



我国果蔬产地商品化技术支撑体系发展现状

曹锦萍¹, 陈烨芝¹, 孙翠¹, 王岳¹, 陈昆松¹, 张长峰², 孙崇德^{1*}

(1. 浙江大学果实品质生物学实验室/农业农村部园艺植物生长发育与品质调控重点开放实验室/园艺产品冷链物流工艺与装备国家地方联合工程实验室/园艺植物整合生物学研究与应用浙江省重点实验室, 杭州 310058; 2. 国家农产品现代物流工程技术研究中心, 济南 250103)

摘要 随着我国农业供给侧改革和人民生活水平的提高, 果蔬产品消费需求和产销模式正发生着巨大变化, 配套的采后服务系统在果蔬产业中的地位越来越重要。经过多年的发展, 我国果蔬采后理论和技术体系取得了显著的进步。然而, 目前果蔬采后处理环节仍存在明显的断链, 产地商品化处理技术服务体系成了提升果蔬采后水平的关键瓶颈问题。本文归纳总结了我国果蔬采后技术体系的发展现状以及产地商品化的技术需求, 以期为我国果蔬产地商品化处理技术的未来发展提供一些启示。

关键词 果蔬; 产地商品化; 技术体系

中图分类号 S 37

文献标志码 A

Development status of the technology supporting system for local commoditization of fruits and vegetables in China. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2020, 46(1): 1–7

CAO Jinping¹, CHEN Yezhi¹, SUN Cui¹, WANG Yue¹, CHEN Kunsong¹, ZHANG Changfeng², SUN Chongde^{1*} (1. Laboratory of Fruit Quality Biology/Laboratory of Horticultural Plant Growth, Development and Quality Improvement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Horticultural Products Cold Chain Logistics Technology and Equipment National–Local Joint Engineering Laboratory/Zhejiang Provincial Key Laboratory of Integrative Biology of Horticultural Plants, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. National Engineering Research Center for Agricultural Products Logistics, Jinan 250103, China)

Abstract With the deepening of agricultural supply-side structural reform and the improvement of people's living standards, the consumer demand and the production-marketing model of fruits and vegetables in China are undergoing tremendous changes. Accordingly, the postharvest supporting system is playing a more and more important role in the fruits and vegetables industry. After years of development, we had made great progress on the theories and technologies of postharvest fruits and vegetables. However, the local processing of fruits and vegetables were still the short board, which had become a bottleneck problem for the improvement of postharvest supporting system. Thus, the present study reviewed the development status of the technologies for local commoditization of fruits and vegetables in China, in order to provide some inspiration for the future development of this area.

Key words fruits and vegetables; local commoditization; technology system

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2017YFD0401303); 农业农村部农业科研杰出人才及其创新团队项目。

***通信作者** (Corresponding author): 孙崇德 (<https://orcid.org/0000-0002-2874-0292>), E-mail: adesun2006@zju.edu.cn

第一作者 (First author): 曹锦萍 (<https://orcid.org/0000-0003-0840-5590>), E-mail: 0017165@zju.edu.cn

收稿日期 (Received): 2019-11-17; **接受日期** (Accepted): 2019-12-28

1 果蔬采后商品化处理的产业意义

我国是世界果蔬第一生产大国。国家统计局数据显示:自2010年以来,我国果蔬产量连年增长,至2018年,全国蔬菜总产量达7.03亿t,水果(含瓜果类)总产量达2.57亿t;2012年人均蔬菜产量就已达到524 kg,2015年人均水果(含瓜果类)产量达120 kg^[1]。

随着我国农业供给侧改革和人民生活水平的提高,人们的消费观念从“吃得到”的初级需求正向“吃得好”的更高要求转变,消费者对农产品的多样性和产品质量也提出了更高要求,果蔬产品的优质、新鲜、营养、健康以及周年均衡供应已成为市场主体需求;我国果蔬产品种类、品种繁多,多为季节性收获、集中上市,且随着我国农业战略性的结构调整,果蔬生产更趋于区域化,产销异地的问题更为凸显;另外,随着世界产业链融合一体化程度不断加深,我国的果蔬除满足国内需求外,一些颇具竞争潜力的大宗和特色农产品走出国门、进入国际市场的需求也在不断加强。由此,对果蔬产地商品化处理和物流产业的科技支撑也提出了更高的要求。当前,国家对农产品采后体系建设高度重视。2015—2019年连续5年的中央一号文件,均提出了关于农产品贮运、冷链、分级包装等采后体系建设的内容^[2-6]。2017年发布的《“十三五”农业农村科技创新专项规划》提出:重点开展不同农产品产地商品化处理、物流过程损耗与质量控制、信息化监控、防霉防蛀防腐、包装等核心技术与配套装备等研究、示范、推广、应用,支撑农产品生产和物流健康发展。2019年3月1日,国务院新闻办公室举行新闻发布会,介绍了《关于促进小农户和现代农业发展有机衔接的意见》;中央农村工作领导小组办公室副主任、农业农村部副部长韩俊在回答记者提问时表示,电商要在农村发展壮大,必须要提升农村农副产品产地商品化的处理水平,必须要缩短农村和城市在物流配送体系方面的差距。

2 果蔬产地商品化处理模式

果蔬采收后,代谢活动仍在进行,并持续地消耗养分,释放出大量的水分、CO₂和热量,加重其衰

老、腐烂和品质劣变。采后产地处理越早,越有利于果实品质的维持和长期贮藏。此外,新鲜果蔬体内水分和糖分含量高,具有易腐烂、易发生机械损伤、病害和品质劣变等特性,贮运性较差^[7],而在产地就近处理后再进行贮运,是降低果蔬采后损失、进一步提升果蔬商品品质的重要途径。

果蔬的产地商品化处理,是指在产地采取一系列初加工和再增值措施,从而使果蔬品质得以保持或改进,提升其商品性。果蔬产地商品化处理包含修整加工、清洗、分拣、预冷、药物处理、打蜡、包装等环节^[8]。当前,我国果蔬贮-销模式大致可分为3大类(图1),各模式对应的产地处理方式和技术也有所不同。

模式I:农场简易分拣、前处理和包装后,直接进入市场,或经过短期贮藏后进入市场。该模式是我国长期存在的传统模式,由于缺乏采后处理技术和装备,目前许多小中型农场主要采用该模式。该模式存在诸多缺点:采后损耗率高、品质无保障;对于不耐贮运的果蔬只能就近出售,且在采收季节要尽快销售完毕,否则存在经济风险。由此对应的产地商品化处理模式相对简单,主要包括基于外观的人工或简易机器分选、防腐保鲜剂喷施或浸泡处理和人工包装等。

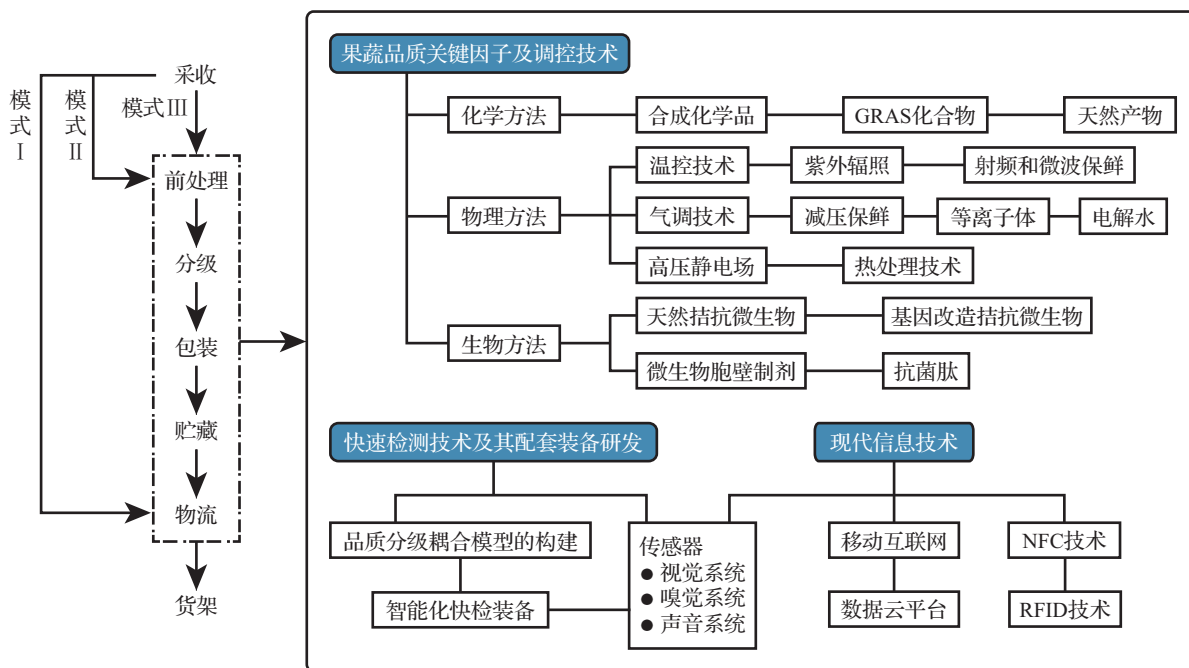
模式II:农场简易分拣、前处理和包装后,经过跨地区运输到达加工企业商品化处理和贮藏后进入市场。在该模式下,对果蔬进行商品化处理的主体一般为大中型果品企业,相比传统模式,具有很大的进步,可以按照市场需求量进行投放,降低了经济风险;而且经过较为精细的分级和采后处理,进入市场的果实品质更为稳定,具有一定的竞争力。但该模式仍存在许多缺陷:从采收到商品化处理中间经过了较长的一段时间,其间需要较系统的技术来控制果蔬发生品质劣变损耗;存在二次分拣、包装等过程,需要投入较多的人力资源。

模式III:产地商品化处理,即在具有一定规模的农场采收后,在产地进行处理以达到商品化要求并贮藏后进入市场。这也意味着在产区周边,建立了专业而完善的果蔬采后服务体系。该模式将采后处理时间缩至最短,使果蔬保鲜效果达到最佳,并且避免了二次加工和处理过程,减少了中间环节。该模式对产地商品化处理水平提出了很高的要求,包括更高的时效性,更灵活简便且高效的

预冷、防腐、分选、包装等商品化处理设备等。伴随着果蔬生产区域化的进程,该模式将成为果蔬产品采后处理和分销的主要模式。

随着我国物流技术和生鲜电商的发展,果蔬的物流半径在变大,同时,具有加工、贮藏和销售能力的企业、合作社等经营主体也在增加,规模不断扩

大。然而,采后服务系统仍存在明显的断链,从采收到入库前的环节难以控制,比如产地预冷环节,由于产地配套服务体系缺乏,在许多中小型农场中尚难以实现。因此,果蔬产地商品化处理技术体系的构建和优化,成了完善采后服务系统、提升果蔬采后水平的关键瓶颈问题。



GRAS:一般认为安全;NFC:近距离无线通信;RFID:射频识别。

GRAS: Generally recognized as safe; NFC: Near field communication; RFID: Radio frequency identification.

图1 果蔬采后商品化模式及其产地商品化处理技术支撑体系

Fig. 1 Commercial treatment steps and technology supporting system for local commoditization of postharvest fruits and vegetables

3 果蔬产地商品化处理技术体系

果蔬产地商品化处理主要包括预冷、清洗、防腐、分选、包装等环节,其主要支撑技术均围绕这些环节展开。主要归类如下。

3.1 产地预冷技术

果蔬采收时会释放田间热,在入库冷藏或冷链运输之前,需采取措施将其温度迅速降至所需终点温度,这一过程称为预冷。预冷是果蔬采后非常重要的一环,预冷处理是否得当,甚至关系到整个采后环节的成败^[9]。预冷环节需处理好2个关键问题:一是温度控制的准确性,二是时效性。除了对低温敏感的种类,大部分果蔬采后应尽快预冷,中间间隔时间越久,后续的保鲜效果将大打折扣^[10]。以草莓为例,采收到预冷环节之间数小时的间隔,将导

致失水率增加50%以上,硬度下降14%~22%,褐变指数增加,商品性和食用品质均显著降低^[11]。因此,产地及时预冷,是果蔬冷链保鲜效果的重要保障。

根据冷媒的不同,可将预冷方式分为空气预冷、水预冷和真空预冷等。空气预冷措施众多,包括自然冷却预冷、加冰预冷、冷库预冷、差压预冷、强制空气冷却等^[12];水预冷措施有喷雾式、喷淋式、浸泡式、液态冰技术等;真空预冷是指利用抽真空的方法,使农产品水分在低压条件下迅速蒸发以带走热量,达到快速预冷目的,具有冷却速度快、预冷均匀、清洁的优点,但也存在适宜预冷品种有限、失重率大、前期投资成本高等不足^[13]。果蔬的预冷效果与诸多因素相关,包括果蔬本身的生理特性、果蔬个体大小和传热速率、果蔬包装、果蔬堆放体积和堆放方式等^[12-13]。

长期以来,由于技术和设备条件的欠缺,我国

绝大部分农产品的产地预冷一直未能很好地开展,成了果蔬冷链保鲜需解决的瓶颈问题之一。目前,产地预冷仅在劣变快、难贮运的果蔬上陆续开展,使用的技术也非常简陋,最为常用的是加冰空气预冷和冷库预冷等,在荔枝、樱桃、杨梅等难贮运水果中广泛使用。今后,研发更为灵活(可移动式)的预冷设备、提高控温的精准性、降低能耗、提高能量利用率,是优化产地预冷技术的突破口之一。

3.2 防腐保鲜技术

3.2.1 化学防腐与保鲜技术

化学保鲜技术普遍高效而且效果持久,主要通过促进伤口愈合、杀菌、调节果实生理活动等方面起作用。目前,较为成熟的化学保鲜剂有针对乙烯的抑制剂如1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropylene, 1-MCP)、乙烯清除剂如 KMnO_4 、化学杀菌剂如果蔬清洗常用的次氯酸盐^[14],以及柑橘中常用的抑霉唑、百可得、咪鲜胺等,生长调节剂如2,4-二氯苯氧乙酸(2, 4-dichlorophenoxyacetic acid, 2, 4-D)^[15-17]。近年来,人们积极寻求替代传统杀菌剂和生长调节剂的绿色环境友好型化学保鲜剂。常用的有美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)规定的一般认为安全(generally recognized as safe, GRAS)的化合物,包括有机物和无机盐类等食品添加剂,这类化合物具有残留少、价格低廉、对人类和环境安全等特点,适用于商业采后处理实践^[18]。此外,大量的研究表明,天然产物来源的绿色保鲜成分也具有潜在的应用价值^[14]。

3.2.2 生物防腐与保鲜技术

该技术主要是利用拮抗微生物及其制剂来进行防腐和保鲜。研究发现,果实表皮或环境中天然存在许多对采后病害具有防治作用的微生物,能提高果实抗病性,保护果实免受采后病害侵染。目前发现较为有效的拮抗菌包括芽孢杆菌属(*Bacillus*)、毕赤酵母属(*Pichia*)、假丝酵母属(*Candida*)、粘红酵母属(*Rhodotorula*)、海洋红酵母属(*Rhodospiridium*)等^[19-20]。利用遗传学手段对拮抗微生物作进一步改造,能显著提高其抗病能力,这也是拮抗微生物的研究开发方向之一。除了直接应用拮抗微生物,还可应用其代谢产物开发抗菌制剂。微生物中广泛存在抗菌肽,如环孢霉素B,也可通过遗传手段引入外源抗菌物质基因,如在酵母中重组表达豌豆防御素、天蚕素A等,以及微生物发酵产物如纳他霉素。

另外,微生物中的结构成分,如胞壁物质,可能对果实具有抗性诱导作用^[19],也具有开发潜力。

3.2.3 物理防腐与保鲜技术

相较于化学和生物方法,物理方法无残留、绿色、安全,具有很大的开发价值。控温保鲜技术(主要是冷链技术)是目前使用最广、最为有效的果蔬保鲜技术。大部分果蔬的控温保鲜技术参数已较为成熟,果蔬的采后处理技术标准中也均包含温度控制参数。除控温技术外,使用较广泛的还有气调保鲜技术,气调相关的包装材料和装备也已商业化应用,目前已有多种果蔬建立了气调技术标准。近年来,越来越多的物理保鲜手段不断出现,包括紫外保鲜、减压保鲜、等离子体保鲜、高压静电场保鲜、热处理保鲜、射频和微波保鲜等技术^[21-23]。然而,物理保鲜技术门槛较高,对设备和操作技术均有严格的要求,成本也较高,而且目前尚缺乏简便灵活的装备,制约了其在产地的推广应用,这也是未来亟待突破的问题。

3.3 快速检测分级技术及其配套装备

果蔬的分级,是实现合理定质定价,并保持商品品质稳定的重要措施。果蔬的分级依据包括外部品质(大小、形状、表面缺陷、色泽、纹理)和内部品质(内部缺陷、糖酸含量、水分、质地)^[24]。传统的人工分级只能通过肉眼观测和人工分拣,效率低下、误差大,而且无法评估其内在品质。

基于重量传感器、图像技术的果蔬分级,可直观地获取果蔬的重量、几何结构和表面特征,替代了人工分选,使果蔬分级开始走向机械化和自动化,但仍然不能获取果实的内部品质信息。基于光谱和成像技术的果蔬品质检测技术的出现,使内部品质的可视化分析和快速无损分选得以实现,目前已被广泛应用^[25]。光谱技术是根据果蔬和光之间的作用关系,利用不同光学特性所对应的特征光谱进行果蔬理化特性等研究的检测技术。目前,在果蔬无损检测领域研究较多的光谱技术包括近红外光谱、高光谱成像、拉曼光谱等^[26]。此外,激光诱导击穿光谱技术^[27]、太赫兹光谱技术^[28]也开始被逐步应用。

得益于这些分选技术的发展,近年来,我国采后处理流水线设备的制造企业数量增加,并出现了具备出口能力的大型设备生产企业,农产品商品化国际竞争力也在不断提升。但国内的采后自动化处理技术普及程度仍较低,未来有很大的发展空间。

间。目前,果蔬品质检测多是针对单一品质进行检测,缺乏对口感、质地、营养成分等的综合评价标准,此外,大量的噪声、干扰变量等冗余信息的存在也会对模型的稳定性产生影响。因此,在构建更全面有效的综合评价体系、建立稳定可靠的检测模型、应用新算法和优化现有算法等方面,仍需大量的理论和应用研究以服务于果蔬产业的发展。

3.4 产地包装技术

包装是果蔬实现商品化的重要步骤,它除了能提升果蔬的商品性外观品质外,其基本功能还包括:保护果蔬免受机械损伤、隔绝以减少病虫害的蔓延、保持微环境(温度、湿度、气体成分)稳定等。因此,减震缓冲能力、透水透气性、防止结雾能力等是果蔬包装需具备的基本性能。

当前,包装已成为果蔬保鲜技术的一部分,被赋予了更丰富的功能。如,以果蔬呼吸模型的研究为指导的气调包装技术,通过设计包装材料的透水透气性或采用 SiO_2 填充制成的硅窗薄膜气调袋等,可降低果蔬的呼吸作用,延缓衰老和品质劣变^[29];基于乙烯含量控制的保鲜包装,通过在包装中添加吸氧剂、用多孔材料制作的乙烯吸附剂、 KMnO_4 等乙烯清除剂、1-MCP等乙烯拮抗剂等,减缓由乙烯引发的果实衰老^[30];在包装材料中添加可食用抗菌成分、 TiO_2 等纳米材料制成的抗菌包装,可抑制果蔬中的微生物生长^[31]。随着大众环保和健康意识的提高,可降解材料、可食用材料在果蔬包装中的应用研究也逐渐成为近年来的研究热点^[32]。

物联网等现代信息技术在果蔬产业中的应用也促进了果蔬包装的变革。智能包装技术的研究逐渐兴起,并将成为未来的研究热点。目前已见有智能标签的研发及其与包装的集成应用,如根据乙烯释放量指示果蔬新鲜度的标签、根据芳香气体的释放来感知果蔬成熟度的指示标签等^[31]。

为最大限度地发挥包装的作用,果蔬的包装应该在前处理完成后、入库贮藏或运输前进行,因此,产地是果蔬包装的最佳场所。随着其他产地商品化处理技术的进步,包装技术将从效率低下的手工包装发展为自动包装,包装机与分选和前处理设备整合,形成流水线,完成贮运前的商品化处理过程。

3.5 产地商品化处理信息技术

数据的采集处理以及精准调控,是采后流程中不可忽视的重要环节。我国在果蔬采后流通过程

中,信息化系统建设和管理相对落后,存在信息不完整、信息上传和反馈不及时、信息断链和不对称等问题。

信息化系统包括信息感知和采集、信息传输和信息应用3个层面的技术。信息感知和采集层面,依赖于视觉系统、嗅觉系统、声音系统传感器的研发及其在果蔬品质和贮藏环境感知方面的应用^[33]。信息传输层面,依赖于移动无线网络的发展,以及射频识别(radio frequency identification, RFID)技术^[34]、近距离无线通信(near field communication, NFC)技术^[35]等的发展。信息应用层面,通过信息的感知和传输,实现对果蔬生产全过程的实时远程监控和追溯^[36]。借助云计算、大数据等支撑技术,通过改进监测统计、分析预警、信息发布等手段,健全监测预警体系。另外,还可以设计智能故障诊断软件,实现系统故障自诊断,从而实现综合调控系统的智能化发展^[37-39]。

近年来,随着农产品冷链物流体系的发展,果蔬冷链系统中的物联网系统发展迅速,成为目前果蔬采后应用较广的信息化系统^[40]。不过,目前的监测和调控指标较为单一,而随着果蔬产地品质分级耦合模型和数据云平台的构建,以及“互联网+”果蔬品质智能化快速检测技术的研发,将进一步深化现代信息技术在果蔬采后领域的应用。

4 小结与展望

我国果蔬采后研究起步较晚,一直以来,“重采前、轻采后”的传统思想导致不够重视水果和蔬菜的采后商品化处理,大部分果蔬以原始产品状态进行贮藏和物流上市,果蔬采后腐烂率高,经济损失大。自2010年国家发展和改革委员会出台《农产品冷链物流发展规划》(2010—2015年)以来,我国果蔬冷链物流比例逐步提高。公开数据表明:2010—2016年间,果蔬冷链流通率由5%升至22%;然而,跟发达国家相比,仍存在差距。当前,美国、日本等发达国家的冷链流通率达95%以上,损耗率小于5%,冷链利润率达20%~30%;而我国冷链损耗率超过20%,冷链利润率仅8%,低于常温利润率2个百分点,呈现冷链流通比重低、损耗大、成本高的局面^[41]。因此,果蔬产地商品化处理、贮藏物流保鲜技术和装备在我国还有广阔的研发和应用前景。

随着我国果蔬产地商品化处理技术与装备成果的积累与发展,针对大宗和特色果蔬生理特性,解决果蔬产地商品化处理与贮藏物流保鲜过程中产地各异、品种繁多、保鲜期长短和品质安全的个性化差异问题,研发相关技术装备,对已有的技术装备成果进行组装集成,形成操作规程技术体系或制定标准,并在相关企业基地开展示范化应用与推广是当前果蔬产地商品化处理的必然发展趋势,初步具备了实施条件。果蔬产地商品化涉及的技术面非常广泛,而且不同果蔬采后品质劣变特征以及保鲜参数存在巨大差异,因此,构建相应的技术规程和研发多样化的技术,并积极开展跨学科合作技术攻关,是果蔬采后技术发展的必由之路。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国家统计局. <http://www.stats.gov.cn/>
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. <http://www.stats.gov.cn/>
- [2] 中共中央 国务院关于加大改革创新力度 加快农业现代化建设的若干意见. 新华社,2015-02-01. http://www.gov.cn/zhengce/2015-02/01/content_2813034.htm
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Strengthening Reform and Innovation and Accelerating Agricultural Modernization. Xinhua News Agency, 2015-02-01. http://www.gov.cn/zhengce/2015-02/01/content_2813034.htm
- [3] 中共中央 国务院关于落实发展新理念加快农业现代化 实现全面小康目标的若干意见. 新华社,2016-01-27. http://www.gov.cn/zhengce/2016-01/27/content_5036698.htm
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Implementing the New Concept of Development, Accelerating Agricultural Modernization and Realizing the Goal of All-round Well-off Development. Xinhua News Agency, 2016-01-27. http://www.gov.cn/zhengce/2016-01/27/content_5036698.htm
- [4] 中共中央 国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革 加快培育农业农村发展新动能的若干意见. 新华社,2017-02-05. http://www.gov.cn/zhengce/2017-02/05/content_5165626.htm
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Deepening the Supply-side Structural Reform of Agriculture and Accelerating the Cultivation of New Drivers of Agricultural and Rural Development. Xinhua News Agency, 2017-02-05. http://www.gov.cn/zhengce/2017-02/05/content_5165626.htm
- [5] 中共中央 国务院关于实施乡村振兴战略的意见. 新华社,2018-02-04. http://www.gov.cn/zhengce/2018-02/04/content_5263807.htm
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on the Implementation of the Strategy for Rural Revitalization. Xinhua News Agency, 2018-02-04. http://www.gov.cn/zhengce/2018-02/04/content_5263807.htm
- [6] 中共中央 国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见. 新华社,2019-02-19. http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/19/content_5366917.htm
Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Giving Priority to the Development of Agriculture and Rural Areas. Xinhua News Agency, 2019-02-19. http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/19/content_5366917.htm
- [7] 田世平,罗云波,王贵禧. 园艺产品采后生物学基础. 北京: 科学出版社,2011.
TIAN S P, LUO Y B, WANG G X. *Biological Basis of Postharvest Horticultural Products*. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
- [8] 李继兰,葛玉全. 我国果蔬采后商品化处理现状及发展趋势. 中国果菜,2012(5):48-50.
LI J L, GE Y Q. The status and development trend of post-harvest commercialization of fruits and vegetables. *China Fruit Vegetable*, 2012(5):48-50. (in Chinese)
- [9] BROSNAN T, SUN D W. Precooling techniques and applications for horticultural products: a review. *International Journal of Refrigeration*, 2001,24(2):154-170. DOI:10.1016/s0140-7007(00)00017-7
- [10] 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(4):647-667. DOI: 10.1111/1541-4337.12269
- [11] NUNES M C N, BRECHT J K, MORAIS A M M B, et al. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biology and Technology*, 1995,6(1/2):17-28. DOI: 10.1016/0925-5214(94)00048-w
- [12] 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. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.01.101
- [13] 贺红霞,申江,朱宗升. 果蔬预冷技术研究现状与发展趋势. 食品科技,2019,44(2):46-52. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2013.08.012
HE H X, SHEN J, ZHU Z S. Research status and development trends on precooling technology of fruits and vegetables. *Food Science and Technology*, 2019,44(2):46-52. (in Chinese with English abstract)
- [14] JOSHI K, MAHENDRAN R, ALAGUSUNDARAM K, et al. Novel disinfectants for fresh produce. *Trends in Food Science & Technology*, 2013,34(1):54-61. DOI:10.1016/j.tifs.2013.08.008
- [15] ZHANG J H, CHENG D, WANG B B, et al. Ethylene control technologies in extending postharvest shelf life of climacteric fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

- 2017,65(34):7308–7319. DOI:10.1021/acs.jafc.7b02616
- [16] ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ M H, ARTÉS-HERNÁNDEZ F, ÁVALOS-BELMONTES F, et al. Current scenario of adsorbent materials used in ethylene scavenging systems to extend fruit and vegetable postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*, 2018,11(3):511–525. DOI:10.1007/s11947-018-2076-7
- [17] SCHREUDER W, PLOOY W D, ERASMUS A, et al. Postharvest fungicide treatments and cold storage control citrus black spot infections. *Crop Protection*, 2018,112:332–342. DOI:10.1016/j.cropro.2018.06.020
- [18] PALOU L. Postharvest treatments with GRAS salts to control fresh fruit decay. *Horticulturae*, 2018,4(4):46. DOI:10.3390/horticulturae4040046
- [19] ZHANG H Y, MAHUNU G K, CASTORIA R, et al. Recent developments in the enhancement of some postharvest biocontrol agents with unconventional chemicals compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 2018,78:180–187. DOI:10.1016/j.tifs.2018.06.002
- [20] CARMONA-HERNANDEZ S, REYES-PÉREZ J J, CHIQUITO-CONTRERAS R G, et al. Biocontrol of postharvest fruit fungal diseases by bacterial antagonists: a review. *Agronomy*, 2019,9(3):9030121. DOI:10.3390/agronomy9030121
- [21] ALI A, YEOH W K, FORNEY C, et al. Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018,58(15):2632–2649. DOI:10.1080/10408398.2017.1339180
- [22] YUAN S, WISNIEWSKI M, DROBY S, et al. Recent advances and current status of the use of heat treatments in postharvest disease management systems: Is it time to turn up the heat? *Trends in Food Science & Technology*, 2016,51:34–40. DOI:10.1016/j.tifs.2016.03.004
- [23] ZHANG K X, PU Y Y, SUN D W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): a review. *Trends in Food Science & Technology*, 2018,78:72–82. DOI:10.1016/j.tifs.2018.05.012
- [24] SCHREINER M, KORN M, STENGER M, et al. Current understanding and use of quality characteristics of horticulture products. *Scientia Horticulturae*, 2013,163:63–69. DOI:10.1016/j.scienta.2013.09.027
- [25] KONDO N. Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability. *Trends in Food Science & Technology*, 2010,21(3):145–152. DOI:10.1016/j.tifs.2009.09.002
- [26] ZHANG B H, GU B X, TIAN G Z, et al. Challenges and solutions of optical-based nondestructive quality inspection for robotic fruit and vegetable grading systems: a technical review. *Trends in Food Science & Technology*, 2018,81:213–231. DOI:10.1016/j.tifs.2018.09.018
- [27] ZHAO X D, ZHAO C J, DU X F, et al. Detecting and mapping harmful chemicals in fruit and vegetables using nanoparticle-enhanced laser-induced breakdown spectroscopy. *Scientific Reports*, 2019,9:906. DOI:10.1038/s41598-018-37556-w
- [28] OK G, SHIN H J, LIM M C, et al. Large-scan-area sub-terahertz imaging system for nondestructive food quality inspection. *Food Control*, 2019,96:383–389. DOI:10.1016/j.foodcont.2018.09.035
- [29] 张长峰. 气调包装条件下果蔬呼吸强度模型的研究进展. *农业工程学报*, 2004,20(3):281–285.
ZHANG C F. Research advances on respiration models in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Transactions of the CSAE*, 2004,20(3):281–285. (in Chinese with English abstract)
- [30] 史庆平,李东立,许文才. 基于乙烯含量控制的果蔬保鲜包装技术发展现状. *包装工程*, 2011,32(7):117–121. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2011.07.031
SHI Q P, LI D L, XU W C. Development of fruit and vegetables fresh-keeping packaging technology based on ethylene control. *Packaging Engineering*, 2011,32(7):117–121. (in Chinese with English abstract)
- [31] 许文才,付亚波,李东立,等. 食品活性包装与智能标签的研究及应用进展. *包装工程*, 2015,36(5):1–15. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2015.05.001
XU W C, FU Y B, LI D L, et al. Research and application progress of food active packaging and smart labels. *Packaging Engineering*, 2015,36(5):1–15. (in Chinese with English abstract)
- [32] ABDUL K H P S, BANERJEE A, SAURABH C K, et al. Biodegradable films for fruits and vegetables packaging application: preparation and properties. *Food Engineering Reviews*, 2018,10(3):139–153. DOI:10.1007/s12393-018-9180-3
- [33] 吕佳煜,朱丹实,冯叙桥,等. 智能传感技术及在新鲜果蔬品质检测中的应用. *食品与发酵工业*, 2014,40(11):215–221. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201411037
LÜ J Y, ZHU D S, FENG X Q, et al. Advances on intelligent sensor technology and its application in quality detection of fresh fruit and vegetables. *Food and Fermentation Industries*, 2014,40(11):215–221. (in Chinese with English abstract)
- [34] BADIA-MELIS R, RUIZ-GARCIA L, GARCIA-HIERRO J, et al. Refrigerated fruit storage monitoring combining two different wireless sensing technologies: RFID and WSN. *Sensors*, 2015,15(3):4781–4795. DOI:10.3390/s150304781
- [35] LAZARO A, BOADA M, VILLARINO R, et al. Color measurement and analysis of fruit with a battery-less NFC sensor. *Sensors*, 2019,19(7):s19071741. DOI:10.3390/s19071741
- [36] 沈敏燕,邵举平,翁卫兵,等. 基于数据融合的果蔬类农产品物流信息溯源研究. *科技通报*, 2016,32(11):233–238. DOI:10.13774/j.cnki.kjtb.2016.11.049
SHEN M Y, SHAO J P, WENG W B, et al. Research on the traceability of fruit and vegetable products logistics information based on data fusion. *Bulletin of Science and Technology*, 2016,32(11):233–238. (in Chinese with English abstract)