

基于适宜环境的果品冷链物流精准调控云平台框架设计*

钱建平¹, 王宝刚², 杨 涵¹, 张保辉¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 / 农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081;

2. 北京市林业果树科学研究所, 北京, 100093)

摘要:【目的】冷链物流已成为维持果品采后品质、降低产品损耗的重要手段;采集因素单一、调控参数静态、信息共享度低已成为物流信息技术发展中面临的重要问题。【方法】文章在分析冷链物流信息技术发展及问题的基础上,从温度和相对湿度两方面总结了主要果品的冷链适宜环境,提出了果品冷链物流精准调控云平台,并探讨了技术实现的可行性。【结果】以主要果品的冷链仓储和冷链运输为研究环节,以不同果品冷链需求特征为核心数据,研制冷链环境监控终端,实现温湿度、气体、位置、开门状态等信息的实时感知;开发果品冷链物流精准调控云平台,实现动态跟踪、实时监测、货架预测、异常报警、冷链反演、产品追溯、统计分析等智能处理功能;开发冷链管理APP,实现参数设定、状态监测、预警处置等功能。【结论】基于适宜环境的果品冷链物流精准调控云平台,既较好考虑了冷链调控中的多参数特性和动态特性,又有利于实现冷链数据的充分共享;该文的框架设计可为后期平台实现提供技术支撑。

关键词: 冷链物流;云平台;果品;温度

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190407

0 引言

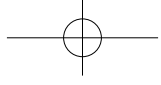
冷链物流是以冷冻工艺学为基础,以人工制冷技术为手段,以生产流通为衔接,为保证产品质量安全,减少因腐败变质引起的损耗,从而使易腐生鲜农产品在生产、贮藏、运输、销售乃至消费前的各环节始终处于规定的低温环境下的特殊供应链系统^[1-2]。冷链物流也是一项系统工程,从技术角度,冷链物流涉及温度控制、采后生理、保鲜工艺、信息管理等;从产品角度,冷链物流包括果蔬、肉蛋奶、水产、速冻食品、药品等;从环节角度,冷链物流涵盖加工、储存、运输、销售等^[3]。

近年来,随着我国经济社会日益发展及人民生活水平的不断提升,加之深化供给侧改革和推动消费升级的新形势,冷链物流快速发展。冷链基础设施设备水平进一步提升,2018年全国冷库总量达到5238万t(折合1.3亿m³),新增库容488万t,同比增长10.3%^[4]。但与发达国家85%以上的果蔬冷链流通率、95%以上的果蔬冷链使用率和5%左右的产后流通腐损率相比,2018年我国果蔬实际冷链流通率仅为22%、冷链物流使用

收稿日期: 2019-07-18

第一作者简介: 钱建平(1979—), 博士、研究员。研究方向: 农产品智慧供应链管理与追溯。Email: qianjianping@caas.cn

* 基金项目: 中国农业科学院科技创新工程引进英才“智慧农业”(962-3)



率仅为 35%，而产后流通腐损率则达到 15% 左右，冷链物流使用率远低于发达国家^[5]。随着国内市场对冷链物流需求的快速增长，近年来我国冷链物流市场规模迅速上涨，据中国物流与采购联合会冷链物流专业委员会预计，2019 年我国冷链物流市场规模将达到 4 095 亿元，到 2023 年我国冷链物流市场规模将达到 9 150 亿元，年复合增速达到 25%，冷链物流行业正进入快速上升通道^[5]。

采后果品是一个活的有机体，其生命代谢活动仍在有序进行^[6]；呼吸作用是果品变质的主要原因，因此要长期贮藏果品，就需要在维持其活体特征的前提下通过合理低温减弱呼吸作用，降低呼吸消耗，延长保鲜时间；同时，湿度、空气成分等对果品品质维持也有重要影响^[7]。因此，合理调控环境已成为冷链发挥效率的关键。文章总结了主要果品的冷链适宜环境，基于云架构体系提出了果品冷链物流精准调控云平台框架，并给出了主要组成部分的技术实现方法。

1 冷链物流信息技术发展及问题

1.1 冷链环境感知正向实时化、动态化方向发展

环境感知是实现冷链合理调控的基础。冷链环境监测已由单点向多点、有线向无线、延时向实时方向发展^[8-9]。无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）技术具有易于布置、方便控制、低功耗、通信灵活等特点，可为冷链过程温度的实时在线监测提供支撑^[10-11]；而无线射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）是利用射频信号进行空间耦合实现非接触信息传递的自动识别技术^[12]；集成温度传感器的 RFID 感知标签是实现定时离线温度监测的有效方式^[13-14]。

冷藏车厢、冷库等载体在不同空间位置，其温度存在着不均衡性^[15]。有限点的温度监测无法反映载体内温度的空间分布特征^[16]；利用计算流体力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）技术可有效模拟不同冷链载体的空气流动类型和环境温度分布情况^[17-18]。郭嘉明等以基于差压原理的运输车厢为研究对象，利用 CFD 模拟不同果蔬堆栈方式下厢体不同截面的温度分布情况^[19]。Han 等模拟了不同冷链条件下果品包装内的温度场分布，并比较了不同包装箱的温度场均一性^[20]。实时监测与计算模拟的结合，以其“点一面”互补的优势，为冷链温控奠定了基础^[21]。

1.2 冷链调控正向精准化、智能化方向不断深入

温度控制是解决“冷链不冷”的技术关键。对于温度控制主要有基于模型控制和基于知识控制两种方式。前者主要通过建立不同的数学模型，对模型所采用的控制方法有 PID（Proportion Integral Differential）控制、预测控制、优化控制和自适应控制等^[22]；后者通过建立数据库、知识库，依靠专家系统完成对目标的温度控制^[23]。传统 PID 控制具有结构简单、易实现的优点，在工业控制领域被广泛使用；但对于复杂的控制系统，由于各参数之间的强耦合，传统 PID 方法不能根据控制对象参数的变化对自身参数做出适当调整^[24]。

人工智能技术的发展使多种温度智能控制方法被研究和应用^[25-26]。基于反向传输（Back Propagation, BP）神经网络与 PID 相结合的控制算法，大大提高了控制系统性能。

2019年8月

但BP神经网络学习速率和收敛速率均较慢，且训练时间过长^[27]。自适应模糊PID的控制方法被应用于温室温度控制中，可实现在季节、时令等交替变化下对温室温度系统的优化控制^[28]。

1.3 存在问题

(1) 采集因素单一，影响调控辅助决策

温度对物流中的果品品质有重要影响，温度也是最受关注的环境条件之一；但适宜的湿度及气体条件也是保持较好的新鲜度和品质的必要条件。尤其是在冷链物流中，由于冷链载体的密封性和产品堆积的高度密集，若不能很好采集湿度及气体等因素，只以单一的温度进行环境调控，易导致调控不精确。

(2) 调控参数静态，影响品质维持效果

不同果品有不同的冷链环境要求，只有在适宜的环境下，才能有效抑制果品微生物的生长，减缓呼吸作用，达到延长货架期和维持品质的作用。若不能根据不同果品的冷链环境需求获取动态调控参数，则容易影响品质维持的效果。

(3) 信息共享度低，影响冷链过程追溯

冷链物流过程是一个多因素融合的动态过程，过程中产生的位置、环境等信息对供应链上下游及冷链承运商至关重要。若不能实现信息有效共享，将导致信息不对称，既不易判别冷链状态，也容易产生纠纷。

2 主要果品的冷链适宜环境

对于果品来说，呼吸作用是维持果实采后活体特征的主要生理代谢方式，因此要长期贮藏果品，就要通过适宜的低温减弱呼吸作用，降低呼吸消耗从而延长保鲜时间。湿度对于果品冷链来说也同样重要，若环境中的湿度过高，则会使水分凝结在果品的表面，引起霉菌生长，导致腐败变质，同时包装纸箱吸潮后抗压强度降低，可能使果品受伤；若环境中的湿度过低、空气过干，则会使果品极易蒸腾失水而发生萎蔫和皱缩，导致组织软化。表1所列不同果品的适宜贮藏温度和湿度^[29-30]；但不同种类果品采后生理特性不同，亦受品种、成熟度影响。

表1 不同果品适宜冷链环境
Table 1 Suitable cold chain environment for different fruits

种类	贮藏温度(°C)	相对湿度(%)	种类	贮藏温度(°C)	相对湿度(%)
苹果	-1~0	90~95	甜橙/柑类	4~7	90~95
梨	-1~0.5	90~95	橘类	3~5	85~90
桃/李/杏/樱桃	-0.5~0.5	90~95	西柚/柠檬	12~13	85~90
冬枣	-2.5~-1.5	85~90	沙田柚	6~8	85~90
鲜枣	-1~0	90~95	莱姆	9~10	85~90
葡萄/柿子	-1~0	90~95	香蕉/芒果/山竹	13~15	85~90
猕猴桃	-0.5~0.5	90~95	菠萝	10~13	85~90

续表 1

种类	贮藏温度 (°C)	相对湿度 (%)	种类	贮藏温度 (°C)	相对湿度 (%)
草莓 / 蓝莓	0~2	90~95	番木瓜	13~15	85~90
山楂	-1~0	90~95	枇杷	0~2	90~95
石榴	5~6	85~90	杨梅	0~1	90~95
西瓜	8~10	85~90	荔枝	1~2	90~95
薄皮甜瓜	5~10	80~85	龙眼	3~4	90~95
厚皮甜瓜	4~5	80~85	榴莲	4~6	85~90
伽师瓜	0~1	80~85	番荔枝	10~12	90~95
板栗	-2~0	90~95	红毛丹	10~13	90~95
无花果	-1~0	85~90	鳄梨	7~9	85~90
哈密瓜	3~5	75~80	橄榄	5~10	90~95

3 果品冷链物流精准调控云平台总体框架

果品冷链物流精准调控云平台总体框架如图 1 所示。该平台以主要果品的冷链仓储和冷链运输精准调控为主要目标，以不同果品冷链需求特征为核心数据，将果品冷链基础数据物化到硬件设备中，研制冷链环境监控终端，终端设备应用于不同冷链环节，实现温湿度、气体、位置、开门状态等信息的实时感知；终端采集数据传输到冷链管理云平台，云平台实现动态跟踪、实时监测、货架预测、异常报警、冷链反演、产品追溯、统计分析等智能处理功能；智能处理的结果反馈至冷链操作人员的手机 APP 中，可对冷链设备状态进行动态调控。

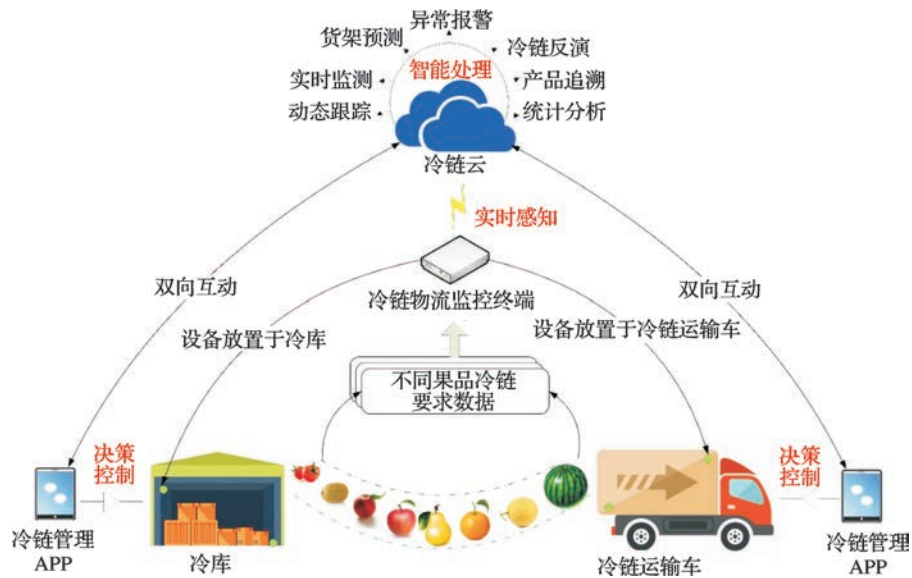


图 1 总体框架

Fig.1 The overall framework

2019年8月

4 技术实现

4.1 多参数冷链环境监测装置

为了实现空气温度、空气湿度、光照度、乙烯气体浓度、位置等多个环境参数的监测，自主研发了由电源、传感器和通信模块3部分组成的多参数冷链环境监测装置。装置通过低功耗LoRa（Long Range Radio）无线调制技术将采集到的信息发送给通信网关，并由后者将监测数据发送到云端。装置结构如图2所示。

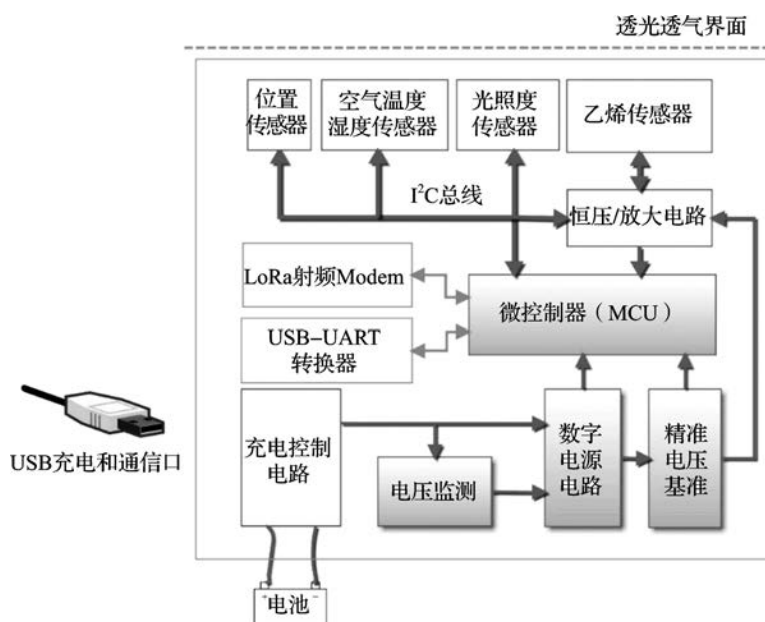


图2 多参数冷链环境监测装置结构

Fig.2 Multi-parameter cold chain environmental monitoring device structure diagram

电源部分由充电控制电路、电压监测电路、数字电源电路和精准电压基准组成，实现电池充电控制和电路电源分配。电池充电控制电路采用高效的锂电池专用充电芯片，使用CC/CV充电模式，最大充电电流400 mA，并在电池中内置了过流、过压、过温保护电路，并提供了充电指示；电压监测电路用来监测电池工作状态，以确保电池的安全，并在电量过低时自动关断电源，保护设备。

微控制器通过I²C（Inter-Integrated Circuit）总线接口与空气温湿度、光照传感器、乙烯传感器通信，并根据需要进行参数设置及数值测量。乙烯浓度采用电化学传感器，该传感器由恒压电路激励输出nA级信号，该信号经由放大电路放大后输出到微控制器的A/D转换器，并由后者转换为乙烯浓度。

射频Modem采用支持LoRa的SX1278芯片，采用直序扩频方式进行通信，实现射频信号的发送和接收；USB-UART转换器用于实现USB与微控制器的通信，将USB协议转换为UART。

4.2 冷链云管理平台

集成供应商、冷链车辆、冷库等静态资源数据，采集温度、湿度、位置、光照、乙烯气体等动态监测数据；基于公有云平台提供的虚拟化基础设施资源部署果品冷链物流精准调控云平台，采用基于 Spring Cloud 的微服务器架构，结合 Docker 容器技术，为平台管理者、冷链物流委托方、上下游供应商等主体提供不同功能，实现服务业务的可伸缩、可灵活扩展。主要功能如下。

(1) 动态跟踪：接收终端设备发送的位置信息，实时显示目前的位置状态，并在电子地图上显示，对于冷链仓库中的设备，由于其移动性不强，只采集初始位置，对于冷链车，需动态跟踪其运输路径的轨迹变化。

(2) 环境监测：根据一定时间接收到的温度、湿度、气体等信息，在平台界面实时显示，可查看当前每个设备所采集的环境信息，可以在不同信息之间切换。

(3) 货架预测：根据产品入库时间以及所处的温度状态，建立动态货架期预测模型，预测不同果品的剩余货架期。

(4) 异常报警：对于温度偏离果品所需冷链温度、运输过程车厢门被打开等情况，平台会接收到设备发来的警报，并自动记录下警报信息。

(5) 冷链反演：选择某个时间段并选择某个仓库或车辆后，这段时间内的温度、湿度、气体等信息以统计图的形式展示出来，位置信息则以路径轨迹的方式展示。

(6) 产品追溯：上下游供应商可输入产品的订单，追溯出果品在冷链过程中的相关信息。

(7) 统计分析：可对冷链仓库、冷链车辆等资源进行统计，也可以对环境变化、货架期变化等进行决策分析。



图 3 冷链云管理平台功能示意图

Fig.3 Function diagram of cold chain cloud management platform

2019年8月

4.3 冷链管理 APP

为了便于在冷链现场进行信息查询及现场调控,开发冷链管理 APP,将其安装于冷链仓库、冷链车辆的操作人员手机中,主要功能如下。

(1) 参数设定:根据所储藏或运输的果品,设定其最佳冷链温湿度,并通过云端发送到冷链监控设备进行设定。

(2) 状态监测:可以实时监测所操作的冷库或车辆的内部环境信息和位置信息,以动态图表的形式展示。

(3) 预警处置:对于监测到的冷链环境异常状态,APP端会在第一时直接收到云端发送的信息,并为合理调整冷链工况提供决策。

5 结论

冷链物流在我国快速发展,但采集因素单一、调控参数静态、信息共享度低已成为物流信息技术发展的瓶颈。该文在分析冷链物流信息技术发展及问题的基础上,从温度和相对湿度两方面总结了主要果品的冷链适宜环境,提出了果品冷链物流精准调控云平台框架,并从冷链环境监控终端、果品冷链物流精准调控云平台、冷链管理 APP 等方面探讨了技术实现的可行性。平台框架既较好考虑了冷链调控中的多参数特性和动态特性,又有利于实现冷链数据的充分共享。

参考文献

- [1] 钱建平,范蓓蕾,张翔,等.基于温度感知RFID标签的冷链箱体中温度监测.农业工程学报,2017,33(21):282~288.
- [2] Xiao Xinqing, He Qile, Li Zhigang, et al. Improving traceability and transparency of table grapes cold chain logistics by integrating WSN and correlation analysis. *Food Control*, 2017(73): 1556~1563.
- [3] 申江,杨萌.食品冷链的技术发展.包装工程,2015,36(15):1~7.
- [4] 崔忠付.2018年中国冷链物流回顾与2019年趋势展望.物流技术与应用,2019(4):14~16.
- [5] 2019年中国冷链物流行业分析报告,2019.
- [6] Xiao X., Fu Z., Zhu Z., et al. Improved preservation process for table grapes cleaner production in cold chain. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211(2): 1171~1179.
- [7] 蒲彪,秦文.农产品贮藏与物流学.北京:科学出版社,2017.
- [8] Lehmann R. J., Reiche R., Schiefer G. Future internet and the agri-food sector: state-of-the-art in literature and research. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 89(5): 158~174.
- [9] Thakur M., Foras E. EPCIS based online temperature monitoring and traceability in a cold meat chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 117(9): 22~30.
- [10] Qian J. P., Yang X. T., Wu X. M., et al. Farm and environment information bidirectional acquisition system with individual tree identification using smartphones for orchard precision management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015(116): 101~108.
- [11] 齐林,韩玉冰,张小栓,等.基于WSN的水产品冷链物流实时监测系统.农业机械学报,2012,43(8):134~140.
- [12] Luvisi A., Panattoni A., Bandinelli R., et al. Ultra-High Frequency transponders in grapevine: a tool for traceability of plants and treatments in viticulture. *Biosystems Engineering*, 2012, 113(2): 129~139.
- [13] Mercier S., Villeneuve S., Mondor M., et al. Time-temperature management along the food cold Chain: a review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16(1): 647~667.
- [14] Göransson M., Nilsson F., Jevinger A. Temperature performance and food shelf-life accuracy in cold food supply chains—Insights from multiple field studies. *Food Control*, 2018(86): 332~341.

- [15] Zhao C. J. , Han J. W. , Yang X. T. , et al. A review of computational fluid dynamics for forced-air cooling process. *Applied Energy*, 2016(168): 314~331.
- [16] Wu W. , Cronjé P. , Nicolai B. , et al. Virtual cold chain method to model the postharvest temperature history and quality evolution of fresh fruit—A case study for citrus fruit packed in a single carton. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018(144): 199~208.
- [17] Zhang X. , Han J. W. , Qian J. P. , et al. Computational fluid dynamic study of thermal effects of open doors of refrigerated vehicles. *Journal of Food Process Engineering*, 2018(41). <http://doi.org/10.1111/jfpe.12662>.
- [18] 谢如鹤, 唐海洋, 陶文博, 等. 基于空载温度场模拟与试验的冷藏车冷板布置方式优选. *农业工程学报*, 2017, 33(24): 290~298.
- [19] 郭嘉明, 吕恩利, 陆华忠, 等. 保鲜运输车果蔬堆码方式对温度场影响的数值模拟. *农业工程学报*, 2012, 28(13): 231~236.
- [20] Han J. W. , Qian J. P. , Zhao C. J. , et al. Mathematical modelling of cooling efficiency of ventilated packaging: integral performance evaluation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, 111(8): 386~397.
- [21] Defraeye T., Cronjé P., Verboven P., et al. Exploring ambient loading of citrus fruit into reefer containers for cooling during marine transport using computational fluid dynamics. *Postharvest Biology and Technology*, 2015(108): 91~101.
- [22] 毛罕平, 晋春, 陈勇, 等. 温室环境控制方法研究进展分析与展望. *农业机械学报*, 2018, 49(2): 1~12.
- [23] 屈毅, 宁铎, 赖展翅, 等. 温室温度控制系统的神经网络 PID 控制. *农业工程学报*, 2011, 27(2): 307~311.
- [24] Wang D, Fang Y, Ma M, et al. Hybrid fuzzy PD control of temperature of cold storage with PLC. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2013, 48(3): 1811~1815.
- [25] Hu, H. , Xu L. , Goodman E. D. , et al. NSGA-II-based nonlinear PID controller tuning of greenhouse climate for reducing costs and improving performances. *Neural Computing & Applications*, 2014, 24(3/4): 927~936.
- [26] 申超群, 杨静. 温室温度控制系统的 RBF 神经网络 PID 控制. *控制工程*, 2017, 24(2): 361~364.
- [27] Kolokotsa D, Saridakis G, Dalamagkidis K, et al. Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses. *Energy Conversion and Management*, 2010, 51(1): 155~168.
- [28] 雷勇, 李泽滔. 温室温度系统的自适应模糊 PID 控制. *控制工程*, 2014(s1): 23~27.
- [29] Kader A. A. . Postharvest technology of Horticultural crops(Third Edition). *University of California, Agriculture and Natural Resources, California*, 2002: 364~368.
- [30] 中华人民共和国商务部. 易腐食品冷链链技术要求 果蔬类 (SB/T 10728), 2012.

Design of cloud platform for precise regulation of fruit cold chain logistics based on appropriate environment

Qian Jianping¹, Wang Baogang², Yang Han¹, Zhang Baohui¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China;

2. Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: [**Purpose**] Cold chain logistics is an important means to maintain fruit quality after harvest and reduce product loss. However, the single collection factor, static control parameter and low degree information sharing are becoming a bottleneck in the development of logistics information technology. [**Method**] On the basis of analyzing the development and problems of cold chain logistics information technology, this paper summarizes the suitable environment of main fruits' cold chain from the aspects of temperature and relative humidity, puts forward the cloud platform of precise regulation of fruits' cold chain logistics, and discusses the feasibility

2019年8月

of technology implementation. [**Result**] Taking the cold chain storage and transportation of main fruits as a research stage, and taking the demand characteristics of different fruits' cold chain as the core data, the cold chain environmental monitoring terminal is developed to realize real-time perception of temperature and humidity, gas, location, door opening status and other information; The cloud platform for precise regulation of fruit cold chain logistics was developed and had realized intelligent processing functions such as dynamic tracking, real-time monitoring, shelf life prediction, abnormal alarm, cold chain inversion, product traceability and statistical analysis; The cold chain management APP was developed to realize parameter setting, status monitoring, early warning and disposal and other functions. [**Conclusion**] The cloud platform for precise regulation of fruit cold chain logistics based on the appropriate environment not only takes into account the multi-parameter characteristics and dynamic characteristics of cold chain regulation, but also facilitates the full sharing of cold chain data.

Key words: cold chain logistics; cloud platform; fruit; temperature

欢迎订阅《中国农业信息》

《中国农业信息》(双月刊)由农业农村部主管,中国农学会农业信息分会、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所共同主办,是我国目前全方位传播和刊载国内外农业遥感/农业信息科学领域的信息获取、处理、分析和应用服务的理论、技术、系统集成、标准规范等方面最新进展和成果,促进学术交流以及农业信息学科关键技术与产品的创新研发、集成推广和应用示范的综合性科学技术期刊。

主要刊登农业遥感、农业传感器、农业信息智能处理、精准农业/智慧农业、农业监测预警与信息服务系统、农业物联网、智能装备与控制、虚拟农业、人工智能、信息技术标准等方向学科热点领域的最新、最重要的理论研究和应用成果。主要栏目有:农业遥感、智慧农业、综合研究、农业信息技术、农业物联网、专题报道等。目前被中国知网(CNKI)、万方数据、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等多家数据库收录。

《中国农业信息》为国内外公开发行的刊物,开本为16开,彩色四封,读者范围广,影响面大,全国各地邮局均有订阅。每双月25号出版,定价为25.00元/册,150元/年。

邮局汇款

收 款 人:《中国农业信息》编辑部

地 址:北京市海淀区中关村南大街12号中国农科院资源所区划楼315

邮 编:100081

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

传 真:(010)82109632 82109628

E m a i l : nyxbjb@caas.cn

邮发代号:2-733

投稿网址:www.cjarrp.com