

高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响

姜爱丽^{1,2}, 孟宪军^{1*}, 胡文忠², 田密霞², 王艳颖²

(1. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110161;

2. 大连民族学院生命科学学院, 生物化学工程国家民委—教育部重点实验室, 大连 116600)

摘 要: 为了解高 CO₂ 处理对采后蓝莓果实生理代谢的影响及其作用机制, 该试验采用体积分数为 99.9% 的高 CO₂ 处理蓝莓果实 48、96 和 144 h, 然后装入聚乙烯薄膜袋后松扎口, 贮藏于 1℃ 下。贮藏期间, 分析测定了果实风味指数、呼吸速率、腐烂率、呼吸商、果肉乙醇含量和 pH 值、果实硬度以及自由基形成和清除相关的多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和脂氧合酶 (LOX) 等酶活性。结果表明, 高 CO₂ 处理 48 h 和 96 h 降低了蓝莓果肉的 pH 值, 有效控制了腐烂率, 保持了较高的果实硬度, 诱导了 POD 活性升高并使 LOX 活性维持在较低水平, 从而降低了蓝莓果实的呼吸速率, 并使有效贮藏期延长到 50 d 左右。144 h 的高 CO₂ 处理对果实造成不可逆伤害, 导致无氧呼吸发生, 诱发了果实异味产生以及腐烂率的增加。研究结果表明, 高 CO₂ 短时冲击用于采后蓝莓果实贮前的“休克冲击”处理, 具有抑制果实生理代谢和保持品质的保鲜效果。

关键词: 生理, 品质控制, 贮藏, 采后蓝莓, 高 CO₂ 冲击处理

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.066

中图分类号: S663, TS225.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0362-07

姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 362—368.

Jiang Aili, Meng Xianjun, Hu Wenzhong et al. Effects of high CO₂ shock treatments on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 362—368. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

蓝莓又名越橘, 为杜鹃花科 (*Ericaceae*) 越橘属 (*Vaccinium* spp.) 小浆果类果实。蓝莓果中含有丰富的花色苷、黄酮类化合物等多种生理活性成分, 具有抗氧化活性和保健功能^[1-2], 因此, 近年来, 中国蓝莓产业得到快速发展, 其产品受到青睐, 尤其是新鲜果实以其独特风味和营养得到消费者的广泛欢迎。但是, 由于采后蓝莓果实极不耐贮藏, 只有一周左右的保质期, 这极大地限制了果实的鲜销期和消费者的需求。随着中国蓝莓栽培面积的不断扩大和产量的迅速增加, 生产上需要适宜的蓝莓贮藏保鲜理论和技术。由于蓝莓的栽培历史不足百年, 中国自 2000 年以后才建有蓝莓基地^[3], 加之种植规模小, 绝大多数产品都应用于加工, 因此国内外相关的蓝莓采后生理生化变化和保鲜技术的研究相对较少。目前已有高氧处理^[4-6]、高压静电场处理^[7]、生物可降解包装材料处理^[8]、辐射技术^[9]和高 CO₂ 气调贮藏^[10]等对蓝莓贮藏效果的研究报道, Song 等^[11]还研究了自发

气调条件下蓝莓呼吸模型的构建, 这些研究都集中在蓝莓的保鲜技术和保鲜效果的研究上, 对蓝莓采后生理生化的研究还不够深入, 也未见高 CO₂ 冲击处理在蓝莓保鲜中应用的报道。已有研究结果表明: 蓝莓果实对高 CO₂ 有很强的忍耐力^[10], 因此本文采用高 CO₂ 气体冲击处理蓝莓, 研究蓝莓果实对极端气体环境的耐受力 and 引发的一系列生理生化反应, 以期对蓝莓保鲜提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用蓝莓 (*Vaccinium* spp.) 品种为“蓝金”, 采自大连大学蓝莓基地, 选无机械伤和病虫害的商业成熟果实, 采后立即运回实验室, 并在 0~1℃ 下预冷 8 h 后备用。

1.2 试验处理

采用高 CO₂ 气体进行短时间的冲击处理。将 1 kg 果实置于自制的厚度为 0.12 mm 的聚乙烯塑料薄膜袋中, 先将袋内气体抽除, 然后冲入高 CO₂ 气体 (钢瓶装, 体积分数为 99.9%, 由大连安瑞森特种气体有限公司提供), 反复排气充气 3 次后密封充气口, 果实与气体的体积比为 1:10 左右, 处理时间分别为 48、96 和 144 h, 温度为 1℃。处理结束后在该温度的空气中通风 6 h, 然后转入 0.04 mm 厚的聚乙烯薄膜袋不扎口包装进行贮藏, 对照始终置于 0.04 mm 厚聚乙烯薄膜袋中不扎口包装进行贮藏, 贮藏温度均为 1℃。从采后算起每 10 d 取样一次

收稿日期: 2010-08-04 修订日期: 2011-03-01

基金项目: 辽宁省科技厅科技攻关项目 (2008205001); 中央高校基本科研业务专项基金项目 (DC10020107)

作者简介: 姜爱丽 (1971—), 女, 辽宁大连人, 副教授, 博士生, 主要从事采后生理、病理方面的研究。沈阳 沈阳农业大学食品学院, 110161。

Email: jiangaili@yahoo.com.cn

*通信作者: 孟宪军 (1960—), 男, 内蒙赤峰人, 教授, 研究方向: 食品制造与保藏。沈阳 沈阳农业大学食品学院, 110161。

Email: mengxjsy@126.com

进行各项指标的测定。

1.3 测定的指标与方法

1.3.1 蓝莓风味指数

每处理取 50 个果实进行风味口感品尝，根据品评组人员的口感打分，分为 4 级。0 级：风味淡或有明显异味。1 级：风味较正常，略有异味；2 级：风味正常，接近采收时的口感；3 级：风味浓，与采收时的口感相当或更好。

$$\text{风味指数} = \frac{\sum(\text{风味级别} \times \text{该级别果数})}{\text{风味最高级别} \times \text{调查总果数}} \times 100\%$$

1.3.2 果实呼吸速率、呼吸商、果肉乙醇含量和果实硬度的测定

呼吸速率和 O₂ 消耗量参照曹建康等^[12]的方法：将 500 g 果实放在密闭的干燥器中静置 1 h，用带有 TCD 检测器的 GC-2010 型气相色谱仪（日本岛津公司）测定密闭环境中 CO₂ 产生量和 O₂ 消耗量，其中 CO₂ 的释放速率即为呼吸速率，单位：mL/(kg·h)，O₂ 消耗量单位为 mL/(kg·h)。

$$\text{呼吸商} (RQ) = \frac{\text{呼吸速率}}{\text{O}_2 \text{消耗量}}$$

果肉乙醇含量的测定：取样和测定方法参照 Tian 等^[13]的方法。

果实硬度参照潘秀娟等^[14]的方法，用英国产 TA.XT Plus 型质构仪进行测定，选用直径为 5 mm 的 P/5 型不锈钢探头，测定的速度为 1.0 mm/s，穿透距离为 7 mm，第一个峰的峰高即为最大力，用以表示硬度值，结果用 N 表示。

1.3.3 酶活性的测定

多酚氧化酶（polyphenol oxidase, PPO）、过氧化物酶（peroxidase, POD）以及过氧化氢酶（catalase, CAT）活性的测定参照 Jiang 等^[5]和 Wang 等^[15]的方法，脂氧合酶（lipoxygenase, LOX）活性测定参照 Axelrod 等^[16]的方法，以每克果实每分钟在特定波长条件下吸光值变化 1 为 1 个酶活单位，结果以 U/g 表示。

1.3.4 果肉 pH 值和果实腐烂率的测定

果肉 pH 值测定参照国家标准（GB 10468—89）^[17]，果肉与水的质量比为 1：2，用上海产 PHS-3C 型精密 pH 酸度计进行测定。

果实腐烂率=(烂果数/总果数)×100%。烂果是指果实表面至少有一处发生汁液外漏或腐烂现象。

1.3.5 有效贮藏期统计

有效贮藏期按照腐烂率高低进行统计，腐烂率 10% 以下的贮藏天数即为有效贮藏期。每个处理随机统计 100 个果实。

1.4 统计方法

数据用 SPSS 软件进行统计分析，采用新复极差法进行方差分析，检验差异显著性。试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同时间的 CO₂ 冲击处理对蓝莓果实风味指数的影响

试验结果表明：经不同时间的 CO₂ 冲击处理后蓝莓

果实均会产生异味（表 1），但随着贮藏时间的延长，异味会不同程度地减退或消失，这主要取决于冲击处理时间的长短，48 h 和 96 h 的冲击处理后虽风味指数有所下降，但随着贮藏时间的延长，异味完全消失，风味指数在贮藏结束时（40 d）仍显著高于对照和 144 h 的冲击处理。144 h 的冲击处理后产生严重异味，贮藏过程中尽管风味指数有所上升和恢复，但显著低于同期的 48 h 和 96 h 冲击处理（*P*<0.05），说明长时间的 CO₂ 冲击处理对蓝莓果实造成不可逆伤害。

表 1 不同时间高 CO₂ 冲击处理对蓝莓果实风味指数的影响

Table 1 Effects of different time of high CO₂ shock treatments on flavor index of blueberry fruits

冲击处理 时间/h	处理后不同取样时间的风味指数/%				
	0 d	10 d	20 d	30 d	40 d
48	94.2b	100a	100a	100a	90.4a
96	83.5c	100a	100a	100a	94.7a
144	26.7d	87.9b	89.5b	90.8b	72.3b
CK	100a	100a	90.3b	84.9c	75.9b

注：同一列中数字后面的不同字母表示显著性达到 *P*<0.05 水平。

2.2 不同时间的 CO₂ 冲击处理对蓝莓果实呼吸速率、呼吸商、果肉乙醇含量和果实硬度的影响

由图 1a 可知，不同时间的高 CO₂ 冲击处理均可减慢贮藏前期果实呼吸速率的上升速度。20 d 时对照的呼吸速率极显著高于 3 种 CO₂ 冲击处理（*P*<0.01），而 144 h CO₂ 冲击处理在 30 d 时呼吸速率出现峰值，显著高于同期的对照和其他处理（*P*<0.05），这可能是由于前期冲击处理时间过长造成代谢紊乱所致。蓝莓属于非呼吸跃变型果实，贮藏过程中尽管没有明显的呼吸高峰出现，后期却出现了呼吸速率迅速上升的现象，这除了和衰老有关外，还可能与微生物引起的腐烂率上升密切相关（图 3b）。

呼吸商是指呼吸过程中释放的 CO₂ 与消耗的 O₂ 的摩尔数比率，在一定程度上能反映呼吸的性质和呼吸底物的种类。蓝莓的呼吸底物主要是碳水化合物，因此，呼吸商更能代表无氧呼吸发生的程度。试验结果表明：144 h 的 CO₂ 冲击处理在 30 d 时引起呼吸商的急剧上升（图 1b），极显著高于同期的对照和其他处理（*P*<0.05），表明该处理会引发无氧呼吸的产生。

果肉乙醇含量在贮藏过程中呈上升趋势（图 1c），其中对照在 30 d 时的果肉乙醇质量分数为 1.93 mg/kg，是此时 3 种 CO₂ 冲击处理的 1.6~2.0 倍，144 h 的 CO₂ 冲击处理在贮藏的前 30 d 保持较低的果肉乙醇含量，但在贮藏结束时迅速上升（40 d 时），极显著高于同期的对照和其他处理（*P*<0.01）。乙醇是无氧呼吸代谢的产物，其含量的高低不仅表明代谢类型和水平，而且对风味有较大影响^[18]。试验中尽管 48 h 和 96 h CO₂ 冲击处理的乙醇含量也随贮藏时间的延长而上升，但始终要低于对照或与对照差异不显著，说明 96 h 以下的 CO₂ 冲击处理并没有引起无氧呼吸的发生及产物的过多累积。

如图 1d 所示, 48 h 和 96 h CO_2 冲击处理有利于果实硬度的保持, 整个贮藏过程中 2 种处理的果实硬度始终显著高于同期的对照和 144 h 的 CO_2 冲击处理 ($P<0.05$),

但这 2 种处理间差异不显著。144 h CO_2 冲击处理的果实硬度始终呈下降趋势, 20 d 后就极显著低于对照和其他处理 ($P<0.01$)。

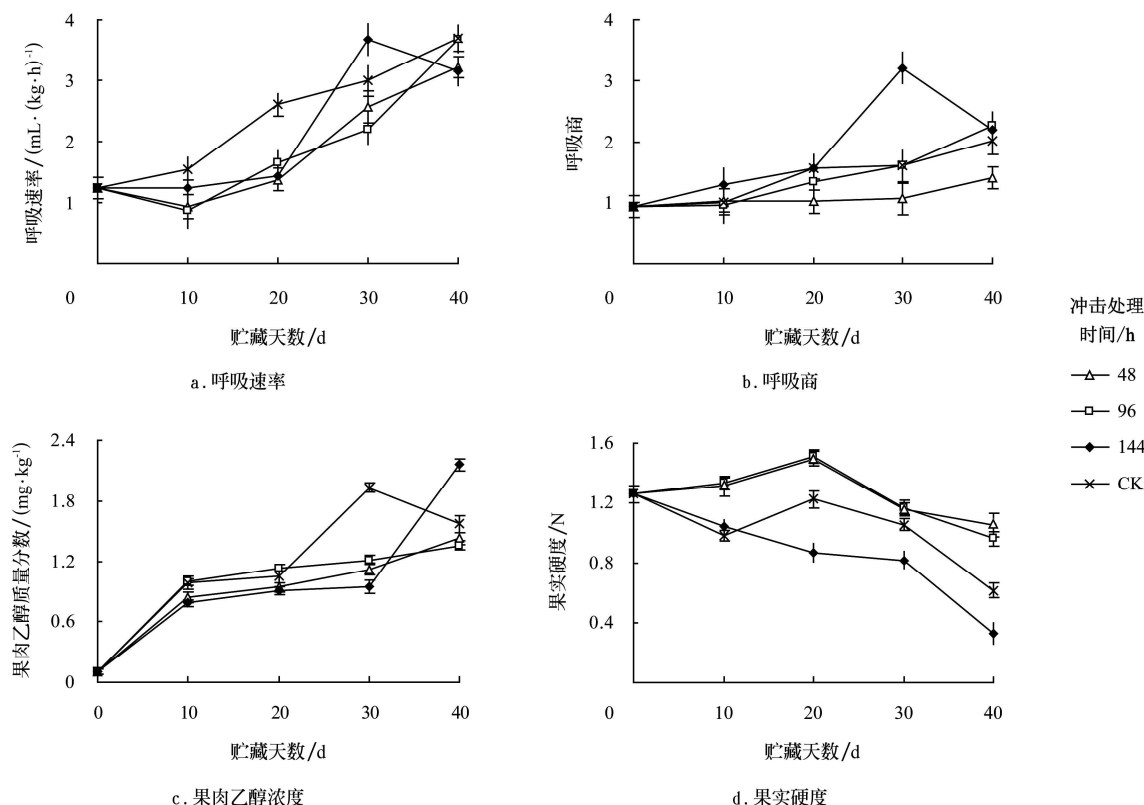


图 1 不同时间的高 CO_2 冲击处理对蓝莓果实呼吸速率、呼吸商、果肉乙醇浓度和果实硬度的影响
Fig.1 Effects of different time high CO_2 shock treatments on respiration rate, respiratory quotient, ethanol content in pulp and fruit firmness of blueberry fruits

2.3 不同时间的 CO_2 冲击处理对蓝莓果实中 PPO、POD、LOX 和 CAT 酶活性的影响

贮藏到 10 d 时, 不同时间的 CO_2 冲击处理均可显著提高 PPO 活性 ($P<0.05$) (图 2a), 贮藏到 20 d 时, 144 h CO_2 冲击处理的蓝莓 PPO 活性达到最高值, 显著高于同期的其他处理 ($P<0.05$), 这可能是由于较长时间的 CO_2 冲击处理对蓝莓果实细胞膜造成伤害所致。一般情况下, 细胞组织中的 PPO 与底物是有严格区域划分的, 当细胞膜透性受到破坏时, 这种酶与其作用底物的区域界限被打破, 酶就会作用于其催化的底物而发生生物化学反应, 尤其当细胞受到伤害时, 受伤组织中 PPO 与多酚类化合物的直接接触, 在氧存在下形成褐色的醌类物质, 发生典型的防御反应^[19]。本试验结果表明, 48 h 和 96 h CO_2 冲击处理果实, 在贮藏 30 d 前, PPO 活性都显示快速上升, 贮藏到 40 d 时, 分别达到了 30 d 时的 4.2 倍和 2.9 倍, 说明 48 h 和 96 h CO_2 冲击处理有效诱导了防御反应的发生。

贮藏到 10 d 时, 不同时间的高 CO_2 冲击处理果实的 POD 活性都达到了对照处理的 2.8 倍左右 (图 2b), 20 d 时各种 CO_2 冲击处理的 POD 活性仍然极显著高于同期的对照 ($P<0.01$)。96 h 的 CO_2 冲击处理在 30 d 时又出现 POD 的活性高峰, 说明高 CO_2 冲击处理能诱导 POD 活性

显著升高。

高 CO_2 冲击处理果实的 LOX 活性显著受到抑制, 贮藏初期快速下降 (图 2c), 然后不同时间的 CO_2 冲击处理均导致 LOX 活性呈上升又有所下降趋势, 其中 144 h CO_2 冲击处理的 LOX 始终保持较低水平, 20 d 后显著低于同期的对照和其他 CO_2 冲击处理。LOX 是一种以多不饱和脂肪酸为催化底物的酶, 专一催化 1,4-戊二烯结构的多不饱和脂肪酸的过氧化反应, 产生多种自由基, 对细胞膜结构的破坏及衰老有促进作用^[16]。本试验结果表明, 在贮藏初期, 高 CO_2 冲击处理显著抑制了 LOX 活性, 并维持在较低水平, 进而保持细胞膜的完整性, 从而减慢了蓝莓果实呼吸代谢的速率, 保持了果实品质。

作为生物防御体系的关键酶之一, CAT 的主要作用是与 POD 协同作用, 催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 , 从而使细胞免遭 H_2O_2 的毒害。10 d 时对照的 CAT 活性极显著高于同期的 CO_2 冲击处理 ($P<0.01$) (图 2d), 说明不同时间的 CO_2 冲击处理后 CAT 活性均受到抑制, 但 20 d 后对照的 CAT 活性有所下降并低于同期的各种 CO_2 冲击处理的水平。20 d 时 96 h 的 CO_2 冲击处理出现 CAT 活性高峰, 达到 1.08 U/g, 极显著高于对照和其他 CO_2 冲击处理 ($P<0.01$)。 CO_2 冲击处理在贮藏中后期诱导的 CAT 活性高峰的出现 (图 2d) 和在贮藏前期 POD 活性高峰的出

现(图 2b)增加了蓝莓果实对自由基的清除能力。

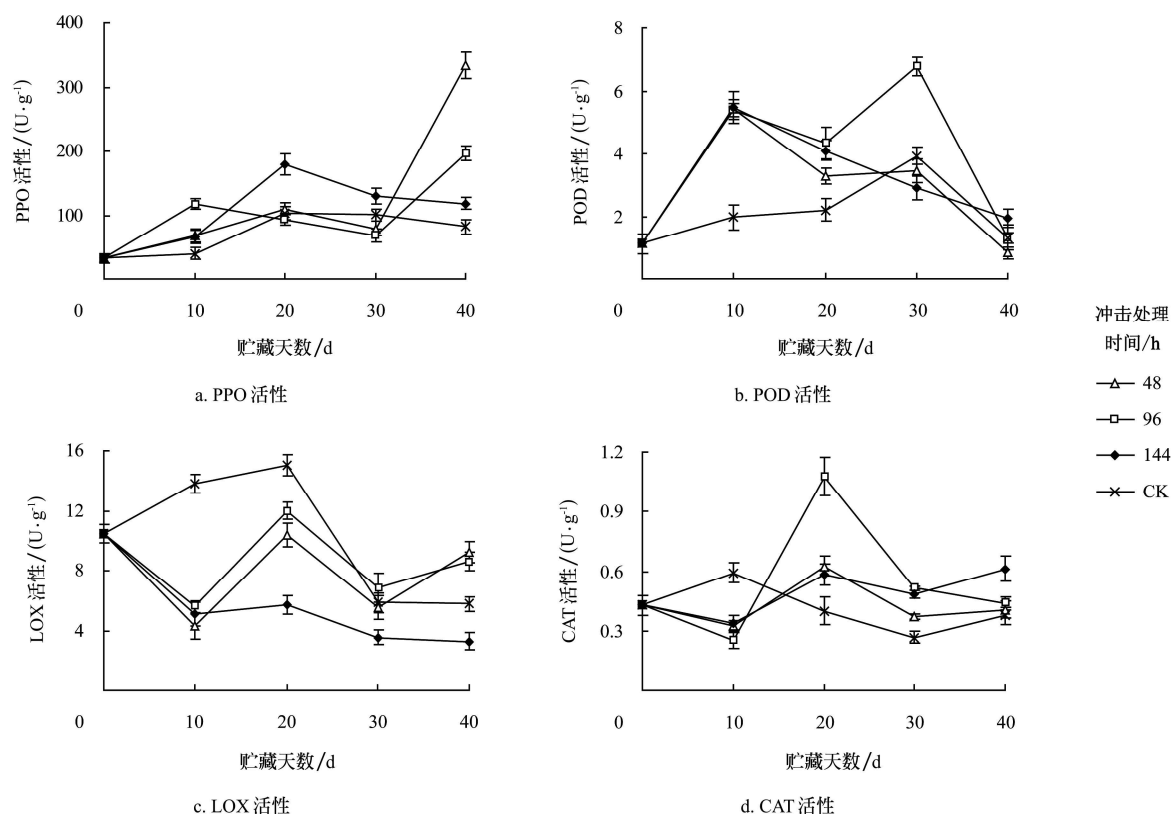


图 2 不同时间的高 CO₂ 冲击处理对蓝莓 PPO 活性、POD 活性、LOX 活性和 CAT 活性的影响

Fig.2 Effects of different time high CO₂ shock treatments on PPO, POD, LOX and CAT activity of blueberry fruits

2.4 不同时间的CO₂冲击处理对蓝莓pH值和腐烂率的影响

CO₂冲击处理能有效降低蓝莓果肉的 pH 值(图 3a), 10、20 和 30 d 时 3 种 CO₂ 冲击处理的 pH 值均极显著低于同期的对照 ($P<0.01$), 而且 CO₂ 冲击处理的时间越长 pH 值越低 (144 h, 30 d 后除外)。10 d 以后, 各处理的 pH 值均有所上升, 40 d 时 144 h CO₂ 冲击处理的 pH

值急剧上升, 达到 3.59, 并高于同期对照的水平。

48 h 和 96 h 的 CO₂ 冲击处理均能有效抑制蓝莓果实腐烂的发生(图 3b), 贮藏 30 d 时 2 种处理的腐烂率仍为 0, 显著低于对照处理, 而 144 h CO₂ 冲击处理在贮藏 30 d 前显著抑制了果实腐烂的发生 ($P<0.01$), 在 30 d 后, 腐烂率急剧上升, 40 d 时, 腐烂率达到 24 %, 显著高于对照处理 ($P<0.05$)。

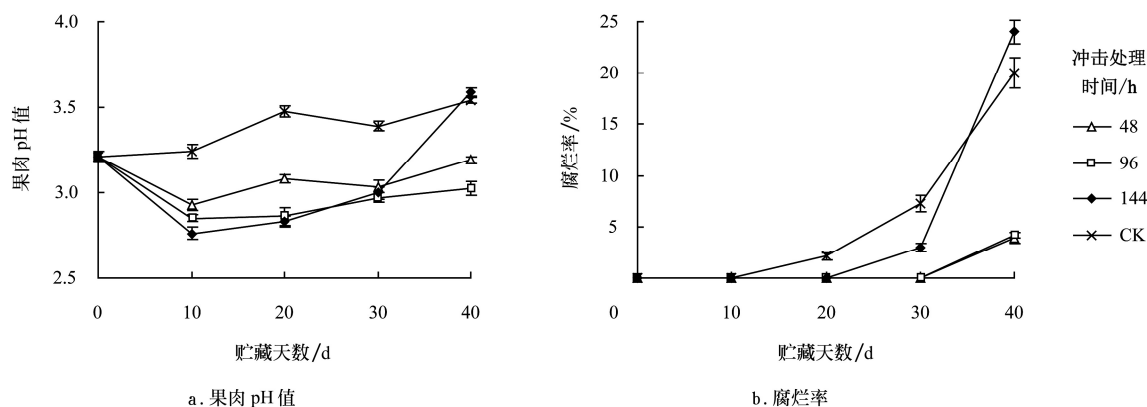


图 3 不同时间的高 CO₂ 冲击处理对蓝莓果肉 pH 值和腐烂率的影响

Fig.3 Effects of different time high CO₂ shock treatments on pH value in pulp and rot rate of blueberry fruits

2.5 不同时间的CO₂冲击处理对蓝莓果实有效贮藏期的影响

如图 4 所示, 与对照相比, 48 h 和 96 h 的 CO₂ 冲击

处理极显著地延长了有效贮藏期 ($P<0.01$), 与对照相比这 2 种处理均可使有效贮藏期延长 10 d 左右, 而 144 h 的 CO₂ 冲击处理却使有效贮藏期显著低于对照 ($P<$

0.05)。

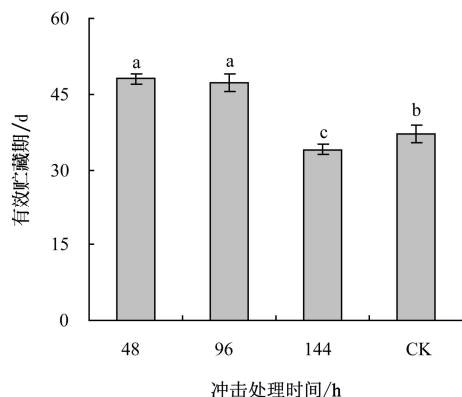


图4 不同时间的高 CO_2 冲击处理对蓝莓果实有效贮藏期的影响

Fig.4 Effects of different time high CO_2 shock treatments on effective storage period of blueberry fruits

3 讨论

由于采后果蔬对高 CO_2 的忍耐能力有限,因此高 CO_2 冲击处理 (CO_2 体积分数 $\geq 20\%$) 在果蔬贮藏中的应用并不如高 O_2 处理广泛^[20]。尽管如此,高 CO_2 冲击处理作为一种高效、安全、有一定抑菌作用的物理方法仍被试用于提高桃^[21]、葡萄^[22]、梨^[23]、甜樱桃^[24]、板栗^[25]等果实的耐藏性和抗病性。但是由于不同果蔬对高 CO_2 的忍受度不同,必须经过试验验证其有效性后方可使用,以免造成高 CO_2 伤害。据报道,极不耐贮藏的浆果类果实—蓝莓对高 CO_2 有很强的忍耐力^[10],该特性为解决采后蓝莓果实的贮运保鲜问题带来了可能。本试验研究结果表明:蓝莓果实能够忍耐 96 h 以内体积分数为 99.9% CO_2 冲击处理,48 h 和 96 h 的高 CO_2 冲击处理显著降低了果肉 pH 值和果实腐烂率,保持了果实硬度,诱导了 POD 活性的上升并使 LOX 活性维持在较低水平,进而保持细胞膜的完整性,从而减慢了蓝莓果实呼吸代谢速率,保持了果实新鲜优良品质,使有效贮藏期与对照相比延长了 10 d 以上。而 144 h 的高 CO_2 冲击处理对果实造成一定程度的不可逆 CO_2 伤害,诱发无氧呼吸的发生、代谢异味产生以致果实腐烂的加剧。

POD 在果实成熟衰老过程中发挥着重要作用,POD 不仅是病程相关蛋白的组分,与植物抗病性密切相关,而且参与苯丙烷代谢,是苯丙烷代谢途径重要的工具酶之一,研究表明,POD 参与酶促褐变反应,POD 还是线粒体及胞浆中清除 H_2O_2 的主要酶。崔喜艳等^[26]的研究结果表明,烟草各个生育期土壤 pH 值对 POD 活性的影响呈线性关系,即土壤 pH 值越低,烟叶内 POD 活性越大。大多数植物 POD 最适 pH 值为酸性环境,因此,高 CO_2 冲击处理诱导的 POD 活性的上升很可能是由于果肉 pH 值降低造成的。LOX 参与 O_2^- 和单线态氧等自由基的形成和膜脂过氧化过程,果实成熟过程中 LOX 活性增高也是导致膜结构破坏的一个重要原因。而 LOX 最适 pH 值为 7~10^[27]。因此,可以认为高 CO_2 冲击处理导致果肉

pH 值下降,使蓝莓中 LOX 处于非催化的 pH 值条件,而显示出 LOX 活性的下降。POD 活性的上升和 LOX 活性下降不仅降低了机体清除自由基代谢的负担,而且增加了机体对自由基的清除能力,因此在一定程度上抑制或减慢了衰老进程。

4 结论

1) 蓝莓果实经高 CO_2 冲击处理 48 h 或 96 h 后转入 1°C 空气中冷藏,可有效降低呼吸代谢速率并保持果实硬度,抑制腐烂的发生,使有效贮藏期延长至 50 d 左右,比对照高 10 d 以上。

2) 48 h 或 96 h 的高 CO_2 冲击处理不仅降低了蓝莓果实的 pH 值,而且诱导了 POD 活性的上升并使 LOX 活性维持在较低水平,从而保持了细胞膜的完整性,延缓了蓝莓果实的衰老进程。

3) 144 h 的高 CO_2 冲击处理对蓝莓果实造成不可逆 CO_2 伤害,导致无氧呼吸发生,诱发了果实异味产生和腐烂率的增加。

蓝莓果实对高 CO_2 具有很好的耐受力,适当时间的高 CO_2 短时冲击处理用于采后蓝莓果实的贮前处理,具有较好的保鲜效果,可在蓝莓果实的实际贮运中应用。

【参考文献】

- [1] Rossi M, Giussani E, Morelli R, et al. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice[J]. Food Research International, 2003, 36 (9): 999—1005.
- [2] Rodarte Castrejón A D, Eichholz I, Rohn S, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening[J]. Food Chemistry, 2008, 109 (3): 564—572.
- [3] 李亚东, 刘海广, 张志东, 等. 我国蓝莓产业现状和发展趋势[J]. 中国果树, 2008, (6): 67—69, 71.
- [4] 郑永华. 高氧处理对蓝莓和草莓果实采后呼吸速率和乙烯释放速率的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(5): 866—868. Zheng Yonghua. Effects of high oxygen on respiratory rate and ethylene production in harvested blueberries and strawberries[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(5): 866—868. (in Chinese with English abstract)
- [5] Rosenfeld H J, Røed Meberg K, Haffner K, et al. MAP of highbush blueberries: sensory quality in relation to storage temperature, film type and initial high oxygen atmosphere[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(1): 27—36.
- [6] Zheng Y H, Yang Z F, Chen X H. Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries[J]. Food Control, 2008, 19(5): 470—474.
- [7] 孙贵宝. 高压静电场长期贮藏保鲜蓝莓果的试验研究[J]. 农机化研究, 2003, (1): 121—123.
- [8] Almenar E, Samsudin H, Auras R, et al. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 120—127.
- [9] Perkins-Veazie P, Collins J K, Howard L. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation[J].

- Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(3): 280—285.
- [10] Schotsmans W, Molan A, MacKay B. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(3): 277—285.
- [11] Song Y, Vorssa N, Yam K L. Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(2): 103—109.
- [12] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [13] Tian S P, Xu Y, Jiang A L, et al. Physiological and quality responses of longan fruit to high O₂ or high CO₂ atmospheres in storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(3): 335—340.
- [14] 潘秀娟, 屠康. 红富士苹果采后品质变化的破坏与非破坏检测研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(9): 38—42, 46.
- Pan Xiujuan, Tu Kang. Measurement of firmness changes of harvested “Fuji” apples with destructive and nondestructive method[J]. Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forest. (Nature Science Ed.), 2004, 32(9): 38—42, 46 (in Chinese with English abstract)
- [15] Wang Y S, Tian S P, Xu Y, et al. Changes in the activities of pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruit inoculated with *Cryptococcus laurentii* or *Penicillium expansum* at 0 or 20°C[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34(1): 21—28.
- [16] Axelrod B, Cheesbrough T M, Laakso S. Lipoxygenase from soybeans[M]. LOWENSTEIN J M. Methods in Enzymology: Vol 71. New York: Academic Press, 1981: 441—451.
- [17] GB10486—89, 水果和蔬菜产品pH值的测定方法[S].
- [18] Pesis E, Dvir O, Feygenberg O, et al. Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26 (2): 157—165.
- [19] 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 67—70.
- [20] Bonghi C, Ramina A, Ruperti B Vidrih R, et al. Peach fruit ripening and quality in relation to picking time, hypoxic and high CO₂ short-term postharvest treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(3): 213—222.
- [21] Kader A A, Ben-Yehoshua S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(1): 1—13.
- [22] Hatton T T, Cubbedge R H. Effects of prestorage carbon dioxide treatments and delayed storage on stem-end rind breakdown of ‘Marsh’ grapefruits[J]. HortScience, 1977, 12: 120—121.
- [23] Ke D Y, Hendrik V G, Kader A A. Physiological and quality responses of Bartlett Peras to reduced O₂ and enhanced CO₂ levels and storage temperature[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1990, 115(3): 435—439.
- [24] Tian S P, Fan Q, Xu Y, et al. Evaluation the use of high CO₂ concentrations and cold storage to control of *Monilinia fructicola* on sweet cherries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1): 53—60.
- [25] 梁丽松, 王贵禧. 板栗及其病原菌对低O₂、高CO₂冲击处理的耐受力[J]. 果树学报, 2004, 21(1): 21—24.
- Liang Lisong, Wang Guixi. Effects of shock treatment with low O₂ and high CO₂ on the flavor and postharvest fungi growth of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(1): 21—24. (in Chinese with English abstract)
- [26] 崔喜艳, 陈展宇, 于鸣, 等. 土壤pH值对烤烟叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(5): 34—37.
- Cui Xiyan, Chen Zhanyu, Yu Ming, et al. Effect of soil pH on membrane-lipid peroxidation and activity of protective enzymes in flue-cured tobacco leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2004, 10(5): 34—37. (in Chinese with English abstract)
- [27] Lang I, Göbel C, Porzel A, et al. A lipoxygenase with linoleate diol synthase activity from *Nostoc* sp. PCC 7120[J]. Biochemical Journal, 2008, 410(2): 347—357.

Effects of high CO₂ shock treatment on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits

Jiang Aili^{1,2}, Meng Xianjun^{1*}, Hu Wenzhong², Tian Mixia², Wang Yanying²

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Key Laboratory of Biochemical Engineering, The State Ethnic Affairs Commission—Ministry of Education, College of Life Science, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China)

Abstract: In order to explore the effects of high CO₂ on physiological metabolism of postharvest blueberry fruits as well as the mechanism, fresh blueberry fruits were put in 99.9% CO₂ condition for 48 h, 96 h and 144 h, respectively. Then

the fruits were moved into a polyethylene film bag with a slackened tie storage at 1 °C. During the period of storage, fruit flavor index, respiration rate, rot rate, respiratory quotient, ethanol content in pulp and pH value were measured. Meanwhile, the activities of some free radical scavenging and formation-related enzyme such as polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD), catalase (CAT) and lipoxygenase (LOX) were analyzed. The results indicated that the pH value in pulp and fruit rot rate were significantly decreased, fruit firmness was well maintained, the storage period was effectively extended to 50 days, POD activity was increased and the LOX activity was decreased after the high CO₂ shock treatments for 48 h and 96 h. The results indicated that the treatments slowed down the rate of metabolism and maintained the fruit quality of blueberry fruits. In contrast, 144 h high CO₂ shock treatment caused irreversible damage, resulting in anaerobic respiration, off-flavor and fruit rot. It is suggested that as a shock-impact method, high CO₂ shock treatment may be used before the storage of blueberry fruits to inhibit the physiological metabolism and maintain the fruits quality.

Key words: physiology, quality control, storage, postharvest blueberry fruits, high CO₂ shock treatments