

数字果园研究进展与发展方向*

周国民, 丘 耘, 樊景超, 郭秀明, 胡 林, 吴定锋

(中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要: 数字果园是信息技术在果业中由单项应用走向综合应用的必然体现, 是综合应用数字化技术研究果园生产、管理、经营、流通、服务中的信息获取、处理、管理和利用的关键技术及应用系统。**【目的】** 果业在我国农村经济发展中占有重要的地位, 但果园生产管理总体水平与国际先进国家相差较大, 尤其是果园数字化、信息化和智能化管理技术差距更大, 因此需要系统总结数字果园研究方面取得的进展, 进一步明确未来的发展方向, 为发展信息化和智能化果园提供科技支撑。**【方法】** 通过文献调研和结合相关科研实践, 综述近年来数字果园技术及应用系统的研究现状。**【结果/讨论】** 果园信息获取、果树生长管理模型、果园数字化管理平台等方面的研究已取得显著进展。数字果园技术发展趋势是信息化、网络化和智能化。数字果园技术的应用将会: 提高果园精准化生产管理水平、提升果品质量和市场营销水平、提高政府对果园生产监管和服务水平。

关键词: 数字果园; 研究进展; 发展方向

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180102

0 引言

数字农业是用数字化信息技术, 对农业所涉及的对象和全过程进行数字化表达、设计、控制和管理。数字果园是数字农业概念在果园生产管理中的具体实践和深化, 是现代信息技术和果树栽培管理学科交叉产生的新的研究方向, 即综合应用数字化技术, 研究果园生产、管理、经营、流通、服务中的信息获取、处理、管理和利用的关键技术及应用系统^[1]。从数字果园的定义可以看出, 数字果园是把果园的生产、管理和经营等看成一个有机联系的系统, 把数字技术综合、全面、系统地应用到果园生产经营系统的各个环节, 促进和提高果园管理水平, 并使得果园生产经营系统按照人类需求的目标和方向发展。

我国果园面积和水果产量均居世界第一, 果树产业在很多地区是农民增收的支柱产业, 在我国农村经济发展中占有重要的地位^[2]。但我国果园管理和果树生产总体水平与国际先进国家相差比较大, 尤其是果园数字化、信息化和智能化管理技术差距更大。因

收稿日期: 2018-01-15

第一作者简介: 周国民(1969—), 男, 汉族, 江苏建湖人, 博士、研究员。研究方向: 果园信息化技术。Email: zhouguomin@caas.cn

*基金项目: 国家“863”课题“基于模型的果园与油菜作物生产数字化管理平台”(2013AA102405); 中国农业科学院创新工程(CAAS-ASTIP-2017-AII-03)

2018年2月

此, 依托数字技术, 构建现代果树栽培技术体系, 发展信息化和智能化果园, 对我国果树产业供给侧结构性改革具有重要的现实意义, 是加速缩短与发达国家差距、提高果树产业国际竞争力的迫切需要。

近年来, 国内不少科研单位和大学积极开展数字果园研究, 并取得了初步研究成果。北京农业信息技术中心实现了苹果树形态结构建模与仿真^[3]。山东农业大学和西北农林大学在果树生长与栽培管理模型方面取得不少研究进展^[4-7]。中国农业科学院柑橘研究所利用红外光谱和数字图像技术开展水果成熟期预测和柑橘估产^[8]。中国农业科学院郑州果树研究所研发了柑橘信息化精准管理系统, 实现了对高温、冻害、干旱的实时预警和水肥系统的远程管理、智能决策和自动控制。中国农业大学在果园采摘等作业机器人研制方面取得积极进展^[9]。围绕数字果园的关键技术与应用系统, 中国农业科学院农业信息研究所组织开展了较为系统的研究, 在果园环境和果树生长信息获取、果树生长模型、果园数字化管理平台等方面取得了显著的研究进展。基于此, 文章重点梳理和总结数字果园最新进展, 并对数字果园的发展趋势进行展望。

1 数字果园研究进展

1.1 果园环境和果树生长信息获取

果园环境和果树生长数据采集是进行果园数字化管理的基础。果园气候环境因子方面, 大气、温度、光照、水分等气候因子与果树生产有密切的关系。果园土壤环境因子方面, 土壤有机质含量是评价果园土壤肥力的重要指标, 土壤水分是果树吸收水分的主要来源, 土壤水分含量影响着果树的产量和品质, 土壤中重金属含量影响着果品安全。果园地形环境因子方面, 果园的地形起伏、海拔、山脉、坡度、坡向、高度等地貌特征也在一定程度上影响果树生长。在果树生长信息方面, 果树长势、果树枝型、萌芽日期、开花日期、结果日期、枝果比例、花果比例等指标是果树生长状态的重要表征。另外果园的病虫害信息的获取与预测预报也是果园管理的重要方面。

在果园环境参数感知及智能化管控方面进展较快, 已基本实现果园温度、湿度、光照、水分等环境参数的实时监测, 国内外也有很多成熟的产品可供生产选择。但是, 存在的问题是针对类型丰富的果园小气候数据, 以及不同树种在不同生态区域其生长所需的最佳环境参数数据的积累不够; 用于果园的低成本和高可靠的传感器还不多^[10]。

针对果园生产管理需求, 有学者提出了基于可变采集指标项的果树生长和果园环境信息的采集数据表示标准^[11], 为多地多点采集数据的一体化管理提供了支撑, 可为上层应用程序提供一致的、机器可读的数据接口。在果园中主要环境参数时空分布特性研究^[12]和2.4GHz无线信号果园传播特性研究^[13]的基础上, 形成了如图1的“果园环境—生长过程—作业过程—果园管理”全链条的数字化采集技术体系^[14-15]。研制的果园信息采集设备套件实现了果园环境信息(空气温湿度、降雨量、光强、CO₂、土壤水分、土壤温度)、果园虫害信息、单树产量信息、果农作业信息、投入品等信息的数字化采集和实时传输, 为果园数字化管理奠定了数据基础。

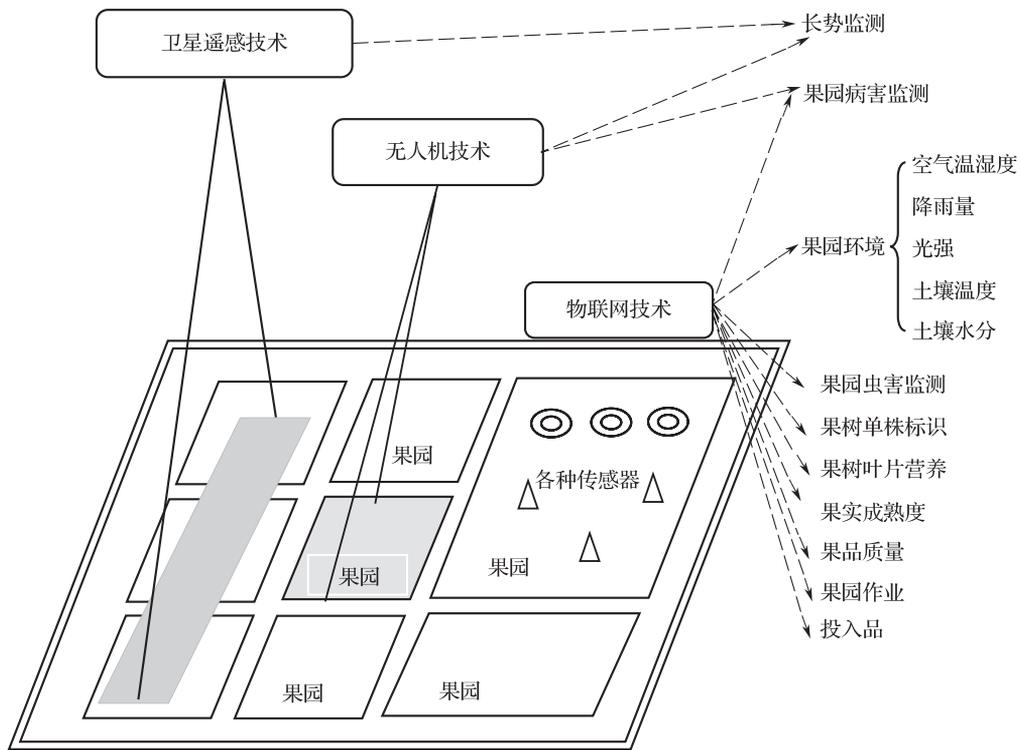


图 1 果园信息采集技术体系图

Fig.1 Orchard information collection technology system diagram

1.2 果树生长模型

利用计算机来辅助果园精准管理，模型是核心。在果树生产管理模型的研究工作有 3 个方面：一是以整个果园为目标的群体参数研究，通过研究不同栽植密度、不同的树形构建、不同营养水平以及不同生长阶段的果园其群体光利用率、生产效率、果实品质情况等相关参数进行测定，甚至考虑果品市场价格等参数，进而通过建模分析，提出果园最佳群体参数。二是以单株果树为目标的个体参数研究，主要研究其树形构建、光利用率、冠层分布、枝条组成、果实分布及果实品质等相关参数，通过建模分析提出单株果树管理指标。三是以果实为研究对象，通过果实生长过程监测，研究果实生长发育与其周边微环境因子、营养供给等因素之间的关系，构建单株生长模拟模型，从而以果实的需求来确定树体管理指标^[16-17]。

基于模型的果园生产管理，一般是把管理对象果树当成一个系统（图 2），模型被看成对系统某一个方面运行规律的客观描述，从系统中获取模型所需要的系统运行状态数据，然后模型开始运算，最后根据模型运算的结果来对目标系统进行控制，使得目标系统按照特定的方向向前发展。在这个基于模型的控制过程中，控制的效果完全依赖于模型是否对系统的运行规律进行了准确的描述，同时也隐含地认为，可以使用精确的建模手段来准确刻画系统运行规律。

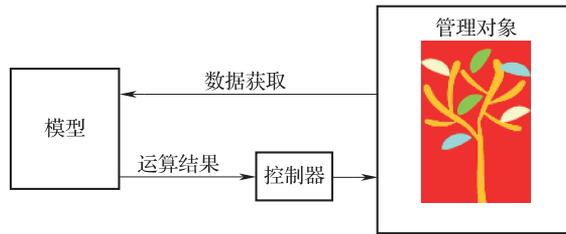


图2 基于模型的果树管理方法示意图

Fig.2 Schematic diagram of fruit tree management based model

但是，果树系统是一个时刻处于动态变化中的复杂系统，基本不存在精确完备的整体解析模型。首先，基于解析模型的最优解与假设条件直接相关，往往具有较强的条件敏感性。而对于复杂系统问题，假设条件与实际情况存在着差别，从而使假设与实际状况“失之毫厘，差之千里”。其次，解决复杂系统问题一般不存在单一的优化指标，而多层次多目标优化指标往往造成多个甚至无数个解决方案。因此，针对果树复杂系统的特性，借鉴平行管理理论^[19]，作者提出了一种果树栽培管理模型框架（图3），主要包括实际果树系统和虚拟果树系统，通过二者之间的行为进行对比和分析，完成对各自未来状况的“借鉴”和“预估”，相应地调节各自的管理与控制方式，达到实施有效解决方案以及学习和培训的目的。

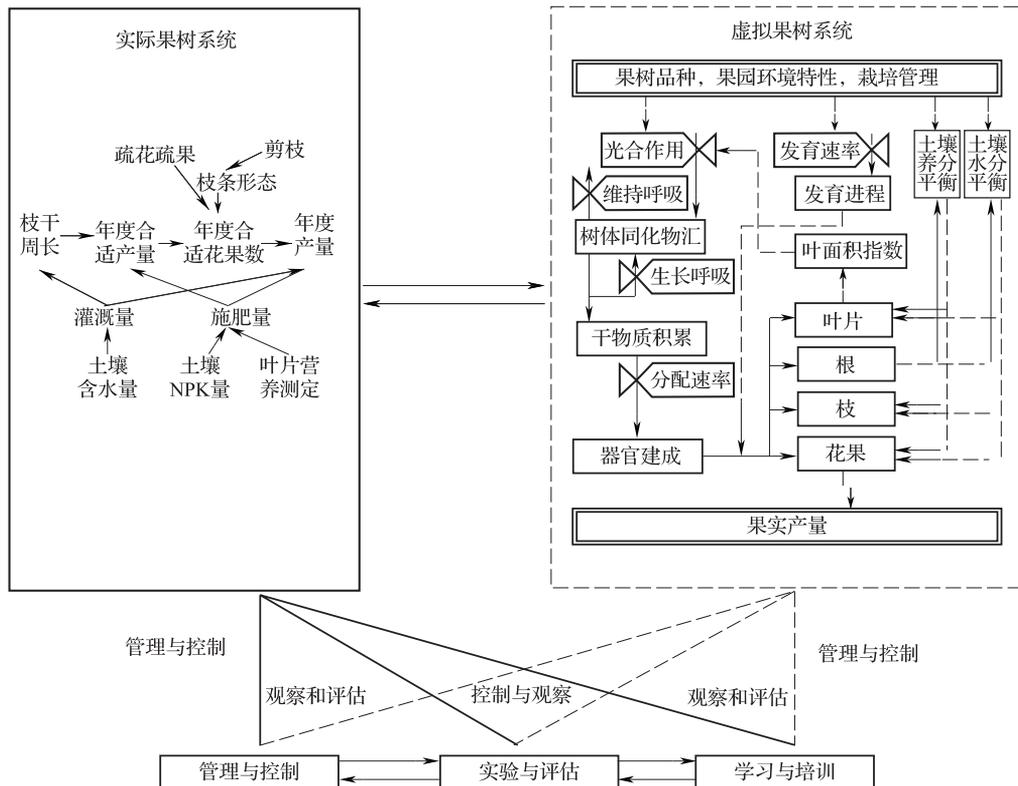


图3 果树管理模型框架

Fig.3 The framework of fruit tree management model

1.3 果园数字化管理平台

针对国内果园数字化管理的需求，以果品生产和管理为核心，提出了“果园码、地块码、作业码、投入品码、商品码”五码互联的果园生产管理综合编码体系，研制了果园数字化管理平台，具有果园监控、果园生产过程管理、专家远程诊断与服务、果品库存和溯源管理等功能，实现了果品全产业链数字化管理。该平台采用云计算模式和云化系统架构，以生长管理模型为核心，数字化为基础，将果园环境、果树生长、果园生产、专家指导、政府监管等有机联系在一起，通过数据挖掘和模型分析，服务于果园主、专家、政府等不同主体，实现了果园的是数字化和网络化管理。

3 数字果园发展方向

伴随着现代信息技术的飞速发展，数字果园技术必将取得巨大进展，且呈现出信息化、网络化、智能化、机械化的发展趋势，并将使果园在生产方式和观念上产生革命性的变化^[18]。

在果园环境信息和果树养分与生理信息感知方面，将会综合运用图像处理 and 光谱分析等手段，实现果园土壤水分、养分、pH、质地、病虫草害等指标的实时快速监测，果树生长过程中的光照、水势、叶部形态、叶密度、果实大小、果实空间分布、产量等指标将被数字化采集和动态感知。

在主要果树形态结构模型构建与果园智能管理方面，将会融合园艺学、生态学、生理学、计算机图形学等多学科，以果树器官、个体或群体为研究对象，构建出主要果树 4D 形态结构模型，实现对果树及其生长环境进行三维形态的交互设计、几何重建和生长发育过程的可视化表达。通过数字果园技术的智能化发展，将突破果树栽培与管理专家知识的采集、存贮和推理技术，专家系统与模拟模型研究相结合，专家系统与实时信号采集处理系统甚至技术经济评估系统相结合，专家系统与精准农机具相结合，智能应用系统的产品化水平将有质的飞跃。智能应用系统将具有良好的人机交互接口，一般果农无需专门培训就能操作自如。

在果园精准作业与智能机械装备方面，果园机械精准导航和控制技术、作业决策模型与作业方案实时生成技术等会得到应用，智能化果园装备将实现果树栽植、树体管理、花果管理、肥水管理、病虫害防控等生产环节的机械化、智能化和机器人化。不但减轻劳动强度，而且又能抢农时，为果树生长发育创造良好条件，促进果品优质高产。

在果园数字化管理平台方面，将会通过数字果园技术的网络化发展，从根本上打破时空障碍，变革果品经营与流通模式，缩短果品从园地到餐桌的流通环节，促进产品价格、数量、质量等市场信息的快速传递，消除生产者和消费者之间的信息不对等，进入以消费者为中心的果品生产定制时代。果农足不出户，就能方便地找到生产信息和市场信息，也能与专家或者同行学习和交流果树栽培技术。

总之，数字果园技术的研究与应用方兴未艾，给我国果业发展带来难得的机遇，并

2018年2月

促进果业生产与管理发生革命性的变化,提高资源利用率和劳动生产率,使果业走上高产、稳产、低耗、高效的可持续发展道路。

参考文献

- [1] 周国民.我国数字果园的研究与发展,农业网络信息,2012(1):10~12.
- [2] 束怀瑞.中国果树产业可持续发展战略研究.落叶果树,2012,44(1):01~04.
- [3] 苏红波,郭新宇,陆声链,等.苹果花序几何造型及可视化研究.中国农学通报,2009,25(2):272~276.
- [4] 王凌,赵庚星,朱西存,等.花期苹果树冠氮素营养状况的卫星遥感反演.应用生态学报,2013,24(10):2863~2870.
- [5] 宋凯.成年富士苹果树茎流特征及需水规律的研究.山东:山东农业大学,2011.
- [6] 雷彤,赵庚星,朱西存,等.基于高光谱的苹果果期冠层光谱特征及其果量估测.生态学报,2010,30(9):2276~2285.
- [7] 李娜,李丙智,王金锋,等.不同树形对苹果幼树树冠中下层光截获与产量及品质的影响.北方园艺,2014(19):4~8.
- [8] 毛莎莎,曾明,何绍兰,等.近红外光谱技术在水果成熟期预测中的应用.亚热带植物科学,2010,39(1):82~87.
- [9] 冯娟,刘刚,王圣伟,等.采摘机器人果实识别的多源图像配准.农业机械学报,2013,44(3):197~203.
- [10] Stajanko D, Berk P, Lesnik M, et al. Programmable ultrasonic sensing system for targeted spraying in orchards. *Sensors*, 2012, 12(11):15500~15519.
- [11] 周国民,樊景超,吴定峰,等.基于XML的果园环境数据采集和数据表示.天津农业科学,2015,21(12):76~79.
- [12] 郭秀明,樊景超,周国民.苹果园中土壤水分空间分布特性初探.广东农业科学,2014,41(24):68~71.
- [13] 郭秀明,周国民,赵春江,等.2.4GHz无线信号在苹果园中的衰减模型.中国农业大学学报,2014,19(6):179~187.
- [14] 郭秀明,周国民,丘耘,等.一种适宜于农业监测和控制的WSN应用框架.农机化研究,2014(11):199~203.
- [15] 夏雪,丘耘,胡林,等.基于3G和DDNS的果园环境远程监控系统.自动化与仪表,2013,28(8):23~26.
- [16] W. Lentz, Model applications in horticulture: a review. *Scientia Horticulture*, 1998, 74: 151~174.
- [17] Susan M. Hester, Oscar Cacho, Modelling apple orchard systems, *Agricultural Systems*, 2003, 77: 137~154.
- [18] 周国民.数字果园研究现状与应用前景展望.农业展望,2015,11(5):61~63.
- [19] 王飞跃.平行控制:数据驱动的计算控制方法.自动化学报,2013,39(4):293~301.

Research progress and prospect of digital orchard techniques

Zhou Guomin, Qiu Yun, Fan Jingchao, Guo Xiuming, Hu Lin, Wu Dingfeng

(Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: [Purpose] Digital Orchard is an inevitable result by the application of information technology in orchard from the individual application to integrated application. In this paper, the concept of the Digital Orchard is proposed to develop the key techniques and application system for acquisition, analysis, management and utilization of information in orchard production system. Fruit industry plays an important role in the development of rural economy in China. However, the overall research level of orchard production and management are quite different from the developed countries. Especially, the technology gap between orchard digitalization,

informatization and intelligent management is even bigger. Therefore, we need to systematically summarize the progress made in digital orchard research and further definite the direction of future development. It provides scientific and technological support for developing information and intelligent orchard. [**Method**] Through literature review and related research practice, this paper summarizes the research status of digital orchard technology and application system in recent years. [**Result**] In recent years, thorough and systematic research works on key techniques and application systems of Digital Orchard have been carried out in Agriculture Information Institute of CAAS. The remarkable advances have been achieved in the areas of acquisition in orchard, fruit tree growth model, digital management platform in orchard. The future prospect of Digital Orchard is directed toward informatization, networking and intellectualization. [**Conclusion**] The impact of using the Digital Orchard technology in the fruit industry has three main aspects as follows: improving the precision level of orchard production management, enhancing the quality level of fruit and management level of marketing, improving the supervision level of government management.

Keywords: digital orchard; research progress; research prospect; review

欢迎订阅《农业科研经济管理》杂志

《农业科研经济管理》(季刊)是一本以农业科研单位、农业院校、农业政策、咨询部门的管理、科研、开发等人员为主要读者对象的综合性专业刊物。

本刊坚持以马列主义、毛泽东思想和邓小平理论为指导,以宣传、交流科技体制改革,特别是农业科研经济管理体制及运行机制改革的理论、思路、措施、方法与经验为重点,着重刊登农业科研经济管理理论的最新研究成果,报导农业科研经济管理建设的实践与经验。

《农业科研经济管理》杂志为国内外公开发行的刊物,大 16 开本,48 页。每册定价 8.0 元,全年每套 32 元。

订阅款可通过邮局汇款到《农业科研经济管理》编辑部。地址:北京海淀区中关村南大街 12 号中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,邮编:100081。也可通过银行汇款,开户行:农行北京北下关支行,行号:103100005063,账号:11050601040011896,单位名称:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所。电话:(010) 82109632 82109628 82109647 82109637 82105292,传真:(010) 82109628 82109637。Email: kyglbjb@caas.cn。邮发代号: 80-301,投稿网址: www.cjarp.com

报销及发行凭证见背面