可作为高等院校相关专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

精准农业研究与实践/赵春江著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-023337-0

I. 精… II. 赵… III. 信息技术-应用-农业-研究 IV. S126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 171593 号

责任编辑:余 丁 王志欣 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年1月第一次印刷 印张:26 1/2 插页:12

印数:1—3 000 字数:605 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

序

面对人口-资源-环境的巨大压力,迅速发展与普及的信息与通信技术正推动着人们在科学利用农业资源潜力,发展节本增效生产方式,改善和保护生态环境,实现基于信息和知识进行生产过程的管理决策方面,突破许多传统的模式和观念,开拓出一批具有创新意义的技术体系,以支持农业产业体系的可持续发展。在实践当今新的农业科技革命中,Precision Agriculture(国内常译为“精准农业”)技术体系的研究与实践,具有重要的创新意义。实践其技术思想,对合理利用农业资源,提高农作物产量,降低生产成本,改善生态环境,加快推动传统农业技术改造与发展现代农业,都具有深远的战略性意义。

“精准农业”技术是直接面向农业生产过程管理服务的技术,是农学、农业工程、电子与信息技术、管理科学等多种科学技术与知识的综合集成。近年来,随着全球卫星定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)等地理空间信息科技的快速发展,信息科学技术迅速渗透到作物科学、农艺学、土壤学、植保科学、资源环境科学和智能化农业装备等技术创新研究领域,各种田间信息获取采集技术、空间分布信息高效处理方法与系统优化决策支持技术等取得许多创新性突破,一批直接面向农业生产者服务的电子信息高新技术与工程装备技术产品开始应用于农业生产实践,“精准农作”技术体系不断得到完善,支持了基于信息和知识科学管理农业生产过程的快速发展,从而深刻地改变着传统的农业生产方式,显著地提高了农业生产效能。

“精准农业”作为一种经营现代农业生产过程管理的技术思想及其实践,发展潜力及应用前景已在国际上具有广泛的共识,近十年来,我国科技界对发达国家有关精准农业技术研究与应用实践高度关注,并在不同地区开展了有关技术的传播和持续的科研实践,对精准农业技术思想与技术体系有了较好的理解和结合国情的应用探索。虽然还有许多科学技术问题,如田间信息实时快速采集先进传感技术、生物信息模式识别技术、空间信息处理与图形自动生成技术、计算机化的定量管理农艺技术与系统技术经济分析研究等方面,还需要广大科技工作者密切结合我国不同地区农村经济社会发展和不同的自然条件,开展作物科学、农艺学、生物物理、数学方法、信息软硬件技术和技术经济学等方面的多学科合作研究,因地制宜开发不同的技术组装应用模式,但事实上,精准农业研究的意义已远远超出其技术系统应用发展的本身,它提供的发展基于信息和知识管理农业生产过程的技术思想和改造客观世界的认识思维方式,对人们科学利用农业资源潜力的认识和作物生产管理观念和模式上都将产生深刻变革,其影响将是更为深远。

本书作者是我国早期参与传播精准农业技术思想和研究应用实践的学者之一,我本人和作者也有多年的密切合作。近十年来,作者带领他的科研团队围绕农田信息获取、智能分析决策和田间精准作业三个关键环节,在相关理论方法研究、技术产品开发和应用示范推广等方面开展了大量工作,在农田土壤信息快速采集、多平台作物信息快速获取、决策模型与处方生成、田间作业管理分区、智能装备技术等方面的研究上取得许多重要的技

术突破,并根据我国农业特点在应用实践中,逐步总结出了精准农业因地制宜的技术应用模式和高效灵活的技术推广模式,为我国精准农业的发展做出了积极贡献。本书是作者从事精准农业学术研究、技术研发和应用实践等科技活动的系统总结,包括精准农业理论方法、技术产品、集成系统、应用推广等方面内容,有理论高度,系统性和实践性较强,具有重要的学术参考价值和实践应用价值。

值此《精准农业研究与实践》出版之际,我愿意将本著作推荐给从事有关研究应用的广大科技工作者,也希望有更多的相关著作问世,以繁荣学术研究,促进我国精准农业研究与应用的发展。

中国工程院院士

汪懋华

2008年11月

前 言

1994年,美国世界观察研究所学者莱斯特·布朗(Lester Brown)撰文《谁来养活中国》(*Who Will Feed China*),认为中国因为耕地不断减少和水资源短缺而导致粮食不能自给,对粮食的需求将会超出全世界所有粮食出口国的出口能力,进而将造成世界性的粮食危机,这篇文章当时在我国引起了强烈反响。布朗当年的观点虽然具有一定的片面性,但对中国起到了重要的警醒作用,留给我们的思考是深刻而持续的。事实上,中国的农业问题绝不仅仅是粮食安全问题,中国在用世界9%的耕地养活了21%的人口,为世界粮食安全做出巨大贡献的同时,由于化肥、农药大量不合理使用所导致的资源环境问题也越来越突出。1977~2005年,中国化肥用量直线快速增长了700%,但粮食产量缓慢增产,只有71%,养分效益持续下降,环境污染非常严重。在我国耕地资源日益减少,水资源严重短缺,人口不断膨胀,需求快速增加,环境问题日益突出的大背景下,如何保证农业可持续发展和粮食安全,使农业产量及品质与农业投入同步匹配增长,实现农业“高产、优质、高效、生态、安全”的协调发展目标,是我国今后相当长的一个时期内农业必须面对和解决的重大问题。众多学者认为,科学技术在中国农业中的作用与发达国家相比有很大差距,中国科技兴农的潜力还很大,依靠科学技术是解决我国农业粮食问题、资源高效利用和可持续发展的根本出路,必须积极探索有效的技术途径。

精准农业是综合运用现代信息技术和智能装备技术,对农业生产进行定量决策、变量投入、定位实施的现代农业操作技术系统,是在资源硬约束背景下用现代工业技术成果装备农业后形成的一种新的高度集约化现代农业生产类型,也是在全球信息化和高度工业化发展的大背景下现代农业科技自身发展的必然产物。精准农业是现代农业科技的一场革命,已成为当今世界现代农业发展的前沿。精准农业体现了“因地制宜、按需投入”的思想,大幅度提高了农业机械化、自动化、智能化及信息化水平,对引领现代农业发展具有重大意义。由于精准农业具有科技含量高、生产手段先进、技术集成性强的特点,对于提高农业资源利用率和农业综合生产能力具有显著作用,成为解决农业高产优质、资源高效利用和可持续发展问题的有效技术途径。

精准农业(precision agriculture 或 precision farming)的概念是20世纪80年代由美国科学家首先提出的,国内学者也有将其翻译成精细农业、精确农业。由于电子信息、卫星导航定位和农业机械工程等技术的快速发展,到了20世纪90年代初,精准农业技术已经开始进入美国的生产实际应用。1995年,美国明尼苏达州、华盛顿州就开发出了商品化变量投入技术(variable rate technology, VRT)应用设备。1997年,美国国家研究委员会(National Research Council)发表了研究专著 *Precision Agriculture in the 21st Century—Geospatial and Information Technologies in Crop Management*,全面分析了精准农业在提高生产水平和经济效益方面的巨大潜力,将精准农业确定为21世纪最具挑战性的现代农业技术,引起了全世界的广泛关注。1998年,美国提出了数字地球(digital earth)

的概念,进一步加速了精准农业的发展。此后,很多国家政府和企业开始投入大量资金,对精准农业技术进行全面系统研究,一批商业化的精准农业技术应用软硬件产品不断推向市场。目前,国际上已经有很多成熟的精准农业技术产品,应用面积不断扩大,应用领域也由传统的大田作物生产,逐步渗透延伸到设施园艺、畜禽水产养殖和农产品精细加工等不同领域,成为当今世界现代农业的发展方向。

我国政府和众多知名学者高度关注中国精准农业的发展。汪懋华、石元春、石玉林、孙九林、李振声、童庆禧、李德仁、李小文等一批著名科学家,积极推动了我国精准农业发展战略、科学研究、技术创新和推广应用,对我国精准农业发展做出了重要贡献。1999年,在汪懋华院士的积极倡导和推动下,原国家计划经济委员会批准北京市率先开展精准农业应用示范工程,我有幸作为项目负责人,联合中国农业大学、中国科学院遥感应用研究所和中国科学院地理科学与资源研究所的专家组织实施,标志着我国精准农业从概念理论的学术探讨到实践研究的转变。“十五”期间,科技部在863计划现代农业技术主题中对精准农业开始立项支持。2003年3月,科技部农村科技司在北京组织召开了“中国数字农业和农村信息化发展战略研讨会”,确定了我国以精准农业和信息服务为核心的数字农业与农村信息化发展战略。2003年8月,科技部启动实施了国家863计划“数字农业技术研究与示范”重大专项,对我国精准农业技术研究进行了全面的战略部署。进入“十一五”后,科技部在863计划现代农业领域中,设立“精准农业技术与智能装备”重大专项,进一步加大了对精准农业研究的支持力度。同时,在制定的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》中,又明确把农业精准作业与信息化作为农业科技发展的优先主题,体现了我国对精准农业未来发展的国家科技政策。

精准农业有着极其丰富的科学内涵,技术构成比较复杂,涉及农学、土壤、环境、电子信息、空间信息、机械工程等多个学科。研究精准农业既有共性的理论方法和技术创新问题,又有软硬件产品研制开发和系统集成问题。由于我国国情不同于发达国家,要真正解决我国农业实际问题,就必然涉及应用研究问题。按照这样一个思想理念,我的科研团队在国家发展和改革委员会高技术产业化项目、科技部973和863计划、国家自然科学基金、农业部948计划和北京市相关项目的支持下,比较系统地开展了精准农业理论技术和应用实践研究。《精准农业研究与实践》是我十多年来从事精准农业学术研究、技术研发和应用实践等科技活动之成果的系统总结。

在本书的具体写作过程中,得到了我所领导的科研团队成员王纪华、陈立平、王秀、孟志军、杨敏华、李翔、陈天恩、黄文倩、郭建华、张瑞瑞、姚光强、付卫强、徐刚、郜允兵、王彦集、徐飞军、马伟、黄文江、刘良云、李存军、宋晓宇、徐新刚、杨贵军、黄木易、蒋阿宁、梁红霞、张永江、乔晓军、王成、张云鹤、薛绪掌、潘瑜春、高玉祥、杜小鸿、马智宏、王北洪、常红等同事的大力支持,在此表示衷心感谢。同时,借此书出版的机会,我还要特别感谢我们的合作伙伴,中国农业大学汪懋华院士、中国科学院遥感应用研究所童庆禧院士、中国科学院地理科学与资源研究所石玉林院士和孙九林院士、北京师范大学李小文院士及他们领导的科研团队,在我们开展精准农业研究实践中给予的技术指导、热情帮助和大力支持。通过与这些德高望重的杰出科学家开展合作研究,开阔了思路,提高了水平,最重要的是他们那种严谨求实的科学态度将使我们受益终身。这里还要感谢国家发展和改革委员会

员会、科技部、农业部、国家自然科学基金委员会、北京市发展和改革委员会、北京市科学技术委员会、北京市农村工作委员会、北京市自然科学基金委员会、北京市财政局、北京市农林科学院给予的研究经费和科研条件的支持。

精准农业是一个新兴的多学科交叉领域,属于国际现代农业发展的前沿,精准农业理论和技术正处于快速发展和不断完善的阶段,书中内容和观点定有不足之处,欢迎读者不吝指正。

赵春江

2008年11月

目 录

序

前言

第一章 精准农业概论	1
1.1 研究背景	2
1.1.1 发展精准农业能有效缓解农业生产面临的严重资源环境压力	2
1.1.2 精准农业技术能够为农民增收、农业增效提供技术支撑	3
1.1.3 精准农业能够促进现代农业生产装备技术的快速发展	3
1.1.4 实施精准农业将全面带动我国现代农业的发展	4
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 国外技术发展现状与趋势	4
1.2.2 国内技术发展现状	13
1.3 技术构成与应用领域	15
1.3.1 精准农业农田信息获取关键技术	15
1.3.2 精准农业信息处理与决策分析关键技术	18
1.3.3 精准农业田间变量实施技术	20
1.4 我国精准农业需求分析	22
1.4.1 发展精准农业的内在需求	22
1.4.2 精准农业应用发展模式分析	22
参考文献	27
第二章 精准农业信息获取与解析	30
2.1 基于遥感技术的农田信息获取	30
2.1.1 作物叶面积指数	30
2.1.2 作物叶绿素	33
2.1.3 作物氮素	34
2.1.4 作物水分	36
2.1.5 作物病虫害	38
2.1.6 土壤水分	41
2.1.7 土壤氮素养分	43
2.2 机载农田信息获取	44
2.2.1 联合收割机作物产量信息获取	44
2.2.2 土壤电导率数据获取	53
2.2.3 农机作业面积测量	56
2.3 农田信息快速获取技术产品	60

2.3.1	土壤样品自动化采集系统	60
2.3.2	便携式农田信息调查系统	67
2.3.3	便携式归一化植被指数测量仪	73
2.3.4	作物冠层色素比值诊断仪	74
2.3.5	作物病虫害信息采集系统	76
	参考文献	81
第三章	精准农业生产管理决策支持与处方生成	83
3.1	精准农业生产管理决策支持与处方生成流程及关键环节	83
3.1.1	土壤养分图的制作	83
3.1.2	产量分布图的制作	84
3.1.3	生产决策	85
3.1.4	变量处方图生成	85
3.2	变量施肥管理分区划分方法	86
3.2.1	基于多年产量数据的精准农业管理分区提取	86
3.2.2	基于空间连续性聚类算法的精准农业管理分区提取	93
3.2.3	小结	98
3.3	变量施肥的尺度效应研究	98
3.3.1	研究思路与方法	99
3.3.2	软件设计与实现	102
3.3.3	结果与分析	102
3.3.4	小结	112
3.4	决策支持与处方生成实例	112
	参考文献	115
第四章	精准农业智能装备	116
4.1	基于处方图的变量施肥作业控制系统设计与实现	116
4.1.1	系统总体设计	117
4.1.2	机载作业控制终端	117
4.1.3	变量施肥控制器	118
4.1.4	地速信号采集模块	119
4.1.5	辅助导航模块	119
4.1.6	控制器系统田间测试试验	120
4.2	精准农业变量施肥机的研制	122
4.2.1	变量施肥机开发目的	122
4.2.2	变量施肥机作业过程介绍	123
4.2.3	变量施肥机结构介绍	123
4.2.4	变量施肥机排肥量试验	125
4.3	精准农业变量农药喷洒机的研制	128
4.3.1	精准农业变量农药喷洒机开发背景	128

4.3.2 变量喷药机工作原理	128
4.3.3 变量喷药机结构介绍	128
4.3.4 变量喷药机实施方式	129
4.4 基于杂草光谱识别的变量农药喷洒机	130
4.4.1 农田杂草及其危害性	130
4.4.2 农田杂草的防除	130
4.4.3 近红外光在杂草治理中的应用	131
4.4.4 基于光谱识别杂草农药喷洒机的研制	134
4.5 农田作业机械智能导航系统	137
4.5.1 农田导航系统介绍	137
4.5.2 平行辅助导航系统	138
4.5.3 田间作业计算机	138
4.5.4 辅助导航指示装置	140
4.5.5 辅助平行导航监视软件	140
4.5.6 农用辅助导航监视系统集成研究	143
4.5.7 基于平行导航光棒的作业导航效果	145
4.6 大田精准灌溉控制系统	145
4.6.1 系统建设目的	145
4.6.2 无线传感器网络节点	146
4.6.3 系统控制软件	147
参考文献	149
第五章 精准农业技术集成平台	151
5.1 精准农业软件集成平台	151
5.1.1 概述	151
5.1.2 平台架构	152
5.1.3 平台基础运行环境与工具	154
5.1.4 精准农业数据模型	156
5.1.5 精准农业软构件	171
5.1.6 平台内部运行机制	189
5.1.7 基于平台的应用系统开发	198
5.2 精准农业硬件通信集成平台	204
5.2.1 概述	204
5.2.2 农机作业单元通信	208
5.2.3 无线传感器网络	218
5.2.4 农机远程监控	226
参考文献	231
第六章 精准农业技术试验研究	232
6.1 基于土壤养分与目标产量的作物变量施肥试验	232

6.1.1	基于土壤养分和目标产量的作物变量施肥算法	232
6.1.2	基于土壤养分和目标产量的变量施肥对生物量和产量的影响	233
6.1.3	基于土壤养分和目标产量的变量施肥对籽粒蛋白质含量的影响	233
6.1.4	基于土壤养分和目标产量的变量施肥生态效益和经济效益分析	234
6.2	基于便携式速测仪器的作物长势和养分诊断试验	234
6.2.1	便携式作物长势、养分无损、快速诊断仪器	234
6.2.2	不同生育期间的 NDVIGreenseeker 值变化规律	235
6.2.3	不同生育期间的 SPAD 值变化规律	236
6.2.4	不同叶位的 SPAD 值变化规律	237
6.2.5	便携式仪器测定结论	238
6.3	基于地物冠层光谱的作物变量施肥试验	239
6.3.1	基于地物光谱数据的作物变量施肥算法	239
6.3.2	起身期和拔节期光谱测定值预测冬小麦目标产量	240
6.3.3	基于冠层光谱指数的变量施肥对冬小麦产量的影响	241
6.3.4	基于冠层光谱指数的变量施肥对冬小麦生物量的影响	241
6.3.5	基于冠层光谱指数的变量施肥对冬小麦籽粒蛋白质含量的影响	242
6.3.6	基于冠层光谱特征函数的变量施肥经济和生态效益分析	243
6.4	基于冠层光谱和作物生长模型结合的变量施肥试验	243
6.4.1	作物生长模型参数本地化和施肥算法	244
6.4.2	冠层光谱与作物生长模型结合变量施肥对产量影响	245
6.4.3	冠层光谱与作物生长模型结合变量施肥对蛋白质含量影响	245
6.4.4	冠层光谱与作物生长模型结合变量施肥经济效益分析	246
6.5	基于航空遥感影像的作物养分和长势评价	246
6.5.1	基于航空影像的作物养分评价	246
6.5.2	利用生化参量填图结果进行冬小麦长势评估	247
6.6	基于遥感技术的作物精准灌溉试验	249
6.6.1	作物精准变量灌溉算法	249
6.6.2	土壤含水量遥感探测技术	251
6.6.3	作物水分探测与精准灌溉决策试验	252
	参考文献	253
第七章	设施农业精准生产管理技术研究	255
7.1	设施农业生理生态信息智能传感器研究	256
7.1.1	设施农业生态环境信息传感器	256
7.1.2	设施农业作物生理信息传感器	263
7.2	设施农业监控系统研究开发	268
7.2.1	通用型信息采集系统	268
7.2.2	便携式环境监测系统	273
7.2.3	采集控制系统	278

7.3 设施农业生产智能管理平台	280
7.3.1 分析处理系统	280
7.3.2 智能决策管理方法	289
7.4 设施农业生产小型装备研制	305
7.4.1 全自动灌溉施肥机	305
7.4.2 精准注肥机	312
参考文献	314
第八章 北京精准农业应用示范工程	317
8.1 精准农业研究示范基地设计与建设	317
8.1.1 基地水文地理基本情况	317
8.1.2 基地土地利用规划	318
8.1.3 基地建筑设施	320
8.1.4 基地作物种植制度	320
8.1.5 基地灌排系统	321
8.1.6 基地建设工程	323
8.2 基地精准农业技术系统构建	324
8.2.1 基地数字化成图	324
8.2.2 自主差分 GPS 基准站建设	325
8.2.3 精准农业关键技术设备引进与消化吸收	329
8.3 精准农业技术系统运行示范	336
8.3.1 基地土壤调查分析	336
8.3.2 遥感数据获取试验	339
8.3.3 作物收割测产与产量图获取	352
8.3.4 基地信息精准管理与处方生成	357
8.3.5 基地变量施肥试验	363
8.3.6 田间精准作业运行示范	364
8.4 自主研发与技术创新成果	367
参考文献	374
第九章 精准农业技术应用及展望	375
9.1 北京设施农业精准生产技术应用	375
9.1.1 大兴区设施农业精准生产技术应用总体情况	376
9.1.2 大兴区采育镇鲜切菊花生产基地精准农业应用典型案例	378
9.1.3 大兴区苗圃花卉生产基地精准农业典型应用案例	384
9.1.4 设施农业精准生产技术应用效益分析	390
9.2 黑龙江农业规模化生产精准农业技术应用	391
9.2.1 精准农业技术装备引进与应用基地建设	391
9.2.2 精准农业技术应用	393
9.2.3 精准农业技术应用规模与效益	397

9.3 上海精准农业技术应用	398
9.3.1 上海五四农场水稻精准生产技术应用	398
9.3.2 探索不同经营规模的精准农业技术应用	401
9.3.3 精准农业技术在农业其他领域的应用	402
9.4 精准农业技术应用总结分析	402
9.5 精准农业展望	404
9.5.1 对精准农业的再认识	404
9.5.2 精准农业发展战略	405
9.5.3 精准农业未来前景	406
参考文献	407

彩图

第一章 精准农业概论

农业是国民经济的基础产业,保障食物安全和农业的可持续发展是世界各国需要解决的首要问题。20 世纪后半期世界农业特别是西方发达国家农业的高速发展,基本上是靠生物育种技术进步、耕地面积的扩大、物质和化学产品投入的大量增加以及机械动力和矿物能源大量投入获得的。然而石油农业和高速发展的工业经济引发了农业水土流失、生态环境恶化、生物多样性损失,这些问题已经引起国际社会的严重关切,并成为推动技术创新、实践农业可持续发展的重要驱动力。发达国家 20 世纪 80 年代初期从事作物栽培管理的农学家在科研和生产实践中开始揭示农田内部小区作物产量和环境条件的显著性时空差异,从而提出了作物栽培管理的定位实施、按需变量投入的精准农业技术思想。同时,随着农业工程领域农业机械装备机电一体化和智能监控技术的发展,以及基于“3S”的空间信息技术的兴起和进步,在技术条件上逐步满足了实施精准农业的要求。加之农业生产在资源环境方面影响的日益显现、环境问题引发的广泛关切和产品市场竞争带来的压力,促使精准农业这一技术思想日益成熟和精准农业技术实践的逐步推进,并吸引众多不同学科领域的研究人员和软硬件产品制造商投入到这场新兴的农业生产管理技术革命进程中。

“精准农业”这一概念是沿用国外“precision agriculture”、“precision farming”技术名词的中译,国内学者根据这个概念译为“精确农业”、“精细农业”等不同版本。虽然表述不同,但其概念内涵基本一致。一般认为,“精准农业”是基于 3S 技术、决策支持技术和智能装备技术对农业生产进行定量决策、变量投入并定位精确实施的现代农业生产管理技术系统。精准农业首先是一种基于信息和知识的现代农业生产精准管理思想,它充分体现了因地制宜、科学管理的思想理念,对于最大限度挖掘耕地生产潜力、实现农业生产要素高效利用和保护农田生态环境具有重大意义;也是一个基于现代信息控制技术的农业精准生产技术体系,其核心支持技术包括全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)、地理信息系统(geographic information system, GIS)、遥感(remote sensing)、农田信息快速采集与处理技术、作物生产精准管理模型与决策支持技术、基于信息与现代控制技术的农田作业机械智能装备技术、系统集成技术等。精准农业的技术思想是基于农田内部小区作物生长环境时空差异性,实施精准变量投入,以达到提高农田资源利用潜力、高效投入、节约成本、增加产量、提高农产品品质、减轻农业生产的环境负荷,实现作物生产系统可持续发展的目标。精准农业已经成为当今世界现代农业发展的前沿,是基于现代信息技术发展成就的作物栽培学的革命。

从我国的情况来看,保障 21 世纪 16 亿人口的粮食安全是我国农业生产需要解决的首要问题。近 20 年来,农业和农村经济取得了飞跃的进步。然而,农业耕地和水资源缺乏,不合理的施肥、灌溉和施药等农事活动造成了大量资源浪费,污染了农田环境,农产品均一品质和安全品质不高,农民收入增长缓慢,农业装备技术发展滞后,难以满足我国现

代农业发展的需要等等,都是我国农业生产必须面对的挑战。在这种形势下,研究建立我国精准农业技术体系,对于提高我国农业现代化水平、实现依靠科技进步解决“三农”问题具有重大意义。精准农业是我国未来现代农业发展的重大技术选择。

1.1 研究背景

1.1.1 发展精准农业能有效缓解农业生产面临的严重资源环境压力

人口增长对粮食的刚性需求、农业生产资源的硬性约束以及传统农业生产方式对环境的破坏等都是未来粮食安全面临的重大问题。我国土地资源有限,人均耕地只相当于世界平均水平的 1/3。由于城市化发展、村镇建设、道路等基础设施建设,耕地正以每年 20 万 ha 的速度减少,人均耕地将由目前的 0.08ha 下降到 2020 年的 0.06ha 及 2030 年的 0.05ha(唐华俊,2004)。化肥投入对我国作物生产发挥了十分重要的作用。资料显示,在过去的 40 年间,我国化肥总用量与粮、棉总产量,以及化肥单位面积施用量与粮、棉单产均呈显著或极显著正相关,我国粮食增产的 30%~50%来自化肥的应用(杨俐苹,2001;曾希柏,2004)。化肥是农业生产中投入最多的生产资料,据估计,化肥的投入一般占我国粮食生产中各项物资、能量投入的 30%~40%,在个别高产地区甚至高达 50%,2004 年我国农民购买化肥的开支达 1800 亿元。目前,我国每年化肥施用量折纯达 4100 多万吨,占世界总量的 1/3,成为世界第一化肥消费大国(曾希柏等,2002)。然而,我国化肥施用存在许多问题。过量施用化肥,造成利用率明显偏低。我国化肥利用率平均仅 35%,低于世界发达国家 10~15 个百分点。在过去 20 年间,我国农户、区域间肥料用量的不平衡在不断加剧。研究表明,在低施氮量(120kg/ha)条件下,冬小麦的氮肥损失率不足 9%,氮肥利用率可达 45%;但当施氮量增加至 360kg/ha(相当于冬小麦每亩施 52kg 尿素)时,氮肥利用率仅为 23%,氮肥损失率高达 55%。目前我国氮肥当季利用率仅为 30%~35%,磷肥和钾肥当季利用率也分别只有 10%~20%和 35%~50%,低于发达国家 15~20 个百分点,肥料的不合理施用使得我国每年有 400 多万吨化肥白白损失,造成了资源的极大浪费(张福锁等,2003)。此外,滥施化肥带来的环境问题也不容忽视。城市郊区过量的氮肥施用导致的地下水污染、硝酸盐含量严重超标等环境问题日趋严重。过量不均衡施肥不仅降低农产品品质,增加了农业生产成本,还给环境带来严重污染(李军等,2003)。我国的人均水资源仅相当于世界平均水平的 1/4,列居世界第 109 位。目前我国水资源的利用率仅为 20%~30%,每立方米水资源的生产效率仅为 0.8kg,而以色列的每立方米水资源的生产效率为 2.3kg(科学技术部农业科技司,2006)。目前我国农药施用大量沿用 20 世纪 50~60 年代的作业方式,农药的有效利用率仅为 20%~30%,不仅浪费严重,还直接危及饮用水与食品安全、人类健康和生态环境(傅泽田等,1998)。

精准农业充分利用信息获取手段,分析作物营养状况、土壤供肥能力和病虫害的空间及时间变化量来进行耕作和田间管理决策,能够因地制宜地进行农业投入,既保证了作物生产潜力的充分发挥,又避免了过量施用化肥、农药造成的生产成本增加、农田土水环境污染和农产品品质下降的严重后果,能够取得显著的经济和生态效益,对于提高农业资源

利用率、保护农田生态环境、提高农产品产量和品质,加快农业生产现代化进程具有重大意义。

1.1.2 精准农业技术能够为农民增收、农业增效提供技术支撑

农业作为我国最大的基础产业,有着巨大的市场需求,随着我国加入 WTO 及人们生活水平的不断提高,对农产品数量和质量的需求都将快速增长。中央近年来对农村政策的一系列改革,农民生产积极性空前高涨,但长期以来,农民收入增长缓慢,农业增产不增收的现象比较普遍。提高农业综合生产效益(优质、高产、高效)、保证农民增产增收,是保护农民生产积极性、促进农业和农村经济可持续发展需要解决的重大问题,依靠科学技术,实现农业的现代化精准管理,是解决该问题的重要途径。

精准农业技术通过空间信息获取与分析,按照田间每一操作单元的具体条件,精细准确地调整各项土壤和作物管理措施,最大限度地优化使用各项农业投入,实现肥水等资源合理配置,大幅度提高效率,可以达到获取最佳产量与品质组合和最大经济效益。同时,通过精准农业的实施,可以减少化学物质投入,保护农业生态环境,保护土地等农业自然资源,提升农产品商品质量和安全质量,增加产品附加值,促进农业生产朝着“高产、优质、高效、安全、生态”方向发展。随着我国农业现代化建设的深入,农民科技文化素质的不断提高,对现代农业高新技术的需求将越来越大。广泛应用以精准农业为代表的现代农业高新技术,将改革传统的农业生产方式,实现在高技术支撑下农业的信息化和智能化管理,促进农业生产技术规程优化,提高农业生产者的管理经营水平,合理利用好每寸耕地资源,挖掘生产潜力,提高农产品产量和品质,降低生产成本,增加农民收益,实现农业增产、增效、增收的统一。

1.1.3 精准农业能够促进现代农业生产装备技术的快速发展

农业技术装备是农业工业化和农业现代化的基础支撑,是先进农业技术得以有效实施和推广的关键载体,是国家粮食安全科技保障体系不可或缺的重要组成部分,是国家农业综合生产能力和农业可持续发展能力的核心保障,是农民增收、农业增效和提高农业竞争力的有效手段。

农业技术装备在人类社会发展和保障世界食物安全和农业现代化进程中具有极其重要的战略地位。20 世纪 70 年代中期开始,发达国家即加快了农业机械装备与应用电子信息技术的研究及产业化开发,大幅度提高生产效率,发展高速、大马力等各种复式作业机械成为一种主流发展趋势,一批机、电、液一体化技术产品迅速开发出来并装备到农业机械上,实现了农业机械化作业的高效率、高质量、低成本和农田作业的舒适性与安全性。进入 20 世纪 90 年代,拖拉机与自走式农业机械的田间自动导航、农业机械人的开发,成为探索在农业机械装备中应用智能控制及机电一体等高新技术应用研究的重要方向。总之,国外先进农业机械装备技术已开始融合现代微电子技术、仪器与控制技术、信息技术,向智能化、机电一体化方向快速发展。

我国正处于农业机械化的快速发展阶段。2002 年,全国机械化耕播收综合机械化水平仅为 30.5%,耕地、播种、收获水平分别为 47.1%、26.6%和 18.3%。农业劳动生产率