◆产业赋能与业态融合◆

基于产量地图和土壤地图的变量施肥技术

袁勇富

（北京大蚯蚓数字科技有限公司，北京 100102）

［摘　要］数字农业是指在地理空间和信息技术支撑下的集约化和信息化的农业技术，主要包括产量地图、土壤地图和变量施肥等，基于产量地图和土壤地图的变量施肥技术在提高肥料利用率、减少环境污染和增加粮食产量等方面具有重要作用。通过介绍产量地图、土壤地图与变量施肥技术的作用、实现方案及应用，探讨数字技术如何为农业产业赋能以提高农业生产效率和资源利用效率。展望变量施肥的发展方向：将朝着智能化和自动化、低成本和高性能系统、农机农艺结合、数字农业和精准农业融合的方向发展。

［关键词］数字农业；产业赋能；产量地图；土壤地图；变量施肥

［中图分类号］S127　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2024）10-0073-05

Variable fertilization technology based on yield map and soil map

YUAN Yongfu

（*Beijing Big Earthworm Digital Technology Co., Ltd., Beijing* 100102, *China*）

Abstract: Digital agriculture refers to intensive and information-based agricultural technology supported by geographic space and information technology, mainly including yield map, soil map and variable fertilization. Variable fertilization technology based on yield map and soil map plays an important role in improving fertilizer utilization efficiency, reducing environmental pollution and increasing grain yield. By introducing the roles, implementation plans and applications of yield maps, soil maps and variable fertilization techniques, how digital technology can empower the agricultural industry to improve agricultural production efficiency and resource utilization efficiency is explored. Looking forward to the development direction of variable fertilization: It will move towards intelligence and automation, low-cost and high-performance systems, the integration of agricultural machinery and agronomy, and the fusion of digital agriculture and precision agriculture.

Key words: digital agriculture; industrial empowerment; yield map; soil map; variable fertilization

数字农业是1997年由美国科学院、工程院两院院士正式提出，指在地理空间和信息技术支撑下的集约化和信息化的农业技术。数字农业是将遥感系统、地理信息系统、全球定位系统、计算机技术、通信和网络技术、自动化技术等高新技术与地理学、农学、生态学、植物生理学、土壤学等基础学科有机地结合起来，实现在农业生产过程中对农作物、土壤从宏观到微观的实时监测，以实现对农作物生长、发育状况、病虫害、水肥状况以及相应的环境进行定期信息获取，生成动态空间信息系统，对农业生产中的现象、过程进行模拟，达到合理利用农业资源、降低生产成本、改善生态环境、提高农作物产品和质量的目的[1]。

随着信息技术的进步，尤其是物联网、大数据和人工智能等新一代技术的应用，数字农业逐渐成为现代农业的重要发展方向[2]。

美国农业部调研报告表明，产量地图、土壤地图、变量施肥、遥感等农田数字化和可变量操作技术的应用给农业生产带来了巨大的提升，分别提升农作物产量23%、21%、15%、16%。我们可以理解为：数字农业的核心是基于土壤地图和产量地图的变量作业。

数字农业技术，包括产量地图、土壤地图和变量施肥等，是现代农业发展的重要组成部分。这些技术通过收集和分析土壤和作物生长数据，为农业生产提供精准的决策支持。

［收稿日期］2024-08-15

［作者简介］袁勇富（1975-），男，湖南隆回人，经济师，公司总经理，从事智慧农业与智能农机商业化应用与推广工作。
E-mail：yyuanyongfu@163.com

根据美国农业部公布的不同农作物采用核心数字农业与未采用时的产量差异数据[3]，对于大多数农作物，采用核心数字农业技术通常会带来更高的产量。例如，玉米、冬小麦、大豆、棉花和高粱在采用核心数字农业技术后产量普遍高于未采用核心数字农业技术的产量。

具体到每种技术，产量地图、土壤地图、变量播种、变量施肥、变量喷药、导航和遥感技术都可能对提高作物的产量有贡献。这些技术通过更精确地管理农作物生长条件，比如土壤肥力、播种密度、施肥量、病虫害控制和农作物定位，来提高农作物的产量和质量。通过采用这些技术，农民可以更有效管理他们的农田，从而提高农作物的产量和经济效益。

1 产量地图技术

1.1 产量地图的作用

产量地图是一种用于描述不同地区或国家农作物产量情况的统计图表，它可以直观地展示不同地区农作物产量的差异和分布特点，通常采用点密度专题图的形式。

产量地图的作用主要有以下几方面。

（1）管理农业生产：大比例尺的农业地图可以用于管理农业生产，实施和规划农田基本建设、资源调查和开垦荒地等。

（2）科学研究和教学：中小比例尺的农业地图适用于科学研究、教学和一般参考。

（3）提供决策支持：通过展示不同地区的农作物产量分布，产量地图可以帮助政府和相关部门制定农业政策和规划，优化资源配置。

（4）提供数据支持：产量地图不仅能够直观展示不同地区的农作物产量情况，还能为农业生产管理和科学研究提供重要的数据支持。

1.2 产量地图的实现方案

产量地图的实现主要依赖于测产系统。测产系统方案主要在收割机中应用，通过改装收割机使其具备智能测产功能，开展大规模测产服务。测产系统技术优势在于：能够实时监测谷物的水含量，及时校正质量信息；采用先进的算法和传感器，确保测产数据的高精度；系统设计考虑了农业机械的工作环境，保证了在各种条件下的稳定性和可靠性。

两种不同粮食产量检测方法（冲量法和光学称重法）的比较见表1。由表1可以看出，两种方法各有优势和局限性。冲量法和光学称重法都需要复杂的校准过程，但都能提供准确的测量结果。冲量法通常安装在升粮仓顶部，而光学称重法则安装在升粮仓两侧。在选择适合的产量检测方法时，需要考虑安装机型、安装位置、校准的便利性以及测量的准确性。

表1 粮食产量检测方法

Table 1 Grain yield detection methods

	冲量法	光学称重法
以往安装机型	Ag Leader，John Deere	CLAAS,RDS/Loup,Raven,Ag Leader
检测方法	流量检测法	光学对刮板计数，换算体积，或对刮板粮食称重
安装位置	升粮仓顶部	升粮仓两侧
校准	多点进行校准	可以使用1点或者多点进行校准

1） 光学称重法在水稻收割机中的应用方案

图1显示的是光学称重法在水稻收割机中的应用，这是一种利用光学传感器来测量水稻质量的技术。这种方法通常用于精确测量收割过程中的产量，采用光学称重法，通过光学对刮板计数、换算体积或对刮板粮食称量来实现测产。



图1 光学称重法在水稻收割机中的应用

Fig. 1 Application of optical weighing method in rice harvester

具体方法是：将光学传感器安装在收割机的特定位置，如谷物升运器或脱粒室附近。这些传感器能够实时监测通过的谷物流。传感器通过发射和接收光线来测量谷物的体积和密度。当谷物通过传感器时，会阻断光线，传感器根据光线的阻断程度来计算谷物的体积。通过测量得到的谷物体积数据，结合已知的谷物密度，可以计算出谷物的质量。这一过程通常由内置的计算模块自动完成。

收割机的操作员可以通过终端显示屏实时查看产量数据，这有助于及时调整收割机的工作参数，以提高收割效率。光学称重系统通常具备数据记录功能，可以将收割过程中的产量数据记录下来，以便于后续的数据分析。

湿度传感控制器采用原装进口美国Ag Leader，

安装于升粮仓两侧，实时监测收获谷物的水含量，用于校正谷物的质量信息，性能稳定。

该方案采用天宝算法，内置陀螺仪，精度高，性能稳定，质量可靠。作用：通过检测割台高度，判断是否处于有效收割状态，自动开始或停止产量记录。

2）冲量法在水稻收割机中的应用方案

采用基于动力学原理的测量方法来估算农作物的质量。冲量传感器系统由两个主要部分组成：传感测量单元和采集信号处理单元。

传感器主要安装在收割机内部粮仓入口处，这是收割机收集农作物并进行初步处理的地方，可以确保传感器能够准确测量进入粮仓的农作物质量。

传感器的升级是为了提高测量的准确性和可靠性，和适应特定的农作物类型和收割条件。冲量传感器通常能够提供更精确的测量结果，尤其是在高速度和高产量的农业作业中。通过升级传感器，收割机的操作员可以更准确地监控农作物的收获量，从而优化作业效率和农作物管理。

2　土壤地图技术

2.1　土壤地图的作用

土壤地图是一种基于遥感、GIS技术和土壤数据模型等的创新工具，通过对土壤质地、养分含量、酸碱度等关键指标进行详细分析和测绘，将不同区域的土壤类型、性质和特征可视化呈现在地图上。这项技术结合了先进的数据处理和空间分析技术，可为农业生产提供精准决策的依据，作用主要有以下几方面。

（1）规划与指导农业生产：土壤地图在规划和指导农业生产中具有重要作用，通过了解土壤类型及其特性，可以合理选择农业用地，制定科学的种植方案，从而提高农作物产量和质量。

（2）土地资源评价：土壤地图能够帮助评估土地资源的潜力和限制条件，为土地管理和开发提供依据。例如，在水土保持、风沙防治、旱涝及盐碱治理等方面，土壤地图提供了重要的参考信息。

（3）环境管理与保护：土壤地图有助于识别土壤侵蚀、污染和其他环境问题，并制定相应的治理措施。例如，通过分析土壤侵蚀程度和地形特征，可以采取有效的水土保持措施。

（4）科学研究与数据支持：土壤地图为研究人员提供了丰富的土壤数据，支持各种土壤学研究。例如，基于土壤水分和养分含量的综合分析可以帮助确定不同区域的土壤肥力状况，并提出改进建议。

（5）基础设施规划：土壤地图还可以用于道路、建筑物等设施的选址和规划。例如，某些土壤类型可能不适合建设或需要特别的工程处理。

（6）政策制定与决策支持：土壤地图是政府和决策者制定相关政策的重要工具。例如，德国《土壤保护法》就利用了土壤功能和危害评估的地图来指导环境保护和规划工作。

2.2　土壤地图的实现方案

图2显示了一套完整的耕地监测和分析流程，从卫星和航空遥感数据的获取、处理到土壤属性分析，再到实地调查和评价，涵盖了耕地监测的多个关键环节。这些技术可以帮助农业管理者和研究人

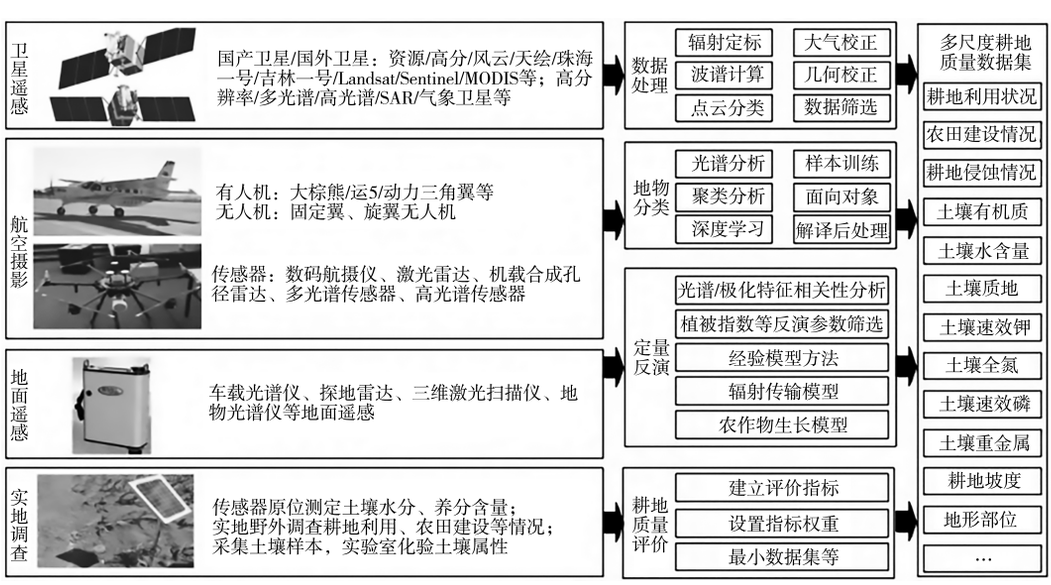

图2　土壤地图技术路线[4]

Fig. 2　Technical roadmap for soil map

员更好地理解和管理耕地资源。

3 变量施肥技术

3.1 变量施肥的作用

变量施肥是一种根据农田不同区域的土壤特性、农作物生长情况以及环境因素等因素来调整施肥量和施肥方式的农业技术。其核心思想是通过实时监测和分析农田数据，实现精准施肥，从而提高肥料利用率，减少环境污染。其作用主要有以下几方面。

（1）提高肥料利用率：通过实施按需变量施入，能够有效提高肥料的利用率，减少肥料浪费。

（2）减少环境污染：合理控制化肥用量，避免过量施肥导致的土壤污染和水体富营养化问题。

（3）增加农作物产量：在合理控制化肥用量的情况下，变量施肥可以在一定程度上增加农作物产量。

（4）促进可持续发展：通过减少不合理施肥造成的生态环境破坏，实现农业生产的可持续发展。

3.2 变量施肥技术的实现方案

从基础数据的收集（品种、目标产量、土壤检测数据等）开始，通过分析土壤的养分状况和历史产量数据，确定产量限制性因素，计算出基于土壤养分状况和农作物需求的最低施肥量，利用地形地势和气象数据，调整基础基肥用量，生成定制化的施肥处方图。

这些技术路线和处方图可以帮助农民更精确地施用氮肥，提高肥料利用率，减少环境污染，同时提高农作物产量。变量施肥的技术路线见图3。

变量施肥的未来发展趋势是多种肥料（氮磷钾）同时变量施肥。目前，在美国变量施肥机已经发展非常成熟，多由传统的施肥机具加装电子控制系统而成，目前以一种肥料的施散为主，正在向多种肥料同时变量施散转变。已经商品化的有John Deere公司的变量撒肥机、Case公司的Flexi-Coil变量施肥播种系统等。

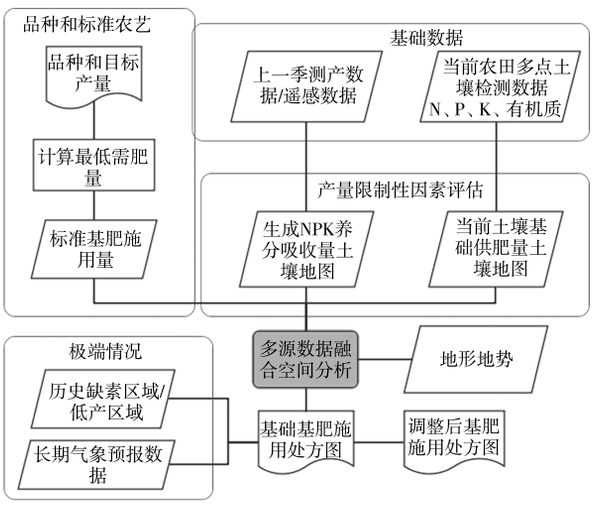

图3 水稻氮肥底肥施用的基本技术路线

Fig. 3 Basic technical route for applying bottom nitrogen fertilizer to rice

随着技术不断进步，测产系统将更加智能化，能够提供更多维度的数据分析。系统有望与更多的农业机械和信息技术结合，为智慧农业提供更全面的解决方案。

4 基于产量地图、土壤地图的变量施肥技术应用

北京大蚯蚓数字科技有限公司（简称大蚯蚓数字科技）是致力于推动中国农业智慧化和可持续发展的高科技公司，拥有农业IoT体系、农业检测数据分析体系、农业大数据平台体系及变量作业处方图和执行能力四大核心技术（见图4）。

2024年2月，大蚯蚓数字科技在安阳内黄县打

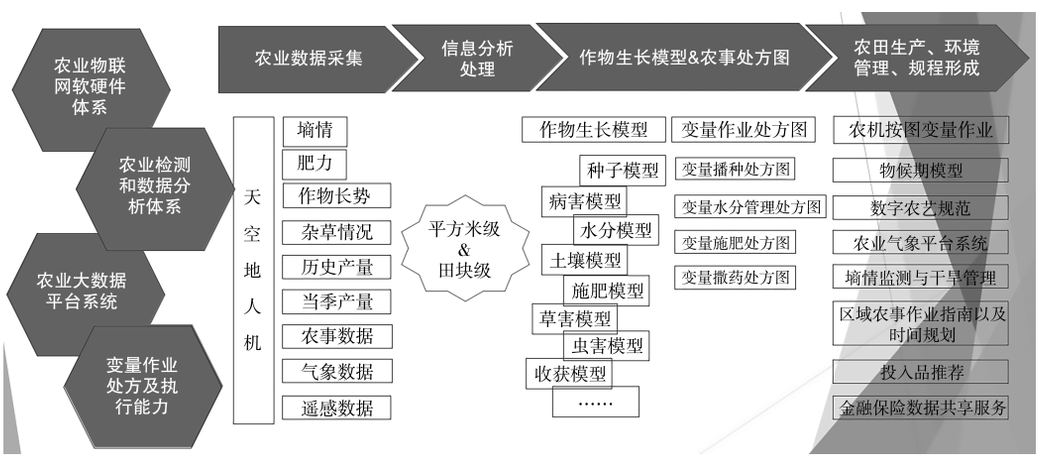

图4 大蚯蚓数字科技核心技术体系

Fig. 4 Core technology system of Beijing Big Earthworm Digital Technology Co., Ltd.

造数字玉米/数字小麦智慧农业与数字农服区域中心基地。任务目标是在20 hm^2高标准农田上，集成小麦/玉米数字技术和产业资源进行生产，建设智慧农业产业示范基地与数字农服区域中心，主要进行数字农业田间试验和数字农业方案。

数字农业田间试验：播种深度试验、不同肥料方案田间试验、不同杂草处理方案田间试验、品种田间试验、不同播种密度田间试验、精准水分管理对照试验、全程机械化走直线与不走直线对比试验、平方米级变量施肥对比试验、平方米级变量喷药对比试验。

数字农业方案：土壤地图、气候模型与对应作物模型构建、数字选种、地块级精准决策（数字精准水分管理、种植密度管理、播种深度管理）、平方米级精准决策管理（平方米级基肥管理、平方米级农药管理、产量地图等）、数字巡田系统管理、基于数字技术的农机农艺融合管理（全程机械走直线管理、基于数字农田的作业轨迹管理）。

2024年麦收前，在内黄县为当地农机合作社提供6台收割机智能测产传感器改装，利用合作社改装后的收割机开展了大规模测产服务，机收测产面积超133 hm^2，绘制产量地图。

依据2024年7月内黄项目播种玉米后土壤地图呈现的氮磷钾分布情况，结合玉米长势，对不同地块进行了变量追肥作业，在玉米收获前再次获取土壤地图，显示土壤中氮磷钾含量趋于平衡。新一期的土壤地图可以为2024年冬小麦种植底肥施用提供科学依据。

5　总结

变量施肥技术利用GPS、遥感等技术，根据农作物和土壤的实际情况，调整施肥量和施肥位置，实现精准施肥。这种技术不仅能提高化肥利用率，还能减少环境污染和降低生产成本。国外在这一领域的研究起步较早，尤其是北美地区已经形成了较为成熟的体系。未来，变量施肥技术将继续朝着智能化、自动化方向发展，相关机械将朝着大型化、信息化、自动化及智能化方向发展。

未来，变量施肥将朝着智能化和自动化、低成本和高性能系统、农机农艺结合、数字农业和精准农业融合的方向发展。智能化和自动化：未来变量施肥技术将朝着更加智能化和自动化的方向发展。通过引入先进的传感器和控制系统，实现更精准的施肥操作，减少人工干预，提高施肥效率。低成本和高性能系统：尽管目前国外的成型系统性能优良，但其总体造价昂贵。未来的研究将致力于开发低成本且高性能的变量施肥系统，以推广到更广泛的农业生产中。农机农艺结合：未来的发展还将注重农机与农艺的结合，通过科学的养分管理技术，进一步提高变量施肥效果，促进农业可持续发展。数字农业和精准农业的融合：随着数字农业技术的发展，变量施肥技术将与大数据、物联网等技术深度融合，形成更加全面和高效的精准农业解决方案。

总的来说，基于产量地图和土壤地图的变量施肥技术在提高肥料利用率、减少环境污染和增加粮食产量等方面具有重要作用。

［参考文献］

［1］ 李珊，李淑霞，姜斌，等.北大荒集团“数智”引擎助推高质量发展［N］.黑龙江日报，2024-09-11(006).
LI S，LI S X，JIANG B，et al. Beidahuang Group’s “Digital Intelligence” engine promotes high quality development［N］. Heilongjiang Daily，2024-09-11(006).

［2］ 朱小栋，李浪.数字农业对农业生产效率的影响——基于省级面板数据的实证分析［J］.决策咨询，2024(4)：50-55.
ZHU X D，LI L. The impact of digital agriculture on agricultural production efficiency—Empirical analysis based on provincial panel data［J］. Decision Consulting，2024(4)：50-55.

［3］ MCFADDEN J，NJUKI E，GRIFFIN T. USD_Precision Agriculture in the Digital Era Recent Adoption on U.S. Farms［R］.［S.l.］：Economic Research Service US Department of Agriculture，2023.

［4］ 姜芸，王军，杨继文.基于遥感技术的黑土区耕地质量评价指标体系研究进展分析［J］.测绘工程，2023，32(1)：1-7.
JIANG Y，WANG J，YANG J W. Research progress analysis of black soil region cultivated land quality evaluation index by remote sensing［J］. Engineering of Surveying and Mapping，2023，32(1)：1-7.