

农产品贮藏与加工

微环境气体调控在果蔬保鲜中的研究进展

张鹏¹, 朱文月², 李江阔¹, 薛友林²

(1.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) 天津农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 2.辽宁大学 轻型产业学院, 沈阳 110036)

摘要: **目的** 介绍几种气体调控研究进展, 为微环境气体调控贮藏果蔬提供一定的思路和依据。**方法** 综述气体调控应用气体范围、设备设施, 以及国内外研究进展, 并对我国气调贮藏果蔬的未来进行展望。**结果** 气调贮藏是目前国际上一种比较先进的果蔬贮藏手段, 但在我国由于起步晚、设备成本和普及度等方面的问题制约了其进一步的发展。**结论** 微环境气体调控保鲜果蔬是未来果蔬贮藏的发展方向和研究热点, 融合多元信息的气体调控越来越受到国内外研究者的青睐。

关键词: 微环境气体调控; 果蔬保鲜; 应用

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0001-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.001

Research Progress of Microenvironment Gas Regulation in Preservation of Fruits and Vegetables

ZHANG Peng¹, ZHU Wen-yue², LI Jiang-kuo¹, XUE You-lin²

(1.National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China;
2.College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

ABSTRACT: The work aims to introduce the research progress of several gas regulations and provide certain ideas and basis for the regulation and storage of fruits and vegetables by microenvironment gas. The application range, equipment and facilities of atmosphere modification and control, as well as the research progress at home and abroad were summarized, and the future of controlled atmosphere storage of fruits and vegetables in China was prospected. The modified atmosphere storage was a relatively advanced storage method for fruits and vegetables in the world, but its further development in China was restricted due to problems such as late start, equipment cost and popularity. The microenvironment atmosphere modification for the preservation of fruits and vegetables is the development direction and research hotspots in the future. The controlled atmosphere technique integrating multi-information is more and more favored by researchers at home and abroad.

KEY WORDS: microenvironment gas regulation; fruit and vegetable preservation; application

作为农业和生产果蔬大国,我国果蔬年产值达7亿t左右,在国际上名列前茅^[1]。果蔬具有生产季节性,因此其贮藏保鲜要求也比较高。在旺季采摘的果蔬由于贮藏保鲜方式不当,会导致其腐烂,降低甚至

收稿日期: 2019-09-24

基金项目: 天津市农业科学院青年科研人员创新研究与实验项目(2019009); 国家重点研发计划(2018YFD0401303)

作者简介: 张鹏(1981—),女,博士后,副研究员,主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。

通信作者: 李江阔(1974—),男,博士后,研究员,主要研究方向为农产品安全与果蔬贮藏保鲜新技术。

丧失商业价值。据商业部统计,果蔬因采后处理不恰当、储运保鲜技术低以及储运设备不完善等,会导致其破损率高达20%~30%,损失高达每年800万t,经济损失达800亿元^[2]。另外,果蔬淡旺季供求关系失衡,导致市场价格波动大。由此可见,采用合适的果蔬保鲜技术,对降低腐烂率、延长其贮藏期、维持其货架品质具有重要的社会经济效益。

目前,国内外广泛应用的现代化果蔬贮藏保鲜手段之一是气调贮藏技术。气调贮藏技术在国外应用较早,早在20世纪60年代,一些发达国家就开始研发并将其投入应用。20世纪70年代,气调保鲜技术逐渐得到广泛应用并于20世纪80年代得到大范围使用。如今,欧美国家已经普及并使用气调贮藏库进行果蔬贮藏,平均贮藏比重可达果蔬总产量的60%。气调贮藏技术在我国应用起步晚,从20世纪80年代开始引进,经过近10年的发展才得到国内学者的关注。过去20多年里,气调保鲜技术在我国的发展艰难而缓慢,普及程度相对较低^[3]。

1 定义及应用气体范围

1.1 微环境气体调控的定义

气调贮藏是控制和调节果蔬及其产品贮藏环境中的气体组成,并结合温度和湿度来达到延长各种产品贮藏和货架期限的一种技术。该技术大多结合冷库贮藏,对呼吸跃变型果实具有较好的贮藏和保鲜效果^[4]。微环境气调是基于箱式气调而发展起来的一种新兴气调方式。这种气调的特点是在箱式气调自发调节O₂和CO₂浓度的基础上加入新型气体,从而实现双控调节的目的^[5]。根据调节方式的不同,气调贮藏可分为自发气调贮藏(modified atmosphere storage,简称MA)和机械气调库贮藏(controlled atmosphere storage,简称CA)^[6-7],其中MA是依靠自然降氧,而CA则需要人为干预调节。MA是将果蔬用袋或帐进行密封,这些袋或帐由薄膜制成,具有一定的透气性。在包装内的果蔬利用呼吸和薄膜透气性,结合一定温度,自发调节袋或帐内环境中的气体组成,使之符合果蔬贮藏要求,实现延长果蔬贮藏的目的^[8-9]。CA是人为控制结合气调库来调节贮藏环境中的气体成分,利用不同的手段来降低气调库内O₂浓度,使气调库维持低氧状态,并调控库内各种气体成分的浓度及其比例,从而达到保鲜的目的^[10-11]。2种气调方法各有优缺点,MA具有投入成本低、操作技术简单等优点,缺点是达到所要求气体时间长且贮藏条件不易控制,一般为气调保鲜包装;CA采用机械人工控制气体的组成,具有所需时间短、控制精准等优点,缺点是技术要求高、操作复杂、成本高等,一般为气调保鲜贮藏^[12-13]。气调保鲜相较于传统保鲜技术而言,具有保

鲜效果好、营养物质损失小,以及能耗较低等多方面的优点,能够将果蔬贮藏时间延长5~10倍^[2]。

1.2 应用气体范围

1.2.1 传统气体气调

O₂和CO₂是传统气调方法常用的调节气体。将贮藏环境中的O₂浓度、CO₂浓度、温度和湿度等调节和控制在一定范围,以延缓果蔬呼吸和营养物质分解,从而延长果蔬的货架期。

不同品种或相同品种但不同产地的果蔬对气体的敏感程度不同,所以需要的O₂浓度、CO₂浓度也是不同的。另外,不同贮藏温度和包装量以及不同透气性的包装材料也会产生不同的贮藏效果。在关文强等^[7]的研究中,不同温度下的不同包装量的红富士苹果的保鲜膜包装袋内的气体平衡浓度不同。在平衡条件下,包装在专用和PE保鲜膜包装袋内贮藏保鲜7个月,苹果的商品价值基本不变。马惠玲等^[14]的研究表明,将核桃青果用改良后的聚乙烯袋进行包装,袋内的O₂和CO₂体积分数分别可达10.1%~13.0%,4.3%~6.5%,此包装方式明显地降低了果实的呼吸强度、乙烯合成和质量损失率,且腐烂果实数量明显少于对照组,可使果实冷藏95d左右后仍新鲜如初。

1.2.2 新型气态气体

除O₂和CO₂外,一些新型气态气体,如1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)、NO、O₃、ClO₂、SO₂等也被逐渐应用到微环境气体调控中。

1.2.2.1 1-MCP和NO

1-MCP和NO都是常用的气调保鲜剂,能有效地抑制乙烯对果蔬的作用,延缓果蔬衰老,且2种保鲜剂处理后对果实无残留毒性^[15]。1-MCP可以和乙烯受体结合,结合能力要优于乙烯,且可长期稳定牢固地封锁受体,进而阻断乙烯信号传导,抑制乙烯对果蔬的作用;NO则通过抑制乙烯的产生来实现保鲜目的^[16]。

千春录等^[17]用1-MCP和自发气调对猕猴桃进行了处理,2种处理均可降低其可溶性固形物含量、呼吸强度、电导率和质量损失率,保持果实色泽,维持果实品质。其中1-MCP处理效果更好,且两者相结合处理效果最佳。张鹏等^[5]以阳丰甜柿为实验对象,采用箱式气调与1-MCP相结合的方法对其进行贮藏,结果表明该处理对甜柿的感官、质地以及营养品质等都有较好的贮藏效果,且能够有效降低呼吸强度和乙烯合成速率。另外,1-MCP能够有效地维持甜柿贮藏后货架期的挥发性物质,减少其特征香气成分的损失。

Keke Shi等^[18]通过优化外源NO的浓度,来研究其在冷藏过程中对覆盆子果实品质的影响。研究结果表明,采用15 μmol/L的NO处理可以使覆盆子保持更高的花青素、芦丁、总酚和总黄酮含量,提高覆

盆子的抗氧化能力和可溶性糖的代谢,从而保持其贮藏品质。李艳红等^[19]以密闭的气调箱为气调工具,将伽师瓜放置在其中,分别采用 NO (60 $\mu\text{L/L}$)、缓释型固体 ClO_2 保鲜剂 (60 mg/L) 及两者结合熏蒸处理 12 h 后,于温度为 4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏 82 d 后进行研究,结果表明,3 种处理方法均可诱导伽师瓜贮藏过程中氧化相关酶活性的增加;抑制丙二醛含量的升高,增强果实的抗氧能力,减缓果实的衰老腐烂进程,其中 NO 结合 ClO_2 处理的效果最佳。

1.2.2.2 O_3 和 ClO_2

O_3 和 ClO_2 具有强氧化性,在杀菌消毒和食品保鲜方面具有重要作用^[20—21]。 O_3 处理不但能够去除有害微生物,还可在一定程度上降解果实表面的农药残留,抑制果蔬的生理代谢,并延缓其衰老进程^[22—23]。近年的研究发现,使用 ClO_2 处理果蔬会破坏微生物细胞形态,影响其正常分裂和生理代谢^[24],有效地杀灭微生物,大大抑制果蔬采后腐烂,并且可以快速有效地抑制果蔬中乙烯合成,破坏生成的乙烯,进而延缓果实的衰老,达到持久保鲜的目的。

黄家红等^[25]将柑橘贮于气调箱(温度 3~5 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 85%~90%)内,探讨低温气调与一定浓度(4.0 mg/m^3)间歇 O_3 相结合对果实品质的影响,研究表明,两者结合处理后柑橘的营养成分保持较好,微生物数量得到有效控制。章宁瑛^[26]的研究发现, O_3 与气调包装相结合可有效降低蓝莓的腐烂率,维持果实硬度,并保持较高的总酚、花色苷、TA、TSS、Vc 和 pH 水平,降低果实中抗氧化酶和抗病性酶活性的下降速度,并延缓 H_2O_2 和 MDA 含量的上升。

Guo 等^[27]以鲜切哈密瓜为实验对象,用 ClO_2 处理 12 h 后在冷库里(温度 5 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 95%)贮藏 19 d,实验组的果实出库时未出现霉烂现象,且质量损失情况较对照组得到显著降低,表明 ClO_2 处理可以显著降低鲜切哈密瓜的腐烂率和质量损失率。肖丽梅等^[28]的研究发现,利用 ClO_2 处理桃子后,桃子的褐变率和腐败速率都得到明显降低,硬度、颜色及口感都优于对照组。另外,钟梅等^[29]研究发现, ClO_2 处理可抑制葡萄的呼吸,并降低腐烂率,使养分损耗减少,其品质得到有效保持。

1.2.2.3 SO_2

SO_2 是一种气调贮藏中常用的杀菌剂,一方面, SO_2 能生成亚硫酸分子,改变微生物细胞原生质的 pH 值,破坏原生质与核酸,达到杀菌的目的;另一方面,亚硫酸可以被氧化,从而消耗氧气,破坏了好氧微生物的生长繁殖^[30]。

当前国内外主要将 SO_2 用于葡萄的贮藏保鲜,近些年来也有将 SO_2 应用于香蕉、荔枝、柠檬和木莓等水果的贮藏保鲜。Celia M C 等^[31]对无花果进行 SO_2 熏蒸,或者结合 SO_2 释放片进行双重处理来探究 SO_2 对无花果采后品质的保持作用,结果显示 25 $\mu\text{L/L}$ 的

SO_2 处理可使果实表面的霉菌减少,可以降低青霉菌和葡萄孢菌对果实的侵害。周江^[32]以“红地球”葡萄为实验原料,采用不同浓度的 SO_2 对其进行间歇熏蒸处理,实验结果表明 100 $\mu\text{L/L}$ 的 SO_2 处理能有效抑制果实腐烂,更好地保持果实的质地和营养成分,延长“红地球”葡萄的贮藏期。

1.2.3 新型液态气体

1.2.3.1 植物精油

近年来,植物精油被用于果蔬贮藏,且具有安全无毒、容易降解等优点,可以有效地减少病原微生物,改善采后果蔬的贮藏品质,并延长其保鲜期。

潘艳娟等^[33]结合高氧气调与天然植物精油,以及吸湿剂等包装技术对双孢菇进行包装,有效地减少了致病菌对双孢菇的侵害和水分在包装袋内的滞留,延缓了细胞无氧呼吸和色泽变化,改善了双孢菇的开伞及质地。徐仕翔^[34]以樱桃番茄为研究对象,利用含有月桂精油的混合乳液结合气调对其进行包装,发现该方法抑菌效果明显,适用于果蔬保鲜。

1.2.3.2 乙醇

乙醇在果蔬保鲜中的应用是利用乙醇的易挥发性,通过熏蒸对果蔬进行处理。研究发现,经过一定浓度的乙醇处理后,果蔬(尤其是鲜切果蔬)的成熟和衰老速度、腐烂率和褐变程度均被降低,货架寿命得到有效延长^[35]。

马华青等^[36]以番木瓜为研究对象,用不同质量浓度的乙醇对其进行熏蒸,结果表明:乙醇能显著延缓其营养成分和果实质地品质的降低,控制多酚氧化酶活性等的变化速率,以 2.0 mL/kg 的乙醇处理的保鲜效果最佳。张莉等^[37]采用不同浓度的乙醇对杏鲍菇进行熏蒸处理,实验结果表明:采用 400 $\mu\text{L/L}$ 的乙醇熏蒸的杏鲍菇贮藏品质最好,杏鲍菇的呼吸强度、褐变程度、细胞渗透率和质量损失率得到有效降低,且乙醇对其 Vc 和感官品质有一定程度的保护作用,货架期延长至 14 d。

1.2.3.3 纳他霉素

纳他霉素是一种安全、高效且经济的天然食品保鲜剂,对真菌的抑制和杀灭具有广泛性和高效性。研究表明,纳他霉素在绿芦笋、草莓、葡萄和柑桔等果蔬采后的贮藏保鲜上具有很大的发展空间^[38]。

张鹏等^[39]的实验以红、黄等 2 种樱桃番茄为实验材料,研究不同浓度的纳他霉素浸泡结合气调处理对樱桃番茄采后品质的影响。实验结果表明,不同浓度的纳他霉素均可明显延缓果实衰老,减少水分散失,降低呼吸强度,有效抑制樱桃番茄果实营养物质的分解,尤其是质量浓度为 1.2 g/L 时保鲜效果最佳。周翠英等^[40]采用不同浓度的纳他霉素结合气调包装对草莓进行处理,在低温(2 $\pm$ 1) $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏的研究表明,与对照组相比,果实表面霉菌经纳他霉素处理

后可得到有效减少,叶柄叶绿素、果实有机酸、糖分含量的下降速度得到降低,营养成分更高,贮藏期更长。

1.2.3.4 茉莉酸甲酯

茉莉酸甲酯广泛地存在于植物体中,是从素馨花精油中分离提纯的植物内源生长调节物,与植物的生长发育过程中防御植物基因的表达和应激反应有关^[41]。近些年的研究发现,外源茉莉酸甲酯具有抑制果蔬采后真菌性病害的效果^[42],并能减轻芒果等^[43]遇冷敏感果实贮藏过程中遭受冷害的程度,降低果实腐烂率,同时外源茉莉酸甲酯还能改善果实色泽,延缓果实贮藏品质的下降速度^[44]。

温昕晔等^[45]以新疆赛买提杏为实验材料,用不同浓度茉莉酸甲酯结合气调箱对其进行熏蒸 24 h 处理,然后放置在温度为 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 条件下贮藏 30 d,结果显示不同含量的茉莉酸甲酯均具有减少腐烂、抑制呼吸强度、维持养分等作用,另外,细胞膜的透过性也被降低,且采用浓度为 0.1 mmol/L 的茉莉酸甲酯处理其效果最明显。盘柳依等^[46]以猕猴桃为实验材料,研究茉莉酸甲酯对猕猴桃采后软腐病的影响,实验结果表明使用茉莉酸甲酯可提高相关抗氧化酶的活性,降低软腐病的发生。

2 微环境气体调控的设备、设施

气调库是气调贮藏常用的大型设施,除此之外,保鲜膜、保鲜盒、塑料气调箱、脉冲设备也是常见的气调贮藏材料和设施。

气调库是在低温冷库的基础上发展起来的,它既需要具备冷库的“低温冷藏”功能,又需要具备冷库所不能实现的“气调”功能^[47]。杨琪等^[48]的研究发现,与普通冷库贮藏相比,气调冷藏条件下的库尔勒香梨在品质方面具有显著的优越性,其活性氧代谢较慢,保鲜效果更好。李湘利等^[49]的实验结果表明,黄金梨采后用 PVC 袋包装后,迅速放入 0°C 冷库(O_2 体积分数为 3%~5%, CO_2 体积分数>1%,相对湿度为 85%~90%)进行预冷并贮藏,贮藏时间可达 9~10 个月,且不会使风味出现劣变。

不同保鲜膜的透气率不同,透湿性也不同,这不但能减少水分散失,降低果蔬质量损失率,还可调整贮藏环境中 O_2 与 CO_2 的比例。能够平衡透气率和透湿率的保鲜膜利用果蔬自身的代谢使包装内形成一种合适的低 O_2 、高 CO_2 的气体环境,从而对果蔬的呼吸强度起到抑制作用,减少了贮藏过程中养分的损耗,从而延长了保鲜期^[50]。谢玉花等^[51]以鲜切马蹄为实验材料,经复合保鲜剂涂膜处理后用保鲜膜进行包裹,结果表明,实验组与对照组相比可明显降低鲜切马蹄的质量损失率、褐变度和酚类物质的累积,减少营养物质的损失,抑制酶的活性及微生物的生长。

王治洲等^[52]以双孢菇为研究对象,采用共混薄膜对其进行包装,然后置于低温条件(温度 4°C ,相对湿度 80%)下进行贮藏,实验结果表明,双孢菇的褐变率得到明显降低,可以维持其良好的感官品质和营养价值,贮藏期得到有效延长,达到对照组的 2 倍。

塑料箱式气调是近年来慢慢发展起来的一种新型气调保鲜技术。该技术可以节约成本,且操作方便^[4]。气调箱常结合气调元件使用,可以调控箱内气体的组成,从而调节果蔬呼吸强度,减少养分的损失,降低代谢速度,从而推迟果蔬组织的成熟和衰老进程^[53]。张平等^[54]用气调箱结合不同的调气嘴对蓝莓进行贮藏,并研究贮藏过程中箱内气体的变化规律,以及该气体组成对蓝莓的保鲜效果的影响,实验表明,4 种调气嘴均能有效地控制果实的腐烂率和软果率,且调气嘴 B 能够较好地维持蓝莓的可溶性固形物含量,且贮藏 75 d 后蓝莓的好果率达到 91.23%,相较于其他技术,该技术能够有效地延长蓝莓果实的保鲜期。

脉冲电场成为近几年来各国研究者研究的热点之一。脉冲处理果蔬能够有效地杀死表面的致病菌,并且基本不产生残留物和有害化学物质。由于脉冲技术杀菌率高,杀菌过程不升温,不破坏营养成分,而且杀菌技术成熟,设备精致简单,未来可广泛应用于果蔬保鲜^[55]。目前,脉冲杀菌对果蔬保鲜的应用主要集中于鲜切果蔬方面^[56]。赵越^[57]对鲜切白菜和油麦菜进行混合接种,并用脉冲强光进行杀菌处理,实验结果表明该技术不仅能有效杀菌,还能很好地保留油麦菜及白菜的营养成分和感官品质。GIANPIERO P^[58]在报道中称,绿色番茄经脉冲强光处理后,在贮藏期间果实中番茄红素、总类胡萝卜素、酚类化合物含量得到显著增加,增强了番茄中对人体健康有益成分的积累。

3 微环境气体调控在果蔬研究中的最新进展

目前,气调保鲜技术在某些产品上的应用已经比较成熟了,下面列举了近 5 年国内外学者对果蔬气调保鲜的一些研究进展,为气调保鲜在果蔬和其它产品中的应用提供了借鉴和参考,见表 1。

近些年来,气体调控技术因其对果蔬的贮藏和保鲜具有显著作用而得到大力推广和发展。通过以上研究结果可知,近些年国内外对气调保鲜的研究主要集中在包装材料的选择、动态气调以及多元化技术结合等方面。常用气调包装材料主要有聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯,以及加入抗菌剂的抗菌包装和各种复合保鲜膜等。这些材料的气调包装操作简单,且成本低,但会对环境造成污染;动态气调是比较先进且近年来研

表 1 微环境气体调控在果蔬中的研究进展
Tab.1 Research progress of microenvironment gas regulation in preservation of fruits and vegetables

气调类型	果蔬品种	气体组成及实验条件	实验结果	参考文献
微环境气体调控	软枣猕猴桃、柿、蓝莓、番茄、樱桃	采用微环境气调调控保鲜箱,通过 1-MCP、MAP 或纳他霉素、MAP 相结合的方式贮藏	微环境气调调控可以有效延缓果蔬质地的下降,保持良好的营养价值,延长果蔬的贮藏期和货架期	刘振通 ^[59] 、王云舒 ^[60] 、李天元 ^[61] 、刘虹丽 ^[62]
自发硅窗气调	白芦笋	聚乙烯硅窗袋和聚氯乙烯硅窗袋包装,将预冷包装好的芦笋立刻放入冷库(3℃)进行贮藏	自发硅窗气调包装芦笋的气体成分在贮藏 28 d 时达到平衡,硅窗气调包装降低了芦笋质量的损失,有效降低了水分的散失率,进而提高了果蔬贮藏品质,降低了芦笋的剪切力,延缓了芦笋的木质化	部建雯 ^[63]
气调包装结合低温贮藏	生菜、苦苣、胡萝、彩椒、紫甘蓝	不同浓度 O ₂ , CO ₂ , N ₂ , 在 4℃ 下贮藏	与对照组相比,气调包装均能减缓产品颜色的变化程度,降低彩椒硬度和脆度,保留沙拉的风味,减少质量损失率,抑制菌落总数和大肠杆菌的生长。其中以 O ₂ , CO ₂ , N ₂ 的体积分数分别为 5%, 5%, 90%的气调包装的预制蔬菜沙拉感官评分最高	范红梅 ^[64]
抑菌气调包装	小台农芒	普通电商流通包装(CK)和抑菌气调包装(MA),常温贮藏	抑菌气调包装通过调整包装内的气体成分,维持适度的高浓度 CO ₂ 和低浓度 O ₂ ,降低了果实的质量损失率和黑斑病情指数,显著提高了芒果表皮的光泽度和鲜嫩度,延长了芒果货架期寿命	魏雯雯 ^[65]
高浓度 CO ₂ 气调包装	莲藕	体积分数为 100%的高浓度 CO ₂ 气调包装,放置在 4℃, 20℃ 的冰箱中	体积分数为 100% CO ₂ 气调包装对延缓鲜切莲藕褐变有较好效果,且在贮藏期间鲜切莲藕的 PAL, PPO 和 POD 酶活性随着褐变程度的增加而同步变化	谢君 ^[66]
气调柜气调	土耳其无花果	气调柜贮藏,实验组气调柜内 O ₂ 压强均为 5 kPa,高纯 CO ₂ 压强分别为 5,10,15 kPa,对照组为 O ₂ 20 kPa, CO ₂ 0 kPa,在 0℃ 下贮藏 30 d,货架期为 2 d	以总可溶性固形物、酸度和颜色表示的成熟过程被气调处理延缓,但在货架期后恢复。不同气调处理的果实在冷藏后花青素指数和贮藏后黄酮类化合物指数存在显著差异,且在 O ₂ 与 CO ₂ 的压强分别为 5 kPa 条件下硬度最高,可以保持水果的完整性	Bahar, A ^[67]
气调保鲜结合保鲜剂	石榴	外源乙烯利(0.5,1.0,1.5 μL/L)处理,1-MCP(1 μL/L)处理,1-MCP 结合 MAP(保鲜袋)处理,在(2±1)℃下贮藏 120 d 后于货架(20℃)3 d 后进行测定	1-MCP 结合 MAP 可有效降低柿子冷害的发生	Valdenegro, Mónica ^[68]
不同气调保鲜袋结合不同温度	番茄	4℃和 12℃保存的 PE 袋中 O ₂ 体积分数分别为 19.9%~20.3%和 20.6%~20.9%,XF 袋中 O ₂ 质量分数为 14.9%~16.7%和 17.8%~18.5%,贮藏 14 d,货架温度 20℃	与非气调对照组相比,气调处理在冷藏过程中延缓了果实的成熟过程和颜色的形成。特别是 XF 袋处理有效降低了点蚀评分和腐烂率(4℃ 14 d,转入 20℃货架贮藏 3~8 d),可以减少冻害,延长番茄的货架期	Park, Me-Hea ^[69]
气调保鲜结合超声处理	黄瓜	超声(0, 100, 200, 300 W)结合气调(O ₂ 5%, CO ₂ 2%和 N ₂ 93%)	超声(20 W, 10 min)结合气调处理降低了黄瓜质量和硬度的损失,抑制了其颜色的变化,维持了黄瓜可溶性固形物含量和细胞壁的完整性,减少了水分散失,可有效保存黄瓜的风味	Lei Feng ^[70]
动态控制气调结合超低氧贮藏	“Royal”和“Galaxy”嘎啦苹果	控制气调(CA): 1.2 kPa O ₂ + 2.0 kPa CO ₂ ; 动态控制气调(DCA-CF):叶绿素荧光 +1.2 kPa CO ₂ ; 超低氧贮藏(ULO): 0.4 kPa O ₂ + 1.2 kPa CO ₂	研究发现 CA 条件下的果实内部乙烯浓度较高, DCA-CF 最低, ULO 介于两者之间;另外 DCA-CF 对“Royal”和“Galaxy”嘎啦苹果质量的维护都有较好的效果; ULO 和 DCA-CF 对“Royal”苹果有相似的效果	Thewes ^[71]

续表 1

气调类型	果蔬品种	气体组成及实验条件	实验结果	参考文献
保鲜剂和温度结合呼吸商控制动态气调	“Galaxy”嘎啦苹果	控制气调 (CA): 1.2 kPa O ₂ + 2.0 kPa CO ₂ ; 呼吸熵控制气调 (DCA-RQ) 1.3; 呼吸熵控制气调 (DCA-RQ) 1.5 + 1.2 kPa CO ₂	该研究表明, “Galaxy” 苹果可以在 DCA-RQ 条件下贮藏, DCA-RQ 较 CA 能够更好地维持果实的质构, 并且果实有更低的乙烯产量和 ACC 氧化酶活性等	de Oliveira Anese. ^[72]
叶绿素荧光动态控制气调	蛇果	超低氧控制大气(ULO-CA): 1.0 kPa O ₂ + 1.0 kPa CO ₂ ; 叶绿素荧光动态控制气调(DCA-CF): 0.4 kPa O ₂ ; 反复低氧胁迫(RLOS): 先用 0.3 kPa 低氧胁迫 2 个周期, 再控制 0.7~0.8 kPa O ₂ , 0.9 kPa CO ₂ ; ULO-CA+1-MCP	结果表明, 酯类和萜烯类化合物是蛇果的主要挥发性成分, 且 ULO-CA+1-MCP 的酯类产生最少	Ciesla ^[73]
呼吸熵控制动态气调	富士苹果	控制气调(CA): 1.0 kPa O ₂ + 0.5 kPa CO ₂ ; 动态控制气调(DCA-CF): 1.0 kPa O ₂ + 1.3 kPa CO ₂ ; 呼吸熵控制气调(DCA-RQ) 1.5, 呼吸熵控制气调(DCA-RQ) 2.0	研究表明, DCA-RQ 能有效监测富士苹果最低氧浓度, 可以在安全水平诱导厌氧代谢, 另外, WEBER DCA-CF 和 DCA-RQ 贮藏条件对果实品质保持基本一致	A ^[74]

究比较多的一种气调方法,其贮藏室可分阶段地改变果蔬贮藏环境中的气体组成,以适应不同果蔬贮藏的生理需求,相比常规的气调贮藏具有明显的优势,但是其成本较高,实用性不强。与单一的气调保鲜相比,气调贮藏保鲜通常结合低温、保鲜剂、超声等技术一起对果蔬进行处理,且它们之间往往会起到协同的作用效果,更好地保持果蔬的品质。

4 结语

随着社会的进步,人们对果蔬的健康、安全、环保的要求越来越高,气调贮藏保鲜作为目前一种比较好的保鲜技术也逐步流行起来。气调贮藏在发达国家的应用比较普遍,在我国起步较晚,发展也比较缓慢。

我国的气调偏重于理论,忽视了其实用性,致使气调贮藏体系不完善。气调贮藏的常用设施气调库修建成本和技术要求高,导致其贮藏成本也高,使之在一些不发达地区推广困难。另外,我国区域发展失衡,对果蔬采摘方式及分级挑选很难统一,导致对已有气调库的利用不充分,无法实现经济效益。气调贮藏是一个比较新的理念,公众对其疏于了解,这些因素都限制了气调贮藏在我国的发展。

相较于机械气调高昂的费用,气调箱作为一种较新的自发气调方式在气调保鲜方面有良好的应用和推广价值。目前,针对气调箱对果蔬的保鲜研究较多,且保鲜效果显著。另外,气调箱结合保鲜剂的双重保鲜方式往往会有更佳的保鲜效果,其发展前景不容小觑。针对气调库利用不充分、空间浪费严重等现象,可以研究发展不同规模的气调箱,甚至可以向便携化方向发展,使气调不仅仅应用于贮藏,也可以应

用到果农采后运输以及水果货架期的保鲜,使气调向着便利化、低成本的方向发展,在我国得到更加广泛的应用。

参考文献:

- [1] 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): 14—15.
XIAO Peng. The Current Situation and Development Trend of Fruit and Vegetable Cold Chain Logistics Preservation Market[J]. Chinese Business Theory, 2019(1): 14—15.
- [2] 汤石生, 刘军, 龚丽, 等. 果蔬保鲜贮藏技术研究进展[J]. 现代农业装备, 2018(4): 67—73.
TANG Shi-sheng, LIU Jun, GONG Li, et al. Research Progress on Preservation of Fruit and Vegetable[J]. Modern Agricultural Equipments, 2018(4): 67—73.
- [3] 冯丽荣. 浅议蔬菜的气调储藏保鲜技术[J]. 黑龙江科技信息, 2015(1): 177.
FENG Li-rong. Discussion on the Atmosphere Storage and Preservation Technology of Vegetables[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2015(1): 177.
- [4] 李春媛, 李志文, 朱志强, 等. 箱式气调保鲜技术在果蔬贮藏中的应用研究进展[J]. 天津农业科学, 2013, 19(9): 48—52.
LI Chun-yuan, LI Zhi-wen, ZHU Zhi-qiang, et al. Application of Plastic Modified Atmosphere Box in the Storage of Fruits and Vegetables. Tianjin Agricultural Sciences, 2013, 19(9): 48—52.
- [5] 张鹏, 李天元, 李江阔, 等. 贮藏微环境气体调控对精准相温贮藏后阳丰甜柿货架品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 121—128.

- ZHANG Peng, LI Tian-yuan, LI Jiang-kuo, et al. Effect of Microenvironment Gas Regulation on the Quality of Sweet Persimmon after Accurate Phase Temperature Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(10): 121—128.
- [6] 梁洁玉, 朱丹实, 冯叙桥, 等. 果蔬气调贮藏保鲜技术研究现状与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2013(6): 1617—1625.
- LIANG Jie-yu, ZHU Dan-shi, FENG Xu-qiao, et al. Status and Prospects on Modified Atmosphere Storage Technology of Fruits and Vegetables[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2013(6): 1617—1625.
- [7] 关文强, 陈丽, 李喜宏, 等. 红富士苹果自发气调保鲜技术研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 218—221.
- GUAN Wen-qiang, CHEN Li, LI Xi-hong, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Fuji Apple[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5): 218—221.
- [8] 曹森, 赵成飞, 钟梅, 等. 自发气调包装对辣椒贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 277—282.
- CAO Sen, ZHAO Cheng-fei, ZHONG Mei, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Storage Quality of Capsicum Annuum L[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(13): 277—282.
- [9] 周志才, 王美兰, 李长海. 绿芦笋自发气调贮藏保鲜袋的设计和适宜气体组成确定[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 235—237.
- ZHOU Zhi-cai, WANG Mei-lan, LI Chang-hai. Study on Designing Modified Atmospheres Storage and Determining the Fit Composition of Gas of Asparagus[J]. Food Science, 2005, 26(12): 235—237.
- [10] 郭晓光. 水果气调保鲜贮藏与气调库系统[J]. 农产品加工, 2007(9): 36—38.
- GUO Xiao-guang. Fruit Modified Atmosphere Storage and Atmosphere Storage System[J]. Farm Products Processing, 2007(9): 36—38.
- [11] 朱君芳. 气调贮藏对大蒜鳞茎贮藏效果与采后生理的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016: 1—6.
- ZHU Jun-fang. Effects of Modified Atmosphere Storage on Storage and Postharvest Physiology of Allium Sativum L[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016: 1—6.
- [12] 姜齐永, 王美兰, 周志才, 等. 莱阳梨自发气调小包装设计及应用[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 179—181.
- JIANG Qi-yong, WANG Mei-lan, ZHOU Zhi-cai, et al. Design and Application of the Modified Atmosphere Small Package of Laiyang Pear[J]. Food Research and Development, 2017, 38(4): 179—181.
- [13] 郑秋丽, 王清, 高丽朴, 等. 蔬菜保鲜包装技术的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 317—323.
- ZHENG Qiu-li, WANG Qing, GAO Li-pu, et al. Progress in Packaging Technologies for Vegetables[J]. Food Science, 2018, 39(3): 317—323.
- [14] 马惠玲, 宋淑亚, 马艳萍, 等. 自发气调包装对核桃青果的保鲜效应[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 262—267.
- MA Hui-ling, SONG Shu-ya, MA Yan-ping, et al. Effects of Modified Atmosphere Package on Preservation of Green Walnut Fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 262—267.
- [15] 周春丽, 钟贤武, 苏虎, 等. 一氧化氮对果蔬采后保鲜机理的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 1954—1957.
- ZHOU Chun-li, ZHONG Xian-wu, SU Hu, et al. Study on Progress of Fresh Preservation Mechanism of Nitric Oxide on Vegetables and Fruits[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(10): 1954—1957.
- [16] 龙成梅, 杨鼎, 杨卫. 果蔬保鲜剂的研究进展[J]. 广州化工, 2014(23): 44—45.
- LONG Cheng-mei, YANG Ding, YANG Wei. Research Progress of Fruit and Vegetable Preservative[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014(23): 44—45.
- [17] 千春录, 林晨, 殷健东, 等. 1-MCP 和自发气调对猕猴桃果实贮藏品质和色素的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13): 189—192.
- QIAN Chun-lu, LIN Chen, YIN Jian-dong, et al. Impacts of 1-MCP and Self-modified Atmosphere on Quality and Pigment of Kiwifruit during Storage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(13): 189—192.
- [18] SHI Ke-ke, LIU Zun-chun, WANG Jun-wen, et al. Nitric Oxide Modulates Sugar Metabolism and Maintains the Quality of Red Raspberry during Storage[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256: 108611.
- [19] 李艳红, 郭芹. NO 和 ClO₂ 处理对采后伽师瓜抗氧化酶活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(6): 13—16.
- LI Yan-hong, GUO Qin. Effects of NO and ClO₂ Treatments on Antioxidant Enzyme Activities in Post-harvest Jiashi Melon[J]. Preservation and Processing, 2015, 15(6): 13—16.
- [20] 李梦钗, 冯薇, 杨丽娜. 臭氧处理对草莓保鲜效果的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 27(16): 240—243.
- LI Meng-chai, FENG Wei, YANG Li-na. Effects of Ozone Treatment on the Consequent of Fresh Strawberries[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 27(16): 240—243.
- [21] 李玉, 秦文, 李杰, 等. 气调、臭氧及 1-MCP 处理对佛手瓜贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 138—143.
- LI Yu, QIN Wen, LI Jie, et al. Effects of Controlled Atmosphere, Ozone and 1-MCP on Chayote Quality during Storage[J]. Food & Machinery, 2015, 31(4): 138—143.
- [22] 赵晓丹, 傅达奇, 李莹. 臭氧结合气调冷藏对草莓保

- 鲜品质的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 24—28.
ZHAO Xiao-dan, FU Da-qi, LI Ying. Effect of O₃ Treatment Combined with Atmosphere Control (CA) on the Storage Quality of Strawberry[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(6): 24—28.
- [23] 邓义才, 赵秀娟. 臭氧的保鲜机理及其在果蔬贮藏中的应用[J]. 广东农业科学, 2005(2): 67—69.
DENG Yi-cai, ZHAO Xiu-juan. Preservation Mechanism of Ozone and Its Application in Storage and Transportation of Fruits and Vegetables[J]. Guangdong Agricultural Science, 2005(2): 67—69.
- [24] PETA M E. Susceptibility of Food Spoilage Bacillus Species to Chlorine Dioxide and Other Sanitizers[J]. South African Journal of Science, 2003, 99(7): 375—380.
- [25] 黄家红, 梁芸志, 李少华, 等. 低温气调协同臭氧间歇处理对柑橘贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(3): 28—32.
HUANG Jia-hong, LIANG Yun-zhi, LI Shao-hua, et al. Effects of Low Temperature Modified Atmosphere and Intermittent Ozone Treatment on the Storage Quality of Citrus[J]. Storage and Process, 2018, 18(3): 28—32.
- [26] 章宁瑛. 臭氧处理及气调包装对蓝莓采后贮藏品质和生理代谢的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017: 14—40.
ZHANG Ying-ning. Effects of Ozone Treatment and Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Storage Quality and Physiological Metabolism of Blueberry[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017: 14—40.
- [27] GUO Q, LYU X, XU F, et al. Chlorine Dioxide Treatment Decreases Respiration and Ethylene Synthesis in Fresh-cut 'Hami' Melon Fruit[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(9): 1775—1782.
- [28] 肖丽梅, 钟梅, 吴斌, 等. 1-甲基环丙烯和二氧化氯对新疆蟠桃保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(12): 276—280.
XIAO Li-mei, ZHONG Mei, WU Bin, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene and Chlorine Dioxide on Preservation of Xinjiang Flat Peaches[J]. Food Science, 2009, 30(12): 276—280.
- [29] 钟梅, 吴斌, 王吉德, 等. 二氧化氯气体对红提与巨峰葡萄采后呼吸速率、品质及货架期的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 64—67.
ZHONG Mei, WU Bin, WANG Ji-de, et al. Effect of Postharvest Chlorine Dioxide Treatment on the Respiration, Quality, and Shelf Life of Redglobe and Jufeng Table Grapes[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(3): 64—67.
- [30] 王凤超. 二氧化硫处理对鲜食葡萄贮藏病害及生理的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013: 5—9.
WANG Feng-chao. Effects of Sulfur Dioxide Treatment on Storage Diseases and Physiology of Table Grapes[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013: 5—9.
- [31] CELIA M C, LLUIS P, BREMER V, et al. Evaluation of the Use of Sulfur Dioxide to Reduce Postharvest Losses on Dark and Green Figs[J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 59(2): 150—158.
- [32] 周江. 二氧化硫(SO₂)间歇熏蒸对红地球葡萄采后品质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016: 16—23.
ZHOU Jiang. Effect of Sulphur Dioxide (SO₂) Intermittent Fumigation on Postharvest Quality of Red Globe Grape[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016: 16—23.
- [33] 潘艳娟, 王建清, 王猛. 气调与精油等包装技术联合应用对双孢菇品质的影响[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 33—37.
PAN Yan-juan, WANG Jian-qing, WANG Meng. Impact of the Application of MAP Combined with Essential Oil and other Packaging Technology on the Quality of Agaricus Bisporus[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 33—37.
- [34] 徐仕翔. 月桂精油及其复合保鲜方法对樱桃番茄采后病害抑制效果的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016: 34—76.
XU Shi-xiang. Study on the Inhibitory Effect of Laurel Essential Oil and Its Composite Preservation Method on Postharvest Diseases of Cherry Tomato[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016: 34—76.
- [35] 范文广, 韩双, 姚春艳, 等. 1-MCP, ClO₂和乙醇在果蔬保鲜的应用研究进展[J]. 农产品加工, 2013(13): 52—54.
FAN Wen-guang, HAN Shuang, YAO Chun-yan, et al. Progress in the Application of 1-MCP, ClO₂ and Ethanol in the Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Agricultural Product Processing, 2013(13): 52—54.
- [36] 马华青, 张琦, 安娜, 等. 乙醇熏蒸对番木瓜采后品质和生理指标的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 314—317.
MA Hua-qing, ZHANG Qi, AN Na, et al. Effect of Ethanol Fumigation on Postharvest Quality and Physiological Indexes of Papaya[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(11): 314—317.
- [37] 张莉, 许欣, 刘林德, 等. 乙醇熏蒸对杏鲍菇贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 55—59.
ZHANG Li, XU Xin, LIU De-lin, et al. Effects of Ethanol Fumigation on the Storage Quality of Pleurotus Eryngii[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 55—59.
- [38] 岳昊博. 纳他霉素(Natamycin)的特性、应用及生产和研究状况[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 55.
YUE Hao-bo. The Properties and Application of Natamycin and Its Production and Advanced Research[J]. Food Science and Technology, 2007, 32(3): 55.
- [39] 张鹏, 王剑功, 李江阔, 等. 纳他霉素在气调保鲜樱

- 桃番茄中的应用[J]. 食品工业, 2017(4): 216—221.
ZHANG Peng, WANG Jian-yue, LI Jiang-kuo, et al. Application of Natamycin in Modified Fresh-keeping Cherry Tomato[J]. Food Industry, 2017(4): 216—221.
- [40] 周翠英, 周建俭, 高腾, 等. 纳他霉素在气调保鲜草莓中的应用研究[J]. 食品科技, 2012(3): 54—57.
ZHOU Cui-ying, ZHOU Jian-jian, GAO Teng, et al. Application Natamycin in MAP Preservation of Strawberry[J]. Food Science and Technology, 2012(3): 54—57.
- [41] 李盈. 茉莉酸甲酯作用机理的研究[J]. 农业科技与信息, 2015(15): 76—78.
LI Ying. Study on the Mechanism of Methyl Jasmonate[J]. Information of Agricultural Science and Technology, 2015(15): 76—78.
- [42] YAO H, TIAN S. Effects of Pre- and Post-harvest Application of Salicylic Acid or Methyl Jasmonate on Inducing Disease Resistance of Sweet Cherry Fruit in Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(3): 253—262.
- [43] GA GONZALEZ-AGUILAR, JG BUTA, WANG CY. Methyl Jasmonate Reduces Chilling Injury Symptoms and Enhances Colour Development of 'Kent' Mangoes[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2001, 81(13): 1244—1249.
- [44] FENG L, ZHENG Y, ZHANG Y, et al. Methyl Jasmonate Reduces Chilling Injury and Maintains Postharvest Quality in Peaches[J]. Agricultural Sciences in China, 2003, 48(11): 515.
- [45] 温昕晔, 张辉, 李洁, 等. 茉莉酸甲酯对采后赛买提杏冷藏品质的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2014, 37(1): 73—77.
WEN Xin-ye, ZHANG Hui, LI Jie, et al. Effects of Methyl Jasmonate on Refrigeration Quality of Post-harvest Saimaiti Apricot[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2014, 37(1): 73—77.
- [46] 盘柳依, 赵显阳, 陈明, 等. 茉莉酸甲酯调控防御酶活性诱导猕猴桃果实抗采后软腐病[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 80—85.
PAN Liu-yi, ZHAO Xian-yang, CHEN Ming, et al. Regulation of Defense Enzymes by Methyl Jasmonate to Induce the Resistance of Kiwifruits Against Soft Rot[J]. Plant Protection, 2019, 45(1): 80—85.
- [47] 张华俊, 李洪峻, 蒲亮, 等. 气调库与气调设施综述[C]// 全国食品冷藏链大会暨全国气调冷库技术研讨会, 2002: 37—41.
ZHANG Hua-jun, LI Hong-jun, PU Liang. et al. Summary of Air Conditioning and Air Conditioning Facilities[C]// National Food Cold Chain Conference and National Air Conditioning Cold Storage Technology Seminar, 2002: 37—41.
- [48] 杨琪, 江英, 南立军, 等. 气调贮存条件下香梨的活性氧代谢研究[J]. 食品工业, 2017(12): 127—130.
YANG Qi, JIANG Ying, NAN Li-jun, et al. Study on Active Oxygen Metabolism of Fragrant Pear under Air Conditioning Storage Condition[J]. Food Industry, 2017(12): 127—130.
- [49] 李湘利, 张子德, 刘静, 等. 黄金梨气调贮藏技术[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 156—157.
LI Xiang-li, ZHANG Zi-de, LIU Jing, et al. Technology of Controlled Atmosphere of Whangkeumbae[J]. Food Research and Development, 2006, 27(6): 156—157.
- [50] 曾晓丹, 贺红宇, 刘培, 等. 3种保鲜膜材料对金针菇常温保鲜效果的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(10): 186—190.
ZENG Xiao-dan, HE Hong-yu, LIU Pei, et al. Effects of Three Kinds of Preservative Film on Fresh-keeping of Flammulina Velutipes at Room Temperature[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(10): 186—190.
- [51] 谢玉花, 段振华, 黄晓宁, 等. 不同气调方式对鲜切马蹄生理生化指标的影响[J]. 食品科技, 2019(2): 53—58.
XIE Yu-hua, DUAN Zhen-hua, HUANG Xiao-ning, et al. Effects of Different Atmospheric Regulations on Physiological and Biochemical Indexes of Fresh-cut Eleocharis Dulcis[J]. Food Technology, 2019(2): 53—58.
- [52] 王治洲, 道日娜, 徐畅, 等. PBAT/PCL可降解气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果[J]. 食品工业, 2018(4): 118—124.
WANG Zhi-zhou, DAO Ri-na, XU-Chang, et al. Fresh-keeping Effect of PBAT/PCL Degradable Modified Fresh-keeping Film on Agaricus Bisporus[J]. Food Industry, 2018(4): 118—124.
- [53] 隋棠, 李志文, 张瑛, 等. 箱式气调对鲜食莲蓬贮藏品质和生理的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(6): 39—46.
SUI Tang, LI Zhi-wen, ZHANG Ying, et al. Effects of Box Atmosphere on the Quality and Physiology of Fresh Food storage[J]. Preservation and Processing, 2018, 18(6): 39—46.
- [54] 张平, 李江阔, 张鹏, 等. 蓝莓塑料箱式气调保鲜技术研究[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 9—11.
ZHANG Ping, LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, et al. Study on Plastic Box Modified Atmosphere Storage of Blueberry[J]. Storage and Process, 2010, 10(3): 9—11.
- [55] 张璇, 鲜瑶. 脉冲强光杀菌技术及其在果蔬上的应用[J]. 农产品质量与安全, 2011(3): 44—47.
ZHANG Xuan, XIAN Yao. Pulsed Light Sterilization Technology and Its Application in Fruits and Vegetables[J]. Agricultural Product Quality and Safety, 2011(3): 44—47.
- [56] 吴凯为, 蔡文琪, 张成东, 等. 脉冲强光杀菌技术在食品保鲜领域的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019(5): 295—299.
WU Kai-wei, CAI Wen-qi, ZHANG Cheng-dong, et al.

- Research Progress of Pulsed Light Sterilization Technology in Preservation of Food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019(5): 295—299.
- [57] 赵越. 鲜切油麦菜、白菜脉冲强光与气调包装联合保鲜研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 11—55.
ZHAO Yue. Study on Fresh Cut Rapeseed and Cabbage Combined with Pulse Bright Light and Air Conditioning Packaging[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016: 11—55.
- [58] GIANPIERO P, MERTCAN S, MAURO M C. The Influence of Post-harvest UV-C and Pulsed Light Treatments on Quality and Antioxidant Properties of Tomato Fruits during Storage[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 30: 103—111.
- [59] 刘振通. 箱式气调对葡萄、软枣猕猴桃冷藏品质调控效应的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 21—55.
LIU Zhen-tong. Study on Regulation Effect of Box-type Modified Atmosphere on Quality of Grape and Actinidia Auguta in Cold Storage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017: 21—55.
- [60] 王云舒. 微环境气调箱对甜樱桃和芒果保鲜效果的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 20—59.
WANG Yun-shu. Microenvironment Atmosphere Box on Research of Sweet Cherry and Mango Preservation Effect[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016: 20—59.
- [61] 李天元. 贮藏微环境气体调控保鲜浆果的技术研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016: 81—83.
LI Tian-yuan. Study on Storage Microenvironment Gas Regulation of Fresh-keeping on Berry[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016: 81—83.
- [62] 刘虹丽. 微环境箱式气调对浆果物流品质调控效应研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2017: 103—106.
LIU Hong-li. Study on the Regulation and Control Effects of Micro-environment Box-Type Modified Atmosphere on Logistics Quality of Berry Fruits[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2017: 103—106.
- [63] 部建雯, 魏雯雯, 迟晓君, 等. 硅窗气调包装对白芦笋贮藏品质的影响[J]. 中国果菜, 2017, 37(2): 1—5.
BU Jian-wen, WEI Wen-wen, CHI Xiao-jun, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging with Silicon Gum Film Window on White Asparagus[J]. China Fruit and Vegetable, 2017, 37(2): 1—5.
- [64] 范红梅, 张超, 马越, 等. 气调包装对预制蔬菜沙拉品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 70—75.
FAN Hong-mei, ZHANG Chao, MA Yue, et al. Effect of Modified Atmosphere Package on Qualities of Prepared Salad[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 70—75.
- [65] 魏雯雯, 吕平, 孙斐, 等. 抑菌气调包装对芒果采后常温贮藏品质的影响[J]. 中国果菜, 2018, 38(1): 1—3.
WEI Wen-wen, LYU Ping, SUN Fei, et al. Effect of Antibacterial Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Mango Storage in Ambient Temperature[J]. China Fruit and Vegetable, 2018, 38(1): 1—3.
- [66] 谢君, 代钰, 王宏勋, 等. 高浓度二氧化碳气调包装通过调节酚代谢抑制鲜切莲藕的酶促褐变[J]. 现代食品科技, 2018, 34(7): 174—180.
XIE Jun, DAI Yu, WANG Hong-xun, et al. High Concentration CO₂ Modified-atmosphere Packaging Inhibits Enzymatic Browning of Fresh-cut Lotus Root Slices by Regulating Phenolic Metabolism[J]. Modern Food Science & Technology, 2018, 34(7): 174—180.
- [67] BAHAR A, LICHTER A. Effect of Controlled Atmosphere on the Storage Potential of Ottomanit Fig Fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 227: 196—201.
- [68] VALDENEGRO, MONIKA, HUIDOBRO C, MONSALVE L, et al. Effects of Ethrel, 1-MCP and Modified Atmosphere Packaging on the Quality of "Wonderful" Pomegranates during Cold Storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 4854—4865.
- [69] PARK M H, SANGWANANGKUL P, CHOI J. W. Reduced Chilling Injury and Delayed Fruit Ripening in Tomatoes with Modified Atmosphere and Humidity Packaging[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 231: 66—72.
- [70] FENG L, ZHANG M, ADHIKARI B, et al. Effect of Ultrasound Combined with Controlled Atmosphere on Postharvest Storage Quality of Cucumbers (*Cucumis Sativus* L)[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(7): 1328—1338.
- [71] THEWES F. R, BOTH V, BRACKMANN A, et al. Dynamic Controlled Atmosphere and Ultralow Oxygen Storage on 'Gala' Mutants Quality Maintenance[J]. Food Chemistry, 2015, 188: 62—70.
- [72] DE OLIVEIRA ANESE R, BRACKMANN A, WENDT L. M, et al. Interaction of 1-Methylcyclopropene, Temperature and Dynamic Controlled Atmosphere by Respiratory Quotient on 'Galaxy' Apples Storage[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 20: 1—11.
- [73] CIESA F, DALLA V J, WISTHALER A, et al. Discrimination of Four Different Postharvest Treatments of 'Red Delicious' Apples Based on Their Volatile Organic Compound (VOC) Emissions during Shelf-life Measured by Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry (PTR-MS)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 329—336.
- [74] WEBER A, THWES F R, ROGERIO D O A, et al. Dynamic Controlled Atmosphere (DCA): Interaction between DCA Methods and 1-Methylcyclopropene on 'Fuji Suprema' Apple Quality[J]. Food Chemistry, 2017, 235: 136.