

## 微环境波动对冰温气调贮藏蓝莓品质的影响

李洋, 唐蓉蓉, 李庆鹏, 冯鑫  
(东北林业大学 哈尔滨 150040)

**摘要** 为探究冰温气调状态下微环境波动(即温度波动、气体环境波动、温度气调双波动)后蓝莓品质的变化规律,以“蓝丰”蓝莓为试材,预冷处理后分别放入不同的冰温(-2℃和-1℃)气调(CO<sub>2</sub>:10%~14%;O<sub>2</sub>:6%~9%)环境贮藏7d,分析蓝莓果实的最佳贮藏环境状态。在此基础上,设计3组微环境波动试验,即温度波动、气调波动、温度和气调双波动,分别波动1~6d,每次波动结束后采取相应措施进行贮藏,测定1~7d各试验组蓝莓果实的硬度、内聚性、可滴定酸含量、花青素含量、丙二醛含量。结果表明,试验组的保鲜效果更好。微环境波动试验中,蓝莓的最佳贮藏时间1d。“蓝丰”蓝莓果实的最佳冰温气调环境为-1℃(CO<sub>2</sub>:10%~12%;O<sub>2</sub>:6%~9%),蓝莓果实品质与波动时长呈负相关,采用降温/降氧/双降手段虽有一定效果,但不能使蓝莓果实品质恢复至冰温气调组的最佳状态。

**关键词** 冰温气调; 微环境波动; 响应面分析; 蓝莓贮藏

**文章编号** 1009-7848(2024)01-0220-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.023

蓝莓,别名笃斯、越橘,杜鹃花科(*Ericaceae*)越橘属(*Vaccinium*)植物,因含有丰富的营养成分及生物活性物质,如维生素、氨基酸、花青素、多酚及黄酮等<sup>[1-2]</sup>,且可预防肥胖、糖尿病、心脑血管疾病、帕金森病等慢性病<sup>[3-6]</sup>而被广泛关注。蓝莓果实水分含量高,表皮较软,在采摘、运输各环节都极易产生表面缺陷<sup>[7-9]</sup>,如擦伤、机械损伤、褶皱等,其在贮藏期间极易受微生物侵染,如镰刀菌(*Fusarium*)、青霉菌(*Penicillium*)、链格孢菌(*Alternaria*)、灰霉菌(*Botrytis cinerea*)等<sup>[10-14]</sup>,发生腐烂变质<sup>[15-16]</sup>而不利于销售与食用<sup>[17]</sup>。

随着对蓝莓保鲜技术的不断探索,低温贮藏技术<sup>[18-20]</sup>也不断发展,涂膜、外源水杨酸预处理、1-MCP熏制加臭氧等结合温度控制<sup>[21-24]</sup>的方式层出不穷,其中冰温贮藏技术、气调保鲜技术<sup>[25-28]</sup>在果蔬保鲜领域得到广泛应用。而单一的冰温及气调对于蓝莓保鲜已不能满足人们的需求,于是正在兴起的微环境气调结合冰温<sup>[29-30]</sup>的贮藏方式逐渐受到关注。

本文将冰温气调与环境波动相结合,研究“蓝丰”蓝莓最佳的冰温气调环境,并设置3组微环境

波动试验进行横向对比,分析波动时间对蓝莓硬度、内聚性、可滴定酸含量、花青素含量和丙二醛含量的影响。通过响应面建立模型,分析波动时间、贮藏温度、贮藏气体环境对蓝莓品质的影响,并分别采取单降温、单降氧以及降温结合降氧的方式,探究使蓝莓品质达到最佳状态的有效措施,以期延长采后蓝莓的贮藏期,完善冷链体系。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料及设备

**试验材料:**蓝莓果实均购于哈尔滨市红旗乡,品种为“蓝丰”,选取果粒饱满,表面无病虫害及裂纹,无机械损伤,表皮光滑且规格相近的蓝莓果实,单果质量为3.0~4.0g,直径约为1.5~2cm。清洗处理后,以PET试验盒作为保存容器,并用厚度为0.2mm的聚乙烯薄膜覆于表面,对薄膜做打孔处理,将蓝莓果实置于冰箱内,0℃预冷贮藏备用。

**试验试剂:**氢氧化钠颗粒、酚酞溶液、无水乙醇、1%盐酸、碘化钾、可溶性淀粉、碘酸钾、甲醇、冰醋酸、无水醋酸钠、聚乙二醇、聚乙烯吡咯烷酮、30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液、愈创木酚溶液、邻苯二酚、三氯乙酸、硫代巴比妥酸均为分析纯级,天津光富精细化工研究所。

**仪器及设备:**BCD215SEEB多温度冰箱,青岛海尔电器有限公司;TGL-20B离心机,上海安亭科学仪器厂;FA2004B电子分析天平,上海舜宇恒平

收稿日期: 2023-01-22

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(LH2021C016)

第一作者: 李洋,女,博士,副教授

E-mail: 378918917@qq.com

科学仪器有限公司;L6/L6S 紫外可见分光光度计、Master RI 手持式折光仪,上海仪电分析仪器有限公司;DPP800W 探针式温度传感器,深圳益欧科技有限公司;CT3-10K 质构仪,Bookfield 公司;MAP-WD500 复合气调保鲜包装机,山东卡维尼特设备有限公司等。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 冰温气调贮藏试验** 为探究冰温气调对果实品质的影响,根据蓝莓果实及果浆的降温曲线确定“蓝丰”蓝莓果实冰点,后将预冷处理过的蓝莓果实分为3组:试验组、对照组1及对照组2。将待用蓝莓果实分装至14 cm×20 cm的气调包装袋中,每袋封装10颗并用记号笔标明组别;将其置于气调保鲜机中,并充入一定比例气体,用热塑机封口后,转移至试验冰箱内贮藏;其中每个试验组依次按照1~7 d的顺序分别设置7个试验小组,每个试验小组分别设置3组平行实试验;之后测定蓝莓果实的相关指标结果取平均值。

试验组: -1℃(CO<sub>2</sub>:10%~12%,O<sub>2</sub>:6%~9%);  
对照组1: -1℃(CO<sub>2</sub>:12%~14%,O<sub>2</sub>:6%~9%);  
对照组2: -2℃(CO<sub>2</sub>:10%~12%,O<sub>2</sub>:6%~9%);各试验组相对湿度均维持在(85%~90%),整体试验周期为7 d。

**1.2.2 微环境波动贮藏试验** 为探究微环境波动对蓝莓果实的影响,模拟在贮运过程中可能发生的温度波动、气调波动、温度及气调双波动现象设计试验,分为3个试验组,并测定各组在不同状态与时间下品质指标变化情况。

第1组:模拟蓝莓果实贮运过程中发生的温度波动现象,将预冷后的蓝莓果实置于4℃(CO<sub>2</sub>:10%~12%,O<sub>2</sub>:6%~9%)的状态下,经过1,2,3,4,5,6 d后,分别置于-1℃(CO<sub>2</sub>:12%~14%,O<sub>2</sub>:6%~9%)冰温气调状态下贮藏,各组蓝莓果实20颗,试验周期为7 d。

第2组:模拟蓝莓果实贮运过程中发生的气调波动现象,将预冷后的蓝莓果实置于-1℃无气调的状态下,经过1,2,3,4,5,6 d后,分别置于-2℃(CO<sub>2</sub>:10%~12%,O<sub>2</sub>:6%~9%)近冰温气调状态下进行贮藏,各组蓝莓果实20颗,试验周期为7 d。

第3组:模拟蓝莓果实贮运过程中发生的温度及气调双波动现象,将预冷后的蓝莓果实置于4℃无气调的状态下,经过1,2,3,4,5,6 d后,分别置于-2℃(CO<sub>2</sub>:12%~14%,O<sub>2</sub>:6%~9%)近冰温气调状态下贮藏,各组蓝莓果实20颗,试验周期为7 d。

## 1.3 蓝莓品质指标测定方法

根据课题组前期研究表明,蓝莓果实品质的相关系数(即硬度、脆性、内聚性、咀嚼性、可滴定酸及抗坏血酸含量)与质量损失率呈显著负相关;花青素含量、丙二醛含量、PPO活性及POD活性与质量损失率呈显著正相关;通过相关性分析和回归分析得出,影响最大的5个指标分别是硬度、内聚性、可滴定酸含量、花青素含量、丙二醇含量<sup>[1]</sup>,因此将以这5个指标为判断标准。设置每组3个平行,单个平行处理选取10颗果实,结果取平均值。蓝莓硬度和内聚性采用质构仪进行测定,选用直径为2 mm的探头,触发力为4 g,进给量3 mm,进给速度0.5 mm/s,上升速度1 mm/s。可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定。花青素含量用紫外分光光度计法测定。丙二醛含量采用硫代巴比妥酸-紫外分光光度法测定。

## 1.4 数据统计与分析

采用Excel 2019软件进行数据统计,采用SPSS 19软件进行数据回归处理与模型构建,计算结果为“平均值±标准误差”,采用Origin 2019软件进行图像绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 冰温气调对蓝莓果实主要生理指标的影响

蓝莓果实在试验期间的指标变化如图1~5所示。其中,蓝莓果实硬度变化如图1所示,试验组与对照组1、2的蓝莓果实硬度在1~7 d均平缓下降,结果表明,冰温气调贮藏对蓝莓果实硬度的保持优于单一冰温及近冰温贮藏。蓝莓果实内聚性的变化如图2所示,结果显示在蓝莓果实内聚性的保持上试验组优于对照组1与对照组2。蓝莓果实可滴定酸的含量变化如图3所示,试验组、对照组1、2的蓝莓果实可滴定酸含量均呈整体下降趋势,且在第7天降至最小值,试验组在蓝莓果实

贮藏期内的可滴定酸变化幅度最小,优于其余试验组。蓝莓果实花青素含量的变化如图4所示,试验组、对照组1、2的蓝莓果实花青素含量在试验期内均呈持续上升趋势,且冰温气调贮藏更有利于蓝莓果实花青素的生成。蓝莓果实丙二醛含量的变化如图5所示,试验组、对照组1、2的蓝莓果实丙二醛含量在试验期内均持续上升,且均在第7天上升至最大值,且相对于单纯的控温试验组,冰温气调组可以更加有效的抑制丙二醛的生成,减缓蓝莓果实的氧化速率,保证其新鲜度。

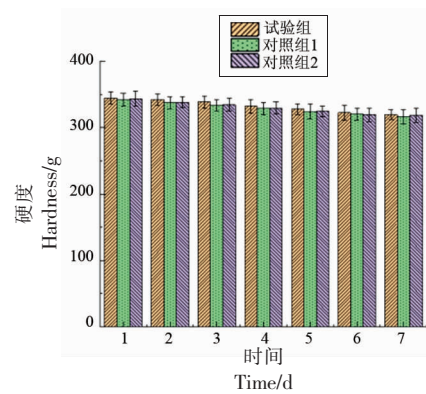


图1 蓝莓硬度的变化

Fig.1 Changes in the hardness of blueberry

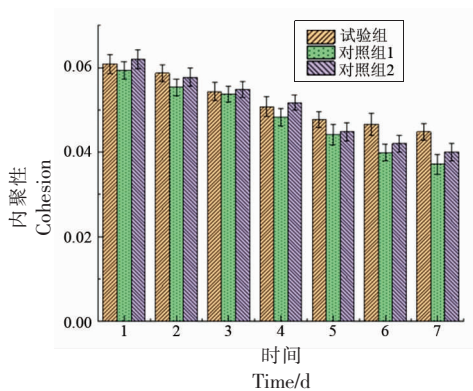


图2 蓝莓内聚性的变化

Fig.2 Changes in the cohesion of blueberry

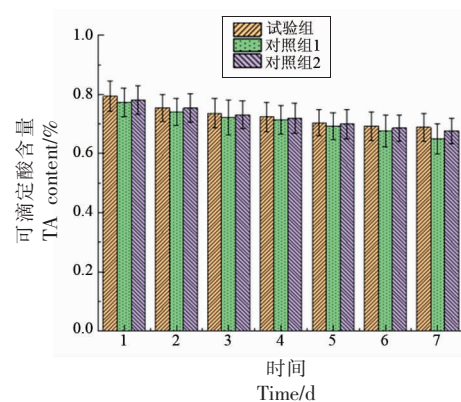


图3 蓝莓可滴定酸含量的变化

Fig.3 Changes in the TA content of blueberry

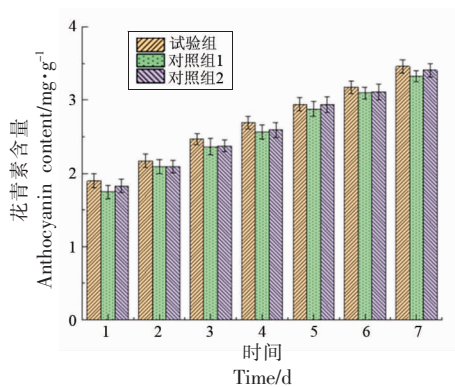


图4 蓝莓花青素含量的变化

Fig.4 Changes in the anthocyanin content of blueberry

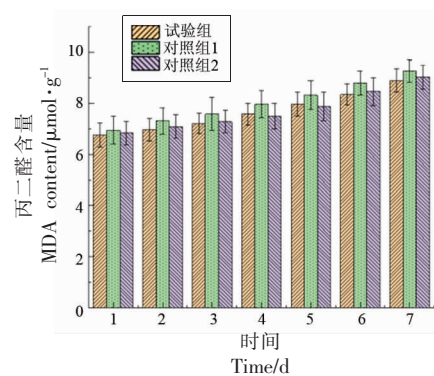


图5 蓝莓丙二醛含量的变化

Fig.5 Changes in the MDA content of blueberry

## 2.2 微环境波动对蓝莓果实主要生理指标的影响

### 2.2.1 温度波动

蓝莓果实在试验期间各组的指标变化如图6~10所示。其中,蓝莓果实硬度的变化如图6所示,发现温度波动时间与果实硬度呈负相关;蓝莓果实内聚性的变化如图7所示,发现温度波动贮藏时间与蓝莓果实内聚性呈负相关;

蓝莓果实可滴定酸含量的变化如图8所示,发现温度波动贮藏时间与蓝莓果实可滴定酸含量呈负相关;蓝莓果实花青素含量的变化如图9所示,发现温度波动贮藏时间与蓝莓果实花青素含量的增加呈负相关;蓝莓果实丙二醛含量的变化如图10所示,发现温度波动贮藏时间与蓝莓果实丙二醛

含量的增加呈负相关。结果表明,温度波动时间越短,越早发现温度波动并采取措施,越有利于对蓝莓果实品质的保持。

2.2.2 气调波动 蓝莓果实在试验期间各组的指

标变化如图 11~15 所示。其中,蓝莓果实硬度的变化如图 11 所示,发现气调波动贮藏时间与果实硬度呈负相关;蓝莓果实内聚性的变化如图 12 所示,发现气调波动贮藏时间与蓝莓果实内聚性呈

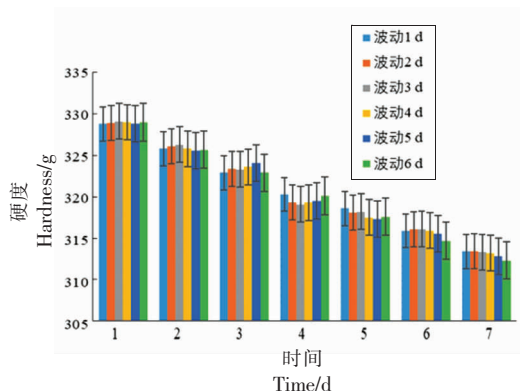


图 6 不同贮藏时间下温度波动对蓝莓硬度的影响  
Fig.6 Effect of temperature fluctuation on hardness of blueberry under different storage time

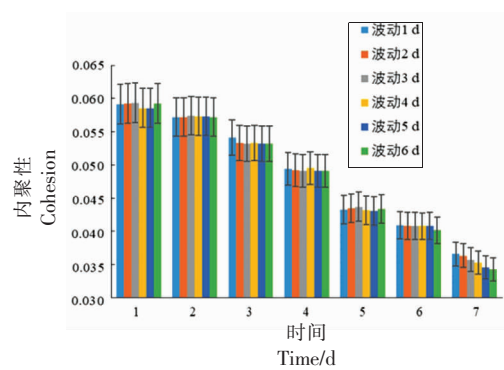


图 7 不同贮藏时间下温度波动对蓝莓内聚性的影响  
Fig.7 Effect of temperature fluctuation on cohesion of blueberry under different storage time

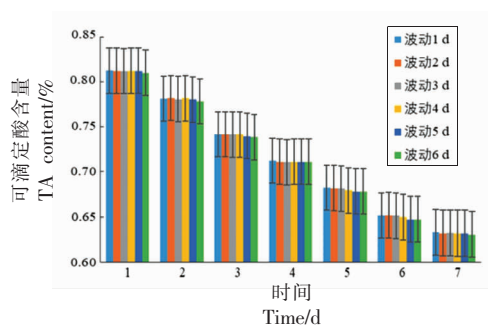


图 8 不同贮藏时间下温度波动对蓝莓可滴定酸含量的影响

Fig.8 Effect of temperature fluctuation on TA content in blueberry under different storage time

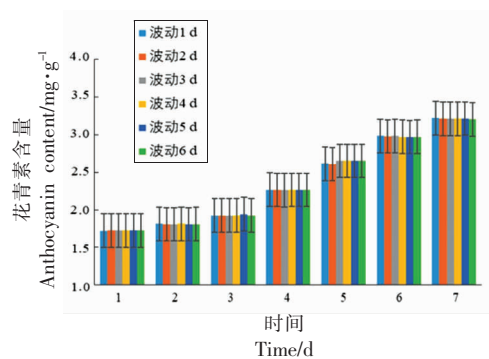


图 9 不同贮藏时间下温度波动对蓝莓花青素含量的影响

Fig.9 Effect of temperature fluctuation on anthocyanin content in blueberry under different storage time

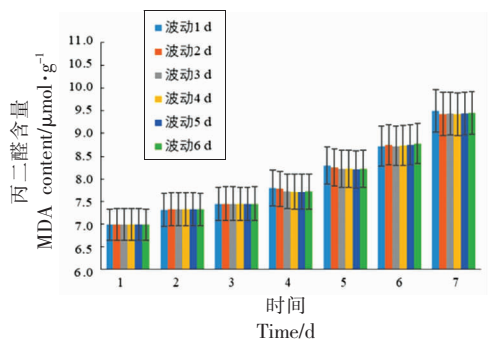


图 10 不同贮藏时间下温度波动对蓝莓丙二醛含量的影响

Fig.10 Effect of temperature fluctuation on MDA content in blueberry under different storage time

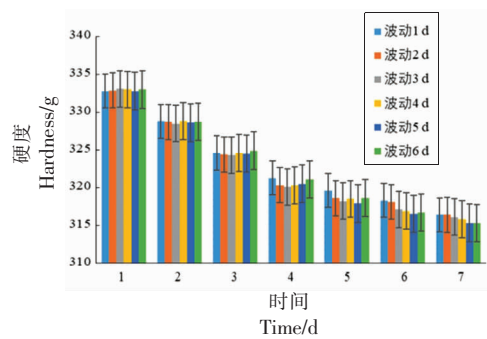


图 11 不同贮藏时间下气调波动对蓝莓硬度的影响

Fig.11 Effect of gas regulation fluctuation on hardness of blueberry under different storage time

负相关;蓝莓果实可滴定酸含量的变化如图 13 所示,发现气调波动贮藏时间与蓝莓果实可滴定酸含量呈负相关;蓝莓果实花青素含量的变化如图 14 所示,发现气调波动贮藏时间与蓝莓果实花青素含量的增加呈负相关;蓝莓果实丙二醛含量的变化如图 15 所示,发现气调波动贮藏时间与蓝莓

果实丙二醛含量的增加呈负相关。结果表明,气调波动时间越短,越早发现气调波动并采取措施,越有利于对蓝莓果实品质的保持,且采取降氧的方式虽可减少气调波动带来的影响,但均达不到冰温气调下的最佳状态。

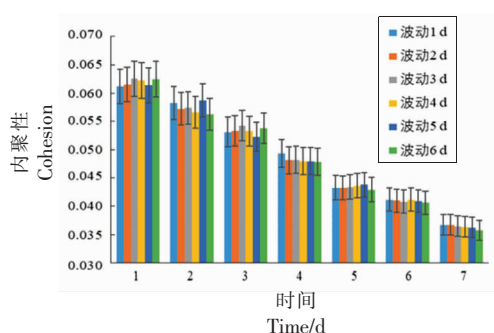


图 12 不同贮藏时间下气调波动对蓝莓内聚性的影响  
Fig.12 Effect of gas regulation fluctuation on cohesion of blueberry under different storage time

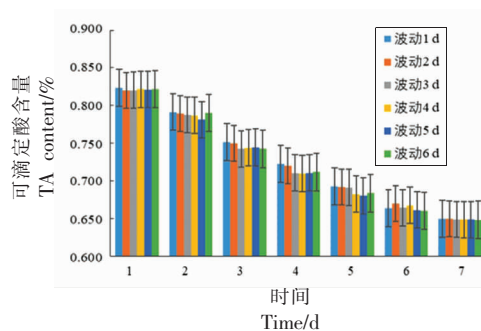


图 13 不同贮藏时间下气调波动对蓝莓可滴定酸含量的影响

Fig.13 Effect of gas regulation fluctuation on TA content in blueberry under different storage time

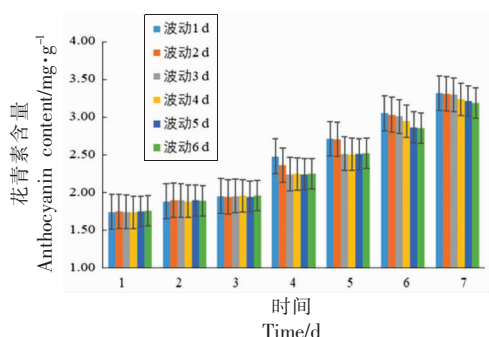


图 14 不同贮藏时间下气调波动对蓝莓花青素含量的影响

Fig.14 Effect of gas regulation fluctuation on anthocyanin content in blueberry under different storage time

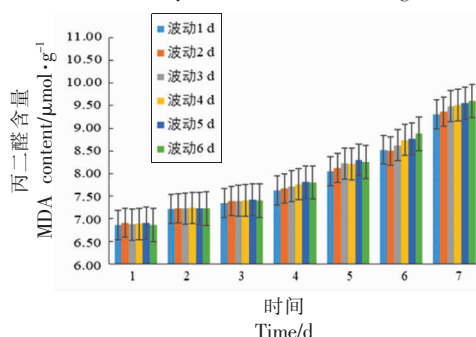


图 15 不同贮藏时间下气调波动对蓝莓丙二醛含量的影响

Fig.15 Effect of gas regulation fluctuation on MDA content in blueberry under different storage time

2.2.3 温度及气调波动 蓝莓果实在试验期间各组的指标变化如图 16~20 所示。其中,蓝莓果实硬度的变化如图 16 所示,发现温度及气调波动的贮藏时间与果实硬度呈负相关;蓝莓果实内聚性的变化如图 17 所示,温度及气调波动的贮藏时间与蓝莓果实内聚性呈负相关;蓝莓果实可滴定酸含量的变化如图 18 所示,发现温度及气调波动的贮藏时间与蓝莓果实可滴定酸含量呈负相关;蓝莓果实花青素含量的变化如图 19 所示,发现温度及气调波动的贮藏时间与蓝莓果实花青素含量的增加呈负相关;蓝莓果实丙二醛含量的变化如图 20

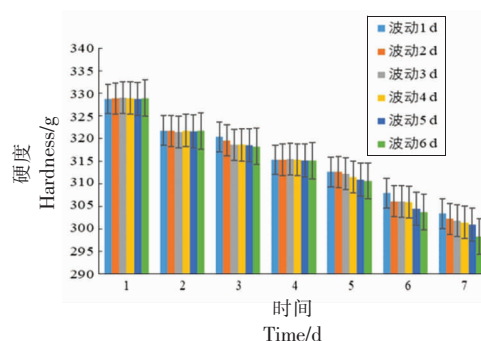


图 16 不同贮藏时间下温度和气调波动对蓝莓硬度的影响

Fig.16 Effect of temperature and gas regulation fluctuation on hardness of blueberry under different storage time

所示,发现温度及气调波动的贮藏时间与蓝莓果实丙二醇含量的增加呈负相关。结果表明,温度及气调波动时间越短,越早发现温度波动并采取措

施,越有利于对蓝莓果实品质的保持,且采取降氧的方式虽可减少温度及气调波动带来的影响,但均达不到冰温气调下的最佳状态。

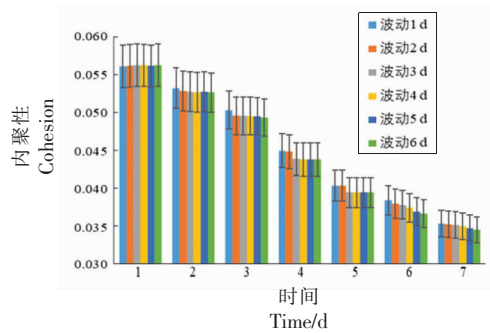


图 17 不同贮藏时间下温度和气调波动对蓝莓内聚性的影响

Fig.17 Effects of temperature and gas regulation fluctuation on cohesion of blueberry under different storage time

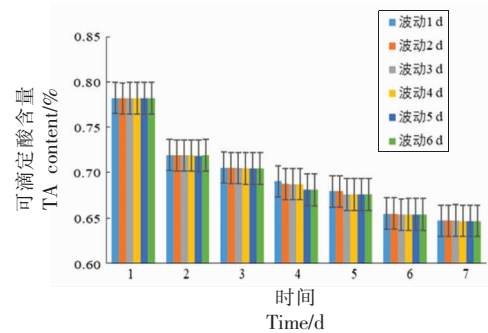


图 18 不同贮藏时间下温度和气调波动对蓝莓可滴定酸含量的影响

Fig.18 Effect of temperature and gas regulation fluctuation on TA content in blueberry under different storage time

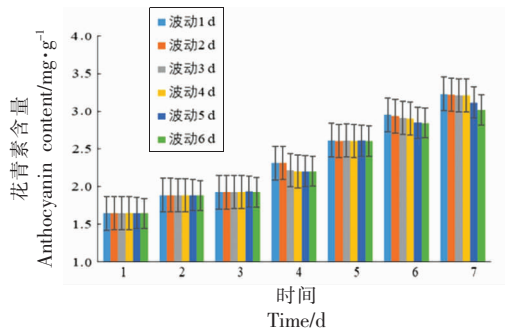


图 19 不同贮藏时间下温度和气调波动对蓝莓花青素含量的影响

Fig.19 Effects of temperature and gas regulation fluctuation on anthocyanin content in blueberry under different storage time

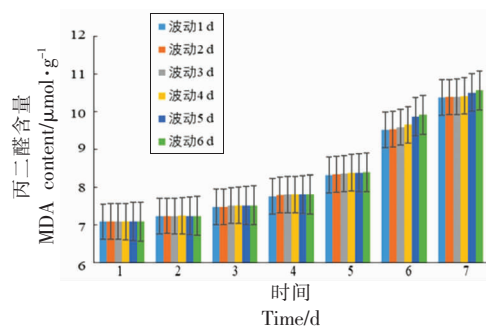


图 20 不同贮藏时间下温度和气调波动对蓝莓丙二醛含量的影响

Fig.20 Effect of temperature and gas regulation fluctuation on MDA content in blueberry under different storage time

### 2.3 微环境波动对蓝莓果实主要生理指标的响应面分析

以贮藏时间、贮藏温度及贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)作为自变量,蓝莓果实显著相关品质(硬度、内聚性、可滴定酸含量、花青素含量、丙二醛含量)作为因变量(见表 1),结合前期试验数据,研究贮藏时间、贮藏温度及贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)三者动态变化对蓝莓果实显著相关品质的影响,构建多元回归模型并对结果进行分析。

2.3.1 硬度 在单因素实验的基础上,以蓝莓果实硬度变化(Y)为响应值,以贮藏时间(X<sub>1</sub>)、贮藏温度(X<sub>2</sub>)和贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)(X<sub>3</sub>)为考察

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Orthogonal test factors and levels			
因素	-1	0	1
X <sub>1</sub> (贮藏时间)/d	1	3.5	6
X <sub>2</sub> (贮藏温度)/°C	-2	-1	0
X <sub>3</sub> (CO <sub>2</sub> 含量)/%	10	12	14

因素,分析得到回归方程如下:

$$Y=7.8298+1.09876X_1+0.082625X_2+0.135873X_3-0.09871X_1X_2+0.04325X_1X_3-0.0442X_2X_3+0.2856X_1^2+0.02883X_2^2-0.4236X_3^2$$

蓝莓贮藏时间、贮藏温度和贮藏气体环境

(CO<sub>2</sub>含量)交互作用对蓝莓果实硬度影响的响应面曲线如图21所示。

从图21可以看出,贮藏气体环境固定时,贮藏温度在-1℃左右最佳;贮藏温度固定时,贮藏时间越短越好;贮藏时间固定时,蓝莓果实的硬度随

着贮藏温度的增加先升高后下降,而随贮藏气体环境内CO<sub>2</sub>比例的增加,蓝莓硬度先下降后上升,结果表明贮藏温度在-1℃左右且贮藏气体环境CO<sub>2</sub>比例在10%~12%时,蓝莓果实硬度保持最好。

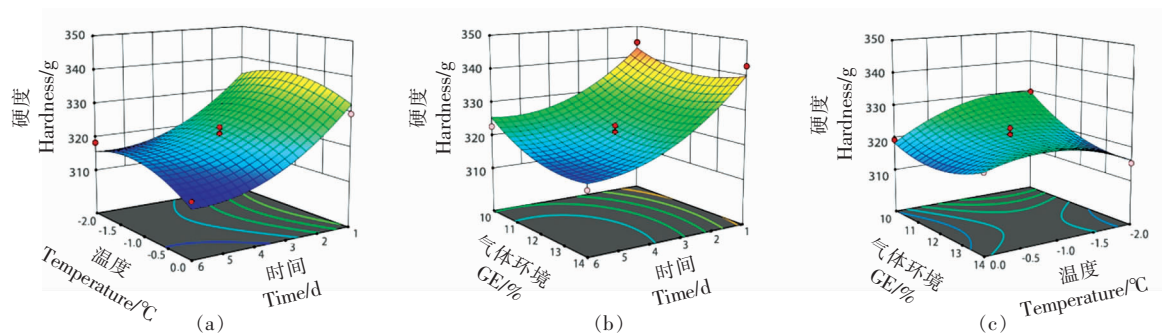


图21 各因素相互作用对蓝莓硬度影响的响应面图

Fig.21 Response surface diagram of the interaction of various factors on the hardness of blueberry

2.3.2 内聚性 在单因素实验的基础上,以蓝莓果实的内聚性(Y)为响应值,以贮藏时间(X<sub>1</sub>)、贮藏温度(X<sub>2</sub>)和贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)(X<sub>3</sub>)为考察因素,分析得到回归方程如下:

$$Y=7.8298+1.09876X_1+0.082625X_2+0.135873X_3-$$

$$0.09871X_1X_2+0.04325X_1X_3-0.0442X_2X_3+0.2856X_1^2+0.02883X_2^2-0.4236X_3^2$$

蓝莓贮藏时间、贮藏温度和贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)交互作用对蓝莓果实内聚性影响的响应面曲线如图22所示。

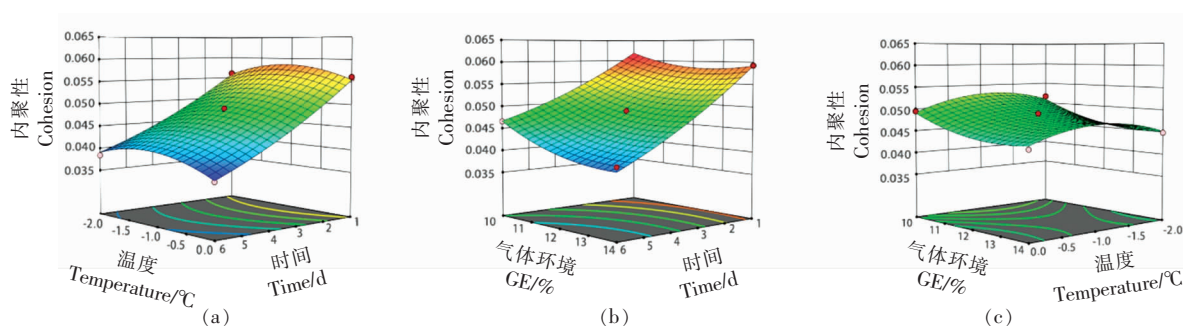


图22 各因素相互作用对蓝莓内聚性影响的响应面图

Fig.22 Response surface diagram of the interaction of various factors on the cohesion of blueberry

由图22可知,贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)固定时,贮藏温度在-1℃左右且时间越短为最佳;贮藏温度固定时,CO<sub>2</sub>气体比例为10%~12%且贮藏时间越短越好;贮藏时间固定时,贮藏温度为-1℃且CO<sub>2</sub>比例为10%~12%时最佳。

2.3.3 可滴定酸含量 在单因素贮藏的基础上,以蓝莓果实可滴定酸含量变化(Y)为响应值,以贮藏时间(X<sub>1</sub>)、贮藏温度(X<sub>2</sub>)和贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>

含量)(X<sub>3</sub>)为考察因素,分析得到回归方程如下:

$$Y=7.8298+1.09876X_1+0.082625X_2+0.135873X_3-0.09871X_1X_2+0.04325X_1X_3-0.0442X_2X_3+0.2856X_1^2+0.02883X_2^2-0.4236X_3^2$$

蓝莓贮藏时间、贮藏温度和贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)交互作用对蓝莓果实可滴定酸含量影响的响应面曲线如图23所示。

由图23可知,贮藏气体环境(CO<sub>2</sub>含量)固定

时, 贮藏温度在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且蓝莓果实贮藏时间越短为最佳; 贮藏温度固定时, 贮藏气体环境  $\text{CO}_2$  比例为  $10\%\sim 12\%$  时间越短越好; 贮藏时间固定时,

贮藏温度在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且贮藏气体环境  $\text{CO}_2$  比例为  $10\%\sim 12\%$  时蓝莓果实可滴定酸含量保持最佳。

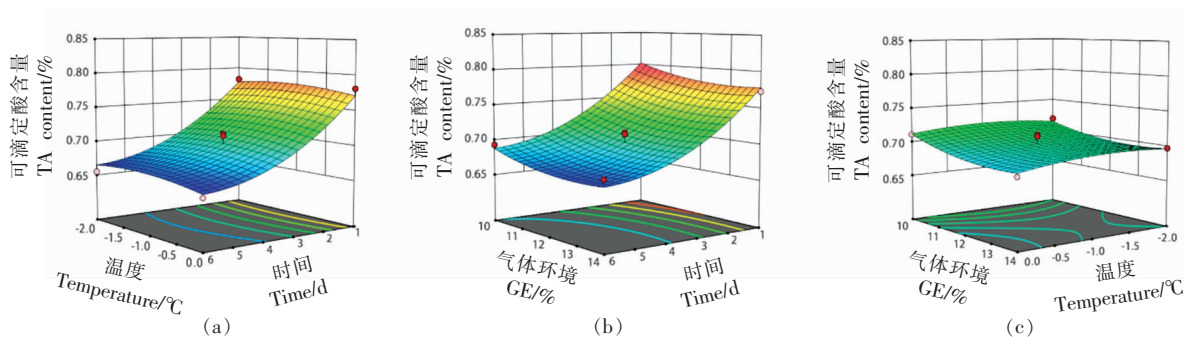


图 23 各因素相互作用对蓝莓可滴定酸含量影响的响应面图

Fig.23 Response surface diagram of the interaction of various factors on the TA content of blueberry

2.3.4 花青素含量 在单因素实验的基础上, 以蓝莓果实花青素含量变化( $Y$ )为响应值, 以贮藏时间( $X_1$ )、贮藏温度( $X_2$ )和贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)( $X_3$ )为考察因素, 得到回归方程如下:

$$Y=7.8298+1.09876X_1+0.082625X_2+0.135873X_3-$$

$$0.09871X_1X_2+0.04325X_1X_3-0.0442X_2X_3+0.2856X_1^2+0.02883X_2^2-0.4236X_3^2$$

蓝莓贮藏时间、贮藏温度和贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)交互作用对蓝莓果实花青素含量影响的响应面曲线如图 24 所示。

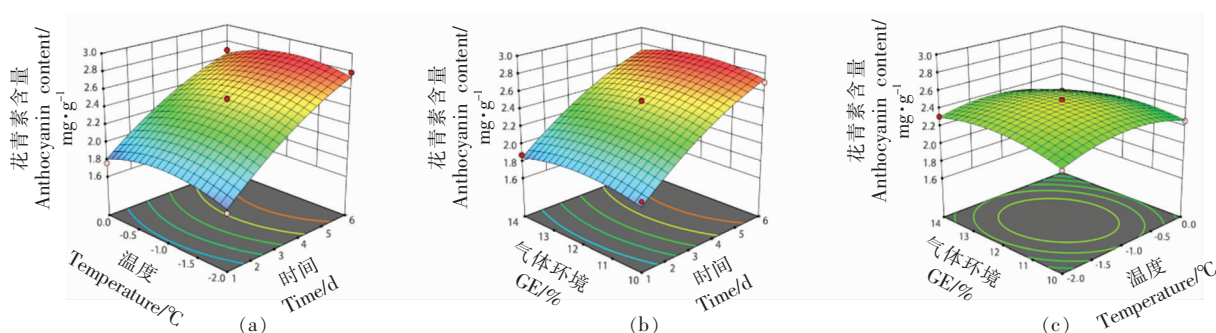


图 24 各因素相互作用对蓝莓花青素含量影响的响应面图

Fig.24 Response surface diagram of the interaction of various factors on the anthocyanins content of blueberry

由图 24 可知, 贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)固定时, 贮藏温度在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且蓝莓果实贮藏时间越短越好; 贮藏温度固定时, 贮藏气体环境  $\text{CO}_2$  比例在  $10\%\sim 12\%$  且贮藏时间越短越好; 贮藏时间固定时, 贮藏时温度 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且气体环境  $\text{CO}_2$  比例为  $10\%\sim 12\%$  时蓝莓果实花青素含量保持最佳。

2.3.5 丙二醛含量 在单因素实验的基础上, 以蓝莓果实丙二醛含量变化( $Y$ )为响应值, 以贮藏时间( $X_1$ )、贮藏温度( $X_2$ )和贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)( $X_3$ )为考察因素, 得到回归方程如下:

$$Y=7.8298+1.09876X_1+0.082625X_2+0.135873X_3-$$

$$0.09871X_1X_2+0.04325X_1X_3-0.0442X_2X_3+0.2856X_1^2+0.02883X_2^2-0.4236X_3^2$$

蓝莓贮藏时间、贮藏温度和贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)交互作用对蓝莓果实丙二醛含量影响的响应面曲线如图 25 所示。

由图 25 可知, 贮藏气体环境( $\text{CO}_2$  含量)固定时, 贮藏温度在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且蓝莓果实贮藏时间越短越好; 贮藏温度固定时, 贮藏气体环境  $\text{CO}_2$  比例在  $10\%\sim 12\%$  且果实贮藏时间越短越好; 贮藏时间固定时, 贮藏时温度 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右且气体环境  $\text{CO}_2$  比例在  $10\%\sim 12\%$  时蓝莓果实丙二醛含量最低。



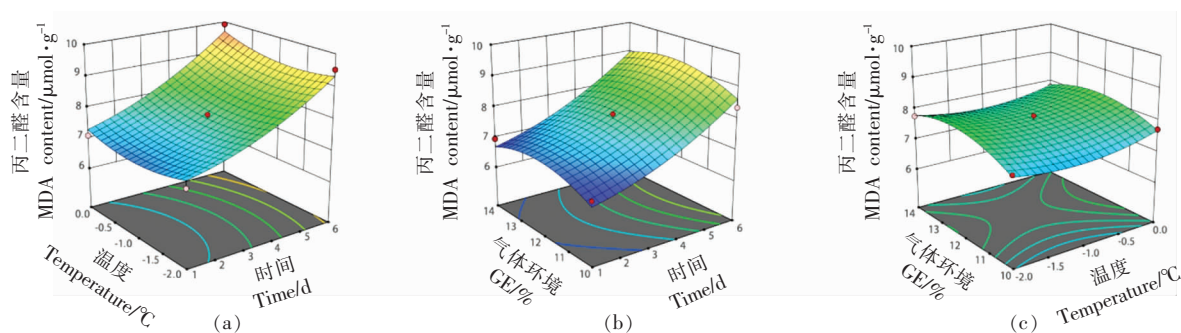


图 25 各因素相互作用对蓝莓丙二醛含量影响的响应面图

Fig.25 Response surface diagram of the interaction of various factors on the MDA content of blueberry

### 3 讨论

冰温结合气调对于蓝莓品质的影响不仅在于减少蓝莓果实的质量损失,保持其可溶性固形物、抗坏血酸的含量,同时降低果实内部氧化还原酶的活性<sup>[31]</sup>,且有助于可滴定酸含量及花青素含量的维持,抑制丙二醛的累积,减少活性氧的伤害,更好地维持果实品质。白国荣等<sup>[32]</sup>将冰温贮藏与 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 、 $15^{\circ}\text{C}$ 贮藏相比,发现冰温贮藏比其它试验组更能降低吊干杏的果实腐烂率,延缓硬度、TSS质量分数、TA质量分数和VC含量的下降,并有效抑制其呼吸强度,而与本试验得到的结果类似。Wood等<sup>[33]</sup>研究调查了苹果在常规气体和气调(缺氧)环境下,贮存84d后苹果中厌氧代谢终产物(乙醇、乙醛和乙酸乙酯)的动态变化,结果显示气调环境有效降低了厌氧代谢物浓度,更好的保持了苹果的品质,与本试验的结果相符。

微环境波动对蓝莓果实的影响,表现为无论是温度波动、气调波动还是双波动,采取降氧、降温及双降的处理手段都可以减少对蓝莓果实贮藏期间的危害。张鹏等<sup>[34]</sup>以莱克西蓝莓为试验对象,研究其在3种气体微环境下,蓝莓品质生理指标的变化,发现不同的气体微环境对蓝莓果实的影响不同,其中 $\text{O}_2$ 含量为 $1.5\%\sim 13.5\%$ , $\text{CO}_2$ 含量为 $8.8\%\sim 21.2\%$ 的mMAP3组对蓝莓果实品质保持最好,结果显示微环境调控可以延缓蓝莓果实中维生素C、花色苷和可滴定酸的损失,能够保持较高的好果率,与本试验得出结果相符,然而其未对调控后是否能达到冰温气调最佳状态作出对比与分析。本试验结果表明,当温度或气调发生波动时,波动时间越短,越有利于果实的硬度、内聚性的保

持,也越有利于果实花青素含量上升和丙二醛增加变缓,然而都没有达到冰温气调蓝莓的最佳状态,可能是由于果实受到外界波动的刺激后,内部不能很快达到动态平衡,从而对果实产生不可逆的损害。在熊金梁等<sup>[35]</sup>研究的温度波动对猕猴桃品质的影响中,结果显示温度波动的幅度越小,对猕猴桃果实品质的负面影响就越小。而本试验研究说明温度波动时间越短,蓝莓的品质就越好,猜测温度发生波动的时间和温度波动的幅度都与果实品质变化呈负相关,然而并不明确何种因素对于果实品质的影响更大,且除了通过降氧的手段是否还有更好的方法,这些还需进一步探索。

### 4 结论

蓝莓在贮藏过程中受到冰温以及气调的影响,能够更好地保持果实的硬度、内聚性、可滴定酸及花青素含量,并较好的抑制丙二醛含量。通过对比冰温状态下不同气调环境贮藏的“蓝丰”蓝莓果实的品质变化,得出 $-1^{\circ}\text{C}$ ( $\text{CO}_2$ : $10\%\sim 12\%$ , $\text{O}_2$ : $6\%\sim 9\%$ )为最佳的冰温气调环境,有助于减慢蓝莓果实丙二醛含量上升速度,维持果实可滴定酸含量及花青素含量。同时针对微环境波动的情况,采取适当降温、降氧、双降措施能有效缓解因环境波动带来的蓝莓果实品质指标的变化,保障蓝莓果实货架期。此外,通过试验数据,构建响应面模型分析时间、温度及气体环境对“蓝丰”蓝莓果实品质指标的影响,并利用多元回归方程预测蓝莓果实品质指标的变化,综合得出“蓝丰”蓝莓果实贮藏时间越短,贮藏温度越接近蓝莓冰点温度,贮藏气体环境中 $\text{CO}_2$ 比例稳定保持在 $10\%\sim 12\%$ ,越有

利于品质的保持。

### 参 考 文 献

- [1] CHEN Y H, HUNG Y C, CHEN M Y, et al. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may be mediated by regulating ROS metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2019, 270: 229–235.
- [2] CURTIS P J, BERENDS L, VELPEN V D, et al. Blueberry anthocyanin intake attenuates the postprandial cardiometabolic effect of an energy-dense food challenge: Results from a double blind, randomized controlled trial in metabolic syndrome participants[J]. *Clinical Nutrition*, 2022, 41(1): 165–176.
- [3] 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.
- [4] DELPINO F M, FIGUEIREDO L M, SILVA T G, et al. Effects of blueberry and cranberry on type 2 diabetes parameters in individuals with or without diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2022, 32(5): 1093–1109.
- [5] CASTRO S L, TAPIAS V, GATHAGAN R, et al. Blueberry juice augments exercise-induced neuroprotection in a Parkinson's disease model through modulation of GDNF levels[J]. *IBRO Neuroscience Reports*, 2022, 12: 217–227.
- [6] DANIELA D, HERRERA B, CHAI Z, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of blueberry anthocyanins by AMPK activation: *In vitro* and *in vivo* studies[J]. *aRedox Biology*, 2021, 46: 102100.
- [7] 陈阳, 王英, 厉卿宋, 等. 基于机器视觉和反向传播神经网络的蓝莓表面缺陷检测[J]. *机械制造*, 2022, 60(4): 54–58.
- CHEN Y, WANG Y, LI Q S, et al. Blueberry surface defect detection based on machine vision and back propagation neural network[J]. *Mechanical Manufacturing*, 2022, 60(4): 54–58.
- [8] 贾晓昱, 董立超, 李金金, 等. 不同运输和选果方式对蓝莓采后品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(9): 2778–2786.
- JIA X Y, DONG L C, LI J J, et al. Effects of different transportation and fruit selection methods on postharvest quality of blueberry[J]. *Journal of Food Safety and Quality Testing*, 2022, 13(9): 2778–2786.
- [9] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. Effect of mechanical vibration on postharvest quality and volatile compounds of blueberry fruit[J]. *Food Chemistry*, 2021, 349: 129216.
- [10] 陈志远, 刘艳妮, 高琪, 等. 两种微生物与蓝莓根腐病菌在根表的竞争性关系研究[J]. *陕西理工大学学报(自然科学版)*, 2021, 37(4): 70–78.
- CHEN Z Y, LIU Y N, GAO Q, et al. Study on the competitive relationship between two microorganisms and the pathogen of blueberry root rot on the root surface[J]. *Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 37(4): 70–78.
- [11] 艾丹. 蓝莓采后病害及其防治研究[D]. 天津: 天津农学院, 2020.
- AI D. Studies on postharvest diseases of blueberry and their control[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural College, 2020.
- [12] 吴媛媛, 刘瑞玲, 郜海燕, 等. SSS 灰霉菌侵染对蓝莓采后品质变化及抗氧化性的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(1): 148–155.
- WU Y Y, LIU R L, GAO H Y, et al. Effects of SSS *Botrytis cinerea* infection on post-harvest quality and antioxidant activity of blueberry[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(1): 148–155.
- [13] 周倩, 冯肖, 纪淑娟, 等. 蓝莓果实常温贮藏过程中表面病原真菌的分离与鉴定[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(2): 271–279.
- ZHOU Q, FENG X, JI S J, et al. Isolation and identification of pathogenic fungi on the surface of blueberry fruit during normal temperature storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(2): 271–279.
- [14] LU Y Y, MA D T, HE X, et al. *Bacillus subtilis* KLBC BS6 induces resistance and defence-related response against *Botrytis cinerea* in blueberry fruit[J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2021, 114: 101599.
- [15] 刘宇航, 陈影影, 曹玉婷, 等. 蓝莓鲜果采后病害类型及保鲜技术研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(11): 144–150.

- LIU Y H, CHEN Y Y, CAO Y T, et al. Research progress on postharvest disease types and preservation techniques of fresh blueberry fruit[J]. Storage and Process, 2021, 21(11): 144-150.
- [16] WANG F, SAITO S, MICHAILIDES T J, et al. Postharvest use of natamycin to control *Alternaria* rot on blueberry fruit caused by *Alternaria alternata* and *A. arborescens*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 172: 111383.
- [17] 张星, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 蓝莓-蓝靛果复合冻干粉贮藏期品质及加工特性[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 240-247.
- ZHANG X, BI J F, CHEN Q Q, et al. Storage quality and processing characteristics of blueberry-*lonicera edulis* composite freeze-drying powder[J]. Food Science, 2022, 43(17): 240-247.
- [18] 张伟龙, 黄哈达, 杨静慧, 等. 4种贮藏温度条件下蓝莓果实品质的变化[J]. 天津农学院学报, 2020, 27(4): 27-34.
- ZHANG W L, HUANG H D, YANG J H, et al. Changes of blueberry fruit quality under 4 storage temperatures[J]. Journal of Tianjin Agricultural College, 2020, 27(4): 27-34.
- [19] 魏鑫, 郭丹, 王宏光, 等. 低温贮藏对蓝莓果实品质与主要成分的影响[J]. 农业科技与装备, 2021(5): 29-33.
- WEI X, GUO D, WANG H G, et al. Effects of low temperature storage on quality and main components of blueberry fruit[J]. Agricultural Technology and equipment, 2021(5): 29-33.
- [20] 薛友林, 袁兴铃, 张鹏, 等. 精准温度控制对蓝莓的低温保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 185-194, 150.
- XUE Y L, YUAN X L, ZHANG P, et al. Effect of precise temperature control on low temperature preservation of blueberries[J]. Modern Food Technology, 2021, 37(11): 185-194, 150.
- [21] 邹小波, 杨志坤, 石吉勇, 等. 阿拉伯胶/白色玫瑰茄提取物复合涂膜对低温贮藏蓝莓保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 204-211.
- ZOU X B, YANG Z K, SHI J Y, et al. Effect of acacia gum/white roselle extract composite coating on the preservation of blueberries stored at low temperature[J]. Food Science, 2019, 40(7): 204-211.
- [22] 张瑜瑜, 陈泽斌, 用成健, 等. 外源水杨酸处理对蓝莓采后生理及贮藏品质的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 168-175.
- ZHANG Y Y, CHEN Z B, YONG C J, et al. Effects of exogenous salicylic acid on postharvest physiology and storage quality of blueberry[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(1): 168-175.
- [23] 吉宁, 龙晓波, 李江阔, 等. 1-MCP结合臭氧处理对蓝莓低温保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 302-307.
- JI N, LONG X B, LI J K, et al. Effect of 1-MCP combined with ozone treatment on low temperature preservation of blueberry[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(11): 302-307.
- [24] LU J Y, LI T, MA L, et al. Optimization of heat-sealing properties for antimicrobial soybean protein isolate film incorporating diatomite/thymol complex and its application on blueberry packaging[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 29: 100690.
- [25] 董生忠, 徐方旭, 刘诗扬, 等. 短波紫外线(UV-C)结合冰温贮藏对蓝莓采后保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2017(2): 142-144.
- DONG S Z, XU F X, LIU S Y, et al. Effects of short-wave ultraviolet (UV-C) combined with ice-temperature storage on postharvest storage of blueberries[J]. Northern Horticulture, 2017(2): 142-144.
- [26] 左建冬. 预冷、冰温技术在蓝莓保鲜中的应用[J]. 制冷与空调, 2017, 17(9): 80-82, 86.
- ZUO J D. Application of pre-cooling and ice-temperature technology in fresh-keeping of Blueberry[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2017, 17(9): 80-82, 86.
- [27] 张鹏, 朱文月, 薛友林, 等. 微环境气调对蓝莓贮藏期软化的调控作用[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 249-258.
- ZHANG P, ZHU W Y, XUE Y L, et al. Regulation of micro-environmental modified atmosphere on the softening of blueberries during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(5): 249-258.
- [28] RODRIGUEZ J, ZOFFOLI J P. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117: 230-238.
- [29] 张鹏, 朱文月, 薛友林, 等. 微环境气调对冰温贮藏蓝莓货架期果实软化的影响[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(3): 157-166.

- ZHANG P, ZHU W Y, XUE Y L, et al. Effects of micro-environment gas regulation on fruit softening of blueberry during shelf life after controlled freezing-point storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 40(3): 157-166.
- [30] 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.
- XUE Y L, YU H T, ZHANG P, et al. Effects of controlled atmosphere on quality and volatile components of blueberry fruit during ice-temperature storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(18): 334-341.
- [31] 徐瞳晖, 李洋, 霍若冰, 等. 基于感官评价的蓝莓消费者满意度预测模型[J]. *森林工程*, 2021, 37(2): 110-116.
- XU T H, LI Y, HUO R B, et al. A prediction model of blueberry consumer satisfaction based on sensory evaluation[J]. *Forest Engineering*, 2021, 37(2): 110-116.
- [32] 白国荣, 郭敏瑞, 卢娣, 等. 冰温贮藏对新疆吊干杏保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(13): 260-266.
- BAI G R, GUO M R, LU D, et al. Effect of ice-temperature storage on preservation of Xinjiang dried apricot[J]. *Food Science*, 2019, 40(13): 260-266.
- [33] WOOD R M, THEWES F R, REYNAUD M, et al. Apple fruit recovery from anoxia under controlled atmosphere storage[J]. *Food Chemistry*, 2022, 371: 131152.
- [34] 张鹏, 于弘弢, 李春媛, 等. 基于主成分分析的微环境气调对蓝莓贮后货架品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(7): 186-194.
- ZHANG P, YU H T, LI C Y, et al. Effect of microenvironment controlled atmosphere on shelf quality of blueberry after storage based on principal component analysis[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(7): 186-194.
- [35] 熊金梁, 陈爱强, 刘婧, 等. 温度波动对猕猴桃在4℃下货架贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(19): 69-76.
- XIONG J L, CHEN A Q, LIU J, et al. Effect of temperature fluctuation on shelf quality of kiwifruit at 4℃[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(19): 69-76.

### Effect of Microenvironment Fluctuation on the Quality of Blueberry during Ice-temperature Controlled Atmosphere Storage

Li Yang, Tang Rongrong, Li Qingpeng, Feng Xin  
(Northeast Forestry University, Harbin 150040)

**Abstract** In order to explore the changes of blueberry quality after microenvironment fluctuations (i.e., temperature fluctuations, gas environment fluctuations, and temperature and gas fluctuations) under the state of ice temperature and gas regulation, Lanfeng blueberry was taken as the test material and pre-cooled at different ice temperature (-2℃ and -1℃) for air conditioning (CO<sub>2</sub>: 10%-14%; O<sub>2</sub>: 6%-9%) were stored in the environment for 7 days, and the optimal environmental state of blueberry fruit was analyzed. On this basis, three groups of microenvironment fluctuation tests were designed, namely, temperature fluctuation, air fluctuation, temperature and air fluctuation, which fluctuated for 1 to 6 days, respectively. After each fluctuation, corresponding measures were taken for storage. The hardness, cohesion, titratable acid content, anthocyanin content and malonaldehyde content of blueberry fruits in each experimental group were measured for 1 to 7 days. The results showed that the fresh-keeping effect of experimental group was better. In the microenvironment fluctuation test, the optimal storage time of blueberry was 1 day. The optimal ice temperature and air conditioning environment of Lanfeng blueberry fruit was -1℃ (CO<sub>2</sub>:10%-12%, O<sub>2</sub>:6%-9%), and there was a negative correlation between blueberry fruit quality and fluctuation time. Although cooling/oxygen lowering/double descending methods had certain effects, the blueberry fruit quality could not be restored to the best state in the ice temperature and air conditioning group.

**Keywords** ice-temperature and modified atmosphere; micro-environment fluctuation; response surface analysis; blueberry storage