

试论精确农业及我国行动对策

喻歌农

周泳

(成都农业遥感分中心 成都 610066)

(四川省农业科学院科技成果应用处 成都 610066)

提 要 精确农业是超前性的农业新技术。由于精确农业充分地利用了作物、土壤和病虫害的空间和时间变化量来进行耕作和田间管理,因而,取得的经济和环境边际效益非常显著。结合我国国情,研究发展适用的精确农业技术体系、应用体系不仅是必要的,而且是可能的。精确农业的研究与发展将有助于我国人口、资源与环境方面重大问题的解决,有助于农业资源的高效利用和农业环境保护。为了适应精确农业应用,作为核心技术的地理信息系统(GIS)技术也应在界面、功能、可操作性、信息源、实时性和处理速度等方面进行改进,深入研究多层次集成系统。

关键词 精确农业 地理信息系统 现状 对策 农业发展, 中国,
分 类 中图法 S126

国际农业的发展经历了原始农业(游耕、游牧等)、传统农业和现代农业3个主要发展阶段^[1]。本世纪以来,石油农业的发展在取得成就的同时,带来了严重的环境问题。对此,人们提出了一系列的替代农业对策,如回归型农业、生态农业、有机农业、集约农业、立体农业、持续型农业(持续农业、低投入农业、低熵农业)、生态经济农业、综合农业、精久农业等农业发展模式^[2]。这些设想的主要目的都是为了充分地利用资源,降低不必要的投入,减少环境污染和取得最大的社会经济收益^[3,4]。

80年代后期和90年代初以来,随着全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、连续数据采集传感器(CDS)、遥感(RS)、变率处理设备(VRT)和决策支持系统(DSS)等技术的发展^[5],精确农业(Precision agriculture)在美国、英国、德国、荷兰、意大利等西方发达国家勃然兴起^[6-8]。

1 国际上精确农业发展的现状和趋势

1.1 精确农业的定义和现状

精确农业(Precision agriculture, Precision farming, Site-specific crop management 或 Prescription farming)是利用重要的作物参数和知识在适当的尺度上优化生产系统管理^[7],是根据特定地块的作物潜在生产能力控制不同的投入水平(如肥料、杀虫剂、除草剂等)^[9]。精确农业包含3个实施阶段:确定田间管理事件、制定对策和实施对策^[6]。精确农业的核心是对变化因素进行精确管理,变化因素包括:空间因素、时间因素和预测因素^[10]。空间因素反映地域变化;时间因素反映年度变化;预测因素反映预测与实际值之间的差异。

国外精确农业实践表明:精确农业不仅具有重要的经济效益,而且其获取的详细耕作信息推演出和有助于解决许多未知问题^[6]。精确农业的根本效益体现在降低作物的生产成本和过量施用农化产品的污染风险^[9]。如以施肥为例,传统的施肥方式是在一片地块内使用一个平均施肥量。但实际上土壤肥力在不同的地块(像元大小为0.5~2hm²)、不同时段(上一茬残留肥力和消耗)差别较大,所以平均施肥就会造成部分地区肥力不足而部分地区肥力过量。精确农业实现了因土、因作物、因时全面平衡施肥,因此,有明显的经济和环境效益^[9]。1994年,明尼苏达大学在明尼苏达州汉斯卡农场实验研究表明:传统农业每公顷施肥为

收稿日期:1998-03-04;修回日期:1998-08-21。

①金继运.“精确农业”及其在我国的应用前景,见:中国土壤学会第八届第二次理事会扩大会议学术论文集,成都,1997.152~159

119.8kg, 而精确农业施肥平均为 82kg。明尼苏达的扎卡比森甜菜农场采用精确变率施肥技术减少了氮肥用量, 肥料投入每公顷平均减少 15.52 美元, 收益平均每公顷增加 358.32 美元。又如, 在产量预测预报方面, 精确农业对投入、产出能按不同地块、不同时间进行详细记录, 对预测产量和耕作决策有着极其重要的意义。在英国夏托沃斯农场, 联合收割机上装的 GPS 和产量测定仪, 每隔 1.2 秒, GPS 测量记录一次。这样, 在收割完成的同时, 就可以产生当季准确的产量分布图^[11]。再如在提高水资源利用率方面, 精确农业技术也具有极大的作用。在以色列, 用水管理已实现高度的自动化, 全国已全部实施节水灌溉技术, 其中 25% 为喷灌, 75% 为微灌(滴灌和微喷灌)。所有的灌溉都是由计算机控制, 实现了因时、因作物、因地用水和用肥自动控制。1989 年, 以色列水分利用率为每立方米产粮食 2.32kg, 与技术使用前(1949 年)相比, 平均提高了 0.68kg/m³; 到 2000 年, 计划提高到 4.31kg/m³^[12]。

但是, 精确农业的边际效益(marginal effect)与农场的规模成正比^[6]。发达国家较小的农场精细耕作程度较高, 精确农业产生效益的可能性就小得多; 而大农场, 精细耕作程度较低, 很大的一块田(地)采用一样的管理方式, 因而, 实施精确农业产生边际效益就大。

精确农业的应用已涉及到施肥、植物保护、播种、耕作、水分管理等相关领域。精准农业已渐渐为各农场经营者了解和熟悉。欧洲的一项调查表明: 欧洲大约 2/5 的农场主知道精确农业技术^[8]。

1.2 精确农业的发展趋势

从大趋势看, 精确农业将向着完全的时间和空间变量管理和决策支持方向发展。Blackmore 在展望欧洲精确农业发展时, 指出了三种技术应用水平与相应的耕作管理战略^[14]: ①无任何信息技术(IT)组成的传统方式; ②管理信息系统(MIS)、咨询方式(what-if model)和简单机械化; ③空间信息技术的充分应用和自动处理; 自动数据收集、集成 MIS/DSS 技术支持系统。不同的应用水平将包含不同的 IT 组成, 产生不同的环境和操作效应及达到不同的经济效果。支持精确农业的专用硬件和设施系统将在不远的将来实现, 而相应的决策支持软件将会得到不断的、长期的开发和完善^[14]。随着相应技术的进一步发展, 精确农业将很快从试验应用走向推广应用。可以预计, 21 世纪的农业可以说是计算机辅助管理的精确农业时代^[12]。

2 我国的农业现状和存在的问题

2.1 我国的农业现状

我国农业正由传统农业向现代农业发展, 但从全局来看, 仍处于半自给半商品、半经验半科学、半人畜半机械的状况, 并未完全脱离传统农业的范围^[1]。农民仅初步温饱, 生活水平较低。1995 年, 全国农业人口人均收入仅为 780 元, 约 8 000 万农民尚处于贫困之中^[1]。

在农业资源利用方面, 中国农业在精耕细作、多层次利用、生态农业等高效利用农业资源方面独树一帜^[12]。各地已总结出许多具有区域特色的耕作技术和农业模式, 如同、套、连作的多熟制、基塘农业、立体山地农业、有机物还田等等。这些技术对提高我国光能、土地、水、肥力等资源的利用率发挥着重要的作用。农业新技术研究与开发也开始起步。例如, 灌溉(如喷灌、滴灌、微灌、渗灌、膜上灌等)、施肥(如配方施肥、复混肥技术、多元素平衡施肥等)、植保、水土保持(如坡地农业)等方面的先进技术和措施已在研究或部分应用之中。农业资源监测技术也取得了较大的进展, 遥感与地理信息系统(GIS)技术成功地应用于作物长势、种植面积、产量、灾害、水土流失等方面的监测^[15-17]。国内农业专家系统日益深入, 主要包括启发式专家系统、实时专家系统、专家数据库、模型专家系统、问题专用壳等五类^[18]。全国人工农情信息网络为农业决策部门提供生产形势和对策分析服务方面, 发挥着日益重要的作用^[16]。全国农业科技信息网络已开始着手建设^[19], 所有这些进步和发展都标志着我国农业信息化建设正在迈出重要的一步。

目前, 我国政府正在推行的“高产、优质、低耗、高效”的资源节约型农业政策^[12], 社会主义市场经济体制的确定, 经济增长方式的迅速转变为我国精确农业的发展提供了有力的技术支撑和政策保障。

2.2 我国农业面临的挑战

(1) 有限农业资源的高效利用 我国人口众多, 人均资源少。目前, 人均耕地、草地、林地和水资源分别不到世界平均水平的 1/3、1/3、1/8 和 1/4^[1]。进入下一世纪中叶, 中国人口将增至 15~16 亿^[12]。人地矛盾

和人粮矛盾会进一步严峻。而另一方面,我国的资源利用效益很低。如我国灌溉水有效利用率约为 40%,粮食作物用水产出效益(即单位耗水量的农作物产量)少于 $1\text{kg}/\text{m}^3$,远低于发达国家水平(约为 50%~70%)^[20,21]。又如我国化肥的当季利用率,氮为 30%~35%,磷为 10%~20%,钾为 35%~50%,大大低于美国和日本氮素利用率(可达 60%~70%),而地域和养分不平衡又进一步减少了肥效^[12,21,22]。因此,充分有效地利用有限的资源、发展以节地、节水、节肥、节粮为目标的农业将是当前与未来中国农业必须关注的重点问题。

(2)农业环境污染的有效控制 我国部分地区因施肥不当已引起环境污染,出现了地表水富营养化,地下水 and 蔬菜中硝态氮含量超标等问题^[21]。水土流失面积占国土总面积的 1/5;沙漠化的土地达到 3 330 hm^2 ,且以每年 120 万 hm^2 左右速度增加^[1]。旱、涝、盐、碱、风等灾害又威胁着我国 2 000 万 hm^2 耕地^[1]。如何在当前与未来能在不加剧或减少环境污染的前提下谋求发展是我国农业面临的另一重要问题。

当前国际公认的精确农业的好处就在于其完善的管理、资源的高效利用和环境保护效益^[23]。因此,我国很有必要进行精确农业的研究与试验。

3 我国的精确农业行动对策

精确农业是具有超前性的农业高技术,代表了当前国际上农业发展的新趋势,对我国农业的发展将发挥日益重要的推动作用。因此,我们应开展精确农业的研究,加强我国农业信息化的建设,示范和实践适用的精确农业体系。

3.1 开展多种集成水平的精确农业研究和实践

按技术集成水平和机械化程度,精确农业至少可划为三类:无机化精确农业、半机械化精确农业和全自动化、信息化的精确农业。无机化精确农业指无任何 VRT 机械设备,对某项或某几项因子的时间、空间变化利用 GIS 进行查询和辅助决策。这是一种最简单而有效的精确农业,适合我国绝大部分地区应用和发展,尤其是丘陵和山区。半机械化精确农业指部分采用 VRT 机械化设备,用于收割、播种、施肥或灌溉,部分设备实现了自动控制和监测,其余部分仍由 GIS 进行查询,然后人工实施。这可能适合我国北方平原已形成了规模化经营、机械化已达一定程度大农场。全自动化、信息化的精确农业指全部采用 VRT 机械化设备,GIS 提供决策基础,DSS 辅助决策,GPS/DGPS 定位,自动控制耕作全过程和建立健全田间管理档案。这在我国实现和应用还会有相当大的难度,但作为研究,仍可重点选择和支持一个试验点,以便研究高度集成化的精确农业技术系统。

针对各种不同的精确农业实现水平,我们应建立相应的试验示范农场。这样,我们才能在实践中研究精确农业技术、系统集成方法、信息分析和决策方法、自动控制、效益(经济、环境和社会效益)等,总结出适合我国发展的精确农业体系,指导我国农业的发展。

3.2 农业信息基础设施的建设

精确农业可以说就是农业信息化的典型产物。农业资源信息和农情信息是精确农业的信息基础,是决定精确农业效益的关键。因此,必须加强农业信息基础设施建设,建立和制定信息共享和数据更新的机制、技术规范、标准和政策法规,促进我国国产化设备和软件的设计和应用。农业信息基础设施最基本的是要以各级农业部门为依托,建设中央—省—市—县信息骨干网络系统^[24]。即全国以国家农业部信息中心为核心,以各省(市)为枢纽,县(市)为网点,并与其它网络互联,形成全方位的农业资源和经济信息网络系统。

3.3 精确农业推广系统的建立

农业推广系统实质是人才的培养,包括政府管理决策人员、研究人员、教学人员、经营企业、农民等的培养和教育^[25]。精确农业推广系统的目标就是要培养一支多层次的队伍,使精确农业的研究、管理、应用得以实现。其中,社会咨询意识的培养尤其重要^[26],它关系着精确农业是否能在我国真正得到应用。农业信息化和精确农业要求劳动者具有更高的知识和技术水平^[27]。

3.4 多学科联合研究体系的建立

精确农业是一多学科技术系统集成的具体化。它需要多学科、多层次的专业人员的合作。因此,为促进

合作和交流,建议:①成立一全国性专业学会;②每年组织1~2次专业讨论会;③建立一供管理人员和研究人员参加国际专业学术交流会和展示会的基金;④在英特网上设立一论坛和精确农业图书馆,为多学科研究者提供交流和信息共享的现代机制。

4 GIS在精确农业中的作用和行动对策

GIS在精确农业中作用较大,是精确农业集成系统的关键技术。GIS是人们在计算机硬、软件环境里,使大量描述客观事物、关系和过程的各种数据,按照它们的地理坐标或袖章位置,输入编辑、存贮更新、量测运算、查询检索、分析处理、模型应用、动态模拟、决策支持、模型应用、显示制图和报表输出,从而帮助人们实现认识、利用和改造客观世界的某种或某些任务目标的一种信息系统^[28]。

4.1 GIS在精确农业中的作用

GIS在精确农业中的作用主要体现在提供数据收集、数据分析、决策和变率施用处理等方面^[5]。在美国的一项咨询调查结果表明^[5]:美国精确农业工作者使用GIS软件人数高达60%,基础软件普遍为ARC/INFO、GRASS和IDRISI。

(1)GIS的管理功能 GIS工具软件为精确农业技术系统提供了人机对话界面、数据获取和记录功能、编辑功能、查询功能、远程数据调用(ODBC)等输入与输出功能^[29-31]。GIS的管理功能已不仅局限于二维数据,而且已扩展到了三维(如数字高程模型及相关地形分析^[30]),甚至四维(如动态监测分析、预测分析、动态模拟等^[31])。GIS的业务化也将使其管理功能加强^[32]。

(2)GIS的信息产品 GIS目前已不仅是指其工具,而且也包括大量的空间信息产品^[33]。农业资源信息和农情信息将是精确农业决策的基础。GIS与RS的集成系统将不断地为精确农业提供及时、准确的数据。

(3)GIS的决策功能 GIS是一个在问题求解中包含空间信息的决策支持系统^[34]。在精确农业中,GIS将作为空间决策工具,提供决策模型^[35]、VRT和GPS集成决策系统。

4.2 GIS行动对策

通用GIS软件和产品在精确农业中的应用存在着一定的障碍。美国Usery等的问卷式调查结果显示^[5],精确农业GIS用户要求通用GIS软件在以下方面进行改善:①更完善的用户界面;②支持更多的统计和经济函数;③支持更多的经验模型;④易学易用;⑤联接更多、更好的数据库资源;⑥和GPS的实时连接;⑦更快的操作速度。

我国的精确农业将有自己的特点:咨询与决策GIS将是关键技术系统。因此,我们应跟踪国际上GIS的集成发展趋势,加强各种集成系统的研究(GIS与RS, GIS与GPS, GIS与CDS, GIS与DSS等^[30, 35, 36]);瞄准模拟与建模这个基本点,在原有的一些应用方向上继续向深度和广度发展^②;提高实用性,促进GIS产业五化(技术成果商品化、系统运行业务化、结构配置网络化、信息服务社会化和科学知识普及化)^[28];方便各级用户学习和使用,促进GIS软件的国产化^[37]。

5 结 语

精确农业是现代农业发展的必然结果,是超前性的农业新技术,是信息农业的重要组成部分^[11]。结合我国国情,研究发展适用的精确农业技术体系、运用体系是必要的。精确农业的研究与发展将有助于我国人口、资源与环境方面重大问题的解决,有助于农业资源的高效利用和农业环境保护。GIS作为精确农业的核心技术,也应适应精确农业需要,作技术上的改进与深入。

①曾志远. 遥感与信息系统技术在农业和土地研究中的应用的进展和展望. 见:中国土壤学会第八届第二次理事会扩大会议学术论文集. 成都, 1997

参考文献

- 1 赵其国. 我国现代农业发展中的若干问题. 土壤学报, 1997, 34(1): 1~9
- 2 于洪飞, 戴俊英. 现代农业思潮的类型(下). 世界农业, 1995(4): 6~7, 40
- 3 魏虹. 美国持续农业和农村发展的理论与实践. 见: 农业部农业区划司编 持续农业和农村发展. 北京: 中国农业科技出版社, 1994. 77~120
- 4 Henry R L. High efficiency sustainable agriculture *Irrigation Magazine*, 1990, 40(1)
- 5 Usery E L, S Pocknee, B Boydeell. Precision farming data management using geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1995, 61(11): 1383~1391
- 6 Penton J P. Precision farming - a hands-on perspective. In: Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases - 1996, Vol. 3. Proceedings, Brighton, UK. Farnham: British Crop Protection Council, 1996. 1105~1112
- 7 Searcy S W. A US view on the precision farming revolution. In: Brighton Crop Protection Conference. Pests & Diseases - 1996, Vol. 3. Proceedings, Brighton, UK. Farnham: British Crop Protection Council, 1996. 1113~1120
- 8 Houghton A M, B E A Knight. Precision farming: farmer and commercial opportunities across Europe. In: Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases - 1996, Vol. 3. Proceedings, Brighton, UK. Farnham: British Crop Protection Council, 1996. 1121~1126
- 9 Earl R, P N Wheeler, B S Blackmore, R J Godwin. Precision farming - the management of variability *Landwards*, 1996, 51(4). 18~13
- 10 Blackmore B S. An information system for precision farming. In: Brighton Crop Protection Conference. Pests & Diseases - 1996, Vol. 3: Proceedings, Brighton, UK. Farnham: British Crop Protection Council, 1996. 1207~1214
- 11 Moore M. Precision farming at Shuttleworth farms. *Statens Planteavlfsorsog Rapport*, 1995. 26: 123~136
- 12 石玉林, 封志明. 开展农业资源高效利用研究. 自然资源学报, 1997, 12(4): 293~297
- 13 梁克用, 胡毓祺, 黄洪涛. 以色列农业科研机构介绍(上). 世界农业, 1995(4): 49~51
- 14 Blackmore B S, P N Wheeler, J Morris. The role of precision farming in sustainable agriculture: a European perspective. In: Site-Specific Management for Agricultural Systems: Proceedings of Secondary International Conference. Minneapolis, MN, USA: American Society of Agronomy, 1994. 777~793
- 15 Yu Genong(喻歌农), M Yan, L Zen *et al.* Agricultural Land investigation and change detection by incorporating GIS and satellite remote sensing. Case studies in Sichuan province, China. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing ISPRS Congress, Vienna: Committee of the XVIII International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 31(B2): 811~815
- 16 杨邦杰, 陆登槐, 裴志远等. 国家级农情监测系统结构设计. 农业工程学报, 1997, 13(1): 16~19
- 17 Jiang Yu, Shi Chengcang, Yu Genong(喻歌农). Rough area soil erosion assessment via GIS modeling. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS Congress, Vienna: Committee of the XVIII International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 31(B2) 816~824
- 18 刘晓燕. 回顾与展望——专家系统在我国农业上应用情况概述. 计算机与农业, 1997(1): 1~3
- 19 《计算机与农业》编辑部. 中国农科院院域网项目启动. 计算机与农业, 1997(1): 13
- 20 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 关于我国农业节水技术的选择与立项建议. 科技导报, 1997(6): 30~31
- 21 中国科学院生物学部. 我国化肥面临的突出问题及建议. 科技导报, 1997(9): 35~36
- 22 武志杰. 我国化肥生产应用中的问题及对策. 科技导报, 1997(9): 37~38
- 23 Blackmore B S. Precision farming: an overview. In: Enabling Technologies for Land Use and Resource Management, Proceedings of 5th International Congress for Computer Technology in Agriculture. Stoneleigh Park, Warwickshire, UK. Kenilworth: Royal Agricultural Society of England, 1994. 99~101
- 24 陈池波, 赵蕾. 农村经济信息论. 中国软科学, 1997(7): 19~22, 63

- 25 胡锡骥. 现代农业推广系统的内涵和类型. 世界农业, 1995 (4): 46~48
- 26 袁中富, 杜绪福. 我国农村科技咨询业的现状分析及对策思考. 科技进步与对策, 1997, 14(1): 63~64
- 27 梅方权. 中国农业信息化建设的前景展望. 计算机与农业, 1997(3): 1~3
- 28 阎守崑. 我国 GIS 发展总体技术框架的探讨. 地理信息世界, 1995 (4): 18~22
- 29 Goodchild M F, Kemp K K. Introduction to GIS. New York: NCCGIA - Core Curriculum, 1991
- 30 Burrough P A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford: Oxford University Press, 1986
- 31 李德仁, 龚健雅, 边巍苓. 地理信息系统导论. 北京: 测绘出版社, 1993
- 32 陈军, 李京, 周成虎. 地理信息科学与产业化. 科技日报, 1997-11-05, 4
- 33 陈军, 杜道生. 试论地理信息产业的发展方向与行动对策. 地理信息世界, 1995 (4): 13~17
- 34 Cowen D J. GIS vs. CAD vs. DBMS: what are the differences? In: GIS'87 - San Francisco. Second Annual International Conference, Exhibits and Workshops on Geographical Information Systems. Washington: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1987. 46~55
- 35 张显峰, 崔伟宏. 建立面向区域农业可持续发展的空间决策支持系统的方法探讨. 遥感学报, 1997, 1(3): 231~235
- 36 庄逢甘, 陈述彭. 卫星遥感与政府决策. 北京: 宇航出版社, 1997
- 37 李德仁. 论发展我国地理信息产业的基础设施建设. 地理信息世界, 1995(4): 4~7

PRECISION AGRICULTURE AND ITS PROSPECTIVE IN CHINA

Yu Genong

(Chengdu Subcentre of Agricultural Remote Sensing, Chengdu 610066)

Zhou Yong

(Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066)

Abstract Precision agriculture is one of the most advanced technologies in agriculture. Its marginal efficiency in economy and environment is significant, since it makes full use of temporal and spatial variabilities of crops, soils, insect pest and disease to farming practices and field management. According to China's conditions, it is not only necessary but also feasible to study and develop appropriate technical and applied systems of precision agriculture. The development of precision agriculture will facilitate solutions to major issues in population, resources and environment and benefit China in high efficiency utilization of agricultural resources and environmental protection. To meet the specific requirements of precision agriculture, some adaptations, like those in interface, statistical and modeling functions, easy manipulation, information resources, real time GPS connection, and processing speed, should be made on GIS, which is the key technical system in integrated precision farming practices.

Key words precision agriculture, GIS, present status, prospective

第一作者简介

喻歌农, 男, 1965年7月生, 现任成都农业遥感分中心研究部主任, 副研究员。目前主要从事遥感与地理信息系统的应用研究, 研究项目涉及农业估产、农业用地动态监测、灾害监测、城市基础设施信息管理系统设计、资源与环境监测、城镇地籍估价及规划等。