

果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展

Research on application of modified atmosphere in fresh-keeping technology of fruits and vegetables in cold chain logistics

何 伟

HE Wei

(浙江国际海运职业技术学院, 浙江 舟山 316021)

(Zhejiang International Maritime College, Zhoushan, Zhejiang 316021, China)

摘要:通过整理国内外果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用研究,对气调保鲜技术基本原理和国内外果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用现状进行了阐述归纳,并预判了果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用趋势。

关键词:果蔬保鲜;气调包装;冷链物流

Abstract: This study summarizes the application research of the modified atmosphere preservation technology of fruits and vegetables in cold chain logistics domestic and abroad, and summarizes the basic principles of modified atmosphere preservation technology and its application status of fruits and vegetables in cold chain logistics domestic and abroad. The trend of the application of modified atmosphere preservation technology for fruits and vegetables in cold chain logistics will help the healthy development of Chinese fruit and vegetable industry.

Keywords: fresh-keeping of fruits and vegetables; modified atmosphere; cold chain logistics

果蔬的货架期较短且易腐烂,其包装保鲜技术一直是当前研究的重点^[1]。目前,中国的冷链物流运输还不够完善,每年约有1.4亿t果蔬在运输过程中受损伤,造成了巨大的经济损失^[2-3]。

目前,果蔬冷链物流运输的保鲜技术主要包括温控保鲜技术和气调保鲜技术^[4],其中温控保鲜技术包括冷藏冷冻保鲜和冰温保鲜,主要是控制果蔬的贮藏温度条件,降低果蔬的生理呼吸强度,抑制微生物的滋长,以确保果蔬新鲜,但这种保鲜方式对冷链运输温度的要求较高^[5-6]。气调保鲜技术是通过人为调节果蔬所处环境的

温度、湿度与气体,使果蔬细胞组织处于休眠状态,可以有效延长果蔬的保质期并保证果蔬的品质,已被应用于冷链物流中。文章拟通过收集整理国内外果蔬冷链物流运输中气调保鲜技术研究文献的同时,对果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用趋势进行预判,旨在为果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用提供依据。

1 气调保鲜技术的基本原理

气调保鲜技术(Modified Atmosphere Packaging, MAP)的基本原理是采用气调保鲜气体(2~4种气体按食品特性配比混合,如 $O_2 + CO_2 + N_2$, $N_2 + CO_2$, $O_2 + CO_2$)替代包装盒或包装袋里的气体,使得食品保存环境发生改变,减缓食品新陈代谢,延长其货架期。果蔬在采摘后仍然会进行呼吸作用,由此包装环境中氧气含量降低,二氧化碳含量升高,利用高透性的塑料薄膜材料可以与外界空气相互交换,从而使包装内氧气含量逐步上升。当呼吸作用气体消耗速率与薄膜气体交换速率相同时,可以使得果蔬呼吸速度降低,从而延缓果蔬成熟。目前,一般是将包装环境中的气体组成调为高浓度二氧化碳和低浓度氧气,并添加一定量的氮气作为填充和缓冲^[7-8]。封闭环境一般是通过透气性薄膜包装果蔬形成,充入一定气体后密封,通过薄膜与大气进行气体交换^[9]。

呼吸过程中,果蔬不断消耗自身水分,会产生乙烯等有催熟作用的气体,可能会影响果蔬本身的风味和营养物质含量。因此,果蔬气调包装材料需要具有较好的透气性,满足包装内外的气体交换条件,为果蔬保鲜提供良好的环境。

2 果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用现状

2.1 气体成分

当前,国内外常用的保护气体是 CO_2 、 O_2 、 N_2 3种,

基金项目:浙江省教育厅一般科研项目(编号:Y201840239)

作者简介:何伟(1984—),男,浙江国际海运职业技术学院副教授,硕士。E-mail: zjhewei888@163.com

收稿日期:2020-08-06

其中 CO_2 是一种抑制细菌生长繁殖的抑菌气体剂,在细菌开始繁殖的滞后期(抑制细菌指数在 100 个/100 g 以内)具有最佳抑菌作用,低温下易溶解于水和脂肪,对大多数需氧菌有抑菌效果,但对厌氧菌和酵母菌无效,通常其抑制细菌的最低浓度为 30%; O_2 一般被用来抑制厌氧菌的生长繁殖,保持新鲜猪、牛、羊肉的红色色泽,还可以保持新鲜果蔬新陈代谢的需氧呼吸; N_2 是一种惰性气体,与食品不起作用,仅作为充填气体。

高浓度二氧化碳和较低浓度氧气是气调保鲜技术中常用的气体比例。王维海等^[10]以甜樱桃为研究对象,当氧气浓度为 7%、二氧化碳浓度为 20% 时,气调保鲜樱桃效果最好,贮藏 120 d 时,腐烂率仅为 5.88%(空气组腐烂率高达 23.33%);彩度值从 48.68 下降至 44.12,变化较小,褐变可能性较低;亮度值为 56.41(空气组仅为 51.70);硬度由 1 940.2 g/cm² 降低至 2 700.0 g/cm²,相比其他组硬度幅度变化最小。Miguel-Pintado 等^[11]以樱桃为研究对象,成熟采摘后,采用高浓度二氧化碳(20%)和低浓度(2%)氧气气调保鲜,可以有效减缓樱桃的生命活动,在保证樱桃品质的基础上将贮藏时间延长至 14 d。徐燕新等^[12]以鲜切生菜为研究对象,应用 3% 氧气浓度和 10% 二氧化碳浓度的气调保鲜效果最好,此时生菜的保鲜期由 4~5 d 延长至 14 d。王欣等^[13]以充入空气为空白对照组,发现高浓度二氧化碳会增加白玉菇的褐变程度,当初始气体比例为 0.4% 氧气浓度、13% 二氧化碳浓度和 86.6% 氮气浓度时,白玉菇的保鲜效果最好,保鲜时间达 7 d 以上。

氧气是果蔬进行生命活动的必需物质,当氧气含量低至一定程度时,果蔬会进行无氧呼吸,而无氧呼吸会大量快速消耗果蔬本身有机物质,影响果蔬贮藏品质。高氧气调保鲜技术是一种较新型的气调保鲜方式,由于现有包装薄膜透气率很难与食品的新陈代谢速度匹配,将会导致包装内部 O_2 浓度过低或 CO_2 浓度过高(O_2 小于 2% 和 CO_2 大于 20%),造成食品厌氧发酵或生理损伤^[14],高氧气调包装以其较高的 O_2 浓度,能够避免解决包装薄膜气体交换速率和食品呼吸速率平衡的问题,直接抑制厌氧细菌等的繁殖生长,降低食品的新陈代谢速度,减少腐烂,延长货架期^[15],高氧气调包装一般是指 O_2 浓度大于 70%^[16]。Jacxsens 等^[17]利用高氧气调保鲜技术(O_2 浓度分别为 70%, 80%, 95%)对蘑菇进行保鲜处理,4 °C 贮藏条件下,95% O_2 浓度可以抑制李斯特菌生长,将贮藏时间延长至 20 d。车东^[18]利用高氧气调保鲜技术对苹果进行保鲜,分别充入 90.8%, 82.7%, 74.4% O_2 浓度的气体,并以空气气体包装作为对照组,5 °C 贮藏 20 d 时,初始输入的氧气体积分数为 90.8% 的保鲜效果最好,尤其是亮度感官评价最优。丁华等^[14]以草莓为研究对象,以 PE/OPP/PE 复合膜为气调包装膜,制备气体

比例为 60% O_2 + 1.2% CO_2 的高氧气调包装,以气体比例为 7.5% O_2 + 16.5% CO_2 的高二氧化碳气调包装和空气气体比例为对照组,并于 [(5±1) °C] 下冷藏,发现高氧气调包装可以有效维持草莓的感官品质、硬度,降低维生素 C 含量、可溶性固形物以及总酸含量的下降速率,货架期延长至 24 d。周秋阳等^[19]以空气组为对照,研究不同浓度的高氧气调保鲜对绿芦笋的贮藏品质影响,发现高氧气调保鲜对其品质影响显著,当氧气浓度为 60% 或 80% 结合 20% 二氧化碳时,其保鲜效果最优。

当前对果蔬气调保鲜中的气体比例研究中,高氧气调包装研究具有较强的发展潜力,但其研究仍处于初步阶段。不同的食品类型新陈代谢速度不同,气调包装时不同包装材料对 O_2 的透过性不同,这些均限制了生产商的大范围推广应用,针对不同品类果蔬的生理特性研究其高氧临界值是保鲜技术未来研究的热点所在。

2.2 包装材料

果蔬气调包装保鲜过程中,除了要确定气体的组成,还应根据包装内气体浓度选择合适的包装材料,以满足气调包装的气体交换速率。与真空包装或充氮包装相比,气调保鲜的包装材料大多为低阻隔材料,气体透过性较强。目前常用的包装材料包括聚丙烯、聚偏二氯乙烯以及聚氯乙烯等^[15]。不同的气体对同种材料的渗透性不同,透过性由小到大依次是 N_2 、 O_2 和 CO_2 ,这与气体分子的大小及形状有关^[20]。分子的动力学直径越小,在聚合物中越易扩散,其扩散系数越大。

此外,分子的形状也能影响渗透性。研究^[21]表明,长条形状分子的扩散能力和渗透能力最强,且分子形状的微小变化可引起较大的渗透性变化,故选择气调包装材料时需对材料的 O_2 、 CO_2 、 N_2 透过性进行精确测试。沈莲清等^[22]以芦笋为研究对象,发现使用低密度聚乙烯材料的包装膜能有效延长贮藏期,并保持较好的产品品质。曹慧娟等^[23]研究表明,当气体浓度为 15% CO_2 + 20% O_2 时,0.0~0.5 °C 下贮藏 15 d,绿芦笋的可溶性固形物、维生素 C 和叶绿素含量的下降速度显著降低($P < 0.05$),贮藏 40 d 后仍可保持较好的食用品质。Simón 等^[24]研究发现,当用膜 A 包装且气体组成为 15% O_2 + 7% CO_2 时,5 °C 下,白芦笋可以贮藏 14 d,而当用膜 B 包装且气体组成为 20% O_2 + 2% CO_2 时,5 °C 下,白芦笋仅可保存 6 d。张烜^[25]研究发现,硅窗袋气调包装可以有效抑制水芹菜的呼吸作用和水分的蒸腾作用,5 °C 下,水芹菜货架期延长到 35 d。

除上述传统包装材料外,气调包装保鲜还可使用一些新型包装材料,如纳米包装材料和智能包装材料。纳米包装材料是指通过添加纳米分子改变材料的性能,达到隔绝细菌、减少乙烯含量的目的,这种包装材料可以降低氧气透过率,有效提升保鲜效果^[26]。郭玉花等^[27]在传

统 LDPE 材料中添加纳米分子,研制了一种复合膜材料,并将其应用于草莓、生菜等蔬菜的气调保鲜中,其保鲜效果良好。智能包装材料包括功能材料型、功能结构型和信息型,主要是利用新型的包装材料、结构与形式,对商品的质量和流通安全性进行积极干预和保障,采集并管理控制相关信息,从而实现优化管理运输包装系统。美国 Georgin 科技公司研发的一种基于多壁碳纳米管(MWNT)技术的生物传感器,其能够监测食品中的微生物、有毒蛋白质和腐烂成分含量,当食品变质时,包装袋会发生颜色变化^[28]。

目前,智能包装材料应用较少,气调包装时还需要兼具监控识别功能,及时获得果蔬密封环境内的温湿度等信息,在冷链物流运输等场景中及时采取相关措施^[29]。但这种包装材料投入较高。

2.3 贮藏温度

贮藏温度是影响果蔬货架期的重要因素,也是冷链运输过程中重要的环境因素。温度较低时,可以有效抑制果蔬的生命活动和微生物生长;温度较高时,果蔬呼吸作用速度较快,果蔬内的营养物质消耗速度也加快,直接导致果蔬食用品质的快速劣变,但不同果蔬适应的贮藏温度不同^[30-31]。王宝刚等^[32]研究表明,当使用体积分数为 10% 二氧化碳处理樱桃时,25℃ 贮藏 3 d 时的腐烂率低于 10%,而 0℃ 贮藏 60 d 时的腐烂率仍低于 1%,且采摘后的预冷处理可以有效降低樱桃冷链物流中的品质损耗。饶先军^[33]利用气调包装箱对球生菜进行气调保鲜,发现其在(0.0±0.5)℃ 贮藏的保鲜效果最好。高铭等^[34]研究发现,(0±1)℃ 下气调保鲜箱贮藏的树莓品质较高,氧化程度较低。气调保鲜果蔬的贮藏温度研究需结合果蔬的生理生命活动,从而探索不同品类果蔬的最佳气调保鲜贮藏温度^[35-36]。

2.4 气调保鲜设备类型

气调保鲜设备机型包括热成型卧式、立式、盒式、预袋式和纸塑复合盒等类型,其研发主要针对盒式气调包装,包括保鲜膜和包装盒,且包装盒的透湿、透氧、透光等高效阻隔并能承载一定容量。

气体置换装置是气调包装机的核心部件,其置换方式主要有气体真空置换式和冲洗式,真空置换式的主要原理是先抽真空后再充入混合气体,该方式直接影响气体置换的精度,间接影响食品包装的质量和保质期^[37]。彭群英等^[38]设计了一种置换式的气调包装机,对充抽气结构进行了改进,将气体置换率提高至 99.7%,生产效率达 280~300 包/h(双工位),耗气量减少 0.33 kg/100 盒。

此外,气体比例混合器也是实现气体比例调节与控制的核心部件,压缩气体经减压阀减压后,进入气体混合室,通入充气包装机进行包装,混合方法包括等容法、等压法、定容定压法和节流法^[37]。孙智慧等^[39]设计了一种

智能气调包装气体,采用 Mix9001 气体混合器、CMV-2 气体比例分析仪、DQB-700N 气调包装机及 PLC 控制器,可以实现气体在线检测与比例控制,减少保鲜气体耗气量,提高工作效率。

2.5 湿度

湿度控制主要分为空间环境的湿度控制和包装内湿度控制。其中包装内湿度控制对果蔬品质影响较大,因为果蔬具有蒸发特性,而大多数包装材料的湿气透过率较低,包装容器内会形成较高的相对湿度,引起水蒸气凝聚,继而导致微生物的增长和果蔬产品的腐败^[40]。同时,包装容器内相对湿度的变化与果蔬呼吸作用密切相关,因此,相关研究主要集中在果蔬呼吸蒸发作用和材料的渗透作用对包装容器内相对湿度的影响,但其受制于呼吸作用的复杂及测试过程的难度,该方面的研究较少^[41]。

目前,果蔬气调包装保鲜的相对湿度一般控制在 85% 左右,并根据不同的果蔬产品进行相应调整^[42]。Song 等^[43]提出了一种可以调节的呼吸—蒸发模型,可以预测含有新鲜农产品和水分吸收剂的气调包装系统的相对湿度,这种模型的相关数据都是基于呼吸蒸发现象、包装的运输系统、吸收剂水分吸附的基础上进行的,并利用蓝莓进行了实验验证,测定了不同重量蓝莓的吸收剂类型,吸收剂重量和温度。通常,模型预测与试验数据准确率达 92% 以上,但模型可能会增加水分吸收剂在初始阶段(<10 h)的影响。气调包装中的湿度控制需要对产品呼吸发热引起的蒸发作用原理和包装膜渗透的动力相互作用原理进行深入研究,尤其是对不同 O₂、CO₂ 浓度环境下产品的蒸发现象进行研究,才能更精准控制适合不同果蔬产品的气调包装湿度。

3 果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用趋势

冷链物流中,果蔬气调保鲜技术的应用研究仍集中于气调保鲜本身技术参数的提高,包括气体组成成分和比例、气调保鲜包装材料以及贮藏温度,这些研究为果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用提供了理论参数支撑^[44-45]。气调保鲜技术已逐步应用于冷链运输中,可以有效对果蔬进行保鲜,提升果蔬的货架期。但冷链运输中的气调保鲜成本较高,不够智能,不能根据包装环境内的气体组成情况实时调整气体比例和贮藏温度,其应用受到了一定限制^[46]。因此,果蔬气调保鲜技术在冷链物流中的应用趋势方向应是节能、环保、智能化等。

(1) 冷链运输中,气调保鲜系统需要有制冷、气调等功能^[47],保证果蔬运输的温度和气调包装,应逐步改善技术系统的节能效果,降低冷链运输成本,扩大气调冷链运输应用。气调保鲜包装过程中,现有的气体置换方式对气源的浪费极大,需进一步开发高效节能的气体置换

技术。

(2) 冷链运输过程中温度均衡可以有效保证果蔬的品质^[48],后续应就运输空间温度场的调节,优化气调运输箱内温度控制系统,实现温度精准调控的研究。

(3) 气体比例是气调保鲜的重要影响因素,当前应用一般为低氧环境^[49],后续可研究降氧方式、快速调节气体体积分数的气调保鲜系统^[50],扩大冷链运输的使用范围。

(4) 包装材料、包装设备应向持续利用、智能化方向发展,包装材料的改变将助力于气调保鲜的成本以及环保方面的优化,智能化包装材料可以有效传导密封环境内的气体、温湿度等条件数据^[51],助力果蔬品质的保持。

(5) 应加大力度对产品呼吸发热引起的蒸发作用原理和包装膜渗透的动力相互作用原理进行深入研究,实现湿度的精准调控。

(6) 在气调包装保鲜的基础上,增加智能监控的功能,实现实时传导冷链运输环境条件数据,并根据运输果蔬的品类实时做出改变^[52]。

参考文献

- [1] 常丽娜, 韩星. 我国果蔬冷链物流建设现状及发展建议[J]. 中国果菜, 2015, 35(2): 5-10.
- [2] 王文生. “十二五”期间我国果蔬冷链物流面临的机遇与挑战[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(3): 1-5.
- [3] 王莉. 浅谈果蔬贮藏保鲜技术的研究现状和发展趋势[J]. 现代园艺, 2012(24): 5.
- [4] 肖鹏. 果蔬冷链物流保鲜市场的现状及发展趋势[J]. 中国商论, 2019(1): 8-9.
- [5] 赵松松, 杨昭, 张雷, 等. 果蔬冷链发展现状与冷藏保鲜技术[J]. 冷藏技术, 2017, 40(4): 52-55.
- [6] 徐鹏, 吴玉月, 刘劭. 我国果蔬气调保鲜技术及装备的现状与发展趋势[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(6): 51-54.
- [7] 林锋, 陈文辉. 果蔬气调贮藏保鲜的原理与方法[J]. 福建果树, 1999(2): 47-49.
- [8] 黄艳, 陈燕珠, 陈荣冰, 等. 室温下包装材料对武夷肉桂贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 117-121.
- [9] 栗云鹏, 高晨, 王蕊, 等. 气调包装保鲜技术对猪肉冷藏保鲜效果的影响[J]. 北京农学院学报, 2017, 32(1): 43-47.
- [10] 王维海, 李源钊, 吴先辉, 等. 气调包装微环境对樱桃品质的影响[J]. 热带生物学报, 2018, 9(1): 101-108.
- [11] MIGUEL-PINTADO C, RESENDE M, RODRIGUES, et al. Improvement of ‘Sweetheart’ cherry quality by modified atmosphere packaging (MAP) [J]. Acta Horticulturae, 2017(1 161): 549-554.
- [12] 徐燕新, 陈湘宁, 许丽. 鲜切生菜气调包装保鲜条件优化[J]. 中国农学通报, 2016, 32(7): 185-190.
- [13] 王欣, 周春梅, 刘宝林, 等. 初始气体比例对白玉菇常温气调贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(6): 206-211.
- [14] 丁华, 王建清, 王玉峰, 等. 高氧气调包装对草莓保鲜效果的影响[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(2): 4-8.
- [15] 李继鸿. 天然包装材料在食品包装设计中的应用[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 126-128, 135.
- [16] 张晶, 马晓伟, 冯欣, 等. 接装胶及接装纸种类对胶水渗透性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 98-100, 196.
- [17] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, STEEN C V D, et al. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71(2/3): 197-210.
- [18] 车东. 鲜切果蔬产品气调包装工艺及质量评价[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 15-26.
- [19] 周秋阳, 赵利, 濮杨, 等. 高 O₂ 结合高 CO₂ 气调包装对绿芦笋抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 18-23.
- [20] 刘思广, 赵江. 非氧常规气体的渗透性能分析[J]. 中国包装, 2009(1): 56-58.
- [21] 钟颖. 分子模拟研究气体在高渗透性膜中扩散溶解行为[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 6-26.
- [22] 沈莲清, 黄光荣. 芦笋 MAP 气调保鲜研究[J]. 浙江农业学报, 2004(1): 46-50.
- [23] 曹慧娟, 农绍庄, 张平, 等. 不同包装方式及气调贮藏对绿芦笋保鲜效果的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007(6): 860-863.
- [24] SIMÓN A, GONZALEZ-FANDOS E. Influence of modified atmosphere packaging and storage temperature on the sensory and microbiological quality of fresh peeled white asparagus[J]. Food Control, 2011, 22(3/4): 370-374.
- [25] 张烜. 水芹菜的硅窗袋保鲜研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 12-18.
- [26] 顾广东, 朱昌保, 徐浩, 等. 纳米材料在食品储藏领域应用的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(3): 80-86.
- [27] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 新型纳米活性果蔬气调包装保鲜膜的研制[J]. 包装工程, 2008(3): 47-48.
- [28] 韩伟, 于艳军, 李宁涛, 等. 纳米复合材料在食品包装中的应用及其安全评价[J]. 科学通报, 2011, 56(3): 198-209.
- [29] 杨福馨, 魏丽娟, 余蕾希, 等. 香樟抗菌包装材料的开发与性能研究[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 5-10.
- [30] 吕文静. 冻藏温度对核桃鲜果贮藏品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 12-36.
- [31] MATHOOKO F M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide[J]. Postharvest Biology & Technology, 1996, 9(3): 247-264.
- [32] 王宝刚, 李文生, 侯玉茹, 等. 甜樱桃物流及气调箱贮藏期间的品质变化[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 953-958.
- [33] 饶先军. 结球生菜冷链物流保鲜技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011: 2-30.
- [34] 高铭, 纪淑娟, 程顺昌, 等. 不同浓度 CO₂ 对箱式气调贮藏树莓保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 341-343, 446.

- [35] DEL-VALLE V, HERNANDEZ-MUNOZ P, CATALA R, et al. Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (emap) for minimally processed mandarin segments[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(3): 474-481.
- [36] 安文. 气调包装对果蔬保鲜效果的影响因素[J]. 中国果菜, 2019, 39(6): 20-22, 26.
- [37] GARRIDO M D, HERNANDEZ M D, ESPINOSA M C, et al. Enhanced quality characteristics of refrigerated seabream (*Sparus aurata*) fillets packed under different systems (modified atmosphere vs. vacuum)[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(2): 156-168.
- [38] 彭群英, 李保国, 顾小杰. 新型置换式气调包装机结构设计及性能试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 19-22.
- [39] 孙智慧, 傅小华, 晏祖根, 等. 智能气调包装系统[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 7-10.
- [40] FINNEGAN E, MAHAJAN P V, O'CONNELL M, et al. Modelling of respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimum modified atmosphere packaging[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 79: 47-53.
- [41] KUMAR R P, GOSWAMI T K. Modelling the respiration rate of fresh-cut pear (*Pyrus communis* L.) packaged in modified atmosphere[J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2019, 8(4): 574-584.
- [42] SONG Y S, VORSA N, YAM K L. Modeling respiration and transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry and moisture absorbent[J]. Leice Transactions on Information & Systems, 2003, 86(9): 1 669-1 676.
- [43] SONG Y, LEE D S, YAM K L. Predicting relative humidity in modified atmosphere packaging system containing blueberry and moisture absorbent[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2001, 25(1): 49-70.
- [44] 张若瑜, 张卫国. 果蔬保鲜贮藏的冷链仓储环境分析[J]. 物流技术与应用, 2019, 24(增刊 1): 62-65.
- [45] 花文明. 真空冷却气调保鲜设备的构造及应用[J]. 农业装备技术, 2018, 44(4): 34-37, 44.
- [46] 邱静, 邹礼根, 陈飞东, 等. 数字化控制气调保鲜对红阳猕猴桃品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 2 080-2 083.
- [47] 康慧芳, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 气调贮藏对“徐香”猕猴桃采后保鲜效果影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 279-282, 287.
- [48] 云雪艳, 李晓芳, 刘孟禹, 等. 聚乳酸薄共聚膜对樱桃番茄自发气调保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 100-105.
- [49] 岳远. 气调包装设备为食品安全保驾护航[J]. 绿色包装, 2018(8): 90-91.
- [50] 段贤勇, 韩忠冠, 牛莉, 等. 食品包装自动线的聚氨酯真空吸盘压塑成型工艺技术研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 96-98, 220.
- [51] 春艳. 基于金针菇保鲜的可呼吸型包装薄膜的制备及其应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 12-36.
- [52] 赵松松, 杨昭, 张雷, 等. 果蔬冷链发展现状及冷藏保鲜技术[J]. 冷藏技术, 2017, 40(4): 52-55.

(上接第 227 页)

- [34] SSRING Y, GROSE F, RASIS S. The development of a mechanical cracker for macadamia nuts[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1980(41): 367-370.
- [35] MCSWAIN T M. Apparatus for shelling nuts: US, 6541057[P]. 2003-04-01.
- [36] 何义川, 王序俭, 曹肆林, 等. 对辊挤压式核桃破壳装置的设计与试验研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 350-352.
- [37] 董诗韩, 史建新. 多辊挤压式核桃破壳机的设计与试验[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(1): 62-65.
- [38] 刘明政, 李长河, 张彦彬, 等. 柔性带剪切挤压核桃破壳机理分析与性能试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 266-273.
- [39] 奉山森, 王娟, 陈致水, 等. 滚压式核桃破壳机的设计[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(14): 3 398-3 401.
- [40] 郑甲红, 赵奎鹏, 王娅妮, 等. 锯口挤压式核桃破壳机[J]. 木材加工机械, 2015, 26(2): 5-7.
- [41] 李忠新, 刘奎, 杨莉玲, 等. 锥蓝式核桃破壳装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 146-152.
- [42] ANDEREASEN S. Nutcracker: US, 0193984[P]. 2009-08-06.
- [43] 苏有良. 坚果脱壳分选机: 中国, 201320126797.0[P]. 2013-08-21.
- [44] 柴金旺. 核桃脱壳机: 中国, 90225457.X[P]. 1991-06-21.
- [45] SAVAGE B W, SAVAGE S W, INGLE R D. Nut-cracking apparatus: US, 6516714[P]. 2010-05-13.
- [46] 史建新. 多工位气动击打式核桃破壳机: 中国, 2016021112[P]. 2010-10-13.
- [47] 李忠新. 气动式核桃破壳机: 中国, 200710138910.6[P]. 2007-07-17.
- [48] 李忠新, 杨军, 杨莉玲. 一种核桃破壳机: 中国, 201120059960.7[P]. 2011-12-14.
- [49] 王晓暄, 史建新, 周军. 离心式核桃二次破壳机的设计与试验研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(6): 1 115-1 121.
- [50] 丁冉, 曹成茂, 詹超, 等. 仿生敲击式山核桃破壳机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 257-264.
- [51] 潘佰强. 核桃机械化脱壳的力学特性分析[J]. 广西农业机械, 2017(4): 28-31.
- [52] 王维, 贺功民, 王亚妮. 核桃的力学特性及有限元分析[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 103-106.