

# 生鲜农产品冷链物流包装技术研究及应用

## Research and application progress of cold-chain logistics packaging technology of fresh agricultural products

向明月

XIANG Mingyue

(湖南现代物流职业技术学院, 湖南 长沙 410131)

(Hunan Modern Logistics College, Changsha, Hunan 410131, China)

**摘要:** 冷链物流包装技术对于易腐食品链(如肉类、鱼类、乳制品、水果和蔬菜产品)以及制药行业的某些产品(如疫苗、生物医药和血液制品)的运作至关重要。未来生鲜农产品冷链物流包装将趋于高性能、环保化、数字化发展。文章通过综述近年来用于生鲜农产品冷链物流上的包装技术,分析不同包装材料特性、使用价值、应用范围、技术优缺点,并通过对潜在的农产品冷链物流包装技术与材料、不同包装技术的复合使用进行分析,以探寻不同生鲜农产品最优的包装,并有针对性地根据不同生鲜农产品开发出相应的冷链物流包装,渐渐摒弃回收率低、性能不佳的包装技术。通过增加回收利用次数、降低高性能材料的使用成本,以达到减少生鲜农产品冷链物流中的损耗、环境友好的目的。

**关键词:** 生鲜农产品; 冷链物流; 包装技术

**Abstract:** Cold chain logistics packaging technology is crucial for the operation of perishable food chains (such as meat, fish, dairy products, fruit and vegetable products) and certain products in the pharmaceutical industry (such as vaccines, biopharmaceuticals, and blood products). In the future, the cold chain logistics packaging of fresh agricultural products will tend towards high-performance, environmentally friendly, and digital development. The article reviews the packaging technologies used in the cold chain logistics of fresh agricultural products in recent years. Analyzes the characteristics, use value, application scope, technical advantages and disadvantages of different packaging materials, and analyzes the potential cold chain logistics packaging technologies and materials for agricultural products, as

**基金项目:** 湖南省职业教育教学改革研究项目(编号: ZJGB2022521); 湖南省教育厅科学研究项目(编号: 22C1151); 湖南省社会科学成果评审委员会课题(编号: XSP2023JYC048)

**作者简介:** 向明月(1968—), 女, 湖南现代物流职业技术学院副教授, 硕士。E-mail: 601264764@qq.com

**收稿日期:** 2023-02-07 **改回日期:** 2023-07-19

well as the composite use of different packaging technologies, in order to explore the optimal packaging for different fresh agricultural products. Develop corresponding cold chain logistics packaging tailored to different fresh agricultural products, gradually abandoning packaging technologies with low recycling rates and poor performance. By increasing the frequency of recycling and reducing the cost of using high-performance materials, to reduce losses in the cold chain logistics of fresh agricultural products and achieve the goal of environmental friendliness.

**Keywords:** fresh agricultural products; cold chain logistics; packing technology

生鲜农产品一般指与人们生活息息相关的新鲜果蔬、鱼肉、活禽等产品,同时这些产品又具有易腐易烂、易变质的特性,因此对流通、储存都有很高的要求<sup>[1]</sup>。生鲜农产品中含有许多有利于微生物生长的营养物质,微生物是生鲜农产品变质和食源性疾病的主要原因<sup>[2]</sup>。生鲜农产品中微生物的生长速度在很大程度上取决于环境温度和湿度的变化,不稳定和不适宜的温度和湿度增加了微生物的生物活性,加速了微生物的生长,导致生鲜农产品的腐败和变质增加。其结果不仅是巨大的经济损失和食物浪费,而且还增加了食用问题和食源性疾病的风险,从而危及公共卫生。

生鲜农产品的市场需求量逐年上升,受疫情爆发和快递业发展的双重影响,生鲜农产品电商的市场规模 2020 年已达到 4 000 亿元<sup>[3]</sup>,到今天更是日渐扩大。与日益上涨的需求量不匹配的是,中国生鲜农产品冷链物流应用水平依旧很低。农产品(水果、蔬菜、肉类、水产品)冷链需求是国内冷链物流需求的主要组成部分,但大多数生鲜农产品在冷链运输过程中未得到规范的贮运,每年仅蔬果类农产品的损耗就超过 500 亿元<sup>[4]</sup>。

为了加强对冷链行业的监管和扶持力度,国家近年

来出台了多项冷链政策。2020 年 6 月,国家发改委等部门就已经联合出台了《关于进一步优化发展环境促进生鲜农产品流通的实施意见》,支持城乡冷链物流建设,同年 10 月,GB 31605—2020《食品安全国家标准 食品冷链物流卫生规范》发布,进一步严格制定了各个物流环节中的操作规范<sup>[5]</sup>。

这类生鲜农产品的运输过程往往需要保持温度、湿度,以及确保其不受冲击、重压等机械伤害。但由于目前中国生鲜农产品的产地与销售基地异地,运输路途遥远、路况复杂、供应环节繁多,对冷链物流包装的要求较高<sup>[6]</sup>。一方面,要保证包装强度,防止生鲜农产品受到碰撞、挤压;另一方面,要保证低温、湿度,防止生鲜农产品腐败变质。针对特殊的运输情况,比如活鱼、活虾蟹,还要求包装有一定的透气性,以满足水产品呼吸所需。抗压减震、防潮防湿、透气性/密封性佳 3 个方面,就成为了农产品冷链物流包装的三大要求<sup>[7-8]</sup>。

近年来,国内外研究者在活性包装、冷链食品的环境检测、智能控制等方面发表了大量研究成果,为确保生鲜农产品的质量,提高冷链物流包装的智能化、环境可持续服务水平提供了重要参考。文章结合冷链上下游的具体需求,来阐述常用的、潜在的农产品冷链物流包装技术与材料的应用、未来创新和研究的聚集点,旨在为未来冷链物流包装技术的研究探索提供参考。

## 1 常见的农产品冷链物流包装

### 1.1 瓦楞纸基冷链运输包装

瓦楞纸农产品冷链运输包装主要是由瓦楞纸箱与其他材料进行不同形式的组合,从而达到农产品冷链运输要求的一种包装类型。瓦楞包装一般以瓦楞纸箱的形式出现,生产的原料有废纸、纸浆、箱板纸、瓦楞纸原纸、瓦楞纸板。瓦楞纸箱的工艺成熟,且具有易降解、易循环等环保优势,被广泛应用在物流包装上<sup>[9-10]</sup>。但由于农产品冷链物流的特殊性,对瓦楞纸箱的抗压、减震、防潮保温等方面提出较高要求。所以瓦楞纸箱一般不单独使用在农产品冷链物流中,而是与珍珠棉复铝箔保温袋、泡沫塑料箱等包装结合使用。或者使用防水防潮效果更好的原纸、涂布防水涂料等措施的加强瓦楞纸箱<sup>[11]</sup><sup>5-6</sup>,除此之外,瓦楞复合式包装箱,即使用泡沫垫、珍珠棉等材料作为隔热层,单侧施胶的包装箱也常作为农产品冷链物流包装使用。

1.1.1 表面施胶 通过双面施胶的方式,提高瓦楞纸箱的强度及防潮性能。例如选用聚苯乙烯—丙烯酸酯乳液改性氧化淀粉胶作为耐水胶涂敷在成纸表面,形成一层超薄的防水膜。不仅可以起到提高瓦楞纸箱防水性的效果,还可以提升纸箱内部结构的强度和紧度<sup>[12-15]</sup>。

国内某公司开发出一种新型二元施胶剂 NKS-06。

该施胶剂是由一种有机高分子疏水材料和一种无机促进剂构成,对瓦楞纸箱的环压强度、防水性能都有提升,并且降低了生产中的纸浆消耗,节约成本<sup>[16]</sup>。黎轶等<sup>[17]</sup>开发出了一种由固体施胶增强剂、苯丙类表面施胶剂及烷基烯酮二聚体(AKD)组成的三元表面施胶体系。该体系下的瓦楞原纸抗水性有明显提升,表面吸水率降低 9%左右,抗水时间提高 19.5%,并且成本低于使用淀粉胶液中单一添加苯丙类表面施胶剂或者 AKD 施胶剂<sup>[18]</sup>。郝晓秀等<sup>[19]</sup>将硅酸钙/阳离子淀粉表面施胶于箱纸板和瓦楞纸板上,以提高其物理性能。试验表明,经过处理的瓦楞纸板耐折性能有大幅度提高,提升瓦楞纸板的耐用性,增加瓦楞纸板的使用循环次数,延长其使用寿命。

1.1.2 泡沫塑料包装 泡沫塑料是由聚氯乙烯或聚苯乙烯等树脂为原料制得,几乎各种塑料都可制成泡沫塑料包装盒。泡沫塑料包装盒具有质量轻、保温效果好、抗震性能佳等优点,被广泛应用于快递包装中。包装盒中内置冷媒(冰袋等),就可运输小体积、小单量的需要短暂保鲜的农产品。泡沫塑料材质脆,运输完成后已破损,回收利用的次数十分有限。泡沫塑料的降解时间长达 200 年,在降解过程中还会对周围的土壤环境造成持续的污染和伤害<sup>[20]</sup>。

王崇高<sup>[21]</sup>研究了废聚苯乙烯泡沫塑料在包装材料生产中的再利用,发现废聚苯乙烯泡沫在经过处理之后,可以添加到聚苯乙烯泡沫(EPS)的生产预发料中,当比例为 3%~5%时,其混料生产的成品与纯 EPS 生产出的成品力学性能几乎一致,若将废聚苯乙烯泡沫塑料回收再利用,不仅可以降低企业生产成本,还在很大程度上减少了“白色污染”,缓解环境分解压力。为了进一步减少泡沫塑料循环能力差、污染环境的问题,木塑复合材料成为研究新热点。木塑复合材料兼具木质的环保可循环和塑料的耐用可加工的优点,同时可使用农林废弃物(废弃木材、秸秆等)、废旧塑料等作为原料,大大减少了对森林资源的需求、对环境的污染<sup>[22]</sup>。

### 1.1.3 复合型冷链运输包装

(1) 珍珠棉复铝箔瓦楞冷链运输包装:珍珠棉复铝箔是由珍珠棉和铝箔两种材料经过复合而成的一种材料,其中珍珠棉(EPE)由低密度聚乙烯经物理发泡产生无数的独立气泡构成。将珍珠棉复铝箔材料覆盖在瓦楞纸箱内后,可使其兼具珍珠棉复铝箔防摔抗震、隔水防潮、阻隔空气、保鲜等功能,以及瓦楞纸箱抗压防震的优势<sup>[11]</sup><sup>56-58</sup>。

EPE 珍珠棉无毒,几乎不吸水,不但不会对环境造成影响,经过处理还可以多次循环使用,但由于目前回收的不规范性,导致未破损的包装袋未得到充分利用<sup>[23]</sup>。周慧娟等<sup>[24]</sup>比较了多种常见冷链物流包装,分析了珍珠棉包装与其他包装的物流特性,得出珍珠棉具有良好的抗

震、柔韧、保温保湿效果。陆刚<sup>[25]</sup>根据铝箔材料的性能特点和指标,分析铝箔的包装市场前景,因铝箔具有高阻隔性、防潮效果好、遮光性佳、质量轻、无毒无味等优点,在食品包装上有巨大的运用前景。Zeng等<sup>[26]</sup>分析了铝箔对冷链物流中包装保温性能的影响,发现在材料的内表面添加铝箔的隔热性能优于外表面。与不含铝箔的绝缘材料相比,在内表面和外表面添加铝箔的最大保温时间(MIT)分别增加了25.39%和4.03%,表明铝箔是一种可使用在冷链物流包装保温中的优质材料。

(2) 石头纸复合瓦楞纸冷链运输包装:石头纸兼具纸张、塑料的特点,外观与纸张相似,拥有无毒无味、防水防潮、不易发霉、强度高、遮光效果好等优点,因其原料是常见的方解石,避免了传统纸张生产中需要大量木材的缺点,而且加工工艺简单,无废料生成、环境友好<sup>[27-28]</sup>,但方解石不可再生、回收困难、生产技术局限等<sup>[29]</sup>。李兵等<sup>[30]</sup>使用不同材料制成果蔬运输保温包装箱,牛皮纸、铝箔、石头纸和PE复合纸材料,其中采用石头纸的包装箱保温保湿效果同于甚至优于传统保温箱PE。

(3) 聚乙烯薄膜(PE)复合瓦楞包装:PE的防潮效果好,且透气性佳,尤其耐寒。将其与瓦楞包装结合,复合包装将同时具有两者的优点。PE包装通过调节薄厚度,可以实现不同程度的透气性。国崇文等<sup>[31]</sup>研究了不同PE包装对西兰花贮藏品质的影响,其中PE包装又可为气调包装(MAP),通过维持包装内低氧、稳定二氧化碳浓度的方式保持产品质量。王悦等<sup>[32]</sup>研制出一种使用PE做黏合剂的冷冻水产瓦楞纸箱,纸箱面纸由牛皮纸、PE复合而成,整体具有良好的防水防潮、抗压耐冲性能。赵雅婷等<sup>[33]</sup>以沙柳木粉、高密度聚乙烯(PE-HD)为原料,使用模压法制备出的沙柳/HDPE发泡木塑复合材料(FWPC),通过改变其制备工艺,可以改进FWPC的静曲强度、拉伸强度等,同时保持优良的力学性能和动态热机械性能。

## 1.2 保温箱

根据保温箱所使用的不同材质,可将其分为四类:聚苯乙烯泡沫(EPS)、发泡聚丙烯(EPP)、真空绝热板(VIP)、珍珠棉(EPE)。其中EPS和EPE在前文已经讲述。

1.2.1 EPP材料保温箱 EPP材料保温箱是由聚丙烯塑料发泡制得,相较于由聚氯乙烯或聚苯乙烯等树脂为原料的泡沫塑料,具有抗压缓冲、保温隔热、可循环利用、环境友好等优点,同时也兼具重量轻、耐热耐冷、耐腐蚀等优点。但由于成本相对较高,且未建立合理的回收体系,在农产品冷链物流中并未占据很大市场。Casson等<sup>[34]</sup>研究了发泡聚丙烯保温箱在提高餐饮服务的物流持续性水平中的作用,通过调查EPP在生产、使用的过程中对环境造成的影响,综合分析、比较其与传统包装的环境效

益,探讨EPP在环保运输方面代替传统餐饮包装的可能性。结果表明,发泡聚丙烯保温箱能降低对环境的影响,在餐饮包装上有利于环境的可持续发展。翟纪强等<sup>[35]</sup>研究了冷鲜产品在EPP多温度区保温箱下的温控效果。其数据显示,在短途物流运输的过程中EPP多温区保温箱能满足生鲜产品的温控要求。Baskoro<sup>[36]</sup>发现目前电子商务交易量增长导致的包装废物数量激增,对目前电子商务包装材料进行分析,总结了电子商务运输包装中可重复使用的类型,其中EPP是其中的被看好的一类,作为一种新的解决方案适用于电子商务物流中。

1.2.2 VIP保温箱 真空绝热板(VIP)保温箱是由真空绝热板组装而成,真空绝热板是由内部芯材、真空阻隔膜以及吸气剂构成的复合结构型材料<sup>[37-38]</sup>。例如玻璃纤维芯材具有良好的放气性能,且易于进行抽真空处理,故拥有良好的隔热保温性能。真空阻隔膜、吸气剂可以阻隔空气,保证保温效果的稳定性。因此,VIP保温箱不仅质量轻、厚度薄,还具有非常优秀的保温效果。其他传统材料的保温箱的保温期为1~2d,VIP保温箱可以达到4~5d。由无机材料组成的VIP保温箱,可多次循环利用、环境友好,可以多次循环使用,材料成本与传统材料成本相差无几。师昕哲等<sup>[39]</sup>分析了不同内部芯材的导热系数,得出了玻璃纤维拥有最优的隔热效果,并且通过计算发现VIP板的正常寿命为8~12年,可以长期使用、耐用性高。Hammond等<sup>[40]</sup>分析了真空隔热板在冷链中的应用,因VIP极高的保温性能,考虑将VIP嵌入到传统冰箱和冷冻柜的隔热层中来提升其保温效果,降低持续保持较低温度所需要的能耗。王岭松等<sup>[41]</sup>提出用纸板、谷壳制作真空绝热板材,减少对环境的白色污染,从而进一步提升目前包装系统的可持续性和可循环性。

## 1.3 气调包装

气调包装(MAP)的作用是通过控制包装内气体的成分,来延长食品的保质期或维持食品口感等作用<sup>[42-43]</sup>。通常来说,气调包装会与以上所述的保温箱或包装箱匹配使用,在鲜肉、海鲜、净菜(半处理加工果蔬)等易腐败农产品运输中较多使用。

Oliveira等<sup>[44]</sup>研究了气调包装在鲜切果蔬包装应用上的作用,发现气调包装对鲜切果蔬上食源性病原体存活和生长的影响,通过与低温手段结合,可以最大程度地保证鲜切果蔬的食品安全。Arvanitoyannis等<sup>[45]</sup>综合分析了气调包装在生鲜肉制品中的应用,气调包装通过抑制微生物生长和促进氧化稳定性来延长保质期,其与真空或其他处理的结合可以成为保证食品安全的有效工具。Tsironi等<sup>[46]</sup>研究了气调包装中改良湿度(MH)这种方法只允许包装内食品多余的水分逸出,可以让果蔬呼吸减少,延迟成熟,减少乙烯生产和延迟质地软化。

Sezer等<sup>[47]</sup>研究了在气调包装(MAP)、还原气调包

装(RAP)中掺入氢气,对抑制生物胺形成的效果。结果表明,在高水平 CO<sub>2</sub>的情况下,氢气的掺入可以很好地减少冷藏虹鳟鱼和竹荚鱼生物胺的形成,在 RAP 中生物胺的还原率约是 MAP 的两倍。因此,RAP 是一种用于限制水产品中生物胺形成的有发展前景的技术。杜佳铭等<sup>[48]</sup>研究了不同含量 1-甲基环丙烯(1-MCP)结合 MAP 包装处理对无花果低温贮藏和商业包装品质的影响。通过试验发现,经过 1-MCP 处理的 MAP 包装可以延缓无花果的衰老,延长其保质时间,增加售卖期限,提升生产商效益。

#### 1.4 其他包装技术

在冷链运输中,越早、越长地让农产品处于低温(合适贮藏温度)状态,就能使其保质期更长。包装开孔可以加速农产品降温,优化包装箱的通气孔配置,就能在预冷环节及冷藏车运输过程中,让农产品以最合适的速度降温、保温。Ilangoan 等<sup>[49]</sup>研究了 8 种不同的通风孔配置。结果表明,A 配置、G 配置和 I 配置盒子与其他通风口配置相比,标准偏差值以及平均、最小和最大温度值相对较小,从而发掘出促进水果保质期延长的水果盒新配置。

## 2 潜在的农产品冷链物流包装技术/材料

### 2.1 油棕叶纤维

Jarupan 等<sup>[50]</sup>研究了冷链物流下油棕叶作为生鲜产品模塑纸浆托盘的应用。结果表明,由油棕叶纤维制得的模塑纸浆托盘具有良好的机械性能,所制备的托盘有作为保护材料的潜在用途。

### 2.2 气凝胶/聚合物

周鹤等<sup>[51]</sup>研究了一种基于 SiO<sub>2</sub> 气凝胶的包装解决方案,将气凝胶包装内部保持可接受的温度范围,以增加运输时间。用于改进目前冷链生鲜运输中的限制因素,例如在保证生鲜产品质量的前提下,需要较高的运输成本才能快速将其送达。

### 2.3 BNNS/PLC/CS 纳米纤维垫

Shen 等<sup>[52]</sup>研究了 BNNS/PCL/CS 纳米纤维垫,发现具有良好的抗菌活性及疏水表面,氮化硼纳米片(BNNS)的加入提高了聚己内酯/壳聚糖垫的热稳定性和水蒸气阻隔性。BNNS/PCL/CS 纳米纤维垫是一种很有前途的包装材料,可作为绿色环保材料应用于生鲜农产品冷链运输中。

### 2.4 相变材料

相变材料(PCM)制成的冰袋、冰盒等冷媒介质已经在冷链运输中得到了广泛应用<sup>[53]</sup>,测得的大多数 PCM 的实际凝固温度要低于其熔化温度,即相变滞后现象<sup>[54-55]</sup>。相变过冷现象则是指液体物质需达到低于理论凝固温度时才开始结晶的现象<sup>[56-57]</sup>。

Liu 等<sup>[58]</sup>提出了新型盐水相变材料凝胶(BPCMG),以实现冷链运输的高效冷能储存。BPCMG 是将共晶盐水负载在高吸水性聚合物(SAP)中得到。通过研究,BPCMG 表现出消除过冷、高储能能力、高导热性和高效益,试验中水产品 and 生物样品的冷藏时间分别为 21.44, 16.37 h。这为下一代蓄冷材料和蓄冷设备创造了最先进的替代方案。刘璐<sup>[59]</sup>综合分析了基于相变材料的果蔬冷链物流运输发展现状,发现目前学者主要通过对相变材料的过冷现象进行分析,试图改变相变材料容易出现过冷现象的缺点。Sha 等<sup>[60]</sup>研究了应用于冷链物流的相变冷库材料、冷库单元和多样化冷库箱,因为相变蓄冷技术具有储能容量大、低碳、可回收的特点,与传统保温箱结合后能得到可回收、可再生的冷链冷藏箱。Wang 等<sup>[61]</sup>通过泡沫聚合方法制备了一系列由超多孔水凝胶(SPH)支撑的新型水合盐海绵状 FPCM。该材料具有大量离子基团的海绵状 FPCM,可以使其负载和吸附更多的 PCM,从而获得高储能效率。SPH 支撑的 FPCM,尤其是 CMCS 和氧化石墨烯(GO)改性的 FPCM,具有温度调节特性,有利于运输包装延长保温时间,嵌入 GO 的海绵状 FPCM 可以被广泛应用于需要高保温性能的冷链运输包装中。

### 2.5 纳米结构温度指示器

Navrotskaya 等<sup>[62]</sup>研发出一种由用碳点(C-dots)装饰的纤维素纳米晶体形成的纳米结构的溶剂致变色温度指示器。该指示剂利用了 C-dots 超过冷冻混合溶剂的温度超过指定的阈值,会导致纳米结构薄膜的溶剂熔化、流动和浸渍,从而导致薄膜光致发光的强度和波长发生不可逆的变化。该指示器的温度范围为 -68~19 °C,兼具经济、便携和耐热性。将其使用在农产品冷链物流包装中,可以控制过程温度,保证农产品在物流过程中不会因温度变化过大导致产品质量变化。

### 2.6 冷等离子体改性可降解包装薄膜

等离子体作为一种部分或完全电离的气体,被称为物质的第四态,通过气体在高电压或其他形式能量的激发下产生。组分包括正负离子、原子、电子、含有活性氧(ROS)、活性氮(RNS)等活性粒子以及各种电磁波包括紫外线、红外线和可见光。按照带电离温度的高低,等离子体可分为高温等离子体和低温等离子体两大类。其中低温等离子体根据电子和离子之间的热力学平衡,又可分为热等离子体和冷等离子体。其中处于非热力学平衡状态且整体温度较低的等离子体称为冷等离子体。冷等离子体近年来被广泛用于改善聚合物薄膜,通过改变薄膜复合材料的结构、机械及热性能等方面,改善薄膜的印刷效果、附着力、粗糙度。而冷等离子体技术的非热性质可以起到保护生物活性、抗菌效果。因此,冷等离子体处理是一种增强薄膜抗菌特性的创新方法,与不同的冷链

包装材料结合,可以起到延长农产品新鲜程度、抗菌防腐的效果<sup>[63-64]</sup>。冷等离子体处理对生物聚合物表面的影响见图1。

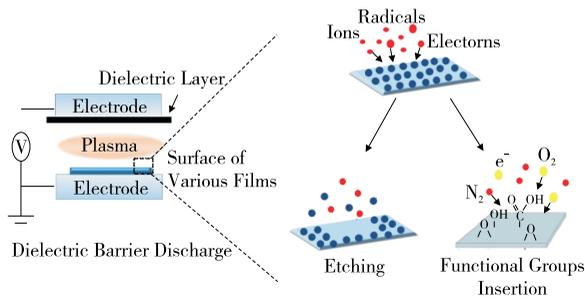


图1 冷等离子体处理对生物聚合物表面的影响<sup>[63]</sup>

Figure 1 Effects of cold plasma treatment on biopolymer surface

### 3 未来发展趋势

通过对目前市面上流通较广的冷链包装进行分析,发现农产品冷链物流包装需要具有保温、抗压防震、气密性好或是透气性好、防水防潮、抗菌防腐等性能,但受限于材料成本、制作工艺等,农产品冷链物流包装未能达到理想状态。

根据农产品种类不同,所需要的包装性能也有所不同,例如果蔬冷链包装需要抗压性能、防潮性能、抗菌防腐性能,气调包装也多被使用,而生鲜水产品的冷链包装则需要透气性良好。未来农产品冷链物流包装需要根据不同的农产品类型决定包装性能的侧重点,在达到保护农产品的同时做到环境友好、可回收。使用条码、GPS等信息技术进一步完善农产品冷链包装物流。

农产品冷链物流包装还需注意抗菌消毒方面,在特殊情况下可以考虑在各环节中进行表面消毒等,而就冷链物流包装而言,抗菌防腐的包装材料应当得到使用,用于降低微生物在包装上的存活时间、避免农产品受到污染<sup>[64]</sup>。

积极开发新型的包装材料,增加包装强度、提升包装整体性能。学习其他国家优秀的冷链包装案例,结合中国冷链物流实际需求,发展出系统、完整、有针对性的农产品冷链物流包装,减少农产品运输过程中的损耗,增大经济效益。

#### 参考文献

- [1] 徐艳秋,丁太春,冯波,等. 冷链食品运输包装用低温瓦楞纸箱研究[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 26-29.  
XU Y Q, DING T C, FENG B, et al. Study of low temperature corrugated packaging carton for transport of cold chain food[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 26-29.
- [2] 高铭营,李宝聚,石延霞,等. 鲜食蔬菜中食源性病原菌污染及防控[J]. 中国食物与营养, 2009(5): 9-11.
- [3] 于光. 物流企业发展绿色包装面临的问题及其对策[J]. 湖南包装, 2021, 36(4): 14-16.  
YU G. The problems and countermeasures faced by logistics enterprises in developing green packaging [J]. Hunan Packaging, 2021, 36(4): 14-16.
- [4] 李旭玮. 中国冷链物流行业发展探究[J]. 农业与技术, 2021, 41(20): 150-153.  
LI X W. Exploration of the development of China's cold chain logistics industry[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(20): 150-153.
- [5] 刘芳卫,杨立颖,徐晓晴. 生鲜农产品冷链包装的研究思考[J]. 绿色包装, 2021(9): 34-38.  
LIU F W, YANG L Y, XU X Q. Research and thinking on cold chain packaging of fresh agricultural products[J]. Green Packaging, 2021(9): 34-38.
- [6] ZHAO Y, ZHANG X, XU X. Application and research progress of cold storage technology in cold chain transportation and distribution [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020, 139: 1 419-1 434.
- [7] REN Q S, FANG K, YANG X T, et al. Ensuring the quality of meat in cold chain logistics: A comprehensive review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 119: 133-151.
- [8] 邓科迎,段华伟. 快速配送模式下的农产品生鲜包装研究[J]. 湖南包装, 2021, 36(6): 79-84.  
DENG K Y, DUAN H W. Research on fresh packaging of agricultural products under rapid delivery mode [J]. Hunan Packaging, 2021, 36(6): 79-84.
- [9] 文雅婷,李蕊廷. 从生态环境角度浅析绿色环保包装材料的应用[J]. 湖南包装, 2021, 36(1): 61-63.  
WEN Y T, LI R Y. Application of green and environmentally friendly packaging materials from the perspective of ecological environment[J]. Hunan Packaging, 2021, 36(1): 61-63.
- [10] 许欣,郑丰,孔俊,等. 冷链运输包装纸板的研究现状及发展趋势[J]. 包装工程, 2021, 42(21): 133-142.  
XU X, ZHENG F, KONG J, et al. Research status and development trend of cold chain transport packaging paperboard[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(21): 133-142.
- [11] 李兵. 樱桃的气调保鲜快速运输包装设计的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2020.  
LI B. Design and research of cherry's modified atmosphere fresh-keeping packing box in express transportation[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020.
- [12] 蔚厚先,占正奉,宋杰,等. 瓦楞原纸双重施胶的生产应用与实践[J]. 纸和造纸, 2015, 34(12): 9-12.  
WEI H X, ZHAN Z F, SONG J, et al. Production, application and practice of double sizing of corrugated base paper[J]. Paper and Paper, 2015, 34(12): 9-12.

- [13] DEY A, SENGUPTA P, PRAMANIK N K, et al. Paper and other pulp based eco-friendly moulded materials for food packaging applications: A review[J]. *Journal of Postharvest Technology*, 2020, 8(3): 1-21.
- [14] AYDEMIR C, ÖZOMAY Z, KARADEMIR A, et al. Effects of matte coating on the paper surface and print density[J]. *Science and Engineering of Composite Materials*, 2013, 20(2): 141-145.
- [15] 徐艳秋, 丁太春, 冯波, 等. 冷链食品运输包装用低温瓦楞纸箱研究[J]. *包装工程*, 2012, 33(13): 26-29.
- XU Y Q, DING T C, FENG B, et al. Study on low temperature corrugated cartons for cold chain food transportation and packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(13): 26-29.
- [16] 刘一山, 汤国强, 谢章红, 等. 新型施胶剂在高强瓦楞原纸中的试用[J]. *纸和造纸*, 2022, 41(3): 8-10.
- LIU Y S, TANG G Q, XIE Z H, et al. Trial of new sizing agent in high strength corrugated base paper[J]. *Paper and Paper*, 2022, 41(3): 8-10.
- [17] 黎轶, 邹志勇, 于凌燕. 瓦楞原纸三元表面施胶体系的开发及应用[J]. *中华纸业*, 2022, 43(10): 38-40.
- LI Y, ZOU Z Y, YU L Y. Development and application of ternary surface sizing system for corrugated base paper[J]. *China Pulp & Paper Industry*, 2022, 43(10): 38-40.
- [18] 刘一山, 王修朋. 瓦楞纸生产中的施胶方法[J]. *纸和造纸*, 2017, 36(3): 9-11.
- LIU Y S, WANG X P. Sizing method in corrugated paper production[J]. *Paper and Paper Making*, 2017, 36(3): 9-11.
- [19] 郝晓秀, 尹兴, 刘双双, 等. 硅酸钙/阳离子淀粉表面施胶对瓦楞纸板物理性能的影响[J]. *数字印刷*, 2021(3): 123-129.
- HAO X X, YIN X, LIU S S, et al. Effect of calcium silicate/cationic starch surface sizing on physical properties of corrugated board[J]. *Digital Printing*, 2021(3): 123-129.
- [20] 刘靓, 丁茜. 绿色生态理念视阈下的包装设计探析[J]. *湖南包装*, 2022, 37(4): 163-165, 195.
- LIU L, DING Q. Analysis of packaging design from the perspective of green ecological concept[J]. *Hunan Packaging*, 2022, 37(4): 163-165, 195.
- [21] 王崇高. 废聚苯乙烯泡沫塑料在包装材料生产中的应用[J]. *塑料工业*, 2008, 36(6): 246-248.
- WANG C G. Application of waste polystyrene foam in the production of packaging materials[J]. *Plastics Industry*, 2008, 36(6): 246-248.
- [22] 徐浩宇, 周红惠. 美丽中国背景下电商物流包装设计[J]. *湖南包装*, 2023, 38(1): 169-172.
- XU H Y, ZHOU H H. E-commerce logistics packaging design under the background of beautiful China[J]. *Hunan Packaging*, 2023, 38(1): 169-172.
- [23] 珍珠棉材料将是世界包装新趋势[J]. *绿色包装*, 2017(11): 18-19.
- Pearl cotton material will be a new trend of world packaging[J]. *Green Packaging*, 2017(11): 18-19.
- [24] 周慧娟, 叶正文, 苏明申, 等. 包装材质对‘仓方早生’桃果实长途冷链物流特性的影响[J]. *果树学报*, 2015, 32(6): 1 220-1 227.
- ZHOU H J, YE Z W, SU M S, et al. Effect of packaging material on long-distance cold chain logistics characteristics of 'Cangfang Zaosheng' peach fruit[J]. *Journal of Fruit Trees*, 2015, 32(6): 1 220-1 227.
- [25] 陆刚. 漫谈铝箔的包装市场及其发展趋势[J]. *塑料包装*, 2013, 23(3): 8-14, 16.
- LU G. Talking about the packaging market of aluminum foil and its development trend[J]. *Plastic Packaging*, 2013, 23(3): 8-14, 16.
- [26] ZENG T, JIANG H, HAO F. Study on the effect of aluminium foil on packaging thermal insulation performance in cold chain logistics[J]. *Packaging Technology and Science*, 2022, 35(5): 395-403.
- [27] 贾景霞, 宋霞, 薛俊杰, 等. 石头纸生产技术的研究[J]. *辽宁化工*, 2018, 47(6): 540-542.
- JIA J X, SONG X, XUE J J, et al. Study on the production technology of stone paper[J]. *Liaoning Chemical Industry*, 2018, 47(6): 540-542.
- [28] 李继鸿. 石头纸 在曲折中前行[J]. *印刷工业*, 2016, 11(9): 73-74.
- LI J H. Stone paper moves forward in twists and turns[J]. *Printing Industry*, 2016, 11(9): 73-74.
- [29] 阳铁建, 颜鑫. 浅议石头纸的特性、生产现状及发展前景[J]. *湖南造纸*, 2012(4): 31-33.
- YANG T J, YAN X. Discussion on the characteristics, production status and development prospect of stone paper[J]. *Hunan Paper*, 2012(4): 31-33.
- [30] 李兵, 姜洋, 檀礼义, 等. 果蔬运输保温包装箱的研究[J]. *包装与食品机械*, 2020, 38(4): 38-43.
- LI B, JIANG Y, TAN L Y, et al. Study on thermal insulation packing box for fruit and vegetable transportation[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2020, 38(4): 38-43.
- [31] 国崇文, 魏宝东, 张鹏, 等. PE 包装对西兰花贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(1): 53-59.
- GUO C W, WEI B D, ZHANG P, et al. Effect of PE packaging on storage quality of broccoli[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(1): 53-59.
- [32] 王悦, 张惠忠. 基于 PE 复合工艺的冷冻水产瓦楞纸箱[J]. *中国包装*, 2018, 38(5): 65-68.
- WANG Y, ZHANG H Z. Frozen aquatic corrugated box based on PE composite process[J]. *China Packaging*, 2018, 38(5): 65-68.
- [33] 赵雅婷, 赵雪松, 张阁昊, 等. 沙柳/PE-HD 发泡木塑复合材料的制备及性能研究[J]. *化工新型材料*, 2022, 50(7): 114-119.
- ZHAO Y T, ZHAO X S, ZHANG G H, et al. Preparation and properties of Salix/PE-HD foamed wood plastic composites[J]. *New Chemical Materials*, 2022, 50(7): 114-119.
- [34] CASSON A, GIOVENZANA V, TUGNOLO A, et al. Assessment of an expanded-polypropylene isothermal box to improve logistic

- sustainability of catering services [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2021, 52(2): 1 139.
- [35] 翟纪强, 宋海燕, 肖婕. EPP 多温区保温箱温控效果的特性研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(1): 93-99.  
ZHAI J Q, SONG H Y, XIAO J. Characteristics of temperature control effect of the EPP multi-temperature insulation box [J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(1): 93-99.
- [36] BASKORO M L. Exploring the emerging trends of reusable shipping packaging for e-commerce [J]. *Jurnal Informatika dan Sains*, 2020, 3(2): 56-61.
- [37] 李君, 栗栋, 王海林, 等. 真空绝热板覆盖率对冷藏厢体内部温度场特性的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 99-102, 165.  
LI J, LI D, WANG H L, et al. The effect of vacuum insulation board coverage on the internal temperature field characteristics of refrigerated compartments[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(7): 99-102, 165.
- [38] 孙湛. 基于生鲜电商新需求的农产品包装设计与创新研究[J]. *湖南包装*, 2023, 38(1): 164-168.  
SUN Z. Research on agricultural product packaging design and innovation based on the new demand of fresh e-commerce [J]. *Hunan Packaging*, 2023, 38(1): 164-168.
- [39] 师昕哲, 郑琰. 新型冷链物流绿色包装研究[J]. *物流工程与管理*, 2021, 43(10): 46-48.  
SHI X Z, ZHENG J. Research on green packaging of new cold chain logistics[J]. *Logistics Engineering and Management*, 2021, 43(10): 46-48.
- [40] HAMMOND E C, EVANS J A. Application of vacuum insulation panels in the cold chain: Analysis of viability [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2014, 47: 58-65.
- [41] 王岭松, 王东爱, 康恺. 包装箱用环保真空绝热板的结构[J]. *包装工程*, 2010, 31(23): 50-52.  
WANG L S, WANG D A, KANG K. Structure of environment-friendly vacuum insulation board for packing case [J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(23): 50-52.
- [42] 何伟. 果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2020, 36(9): 228-232.  
HE W. Research progress on modified atmosphere preservation technology for fruits and vegetables and its application in cold chain logistics [J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(9): 228-232.
- [43] 徐春蕾, 王佳, 李长洪, 等. 气调包装对混合鲜切果蔬保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(7): 131-135.  
XU C L, WANG J, LI C H, et al. The effect of modified atmosphere packaging on the preservation of mixed fresh cut fruits and vegetables [J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(7): 131-135.
- [44] OLIVEIRA M, ABADIAS M, USALL J, et al. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables: A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 46(1): 13-26.
- [45] ARVANITOYANNIS I S, STRATAKOS A C. Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: A review [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(5): 1 423-1 446.
- [46] TSIRONI T, GIANNOGLOU M, PLATAKOU E, et al. Training of SMEs for frozen food shelf life testing and novel smart packaging application for cold chain monitoring [J]. *International Journal of Food Studies*, 2015, 4(2): 148-162.
- [47] SEZER Y Ç, BULUT M, BORAN G, et al. The effects of hydrogen incorporation in modified atmosphere packaging on the formation of biogenic amines in cold stored rainbow trout and horse mackerel [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 112: 104688.
- [48] 杜佳铭, 谷诗雨, 杨永佳, 等. 1-MCP 复合 MAP 包装对无花果贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2022, 43(7): 11-17.  
DU J M, GU S Y, YANG Y J, et al. Effect of 1-MCP compound MAP packaging on storage quality of fig [J]. *Packaging Engineering Edition*, 2022, 43(7): 11-17.
- [49] ILANGOVA A, GASPAR P D, SILVA P D, et al. CFD parametric study of thermal performance of different fruit packaging box designs [J]. *AIP Conference Proceedings*, 2022, 2 425(1): 420019.
- [50] JARUPAN L, HUNSA-UDOM R, BUMBUDSANPHAROK N. Potential use of oil palm fronds for papermaking and application as molded pulp trays for fresh product under simulated cold chain logistics [J]. *Journal of Natural Fibers*, 2022, 19(7): 2 772-2 784.
- [51] 周鹤, 陈景华, 吕剑, 等. SiO<sub>2</sub> 气凝胶改性瓦楞纸板性能研究 [J]. *包装工程*, 2021, 42(9): 108-114.  
ZHOU H, CHEN J H, LU J, et al. Effects of SiO<sub>2</sub> aerogels hydrophobic insulation coating on properties of corrugated cardboard [J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(9): 108-114.
- [52] SHEN C, YANG Z, RAO J, et al. Development of a thermally conductive and antimicrobial nanofibrous mat for the cold chain packaging of fruits and vegetables [J]. *Materials & Design*, 2022, 221: 110931.
- [53] 孙锦涛, 谢晶. 相变蓄冷材料及其在冷库中应用的研究进展 [J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 227-232.  
SUN J T, XIE J. Research progress on phase change cold storage materials and their applications in cold storage [J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(7): 227-232.
- [54] AKEIBER H, NEJAT P, MAJID M Z A, et al. A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 60: 1 470-1 497.
- [55] LIU L, ZHANG X, XU X, et al. The research progress on phase change hysteresis affecting the thermal characteristics of PCMs: A review [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 317: 113760.
- [56] 张正飞, 秦紫依, 李勇, 等. 相变材料的过冷现象及其抑制方法的研究进展 [J]. *材料导报*, 2019, 33(21): 3 613-3 619.  
ZHANG Z F, QIN Z Y, LI Y, et al. Research progress on undercooling of phase change materials and its suppression methods [J]. *Material Guide*, 2019, 33(21): 3 613-3 619.

(下转第 141 页)

- (14): 4 527-4 533.
- [9] 许文娟, 赵晗, 王洪涛, 等. 电子鼻在食品安全检测领域的研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(2): 255-260.  
XU W J, ZHAO H, WANG H T, et al. Research progress of electronic nose in the field of food safety detection[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(2): 255-260.
- [10] 成亚倩, 高志贤, 周焕英, 等. 食品中黄曲霉毒素比色生物检测技术研究进展[J]. 分析试验室, 2021, 40(8): 966-976.  
CHENG Y Q, GAO Z X, ZHOU H Y, et al. Research progress of *Aspergillus flavus* colorimetric biological detection technology in food[J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2021, 40(8): 966-976.
- [11] 王林, 王宇栋, 朱宝, 等. 仓储片烟中优势霉菌的分离鉴定及其霉变挥发性代谢产物研究[J]. 河南农业科学, 2023, 52(3): 101-108.  
WANG L, WANG Y D, ZHU B, et al. Isolation and identification of dominant molds in warehouse tobacco and study on moldy volatile metabolites[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(3): 101-108.
- [12] 戴松松, 殷勇. 基于高光谱信息特征选择的玉米霉变程度 Fisher 鉴别方法[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 68-72.  
DAI S S, YIN Y. Fisher identification method of corn mildew degree based on Feature selection of hyperspectral information[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(3): 68-72.
- [13] 徐彦, 李忠海, 付湘晋, 等. 近红外光谱技术在稻米品质快速检测中的应用[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 158-161, 174.  
XU Y, LI Z H, FU X J, et al. Application of near-infrared spectroscopy technology in rapid detection of rice quality[J]. *Food & Machinery*, 2011, 27(1): 158-161, 174.
- [14] 曾瑜, 湛委菊, 全珂, 等. 基于脱氧核酶的食品安全快速检测方法研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 205-212.  
ZENG Y, CHEN W J, QUAN K, et al. Research progress on rapid detection methods for food safety based on deoxyribonuclease[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(6): 205-212.
- [15] 廉飞宇, 杨静, 付麦霞, 等. 玉米中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的太赫兹时域光谱检测与识别[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 111-116, 123.  
LIAN F Y, YANG J, FU M X, et al. Terahertz time-domain spectroscopy analysis for aflatoxin B<sub>1</sub> solution[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(8): 111-116, 123.
- [16] 郭志明, 王郡艺, 宋焯, 等. 果蔬品质劣变传感检测与监测技术研究进展[J]. 智慧农业(中英文), 2021, 3(4): 14-28.  
GUO Z M, WANG J Y, SONG Y, et al. Research progress in sensor detection and monitoring technology for quality deterioration of fruits and vegetables[J]. *Smart Agriculture*, 2021, 3(4): 14-28.
- [17] 马佳佳, 王克强. 水果品质光学无损检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(23): 427-437.  
MA J J, WANG K Q. Research progress in optical non-destructive testing technology for fruit quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 427-437.
- [18] 张雨鑫. 高光谱成像技术在饲料及原料霉变检测中的应用[J]. 黑龙江粮食, 2022(12): 53-55.  
ZHANG Y X. Application of hyperspectral imaging technology in the detection of moldy feed and raw materials[J]. *Heilongjiang Grain*, 2022(12): 53-55.
- [19] 李兴鹏, 姜洪喆, 蒋雪松, 等. 木本粮油林果品质的近红外光谱及成像无损检测研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 302-308.  
LI X P, JIANG H Z, JIANG X S, et al. Research progress in near-infrared spectroscopy and imaging non-destructive testing of woody grain, oil, forest and fruit quality[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(2): 302-308.
- 
- (上接第 109 页)
- [57] ZAHIR M H, MOHAMED S A, SAIDUR R, et al. Supercooling of phase-change materials and the techniques used to mitigate the phenomenon[J]. *Appl Energy*, 2019, 240: 793-817.
- [58] LIU K, HE Z, LIN P, et al. Highly-efficient cold energy storage enabled by brine phase change material gels towards smart cold chain logistics[J]. *Journal of Energy Storage*, 2022, 52: 104828.
- [59] 刘璐. 基于相变材料的果蔬冷链物流运输发展现状文献综述[J]. 上海节能, 2021(5): 494-498.  
LIU L. Literature review on the development of fruit and vegetable cold chain logistics and transportation based on phase change materials[J]. *Shanghai Energy Saving*, 2021(5): 494-498.
- [60] SHA Y, HUA W, CAO H, et al. Properties and encapsulation forms of phase change material and various types of cold storage box for cold chain logistics: A review[J]. *Journal of Energy Storage*, 2022, 55: 105426.
- [61] WANG T, QIU X, CHEN X, et al. Sponge-like form-stable phase change materials with embedded graphene oxide for enhancing the thermal storage efficiency and the temperature response in transport packaging applications [J]. *Applied Energy*, 2022, 325: 119832.
- [62] NAVROTSKAYA A, ALEKSANDROVA D, CHEKINI M, et al. Nanostructured temperature indicator for cold chain logistics[J]. *ACS Nano*, 2022, 16(6): 8 641-8 650.
- [63] BAHRAMI R, ZIBAEI R, HASHAMI Z, et al. Modification and improvement of biodegradable packaging films by cold plasma: A critical review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(7): 1 936-1 950.
- [64] 窦勇, 姚妙爱, 闰怀申, 等. 冷等离子体对单核增生李斯特菌的杀菌机理[J]. 中国农业科学, 2020, 53(24): 5 104-5 114.  
DOU Y, YAO M A, LU H Z, et al. Antibacterial mechanism of cold plasma against *Listeria monocytogenes*[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(24): 5 104-5 114.