

## 食品新技术在生鲜农产品供应链绿色保鲜中的应用

郜海燕<sup>1</sup>, 吴伟杰<sup>1</sup>, 穆宏磊<sup>1</sup>, 房祥军<sup>1</sup>, 陈慧芝<sup>1\*</sup>, 杨海龙<sup>2\*</sup>, 陈杭君<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>浙江省农业科学院食品科学研究所 农业农村部果品采后处理重点实验室

浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室 中国轻工业果蔬保鲜与加工重点实验室 杭州 310021

<sup>2</sup>温州大学生命与环境科学院 浙江温州 325035

<sup>3</sup>农业农村部蔬菜采后保鲜与加工重点实验室(部省共建) 杭州 310021)

**摘要** 我国生鲜农产品总产量逐年递增,已成为全球第一大国。为实现由农业大国向农业强国的转变,供应链绿色保鲜技术的发展与应用是其关键所在之一。本文综述农产品供应链发展现状、存在的问题及所面临的挑战,重点介绍食品新技术在生鲜农产品的分级、保鲜、包装、溯源等方面的应用研究进展,提出未来主要研究方向,旨在为推动现代化农产品供应链绿色保鲜技术的应用与发展提供参考。

**关键词** 供应链; 绿色保鲜; 新技术; 生鲜农产品

**文章编号** 1009-7848(2022)09-0001-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.09.001

我国是一个农业大国,农业是国家国民经济的基础和支柱产业。2019年,我国生鲜农产品总产量近12亿t,位居世界首位,其中,蔬菜、水果、肉类、水产品等生鲜农产品产值占农业产业总产值的六成以上<sup>[1]</sup>。农产品供应链包括原料生产、加工、贮藏、运输和销售等各个环节。目前,我国生鲜农产品从产地到消费者的整个供应链中,损耗率高达10%~20%<sup>[2]</sup>。如何降低果蔬等生鲜类产品的损耗,保鲜技术是关键。绿色供应链是现代全链条供应模式,具有环境友好、减损增效、安全优质等特点<sup>[3]</sup>,可实现农产品从“田间到餐桌”的全程质量安全控制。本文综述食品新技术在生鲜农产品供应链绿色保鲜中的应用,重点分析生鲜农产品的分级、保鲜、包装、溯源等方面新技术,为开发绿色、有效、经济的供应链绿色保鲜技术提供参考。

### 1 生鲜农产品供应链

农产品供应链涵盖从生产、采购,到加工、仓储、物流,一直到对终端消费者的零售等,从“田间到餐桌”,由上、下游企业构成的一整条产业链。上世纪50年代初,农产品供应链自发达国家兴起,从80年代资源整合至今,工业化和标准化程度虽高,但食材数目较为单一。我国农产品供应链在“十二五”期间处于起步阶段,零售餐饮企业开始自建配送中心,中餐连锁行业快速发展。到“十三五”期间,我国农产品供应链处于发展阶段,农产品物流系统和综合供应链服务网络逐步完善;净菜加工、中央厨房等产业稳步发展;农产品供应链上各类电商平台不断涌现,产区农产品保鲜能力亟需提升。

随着中美两国战略博弈的升级,以及新冠肺炎疫情的蔓延,供应链稳定、高效和安全的重要性凸显。生鲜农产品供应链主要集中在供给端、物流端和消费端的发展。其中,供给端主要包括种养殖端和生产端。种养殖端增强,以家庭农场、企业化经营和农业合作社为主体的标准化、规模化和品牌化发展,实现移动保鲜、初/深加工、分拣分级等附加功能。在生产端,生产方式由初级加工向精深加工转变,高品质、标准化、特色化的定制加工或成主流。物流端的加强是基于大数据、第5代移动通信技术(5G)、区块链等技术的应用,强化流通端

**收稿日期:** 2022-09-28

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31772042,32001777);  
“十四五”国家重点研发计划课题(2021YFD  
2100502)

**作者简介:** 郜海燕(1958—),女,博士,研究员

**通信作者:** 陈杭君 E-mail: spshangjun@sina.com

杨海龙 E-mail: yhl@wzu.edu.cn

陈慧芝 E-mail: chenhuizhiht@163.com

的农产品安全监管,建立完善的溯源体系,打造高效、安全流通模式和国际/国内物流网络一体化服务体系。在消费端,终端消费者对农产品认知的进一步深化及消费理念的转变,助推农产品供应链服务的升级。

## 2 生鲜农产品供应链保鲜存在的问题

随着食品工业全球化和可持续发展模式的转变,来自食品生产能力、农产品供应链、生态环境等的变化和挑战并存。“乡村振兴”国家战略带动农业加速迈向现代化和数字化,并且农产品供应链保鲜技术也得到不断发展,然而,目前仍存在一些问题:

1) 商品化处理水平低,产后损失严重 产后商品化处理是指农产品采收后进行的挑选、清洗、修整加工、分级、质检、包装、冷藏等处理。生鲜农产品经产后商品化处理,可以显著提高贮藏能力,实现增值。与发达国家相比,我国商品化处理水平偏低,影响产品竞争能力。以果蔬为例,我国商品化处理量仅占总产量的10%,而发达国家高达80%以上。鉴于此,应在生鲜农产品产地就近建设商品化处理相关设备,补齐供应链“最初一公里”短板,提高商品化处理能力,从而达到减少产后损失、延长产后保鲜期的目的。

2) 冷链物流发展不足,损耗大成本高 目前,我国农产品供应链在供给端、物流端和消费端3端均存在系列问题,如:上游源头分散,依然是小农户和现代农业主体并存的局面,规范化程度低;流通过程有农户自主经营模式、超市主导经营模式、专业批发市场定向模式,个性化需求高;下游包括零售商超、餐饮企业、个人商贩等,中小客户居多,菜系繁多,标准化难。其中,物流是打通农产品供应链的基础。由于供应链冗长、冷链物流体系建设尚未完备,农产品经过每层环节后损耗较大,且层层加价,限制了农产品供应链的发展。我国物流尚未达到一体化的程度,无法满足标准冷链物流服务需求,导致供应链效率低。鉴于此,发展全程冷链是增加农产品价值,推动一、二、三产业融合的重要手段。冷链物流的推广重在两头,即供给端和消费端,这也是当前我国供应链非常薄弱的地方。

3) 质量溯源体系不健全,质量安全监管难 农产品供应链的网链结构复杂,涉及的成员和环节众多,难以从整体上对果蔬的质量进行把控。生鲜农产品在多级环节的流通中,溯源信息难保存,安全存在较高隐患。目前,我国供应链质量溯源体系还不健全,各参与主体产生的数据无法通过溯源体系整合,各环节的信息无法实现互通共享,最终导致消费端用户对产品信息无法实现质量追溯。

## 3 食品新技术助力生鲜农产品供应链绿色保鲜

随着经济全球化不断推进,全球食品供应链正经历深度融合,迫切需要依靠食品科技创新,补齐基础研究、关键核心技术等短板,更好地深度参与全球竞争。

### 3.1 分级技术

对农产品进行源头分级,并覆盖全产业链,可以大幅提高农产品商品价值和贮藏品质。农产品分级主要依据外观、风味、理化、营养功能等指标。机械分级通常根据产品直径、质量等进行,是现有市场上应用较多的手段,具有分选效率高、分级准确等优点,然而,存在易造成部分机械损伤的缺点。随着新型检测技术,尤其是计算机视觉、光谱、电特性、电子鼻等无损快速检测技术的发展,农产品分级自动化程度大大提高。Mohd Ali等<sup>[4]</sup>研究表明红外热成像技术能有效识别菠萝品种的理化性质变化,尤其是在10℃条件下的果实,整体分类准确率在97%以上。郝瑞龙等<sup>[5]</sup>采用的箱式近红外光谱仪可通过在果品分级线搭载,建立芒果采摘后SSC、pH值变化和贮放潜力预判的无损检测模型,在果品收购、入库等环节高通量实现基于芒果内部品质的自动分级,预计设备投入运行后的在线检测速度可达5个/s,显著提高了分级效率和准确性,降低了人力成本。Yu等<sup>[6]</sup>采用可见-近红外光谱(Vis-NIR)和近红外光谱(NIR)两种波段范围的高光谱成像系统,结合数据融合和变量选择方法,用优化的模型来实现罗非鱼鱼片中TVB-N含量的可视化分布,从而实现鱼片新鲜度的无损评价。Huang等<sup>[7]</sup>针对猪肉部位难区分的问题,首次提出并构建了一种基于人工智能和计算机视

觉的猪肉部位识别模型,利用迁移学习加快模型的训练,融合多种注意力机制,实现对猪肉部位的精准分类识别。整体而言,农产品分级技术发展需求紧迫,采用智能化的新型传感技术在无损、品质检测方面具有巨大潜力,而集成多传感技术融合的高效、实时、精准分级系统是提升农产品品质的重要发展方向。

### 3.2 保鲜技术

生鲜农产品易腐败变质,经分选分级后,贮藏保鲜技术的应用可有效延长其货架期,提高贮藏品质。通常保鲜技术可分为物理、化学和生物保鲜三大类,其中,化学保鲜剂因效果明显、成本较低而广泛应用,然而,存在易残留的缺点,要求在允许使用剂量范围使用。物理保鲜和生物保鲜技术因具有相对绿色、环保的优点而在农产品中的应用迅速增加。

**3.2.1 物理保鲜技术** 目前市场应用普遍的仍是低温贮藏和气调保鲜法,而低剂量辐射、高压静电场、低温等离子保鲜、磁场处理、负离子、超声波处理、射频处理等多种物理保鲜技术也有较多研究<sup>[8]</sup>。主流新型物理保鲜技术见表 1,对食品的影响见图 1。Hu 等<sup>[9]</sup>研究得出大气等离子体(ACP)有利于蓝莓果实采后保鲜,短时间 ACP 处理( $\leq 15$  min)对硬度、pH 值、ORP(氧化还原电位)和花青素浓度影响较小,而长时间(20 min)处理会导致蓝莓果实果皮发生严重氧化,果实软化,花青素减少,因此适宜短时间处理。高压静电场(HVEF)可改善鲶鱼片的品质和延长货架期,如延缓其感官质量以及脂质和蛋白质氧化的劣化,延迟肌间细胞破裂并扩大细胞间隙,抑制微生物生长,使鲶鱼片 4 °C 保鲜期有效延长 2 d<sup>[10]</sup>。Shen 等<sup>[11]</sup>研究表明等离子体空气处理的杨梅在贮藏(20 °C, 90% RH, 3 d)结束时腐烂指数、真菌种群和细菌种群分别减少 19.72%, 1.69 lg (CFU/g) 和 1.15 lg (CFU/g)。Zhang 等<sup>[12]</sup>发现负离子(NAI)处理 40 min 可降低香菇的褐变指数,维持硬度,延缓衰老;还可增加香菇贮藏过程中风味物质含量,如:丙氨酸、甘氨酸、5'-肌苷酸、八碳醇化合物和环状硫化物等。未来,在保证保鲜品质的前提下,降低物理保鲜成本,提高设备适用性,加大推广力度,是新型物理保鲜技术的重要发展方向。

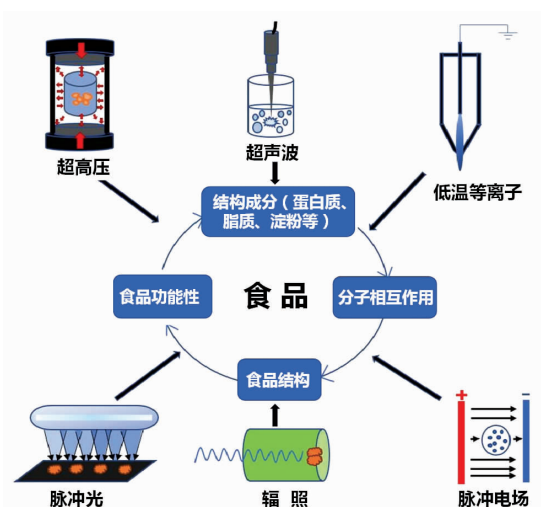


图 1 不同非热物理技术对食品影响的示意图<sup>[8]</sup>

Fig.1 Schematic representation of the impact of different non-thermal physical technologies on food<sup>[8]</sup>

**3.2.2 生物保鲜技术** 生物保鲜技术是采用从动、植物或微生物中提取或由生物技术获得的保鲜剂作用于农产品,作用机制涉及抑制或杀死病原菌;抑制酶的活性,防止发生褐变;形成保护膜覆盖于食品表面而达到保鲜目的等。生物保鲜剂的来源包括植物源(多酚、植物精油等)、动物源(壳聚糖、蜂胶、鱼精蛋白等)和微生物源(Nisin、纳他霉素、曲酸等)。Bag 等<sup>[21]</sup>使用柠檬汁(LJ)、罗勒叶提取物(BE)、薄荷叶提取物(ME)和柠檬草精油(LGEO)复合保鲜剂制备甘蔗汁,通过多目标遗传算法优化保鲜剂配方,使甘蔗汁的 4 °C 保鲜期延长至 26 d。Issa 等<sup>[22]</sup>研究发现百里香精油对单核细胞增多性李斯特菌有抗菌活性,采用甘薯淀粉和蒙脱石纳米粘土作为成膜基材负载百里香精油,用于菠菜叶的保鲜。Ying 等<sup>[23]</sup>从南美白对虾中分离得到 1 株解淀粉芽孢杆菌(PJ),并纯化其抑菌肽(PJAP,分子质量为 3.3 ku,最小抑制质量浓度为 62.5~250  $\mu\text{g}/\text{mL}$ );电镜和流式细胞术显示 PJAP 导致金黄色葡萄球菌细胞膜通透性增加;PJAP 处理可显著延缓草莓在低温贮藏期间的失重率和可滴定酸变化<sup>[23]</sup>。

基因工程技术正成为生鲜农产品贮藏保鲜的重要手段,尤其是近年蓬勃发展的遗传基因编辑技术。Waltz 等<sup>[24]</sup>利用 CRISPR 技术删除导致褐变的多酚氧化酶(PPO),基因组中极少几个碱基,将



表1 物理保鲜技术及其优、缺点

Table 1 Physical preservation technologies and their advantages and disadvantages

物理保鲜技术	主要作用	优、缺点	参考文献
电离辐照: X射线、 $\gamma$ 射线、电子束	除影响 DNA 外,还与细胞膜、细胞质、酶等其它遗传物质发生反应,随机抑制细胞功能,导致微生物死亡	使用剂量存在争议	
辐照	通过形成干扰 DNA 复制的损伤或嘧啶二聚体来灭活微生物,260~265 nm 是导致细胞中 DNA 损失效果最佳的波长范围		[13],[14]
非电离辐照: UV-A、UV-B、UV-C	抑制金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和沙门氏菌	成本低廉,光化学效应杀菌效果潜力巨大;光热效应易影响品质	[15]
脉冲光	杀灭单核增生李斯特菌;促进次生代谢	对样品形状无选择,处理均一;投资较大,维修成本高	[16]
高压静电场	使用带电的高反应性气体分子和物质来抑制细菌、酵母、霉菌;抑制褐变;促进次生代谢	可直接,也可将其形成活性水处理样品;含有的活性粒子带争议	[17],[18]
低温等离子体	使生物组织产生“电磁效应”,改变分子取向和电子自旋极化;影响能量传递、物质交换和新陈代谢	操作简便、无毒无害;磁场对于食品保鲜的效果缺乏一致性	[19]
磁场处理	空穴效应在液体中产生瞬间高温、高压,造成温度和压力的变化,使某些细菌致死、病毒失活	耗时少、效率高、无污染,常与抑菌剂配合使用	[20]
超声波			

PPO 活性降低 30%, 故获得具有抗褐变能力的双孢菇, 这是第 1 例得到美国政府上市许可的 CRISPR 基因组编辑生物, 具有里程碑式的意义。Yang 等<sup>[25]</sup>从 5 个健康玉米品种的种子中分离出 7 个内生菌菌株, 采用 16S rRNA 和 *gyrA* 基因系统发育分析的多相分类法鉴定为贝雷森芽孢杆菌, 对 3 种病原菌菌株(真菌鞭毛霉菌 4 号、草酸青霉菌 5 号和黄曲霉病菌 6)拮抗效果良好, 具有作为保鲜用生物菌株的潜力。Aghdam 等<sup>[26]</sup>研究了 150 nmol/L 植物磺基因子  $\alpha$ (PSK $\alpha$ )延缓西兰花冷藏期小花变黄的作用机制, 结果表明, PSK $\alpha$  处理的小花 SUMO E3 连接酶(SIZ1)基因表达较高, 该小花表现出较高的内源性细胞分裂素积累, 这可能来自异戊烯基转移酶基因的较高表达, 同时伴随细胞分裂素氧化酶基因的较低表达。随着生物保鲜技术研究的深入, 相信未来高效生物保鲜剂将在农产品供应链中得到极大地推广应用。

3.2.3 复合保鲜技术 单一保鲜技术不一定能满足消费者日益升级的高品质需求, 采用两种及以

上保鲜方式进行复合保鲜, 可达到协同保鲜效果。王帆等<sup>[27]</sup>采用天然抑菌剂丁香酚协同高功率脉冲微波冷杀菌处理, 可显著降低河蟹肉贮藏过程中菌落总数和挥发性盐基氮含量的升高。采用高功率脉冲微波冷杀菌技术以及天然植物源抑菌剂丁香酚对河蟹肉样品进行保鲜处理。Shi 等<sup>[28]</sup>用纳米保鲜膜对鲜香菇进行包装后, 进行物理(超声+ $\gamma$ 辐照)联合技术处理, 分析贮藏工艺对微生物降解规律、子实体抗氧化能力的影响, 探究香菇子实体中水分损失调控机制。Zhao 等<sup>[29]</sup>利用脉冲磁场联合冷水冲击处理可有效延缓黄瓜采后品质劣变, 抑制呼吸作用, 减少失重、腐烂率以及颜色的改变, 6℃贮藏期达 13 d。Wang 等<sup>[30]</sup>采用超声辅助柠檬酸和 Nisin 清洗鲜切芦笋, 显著降低了初始微生物数量, 此外, 联合肉桂精油熏蒸处理抑制贮藏过程中微生物的生长, 结果鲜切芦笋 4℃贮藏期可延长至 20 d。Zhang 等<sup>[31]</sup>通过高压静电场(HVEF)处理与气调包装(MAP)相结合对小白菜进行保鲜, 结果其保鲜期延长至 40 d, 而单一 MAP 组的

小白菜保鲜期不超过 25 d。Fan 等<sup>[32]</sup>研究发现超声波处理联合 MAP 抑制了冷藏期间鲜切黄瓜菌落总数、霉菌和酵母菌生长,延缓失重率、MDA 含量的上升。

### 3.3 包装技术

**3.3.1 活性包装** 包装直接影响食品品质和卫生安全。活性包装是指在包装材料中含有抑菌剂、抗氧化剂、水分吸附剂等活性物质,在保护食材基础上,还具有抑制微生物生长或酶促反应等功能,从而有效延长包装食品货架期的一种新型包装。Vieira 等<sup>[33]</sup>对比了绿茶提取物、迷迭香提取物、肉桂提取物、茴香提取物、丁香提取物、香蜂草提取物和姜黄素等植物提取物的抗菌性、抗氧化性和热稳定性等性质,结果表明绿茶提取物、迷迭香提取物和姜黄素作为天然添加剂掺入低密度聚乙烯中制备的活性包装薄膜性能最佳。Shi 等<sup>[34]</sup>以聚乳酸(PLA)和聚己内酯(PCL)静电纺纳米纤维为原料,加入牛至油(OEO)负载 $\beta$ -环糊精( $\beta$ -CD)作为活性食品包装材料,延缓了黑莓采后腐烂、变质和贮藏品质劣变。Zhao 等<sup>[35]</sup>利用碳点(CDs)增强 PVA 薄膜作为活性包装材料,提升了薄膜的紫外线阻隔性能、抗氧化和抗菌性,如采用 0.50% CDs/PVA 膜为活性包装,香蕉、红枣和炸肉丸的保质期得到显著延长。壳聚糖、淀粉、纤维素等天然物质作为包装材料基材也有很大优势:来源丰富、安全无毒、可降解等。在生物基材料中添加抗氧化剂、抗菌剂等不同活性物质后用于食品保鲜贮藏,可有效延长包装食品保质期,提高包装食品的品质。图 2 汇总了用于食品包装的生物活性剂。Zhou 等<sup>[36]</sup>采用 PLLA(聚乳酸)或壳聚糖多孔微球作为虫胶膜中的气体“开关”或“气孔”,调节  $O_2$ 、 $CO_2$  和  $H_2O$  的渗透性和  $CO_2/O_2$  的选择性,如将单宁酸-壳聚糖多孔微球(TA-CSPMs)嵌入虫胶基质,增加抑菌性,用作水果保鲜的涂层或包装膜,均显著延长了具有不同呼吸代谢的 5 种水果(橘子、芒果、杨梅、草莓和樱桃)的保质期。

二氧化钛( $TiO_2$ )纳米管有优异的光催化活性、稳定性和生物相容性。由于其高的表面能和纳米级的粗糙度,在紫外光下表现出优异的抗菌性能,减少了细菌在薄膜上的黏附。Ezati 等<sup>[38]</sup>采用溶剂-凝胶法合成了掺杂 Cu 的二氧化钛( $Cu-TiO_2$ ),



图 2 应用于食品包装的生物活性剂<sup>[37]</sup>

Fig.2 Bioactive agents for food packaging applications<sup>[37]</sup>

并将其作为纳米填料制备羧甲基纤维素(CMC)基活性包装膜。研究表明,该包装膜能有效延缓香蕉的褐变,同时,CMC/Cu-TiO<sub>2</sub>薄膜具有强大的抗菌和可见光下清除乙烯的能力,在食品包装方面具有很高的应用潜力,特别是在延长水果的货架期方面。其进一步用 CuO 对 TiO<sub>2</sub> 进行改性,然后将纳米颗粒加入卡拉胶膜中,以增加拉伸强度、水蒸气屏障、UV 阻断和抗菌功能,结果表明,在可见光下,改性 TiO<sub>2</sub>-CuO 复合卡拉胶薄膜的抗菌活性明显高于添加 TiO<sub>2</sub> 的薄膜,该活性包装膜可将香蕉 20 °C 保鲜期延长至 12 d<sup>[39]</sup>。Aytac 等<sup>[40]</sup>研发了新型酶和相对湿度响应型抗菌纤维包装,由玉米醇溶蛋白、淀粉和纤维素纳米晶为成膜材料,百里香精油、柠檬酸和乳酸链球菌素为天然抗菌化合物。当包装暴露于湿度增大或有害菌增多的环境时,就会释放天然抗菌化合物,杀死大肠杆菌和李斯特菌等常见有害细菌。此外,在 95% 相对湿度条件下,包装释放的抗菌物质比在 50% 相对湿度条件下的更多,大肠杆菌数量因此大减。这种纤维食品包装让新鲜水果保质期延长 2~3 d。比如,草莓在普通塑料盒里仅保鲜 4 d,而在新材料包装中可保鲜 7 d。研究<sup>[41]</sup>表明,生物聚合物一般存在热稳定性低、机械性能低、气体和蒸汽渗透性低等缺点,其与其它材料复合使用或进行改性可以提高膜性能,因此生物聚合物与纳米材料相结合的创新技术为开发具有卓越性能的活性包装材料提供了新思路。

3.3.2 智能包装 智能包装是目前兴起的一种新型包装技术,带动了食品包装技术的革新,有助于满足消费者对“安全”食品 and 高品质产品的市场需求。智能包装能够自动监测、传感、记录和溯源生鲜农产品供应链物流过程中所经历的内、外环境的变化或包装物特性的变化<sup>[42]</sup>。智能包装不仅能保护产品,还能提供对包装条件和/或食品品质改变的实时响应信号。智能包装主要通过传感器(Sensors)、指示剂(Indicators)和无线射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)等技术实现<sup>[43]</sup>,如图3所示。包装上的传感器或指示剂能与食品新鲜度相关的特征物质(硫化氢、乙烯、挥发胺、挥发性有机化合物等)和包装泄漏相关的气体(二氧化碳、氧气等)进行反应<sup>[44]</sup>,从而达到无损在线检测的目的。近年来,通过包装内新鲜度指示剂与食品贮藏过程中释放的某些特征气体发生反应,引起智能包装标签颜色变化来判断生鲜鱼、肉制品新鲜度的报道较多,而智能包装技术用于检测果蔬成熟度和新鲜度的研究报道相对较少,尤其是在蔬菜中的应用鲜有报道。Chen等<sup>[45]</sup>研发了基于混合合成指示剂的智能包装标签对鲜切青椒

(呼吸跃变型蔬菜)新鲜度可视化无损检测方法,标签颜色范围为黄绿色(表示可食用)到橙色(表示腐败)。随后,还使用纳米纤维素纤维增强聚乙烯醇膜负载茜素,制备对酸性气体敏感的指示膜,在碱性和中性条件下为紫色,当暴露于酸性蒸汽时,膜变为黄色<sup>[46]</sup>。Guo等<sup>[47]</sup>采用壳聚糖颗粒负载20多种pH值敏感性指示剂材料,构建了对于挥发性盐基氮等敏感的彩色条码,同时深度卷积神经网络学习(超过4100张彩色条码变化图片),通过手机扫描,实现了对鸡肉、鱼肉、牛肉等肉制品的品质监测,准确率可达98.5%。

新鲜度指示型智能包装技术主要存在以下问题:1)材料的安全隐患。新鲜度指示剂最初主要采用合成色素,可能存在指示剂迁移问题,对食品具有安全隐患。2)指示灵敏度低。现有颜色响应材料易受酸碱度、湿度、温度等环境因素的影响而造成指示偏差。3)适用范围窄。当前绝大多数新鲜度指示剂仅对一种特定食品对象有效。鉴于此,新鲜度指示型智能包装标签材料的研究逐步转向安全性高的天然色素和天然可降解材料。纳米材料、聚乙烯醇、聚乳酸作为增强剂在聚合物中应用,有望改

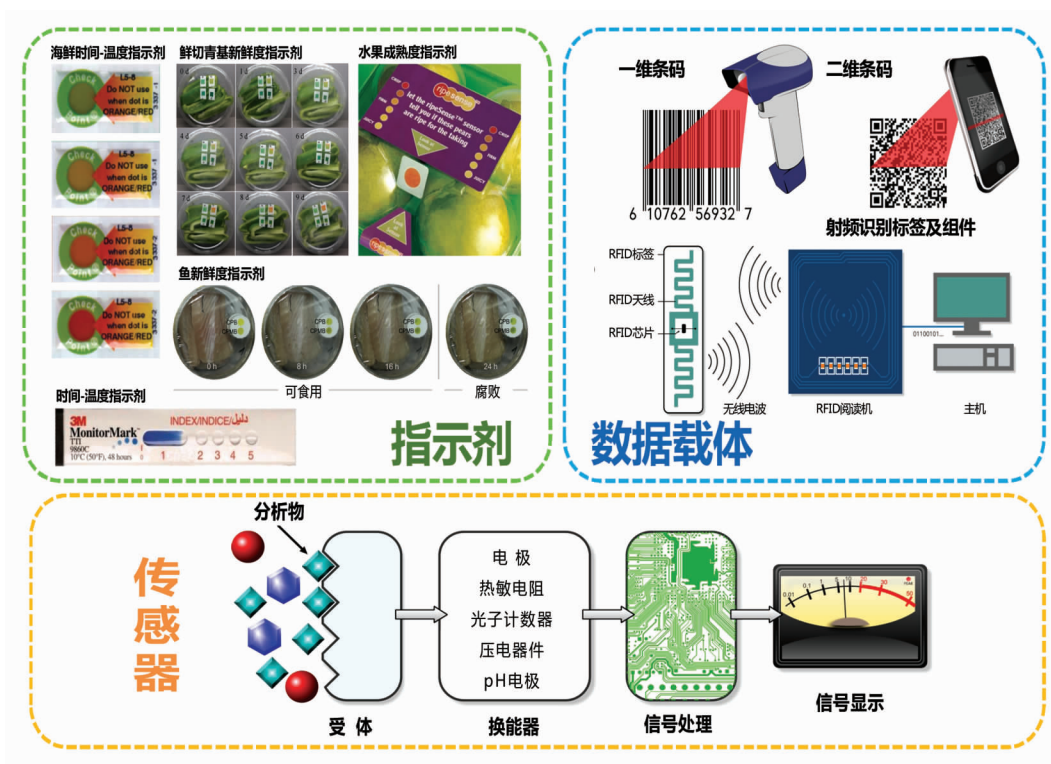


图3 智能包装系统的三大技术<sup>[55-56]</sup>

Fig.3 Three major technologies of intelligent packaging system<sup>[55-56]</sup>



善膜材料的机械性能和阻隔性能等理化性质,为智能包装开发提供帮助。如姜黄素或花青素-塔拉胶/纳米纤维素复合膜<sup>[48-49]</sup>、花青素-沙蒿胶基复合膜<sup>[50]</sup>和花青素-淀粉/聚乙烯醇基复合膜<sup>[51-52]</sup>,这些凝胶膜型指示剂在猪肉、虾肉、鱼肉、牛奶等生鲜农产品的鲜度指示型智能包装标签中有巨大的应用价值。Huang 等<sup>[53]</sup>以紫草根中提取的天然染料(紫草素和紫珠草脂素,酸性条件中呈红色,碱性条件中呈紫红色,属蒽醌类色素)作 pH 值指示剂,以琼脂为基材制备鱼类鲜度膜型指示剂,其外层采用聚四氟乙烯薄膜以防止膜型指示剂受潮。Chen 等<sup>[54]</sup>研制了基于花青素/姜黄素混合天然色素的淀粉/聚乙烯醇基膜型指示剂,并成功用于鱼肉鲜度的可视化无损检测,与单一花青素膜型指示剂相比,混合天然色素膜型指示剂的稳定性更佳。

RFID 是一种基于射频识别标签进行通信的自动识别系统,主要用于产地溯源和供应链管理等方面,以达到品质监督的目的<sup>[57]</sup>。国内外已有关于射频识别标签用于牛<sup>[58]</sup>、猪<sup>[59]</sup>等活体动物从出生到屠宰以及贮藏全链条的报道。Gautam 等<sup>[60]</sup>设计一种用于猕猴桃供应链溯源的 RFID 标签,可通过在供应链早期阶段追踪易腐烂水果的交付风险,从而降低成本。Alfian 等<sup>[61]</sup>提出一种利用 RFID 和物联网(IoT)传感器的可追溯性系统跟踪和追溯易腐食品。利用物联网传感器测量储存和运输过程中的温度和湿度,同时将机器学习模型集成到 RFID 标签,有效提高了可追溯性系统的效率。

### 3.4 溯源技术

食品安全溯源体系,最早是 1997 年欧盟为应对“疯牛病”问题而逐步建立并完善起来的食品安全管理制度。随着消费者对高质量和健康食品需求的增加,加快了对食品物流管理与可追溯性系统的研发。食品工厂生产追溯系统框架如图 4 所示。越来越多的传感技术被广泛应用在食品和食品成分的掺伪、来源和溯源等方面。Dong 等<sup>[62]</sup>提出了结合近红外光谱(900~1 700 nm)成像技术的 2D-COS 算法来有效区分近地缘枸杞的产地来源,使用图谱融合优化数据模型获得良好的预测准确度,其中基于 iVISSA 特征波长融合纹理数据集的 CNN 判别模型表现最佳,校正集和预测集精

度分别达 100%和 97.71%。无机元素的特征组成受到土壤组成和当地环境的影响,某些地区可能有特定的元素指纹,为农产品产地溯源提供了依据。Mottese 等<sup>[63]</sup>采用电感耦合等离子体四级杆质谱(ICP-qMS)测定牛肝菌中的常量和微量元素,利用多元素筛选的化学计量学和创新多维数据分析进行牛肝菌产地溯源,结果表明:使用少量元素(Mg、Mn 和 Fe)数据集建立逐步典型判别分析、分类回归树和偏最小二乘判别分析分类模型,实现了产地溯源。Nie 等<sup>[64]</sup>对我国 6 个省或主要产区栽培的大蒜样品进行稳定同位素比率( $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  和  $\delta^{34}\text{S}$ )、生物元素(C、N 和 S)含量和含硫化合物(8 种含量硫成分和 2 种氨基酸)的表征,并利用这些特征建立了两种模式识别模型(PLS-DA 和 k-NN),为鉴定我国大蒜的起源识别提供了一种新方法。Xue 等<sup>[65]</sup>以同时含有外骨骼和肌肉组织的第 3 步足为“靶组织”,以矿质元素“指纹”作为品质评价的重要指标,有效掌握了“指纹”在原产蟹中的形成规律,以及与“实验洗澡”蟹的动态差异性。在湖区养殖了 1 个月后“实验洗澡”蟹的“指纹”虽也会发生变化,但仍无法形成原产蟹的“指纹”特征。依据该“指纹”的差异,对两者可准确鉴别。

传统冷链物流存在数据集中存储、数据可靠性低、数据易篡改、责任人难以定位等问题,导致消费者权益无法保障。针对这些问题,研究人员提出一种基于区块链的生鲜农产品冷链物流可追溯系统。区块链指按照时间顺序,将数据组成链式数据结构,将农产品供应链中各个节点的信息按物理流动的顺序存储在其区块中,具有安全稳定、透明可信、防篡改、可追溯、去中心化特点<sup>[66]</sup>。同时使用联盟链和私有链,以确保产品溯源系统不仅具有一定的开放性,而且必须包含足够的隐私和安全性。联盟链主要用于查询和共享产品追溯信息<sup>[67]</sup>。物联网(IoT)指将各种信息传感设备与网络结合而形成的一个巨大网络,可实现对物体数字化的可靠映射。通过在供应链中使用支持物联网(IoT)的传感器和通信技术来监控温度、相对湿度(RH)、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  和振动/冲击等参数,有助于优化产品质量,从而减少产品拒收和损失<sup>[68]</sup>。物联网与云计算技术、各种传感技术的应用和组合,正在推动

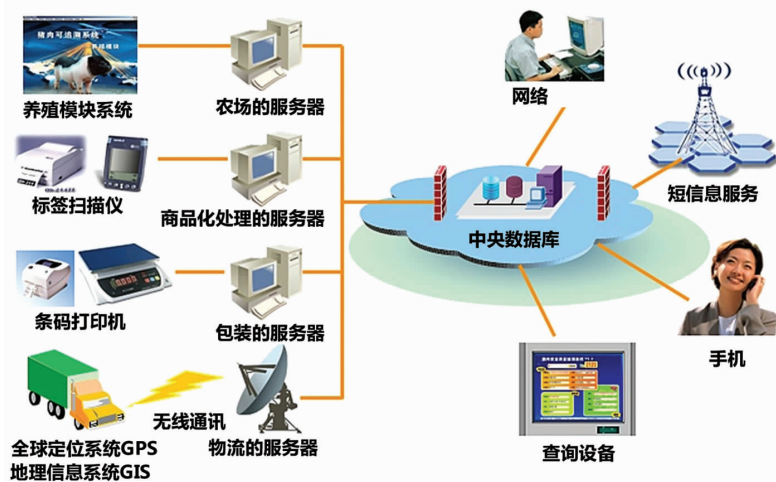


图4 食品工厂生产追溯系统框架示意图<sup>[59]</sup>

Fig.4 Schematic diagram of traceability system framework for food factory production<sup>[59]</sup>

传统食品工业向智能食品系统发展<sup>[69]</sup>。物联网结合区块链技术可保障数据真实，未来的大规模应用有望为供应链有效溯源提供保障。

#### 4 展望

近年来，农产品产后的保鲜研究不再局限于静态贮藏，已开始覆盖供给端、物流端和消费端等供应链全过程。本文从分级、贮藏保鲜、包装、溯源等多个环节总结近年来农产品新型保鲜技术。未来，生鲜农产品供应链绿色保鲜可从以下方面突破：

1) 注重营养品质的保持 生鲜农产品供应链绿色保鲜的重心在于产品源头及物流各环节的品质把控，实现仓储保鲜冷链物流，聚焦最初一公里和最后一公里冷链物流设施与装备短板。

2) 技术装备和信息化完美融合 人工智能、大数据、云计算等信息技术快速融入供应链绿色保鲜工艺与装备制造领域，供应链迎来大变革，未来将是一个包装功能化、物流自动化、控制智能化、管理网络化的时代。

3) 多学科交叉融合创新提升核心竞争力 基因组、转录组、蛋白组、代谢组等食品组学将成为引领供应链绿色保鲜研究的必要工具。基于合成生物学、基因编辑、细胞工程、生物反应工程等的新兴食品生物技术将成为重要技术手段。利用基因编辑、大数据、物联网、区块链、工业机器人、智能传感器、虚拟现实等技术与食品科学的交叉融

合，使未来农产品产业呈现绿色、高效、智慧、精准、多元的新业态。

#### 参 考 文 献

- [1] 农业农村部农产品冷链物流标准化技术委员会. 农产品产地冷藏保鲜设施建设参考技术方案(2021)[EB/OL]. (2021-04-27)[2022-09-22]. <http://nyncct.gxzf.gov.cn/xxgk/jcxxxgk/wjzl/gntbf/P020211008383406194501.pdf>, 2021.  
Product Cold Chain Logistics Standardization Technical Committee, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Reference technical scheme for construction of refrigeration and fresh-keeping facilities in agricultural product producing areas (2021)[EB/OL]. (2021-04-27)[2022-09-22]. <http://nyncct.gxzf.gov.cn/xxgk/jcxxxgk/wjzl/gntbf/P020211008383406194501.pdf>, 2021.
- [2] 翟世贤, 彭超. 农产品冷链建设成绩、瓶颈和发展建议[EB/OL]. (2022-08-31)[2022-09-22]. [http://www.scs.moa.gov.cn/gzdt/202208/t20220831\\_6408216.htm](http://www.scs.moa.gov.cn/gzdt/202208/t20220831_6408216.htm).  
ZHAI S X, PENG C. Achievements, bottlenecks and development suggestions for cold chain construction of agricultural products[EB/OL]. (2022-08-31)[2022-09-22]. [http://www.scs.moa.gov.cn/gzdt/202208/t20220831\\_6408216.htm](http://www.scs.moa.gov.cn/gzdt/202208/t20220831_6408216.htm).
- [3] SORIA - LOPEZ A, GARCIA - PEREZ P, CARPENNA M, et al. Challenges for future food systems:



- from the green revolution to food supply chains with a special focus on sustainability[J/OL]. *Food Frontiers*, (2000-09-27)[2022-08-31]. <https://doi.org/10.1002/fft2.173>.
- [4] MOHD ALI M, HASHIM N, ABD AZIZ S, et al. Quality prediction of different pineapple (*Ananas comosus*) varieties during storage using infrared thermal imaging technique[J]. *Food Control*, 2022, 138: 108988.
- [5] 郝瑞龙, 鲁任翔, 王哲, 等. 基于近红外光谱的芒果采后品质与贮藏潜力预判的无损检测模型[J/OL]. *热带作物学报*, (2022-07-05)[2022-09-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20220704.1550.002.html>.
- HAO R L, LU R X, WANG Z, et al. Near-infrared spectroscopy nondestructive testing model for mango fruit quality assay and storage potential prediction[J/OL]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, (2022-07-05)[2022-09-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20220704.1550.002.html>.
- [6] YU H D, QING L W, YAN D T, et al. Hyperspectral imaging in combination with data fusion for rapid evaluation of tilapia fillet freshness[J]. *Food Chemistry*, 2021, 348: 129129.
- [7] HUANG H, ZHAN W, DU Z, et al. Pork primal cuts recognition method via computer vision[J]. *Meat Science*, 2022, 192: 108898.
- [8] BARBHUIYA R I, SINGHA P, SINGH S K. A comprehensive review on impact of non-thermal processing on the structural changes of food components[J]. *Food Research International*, 2021, 149: 110647.
- [9] HU X, SUN H, YANG X, et al. Potential use of atmospheric cold plasma for postharvest preservation of blueberries[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 179: 111564.
- [10] HUANG H, SUN W, XIONG G, et al. Effects of HVEF treatment on microbial communities and physicochemical properties of catfish fillets during chilled storage[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2020, 131: 109667.
- [11] SHEN C, RAO J, WU Q, et al. The effect of indirect plasma-processed air pretreatment on the microbial loads, decay, and metabolites of Chinese bayberries[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 150: 111998.
- [12] ZHANG S, FANG X, WU W, et al. Effects of negative air ions treatment on the quality of fresh shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during storage[J]. *Food Chemistry*, 2022, 371: 131200.
- [13] BISHT B, BHATNAGAR P, GURURANI P, et al. Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables - a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 114: 372-385.
- [14] XU D, ZHANG H, ZHANG L, et al. Effects of electron beam irradiation on quality of weever fillets during refrigerated storage[J]. *Food Frontiers*, 2021, 2(4): 519-526.
- [15] REN M, YU X, MUJUMDAR A S, et al. Visualizing the knowledge domain of pulsed light technology in the food field: A scientometrics review[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, 74: 102823.
- [16] QI M, ZHAO R, LIU Q, et al. Antibacterial activity and mechanism of high voltage electrostatic field (HVEF) against *Staphylococcus aureus* in medium plates and food systems[J]. *Food Control*, 2021, 120: 107566.
- [17] ZHOU R, REZAEIMOTLAGH A, ZHOU R, et al. In-package plasma: From reactive chemistry to innovative food preservation technologies[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 120: 59-74.
- [18] GANESAN A R, TIWARI U, EZHILARASI P N, et al. Application of cold plasma on food matrices: A review on current and future prospects[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(1): e15070.
- [19] GUO L, AZAM S M R, GUO Y, et al. Germicidal efficacy of the pulsed magnetic field against pathogens and spoilage microorganisms in food processing: An overview[J]. *Food Control*, 2022, 136: 108496.
- [20] KHAIRE R A, THORAT B N, GOGATE P R. Applications of ultrasound for food preservation and disinfection: A critical review[J/OL]. *Journal of Food Processing and Preservation*, (2021-10-24)[2022-09-22]. <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.16091>.
- [21] BAG B B, PANIGRAHI C, GUPTA S, et al. Efficacy of plant-based natural preservatives in extending shelf life of sugarcane juice: Formulation optimization by MOGA and correlation study by princi-

- pal component analysis[J]. Applied Food Research, 2022, 2(2): 100164.
- [22] ISSA A, IBRAHIM S A, TAHERGORABI R. Impact of sweet potato starch-based nanocomposite films activated with thyme essential oil on the shelf-life of baby spinach leaves[J]. Foods, 2017, 6(6): 43.
- [23] YING T, WU P, GAO L, et al. Isolation and characterization of a new strain of *Bacillus amyloliquefaciens* and its effect on strawberry preservation[J]. LWT – Food Science and Technology, 2022, 165: 113712.
- [24] WALTZ E. Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation[J]. Nature, 2016, 532(7599): 293–293.
- [25] YANG F, ZHANG R, WU X, et al. An endophytic strain of the genus *Bacillus* isolated from the seeds of maize (*Zea mays* L.) has antagonistic activity against maize pathogenic strains[J]. Microbial Pathogenesis, 2020, 142: 104074.
- [26] AGHDAM M S, FLORES F B. Employing phytosulfokine alpha (PSK $\alpha$ ) for delaying broccoli florets yellowing during cold storage [J]. Food Chemistry, 2021, 355: 129626.
- [27] 王帆, 张亚新, 杨计林, 等. 高功率脉冲微波协同丁香酚对河蟹肉的保鲜作用[J]. 中国食品学报, 2022, 22(6): 251–258.
- WANG F, ZHANG Y X, YANG J L, et al. River crab (*Eriocheirsinensis*) preserved with high power pulsed microwave and eugenol[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(6): 251–258.
- [28] SHI D, YIN C, FAN X, et al. Effects of ultrasound and gamma irradiation on quality maintenance of fresh *Lentinula edodes* during cold storage [J]. Food Chemistry, 2022, 373(Pt B): 131478.
- [29] ZHAO S, YANG Z, ZHANG L, et al. Effect of combined static magnetic field and cold water shock treatment on the physicochemical properties of cucumbers[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 217: 24–33.
- [30] WANG M, LI J, FAN L. Quality changes in fresh-cut asparagus with ultrasonic-assisted washing combined with cinnamon essential oil fumigation [J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 187: 111873.
- [31] ZHANG X J, ZHANG M, LAW C L, et al. High-voltage electrostatic field-assisted modified atmosphere packaging for long-term storage of pakchoi and avoidance of off-flavors[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2022, 79: 103032.
- [32] FAN K, ZHANG M, and JIANG F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 162–170.
- [33] VIEIRA D M, PEREIRA C, CALHELHA R C, et al. Evaluation of plant extracts as an efficient source of additives for active food packaging[J]. Food Frontiers, 2022, 3(3): 480–488.
- [34] SHI C, ZHOU A, FANG D, et al. Oregano essential oil/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion compound polylactic acid/polycaprolactone electrospun nanofibers for active food packaging[J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 445: 136746.
- [35] ZHAO L, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Preparation of a novel carbon dot/polyvinyl alcohol composite film and its application in food preservation[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2022, 14(33): 37528–37539.
- [36] ZHOU Z, MA J, LI K, et al. A Plant leaf-mimetic membrane with controllable gas permeation for efficient preservation of perishable products [J]. ACS Nano, 2021, 15(5): 8742–8752.
- [37] ASGHER M, QAMAR S A, BILAL M, et al. Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials[J]. Food Research International, 2020, 137: 109625.
- [38] EZATI P, RIAHI Z, and RHIM J-W. CMC-based functional film incorporated with copper-doped TiO<sub>2</sub> to prevent banana browning[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 122: 107104.
- [39] EZATI P, RIAHI Z, and RHIM J-W. Carrageenan-based functional films integrated with CuO-doped titanium nanotubes for active food-packaging applications[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2021, 9(28): 9300–9307.
- [40] AYTAC Z, XU J, RAMAN PILLAI S K, et al. Enzyme- and relative humidity-responsive antimicrobial fibers for active food packaging[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2021, 13(42): 50298–50308.

- [41] JAYAKUMAR A, RADOOR S, KIM J T, et al. Recent innovations in bionanocomposites-based food packaging films – A comprehensive review[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2022, 33: 100877.
- [42] YAM K L, TAKHISTOV P T, and MILTZ J. Intelligent packaging: Concepts and applications[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): R1–R10.
- [43] VANDERROOST M, RAGAERT P, DEVLIEGHERE F, et al. Intelligent food packaging: The next generation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 39(1): 47–62.
- [44] SOLTANI FIROUZ M, MOHI-ALDEN K, and O-MID M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development[J]. Food Research International, 2021, 141: 110113.
- [45] CHEN H-Z, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell pepper[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 140: 85–92.
- [46] CHEN H Z, ZHANG M, RAO Z M. Development of cellulose nanofibrils reinforced polyvinyl alcohol films incorporated with alizarin for intelligent food packaging[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 56(9): 4248–4257.
- [47] GUO L, WANG T, WU Z, et al. Portable food-freshness prediction platform based on colorimetric barcode combinatorics and deep convolutional neural networks[J]. Advanced Materials, 2020, 32(45): e2004805.
- [48] MA Q, DU L, and WANG L. Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH<sub>3</sub> indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2017, 244: 759–766.
- [49] MA Q and WANG L. Preparation of a visual pH-sensing film based on tara gum incorporating cellulose and extracts from grape skins[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2016, 235: 401–407.
- [50] LIANG T, SUN G, CAO L, et al. Rheological behavior of film-forming solutions and film properties from *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and purple onion peel extract[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 82: 124–134.
- [51] ZHAI X, SHI J, ZOU X, et al. Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 308–317.
- [52] ZHANG J, ZOU X, ZHAI X, et al. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 306–312.
- [53] HUANG S, XIONG Y, ZOU Y, et al. A novel colorimetric indicator based on agar incorporated with *Arnebia euchroma* root extracts for monitoring fish freshness[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 198–205.
- [54] CHEN H-Z, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105438.
- [55] CHEN H Z, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell pepper[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 140: 85–92.
- [56] AZEREDO H M C, CORREA D S. Smart choices: Mechanisms of intelligent food packaging[J]. Current Research in Food Science, 2021, 4: 932–936.
- [57] SGARBOSSA F, RUSSO I. A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 183: 596–606.
- [58] WANG Z, FU Z, CHEN W, et al. A RFID-based traceability system for cattle breeding in China: 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM 2010) [C/OL]. IEEE, 2010 (2010-11-04)[2022-09-22]. DOI: 10.1109/ICCSM.2010.5620675.
- [59] BAI H, ZHOU G, HU Y, et al. Traceability technologies for farm animals and their products in China[J]. Food Control, 2017, 79: 35–43.
- [60] GAUTAM R, SINGH A, KARTHIK K, et al. Traceability using RFID and its formulation for a kiwifruit supply chain[J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 103: 46–58.
- [61] ALFIAN G, SYAFRUDIN M, FAROOQ U, et al. Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model[J]. Food Control, 2020, 110: 107016.



- [62] DONG F, HAO J, LUO R, et al. Identification of the proximate geographical origin of wolfberries by two-dimensional correlation spectroscopy combined with deep learning[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, 198: 107027.
- [63] MOTTESE A F, FEDE M R, CARIDI F, et al. Chemometrics and innovative multidimensional data analysis (MDA) based on multi-element screening to protect the Italian porcino (*Boletus sect. Boletus*) from fraud[J]. *Food Control*, 2020, 110: 107004.
- [64] NIE J, WENG R, LI C, et al. Chemometric origin classification of Chinese garlic using sulfur-containing compounds, assisted by stable isotopes and bioelements[J]. *Food Chemistry*, 2022, 394: 133557.
- [65] XUE J, JIANG T, CHEN X, et al. Multi-mineral fingerprinting analysis of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in Yangcheng Lake during the year-round culture period[J]. *Food Chemistry*, 2022, 390: 133167.
- [66] ZHANG Y, CHEN L, BATTINO M, et al. Blockchain: An emerging novel technology to upgrade the current fresh fruit supply chain[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 124: 1–12.
- [67] ZHANG X, SUN Y, SUN Y. Research on cold chain logistics traceability system of fresh agricultural products based on blockchain[J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2022: 1957957.
- [68] LAMBERTY A, KREYENSCHMIDT J. Ambient parameter monitoring in fresh fruit and vegetable supply chains using internet of things-enabled sensor and communication technology[J]. *Foods*, 2022, 11(12): 1777.
- [69] CHAPMAN J, POWER A, NETZEL M E, et al. Challenges and opportunities of the fourth revolution: a brief insight into the future of food[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(10): 2845–2853.

## The Application of New Food Technology in Fresh Agricultural Product Supply Chain Green Preservation

Gao Haiyan<sup>1</sup>, Wu Weijie<sup>1</sup>, Mu Honglei<sup>1</sup>, Fang Xiangjun<sup>1</sup>, Chen Huizhi<sup>1\*</sup>, Yang Hailong<sup>2\*</sup>, Chen Hangjun<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Post-harvest Handling of Fruits, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Fruits and Vegetables, China National Light Industry, Hangzhou 310021*

<sup>2</sup>*College of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou 325035, Zhejiang*

<sup>3</sup>*Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Vegetables (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou 310021*

**Abstract** China has become the largest country of agricultural products production with the increase of the total output of fresh agricultural products year by year. To realize the transformation from a large agricultural country to an agricultural power, the development and application of green preservation technology in the supply chain is one of the key contents. Based on the development and challenges of agricultural product supply chain, the application and research progress of new food technologies in the green preservation of fresh agricultural product supply chain including sorting, preservation, packaging, traceability, etc., are reviewed, and the main research directions for future development are proposed in this paper. The aim of this review is to promote the application and development of green preservation technology in modern agricultural supply chain.

**Keywords** supply chain; green preservation; new technology; fresh agricultural products