

薛友林, 于弘弢, 张鹏, 等. 微环境气调对冰温贮藏下蓝莓果实品质及挥发性成分的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 334-341. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120201

XUE Youlin, YU Hongtao, ZHANG Peng, et al. Effects of Micro-environmental Atmosphere on the Quality and Volatile Components of Blueberries under Controlled Freezing Point Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(18): 334-341. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120201

· 贮运保鲜 ·

微环境气调对冰温贮藏下蓝莓果实品质及挥发性成分的影响

薛友林¹, 于弘弢¹, 张 鹏^{2,3,*}, 贾晓昱^{2,3}, 李江阔^{2,3}

(1. 辽宁大学轻型产业学院, 辽宁沈阳 110036;

2. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384;

3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 为了明确不同气体微环境对冰温贮藏蓝莓品质和挥发性成分的影响, 以‘莱克西’蓝莓为试材, 研究不同的气体微环境在冰温贮藏 (-0.5 ± 0.3 °C) 0~80 d 期间果实品质和挥发性成分的变化。结果表明, 在贮藏期间, 3 种不同的气调环节中, O_2 变化范围分别为 15.4%~18.2%、13.1%~15.9% 和 6.1%~13.4%, CO_2 变化范围分别为 2.2%~4.5%、4.5%~8.8% 和 8.8%~14.8%。与对照相比, 微环境气体调控延缓了蓝莓果实的营养物质 (V_C 、花色苷和可滴定酸) 和硬度的下降, 保持了较低的腐烂率和较高的果霜覆盖指数, 还能够抑制醛类物质生成, 促进萜类物质的生成。其中, O_2 含量维持在 6.1%~13.4%, CO_2 含量维持在 8.8%~14.8% 的气体微环境对蓝莓贮藏的效果最佳, 有利于蓝莓果实的长期贮藏。

关键词: 蓝莓, 微环境气调, 果实品质, 挥发性成分

中图分类号: TS205.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)18-0334-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120201



本文网刊:

Effects of Micro-environmental Atmosphere on the Quality and Volatile Components of Blueberries under Controlled Freezing Point Storage

XUE Youlin¹, YU Hongtao¹, ZHANG Peng^{2,3,*}, JIA Xiaoyu^{2,3}, LI Jiangkuo^{2,3}

(1. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

2. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology,

Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China;

3. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products(Tianjin), Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to clarify the effects of different gas microenvironments on the quality and volatile components of blueberry during controlled freezing point storage (-0.5 ± 0.3 °C), the changes of quality and volatile components of blueberries during 0~80 days under different gas microenvironments were studied using ‘Legacy’ blueberries as samples. The results showed that during the storage period, in the three different atmosphere control steps, the O_2 variation range was 15.4%~18.2%, 13.1%~15.9% and 6.1%~13.4%, and the CO_2 variation range was 2.2%~4.5%, 4.5%~8.8% and 8.8%~

收稿日期: 2020-12-23

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

作者简介: 薛友林(1980-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xueyoulin@lnu.edu.cn。

* 通信作者: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com。

14.8%。Compared with the control, the microenvironmental gas regulation could delay the decrease of nutrient substances (V_C , anthocyanins and titratable acid) and hardness of blueberry fruits, maintained a low decay rate and a high fruit frost coverage index, and could also inhibit the production of aldehydes and promote the production of terpenoids. Among them, the gas microenvironment with O_2 content maintained at 6.1%~13.4% and CO_2 content maintained at 8.8%~14.8% has the best effect on blueberry storage, which was conducive to the long-term storage of blueberry fruits.

Key words: blueberry; microenvironmental atmosphere; fruit quality; volatile component

蓝莓(*Vaccinium* spp.)一般分为“矮丛蓝莓”和“高丛蓝莓”^[1-2]。蓝莓含有丰富的营养物质^[3-6],具有美白皮肤^[7]、保护视力^[8]、延缓衰老^[9]、抗击癌症^[10-11]、保护心脏^[12]等众多保健作用,其还可以抗菌消炎^[13],治疗一般的头疼脑热、咽喉肿痛以及在医药中发挥作用^[14]。然而,由于蓝莓在高温多雨季节采收,且采收期较为集中,因此如何延缓蓝莓的劣变、保持其新鲜度对蓝莓产业的发展至关重要。

微环境气调贮藏基于自发气调贮藏(MA)技术,是指果蔬自身呼吸代谢调节贮藏环境的氧气和二氧化碳比例,减少果蔬自身有机物的消耗,进而使果蔬的营养品质得到较好维持的一种技术^[15-18]。李天元等^[19]以‘伯克利’蓝莓为试材,研究不同贮藏微环境气体调控对蓝莓果实的保鲜效果表明,贮藏微环境气体调控对于维持蓝莓好果率、硬度以及可滴定酸含量,抑制蓝莓的呼吸强度方面效果显著;张平等^[20]对蓝莓进行了箱式气调的研究,认为贮藏蓝莓适宜的气体浓度为: CO_2 10%~12%, O_2 6%~9%,可比现有其它贮藏方法延长保鲜期 30~40 d,但实验所用气调箱体积过大,具有不便于随身携带、销售的缺点,随着电商的快速发展,小型、便携的包装方式逐渐被人们认可。

目前国内外对不同气体微环境对冰温贮藏下蓝莓品质影响的研究较少,本课题组研制了一种便携式塑料气调箱用于贮藏蓝莓,并利用其研究 3 种不同微环境气调对蓝莓果实贮藏期间果实品质和挥发性成分的影响,为蓝莓产业的发展提供理论性指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘莱克西’蓝莓 采自贵州麻江,采收时挑选大小均匀、无病虫害、无机械损伤的蓝莓果实,经顺丰生鲜从贵州空运至天津,物流时间为 1 d。

气调箱(规格:28 cm×22 cm×12 cm,内置 2 个篮筐) 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司;气调元件 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司。表 1 为蓝莓果实在 0.0±1.0 °C 下按照操作规程入贮 1 周

表 1 配备不同气调元件的气调箱内气体含量变化范围
Table 1 Variation range of gas content in air-conditioning box equipped with different air-conditioning components

| 气调元件 | O_2 含量变化范围(%) | CO_2 含量变化范围(%) |
|------|-----------------|------------------|
| 1 | 15~20 | 1~4 |
| 2 | 13~18 | 4~8 |
| 3 | 10~15 | 8~12 |

后,冷藏期间配备三种气调元件的气调箱内气体参考参数。

PAL-1 便携式手持折光仪 日本爱宕公司;916 Ti-Touch 电位滴定仪 瑞士万通中国有限公司;Synergy H1 多功能微孔板检测仪 美国 Biotek Instrument 公司;Check Point II 便携式残氧仪 丹麦 Dansensor 公司;F-900 乙烯测定仪 美国 Felix 公司;FHT-05 水果硬度计 广州兰泰仪器有限公司;SPME Fiber 固相微萃取手柄和 50/30 μ m PDMS/CAR/DVB 固相微萃取纤维头 美国 Supleco 公司;气相色谱-质谱联用仪 美国 Thermo 公司。

1.2 样品处理

蓝莓到达实验室后装入配套的篮筐内,每箱蓝莓重量 2.4 kg,然后粘贴具有不同气体调节能力的气调元件(mMAP1、mMAP2 和 mMAP3),以不粘贴气调元件为 CK,以上蓝莓均于 0 °C 预冷 24 h 后放入冰温库-0.5±0.3 °C 贮藏,分别在第 0、20、40、60 和 80 d 时取样,进行指标测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 箱内气体成分 实验当天上午从冷库取出蓝莓,在进行其他实验前利用气体成分测定仪测定箱体内 O_2 和 CO_2 气体含量,三次重复。

1.3.2 腐烂率 每个处理随机选取 400±1.0 g 的蓝莓果实,将腐烂的果实挑出进行称重。

$$\text{腐烂率计算公式: } X = \frac{M_0}{M} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中: X—腐烂率,%; M_0 —调查时腐烂果实质量, g; M—调查时总果质量, g。

1.3.3 果霜覆盖指数 各处理随机取 50 个果实进行果霜覆盖观察,根据覆盖面积情况进行打分,分为四级。0 级:无果霜;1 级:果霜覆盖面积为 0~1/3;2 级:果霜覆盖面积为 1/3~2/3;3 级:果霜覆盖面积为 2/3~全果;4 级:覆盖全果,果霜较厚。

果霜覆盖指数计算公式:

$$\text{果霜覆盖指数} = \frac{\sum \text{果霜级别} \times \text{该级别果数}}{\text{果霜最高级别} \times \text{调查总果数}} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.3.4 硬度 采用水果硬度计测定,用直径为 3.5 mm 的圆柱形探头进行硬度测试,每个处理随机测定 10 次,结果取平均值。

1.3.5 可溶性固形物 参考颜廷才等^[21]的方法,取

100 g 蓝莓打浆, 均匀搅拌, 纱布过滤得滤液, 用手持折光仪测定滤液的可溶性固形物含量, 记录测量值。每个处理测试重复 6 次, 取平均值。

1.3.6 可滴定酸 采用自动电位滴定仪测定^[22], 取 20 g 蓝莓匀浆液, 以蒸馏水定容至 250 mL, 80 °C 水浴 30 min, 冷却至常温后使用脱脂棉过滤, 取滤液 20 mL 和蒸馏水 40 mL, 采用自动电位滴定仪进行滴定, 每个处理重复测定 3 次, 结果取其平均值。

1.3.7 维生素 C(V_C) 采用钼蓝比色法测定^[23], 准确称取 20 g 样品匀浆液, 加入草酸-EDTA 溶液, 定容至 100 mL, 过滤。吸取 10 mL 上清液于 50 mL 的容量瓶中, 加入 1.0 mL 的偏磷酸-醋酸溶液, 5% 的硫酸 2.0 mL, 摇匀后, 加入 4.0 mL 的钼酸铵溶液, 以蒸馏水定容至 50 mL, 15 min 后在 705 nm 下测定吸光度。

1.3.8 花色苷 采用 pH 示差法测定^[24], 准确称取 5 g 样品匀浆液, 用 60% 的乙醇酸性溶液(含有体积分数为 0.2% 的盐酸)定容至 100 mL, 摇匀, 60 °C 水浴超声浸提 30 min, 取出放置至室温后过滤备用。各取样液 1 mL, 分别加入试管中, 其中一个试管中加入 pH 为 1.0 的盐酸-氯化钠缓冲液 9 mL, 另一试管中加入 pH 为 4.5 的醋酸-醋酸钠缓冲液 9 mL, 摇匀, 放置 10 min, 用紫外可见分光光度计分别以 510 和 710 nm 为吸收波长测定其吸光度, 以 1.00 mL 溶剂加入等量的缓冲溶剂作空白。

1.3.9 挥发性成分 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱/质谱分析(GC-MS)联用法测定^[25], 选用 100 μm PDMS 萃取头; 气相色谱条件: HP-INNOWAX 色谱柱(30 m×20.25 mm×0.25 μm); 程序升温: 40 °C 保留 2 min, 然后以 3 °C/min 升至 140 °C 保留 0 min, 再以 8 °C/min 升至 210 °C 保留 5 min。传输线温度为 250 °C。载气为 He, 流速 1 mL/min, 不分流。质谱条件: 连接杆温度 280 °C, 电离方式为 EI, 离子源温度 200 °C, 质量扫描范围(m/z)35~350。通过检索 NIST/WILEY 标准谱库, 进行定性分析, 用峰面积归一法测算各挥发性成分的相对含量。

1.4 数据处理

实验中所有数据通过 Excel 2010 软件作图, SPSS 25.0 邓肯式新复极差法进行显著性分析, SIMCA 14.1 软件进行 PCA、HCA 和 OPLS-DA 等多元统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同微环境气调箱内气体成分的变化

如图 1 所示, 表示的是在贮藏 0~80 d 期间使用不同气调元件的气调箱内 O₂ 和 CO₂ 含量的变化情况, 贮藏 20~80 d, mMAP1 处理组 O₂ 含量维持在 15.4%~18.2%, CO₂ 含量维持在 2.2%~4.5%; mMAP2 处理组 O₂ 含量维持在 13.1%~15.9%, CO₂ 含量维持在 4.5%~8.8%; mMAP3 处理组 O₂ 含量维持在 6.1%~13.4%, CO₂ 含量维持在 8.8%~14.8%。

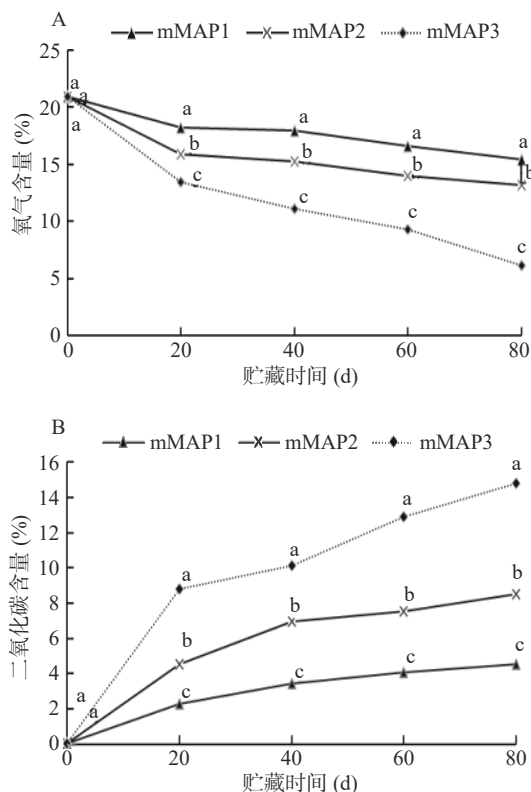


图 1 不同处理组气调箱内 O₂(A) 含量和 CO₂(B) 含量的变化

Fig.1 Changes of O₂(A) and CO₂(B) content in portable air-conditioning boxes of different treatment groups

注: 不同的小写字母表示在同一贮藏时间不同处理组条件下样品之间有显著性差异(P<0.05); 图 2、图 4 同。

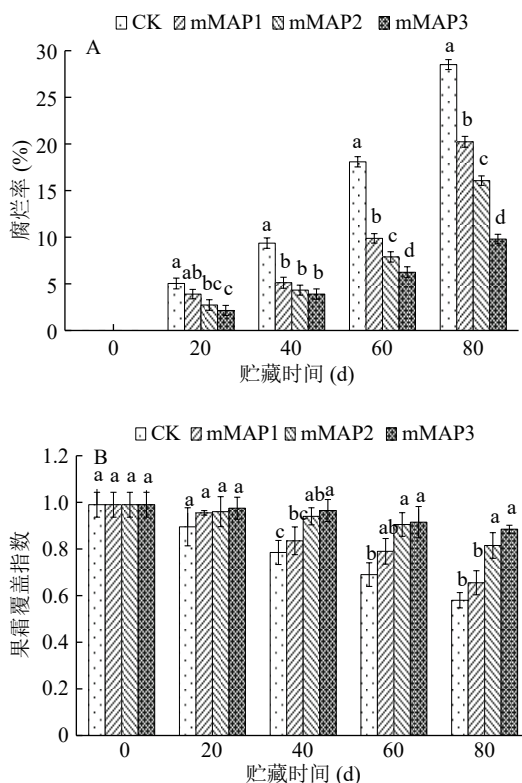


图 2 不同处理组气调箱内腐烂率(A) 和果霜覆盖指数(B) 的变化

Fig.2 Changes of decay rate (A) and fruit frost coverage index (B) in portable air-conditioning boxes of different treatment groups

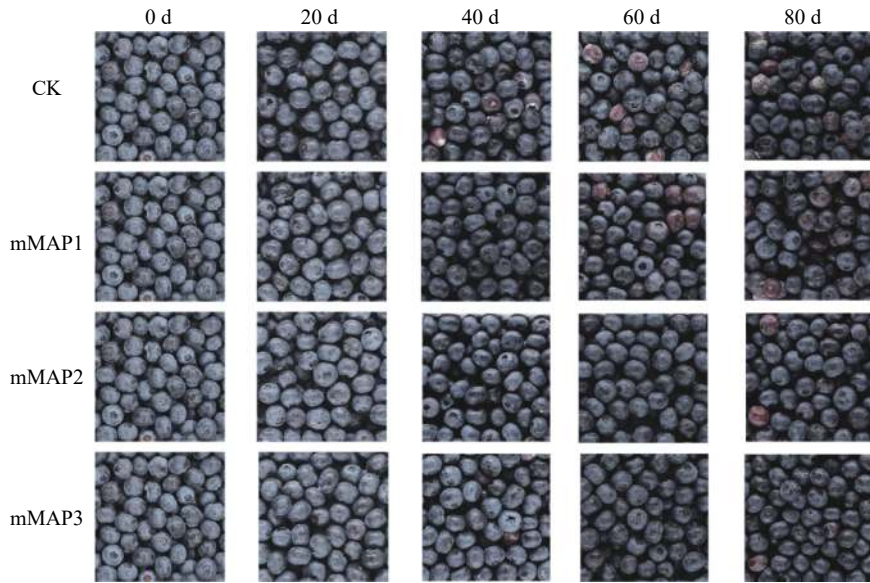


图 3 不同处理蓝莓贮藏保鲜效果图

Fig.3 Effect diagrams of blueberry storage and preservation with different treatments

2.2 不同微环境气调方式对蓝莓品质的影响

2.2.1 对蓝莓保鲜感官效果的影响 腐烂率和果霜覆盖指数是判断蓝莓果实贮藏品质最直观指标。由图 2 和图 3 可知,各处理组腐烂率在贮藏期间整体均呈不断增加的趋势,果霜覆盖指数呈下降的趋势。贮藏前 20 d 内,各组蓝莓果实的腐烂程度较低,在贮藏 20 d 时,对照组腐烂率为 5.04%,与 mMAP2 组和 mMAP 组差异显著($P<0.05$);但各组之间果霜覆盖程度相近,差异不显著($P>0.05$)。第 40 d 时,对照组已经出现较为明显的品质下降,腐烂率达到 9.37%,果霜覆盖指数下降到 0.785,而微环境气调处理组中腐烂率最高的 mMAP1 组仅为 5.12%,果霜覆盖指数仍为 0.835。贮藏 60 d 后各组的蓝莓腐烂率均迅速上升,果霜覆盖指数开始迅速下降,其中变化幅度最大的是对照组。贮藏 80 d 时,mMAP1 组、mMAP2 组和 mMAP3 组的蓝莓腐烂率分别为 20.23%、16.07% 和 9.80%,而对照组则为 28.51%;果霜覆盖指数分别为 0.655、0.815 和 0.885,而 CK 组为 0.580,这说明微环境气调对维持蓝莓果实感官

品质具有良好的效果,与对照组差异显著($P<0.05$),其中 mMAP3 处理效果最佳。

硬度是衡量蓝莓果实品质的重要指标之一^[26-27]。由图 4 可以看出,4 种处理的蓝莓硬度随着贮藏时间的延长逐渐下降。对照组果实软化速度较快,贮藏到第 20 d 时就从开始的 4.27 kgf 下降到 3.46 kgf,而微环境气调嫩能够延缓果实的软化,贮藏 40 d 时 mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 处理组的果实硬度仍为 3.51、3.73 和 3.85 kgf。到贮藏结束时,CK 组、mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 处理组的硬度分别与贮藏初期相比分别下降了 29.44%、23.10%、20.49% 和 16.09%。随着时间的增加,mMAP3 处理组的硬度较其他三组处理的硬度更高,说明 mMAP3 处理组对延缓蓝莓果实硬度的降低有着更好的效果。

2.2.2 对蓝莓营养品质的影响 由表 2 可以看出,可溶性固形物(TSS)含量随着贮藏时间的延长呈现逐渐下降的趋势。在贮藏 0~40 d 期间,TSS 迅速下降,与 0 d 相比,贮藏 40 d 时对照组下降 1.27%,mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 处理组分别下降了 1.02%、0.75% 和 0.54%。在贮藏后期,TSS 含量下降趋势得到延缓,CK 组、mMAP1 组、mMAP2 组和 mMAP3 组在贮藏至 80 d 时分别下降到 10.98%、11.17%、11.45% 和 11.78%,因此可以看出蓝莓果实经微环境气体调控后,可维持较高的 TSS 含量。

可滴定酸含量变化呈现与 TSS 相似的趋势,在 0~40 d 期间,蓝莓果实的可滴定酸含量下降速度较快,与 0 d 相比,贮藏 40 d 时 CK 组下降 0.21%,mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 处理组分别下降 0.17%、0.14% 和 0.12%。在贮藏后期,可滴定酸含量下降趋势放缓,80 d 时,CK、mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 各组的可滴定酸含量分别下降了 30.19%、25.47%、20.75% 和 17.92%,表明微环境气调能够较好地维持蓝莓果

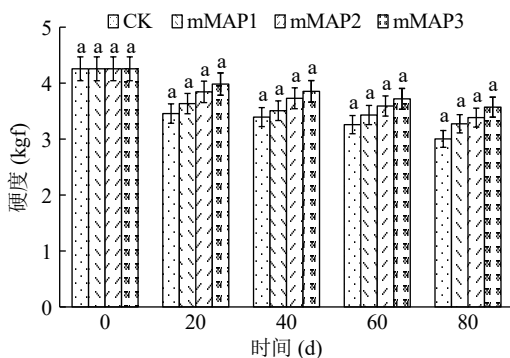


图 4 不同处理组气调箱内蓝莓硬度的变化

Fig.4 Changes of blueberry hardness in air-conditioned boxes with different treatment groups

表2 贮藏期不同处理的蓝莓品质性状
Table 2 Quality traits of blueberries in different treatments during storage periods

| 指标 | 处理 | 贮藏时间(d) | | | | |
|---------------------------|-------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 可溶性固形物(%) | CK | 12.82±0.10 ^a | 11.83±0.08 ^c | 11.55±0.15 ^c | 11.23±0.15 ^c | 10.98±0.13 ^c |
| | mMAP1 | 12.82±0.10 ^a | 12.1±0.11 ^{bc} | 11.8±0.09 ^{bc} | 11.45±0.10 ^{bc} | 11.17±0.08 ^c |
| | mMAP2 | 12.82±0.10 ^a | 12.35±0.16 ^{ab} | 12.07±0.14 ^{ab} | 11.83±0.15 ^{ab} | 11.45±0.10 ^b |
| | mMAP3 | 12.82±0.10 ^a | 12.62±0.15 ^a | 12.28±0.15 ^a | 12.05±0.19 ^a | 11.78±0.12 ^a |
| 可滴定酸(%) | CK | 1.06±0.30 ^a | 0.91±0.14 ^a | 0.85±0.08 ^a | 0.82±0.03 ^a | 0.74±0.03 ^a |
| | mMAP1 | 1.06±0.30 ^a | 0.92±0.07 ^a | 0.89±0.06 ^a | 0.86±0.05 ^a | 0.79±0.01 ^a |
| | mMAP2 | 1.06±0.30 ^a | 0.93±0.07 ^a | 0.92±0.05 ^a | 0.89±0.12 ^a | 0.84±0.06 ^a |
| | mMAP3 | 1.06±0.30 ^a | 0.96±0.10 ^a | 0.94±0.07 ^a | 0.91±0.12 ^a | 0.87±0.08 ^a |
| V _C (mg/100 g) | CK | 74.82±1.44 ^a | 60.66±1.44 ^c | 54.83±1.44 ^c | 49.84±1.44 ^c | 39.84±1.44 ^c |
| | mMAP1 | 74.82±1.44 ^a | 64.82±1.44 ^{bc} | 57.34±1.44 ^{bc} | 52.33±1.44 ^{bc} | 43.16±1.44 ^{bc} |
| | mMAP2 | 74.82±1.44 ^a | 67.32±1.44 ^{ab} | 59.83±1.44 ^{ab} | 55.66±1.44 ^b | 46.5±2.50 ^{ab} |
| | mMAP3 | 74.82±1.44 ^a | 70.66±1.44 ^a | 63.16±1.44 ^a | 59.83±1.44 ^a | 50.66±1.44 ^a |
| 花色苷(mg/100 g) | CK | 40.64±0.30 ^a | 48.63±0.46 ^d | 51.06±1.23 ^c | 54.19±0.18 ^d | 59.85±0.63 ^d |
| | mMAP1 | 40.64±0.30 ^a | 54.75±1.49 ^c | 55.71±1.15 ^b | 57.02±0.80 ^c | 63.8±0.63 ^c |
| | mMAP2 | 40.64±0.30 ^a | 58.14±1.76 ^b | 60.97±1.39 ^a | 63.09±0.91 ^b | 67.34±0.61 ^b |
| | mMAP3 | 40.64±0.30 ^a | 62.53±0.89 ^a | 63.39±1.21 ^a | 67.54±0.35 ^a | 70.27±0.18 ^a |

注: 不同的小写字母表示每一列相同指标的显著性差异(P<0.05)。

实的酸度。

蓝莓果实的 V_C 含量随贮藏时间的延长逐渐降低, 0~20 d 下降较快, 相较于 0 d, 20 d 时 CK 组下降了 14.16 mg/100 g, mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 各组分别下降了 10.00、7.50 和 4.16 mg/100 g。在贮藏中后期, 蓝莓果实 V_C 含量下降趋势逐渐放缓, 贮藏 80 d 时 mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 各组分别下降了 42.31%、37.85% 和 32.29%, 均低于对照组的 46.75%, 其中 mMAP3 组的下降速率较慢, 与 CK、mMAP1、mMAP2 各组差异显著(P<0.05)。

花色苷含量随着贮藏时间的延长呈先上升后平稳的趋势。在 0~20 d 时花色苷含量迅速上升, 这可能是因为蓝莓在采摘后的后熟作用, 花色苷继续大量合成, 同时有一部分蓝莓腐烂, 花色苷通过氧化作用被消耗, 这导致腐烂率较低的微环境气调处理组较对照组有更高的花色苷含量, 在 20 d 时, CK、mMAP1、mMAP2 和 mMAP3 各组的花色苷含量相较于 0 d 分别增加 7.99、14.11、17.50 和 21.86 mg/100 g。随着贮藏时间的增加, 蓝莓果实花色苷含量的上升速度逐渐平缓。贮藏 80 d, mMAP3 处理组上升了 72.91%, 达到 70.27 mg/100 g, 高于其它 3 组, 且差异显著(P<0.05), 表明微环境气调可以增加蓝莓果实中的花色苷含量。

2.3 不同微环境气调方式对蓝莓挥发性物质成分的影响

如表 3 所示, 醛类和萜类为蓝莓主要构成成分, 相对含量分别为 63.55%~84.41% 和 2.47%~17.20%。在贮藏期间蓝莓的醛类成分呈现出先降低后上升的趋势, 冰温贮藏结合微气调处理可明显抑制醛类物质的生成, 在第 80 d CK 组的醛类物质含量可高达 84.41%, 而三个微环境气调处理组的醛类物质含量

表3 不同处理蓝莓挥发性物质相对含量

Table 3 Relative content of volatile substances of blueberries in different treatments

| 挥发性物质 | 处理 | 贮藏时间(d) | | | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 醛类(%) | CK | 83.17 | 75.16 | 72.83 | 77.11 | 84.41 |
| | mMAP1 | 83.17 | 63.77 | 65.39 | 75.29 | 80.99 |
| | mMAP2 | 83.17 | 63.87 | 64.41 | 68.30 | 78.32 |
| | mMAP3 | 83.17 | 64.90 | 63.55 | 67.56 | 76.61 |
| 萜类(%) | CK | 7.58 | 5.92 | 8.32 | 4.64 | 2.47 |
| | mMAP1 | 7.58 | 12.27 | 15.87 | 6.81 | 2.17 |
| | mMAP2 | 7.58 | 5.94 | 14.59 | 9.36 | 5.20 |
| 酯类(%) | mMAP3 | 7.58 | 13.73 | 16.58 | 17.20 | 8.02 |
| | CK | 1.68 | 3.29 | 5.05 | 0.92 | 2.15 |
| | mMAP1 | 1.68 | 11.85 | 5.45 | 0.93 | 1.75 |
| 酮类(%) | mMAP2 | 1.68 | 12.19 | 9.29 | 0.06 | 2.39 |
| | mMAP3 | 1.68 | 3.15 | 4.05 | 0.37 | 2.51 |
| | CK | 1.58 | 3.62 | 4.73 | 5.13 | 4.83 |
| 醇类(%) | mMAP1 | 1.58 | 3.50 | 4.57 | 4.60 | 4.19 |
| | mMAP2 | 1.58 | 3.08 | 4.45 | 4.73 | 4.00 |
| | mMAP3 | 1.58 | 3.44 | 3.93 | 4.58 | 3.72 |
| 其它(%) | CK | 1.55 | 3.33 | 2.72 | 1.33 | 1.63 |
| | mMAP1 | 1.55 | 0.05 | 1.89 | 0.33 | 1.67 |
| | mMAP2 | 1.55 | 0.49 | 0.11 | 0.30 | 2.06 |
| 其它(%) | mMAP3 | 1.55 | 4.81 | 2.19 | 1.48 | 2.60 |
| | CK | 0.37 | 3.65 | 3.52 | 7.13 | 0.69 |
| | mMAP1 | 0.37 | 4.63 | 3.54 | 7.04 | 1.31 |
| 其它(%) | mMAP2 | 0.37 | 9.21 | 3.93 | 14.62 | 0.73 |
| | mMAP3 | 0.37 | 7.54 | 6.87 | 5.99 | 1.53 |

分别为 80.99%、78.32% 和 76.61%。萜类物质相对含量在贮藏期间大体呈现先上升后下降的趋势, CK 组、mMAP1 处理组和 mMAP2 处理组均在贮藏 40 d 时达到最高值, 分别为 8.32%、15.87% 和 14.59%, mMAP3 处理组相较于其他三组萜类物质含量最高, 在 60 d 时含量最高, 达到 17.20%。除此之外, 在贮藏后期, 从数据可以看出微环境气调处理组均可明显

促进蓝莓的酯类物质和醇类物质的生成,同时能够抑制酮类物质的生成,其中酯类物质相对含量在 mMAP2 处理组贮藏 60 d 时达到最低值 0.06%,贮藏 80 d 时 mMAP1 处理组的酯类物质相对含量最低,为 1.75%;醇类物质相对含量在贮藏过程中的变化不大,CK 组、mMAP1 处理组和 mMAP2 处理组之间的差距不大,mMAP3 处理组较其他三组相对含量较大,在 80 d 时达到了 2.60%;贮藏 80 d 时,CK 组、mMAP1 处理组、mMAP2 处理组和 mMAP3 处理组的酮类物质相对含量分别为 4.83%、4.19%、4.00% 和 3.72%。

2.4 对蓝莓品质及挥发性成分变化进行多元统计分析

利用主成分分析(PCA)对实验所测指标进行深入研究能够使品质指标评价变得更为恰当而全面^[28-29]。图 5A 显示了四种处理方式的得分图,得到主成分总贡献率为 73.3%,从图 5A 可以看出 mMAP 处理组和 CK 组有明显的区分,CK 组主要分布在十字交叉线的左下部分,而 mMAP1、mMAP2、mMAP3 组没有明显的区分。图 5B 为蓝莓品质指标的载荷图,与图 5A 的得分图结合来看,处在十字交叉线的相同位置,表明这个处理与蓝莓品质指标相关性越强,反之则越低,从图中可以看出 mMAP3 组与 V_C、可滴定酸、可溶性固形物、萜类物质、酯类物质和硬度相关性较高。

与 PCA 相比,HCA 能够使人对实验的结果得到更加直观的感受^[30-31](图 5C)。经 HCA 分析后,对照组与 mMAP 处理组之间形成了 2 个明显分组,同时 mMAP3 组与 mMAP1 组、mMAP2 组之间也有 2 个明显分组,结合以上品质和挥发性成分的分

析来看,mMAP3 组处理要优于 mMAP1、mMAP2 两组,处理组优于 CK 组。

通过 OPLS-DA 分析(图 5D),可将 4 组处理的差异指标确定为 V_C 与萜类挥发性物质。V_C 成为特征指标的主要原因可能是,经过 mMAP3 处理能够有效抑制 V_C 含量的损失,延缓了蓝莓果实的 V_C 氧化过程,从而能够延缓 V_C 含量的降低,有效保持蓝莓果实的营养成分,进而说明 mMAP3 处理具有更佳的维持果实品质的作用。萜类挥发性物质成为特征指标的主要原因可能是而由于 mMAP3 处理组能够有效地促进萜类挥发性物质的生成,故萜类挥发性物质也成为了 mMAP3 处理与其他处理间的特征差异指标。

3 讨论

影响蓝莓在贮藏过程中品质下降的关键因素除机械损伤以外,环境贮藏条件也十分重要,目前大多数保鲜方法是在低温贮藏的基础上进行的改进与发展。Alsmairat 等^[32]利用不同比例浓度的 O₂ 和 CO₂ 对 9 个品种的蓝莓进行了 8 周的低温(0 ℃)贮藏实验,结果表明随着 CO₂ 浓度的增加,蓝莓果实的品质得到了显著提升。Giuggioli 等^[33]研究发现淀粉薄膜配合自发气调包装(MAP)共同使用有助于控制蓝莓果实收获后理化性质的变化,而且还可以提升食品包装行业的环境可持续性。

本研究表明,微环境气体调控处理能够使‘莱克西’蓝莓果实贮藏期间的品质特性和挥发性成分发生改变。从感官效果上来看,微环境气调处理组的蓝莓果实均要优于对照组,且 mMAP3 的腐烂率为四组

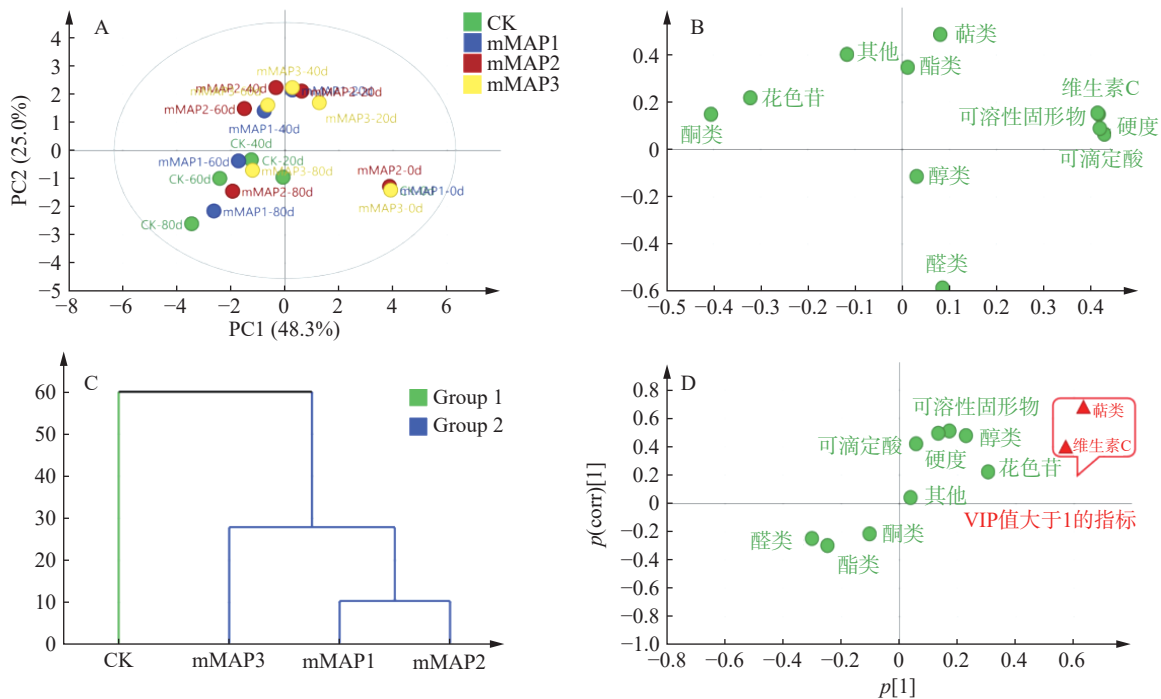


图 5 不同处理方式的蓝莓品质变化 PCA 得分图(A)、载荷图(B)、聚类分析 HCA 树状图(C)和 OPLS-DA 分析 S-Plot 图(D)
Fig.5 Quality changes of blueberries with different processing methods. PCA score graph (A), loading graph (B), cluster analysis HCA dendrogram (C) and OPLS-DA analysis S-Plot graph (D)

中最低,果霜覆盖指数最高,感官效果维持状态最佳,说明微环境气调处理能够创造不利于果实霉变微生物繁殖的外部条件,达到抑制霉变果发生的效果,提高果实感官品质。在维持果实营养品质和生理品质方面,微环境气调处理在蓝莓整个贮藏过程中,能有效控制果实自身的营养品质和生理品质的变化程度。稳定的微环境气调贮藏条件能有效地使可溶性固形物含量、可滴定酸含量、 V_C 含量、花色苷含量和硬度较CK组有所上升,在最大限度维持果实生命活力的基础上,降低果实自身的生理活动,减少自身损耗,从而达到维持自身营养品质和延长贮藏期的目的。杜方等^[34]用低温方法贮藏蓝莓,发现冷藏过程可延缓 V_C 、可滴定酸含量的下降,花色苷的含量在贮藏30 d内可延缓其下降,但是从45 d后花色苷含量下降,到60 d时下降幅度增大,而本研究中花色苷含量变化较为稳定,这表明微环境气体调控结合低温贮藏相比单独使用低温贮藏能够对花色苷含量起到更好的维持作用。Yan等^[35]对“园篮”蓝莓进行0~60 d的0℃低温贮藏实验及0~8 d的25℃常温货架实验,结果表明随着时间的增加,冷藏可以有效地维持蓝莓的硬度、酸度以及可溶性固形物含量,对蓝莓挥发性成分方面的影响表现为乙酸乙酯含量波动较大,萜类化合物含量迅速下降。本文研究蓝莓果实挥发性成分变化发现,醛类物质和萜类物质为蓝莓贮藏期内产生的主要挥发性成分。在贮藏期间蓝莓的醛类物质含量呈现出先降低后上升的趋势,萜类物质则呈现与醛类物质相反的趋势,微环境气调对醛类物质和酮类物质有抑制生成的作用,对萜类物质、醇类物质和酯类物质有促进生成的作用。

4 结论

利用冰温技术结合微气调环境贮藏能够延缓蓝莓果实在贮藏期的品质下降,箱内 O_2 含量维持在6.1%~13.4%, CO_2 含量维持在8.8%~14.8%的mMAP3处理组对蓝莓品质维持效果最佳,且能够起到抑制醛类物质生成以及促进萜类物质生成的效果,能够延长蓝莓贮藏期至80 d,说明较高含量的 CO_2 气体环境对蓝莓贮藏具有积极作用。

参考文献

- [1] Howard L R, Prior R L, Liyanage R, et al. Processing and storage effect on berry polyphenols: Challenges and implications for bioactive properties[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(27): 6678–6693.
- [2] Dong X Y, Yang Y L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(8): 1409–1421.
- [3] 李斌,谢旭,孙希云,等.国内外蓝莓加工技术与功能性成分研究进展[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(5): 16–22. [Li B, Xie X, Sun X Y, et al. Research progress on blueberry processing technology and functional components in domestic and abroad[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(5): 16–22.]
- [4] Kazim G, Sedat S, James F H. Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015(38): 69–79.
- [5] 李丽敏,赵春雷,郝庆升.中外蓝莓产业比较研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(23): 354–359. [Li L M, Zhao C L, Hao Q S. Comparative study on the blueberry industry of China and foreign countries[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(23): 354–359.]
- [6] Sharif I, Adewale P, Dalli S, et al. Microwave pretreatment and optimization of osmotic dehydration of wild blueberries using response surface methodology[J]. *Food Chemistry*, 2018, 269: 300–310.
- [7] 韩鹏祥,张蓓,冯叙桥,等.蓝莓的营养保健功能及其开发利用[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(6): 370–375, 379. [Han P X, Zhang B, Feng X Q, et al. Nutritional and health functions of blueberry and its development and utilization[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(6): 370–375, 379.]
- [8] Nadulski R, Masłowski A, Mazurek A, et al. Vitamin C and lutein content of northern highbush blueberry(*Vaccinium corymbosum* L.) juice processed using freezing and thawing[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(4): 2521–2528.
- [9] Grant A, Fisher R, Miller G, et al. The effects of blueberry and strawberry serum metabolites on age-related oxidative and inflammatory signaling *in vitro*[J]. *Food and Function*, 2019(12): 7707–7713.
- [10] 李红侠,方雪梅,徐礼生,等.蓝莓冻果花色素苷的提取及抗癌活性的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2017(2): 87–92. [Li H X, Fang X M, Xu L S, et al. Study on extraction and anticancer activities of anthocyanins from frozen blueberry[J]. *China Food Additives*, 2017(2): 87–92.]
- [11] Sezer E D, Oktay L M, Karadaş E, et al. Assessing anticancer potential of blueberry flavonoids, quercetin, kaempferol, and gentisic acid, through oxidative stress and apoptosis parameters on HCT-116 cells[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2019, 22(11): 1118–1126.
- [12] Neto C C. Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2007, 51(6): 652–664.
- [13] Sónia N, Sara S, Manuela M, et al. Blueberry anthocyanins in health promotion: A metabolic overview[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(4): 1518–1528.
- [14] 李殿鑫,戴远威,陈伟,等.蓝莓的营养价值及保健功能研究进展[J]. *农产品加工*, 2018(4): 69–70, 74. [Li D X, Dai Y W, Chen W, et al. Research progress on nutritional value and health function of blueberry[J]. *Farm Products Processing*, 2018(4): 69–70, 74.]
- [15] 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. [Wang W H, Li Y Z, Wu X H, et al. Influence of modified atmosphere packaging microenvironment on cherry quality[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2018, 9(1): 101–108.]

- [16] 张鹏,刘虹丽,李江阔,等.微环境箱式气调对物流后蓝莓冷藏期间保鲜效果的影响[J].食品科技,2017,42(7):32-37. [Zhang P, Liu H L, Li J K, et al. The influence of micro-environment box-type air conditioning on the preservation effect of blueberries during cold storage after logistics[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(7): 32-37.]
- [17] 孙志惠,付华,张青.气调包装对果蔬保鲜效果的影响[J].农产品加工(下),2018(3):20-22. [Sun Z H, Fu H, Zhang Q. Influence of Modified atmosphere packaging on fruits and vegetables preservation[J]. Agricultural Products Processing (Part 2), 2018(3): 20-22.]
- [18] 刘颖,邹志敏,李云飞,等.果蔬气调贮藏国内外研究进展[J].食品与发酵工业,2006(4):94-97. [Liu Y, Wu Z M, Li Y F, et al. The study developments of controlled and modified atmosphere storage for fruits and vegetables in China and abroad[J]. Food and Fermentation Industries, 2006(4): 94-97.]
- [19] 李天元,张鹏,李江阔,等.贮藏微环境气体调控对蓝莓冷藏期果实品质及挥发性物质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):226-234. [Li T Y, Zhang P, Li J K, et al. Effect of storage microenvironment gas regulation on blueberry quality and volatile substances during cold storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(8): 226-234.]
- [20] 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 P, Li J K, Zhang P, et al. Study on plastic box modified atmosphere storage of blueberry[J]. Storage and Process, 2010, 10(3): 9-11.]
- [21] 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. [Yan T C, Liu Z T, Li J K, et al. Effect of box-type modified atmosphere packaging combined with 1-MCP on quality and flavor compounds of *Actinidia arguta* during cold storage[J]. Food Science, 2016, 37(20): 253-260.]
- [22] 李文生,冯晓元,王宝刚,等.应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J].食品科学,2009,30(4):247-249. [Li W S, Feng X Y, Wang B G, et al. Study on determination of titratable acidity in fruits using automatic potentiometric titrator[J]. Food Science, 2009, 30(4): 247-249.]
- [23] 李玉红.钼蓝比色法测定水果中还原型维生素 C[J].天津化工,2002(1):31-32. [Li Y H. Determination of reduced vitamin C in fruits by molybdenum blue colorimetry[J]. Tianjin Chemical Industry, 2002(1): 31-32.]
- [24] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化试验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:44-46. [Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. Guide of post-harvest physiology and biochemistry test of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 44-46.]
- [25] 薛友林,董立超,张鹏,等.电子鼻结合 GC-MS 分析不同处理蓝莓货架期间果实的挥发性成分[J].食品工业科技,2020,41(19):297-303, 320. [Xue Y L, Dong L C, Zhang P, et al. Analysis of the volatile components of blueberry fruits with different treatments during shelf life by GC-MS combined with electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 297-303, 320.]
- [26] 孙文丽,郜海燕,韩延超,等.EPE 减振包装对蓝莓贮藏品质的影响[J].中国食品学报,2020,20(10):232-239. [Sun W L, Gao H Y, Han Y C, et al. Effects of EPE vibration-damping packaging on the storage quality of blueberry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(10): 232-239.]
- [27] 李洋,张茜,陈业莉,等.贮运过程中振动损伤对蓝莓品质的影响[J].林业科学,2020,56(9):40-50. [Li Y, Zhang Q, Chen Y L, et al. Effect of vibration damage on blueberry quality during storage and transportation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(9): 40-50.]
- [28] 刘丙花,王开芳,王小芳,等.基于主成分分析的蓝莓果实质地品质评价[J].核农学报,2019,33(5):927-935. [Liu B H, Wang K F, Wang X F, et al. Evaluation of fruit texture quality of blueberry based on principal component analysis[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(5): 927-935.]
- [29] 刘虹丽,张鹏,李春媛,等.贮运微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J].保鲜与加工,2017,17(2):38-46. [Liu H L, Zhang P, Li C Y, et al. Effects of storage and transportation microenvironment on the shelf quality and aroma components of blueberry[J]. Storage and Process, 2017, 17(2): 38-46.]
- [30] 辛明,李昌宝,孙健,等.基于主成分和聚类分析的冬瓜酒品质评价[J].热带作物学报,2019,40(8):1638-1644. [Xin M, Li C B, Sun J, et al. Evaluation of wax gourd wine based on principal components[J]. Chinese Journal of Tropical Crops and Cluster Analysis, 2019, 40(8): 1638-1644.]
- [31] 王馨雨,王蓉蓉,王婷,等.不同品种百合内外鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].食品科学,2020,41(12):211-220. [Wang X Y, Wang R R, Wang T, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars[J]. Food Science, 2020, 41(12): 211-220.]
- [32] Alsmairat N, Contreras C, Hancock J, et al. Use of combinations of commercially relevant O₂ and CO₂ partial pressures to evaluate the sensitivity of nine highbush blueberry fruit cultivars to controlled atmospheres[J]. Hort Science, 2011, 46: 74-79.
- [33] Giuggioli R, Girgenti V, Peano C. Qualitative performance and consumer acceptability of starch films for the blueberry modified atmosphere packaging storage[J]. Food Technology, 2017, 67(2): 129-136.
- [34] 杜方,孙雪皎,周倩.冷藏蓝莓果实主要营养成分变化的研究[J].辽宁农业职业技术学院学报,2019,21(4):12-15. [Du F, Sun X J, Zhou Q. Changes of main nutritional components in frozen blueberry fruits[J]. Journal of Liaoning Agricultural Technical College, 2019, 21(4): 12-15.]
- [35] Yan X X, Yan J, Pan S Y, et al. Changes of the aroma composition and other quality traits of blueberry 'garden blue' during the cold storage and subsequent shelf life[J]. Foods(Basel, Switzerland), 2020, 9(9): 1-12.