

# 大田种植数字农业信息流与技术体系\*

梁启章, 齐清文<sup>※</sup>, 张 岸, 姜莉莉

(中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**【目的】遵照国务院《数字农业建设试点总体方案(2017—2020年)》, 大田种植数字农业建设将基于BNSS、4G、3S、IOT、CS与AI等高新技术, 研究提出符合国情的数字农业信息流模式, 创建由“智能监测、智能控制与智慧管理”构成的农业生产过程管理系统。【方法】文章通过概述国内外精准农业技术发展现状, 研究了数字农业信息流及其技术体系, 根据数字农业信息源和信息时效性差异, 提出不同信息流管理模式。【结果/结论】面对国内集约化与半集约化经营现状, 智慧管理系统既能定期发布“系列农情图、土壤肥力图、作物产量图与变量作业处方图”等, 满足分散经营者使用手机就能获得实时信息咨询服务; 又能远程监控农机运行, 直接发送调度/导航信息与作业处方图, 满足实施变量作业需求, 并能实时接收农机位置与物耗等信息, 实时提供调度导航与进程管理服务, 从而全面提高农机作业效率。中国政府于1996年启动的“信息化带动现代化”信息经济模式, 推动了互联网进村、无线设备用户井喷式增长, 北斗系统达到了高精度定位与计时, 农机自动驾驶与精准导航系统正在大力推广应用, 土壤、作物与产量等监测传感器已经通过验收或鉴定, 为建设数字农业技术体系提供了必要的基础技术与装备, 数字农业系统有望早日国产化并能推广应用。

**关键词:** 数字农业; 精准农业; 智慧农业; 信息流; 技术体系

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180402

## 0 引言

源远流长的中华农耕文明, 象征着各族人民的智慧与勤劳本色, 例如, 誉为鱼米之乡的长“长三角”农村, 起始于荒无人烟滩涂地, 世代垦荒者挖渠造田、路水相伴、四通八达、宅地相邻; 世代种田者勤于整地、视情而作、养畜积肥、精收细打、选优留种..., 实施着人力农作条件下一年两熟制的精耕细作模式。世代农民采用的“日出巡田、日作看天、依情而行”的差异式管理之道, 对于实施数字农业, 依然具有重大指导价值<sup>[1]</sup>。

1996年, 中国启动了信息化带动现代化模式, 推进了网络进村、电视电话进户, 实

收稿日期: 2018-07-11

第一作者简介: 梁启章(1940—), 男, 汉族, 江苏海门人, 研究员。研究方向: 地图学, GIS与农业信息化。Email: article1@163.com

※通信作者简介: 齐清文(1963—), 男, 汉族, 新疆喀什人, 博士, 研究员。研究方向: 地图学, GIS的理论、方法和技术研究。Email: qiqw@igsnr.ac.cn

\*资助项目: 中国科学院现代农业示范与区域创新集群计划项目子课题“基于GIS的精准农业辅助决策与可视化协同指挥调度系统研发”(CXJQ12010402)

现了互联网覆盖与成千上万网站上线。至 2017 年我国已拥有 2.1 亿宽带用户、15 亿移动设备使用量、36 颗北斗卫星上天与 1 800 个地面基站，从而推动了“政策宣传、热线咨询、科技下乡、灾害预报、定位导航”等信息服务的跨越式发展。2017 年，国务院及时发出了《数字农业建设试点总体方案（2017-2020 年）》，旨在基于 BNS、4G、3S、CS 与 AI 等高新技术，加快突破智能化农机装备体系，构建“天-空-地”一体化的物联网测控系统，以及农机作业远程监管和数字农田智慧管理平台，全面提升农机作业服务能力，减少化肥与剧毒农药使用；同时，必须配套构建社会化服务体系，努力提高农业需求预测、资源潜力挖掘、种植结构优化、生产资料质量保障等专业化服务水平。要确保广大农业工作者在实施数字农业过程中既是参与者又是直接受益者<sup>[2]</sup>。

早在 20 世纪 80 年代，美国种植业因长期大量使用化肥引发了环境问题与农业成本逐年提高，从而推动了精准农作（Precision Farming）实验与应用，推出了差异化管理模式与变量作业控制系统<sup>[3]</sup>。1997 年，美国科学家首先提出数字农业概念，意在实施多年精准农业基础上，进一步完善智能化农机装备体系，开发新的数字农业服务平台，以加快降低生产成本，改善农业生态环境，达到提高农作物产品产量与质量之目标。

数字农业是将信息作为农业生产要素，用现代信息技术对农业对象、环境和全过程进行可视化监管、信息流驱动、差异化管理的现代农业。新一代人工智能支持下的数字农业，其技术核心依然集中于产前、产中、产后的信息流模式及其技术体系。为此，本文首先梳理了数字农业信息源，依据信息时效性差异，划分了相对稳定与动态变化 2 类，提出了不同的信息流管理模式；而后分析了国际上经济发达国家以及中国的数字农业现状，着重提出了大田种植数字农业信息流与技术体系概念方案，并对现代农业信息服务机制提出了若干建议。作者急切期盼着中国数字农业技术服务能够落到实处，推进现代农业建设中发挥更大效益。

## 1 数字农业信息源

大田种植生产过程涉及农业资源、农业资料、农业技术、农情灾情、田间管理、产品交易等要素。各要素的信息时效性大体上可划分为相对稳定与动态变化二类，前者可提前进入“田联网”数据库管理，后者须动态入库管理。集约化或分散经营者不仅渴望着差异化、个性化的实时信息服务，还期望提供“市场需求、种植计划、优质资源、高效肥料、安全农药、先进技术”等实用信息服务。

### 1.1 农业生产资源

#### （1）土壤作物类型资源

着重于关注每一种土壤作物类型的分布范围和投入产出潜力，相关数据将是建设“田联网”基础要素之一，也是实施“三元”种植结构优化的基础。

#### （2）农村水利工程资源

有效合理用水资源将取决于农田水利建设工程质量和数量<sup>[4]</sup>。灌排水网络连同“闸

2018年8月

门”、“控制阀”、“流量计”等基础设施，均用于创建“水联网”，通过智能调控系统实现自动调节保障农田水分。

### （3）农业气候资源

挖掘种植潜力，推广农业技术，务必恰当利用农业气候资源，其中重要资源指标包括：年辐射总量、年日照时数、年长季日照时数、年平均气温、年大于10℃积温、年大于0℃积温、气温年较差、无霜期、年降水量、年长季降水量、年湿润度<sup>[5]</sup>。可直接采用各地气象站所观测到的气象数据，或生成链接这些气象站点的三角网，采用插值方法转化为网格状信息，最后绘出等值线图来展示气候资源空间分布。

### （4）农业生物资源

科学利用生物资源属于农业生产中心环节，包括可利用的植物资源和动物资源，例如作物良种、药用植物、天敌昆虫、生物肥料、害虫病毒等<sup>[6]</sup>。调查并采集各类生物资源分布范围与产量潜力显得尤为重要。

## 1.2 农业生产资料

农作物种子、肥料、农药、农用塑料薄膜等生产资料，统称为田间投入品；还包括农机（具）及零配件、燃料与电力等生产资料。经营者最关注投入品质量与功效，以及装备功能、效率、耐用性与能源性价比。国家工商行政管理总局于2009年9月2日发布了《农业生产资料市场监督管理办法》<sup>[7]</sup>。

（1）种子品牌，其品质指标包括：净度、千粒重、含水量、发芽能力、生活力、优良度等；其外观特性包括：颜色、光泽、气味、受病虫害、机械损伤等。

（2）肥料品牌与品质，重点关注常用肥料类型、适用性作物、使用方法、增产效果。

（3）农药品牌与品质，重点关注完整农药名称（农药通用名、商品名和别名）、杀虫类型、常用剂量、适用方法、典型副作用等。

（4）农机（具）与运输车辆，目前市场上可提供的多种农机/具产品，重点关注它们的名称、品牌、型号、生产厂家、功率、速度、宽度等，必须逐一登记，创建“机联网”。

## 1.3 农业自然灾害

常见的气象灾害、地质灾害、生物灾害，只能预防，不能防治<sup>[8]</sup>，为此，提高灾害的预测、预报、预警水平，普及抗灾减灾知识，完善应急预案，提高应急能力，以增强抗灾救灾工作的预见性、主动性、能动性就显得十分必要与重要。还需将不同灾害发生频率、受灾范围、损失程度等历史灾情数据入库管理。

## 1.4 田间管理信息

作物播种、生长至收获全过程中，必须及时监测作物对光照、水分、养分、肥料等精确需求，便于及时采取促进生长或防治病虫害的精准措施，从而确保作物质量和产量<sup>[9]</sup>。早期田间管理包括压垄、播种、施肥、补苗间苗、产地除草、垄沟深松，作物生长过程中包括灌溉、追肥与灭杀病虫害等。

### （1）农情信息

即农作物从播种到收获的全过程中关键时节信息，以保证精准播种、补苗、追肥、

喷药、喷水等田间管理的及时性与质量<sup>[10]</sup>。农作物全过程监测包括：

①出苗率监测，作物出苗率是确保产量的第一要素，应灾害原因导致出苗率低于一定水平时，就需补种或改种其他作物。

②分蘖监测，如果分蘖数没有达到要求，会导致减产，此时需要提前追肥或浇水。

③长势监测，即作物在不同生长期内达到的高度或叶宽等健壮度是否符合标准，低于标准时可考虑追肥或浇水。

④作物肥力与水分监测，以确定是否需要追肥或喷水。

⑤花期监测，即正常时节内完成开花及其数量监测，以考虑是否需要追肥或喷水。

⑥结穗监测，即结穗数量是否达到预计目标，可为产量预测提供第一次依据。

⑦生物量监测，即作物果实成熟前监测，可为产量预测提供科学依据。

⑧成熟度监测，即确定收获日期监测，以便及时做好收获前各种准备工作。

## (2) 病虫害信息

及时发现病虫害类型和蔓延趋势，可以采取恰当措施，做好防治工作，这是决定作物能否健康生长与达到预计产量和质量的重大因素。不同地区不同作物可能会遇到不同病虫害，必须做好病虫害防治预案。例如，《大田作物病虫害防治图谱》<sup>[11]</sup>十分有助于确认病虫害种类与采取防治方案。

## (3) 播种与收获信息

预测播种与收获日期十分重要，前者探测土壤温度与湿度，确定最佳播种时间，及时做好种子、肥料与农机等准备，以确保播种质量；收获前须做好烘干仓储贮备场所、收割机、运输车辆及其调度导航方案等准备工作，才能确保丰产丰收。收获时还可借助测产测水传感器，获取作物的区段产量与水分信息，以制作产量/水分分布图，可用以制作下一轮播种/施肥处方图。

## 1.5 农产品需求预测

随着经营规模逐步扩大，经营者首先关心自己的农产品能否被市场接受，并渴望政府或咨询机构及时帮助做好农产品需求预测，例如，粮食需求应包括：自需粮（口粮）、国库粮、饲料粮、工业粮、地方储备粮等<sup>[2]</sup>；农产品市场需求是做好“粮经饲”种植结构与种植计划优化前提。

## 2 发达国家数字农业技术装备体系与服务机制

### 2.1 美国智能化农机装备体系与信息管理

美国天宝公司针对大田作物栽培，所推出的智能化装备体系，在精准导航、精确授时、无线网同步、精准农业等方面发挥着不可替代的作用，始终保持着测绘技术的领先地位，进军中国市场已经多年。其中基于无线网络技术支持下的“农场信息管理平台”链接了所有农机（具）、运输车辆与办公室电脑、手持机等终端装备，使各种相关信息能够在办公室、车辆、手持终端之间准确及时传输，管理人员可以看到农机或车辆实时位置，及时发送调度、导航指令，从而可全面提高作业效率和决策效率。天宝装备体系可

2018年8月

划分为9个部分<sup>①</sup>。

#### (1) GPS 高精度模式

提供信标差分、广域网差分与实时动态差分3种模式,分别提供2.5 cm、4 cm、5~10 cm、8~10 cm、1 m等不同精度差分模式,满足不同精度要求的定位技术体系。

#### (2) 接收机与无线电台

包括先进双频接收机、高性能双频接收机、双频接收机+天线系统,支持多种年重覆精度的实时差分信号校准与传输。

#### (3) 导航显示器

安装在驾驶室外的野外计算机,执行中心发布命令与任务,实为农机运行管理系统提供:彩色屏幕、触摸屏、视频摄像头、内置GPS接收机(多种精度模式),集成了GLONASS、辅助驾驶、自动驾驶、农具控制、流量和应用控制、Green Seeker传感器、实时变量应用、水管理、产量监测、办公室软件于一体。提供了“多田头导航、辅点导航、A-B导航、曲线辨识导航、田头导航、A+导航、自由式导航”等模式。

#### (4) 转向控制

提供了辅助或自动驾驶导航的选择,车辆保持直线运行,能够更快、更准确、更安全地完成田间应用;轻松操作,注重监管,减少操作人员疲劳度,降低投入成本;减少行间遗漏、重覆和不确定的工作进程;在多尘、低能见度环境下日夜工作;提供地形补偿技术,实时计算车辆的实际位置,在复杂的环境中(如丘陵、陡坡和起伏路面)提高精度。

#### (5) 农机具控制

包括辅助导航系统,能够确保复杂地形环境下农机具导航精度,减少农机具偏移影响,提高种子和肥料投放的准确性。

#### (6) FIELD-IQ 田间投放控制系统

即提供分区变量作业控制系统,以避免种子、肥料的重覆投放,以及物料投放量控制。

#### (7) 收获系统

收割机必须精确行间导航,即始终在行的中间行走;收割机上必须安装测产、测水传感器系统,实施提供分区产品产量及含水量数据。还可安装摄像头实施监视收割机后部、清扫粮箱以及螺旋卸载机运行状况。并可依靠Farm Works软件,将运行轨迹与产量数据无线传输到办公室分析。

#### (8) 水管理系统

主要针对水田的平地工作,可以理解为在水田缺水时,可以减少水的使用量;在水过多时,利用排水系统来控制用水量。美国25年使用经验证明,精准水管理系统可以提高25%产量,减少30%用水量。

#### (9) 农作管理软件(Farm Works)

农场信息管理系统的核心软件,提供了田间与办公室相融的整套解决方案,包括查询显示、账目管理、绘制地图、水管理、移动手持电脑等子方案。

<sup>①</sup> 美国“天宝”公司精准农业装备体系产品说明

## 2.2 美国农业经销商担当信息服务主体

根据中国农业大学吴才聪教授最新公布的“美国精准农业服务经销商调查”报告<sup>[12]</sup>显示,至 2013 年末,65.5%的经销商向客户提供了主要用于法律、收费及保险等精准农事服务,例如 GPS 土壤采样、GIS 土地测绘,分别达到 64.9%和 60.8%,GPS 驱动喷洒作业达到 52.6%,GPS 物流应用达到 20.5%;经销商提供的田间至办公室的远程监测技术,从 2011 年的 7%提高至 2013 年的 15.2%;另外,96%的经销商为客户提供农场的数据服务,66%的经销商给他们的客户提供产量图、电导率图和土壤养分图。与 2011 年的调查相似,精准服务中定制应用的利润最大,控制单个和多个营养元素的精准喷施服务会产生高额利润。由于农机自动控制/自动驾驶需求高精度的差分改正数据服务,70%的调查对象仍然使用 WAAS(广域网加速器)免费差分服务,22%的调查对象使用私人 RTK 基站,因为这种技术非常适合那些 WAAS 信号强度很弱的农场。

闻名全球的“孟山都”公司瞄准数字农业<sup>②</sup>,2015 年推出数字农业平台“Climate Field View”,提供播种处方和大田作物视频,指导氮肥和水管理,开展农田可视化和产量分析。农民通过移动终端如智能手机或平板电脑,就可达到田间管理精准高效。还开发了服务小农户的数字农业平台“Farm Rise”,可提供“信息提示、免费电话、在线咨询、市场价格”等信息服务。这些服务的美国付费使用农户人数超 10 万,面积已达 1 400 万 hm<sup>2</sup>(3 500 万英亩);印度试用农户超过 10 万名,应用面积超过 4 800 万 hm<sup>2</sup>(1.2 亿英亩);2017 年种植季,平台已覆盖美国、巴西、加拿大,并计划在 2018 年种植季拓展到欧洲(德国、法国和乌克兰)。

## 2.3 德国拜耳的“未来农场”

德国拜耳集团始终坚信数字化是布局未来农业的重要手段,计划 2015 年至 2020 年,承诺至少投资 2 亿欧元用于拓宽作物保护数字化支持系统,帮助农民及时获取特定田块信息,包括准确选种、及时了解植保时机和方案等;又如 APP 鉴定杂草服务,拜耳与合作者共同收集了 10 个国家杂草数据,可以鉴定出近 100 种杂草和 70 种病虫害,以及相应解决方案。2016 年,拜耳集团收购了植物健康诊断及病害感染警报服务供应商 Proplant,目前正在 10 个国家销售并测试数字化农业产品,推广用数据为农业生产提供决策支持。拜耳专家深信基于数据进行创新,是未来农业很重要的一部分,定会引起革命性的农业进步<sup>③</sup>。

## 2.4 英国的“农田之星”

英国农业正继续推进“精准农业”,结合数字技术、传感技术和空间地理信息技术,更为精准地进行种植和养殖作业。英国 Massey Ferguson 公司研制开发了农田之星(Field Star),属于支持精准农业体系的农田信息管理系统,利用先进的传感技术和 GPS 技术自动记产量和其他有关数据,实现自动控制和优化播种、施肥和喷药作业,包括 3 个循环部分:记录数据、数据分析和制定处方、机械控制和处方实施。

另一方面,英国教授认为农业可能是最后一个面临信息化和数字化的产业,大数据

② 孟山都中国:数字农业技术助力现代农业 .[http://www.sohu.com/a/246731987\\_100119168](http://www.sohu.com/a/246731987_100119168)

③ 未来农业的“数字经”和“服务包”——德国拜耳未来农场见闻 . 农民日报,2016-10-26:04 版

2018年8月

将是未来提升农作物产量、畜牧业产量的关键。因此，必须构建强大的数据搜集和分析处理平台，才能提升农业生产部门和市场需求的对接，加强农民对于市场的理解<sup>④</sup>。

## 2.5 日本的“绿色数字革命”

日本是一个经济发达国家，也是科技强国，积极追求发展低人工成本农业，例如，针对现实中的“老人农业”，大力发展智能农业，借助互联网开展“绿色数字革命”，实现种植技术与知识的数据化，确保积累的经验能够连续地传承至下一代农户和农企，达到提高农业生产综合效率目标<sup>⑤</sup>。主要措施包括：

(1) 使用高精度传感器实时采集农业气象和作物长势数据并经适当处理后分发给农户与管理人员，实现精准浇灌和施肥等作业。

(2) 信息不对称往往造成产品滞销而带来重大损失，可借助互联网实时搜索农产品消费者的实际消费趋势，帮助生产者依据市场需求调整种植计划。

(3) 发展农机无人驾驶系统，确保大规模农场实施 24 h 连续作业，达到提高生产效率目标，例如日本的水稻插秧机作业，在无线网络监控系统帮助下，可以同时监管 8 台插秧机自动作业。

(4) 日本还重点发展可穿戴式微型机器，协助生产者进行采摘、收割、除草、包装等。

# 3 中国数字农业技术现状

## 3.1 北斗卫星导航系统特点与应用

北斗卫星导航系统是中国自主建设、独立运行的卫星导航系统，也是为全球用户提供全天候、全天时、高精度定位、导航和授时服务的国家重要空间基础设施，2020 年将建成北斗全球系统<sup>[13]</sup>。迄今为止，全国建立了超过 1 800 个地基增强站，融合“北斗卫星网”，定位精准至“厘米级”。目前，北斗系统在汽车前装市场、智能手机、高精度应用等方面实现了产业化突破和跨越式发展，相关定位终端产品广泛应用于交通运输、海洋渔业、水文监测、气象预报、测绘地理、森林防火、精准农业、通信时统、电力调度、救灾减灾、应急救援等领域。北斗系统特点如下：

(1) 天地融合，提供地基增强系统以及星基增强系统，天地网络融合构成了中国北斗高精度定位能力基础设施。

(2) 兼容融合，与世界其他全球导航系统兼容与互操作，各大系统融合发展，给全球用户提供更好的服务。

(3) 技术融合，北斗与互联网、大数据、云计算、移动通信、遥感等创新融合，带动了新兴产业的加速兴起，已在 4G 手机中得到了广泛应用，并将成为 5G 通信的时空标签。

## 3.2 数字农业装备现状与信息服务期望

### (1) 自动导航和驾驶系统

目前，基于 GPS 的自动驾驶系统已经逐步推广到进口农机装备上，但是尚未开展信

④ 英国“精准农业”的始于大数据的整合 . <http://www.xjxmw.gov.cn/c/2017-03-07/1134871.shtml>

⑤ 日本智慧农业中有哪些值得我们借鉴? . [http://www.sohu.com/a/152554122\\_796010](http://www.sohu.com/a/152554122_796010)

息管理系统推广应用。基于北斗的国产自动驾驶系统<sup>[14]</sup>，也已进入推广应用阶段。例如，北京合众思壮公司首先推出的“慧农”北斗导航农机自动驾驶系统，已在新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区、河北省等 10 余个省市区域积极布局和推广应用，实现单台农机日均作业量较人工驾驶提高 100~200%、单作业季一台农机节本增效达 3 000 元人民币的突破，同时还宣布推出新一代“慧农”精准农业全产业链解决方案，它涵盖北斗农机导航自动驾驶系统、变量作业系统以及农业信息化系统，旨在全面布局农业信息化领域。上海联适导航公司于 2017 年再次率先在国内推出全自主知识产权的 AF300 自动驾驶系统，打破了国外品牌的垄断，整个市场的价格下降了近 50%。该公司主要产品和服务涵盖高精度 GNSS 板卡、高精度北斗/GNSS 接收机、无线数传设备、组合导航产品、变形监测系统、自动驾驶系统、智能导航、变量控制等产品与解决方案以及相关软件开发应用等方面。

### (2) 农机监管与调度导航服务

随着农业部发布《全国农机深松整地作业实施规划（2011—2015）》，我国已经部署了 4 666.7 万  $\text{hm}^2$ （7 亿亩）耕地将全部进行深松整地作业，并进入了“同一地块三年深松一次”的作业周期。为了准确统计农机作业面积和发放农机作业补贴，必须采用卫星导航技术提供实时的精确测量信息<sup>[15]</sup>。黑龙江省、天津市、北京市、河北省三河市等省市和地方农机局已建立相应的农机监管调度平台，已为国家补贴购置的农机具和作业拖拉机安装 GPS 监控终端，应用规模约 1 万台套。河南省、安徽省针对农机跨区作业监管与服务应用需求，为拖拉机配置车载 GPS 和专用手机，建成后规模约 5 万余台。新疆生产建设兵团主要的采棉机公司已安装车载监控 GPS，实现了远程监控与作业统计。

目前，正在基于“云-端”架构，构建国家级农机导航与位置服务平台，建立大数据和云服务中心，远程诊断规模可达千万量级。为了保障基础服务，发展增值服务，正在创新商业模式和盈利模式，终将成为我国农业社会化服务体系中的重要组成部分。

### (3) 北斗“增强综合服务”

北斗定位利用了间距为 50~300 km 的地面基准站，通过地面通信系统播发导航信号修正量和辅助定位信号，向用户提供厘米级至亚米级精度的定位导航和大众终端辅助增强服务。目前，1 800 个地面基站基本覆盖我国广大地区，但在基站稀疏的边远地区还不能达到随时随地获得无缝漫游式的增强服务。因此，建设“星基增强系统”，再融合农场自建 RTK，将可满足特定区域的定位精度需求。目前，中国正在通过基于北斗的示范工程建设，调动各级政府、导航企业、农机企业和最终用户的积极性，逐步建立北斗农业应用的完整产业链，形成北斗农业应用推广的新产品、新平台和新模式<sup>[16]</sup>。

## 3.3 种植结构优化与差异化分析示范研究

大田种植结构优化已经是各地区农业主管部门的当务之急，大田生产差异化管理又是实施精准农业核心思想，2 方面示范研究已经取得较好的成果。

### (1) 种植结构优化决策与年度计划

种植结构优化目标是稳定粮食产量、增加经济作物收益，大力发展饲料作物来推进养殖业的增值产业链。结构优化研究的初步成果包括以下方面：



2018年8月

- ①摸清当地优势作物耕地资源潜力。
- ②建立不同作物在不同耕地类型上增产措施和单产潜力模型。
- ③基于多年统计数据，建立统计预测模型，预测农产品需求、科技增产潜力、产品价格变化趋势。
- ④设定可选评估目标及其权重（可调），例如：产量最高，或效益最大，或投入最小等评价目标。
- ⑤开发具有对弈操作方式的多目标评估软件平台，允许决策者选择不同目标、权重与决策方案，并由决策者做出最终方案决策，确保结构优化方案切合实际情况，增加可操作性与实用性。
- ⑥基于种植结构优化方案，就能快速完成耕地、种子、水、肥、农药等农业生产资料的年度计划决策方案。

## （2）精准农业数据库

基于 GIS 与 GPS 技术，设计并建立示范区综合数据库，目前的示范研究已经完成了基于田块的矢量与经纬度网格（1 秒或 0.5 秒）2 种结构数据库框架，同时建立了相应要素的数据标准，数据类型包括：数字农田、田块档案、三维地形、卫星影像、农情监测、土壤监测、产量监测、基础设施、农机具与人员等相关数据资源，同时开发了基于 Web GIS 的数据共享管理平台<sup>[17]</sup>。

## （3）农情遥感监测与差异性分析

目前的精准农业遥感监测方法已经实现了基于田块的播种期与收割期监测识别方法，以及基于网格（10 m × 10 m）的出苗率、作物长势、作物肥力与水分、作物生物量与成熟度的监测识别方法。因此，基于 GIS 平台的田块或网格空间数据库，可以快速完成各种监测指标的空间分布地图，例如：播种期图、肥力图、收割期图、产量图、处方图等，为实施差异化农作管理与变量作业提供了基础控制信息。已有的示范研究证明，规模化农场大田快内部，或分散农户经营的自然田块内部，均存在各种指标的空间差异性，充分地提供了实施差异化管理与变量作业的精准农作模式的科学依据<sup>[18]</sup>。

# 4 大田种植数字农业技术体系概念设计

图 1 展示了大田种植数字农业技术体系概念方案，由多种箭头符号连接的“智能感知”、“智能控制”与“智慧管理”，共同构成了信息循环传输技术体系。其中智能感知系统向“机联网”、“田联网”与“水联网”传输实时信息，如此数据的实时采集传输循环系统确保数据库生命力；智慧管理系统借助专家模型与相关数据生成“作业处方图”与调度、导航方案，直接提交智能农机控制系统执行差异化作业，同时返回实时位置、物耗与产量数据，用以避免重复、计算进程，以及制作田块产量图与效益决算等，如此设计的智慧管理与智能控制系统之间的往返循环系统，能够有效提高机械化农作效率；实时感知的农情、灾情信息，还能通过 Web GIS 加工成肥力图、农情与灾情图等可

视化产品，提交农业时空大数据云服务平台对外发布，确保区内经营者均可实时分享。今年的基肥处方图与产量图以及收获后的肥力图，借助专业模型进行叠加处理，可以产生下一轮相同作物播种期的基肥处方图，从而进入了新一轮监测、处理与控制运行循环模式。

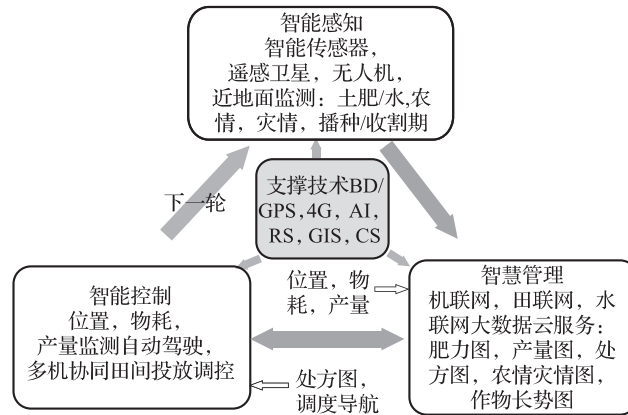


图 1 大田种植数字农业技术体系概念设计

Fig.1 The concept design of field planting digital agriculture technology system

#### 4.1 智能感知系统

指采用多种智能传感器（卫星传感器、地面传感器及无人机等），实时提供土壤温 / 湿度、作物肥力与水分、作物长势、旱涝、病虫害等基于田块或网格的空间信息。

##### (1) 土壤肥力监测

土壤肥力监测指标包括：有机质、全氮、碱解氮、速效钾、微量元素、重金属、pH 值、碳酸钙、容重、质地、剖面构成、障碍层等指标。

目前常用的采样分析技术系统，即使通过科学抽样减低采样工作量，其分析成本依然很高，小范围内可行；如果采用卫星遥感多光谱数据反演技术，易于实现大范围覆盖，但只能获取部分指标数据，且反演算法还没有得到足够精确度论证。期望高精度快速测土智能传感器系统能够尽快安装到整地 / 松地农机具上进入实际应用。

##### (2) 农田灌溉水质监测

根据农田灌溉水质标准（GB 5084—92），监测指标包括：生化需氧量（BOD5）、化学需氧量、悬浮物、阴离子、表面活性剂、水温、pH 值、全盐量、氯化物、硫化物、总汞、镉、总砷等。目前常用水质监测技术系统，依然采用实地采样、快速分析与室内详细分析相结合技术模式，急需探索并开发出新型快速高精度的水质监测传感器系统。

##### (3) 农情、灾情监测指标

农情指农作物生长过程中关键时节状态，通常包括：播种期、出苗率、分蘖数、拔节数、高度、肥力、水分、结穗数、生物量、成熟度、收割期等；灾情指农作物遭受自然灾害或病虫害范围与严重程度，通常包括：倒伏、淹没、干旱、以及病虫害类型、始

2018年8月

发时间、蔓延趋势、受害程度等。

#### (4) 农情与灾情监测技术比较

##### ① 遥感卫星监测与识别系统

卫星遥感具有高分辨率、多光谱与周期性过境特点,适宜大范围且不受过境周期影响的农情与灾情监测,识别技术已经达到应用价值,从而可以提供正确、快速、经济的农情、灾情监测识别结果<sup>[19]</sup>,可在 Web GIS 可视化技术支持下,实现农情、灾情的速报服务。

##### ② 无人机应急低空遥感系统

无人机遥感系统,同样地提供了 GPS 差分定位、多光谱低空遥感及其影像识别技术,能够快速获取农田或农作物状态分布信息。无人机遥感系统具有机动、快速、经济等优势,已经成为世界各国争相研究热点,并已进入实际应用阶段<sup>[20]</sup>。

##### ③ 近地面无线监测网络系统

农情变化迅速,灾情易于突发,拟选择“智能手机、大屏幕、Web GIS 与 4G”集成的近地面无线监测网络平台,才能实现农情、灾情视频的实时监测、分析、管理、决策与指挥。在这个自循环信息平台上,依靠众多手机 APP 实时上传农情、灾情图片、视频或音频,服务器上依靠 Web GIS 完成实时接收入库,以及自动完成图片、视频与音频的定位、计时、入库与制图等操作,并通过智能大屏幕显示主管区域内的作物图片或专题地图,管理中心专家或领导可以随机观看大屏幕显示,聆听音频,对比历史数据,快速做出分析、决策,发布指挥命令。如此灵活机动的近地面监测管理平台,一定能提高农场、或县乡相关领导机构的实时管理效率。

#### (5) 产量精准测量

精准收获既是本轮作物终止环节,又是下一轮相同作物生产过程决定投入方案的重要参数之一。因此,获取收获过程中产量分布数据,成为实施精准农业技术的重要环节之一。产量传感器系统能够提供最小空间产量数据,并实时传输到管理中心入库,并随需输出产量分布图(数字地图),再叠加土壤肥力图,基于施肥模型生成施肥处方图或播种方案图等。

#### (6) 农机运行参数

农机位置、运行轨迹,以及物耗(种子/肥料/农药/燃料)动态参数,均为管理者和农机手所关心的重要数据。管理者基于这些参数,可快速做出运输车调度决策,实时了解农机作业进程,提出下一步协同管理方案,指导农机/车辆维护工作等。

## 4.2 智能控制系统

国产农机装备系列急需提升投入品智能调控与农机运行自监测能力,才能满足现代农业的精准作业需求。通常包括 4 类控制系统,分别介绍如下。

### (1) 农机自动驾驶系统

提供全天候作业、人力辅助工作环境。主要功能有:自动感知车身姿态,获取位置信息,自动控制车辆转向,使车辆始终准确地沿预定航线行驶;导航显示器可接入摄像头及高清视频;依靠基准站和农场 RTK 提供实时精准定位控制。

### (2) 田间投放调控与监测系统

提供辅助导航与监测控制系统,既能确保农机具遇到复杂地形环境的导航精度,增加种子和肥料投放的准确性,避免重覆投放;又可依靠田间投放调控系统,确保遵照处方图控制物料实时位置应用量,完成区段变量作业,还可监测投放阻断情况。

### (3) 收获测产、测水传感器系统

谷物产量及其水分监测传感器是智能收割机上的核心装备之一,确保收获过程中的分区段谷物产量及其含水量数据实时采集,及时完成产量、水分分布图制作。

### (4) 农机运行参数感知系统

分别感知农机运行过程中的实时位置与物耗状态(种子、肥料、农药、燃料等),并实时传输到智慧管理平台,自动执行农机运行轨迹监控、进程管理等功能。

## 4.3 智慧管理平台

智能管理平台担负着 3 类任务:接收智能监测系统提供的多种实时信息,做好数据库更新维护与共享服务;依靠所建立多种专业化模型及时完成“作业处方图”,提交智能农机执行;快速完成各种农情地图、灾情地图,借助 Web GIS 云服务平台提供发布服务,让全部经营者及时分享信息资源。为此,智慧管理平台需要完成 4 项基础建设,即田联网、水联网、机联网以及农业时空大数据云服务平台。

### (1) 田联网

田联网以自然田块或相同作物田块为基础单元并构建地理坐标网格,创建 GIS 大田种植数据库,均以高精度地理坐标为定位基准,分层存储“数字农田”、“田块档案”。田联网还是农情、灾情、土壤、水情,以及农机运行动态位置、轨迹,以及产量数据等载体,从而构建了具有综合性、动态性特点的农田定位数据库,可供各种专业分析模型生成基于田块的农机作业处方图,驱动农机具实施精准播种、施肥、喷药、收获等作业。

### (2) 水联网

保持农田标准含水量视为作物产量的命脉。水联网指灌溉农区或水田区域的灌排水网络的 GIS 数据网(区分进水网与排水网),还包括闸门、控制阀、滴灌、喷灌、储水坑等设施,均以高精度地理坐标为定位基准,可根据农田含水量实时监测结果以及可能降水预报,预测合理灌水量或排水量,以指导实现精准灌排水作业。

### (3) 机联网

机联网即农机与运输车辆的运行动态监管网络,要求每辆拖拉机上安装机载 GPS 定位导航设备、自动驾驶系统与油耗传感器,才能依靠基于田联网的农机导航与位置服务平台,实时接收农机运行位置、轨迹与油耗数据,从而能有助于拖拉机与运输车辆的优化调度、实时位置与轨迹监控、作业进程监管与农机维护咨询等。农机活动区域主要在农田,从机库到农田需要农机道路支持,否则,则需运输车辆转运;运输车辆活动区域主要在仓储与农田之间,或许可承担区外运输任务。

### (4) 农业时空大数据云服务

基于 Web GIS 农业大数据云服务器平台成为数字农业系统的智慧管理核心,确保数字农业系统能够按照既定信息流模式实现可持续循环运行,如此循环运行直至本轮作物

2018年8月

全生长季结束,又可迎来下一轮作物生长季。客户端可通过手机、电脑、大屏幕随时查询或指挥者可根据需要随时发送指令。云服务平台具体执行4项任务。

- ①自动接收、处理感知信息,确保数据库生命力与共享服务效率。
- ②自动制作并发布作业处方图、农情图、灾情图、播种期与收割期等地图。
- ③自动制作并发送农机调度方案、变量作业处方图,并完成作业进程监管。
- ④自动接收农机作业动态参数,及时提供动态调度与导航方案。

## 5 现代农业信息服务机制探讨

中国正在大力推进现代农业社会化服务体系,包括农业技术推广体系,动植物疫病防控体系,农产品质量监管体系,农产品市场体系,农业信息收集和发布体系,农业金融和保险服务体系等<sup>[21]</sup>。针对北方大部分地区的大田种植业已经进入全面农机作业服务,南方大部分地区还处于小规模分散经营状态,我们应加快建设符合国情的农业信息化服务技术体系以及服务机制。

### 5.1 经销商承担农业信息服务主体责任

中国现时的土壤信息、GIS数字农田、农业管理信息系统等服务,大多采取“政府投资、专家领衔、实体分享”的模式。一方面由于投资需求超过政府能力,导致关键信息服务严重滞后;另一方面各种农资企业只管销售盈利,不承担任何风险,最终造成农民吃亏,无人问津局面。国外通行的服务机制是:“经营实体为服务对象、经销商或服务类企业承担主体服务责任、公益性服务机构协同政府做好监管与协调”。为此,我们要面向农业与农民的实际需求,建设有效的社会化服务机制,关键是调动经销商积极性,例如,种子企业提供农业技术推广与农产品质量保障责任,肥料企业提供土壤信息服务,地籍企业承担土地测绘服务,农药企业承担农药质量保障责任,金融企业承担农村金融服务,综合性大型农企提供农业信息化服务平台等。

### 5.2 政府监管协调是关键

各级党政机关历来发挥着领导与监管农业生产的重大责任。然而,进入了市场经济时期所兴办的大量专业性种子、肥料、农药、燃料等农资企业,本应了解当地土壤与作物类型特性,推选符合当地自然特性的优良品种,销售最佳肥料与农药,承担党政机关的监管责任。然而,许多农资企业常以盈利为目标,并没有承担起农资质量的监管责任,导致假冒伪劣产品进入局部地区市场,带给农民极大伤害。

在实施政府监管责任时,应充分发挥已有的农业技术推广中心潜力,建设以农机服务为中心的综合性服务机制,发挥组织、策划、协调与监管作用,一方面协同农业资料企业(农机、种子、肥料、农药、水管理、燃料等)共同做好综合服务与监管工作;另一方面,协同政府主管机构联合创建近地面网络监管服务平台,由智能手机、管理中心大屏幕与服务器构建硬件环境,配备网络GIS提供建库、处理与发布服务。平台运行时,组织乡村信息员、科技特派员、村干部或有经验农民,使用智能手机APP,随时上传图片、视频与音频信息;中心服务器可实时接收手机发来的图片、视频或音频,并完成定

位、计时、入库以及处理、制图、大屏幕显示等。常驻专家或主管干部随时观看大屏幕，及时做出分析与判断，从而可确保农情、灾情监管不误农时，体现出政府监管下的社会化服务体系的强大力量。

## 6 结论与展望

基于综合分析国内外数字农业技术体系与信息服务机制，提出了未来大田种植数字农业信息流循环体系与配套技术体系，其核心内容如下。

(1) 创新构建土壤肥力、谷物产量、实时农情等精准信息智能感知系统。

(2) 创新开发农机(具)智能控制装备体系。

(3) 创新构建“机联网、田联网、水联网与智能决策模型”支持的智慧管理平台。

(4) 创新构建基于 Web GIS 时空大数据云服务平台，实时发布农情灾情信息(包括农情图、灾情图、肥力图、产量图与处方图)，提供差异化、个性化、精细化与实时性的信息服务。

展望未来，由智能感知、智能控制与智慧管理构建的数字农业技术体系，伴随社会化农业信息服务机制保障，必将展示出中国特色数字农业技术体系的美好前景。

### 参考文献

- [1] 彭金山. 农耕文化的内涵及对现代农业之意义. 西北民族研究, 2011, 68(1): 145~150.
- [2] 张新民. 中国农业信息化发展的现状与前景展望. 农业经济, 2011(8): 35~37.
- [3] 梁启章. 农业专家决策支持系统. 中国科学技术出版社, 2000.
- [4] 白美健, 刘群昌, 姜培福等. 高标准农田水利工程建设现状与思考. 农村水利, 2012(23): 56~59.
- [5] 纪瑞鹏, 陈鹏狮, 冯锐. 农业气候资源综合评价方法研究. 自然资源学报, 2010, 25(1): 121~129.
- [6] 农业部发展计划司. 农业部办公厅关于印发农业生物资源保护工程项目储备指南, 2011.
- [7] 国家工商行政管理总局. 农业生产资料市场监督管理办法, 2009.
- [8] 王平, 史培军. 中国农业自然灾害综合区划方案. 自然灾害学报, 2000, 9(4): 16~26.
- [9] 李翠芹, 白娟. 大田作物田间管理技术应用研究. 中国农业信息, 2016(4): 46~47.
- [10] 杨邦杰. 农情遥感监测. 中国农业出版社, 2005.
- [11] 孙艳梅, 陈殿元, 范文忠等. 大田作物病虫害防治图谱水稻. 吉林出版社, 1970.
- [12] 吴才聪. 美国精准农业技术应用概况及北斗农业应用思考. 卫星应用, 2015(6): 14~18.
- [13] 中国卫星导航定位协会. 《卫星导航定位与北斗系统应用》. 测绘出版社, 2012.
- [14] 吴小伟, 史志中, 王工. 农机自动驾驶导航系统研究概况. 探索实践, 2016.
- [15] 郭鸿鹏, 冯甘雨. 农机作业监控与优化调度系统结构设计 - 基于北斗卫星导航系统(BDS). 农机化研究, 2014, 2(2): 188~192.
- [16] 谢玉兵, 王昌瀚, 蒋明富. 区域北斗地基增强系统动态服务精度分析. 地理空间信息, 2016, 14(11): 12~29.
- [17] 梁启章, 齐清文, 梁迅. 双山基地精准农业“可视化”初步实践与展望. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 205~210.
- [18] 姜莉莉, 齐清文, 张岸. 基于网络的精准农业数据库及示范应用. 地球科学信息学报, 2011, 13(6): 804~810.
- [19] 蒙继华, 吴炳方, 李强子. 农田农情参数遥感监测进展及应用展望. 遥感信息, 2010, 3: 134~140.
- [20] 洪宇, 龚建华, 胡社荣. 无人机遥感影像获取及后续处理探讨. 遥感技术与应用, 2008, 23(4): 462~464.
- [21] 国务院关于加强农业社会化服务体系建设的通知, 1991.

## Field planting digital agriculture information flow and technology system

Liang Qizhang, Qi Qingwen<sup>\*</sup>, Zhang An, Jiang Lili

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS/State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Beijing 100081, China)

**Abstract:** [ **Purpose** ] In accordance with the general plan of pilot digital agriculture construction released by the state council ( 2017—2020 ), the construction of digital agriculture for field crops needs to use high and new technology, including 4G, 3S, Iot, and AI.It further needs to design new digital agriculture information flow model and to develop intelligent monitoring and control system for the agricultural production processing management. [ **Method** ] The paper firstly reviewed the status of precision agriculture development in China and oversea, analyzed the digital agricultural information flow and its relevant technical system. Then different information flow management models are proposed according to the differences in the data sources and temporal characteristics. [ **Results/conclusion** ] Regarding the status of intensive and semi-intensive management, a smart management system can not only regularly release the crop growth map, soil fertility map, crop yield map, and management solution map to meet the requirements of information from discrete mobile phone users, but also can control the agricultural machines remotely, including sending/receiving navigation management solution map.It will satisfy the requirement of management solution, and timely receive the location and material consumption of agricultural machines, it will also be able to provide dispatching navigation and process management services, which would finally improve the working efficiency of agricultural machines.Since the adoption of the “informationization prompted modernization” model by the Chinese government in 1996, the internet has been popularized in rural area, and the users of wireless have been increased markedly.The BEIDOU system is able to provide accurate location and time information, which have been widely used in the agricultural machinery automatic driving and precision navigation system.The sensors for soil, crop and yield monitoring have been qualified, which provide supports for the development of digital agricultural technological system in terms of basic techniques and equipment.Such systems are expected to be used for localization applications.

**Key words:** digital agriculture; precision agriculture; wisdom agricultural; information flow; technology system