

精准农业技术体系的研究进展与展望

赵春江, 薛绪掌, 王 秀, 陈立平, 潘瑜春, 孟志军

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘 要: 该文从精准农业四大技术环节农田信息获取、农田信息管理和分析、决策分析、决策的田间实施、分析和评述精准农业技术体系的现状和趋势, 总结了精准农业的效果和推广现状, 并对精准农业的发展方向进行了展望。

关键词: 精准农业; 信息获取; 信息管理; 决策支持系统; 田间变量实施技术

中图分类号: S126.127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)04-0007-06

1 引言

精准农业是基于现代信息技术发展成就的一次正在进行的作物栽培学的革命, 有人认为它是近代农业使用拖拉机以来最大的农业技术革命, 人们希望通过精准农业技术体系的使用降低生产成本, 提高和稳定农产品产量和质量, 增加经济收入, 减少环境污染。目前, 精准农业的技术体系还处于婴儿期, 虽然潜力无穷, 但其潜力的发挥需要研究时间和研究资源的投入, 还需要不断发展和完善, 发展和完善就意味着技术淘汰和技术创新, 因此我们需要对现有的精准农业技术要素进行分析, 明确哪些技术是将被淘汰的技术, 哪些是目前虽然不成熟但却是未来支撑精准农业的技术要素, 只有在这个基础上, 才能明确技术引进重点和研究方向, 直接占领精准农业技术的世界前沿阵地。

精准农业技术从实施过程来分大致包括农田信息获取、农田信息管理和分析、决策分析、决策的田间实施四大部分(Zhao 等, 2000)。这四大部分, 在目前来讲, 大多是以分离的技术形式存在, 但发展的趋势是合而为一, 统一在变量施用机具这个精准农业技术系统的载体上。我们常说的 3S 技术中, RS(遥感)是属于农田信息的获取手段, GPS(全球定位系统)是地理位置信息的获取手段, GIS 是农田信息的管理和分析手段, 另外还有 DSS(决策支持系统)和 ES(专家系统)是决策形成支持系统的核心, 再加上变量施用技术(VRT)(决策的田间实施), 形成了精准农业技术体系的基本内容。

2 农田信息获取

精准农业需要尽可能高密度的、全面的农田信息作为依据。目前, 精准农业实施的最大障碍, 仍然是在农田信息高密度、高速度、高准确度、低成本获取技术的研究上。如果高密度农田信息, 包括土壤信息、作物信息和农田微气象信息的高密度获取技术没有根本的突破, 则精

准农业难以获得很好的经济效益和太大的应用范围。目前田间信息获取主要有传统田间采样、田间 GPS 采集、智能农机作业、多平台遥感获取等四种方式。

2.1 传统田间采样

对土壤的空间变异性进行详细的了解是精准管理、变量管理的前提性基础工作。精准农业的发展方向是根据米级、亚米级尺度的土壤性状、作物生长参数变异来调整农田水肥、播种、植保、耕作等作业, 这种作业的技术并不是太大的难题, 但由于缺乏成熟的低成本高密度、高精度、高可靠性的获取农田信息的技术, 田间信息采样的间距较大, 目前流行的精准农业技术体系所解决的主要还是几十米以上的田间土壤养分变异。美国目前流行的精准农业的土壤采样布点大多是 1 hm² 以上采一个样点, 相当于 100 m 取一个采样点(Han et al, 1994), 在国外研究文献中所查到的最小尺度的网格面积大约相当于 1 亩多耕地。北京小汤山国家精准农业示范基地的采样密度大约为 2.5 亩(杨敏华, 2002), 并不是因为这样的采样密度满足了农业生产的需要, 主要是基于采样和分析成本的限制。由于采样点本身所占的面积不超过农田面积的万分之一到百万分之一, 没有测定的地点只好采用地统计学方法进行估算, 其可靠性是可想而知的。作物信息, 如叶面积系数、干物质积累、单株形态信息等, 目前也还离不开破坏性采样, 采样密度更受限制。采样尺度过大对于我国小块土地经营的现状显然是不合适的, 国外的精准农业技术体系从某种角度看, 在我国可以说实际上是粗放农业, 即使到我国的国营大农场使用也需要细化。

2.2 田间位置信息采集

全球定位系统(Global Positioning System, 即 GPS)的发展, 为获取农田信息时同步获取位置信息提供了一个方便的选择。美国、加拿大、澳大利亚等西方发达国家在农业中首先应用 GPS, 它们 GPS 的基础设施都比较完善, 信标台(海上信标和陆地信标)、调频副载波差分 and 广域差分系统基本上覆盖了这些国家的全境, 农业中应用 GPS 可以直接使用这些设施, 一般在仪器和农业机械上都带有 GPS 接收机或有为 GPS 预留的接口, 并且有专门的公司作各种收费的农业应用服务。所以, 这些国家中一般没有关于农业的局域实时动态差分 GPS 如何建立的方案和标准。而在我国, 虽然这几年

收稿日期: 2002-12-17

基金项目: 国家计委高技术产业化示范工程项目(A 00300100584); 国家“863”计划(2001AA 245011); (北京市科委农业信息技术示范工程(H010710200113))

作者简介: 赵春江(1964-), 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向: 农业信息技术, 北京市 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089

来GPS的应用逐步增多,但我国的GPS基础设施很不完善。在沿海,交通部刚刚建成海上信标台,主要为海上导航服务。陆地上还没有可以提供差分GPS服务的国家基础设施,因此,在相当长一段时期内,我国不可能建立自己的广域差分系统,也不可能建立若干个陆地信标台为全国提供差分服务。目前,GPS在农业上应用,除沿海区域可以使用信标外,其它区域只能建立局域实时动态差分GPS系统。根据近年来精细农业发展的要求、应用目的和实际应用情况,对水平定位精度的要求可分为亚米级和厘米级两种,如亚米级可以用于采样、联合收割机导航等,厘米级用于施肥机械、喷药机械的导航等。在现有的农业差分系统中,一般都达到了亚米级的定位精度,至于是否达到厘米级的定位精度,是由经济因素和其它因素决定的。同时,目前国内主要依靠引进国外DGPS技术与设备,以自建差分基站方式实现差分定位,提高定位精度。然而,从国外引进的DGPS系统价格昂贵,难于为国内普通用户接受。随着国内GPS行业硬件研发和生产的兴起,基于国产品牌的GPS设备构建农用DGPS系统将成为一种发展趋势。

在基于精确GPS位置的农田信息采集方面,国外已经有成熟的软硬件产品。美国FieldWorker公司的基于掌上电脑的信息采集软件FieldWorker能很好地满足精准农业农田信息采集的需要。通过与GPS的连接,能实时采集带有空间位置属性的田间作物生长状态信息(甚至作物生长状态的图像、注解声音等多媒体信息),并能做相应的计算处理,为作物管理提供科学依据。美国Trimble公司的AgGPS 160 Portable Computer能实现田间成图、各种作物及其生长环境属性信息记录,获取来自通过各种田间环境传感器传来的信息,所有获取的数据能通过ESRI Shape文件格式与外界进行交换。但无论如何,单纯用于农田信息采集的软件系统将随着遥感在农田信息获取应用的不断深入而被淘汰,取代它的将是集成GPS的遥感系统与智能农机系统。

依赖GPS获取农田信息和进行导航还面临另外一些问题,例如定位精确程度对时间的依赖性,以及一旦遇到战争时,美国政府可能通过特殊处理使全球定位系统失效;还有前边提到的,一些要求达到厘米精度的操作如小麦播种,用米级精度的定位设备肯定不行,而厘米精度的差分定位系统又过于昂贵。日本目前在研究覆盖农场区域的有限尺度定位系统,不依赖卫星定位系统,精确度很容易达到厘米级,且不易受时间、环境变化的影响,可能是精准农业定位系统的更佳选择,值得我们关注和研究。

2.3 智能农机作业获取

“VERIS”土壤电导率制图机是一个很有用的获取农田信息的工具,现在已经成为精准农业农田信息获取的设备进行推广。制作这一工具的,是几个仅拥有硕士学位的美国农民。人们了解土壤电导率与土壤性状的关系已经有多多年了,土壤的许多性状之间是相互联系的,如土壤质地粘重,则电导率高、有机质含量高、阳离子代

换量高、田间持水量高,而这些性状与土地的生产力有不可分割的关系,这便是土壤电导率变化图之所以很有用的原因。

目前产量制图是一项推广比较普遍的精准农业信息获取技术,但是,只有产量的空间变化模式在年际间和作物间一致,而且找到导致变化的原因,产量图的使用才有依据。美国明尼苏达大学的John Lamb^[11]领导的研究表明玉米产量的空间变异在年际间往往是不一致的,高产和低产地块并不是每年发生在相同的地块,这表明根据历史产量记录预测未来产量的可靠性是有限的。Eghball和Varvel(1997)依据1975~1995年共20年间在Nebraska东部进行的7种作物轮作技术体系数据的分析,表明几种作物的产量年际变异远大于空间产量变异。

2.4 多平台遥感

遥感以其独特的信息获取优势正逐渐成为农田信息获取的主要手段。用遥感获取土壤和植物参数已经比较普遍了,遥感数据是属于面数据,可覆盖整个农田,不象常规的采样分析手段所获取的只是点数据,特别是随着卫星遥感空间分辨率的提高,卫星遥感技术在精准农业中的作用应该会越来越大,例如Okamoto等(1990)和Hatanaka等(1995)用Landsat的图象推断土壤有机质含量和土壤持水量。目前QuickBirds空间分辨率达到0.7m,回返周期为1~35d。航空遥感可以获取满足精准农业需要的高空间分辨率遥感信息是毋庸置疑的,另一方面,如果没有气候的影响,具有很大灵活性的航空遥感可以获取任意时间的农田信息。由此看来,随着遥感技术的发展,遥感影像的空间分辨率和获取信息的周期基本上不再是遥感技术应用的限制性因素。虽然多雨气候对遥感信息的获取影响较大,但微波遥感的发展成为多雨气候条件下的农田信息获取的重要补充手段。

高光谱遥感是遥感发展的一个重要趋势,高光谱遥感以其高光谱分辨率特性所携带的丰富光谱信息为遥感应用带来了强大的活力。国内外许多学者已经涉足高光谱遥感在植被生物物理信息和生物化学信息提取方面的研究。从2001~2002年,由国家农业信息化工程技术研究中心联合中国科学院遥感应用研究所利用OMIS(Operative Modular Imaging Spectrometer, 128个波段)和PHI(Push-broom Hyperspectral Imager, 244个波段)在北京小汤山国家精准农业示范基地进行了农业遥感试验,并在农作物冠层生化参数反演研究方面取得一定的进展,也进一步证明了高光谱遥感在农田信息提取中的巨大前景(杨敏华,2002)。然而,目前国内外遥感信息在农业中的应用,大部分停留在从光谱信息反演作物冠层生化参数这一步,美国奥克拉荷马州立大学研制了从遥感数据生成施肥处方的优化算法^[18],这是遥感信息应用的一个很大进步。

在近地面测量地物吸收和反射光谱的地物光谱仪(如美国的ASD FieldSpec)是田间低成本间接测定作物养分和生化参数的一个工具,在卫星和航空遥感技术

进一步发展和成熟前,正在被发展为高密度获取农田信息的技术手段。

目前,阻碍遥感技术应用的主要因素是专业化的设备标定、提取农田信息的主观性和反映农田信息的间接性、遥感信息处理对终端用户的限制性、信息获取的滞后性、信息分析处理方法等。目前遥感技术在农业中的应用没有达到人们的愿望,因此有人质疑遥感技术在精准农业中的位置,这是不应该的,因为科学总有一个发展的过程。在美国,越来越多的商业公司提供航空遥感服务,收集可见和近红外光谱,分辨率达 $0.3\sim 1.0\text{m}$,在24h内提供分析结果。如果航空遥感能与商业民航飞行相结合,航空遥感的成本有望大幅度下降。

3 农田信息管理与分析

3.1 地理信息系统

地理信息系统(GIS)在精准农业技术体系中的地位是举足轻重的,它出现在从规划、田间信息采集、信息处理与管理、信息分析,到田间决策方案实施的整个过程,这要归功于精准农业实施对空间信息的依赖性。农田信息具有多源性,具体表现在存储格式多样性、多尺度性、获取方式多样性,另外还包括系统或数据库数据组织的复杂性。通过GIS平台,融合多源数据的基础上建立农田管理系统实现对多源、多时相农田信息的有序管理和分析,这是精准农业实施的基础,其作用表现在数据组织和集成管理、空间分析查询、空间数据更新与综合处理、可视化分析与表达。GIS为田间信息采集提供基础信息,也为田间变量实施决策分析提供信息源,因此农田地理信息系统是精准农业实施的信息管理员。目前GIS在国外精准农业应用中还处在农田边界图管理、土壤肥力管理、产量分布图管理分析,以及简单空间分析阶段,并没有充分发挥GIS应有的作用,相应的管理软件也不成熟。虽然经过几十年的发展,国外许多GIS产商开发诸如ArcGIS产品系列、MapInfo系列等大型GIS软件,但它们价格昂贵,动辄数万,对农场管理来说属于“贵族”软件。然而,这些“贵族”软件与农业生产有关的功能只是很小一部分,应用于精准农业的GIS应用系统应该是小型廉价且适用的农场信息系统FIS(Farm Information System)。因此根据农业信息采集、存储和处理分析的特点,研发功能针对性强的FIS是农业GIS发展的一个方向。

遥感信息的特点决定了它必将成为农田信息获取的主要手段,然而从遥感获取的不是直接用于精准农业的信息,如土壤水分、作物冠层生化参数等,而需要通过分析建立遥感信息与土壤和作物生长状态相关的参数之间的关系,这是限制遥感信息应用与农业信息获取的“瓶颈”。GIS的参与将为遥感信息提取提供新的思路,GIS为遥感信息提取提供背景数据和分析方法。遥感和地理信息集成研究,脱离庞大昂贵的遥感影像处理系统,开发服务于具体应用的遥感和GIS集成系统,是GIS应用于农业的又一个重要方向。

将GIS作为决策分析的平台为精准农业实施提供

决策和控制的依据是其在精准农业中的另一个发展方向。将不同类型的地理数据,如土壤、作物、气象和土地历史等,与水分运动、溶质运移、农药渗漏、作物生长、土壤侵蚀等各种模拟模型和专家知识和推理机整合,产生支持定位实施的“农作处方”,这一切都需要集成模拟模型和专家系统的GIS应用服务平台的支持。也正是GIS的这一功能才使得用于变量作业的农艺处方生成得以实现,同时也能够通过专家系统实现精准农业实施中的自动控制。

然而,从精准农业实施的经济效益和产业化角度考虑,GIS在精准农业中的应用并没有随着精准农业田间实施全过程的结束而终止,它还在后续工作起着重要作用。利用产后产量分析为下一种植循环的规划提供决策信息,这是当前国外精准农业体系中注意的比较多的一项内容,但仅此而已,它们并没有从市场销售角度考虑GIS的应用。目前,作物生产已开始由单纯追求高产模式向优质、专用和高效的方向转变,利用品质监测信息可用于指导粮食分类加工,大幅度提高加工品质和附加值,这是产后基于GIS分析的又一个内容。市场分析是根据作物产量和品质,以及社会经济要素进行分析,用于指导粮食销售价格和销售方向,从而提高粮食生产的经济效益。销售管理主要对客户和粮食配送的管理,分为客户关系管理和物流管理,它是提高粮食销售管理效率的必要前提。因此研发为精准农业服务的产后市场分析和销售管理的应用软件是GIS应用于精准农业中的一个重要补充,具有较大应用前景。

3.2 地统计学

从目前农田信息采集方式来看,由于遥感信息分析本身的关键问题没有得到解决,多平台遥感这一获取面状信息的手段并没有被广泛应用,因此现在获取的信息大部分是以点状方式存在的,这不能满足精准农业的需要,往往需要通过分析将点状信息转换为面状信息。地统计学正是以其对既有随机性又有结构性的变量进行统计学研究方面的优势,作为土壤和作物信息由点到面的数学分析工具,目前在从事精准农业研究占有一席之地,而且是目前精准农业研究中不可缺少的工具。国外地统计学是一个专门的学科,有定期的地统计学会年会,甚至有专门的公司提供地统计学方面的服务(Isaaks and Srivastava 1989)。随着田间信息获取密度的增加,以及遥感信息提取这一瓶颈问题得到解决,地统计学在精准农业中的地位应该越来越低,最终有可能基本丧失其意义,但在10年内,恐怕还是会有它的一席之地。国外开发许多完善的地统计学软件包,如S-PLUS、SWARM等,但它们与GIS结合不是很紧密;ArcGIS带有GeoStatistics模块,但它需要那庞大支持系统,不易于推广,因此需要研究解决集成GIS的地统计软件,这也是当前农田信息分析研究一项重要内容。

4 变量决策分析

变量决策分析是精准农业技术体系中的核心,有人认为只要实现了农田信息高密度获取,进行管理决策就

是一件很简单的事情,其实不然。基于高密度农田信息的精准农业实施的决策支持系统的形成和完善,需要大量的基础研究,而不是用已有的专家系统就可以解决。例如,我们获得产量分布图后,有高产地块,有低产地块,在下一季节的施肥决策中应该采取怎样的决策?有人会认为是否在高产地块继续采用正常标准肥量,在低产地块使用高肥量,这样高产地块继续高产,低产区进一步高产。其实这样未必正确,往往产量的差距主要是养分以外的其他因素如土壤质地结构、土层厚度、障碍层的存在与高低、土壤紧实度、盐碱程度、树木遮阴、病虫害、播种质量、管理质量的空间差异等造成的,如果我们不找出原因对症下药,往往会加大生产成本,例如在产量潜力高的地方用标准肥量,可能产量潜力发挥还没有完全,在产量低的地块提高肥量,产量没有提高会浪费化肥,甚至造成污染,当然相反的决策也可能是错误的。可见,在精准农业中,可靠的决策支持系统是非常必要的,也是能否达到精准农业“按需投入”目标的关键。应该以系统思想为指导,综合考虑作物自身生长发育情况以及作物生长环境中的气候、土壤、生物、栽培措施因子,分析限制产量的原因,作出经济可行的决策。

目前,精准农业的变量决策,普遍停留在简单的变量施肥这个层次,而因土栽培是精准农业变量管理的核心性、本质性内容,我们讲“在合理的地方、合理的时间、合理的对象上做合理的事情”,也就是根据具体的作物品种、生长季节、和具体的土壤条件进行精准管理,作物品种和生长季节在空间上的变化恐怕不会有,关键是土壤的水平垂直方向的各种性状变异对作物生产和管理提出的具体要求,才是我们需要做的具体工作,不同的土壤剖面层次对作物生长的影响是最缺乏的知识信息。

基于农田或农场尺度上,人们发展研究了多种计算机生产决策技术,包括专家系统(ES-Expert System)、作物模拟模型、作物生产决策支持系统(DSS-Decision Support System)等。但这些系统与精准农业思想的实践要求尚有较大的距离。实施精准农业的作物生产管理辅助决策技术致力于根据农田小区作物产量和诸相关因素在农田内的空间差异性,实施分布式的处方农作。Tom等(1997)指出精准农业中产量图的分析将变的更复杂。数据挖掘软件工具被研制用于比较不同种类的空间数据(如产量图、土壤养分数据等),分析挖掘深层次的关系(Knighton, 1997)。一些经典的数学和空间学分析方法也被用于分析产量图,包括多变量聚类分析(Lark et al, 1997),时空模型(Wendroth et al, 1997),制图学方法和空间模拟方法(Berry, 1993)等。无疑这些方法可以为分析产量图数据提供有效的手段,但是这些方法无法解释产量与限制因子在时间和空间上的相互关系,因此在指导农田生产实践方面显得无能为力。随着信息技术的进一步发展,国际上提出了将多种信息技术如专家系统、模拟模型、GIS和RS等相结合的农业生产决策支持系统。美国佛罗里达州立大学研制了将作物模拟模型与GIS相耦合的农业和环境决策支

持系统AE-GIS(Engel等, 1997)。夏威夷大学研制开发的“DSSAT”综合管理作物、土壤和气候数据,利用模拟模型技术来评价不同管理措施,评估不同措施对环境及可持续发展可能造成的冲击。美国农业部(USDA)的GPFARM基于模拟模型,综合考虑经济、环境和可持续发展的目标,为生产决策者提供辅助决策功能。

5 田间变量实施

变量施用机具是精准农业的田间实现,国内外的研究均很多。变量施肥,是精准农业变量施用技术的第一项内容,也是研究最多的项目,在国外已经有成型机械存在,Oklaohoma State University所发展的基于氮素光学传感器的变量施肥机,以 1 m^2 的尺度进行变量施肥,GIS和DSS是与机械整合在一起的(Stone et al, 1996; Solie et al, 1996; Raun et al, 1998),这种变量施肥机的商业化产品将在最近投放市场。

在农田作业机械车载导航中, GPS发挥着重要作用,国外在这方面已经有较为成熟的产品。美国Trimble公司AgGPS170田间计算机可以安装于农田作业机械,用于田间作业导航(附带一种称为Lightbar的平行导航装置,通过与导航软件的配合,可实现田间作业机械的精确制导),能根据给定的农田作业处方图指挥变量作业控制器进行变量作业,同时还能进行田间成图、土壤采样和相关的田间信息采集工作。AgGPS170田间计算机采用广泛使用的ESRI公司SHP文件格式作为与外界通讯的软件接口标准,采用通用的RS-232串行通讯协议作为硬件接口标准,这样就极大地方便了用户的使用。我国的研究相对于发达国家而言起步较晚,用于精准农业使用的农业机械及信息采集传感器方面的研究与发达国家还有相当大的差距。这些差异主要表现在GPS与农业机械、农田GIS的接口软件以及农田GIS的田间作业图层与农机的接口软件,农田信息采集、利用等技术不过硬,缺乏统一的农业信息标准和资源共享机制,农机作业传感器多数采用国外的进口部件,因而机械制造的成本比较高难于为农民所接受。

将遥感GIS和GPS结合可及早识别小面积病虫害和草害区,从而大幅度降低农药的用量(Everitt et al, 1994; Wilson and Scott, 1982)。Mississippi的一个为期3年的精准除草试验中,除草剂的用量下降了73%,可以说,变量除草、防止病虫害的技术将是精准农业的一项很有希望普遍推广的技术。

精准变量播种技术本身已经存在,但目前推广变量播种技术的障碍主要在于其必要性。人们倾向于认为确定播种量应该依赖于土地的产量潜力,产量潜力高,播种量低,产量潜力低,播种量高。而土地的产量潜力的确定需要有3~5年的产量数据。对玉米而言,美国普渡大学的Nielsen(1995)根据先锋种子(Pioneer Hi-Bred international, Inc)从1978年到1993在美国玉米带积累的数据,发现产量水平从100到180 bushel/英亩,株密度均在26 000~30 000/英亩之间,播种密度在28 000~32 400粒/英亩之间。这个结果对玉米的变

量播种技术的采纳是一个否定的结果, 小麦的变量播种技术对产量也不会有明显影响, 尤其是分蘖成穗能力强的品种, 播种量的缓冲范围很大, 可以说, 通过空间调整播量来增产的理论依据对小麦玉米而言基本上是不存在的。

精准变量灌溉的依据, 土壤含水量或储水量只是一个方面, 由于土壤质地变化导致土壤供水能力和作物根系吸水能力发生变化, 大多数时间应该根据土壤质地结构变化来调整灌溉模式, 因此变量灌溉的尺度要远大于变量施肥的尺度, 可以说亚米尺度的变量灌溉意义不大, 目前的作业区 (management zone) 的概念用于变量灌溉是很适宜的。

6 精准农业技术的效果和推广现状

目前国际上精准农业技术的推广处于徘徊期, 普遍推广的还是一些单项技术, 如 DGPS 定位下的精准播种、精准喷药等, 澳大利亚精准农业中心的研究人员对基于产量变异、土壤养分变异的变量施肥技术的效果进行研究后的结论是, 变量施肥并没有导致增产, 只是降低了施肥量。从不同作物看, 甜菜、烟草、甘蔗等品质要求高对施肥比较敏感的作物, 变量施肥效果较好, 例如根据美国明尼苏达大学、Crookston 和 North Dakota State University 在 1994、1995 两年的结果, 基于 4~5 英亩网格取样的变量施氮可使每英亩甜菜的利润增加 50~70 美元^[19]。其它大田作物的效果不确定性很大, 即使显示纯经济效益的, 也很有限。在美国, 农户对精准农业变量施肥技术的采纳率在 1999 年达到顶点后, 2000 年、2001 年连续两年有明显下降 (Akridge, Jay, and Linda Whipker, 2001), 国际市场农产品价格的持续低迷是大环境的原因, 但主要的原因是目前的精准农业的技术体系所产生的经济效益还不够明显, 采纳目前的精准农业技术体系后, 生产成本一般不会下降, 作物产量和质量的增加只有几个特例, 大部分的实验结果, 产量并没有明显的增加。我们认为, 目前的精准农业技术体系的增产作用不够明显, 一是所能考虑的农田变异的空间尺度太大, 在 1 hm² 以上, 基于这种采样间距的精准农业技术体系不仅在中国没有推广前景, 在美国、加拿大、澳大利亚等西方国家也难以推广。作物产量在很小尺度就会有很大差异, 例如我们测定的高产田小麦的一个 30 m² 小区内, 每平方米产量变化幅度达 30% 左右, 对这个尺度的产量变异原因进行分析并进一步提出改进措施是作物大幅度增产的基础。二是支持精准农业实施的决策支持系统还没有完善, 以目前的变量施肥决策为例, 主要是基于土壤养分测定数据和产量图, 对于作物本身性状如吸肥特性、叶面积指数和干物质积累的空间变化等不进行考虑, 这是由于目前的精准农业的研究者大多数是土壤肥料学科方面的背景, 农艺学家的参与不多, 我国的作物栽培学在世界上来讲拥有最系统的学科体系, 研究水平可以说是世界领先, 栽培学家的主动参与将使精准农业的增产增质降本效果在我国显示出来。

7 精准农业的研究方向

精准农业的变量实施技术不是难点, 目前精准农业技术体系碰到的困境, 主要是由于基础研究不足, 推广有些超前造成的, 一些理论依据不是特别充分和量化的技术, 如单纯基于土壤网格采样和目标产量的变量施肥技术被不适当地过分重视和推广。前边已经提到, 农田高密度信息的获取是精准农业发展的瓶颈, 而在这些高密度的农田信息获取后, 怎样根据这些不同角度的农田信息, 推出一整套具有可实施性的精准管理措施, 将是另一个需要多学科交叉的研究课题, 以变量施肥为例, 不仅是土壤养分和目标产量, 土壤其它性状、品种特性、环境条件等许多要素都影响施肥决策。一个信息获取, 一个可靠的决策支持系统, 是精准农业研究的两个主要难点, 也是精准农业未来至少 10 多年的主要研究内容和突破口。

[参 考 文 献]

- [1] 杨敏华 面向精准农业的高光谱遥感作物信息获取[D] 北京: 中国农业大学博士论文, 2002
- [2] Akridge, Jay, and Linda Whipker: Precision agricultural services dealership survey results[J] Center for Agricultural Business, Purdue University, West Lafayette, N. 2001.
- [3] Berry J K. Beyond mapping: Concepts, algorithms, and issues in GIS[M] GIS World Books, Ft Collins, CO. 1993
- [4] Eghball & Varvel Fractal analysis of temporal yield variability of crop sequences: implications for site-specific management[J] Agron J, 1997, 89: 851~ 855
- [5] Engel T, Hoogenboom G, Jones J W, et al AEGIS/W N: A computer program for the application of crop simulation models across geographical areas[J] Agron J, 1997, 89: 919~ 928
- [6] Han S, Hummel J W, Goering C E, et al Cell size selection for site-specific crop management[J] Trans ASA E, 1994, 37: 19~ 26
- [7] Isaaks E H, Srivastava R M. An introduction to applied geostatistics[M] Oxford University Press, New York, N.Y. 1989
- [8] Knighton R. SM LEY: Remote sensing data mining tool [J] Ver. 1.0 North Dakota St Univ. 1997.
- [9] Lamb, et al Spatial and temporal stability of corn grain yields[J] J Prod Ag, 1997, 10: 410~ 414
- [10] Lark R M, Stafford J V, Froment M A. Exploratory analysis of yield maps of combinable crops[R] Proc First European Conf on Prec Agric 1997, 887~ 894 Ed J. V. Stafford Silsoe Res Inst, UK
- [11] Miller M P, Singer M J, Nielson D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills[J] Soil Sci Soc Am J, 1988, 52: 1133~ 1141.
- [12] Nielsen R L B. Site specific seeding rates for corn [J] Purdue Pest Management & Crop Production Newsletter (5/5/95). 1995
- [13] Nolin M C, Guertin S P, Wang C. Within-field spatial

- variability of soil nutrients and corn yield in a Montreal low lands clay soil[R]. 1996, 257~ 270. In Robert, P. C., R. H. Rust, and W. E. Larson (eds.). Proc of The Third International Conference on Precision Agriculture
- [14] Okamoto K, Fukuhara M, Hatanaka T. Mapping method of soil organic matter content of Obihiro area with a Landsat TM data (in Japanese with English summary)[J]. J Jpn Sci Photogramm. Remote Sens., 1990, 29(6): 45~ 52
- [15] Raun W R, Solie J B, Johnson G V, et al. Microvariability in soil test, plant nutrient, and yield parameters in bermudagrass[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 683~ 690
- [16] Schroder D, Haneklaus S, Schung, E. Information management in precision agriculture with LORIS[J]. In Precision Agriculture'97, Vol II: Technology, IT and Management (Ed. J. V. Stafford). B D S Scientific Publishers Ltd., Oxford, U K. 1997, 821~ 826
- [17] Solie J B, Raun W R, Whitney R W, et al. Optical sensor based field element size and sensing strategy for nitrogen application[J]. Trans A S A E, 1996, 39: 1983~ 1992
- [18] Solie J B, Whitney R W, Broder M F. Dynamic pattern analysis of two pneumatic granular fertilizer applicators[J]. Applied Engr Agr, 1994, 10: 335~ 340
- [19] Soil sampling and reliability of estimates, from North Dakota research, PROGRAM -19th ANNUAL WORKSHOP, The Manitoba-North Dakota Zero Tillage Farmers Association, downloaded from www.mandakzero till.org/book19/008.html
- [20] Stone M L, Solie J B, Raun W R, et al. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat[J]. Trans A S A E, 1996, 39: 1623~ 1631
- [21] Wendroth O, Kuhn G, Jurschik P, et al. State-space approach for site-specific management decisions[J]. Proc First European Conf on Prec Agric Ed. J. V. Stafford. 1997, 835~ 842. Silsoe Res Inst., U K.
- [22] Zhao C J. Progress of agricultural information technology[M]. International Academic Publishers 2000

Advance and prospects of precision agriculture technology system

Zhao Chunjiang, Xue Xuzhang, Wang Xiu, Chen Liping, Pan Yuchun, Meng Zhijun

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract In this paper, four key technological components of precision agriculture, i.e., field information collection, field information management, variable-rate decision-making, and variable-rate technologies, are analyzed and evaluated. The impacts of precision agriculture on farm input, crop yield and quality are summarized. The barriers for development and adoption of precision agriculture are also pointed out.

Key words precision agriculture; field information collection; field information management; decision support system; variable-rate technology