

乙醇熏蒸处理对采后蓝莓果实品质的影响

姬亚茹^{1,2}, 周福慧¹, 姜爱丽¹, 顾思彤¹, 胡文忠¹

(1.大连民族大学 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 大连 116600;

2.大连理工大学 生命科学与技术学院, 大连 116024)

摘要: **目的** 研究乙醇熏蒸处理对采后蓝莓果实品质的影响。**方法** 采用体积分数 0.1% 的乙醇于 10 ℃ 下熏蒸蓝莓果实 24 h, 随后贮藏于 (5±1) ℃ 下, 以 5 d 为 1 个周期观察乙醇熏蒸处理对蓝莓贮藏品质变化的影响, 并对果实的风味、腐烂率、质量损失率、硬度、颜色饱和度、呼吸强度、可溶性固形物 (TSS)、总酚、花青素、多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、羟自由基清除率和总抗氧化能力进行分析对比。**结果** 与对照组相比, 乙醇熏蒸处理可有效抑制蓝莓的软化和腐烂, 减缓果实中 TSS 的下降及水分的丧失, 提高蓝莓果实中的花青素含量、总酚含量、抗氧化相关酶活性、羟自由基清除率及总抗氧化能力。**结论** 体积分数 0.1% 的乙醇熏蒸处理采后蓝莓可有效抑制蓝莓的腐烂与软化, 维持果实原有风味, 保持蓝莓品质, 延长蓝莓的货架期。

关键词: 蓝莓; 乙醇熏蒸; 总抗氧化能力; 风味指数; 主成分分析

中图分类号: TB485.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0085-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.015

Effects of Ethanol Fumigation Treatments on the Quality of Postharvest Blueberry Fruits

Ji Ya-ru^{1,2}, ZHOU Fu-hui¹, JIANG Ai-li¹, GU Si-tong¹, HU Wen-zhong¹

(1.Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China; 2.College of Life Science and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

ABSTRACT: The work aims to study the influence of ethanol fumigation treatment on quality of postharvest blueberry fruits. Blueberry fruits were fumigated with 0.1% ethanol at 10 ℃ for 24 h, and then stored at (5±1) ℃ for 5 days. The effects of ethanol fumigation treatment on storage quality change of blueberry were observed. The fruit flavor, decay rate, weight loss rate, firmness, color saturation, respiration intensity, TSS, total phenols, anthocyanin, polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), hydroxyl radical scavenging rate and total antioxidant capacity were analyzed and compared. Compared with the control, the ethanol fumigation treatment could effectively inhibit the softening and decaying of blueberry, reduce the decline of TSS and loss of water, and increase the content of anthocyanin, total phenols, activity of antioxidant enzymes, hydroxyl radical scavenging rate and total antioxidant capacity. After treated with 0.1% ethanol fumigation, the decaying and softening of postharvest blueberry fruits can be effectively inhibited, the original flavor and quality of blueberry fruits can be maintained and their shelf life can be prolonged.

KEY WORDS: blueberry; ethanol fumigation; total antioxidant capacity; flavor index; principal component analysis

蓝莓 (*Vaccinium corymbosum*) 又名越桔, 杜鹃花科越桔属, 其果实内含大量多酚^[1-2]、维生素^[3]、矿物质^[4]、花青素^[5]等物质。研究表明, 蓝莓具有保护视力、延缓衰老、抵御 DNA 损伤^[6]、保肝护肝^[7-8]

收稿日期: 2018-02-14

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划 (2015BAD16B00); “十三五” 国家重点研发计划 (2016YFD0400903)

作者简介: 姬亚茹 (1992—), 女, 大连理工大学博士研究生, 主要研究方向为食品安全与控制。

通信作者: 胡文忠 (1959—), 男, 博士, 大连民族大学教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

及抗肿瘤^[9]等作用。近年来,蓝莓因其具有多种天然的抗氧化物质日益受到消费者青睐^[10-11]。由于蓝莓成熟于高温多雨季节,采后呼吸代谢旺盛,耐贮性降低,因此极大地缩短了其鲜销期,造成了巨大的经济损失。

乙醇具有很强的杀菌作用^[12],可以杀灭果蔬表面的微生物,延缓果蔬霉变进程^[13-14],采用适当浓度的乙醇进行处理能够有效延缓果蔬的黄化^[15-16],保护果蔬细胞膜系统的完整性,延长果蔬的贮藏期^[17]。乙醇处理作为一种新型果蔬保鲜技术已经被应用于西兰花^[18]、草莓^[19]、枸杞^[20]等果蔬中,然而关于乙醇熏蒸处理采后蓝莓的研究报道甚少。鉴于此,文中采用体积分数 0.1% 的乙醇对采后蓝莓进行熏蒸处理,通过观察与分析其生理生化指标的变化,研究乙醇熏蒸处理对采后蓝莓果实品质的影响,以期蓝莓保鲜提供技术支撑。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:供试蓝莓品种为“北陆”,采自于辽宁省大连市金州新区登沙河街道高家村;乙醇(食品级)、甲醇、盐酸、聚乙烯吡咯烷酮、愈创木酚、邻苯二酚、 H_2O_2 (体积分数为 30%)等,均为分析纯,购自天津科密欧化学试剂有限公司;总抗氧化能力、羟自由基清除能力试剂盒,购自苏州科铭生物技术有限公司。

主要仪器:PL203 型精密电子天平,上海梅特勒-托利多;GC-2010 气相色谱仪,日本岛津;UV-2600 紫外可见分光光度计,日本岛津;CR-400 色彩色差仪,日本柯尼卡美能达;TA.XT plus 型质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;Multiskan GO 全波长酶标仪,美国 Thermo Scientific。

1.2 方法

1) 实验样品处理。蓝莓样品采摘后立即运回实验室进行预冷处理。选取大小和成熟度一致、色泽均匀且无机械损伤的蓝莓果实随机分为 2 组,每组 2 kg,放入 10 L 的熏蒸装置中于 10 °C 下进行乙醇(体积分数 0.1%)熏蒸处理 24 h(预实验结果表明,熏蒸时间均为 24 h 情况下,相较于体积分数为 0.05% 和 0.2% 的乙醇处理,0.1% 的处理效果最好;乙醇体积分数均为 0.1% 的情况下,相较于 12 h 和 36 h 的熏蒸处理,24 h 的处理效果最好)。随后取出果实放置于通风处 1 h,对照组不采取任何处理,采用聚乙烯(PE)保鲜盒将蓝莓进行分装,每盒 125 g,贮藏于 (5 ± 1) °C 下,每 5 d 进行各项指标的测定,每项指标重复测定 3 次,实验重复 3 次。

2) 熏蒸装置结构及使用方法。熏蒸装置由上盖和熏蒸室组成,上盖可密封在熏蒸室上端开口处,见图 1。熏蒸室包括样品室和挥发室,由带孔聚乙烯塑料板隔开,熏蒸室设有放置塑料板的支撑棱。在样品室放置果蔬样品,在挥发室放置熏蒸材料和小型风扇,小型风扇的功率为 0.5 W,型号为 SP20B05L-10DL。使用时,将熏蒸材料放入挥发室,打开风扇,将隔板放置于挥发室上方,随后将果蔬放置于样品室,密封静置。

3) 风味评定。蓝莓果实口感评分依据以下标准:1 级有明显异味,得分 0~25 分;2 级味道较正常,略带异味,得分 26~50 分;3 级味道正常,与采收时的口感接近,得分 56~75 分;4 级味道浓郁,与采收时口感一样,得分 76~100 分。每次选取 30 个果实进行风味评定。风味指数计算公式:

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

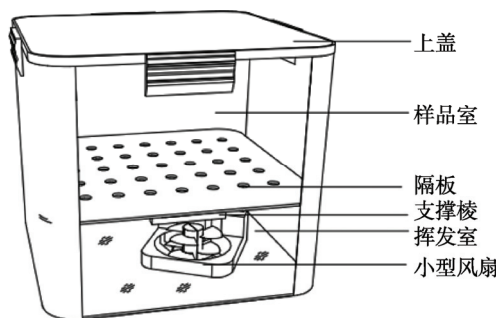


图 1 乙醇熏蒸装置结构

Fig.1 Ethanol fumigation device structure

4) 腐烂率、失重率、硬度、颜色饱和度的测定。腐烂率=腐烂的蓝莓个数/总的蓝莓个数 $\times 100\%$ 。烂果的标准为至少有 1 处出现汁液外漏、严重软化或者腐烂等现象。蓝莓质量损失率 = $(\text{贮藏前蓝莓质量} - \text{贮藏后蓝莓质量}) / \text{贮藏前蓝莓质量} \times 100\%$ 。使用 TA.XT 质构仪测定果实硬度,选用 P/5 不锈钢探头(直径为 5 mm),探头的测量速度为 1.0 mm/s,穿透的距离为 6 mm,第一个峰的峰高即为最大力,用以表示硬度值(g)。使用色彩色差仪测定样品的颜色。随机选取 8 个样品进行测定。通过色差仪的反射值测定蓝莓的 L^* (亮度), a^* (红色-绿色)及 b^* (黄色-蓝色),计算颜色饱和度(颜色饱和度 = $(a^2 + b^2)^{1/2}$)。

5) 呼吸强度、可溶性固形物含量(TSS)的测定。参照姜爱丽等^[21]的方法,将 200 g 果实放入干燥的密闭保鲜盒中静置 1 h 后,用 1 mL 注射器从容器橡胶塞顶空抽取 1 mL 气体,使用带有 TCD 检测器的 GC-2010 型气相色谱仪测定气体的成分,从而推算蓝莓每小时每千克的呼吸强度。使用手持阿贝折光仪进行 TSS 的测定。

6) 花青素、总酚含量的测定。参照姜爱丽等^[22]的方法测定。以矢车菊-3-葡萄糖苷作标准曲线, 样品花青素含量换算为每 100 克鲜质量样品中矢车菊-3-葡萄糖苷的含量 (mg/100 g)。参照 Singleton 等^[22]的方法测定总酚含量, 以没食子酸作标准曲线, 样品总酚含量换算为每 100 g 鲜质量样品中没食子酸的含量 (mg/100 g)。

过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定。POD、PPO 活性测定参照姜爱丽^[24]的方法, CAT 活性参照 Wang 等^[25]的方法, POD 活性以每克果实每分钟在 460 nm 处吸光值变化 1 为 1 个酶活单位, PPO 活性以每克果实每分钟在 398 nm 处吸光值变化 1 为 1 个酶活单位, CAT 活性以每克果实每分钟在 240 nm 处吸光值变化 1 为 1 个酶活单位, 上述 3 种酶的活性单位均以 U 表示, SOD 活性参照姜爱丽等^[26]的方法, 每个处理取 5 个干净的烧杯, 试液的总体积为 3 mL, 全部试液加完后迅速充分混匀, 除 1 号杯置于暗处外, 其余均在 25 ℃, 光强为 3000 Lux 的 2 盏 20 W 日光灯下光照 15 min, 然后立即遮光停止反应, 于 560 nm 波长处以 1 号杯液调零, 测定光密度。以 2、3 号杯液光密度的平均值作为还原率 100%, 以 50% 抑制的酶液量 (μL) 为 1 个酶活单位, 结果以 U 表示。

8) 总抗氧化能力及羟自由基清除能力的测定。采用苏州科铭生物技术有限公司提供的试剂盒进行测定。

1.3 统计方法

采用新复极差法进行方差显著性分析, 差异显著性表示为 $P < 0.05$ 。采用 SPSS 软件进行, 参照邵明灿等^[27]的方法对所测生理生化指标进行主成分分析。采用 origin8.0 软件进行绘图, 图中所有不同小写字母表示差异显著性达到 $P < 0.05$ 水平。

2 结果与分析

2.1 风味变化

蓝莓果实进行熏蒸处理后, 短时间内表面附着残留乙醇, 因此会带有不同程度的“酒味”。整个贮藏过程中, 各处理的蓝莓果实风味指数呈显著下降趋势, 见表 1。贮藏前 5 d 内, 乙醇处理组蓝莓果实稍带“酒味”, 风味指数显著低于对照组 ($p < 0.05$)。贮藏一段时间后, 乙醇处理组的蓝莓果实“酒味”消失, 口感恢复至采摘时的标准, 贮藏第 10 d 后, 乙醇处理组蓝莓果实风味指数均显著高于同期对照 ($p < 0.05$), 表明乙醇熏蒸处理对采后蓝莓风味有较好的维持作用。

表 1 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实风味指数的变化
Tab.1 Flavor index change of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

贮藏时间/d	蓝莓果实的风味指数/%	
	对照组	乙醇 (0.1%) 处理组
0	100 ± 0 A	100 ± 0 A
5	96.7 ± 1.17 Ba	94.4 ± 2.39 Bb
10	86.7 ± 1.65 Cb	92.7 ± 0.57 Ca
15	53.3 ± 0.15 Db	89.1 ± 2.14 Da
20	48.9 ± 2.23 Eb	87.8 ± 1.41 Ea

注: 不同大写字母 A—F 表示相同处理、不同时间风味指数差异显著 ($p < 0.05$); 不同小写字母 a 和 b 表示相同时间不同处理风味指数差异显著 ($p < 0.05$)

2.2 腐烂率、质量损失率、硬度、颜色饱和度变化

贮藏期间蓝莓果实腐烂率的变化见表 2, 对照组腐烂率呈显著上升趋势, 乙醇熏蒸处理组在贮藏 0~10 d 内上升较缓慢, 随后迅速上升, 对照组腐烂率显

表 2 乙醇熏蒸处理后腐烂率、质量损失率、硬度、颜色饱和度的变化
Tab.2 Change in decay rate, weight loss rate, firmness and color saturation of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

贮藏时间/d	组别	腐烂率/%	质量损失率/%	硬度/g	色差
0		0	0	105.52±2.69	0.93±0.01
5	乙醇 (0.1%) 处理组	1.12±0.12 a	0.82±0.15 a	120.33±2.70 a	1.01±0.01 a
	对照组	3.32±0.36 b	1.19±0.09 b	115.70±2.30 b	0.93±0.02 b
10	乙醇 (0.1%) 处理组	2.23±0.05 a	1.55±0.14 a	138.32±2.99 a	0.984±0.01 a
	对照组	6.33±0.32 b	2.4±0.20 b	109.2±1.31 b	0.873±0.01 b
15	乙醇 (0.1%) 处理组	4.52±0.31 a	2.65±0.05 a	120.51±1.68 a	0.964±0.01 a
	对照组	10.33±0.48 b	4.15±0.08 b	90.68±3.18 b	0.789±0.01 b
20	乙醇 (0.1%) 处理组	8.23±0.06 a	4.13±0.06 a	100.88±3.87 a	0.892±0.01 a
	对照组	14.33±0.36 b	4.85±0.07 b	79.37±2.32 b	0.715±0.01 b
25	乙醇 (0.1%) 处理组	12.52±0.52 a	4.63±0.16 a	90.32±3.13 a	0.832±0.01 a
	对照组	18.45±0.611 b	5.32 ±0.17 b	68.54±3.37 b	0.693±0.01 b

著高于同期乙醇处理组 ($p < 0.05$), 表明乙醇处理可延缓采后蓝莓果实腐烂发生的时间, 且能减缓腐烂。

质量损失率是采后蓝莓果实贮藏过程中的一个重要品质评价指标。在整个贮藏过程中, 蓝莓的质量损失率呈上升趋势 (表 2), 乙醇处理组的蓝莓质量损失率显著低于同期对照组 ($p < 0.05$), 证明乙醇处理可有效减慢质量损失率。

果实硬度也是衡量果实品质的重要指标, 可直观地反映果实的软化程度。由表 2 可知, 整个贮藏期间, 对照组的果实硬度呈先略有上升后迅速下降的趋势, 而乙醇处理组的果实硬度均显著高于同期对照组的 ($p < 0.05$), 表明乙醇处理有利于果实硬度的提高和保持, 果实硬度先上升可能是因为低温条件下, 果胶和钙结合更紧密所致, 在以往对蓝莓的研究中也发现过类似情况^[21, 24]。

色泽变化是影响消费者对于果实品质感知的重要因素。随着贮藏时间的延长, 蓝莓表皮蜡质受损并脱落, 对果实保护作用减弱。对照组的颜色饱和度呈显著下降趋势, 而乙醇处理组颜色饱和度呈先上升后略有下降的趋势, 且均显著高于同期对照组 ($p < 0.05$), 表明乙醇处理对蓝莓果实外观品质有较好的保持作用, 见表 2。

2.3 呼吸强度、可溶性固形物含量变化

呼吸强度是反应果实采后衰老的重要指标。在整个贮藏期间, 对照组和乙醇处理组的呼吸强度均呈先上升后下降的趋势 (见图 2), 且在贮藏第 15 d 时出现呼吸高峰, 然而, 乙醇处理组的呼吸强度显著低于同期对照组 ($p < 0.05$)。

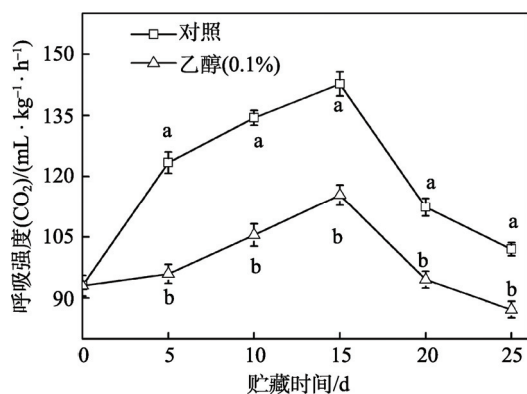


图 2 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实呼吸强度的变化
Fig.2 Respiration rate change of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

由图 3 可知, 在整个贮藏时间内, 各处理的可溶性固形物含量均呈下降趋势, 但经乙醇处理的蓝莓果实可溶性固形物含量显著高于同期对照组 ($p < 0.05$), 第 20 d 时, 乙醇处理组的 TSS 含量是同期对照组的 1.1 倍。结果表明, 乙醇处理可有效抑制果实

呼吸强度, 延缓 TSS 的下降, 延迟果实的衰老进程。

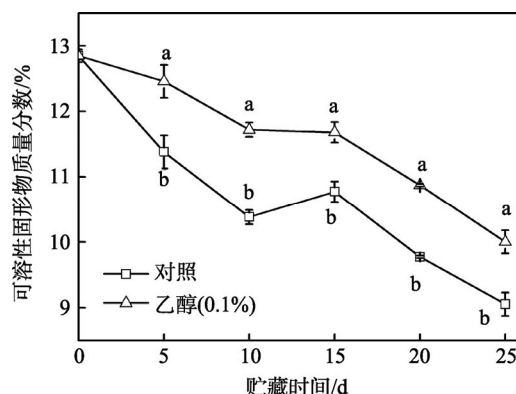


图 3 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实 TSS 的变化
Fig.3 TSS change of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

2.4 总酚、花青素含量变化

蓝莓果实富含花青素和总酚, 这 2 种物质在植物体内与抗氧化能力密切相关。由图 4 知, 在整个贮藏期间, 对照组的总酚含量呈显著下降趋势, 而乙醇处理组在贮藏 0~5 d 时下降缓慢且乙醇处理组蓝莓果实的总酚含量均显著高于同期对照组 ($p < 0.05$)。

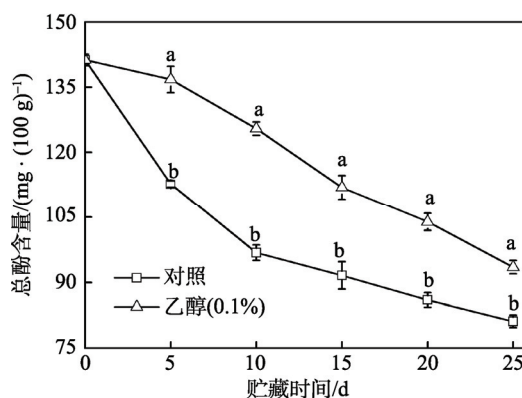


图 4 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实总酚含量的变化
Fig.4 Total phenol content changes of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

花青素是总酚的一种, 尽管总酚含量在整个贮藏期间呈下降趋势, 但花青素含量呈先上升后下降的趋势。由图 5 可知, 两处理组的花青素含量于 0~15 d 内先上升随后下降, 说明贮藏过程中蓝莓果实有新合成的花青素产生, 但随着贮藏时间的继续延长, 花青素又有所降解。贮藏第 15 d 时乙醇处理的花青素含量达到峰值 (88.36 mg/100 g), 是同期对照组的 1.1 倍。在整个贮藏时间内, 乙醇处理后的蓝莓果实花青素含量均显著高于同期对照组 ($p < 0.05$)。结果表明, 乙醇处理对蓝莓果实的总酚和花青素含量有较好的提高和保持作用。

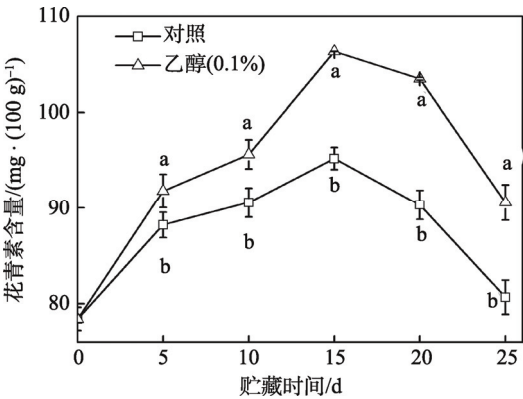


图 5 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实花青素含量的变化
Fig.5 Anthocyanin content changes of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

2.5 PPO，POD，CAT，SOD 活性变化

PPO 是一种含 Cu 元素的膜结合蛋白，可与多酚类物质氧化、聚合形成黑色或褐色物质，导致酶促褐变^[28]。整个贮藏时间内，蓝莓的 PPO 活性均呈下降趋势，对照组 PPO 活性显著高于同期乙醇处理 ($p < 0.05$)，说明乙醇处理可有效抑制果实褐变程度。

POD 大量存在于植物中，可清除植物体内的过氧化物自由基，与植物抗氧化能力有着密切的关系^[29]。由表 3 可知，乙醇处理组的 POD 活性于 5~15 d 时呈显著上升趋势，第 15 d 时达到最大值后迅速下降，对照组于 5~10 d 内 POD 活性略有上升，其余贮藏时间呈显著下降趋势，乙醇处理组的 POD 活性显著高于同期对照组的 ($p < 0.05$)，表明乙醇熏蒸处理对采后蓝莓果实的 POD 活性有促进作用。

CAT 可催化果蔬体内过量积累的 H_2O_2 ，使其分解成 H_2O 和 O_2 ，SOD 与 CAT 协同作用可防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害，从而减

少自由基对机体的伤害^[30]。由表 3 可知，对照组的 CAT 活性呈先上升后迅速下降的趋势，酶活性的高峰出现在第 5 d，乙醇处理的 CAT 活性呈先下降后上升再下降的趋势，贮藏 5 d 内，对照组的 CAT 活性显著高于同期乙醇处理组，贮藏 7 d 后，乙醇处理组的 CAT 活性显著高于同期对照组的，贮藏第 10 d 时乙醇处理组的 CAT 活性达到最大值 (0.875 U)，是同期对照组的 1.94 倍。由表 3 可知，2 种处理组的 SOD 活性均呈先上升后下降的趋势，对照组的 SOD 于贮藏第 5 d 时出现活性高峰，而乙醇处理组的 SOD 活性于第 10 d 时出现活性高峰，相较于同期的对照组，乙醇处理组的 SOD 活性始终维持较高水平。可见，乙醇处理可延长 SOD 活性高峰出现的时间，并可显著提高 SOD、CAT 活性，提高采后蓝莓果实抗氧化能力。

2.6 羟自由基清除率、总抗氧化能力的变化

由图 6 可知，贮藏 0~5 d 内，对照组的羟自由基清除率略有上升随后显著下降，而乙醇处理组的羟自由基清除率在贮藏 0~10 d 内迅速上升，10 d 时达到最大值后快速下降，乙醇处理组的蓝莓果实羟自由基清除率相较于同期对照组均呈较高水平 ($p < 0.05$)。总抗氧化能力的变化趋势与羟自由基清除率相似，对照组的羟自由基清除率于贮藏 0~5 d 内呈先上升后下降的趋势，乙醇处理组的羟自由基清除率在贮藏第 10 d 时达到峰值随后下降，乙醇处理组的羟自由基清除率显著高于同期对照组 ($p < 0.05$)。实验结果表明，乙醇处理对蓝莓果实羟自由基清除率和总抗氧化能力具有促进和保持作用。贮藏过程中羟自由基清除率与总抗氧化能力间存在显著正相关关系 ($R^2=0.916$)，说明蓝莓果实的抗氧化能力主要取决于果实对羟自由基的清除能力。

表 3 乙醇熏蒸处理后 PPO，POD，CAT，SOD 活性的变化
Tab.3 PPO, POD, CAT, SOD activity changes of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

贮藏时间/d	组别	PPO/U	POD/U	CAT/U	SOD/U
0		21.22±0.47	91.23 ±2.11	0.52±0.014	2735.40±40.12
5	乙醇 (0.1%) 处理组	20.70±0.38 a	87.10±1.73 a	0.59±0.02 a	2914.82±53.60 a
	对照组	17.20±0.47 b	81.80±2.57 b	0.45±0.011 b	3005.80±27.30 b
10	乙醇 (0.1%) 处理组	18.91±0.55 a	93.92±3.10 a	0.88±0.02 b	2571.20±37.20 a
	对照组	15.30±0.37 b	82.87±1.8 b	0.43±0.03 a	3070.30±49.12 b
15	乙醇 (0.1%) 处理组	15.42±0.48 a	100.5±1.85 a	0.662±0.018 a	2439.1±48.6 a
	对照组	10.95±0.38 b	77.5±2.32 b	0.407±0.016 b	2861.7±51.0 b
20	乙醇 (0.1%) 处理组	10.62±0.20 a	85.12±2.1 a	0.50±0.02 a	2210.80±44.40 a
	对照组	9.72±0.46 b	69.21±1.19 b	0.33±0.02 b	2671.90±61.80 b
25	乙醇 (0.1%) 处理组	11.71±0.36 a	80.72 ±1.75 a	0.54±0.02 a	2005.72±72.10 a
	对照组	10.32±0.47 b	63.73±2.70 b	0.35±0.02 b	2581.51±39.01 b

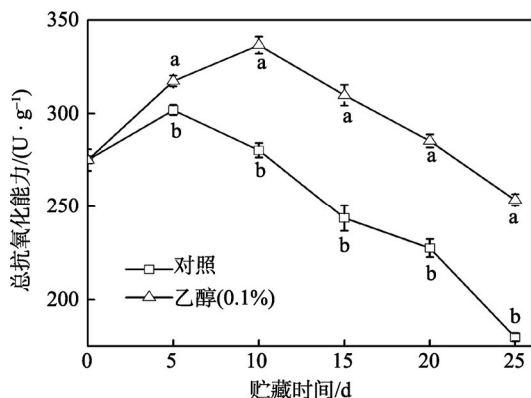


图6 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实羟自由基清除率的变化
Fig.6 Hydroxyl radical scavenging rate change of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

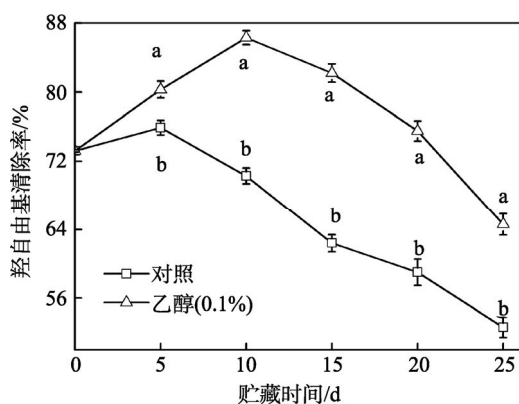


图7 乙醇熏蒸处理后蓝莓果实总抗氧化能力的变化
Fig.7 Total antioxidant capacity changes of blueberry fruits treated with ethanol fumigation

2.7 主成分分析

主成分分析是将多个指标化为少数几个综合指标的一种统计分析方法^[31]。通过主成分分析将该实验所测指标综合为2个主成分。主成分1的方差贡献率为70.630%，主成分2的方差贡献率为19.298%，累计方差贡献率为89.928%，因此提取的2个主成分具有代表性。由表4可知，主成分1与花青素、总抗氧化能力、呼吸强度、TSS、SOD呈高度正相关，主成分2与PPO、POD呈高度正相关，表明主成分1—2可以综合体现蓝莓果实的采后生理生化变化。以主成分1得分为横坐标，主成分2得分为纵坐标建立主成分得分散点图(见图8)，可知，以贮藏第0d为界限，对照组各贮藏时间的主成分得分均分布在横坐标轴左侧，而乙醇处理组均分布在横坐标轴右侧，证明乙醇熏蒸处理对蓝莓果实的抗氧化、呼吸代谢、品质相关指标具有较大的影响，然而对PPO、POD的影响较小。通过综合评分的构建计算综合得分，得分越高说明蓝莓果实的品质越好。对照组的综合得分均呈显著下降趋势，乙醇熏蒸处理组在贮藏10d内呈显著上升随后下降的趋势，且乙醇熏蒸组的综合得分显著

高于对照组，证明乙醇熏蒸可以保持较高的蓝莓果实品质，见图9。

表4 主成分载荷系数
Tab.4 Loading coefficients of each principal component

	主成分 1	主成分 2
腐烂率	-0.947	-0.254
质量损失率	-0.78	-0.494
硬度	-0.647	0.695
色差	0.906	0.181
呼吸强度	0.968	-0.135
TSS	0.953	-0.09
花青素	0.987	0.027
总酚	0.967	0.198
PPO	-0.355	0.874
POD	-0.098	0.971
CAT	0.784	0.007
SOD	0.922	-0.122
羟自由基清除能力	0.917	0.285
总抗氧化能力	0.973	-0.092

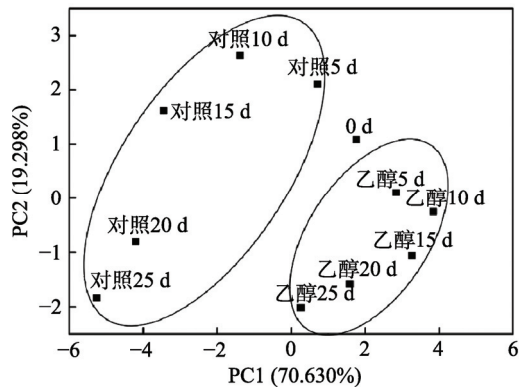


图8 主成分得分散点
Fig.8 Principal component score scatters

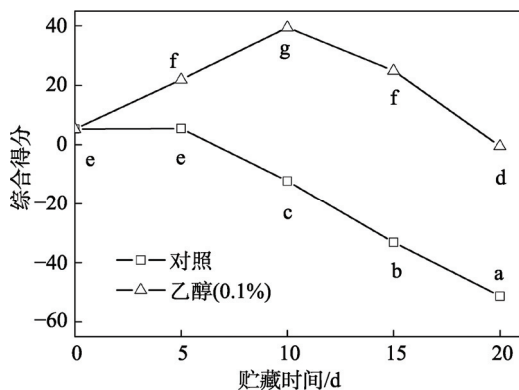


图9 综合得分
Fig.9 Overall ratings

3 讨论

乙醇是植物天然产生的次生代谢物质之一,适量的外源乙醇处理具有保持果蔬品质的作用。乙醇处理材料易得,方法简便,成本较低,与其它化学药剂相比,乙醇是天然有机物,加入适量的乙醇对人体无毒,且对环境无污染^[32]。早有研究表明,乙醇熏蒸处理后的保鲜效果要明显优于乙醇浸泡处理,对于鲜嫩易腐的蓝莓、葡萄等浆果的保鲜效果尤为如此^[19],乙醇熏蒸处理不仅不会对果实表面果粉造成破坏,还可提高采后果实非酶抗氧化物质含量以及抗氧化能力,对果实褐变也具有一定的抑制作用^[33—34],其机理被广泛认为是乙醇熏蒸处理通过调动和提高果实自身防御系统,提高果实自身的抗氧化物质含量和抗氧化能力来发挥积极的保鲜作用^[33—34]。同时,乙醇熏蒸处理还可通过抑制蓝莓表面致病真菌的生长,起到保持蓝莓果实原有颜色的作用^[19]。采后蓝莓果实呼吸代谢旺盛,文中实验发现乙醇处理能显著抑制采后蓝莓果实的呼吸强度,并且可保持蓝莓果实的采后品质,提升其抗氧化酶活性,该研究结果与杨梅和葡萄等水果的研究结果相似^[35—36]。

4 结语

实验所应用的熏蒸装置结构简单,成本低廉,方便实用,装置大小可根据具体样品量进行设置,适用于教学、科研及实际生产中的果蔬熏蒸处理。

通过与未作处理蓝莓果实相比可知,乙醇熏蒸处理可有效减慢蓝莓果实品质劣变的速率,表现为整个贮藏过程中所有乙醇熏蒸处理蓝莓的腐烂率、质量损失率上升的速率、硬度、可溶性固形物含量下降的速率均显著低于同期对照组($p < 0.05$),并且乙醇熏蒸处理有效抑制了蓝莓果实的呼吸强度,显著提高了花青素、总酚含量、抗氧化酶活性、羟自由基清除率及抗氧化能力,有效延长了采后蓝莓果实的货架期。由此可见,适当浓度的乙醇熏蒸处理可作为一种行之有效的蓝莓保鲜前处理手段,熏蒸处理中乙醇的体积分数为0.1%较适宜。

参考文献:

- [1] 陈介甫,李亚东,徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. 药学报, 2010, 45(4): 422—429.
CHEN Jie-fu, LI Ya-dong, XU Zhe. Chemical Principles and Bioactivities of Blueberry[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2010, 45(4): 422—429.
- [2] GIOVANELLI G, BURATTI S. Comparison of Polyphenolic Composition and Antioxidant Activity of Wild Italian Blueberries and some Cultivated Varieties[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 903—908.
- [3] COCETTA G, KARPPINEN K, SUOKAS M, et al. Ascorbic Acid Metabolism during Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L) Fruit Development[J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169: 1059—1065.
- [4] SZAJDEK A, BOROWSKA E J. Bioactive Compounds and Health-promoting Properties of Berry Fruits: a Review[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2008, 63(4): 147—156.
- [5] PRIOR R L, CAO G, MARTIN A, et al. Antioxidant Capacity as Influenced by Total Phenolics and Anthocyanins Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(7): 2686—2693.
- [6] DEL B C, RISO P, CAMPOLO J, et al. A Single Portion of Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L) Improves Protection Against DNA Damage but not Vascular Function in Healthy Male Volunteers[J]. Nutrition Research, 2013, 33(3): 220—227.
- [7] 吕业春,刘翼翔,吴薇,等. 蓝莓多酚对油酸诱导 HepG2 细胞脂肪累积的干预作用[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 308—312.
LYU Ye-chun, LIU Yi-xiang, WU Wei, et al. Preventive Effect of Blueberry Polyphenols on Oleic Acid-induced Fat Accumulation in HepG2 Cells[J]. Food Science, 2011, 32(17): 308—312.
- [8] 田密霞,李亚东,胡文忠,等. 蓝莓花色苷对实验性糖尿病小白鼠肝脏抗氧化功能的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 210—213.
TIAN Mi-xia, LI Ya-dong, HU Wen-zhong, et al. Effect of Blueberry Anthocyanins on Antioxidant Function in the Liver of Experimental Diabetic Rats[J]. Food Science, 2017(1): 210—213.
- [9] 王二雷. 蓝莓花青素高纯提取物的制备技术及诱导肿瘤细胞凋亡作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
WANG Er-lei. Preparation of High-purity Blueberry Anthocyanin Extracts and Induced Apoptosis of Tumor Cells[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [10] NORBERTO S, SILVA S, MEIRELES M, et al. Blueberry Anthocyanins in Health Promotion: a Metabolic Overview[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1518—1528.
- [11] SEERAM N P. Berries and Human Health: Research Highlights from the Fifth Biennial Berry Health Benefits Symposium[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 62(18): 3839—3841.
- [12] LICHTER A, ZUTKHY Y, SONEGO L, et al. Ethanol Controls Postharvest Decay of Table Grapes[J]. Postharvest Biology & Technology, 2002, 24(3): 301—308.
- [13] CHERVIN C, WESTERCAMP P, MONTEILS G. Ethanol Vapours Limit *Botrytis* Development over the Postharvest Life of Table Grapes[J]. Postharvest Biology & Technology, 2005, 36(3): 319—322.
- [14] ROMANAZZI G, KARABULUT O A, SMILANICK J L. Combination of Chitosan and Ethanol to Control Postharvest Gray Mold of Table Grapes[J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 45(1): 134—140.
- [15] ASODA T, TERAH H, KATO M, et al. Effects of Postharvest Ethanol Vapor Treatment on Ethylene Respon-

- siveness in Broccoli[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2009, 52(2): 216—220.
- [16] XU F, CHEN X, JIN P, et al. Effect of Ethanol Treatment on Quality and Antioxidant Activity in Postharvest Broccoli Florets[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 235(5): 793—800.
- [17] PESIS E. The Role of the Anaerobic Metabolites, Acetaldehyde and Ethanol, in Fruit Ripening, Enhancement of Fruit Quality and Fruit Deterioration[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2005, 37(1): 1—19.
- [18] LI H D, YU J Z. Optimal Enzyme-Assisted Ethanol Extraction of Flavonoids from Broccoli by RSM and Research on Antioxidant Effect [J]. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 2016, 1(2): 12—20.
- [19] CANDIR E, OZDEMIR A E, KAMILOGLU O, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging and Ethanol Vapor Treatment on the Chemical Composition of "Red Globe" Table Grapes during Storage[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2012, 68: 8—15.
- [20] 胡文瑾, 毕阳, 李颖超, 等. 采后热水和乙醇处理对枸杞鲜果腐烂的控制及品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34 (12): 308—311.
- HU Wen-jin, BI Yang, LI Ying-chao, et al. Effect of Hot Water and Ethanol Treatment on Postharvest Rot and Quality of Fresh Wolfberry Fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34 (12): 308—311.
- [21] 姜爱丽, 胡文忠, 孟宪军, 等. 外源水杨酸处理对采后蓝莓果实苯丙烷代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(6): 334—337.
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, MENG Xian-jun, et al. Effects of Exogenous Salicylic Acid Treatment on Phenylpropanoid Metabolic System of Postharvest Blueberry Fruits[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(6): 334—337.
- [22] 姜爱丽, 胡文忠, 张维娜, 等. 异硫氰酸烯丙酯处理对鲜切紫甘蓝生理代谢的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(3): 251—257.
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, ZHANG Wei-na, et al. Effects of Allyl Isothiocyanate Treatments on Physiological Metabolism of Fresh-cut Purple Cabbage[J]. *Food Science*, 2018, 39(3): 251—257.
- [23] SINGLETON V L, ROSSI J A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents[J]. *American Journal of Enology & Viticulture*, 1965, 16(3): 144—158.
- [24] 姜爱丽. 蓝莓果实采后生理生化代谢及调控研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
- JIANG Ai-li. Study on Physio-biochemical Metabolism and Its Regulation of Postharvest Blueberry Fruits[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2011.
- [25] 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 & Technology*, 2004, 34(1): 21—28.
- [26] 姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 不同北高丛蓝莓品种的抗氧化成分及其抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(9): 161—165.
- JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong, et al. Study on the Biological Active Substances and Antioxidant Capacity in Various Cultivars of Northern Highbush Blueberry Fruits[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(9): 161—165.
- [27] 邵明灿, 胡花丽, 王毓宁, 等. 基于主成分分析法分析一氧化氮对绿芦笋贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(20): 318—322.
- SHAO Ming-can, HU Hua-li, WANG Yu-ning, et al. Using Principal Component Analysis to Analyze the Effect of Nitric Oxide on Storage Quality of Green Asparagus[J]. *Food Science*, 2011, 32(17): 308—312.
- [28] 荣保华. 藕带多酚氧化酶性质及藕带保鲜初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- RONG Bao-hua. Primary Study on the Character of Polyphenol Oxidase and the Preservation of Lotus Sprout[J]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [29] YAN J, SONG Y, LI J, et al. Forced-air Precooling Treatment Enhanced Antioxidant Capacities of Apricots[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2017(3): E13320.
- [30] GLOWACZ M, REES D. Exposure to Ozone Reduces Postharvest Quality Loss in Red and Green Chilli Peppers[J]. *Food Chemistry*, 2016, 210:305.
- [31] 张振文, 姚庆群. 主成分分析法在芒果贮藏特性分析中的应用[J]. *亚热带植物科学*, 2005, 34(2): 25—28.
- ZHANG Zhen-wen, YAO Qing-qun. Application of the Principle Component Analysis on Mango Storage Characteristic[J]. *Subtropical Plant Science*, 2005, 34(2): 25—28.
- [32] 李云云. 乙醇熏蒸处理对双孢蘑菇保鲜品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- LI Yun-yun. Effect of Ethanol Fumigation on Quality Maintenance of *Agaricus Bisporus*[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [33] HU W Z, JIANG A L, TIAN M X, et al. Effect of Ethanol Treatment on Physiological and Quality Attributes of Fresh-cut Eggplant[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 90(8): 1323—1326.
- [34] ASODA T, TERAH H, KATO M, et al. Effects of Postharvest Ethanol Vapor Treatment on Ethylene Responsiveness in Broccoli[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2009, 52(2): 216—220.
- [35] 姜璐璐, 朱虹, 焦凤, 等. 乙醇处理对葡萄果实常温保鲜的效果[J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 285—289.
- JIANG Lu-lu, ZHU Hong, JIAO Feng, et al. Effect of Ethanol Vapor Treatment on Quality Maintenance of Grape Stored at Normal Temperature[J]. *Food Science*, 2013, 34(18): 285—289.
- [36] 杨爱萍, 汪开拓, 金文渊, 等. 乙醇熏蒸处理对杨梅果实保鲜及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(20): 277—281.
- YANG Ai-ping, WANG Kai-tuo, JIN Wen-yuan, et al. Effect of Ethanol Fumigation on Fresh-keeping and Antioxidant Activity of Postharvest Chinese Bayberry[J]. *Food Science*, 2011, 32(20): 277—281.