

常见浆果气调贮藏保鲜技术的研究进展

司琦^{1,2}, 胡文忠^{1,2,*}, 姜爱丽^{1,2}, 冯可^{1,2,3}, 王倩影^{1,2}

(1.大连民族大学生命科学学院, 辽宁大连 116600;

2.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁大连 116600;

3.大连理工大学生命科学与技术学院, 辽宁大连 116024)

摘要:浆果含有丰富的水分,易腐败变质,容易遭受病害和霉害侵蚀,不易贮藏与运输。气调贮藏保鲜技术由于具有保藏效果好,贮藏时间长,安全无污染的特点,近些年来,国内外关于气调贮藏保鲜技术的研究和应用已经成为研究热点。本文阐述了气调贮藏保鲜技术对常见浆果中乙烯合成、呼吸作用、自由基防御系统等生理作用的影响作用,对气调技术在浆果保鲜的应用前景行了展望,为常见浆果类产品贮藏保鲜技术的研发奠定了理论基础。

关键词:常见浆果,气调,贮藏保鲜,生理品质

Research progress in modified atmosphere storage of berry

SI Qi^{1,2}, HU Wen-zhong^{1,2,*}, JIANG Ai-li^{1,2}, FENG Ke^{1,2,3}, WANG Qian-ying^{1,2}

(1.College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China;

2.Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization, Ministry of Education, Dalian 116600, China;

3.School of Life Science and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Berries contain rich moisture and are easily influenced by diseases and mildew damage, which bring great difficulty for storage. In recent years, research and application of modified atmosphere storage had become a research hotspot for the reason of its good preservation effect, long storage time and safe and pollution-free. This paper would introduce the effects of modified atmosphere on the ethylene synthesis, respiration, free radical defense system and other physiological characteristics. At the same time, it also express the wide development prospect of the application of modified atmosphere storage of common berries and lays a theoretical foundation for the research and development of berry products.

Key words: common berry; modified atmosphere storage; fresh keeping technology; physiological quality

中图分类号: TS255

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)24-0330-04

doi:10. 13386/j. issn1002 - 0306. 2017. 24. 064

常见浆果类主要包括越橘 (*Vaccinium*)、树莓 (*Rubus*)、茶藨子 (*Ribes*)、沙棘 (*Hippophae*)、蓝靛忍冬 (*Lonicera*)、草莓 (*Fragaria*)、五味子 (*Schisandra*)、酸浆 (*Physalis*) 等^[1]。浆果中水分含量极高,并含有丰富的糖、蛋白质、有机酸、维生素、矿物质等营养物质,以及多酚、花青素、黄酮等生理活性物质^[2]。浆果在抗氧化、预防治疗疾病和促进机体健康方面具有重要的作用,营养价值和经济价值较高,因此广受大众消费者青睐。浆果类水果具有不耐贮藏,季节选择性强,易受病原菌侵染等特性,使其口感和商业价

值大打折扣。为保证浆果的新鲜口感以及其营养价值,防止其腐烂变质,国内外许多学者对浆果的贮藏保鲜进行了深入的研究。

气调贮藏保鲜技术通过物理手段保持浆果的稳定性,具有抑制浆果成熟,降低低温冷害和生理损伤,以及长期保持浆果的色香味与品质的特点,是浆果贮藏保鲜方面的研究热点^[3]。本文针对浆果气调贮藏保鲜技术对浆果保鲜过程中的生理特性的影响作用及当前浆果的主要贮藏方式的研究现状进行了综述,并对当前的技术的发展前景进行分析和预测,

收稿日期:2017-04-07

作者简介:司琦(1992-),在读硕士研究生,研究方向:食品加工与质量安全控制,E-mail:siqidlnu@163.com。

* 通讯作者:胡文忠(1959-),博士,教授,研究方向:食品加工与质量安全控制,E-mail:hwz@dlnu.edu.cn。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0400903);国家自然科学基金项目(31471923);国家科技支撑计划项目(2012BAD38B05);国家自然科学基金基金项目(31172009)。

[46] Pradeepa M, Harin K, Ruckmani K, et al. Extracellular Bio-Inspired Synthesis of Silver Nanoparticles Using Raspberry Leaf Extract against Human Pathogens [J]. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review & Research, 2014, 25 (2):

160-165.

[47] Jin P, Wang S Y, Gao H, et al. Effect of cultural system and essential oil treatment on antioxidant capacity in raspberries [J]. Food Chemistry, 2012, 132 (1): 399-405.

以期作为未来气调贮藏保鲜技术发展的参考依据。

1 气调贮藏保鲜技术概述

气调贮藏保鲜技术是指根据果蔬的不同生理特点,通过调节贮藏氛围的气体成分,以降低浆果的呼吸强度和酶的活性,从而维持浆果原有的形态、色泽、口感和营养成分,最终延缓浆果的成熟和衰老的方法^[4]。

气调保鲜贮藏技术分为采用自然降氧的自发气调贮藏(Modified atmosphere storage, MA)和采用人工快速降氧的机械气调库贮藏(Controlled atmosphere storage, CA)。MA是指通过浆果自身呼吸代谢来降低环境中的 O_2 含量,提高 CO_2 的含量。主要包括气调包装(Modified Atmosphere Packing, MAP)和塑料薄膜帐硅窗气调,其特点是成本低,易操作,但具有不易控制所需状态,影响贮藏效果的缺点。主要依靠气调库对浆果的贮藏环境的各项参数(温度、湿度、气体成分等)进行调节,特点是成本高,贮藏期更长^[5]。

2 气调贮藏保鲜技术对浆果生理特性的影响

2.1 气调对浆果内乙烯的影响

乙烯对呼吸跃变型浆果的成熟具有催化作用,较低浓度的乙烯能够有效促进此类浆果的呼吸作用,刺激浆果成熟。气调技术可以控制乙烯的合成量,低浓度 O_2 能够控制乙烯产生的原因是1-氨基环丙烷-1-羧酸(1-Amino Cyclopropane-1-Carboxylic acid, ACC)生成的过程是一个需氧的过程,在氮气中乙烯是不能合成的, CO_2 对乙烯的抑制作用不清晰, CO_2 可能作用于乙烯生物合成的3个位点:蛋氨酸(Met)→ACC, ACC→ C_2H_4 , ACC→MACC(丙二酰基ACC)。此外,也可能是由于 CO_2 使pH降低来影响合成乙烯过程中的酶的活性^[6]。在颜廷才等人的实验中发现利用气调、1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)及气调结合1-MCP处理都能有效地抑制软枣猕猴桃内部乙烯的生成,减小乙烯峰值,且气调结合1-MCP处理作用效果最佳,1-MCP处理效果优于气调处理^[7]。

2.2 气调对呼吸作用的影响

保鲜浆果的根本途径就是降低浆果的呼吸强度,减慢浆果的呼吸速率就会影响其正常生命活动的进行,进而抑制浆果的腐烂变质^[8]。浆果采后作为活的有机体,呼吸作用对于之后的贮藏品质至关重要。空气中 O_2 、 CO_2 浓度是一定的,因此气调环境内 O_2 和 CO_2 浓度的变化对浆果的呼吸强弱起直接作用。侯玉茹等人研究表明,体积分数为5%和10%的 CO_2 结合气调保鲜箱对草莓的贮藏效果较好^[9]。除此以外,气调箱的使用能明显降低果实的呼吸强度,推迟其呼吸高峰的出现,孟宪军、姜爱丽等人发现蓝莓在1℃时,5% O_2 和30% CO_2 气调贮藏条件时能更有利于延缓果实衰老进程,使有效贮藏期长达95 d^[10]。高铭等以树莓为研究对象,探讨不同 CO_2 浓度对冷藏期品质的影响,得出结论为5%的 CO_2 浓度最能维持贮藏过程中气调箱内 CO_2 和 O_2 浓度恒定,对保持树莓品质效果最好^[11]。

有早期研究者发现,低浓度的 O_2 和高浓度 CO_2 抑制呼吸作用的原因是削弱呼吸过程最后一步电子的氧化,抑制了电子传递链与氧化磷酸化产生的ATP,从而降低了代谢活性,而 CO_2 主要影响糖酵解和三羧酸循环中的酶^[12]。

2.3 气调对自由基防御系统的影响

机体内存在两种自由基防御系统:一种是酶促防御系统,包括超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)等;另一种是非酶促防御系统,包括谷胱甘肽(Glutathione, GSH)、维生素C(Vitamin C, V_C)等。两种防御系统在浆果贮藏过程中协同作用来保护机体,机体防御能力的强弱对贮藏时间的长短和浆果品质的好坏有着不可分割的作用。

2.3.1 气调对酶促防御系统的影响 气调能够影响浆果内部一系列酶系统,可以抑制成熟酶的活性,调节浆果果实的成熟过程,还存在水解细胞壁和促进衰老的酶类^[13]。高 CO_2 和低 O_2 对多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)有抑制作用,因此抑制了组织的褐变^[14]。丙二醛(Malondialdehyde, MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量的高低,是膜脂过氧化程度和果实衰老的标志。适当的气体成分与比例可提高SOD和POD的活性,抑制PPO的活性,降低果胶分解,清除自由基,减缓果实的成熟与衰老^[15]。高铭等人研究发现体积分数为5% CO_2 的箱式气调处理树莓,果实PPO活性的升高和MDA的积累受到一定的抑制,果实POD活性维持了较高水平^[16]。

2.3.2 气调对非酶促防御系统的影响 果实非酶促防御系统即抗坏血酸—谷胱甘肽(Ascorbate-glutathione, AsA-GSH)循环,可清除过氧化氢源^[17]。维生素C是合成谷胱甘肽的前体之一,它不仅能维持GSH的巯基处于还原状态,而且可以使氧化型谷胱甘肽转变为GSH,使机体代谢产生的 H_2O_2 被还原^[18]。所以,只有 V_C 和GSH的协同作用才能更好的发挥抗氧化作用。在孟宪军有关箱式气调的实验研究中发现,在10%、20%、30%三种 CO_2 浓度处理下均有利于 V_C 和GSH含量的保持,尤其是30% CO_2 处理60 d时, V_C 含量呈现了显著上升的趋势,而此时其GSH含量也有所上升,并且30% CO_2 处理的防腐保鲜效果最好,证明 V_C 和GSH间存在着协同作用^[19]。因此,证明气调影响非酶促防御系统,使其在浆果贮藏期间变强。

2.4 气调对浆果细胞壁代谢的影响

同时,气调对细胞壁酶活性的影响主要体现在纤维素酶(Cellulase, CS)、果胶甲酯酶(Pectinesterase, PE)及多聚半乳糖醛酸酶(Polygalacturonase, PG)的活性上,通过控制气体成分影响相关细胞壁酶活性进而减缓果实软化的过程。如胡花丽等人发现3% O_2 与5% CO_2 的气调贮藏抑制果实软化进程与其降低果胶甲酯酶活性有关;单纯10% CO_2 气调处理会加快丰香草莓的软化与其诱

导果实纤维素酶、果胶甲酯酶及多聚半乳糖醛酸酶活性增强有关^[20]。

3 气调贮藏保鲜方式分类

3.1 MA 贮藏

MA 是采用具有气体阻隔性能的包装材料包装食品,根据需求的不同,在低温条件下降低氧气浓度,向包装内充入不同比例的气体以防止食品在物理、化学等方面的品质下降或减缓其腐败变质的速度,抑制腐败微生物的生长,从而延长食品的货架期,提高食品的价值^[21]。Li 等人通过研究气调包装在沙棘采后 10 d 中的影响,发现经过气调包装处理的沙棘的抗氧化活性比未处理的高,其中经过 160 OTR(氧气渗透率)处理的沙棘抗氧化活性更高。同时他们还指出气调包装技术可以与其他类似冰温贮藏相结合以提高贮藏效果^[22]。而李方根据气体传质基础理论与 Fick 定理建立微孔膜气调包装内外气体交换的数学模型,发现孔径和孔数对包装内气体体积分数的影响显著,膜厚影响不显著,且模型预测值与实验数据吻合度较高^[23]。气调包装的效率和性能主要取决于对被包装产品生理特性的正确理解和包装件自身的合理设计。同时,气体成分的调节是一个动态过程,包括浆果的呼吸和气体对薄膜的渗透两个环节,气调包装的机理、浆果包装理论模型的建立和表征是气调包装的关键。

3.2 CA 贮藏

CA 贮藏主要是通过气调库来实现的,所谓气调库,即为将机械冷藏同气调贮藏相结合的贮藏设施,是通过计算机调控设备内部的气体成分、温湿度以及乙烯浓度的一种保鲜方法。一个完整的气调库包括制冷设备、制氮设备、温度传感配置、二氧化碳脱除设备、乙烯脱除设备和加湿设备,同时还要有相对应的建筑格局^[24]。在发达国家,气调库在六七十年代已经得到推广和普及,鲜果的保鲜贮藏量占水果总量的 40%~50%,其中气调库贮藏的鲜果占总贮藏量的 60%~70%,即总产量的 30% 左右^[25]。刘海东从保温性、气密性以及保鲜技术和设备等方面分析气调库的耗能状况,全面准确掌握气调保鲜过程的规律和技术特性,从而减少不必要的能耗^[26]。在周博等人的研究中,经过对该气调库的快速降氧过程数值模拟获得库内 O₂ 和 CO₂ 浓度随时间变化的规律,发现在货物区则存在一定的梯度,货物区中心位置不利于果蔬的贮藏^[27]。而宿广汀在长期的实验后研究出 O₂ 和 CO₂ 浓度的自动控制系统,这对气调库的进一步开发和应用具有非常大的推动作用^[28]。同时气调库的控制系统是保鲜气调贮藏和运输环境调控的关键组成部分。结合工业控制技术的发展,计算机技术和网络通信技术,控制系统对环境的保鲜浆果气调贮藏保鲜和运输提出了新的趋势^[29]。气调库具有精准调控,贮藏量大且贮藏期长的优点,但其成本高,占地面积大,对相配套设备和操作人员的技术要求高,目前也是众多研究者的研究热点之一。

4 前景与展望

我国是农业生产大国,2015 年我国农业总产值

达到了 57635.8 亿元,其中水果总产量为 27375.0 万吨^[30]。常见浆果栽种面积以及产出量都居世界前列,同时我国也是浆果进口大国。当前,国内的贮藏保鲜技术发展相对于国外来说还有很大的差距,我国每年采后水果的损失量达生产总量的 25%~30%,居全球首位^[31]。因此,我国的浆果贮藏保鲜体系的发展也是挑战与机遇并存。

近些年来,随着人们生活质量的逐渐提高,气调保鲜贮藏技术也已经日趋成熟,被广泛的应用于各类果蔬保鲜中。虽然我国近年来大力发展气调贮藏技术,但也存在相应的问题:首先,现有的气调方法不具有针对性,对于部分浆果品种在气调环境胁迫下的呼吸特性和响应尚缺乏系统性的实验研究。其次,我国当前建立起的气调库自动化低,依然是人为影响因素较大。现有的浆果呼吸速率模型形式复杂、参数多、预测精度低,能预测的变量少,并且缺乏对温度、湿度、气体成分等影响因素的有效控制。此外,对于浆果气调贮藏保鲜技术的研究多数仍停留在实验方法上,局限于对气体成分、包装材料、贮藏条件的研究,对于气调贮藏的使用温度、湿度,以及气调贮藏的气体组成与浆果之间相互作用机制的研究不够彻底。

因此,针对以上面临的问题有以下解决对策:一,要进一步细化浆果的分类,并对每一种细化的浆果的采后生理特性进行深入研究,制定具有针对性的气调贮藏保鲜方法;二,可结合计算机数学模型精确控制气调库中的各类影响因素,实时监控贮藏过程中的生理生化动态,以达到动态调控的目的;三,从生理学、分子生物学等方面进一步研究气体组成与生理变化之间的关系,建立可以通过测量浆果的质量变化预测趋势变化的一个数学模型,更好地引导浆果在储存期间的气体参数设置。

随着科技的不断进步与消费者品质要求的提高,单一的控制气体成分来延长保鲜期的方式已经不能够满足市场需求,因此,单一气调保鲜技术开始向复合气调保鲜的方向发展,而与其他贮藏技术如涂膜保藏、臭氧杀菌保藏、辐照杀菌保藏等相结合的技术成为众多研究者的对象,如臭氧+气调^[32]、涂膜+气调^[33]、冰温处理+气调^[34]、1-MCP+箱式气调^[35]、UV-C+气调^[36]以及磁场+气调贮藏^[37]等复合型气调贮藏保鲜技术。多种复合型的气调保鲜技术具有无农药残留、环境污染及抗药性等优势,符合果蔬绿色包装保鲜的新趋势,而且将气调与更多技术相结合不仅能够通过对气体成分进行调节,降低代谢对浆果造成的营养流失,还能够抑制和杀灭致病菌。因此,复合型气调贮藏保鲜技术,尤其是与天然提取物相结合的气调贮藏保鲜技术已经成为今后气调贮藏技术的主要研究和发展方向。

参考文献

- [1] 郭琳,于泽源,李兴国.几种小浆果挥发性成分研究概述[J].园艺学报,2008,35(4):611-617.
- [2] Manganaris G A, Goulas V, Vicente A R, et al. Berry

- antioxidants; small fruits providing large benefits. [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94(5): 825-833.
- [3] 戚英伟, 田建文, 王春良. 水果气调贮藏保鲜研究进展 [J]. 保鲜与加工, 2014, 5(4): 53-58.
- [4] Liang J Y, Zhu D S, Feng X Q, et al. Status and prospects on modified atmosphere storage technology of fruits and vegetables [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2013: 1617-1625.
- [5] Thompson A. Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables [M]. UK: CABI Publishing, 2010.
- [6] 关文强, 胡云峰, 李喜宏. 果蔬气调贮藏研究与应用进展 [J]. 保鲜与加工, 2003, 4(6): 3-5.
- [7] 颜廷才, 刘振通, 李江阔等. 箱式气调结合 1-MCP 对软枣猕猴桃冷藏期品质及风味物质的影响 [J]. 食品科学, 2016, 37(20): 253-260.
- [8] 冯双庆. 果蔬贮藏学 (第二版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [9] 侯玉茹, 李文生, 王宝刚, 等. 高 CO_2 结合气调保鲜箱对草莓贮藏期间品质变化的影响 [J]. 包装工程, 2015, 37(9): 38-41, 107.
- [10] 孟宪军, 姜爱丽, 胡文忠, 等. 箱式气调贮藏对采后蓝莓生理生化变化的影响 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 379-383.
- [11] 高铭, 纪淑娟, 程顺昌, 等. 不同浓度 CO_2 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.
- [12] Beaudry R M. Effect of O_2 and CO_2 partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15(3): 293-303.
- [13] Chen X H, Qin W D, Ma L H, et al. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on the respiration and enzymatic activity of fresh - cut lettuce [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(12): 208-212.
- [14] Ali S, Khan A S, Malik A U, et al. Effect of controlled atmosphere storage on pericarp browning, bioactive compounds and antioxidant enzymes of litchi fruits. [J]. Food Chemistry, 2016, 206: 18.
- [15] Paniagua A C, East A R, Heyes J A. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 95(95): 50-59.
- [16] 高铭, 纪淑娟, 程顺昌, 等. 不同浓度 CO_2 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.
- [17] Jimenez A, Hernandez J A, Rio L A D, et al. Evidence for the Presence of the Ascorbate-Glutathione Cycle in Mitochondria and Peroxisomes of Pea Leaves [J]. Plant Physiology, 1997, 114(1): 275-284.
- [18] Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(3): 207-220.
- [19] 孟宪军, 姜爱丽, 胡文忠, 等. 箱式气调贮藏对采后蓝莓生理生化变化的影响 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 379-383.
- [20] Huhuali. Study of the effects of controlled atmosphere storage on enzymes activities of cell wall of strawberry [J]. Food and Machinery, 2011, 27(1): 98-101.
- [21] Rohani A C, Faridah M S, Ahmad SO. The effects of modified atmosphere packaging on chemical, sensory and microbiological changes in black tiger prawn (*Penaeus monodon*) [J]. Journal of Tropical Agriculture & Food Science, 2008, 26(2): 1-9.
- [22] Li J, Wei S, Margaret B M, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Quality of Sea Buckthorn Berry Fruits during Postharvest Storage [J]. Journal of Food Quality, 2014, 38(1): 13-20.
- [23] 李方, 卢立新. 微孔膜气调包装内 4 外气体交换数学模型的建立 [J]. 食品科学, 2010, 31(4): 257-259.
- [24] 王世清, 姜文利, 李凤梅, 等. 气调库与气调贮藏保鲜技术 [J]. 粮油加工, 2008, 39(10): 124-127.
- [25] 蔡雷, 蔡卫华. 气调库—跨世纪发展的保鲜贮藏设施 [J]. 包装与食品机械, 1998, 16(4): 23-25.
- [26] 刘海东. 气调库节能降耗的途径 [J]. 保鲜与加工, 2008, 8(4): 56-56.
- [27] 周博, 南晓红, 文改黎. CFD 模拟气调库快速降氧过程 O_2 和 CO_2 浓度变化规律 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 274-280.
- [28] 宿广汀, 王素荣. 气调库中二氧化碳和氧气浓度的自动控制 [J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 69-71.
- [29] Zhou X, Lv E, Lu H, et al. Research Status and Prospects of Control Technologies in Fresh-keeping Environment of Controlled Atmosphere Storage and Transportation for Fruits and Vegetables [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 10: 242-248.
- [30] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 (2016) [K]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [31] 励建荣. 生鲜食品保鲜技术研究进展 [J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 1-12.
- [32] 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, 41(6): 24-28.
- [33] 丁华, 王建清, 王玉峰, 等. 百里香精油与气调技术联用对草莓货架寿命的影响 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2016, 37(3): 71-75.
- [34] 白丽娟, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 冰温结合气调贮藏对树莓保鲜效果的影响 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 327-330.
- [35] 颜廷才, 刘振通, 李江阔, 等. 箱式气调结合 1-MCP 对软枣猕猴桃冷藏期品质及风味物质的影响 [J]. 食品科学, 2016, 37(20): 253-260.
- [36] 于刚. 纳米硒和 UV-C 处理对蓝莓品质及贮藏性的影响 [D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [37] 黄利强. 磁场结合气调包装对葡萄保鲜效果的研究 [J]. 包装工程, 2010, 32(11): 23-26.