

超高压和热杀菌的蓝莓果汁饮料贮藏期品质的变化及货架期预测模型

朱金艳, 赵雪梅, 王殿夫, 董文华, 孙希云

Storage Quality Changes and Shelf Life Predictive Modeling of Blueberry Juice Treated by Ultra-high Pressure and Thermal Sterilization

ZHU Jinyan, ZHAO Xuemei, WANG Dianfu, DONG Wenhua, and SUN Xiyun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020161>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

超高压处理对黑果枸杞汁贮藏及品质特性的影响

Effect of Ultra High Pressure Treatment on Storage and Quality Characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr Juice
食品工业科技. 2020, 41(18): 280–286

超高压杨梅复合果蔬汁的研制及贮藏品质

Development of Compound Bayberry Juice Treated by High Hydrostatic Pressure and Its Storage Quality
食品工业科技. 2019, 40(12): 156–162

油炸裹糊牡蛎贮藏品质的变化与货架期预测

Changes in Storage Quality and Shelf Life Prediction of Deep-fried Battered and Breaded Oysters
食品工业科技. 2021, 42(8): 288–294

预冷后宁夏菜心贮藏期内品质分析及货架期的预测

Quality Analysis and Shelf Life Prediction of Ningxia Cabbage during Storage after Precooling
食品工业科技. 2020, 41(18): 263–271

常见热杀菌方式对关中羊乳品质的影响

Effect of Common Thermal Sterilization Methods on the Quality of Guanzhong Goat Milk
食品工业科技. 2019, 40(8): 26–30,36

超高压和高温短时杀菌对樱桃汁品质的影响

Effects of High Pressure and High Temperature Short Time Sterilization on the Quality of Cherry Juice
食品工业科技. 2018, 39(17): 71–78



关注微信公众号，获得更多资讯信息

朱金艳,赵雪梅,王殿夫,等.超高压和热杀菌的蓝莓果汁饮料贮藏期品质的变化及货架期预测模型 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 320–327. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020161

ZHU Jinyan, ZHAO Xuemei, WANG Dianfu, et al. Storage Quality Changes and Shelf Life Predictive Modeling of Blueberry Juice Treated by Ultra-high Pressure and Thermal Sterilization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 320–327. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020161

超高压和热杀菌的蓝莓果汁饮料贮藏期品质的变化及货架期预测模型

朱金艳^{1,2}, 赵雪梅³, 王殿夫⁴, 董文华¹, 孙希云^{2,*}

(1.庄河市食品检验监测中心,辽宁大连 116400;

2.沈阳农业大学食品学院,辽宁沈阳 110866;

3.四川国检检测有限责任公司,四川泸州 646000;

4.辽东学院,辽宁丹东 118000)

摘要:比较了热杀菌(80°C , 10 min)和超高压杀菌(550 MPa, 10 min)的蓝莓果汁饮料产品贮藏期(54 d)品质的变化,并且预测了蓝莓果汁饮料的货架期。结果表明:蓝莓果汁饮料的贮藏期结束时,两种杀菌条件的蓝莓果汁饮料在不同贮藏温度(4、27 和 37°C)均未检测出微生物,说明杀菌彻底。蓝莓果汁饮料的 pH 和可溶性固形物在贮藏期间变化不大。超高压杀菌的蓝莓果汁饮料的品质较好,贮藏结束时蓝莓果汁饮料的抗坏血酸含量和总酚含量都较高。基于蓝莓果汁饮料的感官评分的变化采用动力学模型结合 Arrhenius 方程建立了 4~ 37°C 范围内的品质劣变动力学模型及货架期预测模型,并对其预测精确度进行了评价。所建立的模型的决定系数 R^2 均在 0.95 以上,货架期预测相对误差大多在 10% 之内。因此,所建立的模型能够快速可靠地预测蓝莓果汁饮料的剩余货架期。

关键词:超高压杀菌,热杀菌,蓝莓果汁饮料,贮藏品质,货架期预测模型

中图分类号:TS255

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2021)20-0320-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021020161

本文网刊:



Storage Quality Changes and Shelf Life Predictive Modeling of Blueberry Juice Treated by Ultra-high Pressure and Thermal Sterilization

ZHU Jinyan^{1,2}, ZHAO Xuemei³, WANG Dianfu⁴, DONG Wenhua¹, SUN Xiyun^{2,*}

(1.Food Inspection Monitoring Center of Zhuanghe, Dalian 116400, China;

2.College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

3.Sichuan national inspection and testing Co.LTD, Luzhou 646000, China;

4.Liaodong University, Dandong 118000, China)

Abstract: The quality of blueberry juice after 54 days storage treated by thermal sterilization(80°C , 10 min) and ultra-high pressure (UHP) sterilization (550 MPa, 10 min) were compared and the shelf life were predicted. The results showed that two kinds of products stored among 4, 27 and 37°C were not detected microorganism at the end of the shelf life, indicating that two sterilizations were thorough. The pH and soluble solids contents of blueberry juice had little change during the storage time. The VC contents and total phenolic contents of blueberry juice at UHP sterilization were higher than thermal sterilization at the end of storage time. Based on the change of sensory scores of blueberry juice, the quality deterioration kinetic model and shelf life predictive modeling in the range of 4~ 37°C were established by using kinetic model and Arrhenius equation. The determination coefficients R^2 of predictive modeling were higher than 0.95 and most of relative

收稿日期: 2021-02-23

基金项目: 大连高层次人才创新支持计划 (2017RQ068); 省博士科研启动基金计划项目 (2020-BS-282); 辽宁省教育厅基础研究项目 (LSNJC201911)。

作者简介: 朱金艳 (1983-), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 304901035@qq.com。

* 通信作者: 孙希云 (1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬深加工, E-mail: sun_xiyun@163.com。

errors between the predicted and actual values were less than 10%. Therefore, the established model could quickly and reliably predict the remaining shelf life of blueberry juice.

Key words: ultra-high pressure (UHP) sterilization; thermal sterilization; blueberry juice; storage quality; shelf life predictive modeling.

蓝莓 (*Vaccinium corymbosum*) 属于杜鹃花科 (Ericaceae)、越橘属 (*Vaccinium*) 的小浆果植物果实, 又名蓝浆果^[1]。蓝莓风味独特, 含有丰富的生物活性成分, 包括维生素 C、酚类、花青素和黄酮类等, 具有很高的营养价值^[2]。此前的研究表明, 蓝莓具有抗氧化、抗菌、消炎、抗过敏和抗癌的作用, 可以预防中风、肥胖及相关并发症, 蓝莓被联合国粮农组织列为世界五大健康水果之一^[3-4]。目前, 蓝莓仍以鲜食为主, 约占总产量的 75%^[1]。蓝莓是不耐运输和储存的小浆果, 因此, 容易出现软化、微生物生长、养分和水分流失等问题, 严重降低了蓝莓的商业价值^[5-6]。

由于季节性和保质期短, 大约 50% 的蓝莓被加工成果汁和其他产品, 所以蓝莓果汁饮料的加工具有广阔的市场前景^[7]。然而, 蓝莓果汁饮料在加工过程中受到酵母和霉菌等微生物的侵染, 在贮藏过程中极易变质, 导致保质期缩短和一些食品安全问题。因此, 蓝莓果汁饮料杀菌技术的研究具有十分重要的意义。传统的热杀菌会造成蓝莓果汁饮料营养成分的不可逆损失和理化性质的不利变化^[8]。因此, 在保持蓝莓果汁饮料感官和营养特性的同时, 有必要采用非热杀菌技术对蓝莓果汁饮料进行杀菌处理, 以延长蓝莓果汁饮料的保质期。有研究表明, 与传统的热处理番茄果汁相比, 超高压杀菌可以改善番茄果汁的粘度和颜色特性^[9]。朱香澔等^[10] 证明了超高压杀菌比巴氏杀菌具有更好的杀菌效果, 对果汁贮藏品质的影响较小。吕长鑫等^[11] 发现, 与热杀菌相比, 超高压杀菌能更好地保持南果梨汁的色泽和营养成分。食品的保质期是了解其品质的重要依据, 食品的色、香、味和营养价值会因保质期的延长而发生负变化^[12]。因此, 准确预测食品的货架期可以为产品的销售策略提供一定的参考, 是企业研发新产品过程中一个非常重要的环节。

本研究以冷冻、压碎及过滤之后的蓝莓果汁饮料为研究对象, 分别经热杀菌(80 °C, 10 min)及超高压杀菌(550 MPa, 10 min)处理。将灭菌后的蓝莓果汁饮料分别在 4、27、37 °C 三种温度下贮藏, 贮藏 54 d 后, 测定蓝莓果汁饮料的微生物、感官、理化及营养品质的变化。在感官评价的基础上, 采用经典 Arrhenius 方程和一级动力学模型建立了 4~37 °C 范围内的品质劣化动力学模型和货架期预测模型, 并对结果进行了验证, 以为蓝莓果汁饮料在贮藏和流通过程中品质和货架期的快速预测提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

北陆蓝莓 辽宁新大地事业发展集团有限公

司, -18 °C 冻藏备用; 3M Petrifilm™ 大肠菌群测试片、3M Petrifilm™ 菌落总数测试片、3M Petrifilm™ 霉菌酵母菌测试片 北京智云达科技股份有限公司; FeCl₃·6H₂O、邻菲罗啉、EDTA、福林试剂、碳酸钠 分析纯, 西安吉祥化学试剂有限公司; V_C 标准品、没食子酸标准品 北京谱析科技有限公司。

RLGY-600 型超高压处理装置 温州贝诺机械有限公司; UV-5100 紫外可见分光光度计 上海元析仪器有限公司; WAY-2S 型阿尔贝折光仪 上海精密仪器有限公司; PHS-3C 型 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司; TG16-WS 台式高速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; DK-98-IIA 电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司; DZQ-500 型真空包装机 广州巨林机械制造有限公司; SHZ-D 型循环水式真空泵 巩义市予华仪器有限责任公司; JJ-2BS 组织捣碎机 常州峥嵘仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蓝莓果汁的制备 取-18 °C 冷冻的蓝莓, 将其在 4 °C 解冻 12 h, 加入 5 倍量的蒸馏水混合, 用榨汁机搅拌均匀, 将浆状物用双层食品级纱布过滤, 滤液置于离心机中, 在 12000 r/min, 4 °C 下离心 10 min, 取上清液经循环水式真空泵抽滤得到澄清蓝莓果汁饮料备用。

1.2.2 杀菌方法

1.2.2.1 热处理 将 1.2.1 制得的蓝莓果汁装入到食品铝箔包装袋中(100 mL), 抽真空密封后在 80 °C 下恒温水浴加热 10 min^[13]。

1.2.2.2 超高压处理 将 1.2.1 制得的蓝莓果汁饮料加入到食品铝箔包装袋(100 mL)中, 抽真空密封, 20 °C 下, 在 550 MPa 下处理 10 min^[13]。

将两组处理的样品分别放入 4、27、37 °C 温度下贮藏。4 °C 每 9 d、27 °C 每 6 d、37 °C 每 3 d 测定一下微生物、感官品质及理化营养指标。

1.2.3 蓝莓果汁饮料贮藏期主要微生物指标的检测

对蓝莓果汁饮料中的菌落进行计数。蓝莓果汁饮料中菌落总数、大肠菌群、霉菌和酵母菌根据国标(GB 7101-2015 果、蔬汁饮料卫生标准)执行。用灭菌吸管吸取 1 mL 蓝莓果汁滴于 3M Petrifilm™ 大肠菌群测试片、3M Petrifilm™ 菌落总数测试片和 3M Petrifilm™ 霉菌和酵母菌测试片的中央, 压板使样液均匀分布, 静置 5 min, 培养基凝固后透明面向上。大肠菌群测试片和菌落总数测试片放置于 37 °C 恒温培养箱中培养 24~48 h 后观察菌落并计数, 霉菌

酵母菌测试片置于 28 ℃ 恒温培养箱中培养 5 d 后观察菌落并计数。

1.2.4 感官指标的检测 根据表 1 中蓝莓果汁饮料的评分标准,选择 6 名食品科学与工程专业学生组成评分小组,从色泽、香味、组织状态和杂质四个方面对蓝莓果汁饮料品质进行评定,经过加权处理得到总体感官评分,具体评分标准见下表^[14]。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard

| 项目 | 权重(%) | 评分标准 | 分值(分) |
|------|-------|----------------------|-------|
| 色泽 | 25 | 宝石红色,颜色亮丽,有蓝莓果汁原有色泽 | 9~10 |
| | | 颜色出现稍微变化 | 6~8 |
| | | 颜色明显变暗或者褪色 | 0~5 |
| 香味 | 35 | 具有蓝莓特有果香,口感纯正、爽怡、无异味 | 9~10 |
| | | 有蓝莓香气,较爽口,无明显异味 | 6~8 |
| | | 无蓝莓香气,有少许异味 | 0~5 |
| 组织状态 | 20 | 澄清透明液体,久置后有少许沉淀 | 9~10 |
| | | 透明度稍差,有少许浑浊 | 6~8 |
| | | 透明度差,浑浊 | 0~5 |
| 杂质 | 20 | 无肉眼可见外来杂质 | 9~10 |
| | | 出现杂质 | 6~8 |
| | | 有明显的杂质,颜色变暗,浑浊 | 0~5 |

1.2.5 蓝莓果汁饮料贮藏期主要理化与营养指标的检测

1.2.5.1 pH 和可溶性固形物的检测 pH 使用 pH 计进行测定。可溶性固形物含量参照 GB/T 12143-2008, 使用阿贝折射仪测定。

1.2.5.2 抗坏血酸含量 抗坏血酸含量的测定采用邻菲罗啉分光光度法^[15]。取 100 倍的果汁稀释液 2 mL 于 50 mL 容量瓶中, 分别加入 5 mL FeCl₃·6H₂O 溶液, 振荡摇匀, 再加入 5 mL CuSO₄ 溶液, 混合均匀后加入 5 mL 邻菲罗啉, 混合均匀, 反应 1 min 后加入 1 mL EDTA 溶液, 用蒸馏水定容, 514 nm, 1 cm 光径下测吸光度值。利用 V_C 标准品配制一系列浓度按照以上方法制作标准曲线, 通过标准曲线计算抗坏血酸浓度(标准曲线: Y=0.0146X+0.0163, R²=0.9998)。

1.2.5.3 总酚(TP)的测定 采用福林酚法对总酚含量进行检测^[16-17]。吸取 0.5 mL 蓝莓果汁饮料于 50 mL 容量瓶中, 分别加 30 mL 蒸馏水, 再加 2.5 mL 福林试剂, 充分摇匀。1 min 后加入 7.5 mL 碳酸钠溶液(20%), 混匀定容。水浴 75 ℃ 下反应 10 min 后, 在 760 nm 波长下测定吸光度。以没食子酸标准品制作标准曲线, 检测结果以没食子酸当量表示(标准曲线: Y=0.1909X +0.2274, R²=0.9982)。

1.2.6 质量变化动力学模型 采用 Pearson 相关分析法对蓝莓果汁饮料在 3 种不同贮藏温度下的理化品质指标和感官评分进行了分析, 感官评分与品质指标之间存在良好的相关性。因此, 采用一阶动力学方

程对感官评分进行指数回归分析。根据回归方程的确定系数, 确定了适合本实验的动力学模型, 并通过计算反应常数得到了 Arrhenius 方程。预测了蓝莓果汁饮料在不同贮藏温度下的货架期。在食品储存过程中, 大多数质量变化遵循一级反应模式(方程(1))^[18]。Arrhenius 方程(方程(2))可用于描述与温度相关的反应速率常数^[19]。将一级动力学模型与 Arrhenius 方程相结合, 得到蓝莓汁货架期的一级动力学预测模型(方程(3))^[20]。

$$A = A_0 e^{kt} \quad \text{式 (1)}$$

式中: A₀ 是质量指数的初始值; t 是贮存时间, d; k 是质量变化的速率常数; A 是 t d 贮存中质量指数的值。

$$\ln K = \ln K_0 - \frac{E_a}{R \times T} \quad \text{式 (2)}$$

式中: K 为反应速率常数; E_a 为反应活化能; T 为绝对温度, K; K₀ 为回归系数; R 为气体常数 (8.314 J/(mol·K))。

$$SL = \frac{\ln A - \ln A_0}{K_0 \times e^{-(E_a \times \frac{1}{RT})}} \quad \text{式 (3)}$$

式中: SL 是货架期。

1.3 数据处理

实验指标的测定重复三次。运用 Excel 2016 软件进行数据处理统计分析, 绘制图表并进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 微生物指标的变化

研究表明, 80 ℃ 杀菌 10 min 与 550 MPa 杀菌 10 min 的蓝莓果汁饮料在 4、27 和 37 ℃ 温度下贮藏。直到货架期测试结束即第 54 d 时, 大肠菌群、菌落总数和霉菌酵母菌均未检测出, 这表明这两种杀菌条件杀菌彻底, 杀菌效果较好。

2.2 感官品质的变化

感官评价可以准确估计食品的感官保质期^[21]。如图 1 所示, 随着贮藏时间的延长, 蓝莓果汁饮料的感官评分下降, 直至果汁质量不合格。37 ℃ 贮藏样品的感官评分下降最快, 其次是 27 ℃ 贮藏样品, 4 ℃ 贮藏样品的感官评分变化缓慢。贮藏结束时(4 ℃), 超高压灭菌和热灭菌果汁的感官评分分别为 8 和 7.17 分。结果表明, 蓝莓果汁饮料适宜低温贮藏, 经超高压灭菌处理的蓝莓果汁饮料品质优于热灭菌处理的蓝莓果汁饮料。一些研究表明, 超高压灭菌会破坏细胞, 增加总糖和果胶含量^[22], 这可能是本研究中经过超高压灭菌处理的蓝莓果汁与热灭菌处理的蓝莓果汁饮料相比, 整体感官评分较高的原因之一。

2.3 理化和营养指标的变化

2.3.1 pH 和可溶性固形物含量的变化 果汁的成分、pH 和可溶性固形物含量是影响其货架期品质的内在因素^[23]。如图 2A、图 2B 所示, 蓝莓果汁饮料

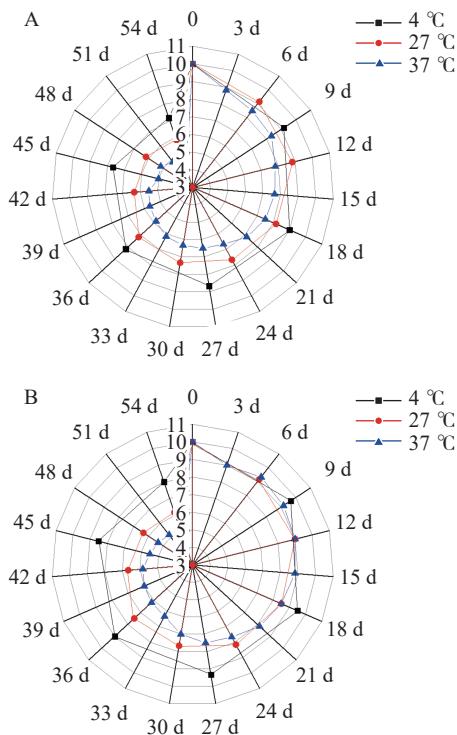


图 1 蓝莓果汁饮料在不同温度贮藏期间感官评分的变化

Fig.1 Changes in sensory score of blueberry juice during the different storage temperature

注: A: 热处理; B: 超高压处理。

的 pH 随着贮藏时间的延长而降低。而经超高压灭菌处理的蓝莓果汁饮料 pH 下降慢于热杀菌处理。与超高压灭菌处理的蓝莓果汁饮料相比, 热灭菌处理的蓝莓果汁饮料在贮藏过程中 pH 不稳定。然而, 不同贮藏温度下的 pH 没有显著差异, 这可能是因为果汁中含有柠檬酸钾和苹果酸钾, 酸和钾盐形成缓冲溶液, 导致 pH 没有显著变化^[24]。

可溶性固形物主要包括可溶性糖、酸、微生物和矿物质, 它们是衡量蓝莓果汁饮料品质的重要指标^[25]。图 2C、图 2D 表明, 蓝莓果汁饮料在 4、27、37 °C 贮藏期间, 可溶性固形物含量逐渐降低, 但随着贮藏时间的延长, 样品的可溶性固形物含量有较高的保存率。贮藏结束时, 热杀菌处理蓝莓果汁饮料在 4、27、37 °C 温度贮藏的可溶性固形物保留率分别为 91.91%、90.16%、83.15%; 超高压杀菌处理的蓝莓果汁饮料在 4、27、37 °C 温度贮藏的可溶性固形物保留率分别为 92.79%、91.04%、87.54%。结果表明, 超高压灭菌对蓝莓果汁饮料在贮藏过程中可溶性固形物的影响较小, 这与王寅^[25]的结果一致。总的来说, 贮藏期间可溶性固形物含量的变化相对稳定。结果发现, 蓝莓果汁饮料经超高压灭菌后, 其可溶性固形物含量高于热灭菌。这可能是由于某些细胞由于高压而破裂, 导致大量细胞内物质溶解增加, 因此可溶性固形物含量增加。

2.3.2 抗坏血酸含量的变化

抗坏血酸是蓝莓中的一种重要营养素, 能增强人体对外界环境的抗应激能

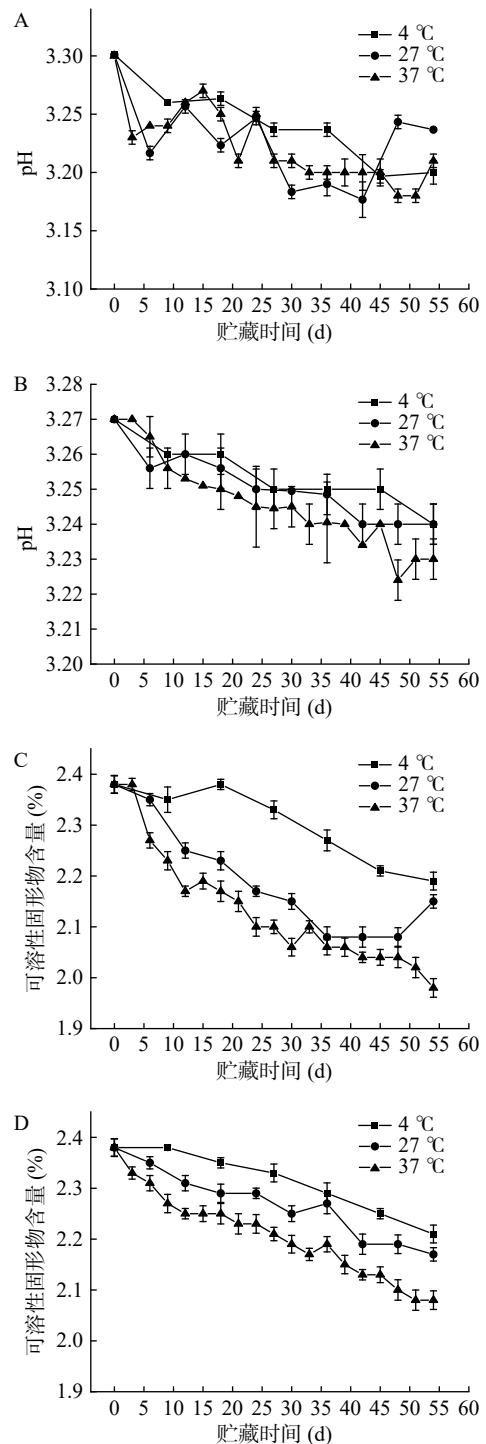


图 2 蓝莓果汁饮料在不同温度贮藏期间 pH 和可溶性固形物含量的变化

Fig.2 Changes in pH values and soluble solid contents of blueberry juice during the different storage temperature

注: A, C: 热处理; B, D: 超高压处理。

力和免疫能力, 抗坏血酸还具有抗氧化和清除自由基的功能^[26]。抗坏血酸保留率对蓝莓果汁饮料品质的氧化变质也有一定的保护作用。如图 3 所示, 抗坏血酸含量随着贮藏时间的延长而下降, 随着贮藏温度的升高, 抗坏血酸含量下降的速度越快。贮藏结束时, 热杀菌蓝莓果汁饮料的抗坏血酸保留率为 4 °C (63%)>27 °C(50%)>37 °C(32%), 超高压杀菌蓝莓果汁饮料的抗坏血酸保留率为 4 °C(73%)>27 °C

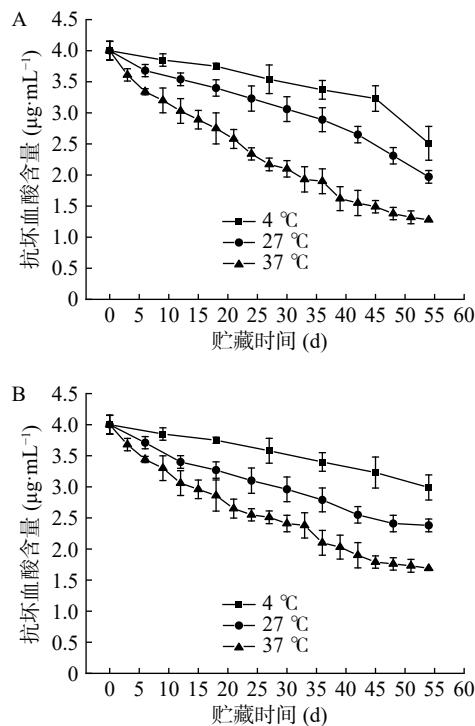


图 3 蓝莓果汁饮料在不同温度贮藏期间抗坏血酸含量的变化

Fig.3 Changes in V_C contents of blueberry juice during the different storage temperature

注: A: 热处理; B: 超高压处理。

(60%)>37 °C(42%)。抗坏血酸是一种水溶性维生素,不耐热。因此,80 °C灭菌10 min的蓝莓果汁饮料的抗坏血酸保留率低于550 MPa灭菌10 min的蓝莓果汁饮料。本研究表明相对较低的贮藏温度和非热灭菌相结合有利于蓝莓果汁饮料中抗坏血酸的保存。抗坏血酸不耐热,因此与热杀菌相比,超高压杀菌更有利于蓝莓果汁饮料中抗坏血酸的保留率,这与夏晓雨^[27]等的结果一致。总而言之,超高压及热处理对蓝莓果汁中抗坏血酸均有不同程度的影响,但是相比之下,超高压处理对抗坏血酸的影响远小于热处理,相似的结果张微^[28]也发现,超高压处理能较好的保护芒果原汁中的抗坏血酸。

2.3.3 总酚含量的变化 酚类化合物是一种存在于水果、蔬菜和其他植物中的多羟基化合物,是决定果汁抗氧化能力的主要物质之一^[27]。蓝莓汁中酚类物质含量的变化如图4所示,蓝莓果汁饮料中酚类物质含量在所有灭菌处理后均呈下降趋势。在4 °C贮藏条件下,酚类物质的消耗量最低,其次是27 °C,酚类物质含量下降最快的是37 °C贮藏的蓝莓果汁饮料,在4、27和37 °C贮藏条件下进行热灭菌的样品酚类物质损失率分别为19.60%、39.22%和75.16%。可见,贮藏温度越高,贮藏结束时总酚含量损失越明显。与热杀菌相比,超高压杀菌在不同贮藏温度下总酚的损失率相对较低。研究表明,热灭菌会破坏酚类活性成分的结构,降低总酚含量^[26],这与本研究结果一致。邓红等^[29]指出,超高压灭菌技术对小分子物

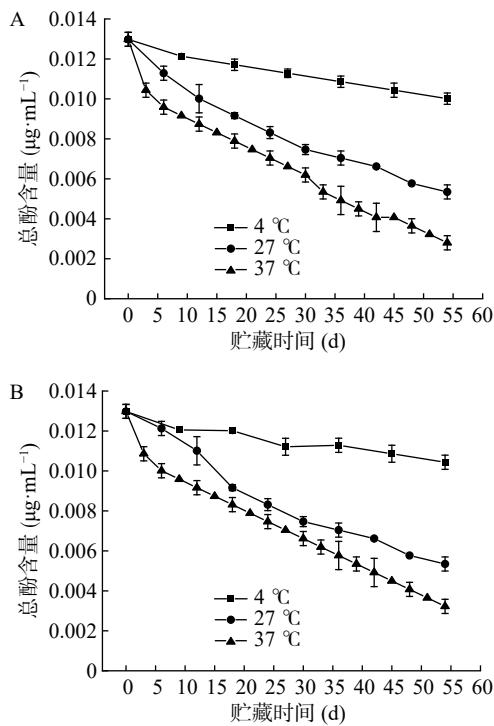


图 4 蓝莓果汁饮料在不同温度贮藏期间总酚含量的变化

Fig.4 Changes in total phenolic contents of blueberry juice during the different storage temperature

注: A: 热处理; B: 超高压处理。

质影响不大,能最大限度地保持食品的营养、风味和色泽,主要原因是超高压灭菌不会破坏共价键。此外谢旭^[13]发现热处理方式对蓝莓汁中多酚含量影响远大于超高压处理,原因是多酚类物质在高温条件下容易降解,其损失量远大于高压处理,与本文得出的结论一致。因此,与热杀菌相比,采用超高压杀菌处理蓝莓果汁饮料能更好地保留其营养和风味。

2.4 货架期预测模型的建立

2.4.1 蓝莓果汁饮料贮藏过程中理化指标与感官评价的相关性分析 如表2所示,不同贮藏温度下,感官评定得分与理化指标的相关系数均大于0.9,说明理化指标与感官得分的相关性较好。因此,感官评分被认为是影响蓝莓果汁饮料品质和货架期动力学预测模型的关键因素。不同贮藏温度下,蓝莓果汁饮料感官评分与理化指标呈极显著正相关($P<0.01$)。在本研究中,将感官评分低于5分的蓝莓果汁饮料视为保质期结束。

2.4.2 基于感官评价的质量劣化动态模型的建立 大多数食品质量变化遵循一级反应动力学方程^[30]。通过对蓝莓果汁饮料感官评价的回归分析,得到反应速率常数和测定系数。如表3所示,感官评分的一级反应系数 R^2 均大于0.95,说明蓝莓汁在贮藏过程中的感官评分符合一级反应动力学模型。因此,选择一级动力学方程作为蓝莓汁感官评价的能级方程。进一步分析表明,两种杀菌方法对蓝莓汁在不同温度下的感官评分的 $\sum R^2$ 分别为2.9309和2.9810,说明基于感官的动力学模型具有较好的拟合精度。

表 2 理化指标与感官评定的相关分析
Table 2 Correlation analysis between physicochemical indexes and sensory evaluation

| 处理方法 | 贮藏温度(℃) | 指标 | 感官评分 | pH | 可溶性固形物含量 | 总酚含量 | 抗坏血酸含量 |
|-------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|--------|
| 热杀菌 | 4 | 感官评分 | 1 | | | | |
| | | pH | 0.952** | 1 | | | |
| | | 可溶性固形物含量 | 0.945* | 0.857 | 1 | | |
| | | 总酚含量 | 0.992** | 0.962** | 0.911* | 1 | |
| | 27 | 抗坏血酸含量 | 0.943* | 0.922* | 0.915* | 0.917* | 1 |
| | | 感官评分 | 1 | | | | |
| | | pH | 0.980** | 1 | | | |
| | | 可溶性固形物含量 | 0.902* | 0.885 | 1 | | |
| | 37 | 总酚含量 | 0.987** | 0.956** | 0.934* | 1 | |
| | | 抗坏血酸含量 | 0.973** | 0.945* | 0.818 | 0.955** | 1 |
| | | 感官评分 | 1 | | | | |
| | | pH | 0.950** | 1 | | | |
| 超高压杀菌 | 4 | 可溶性固形物含量 | 0.961** | 0.917* | 1 | | |
| | | 总酚含量 | 0.993** | 0.951** | 0.956** | 1 | |
| | | 抗坏血酸含量 | 0.991** | 0.954** | 0.963** | 0.992** | 1 |
| | | 感官评分 | 1 | | | | |
| | 27 | pH | 0.68 | 1 | | | |
| | | 可溶性固形物含量 | 0.988** | 0.651 | 1 | | |
| | | 总酚含量 | 0.978** | 0.785 | 0.978** | 1 | |
| | | 抗坏血酸含量 | 0.992** | 0.722 | 0.989** | 0.994** | 1 |
| | 37 | 感官评分 | 1 | | | | |
| | | pH | 0.926* | 1 | | | |
| | | 可溶性固形物含量 | 0.984** | 0.902* | 1 | | |
| | | 总酚含量 | 0.975** | 0.940* | 0.967** | 1 | |
| | 37 | 抗坏血酸含量 | 0.991** | 0.929* | 0.977** | 0.994** | 1 |
| | | 感官评分 | 1 | | | | |
| | | pH | 0.826* | 1 | | | |
| | | 可溶性固形物含量 | 0.960** | 0.895* | 1 | | |
| | 37 | 总酚含量 | 0.972** | 0.888* | 0.990** | 1 | |
| | | 抗坏血酸含量 | 0.966** | 0.888* | 0.979** | 0.992** | 1 |

注: *: 显著相关($P<0.05$); **: 极显著相关($P<0.01$)。

表 3 不同贮藏温度下蓝莓汁感官评价的一级动力学模型参数

Table 3 First-order kinetic model parameters for sensory evaluation of blueberry juice at different storage temperatures

| 绝对温度(K) | 热杀菌 | | | | 超高压杀菌 | | | |
|--------------|----------------|---------|----------------|-----------------|----------------|---------|----------------|-----------------|
| | A ₀ | K | R ² | ΣR ² | A ₀ | K | R ² | ΣR ² |
| 277.15(4 ℃) | 9.8690 | -0.0489 | 0.9807 | | 10.0890 | -0.0351 | 0.9567 | |
| 300.15(27 ℃) | 9.6455 | -0.0739 | 0.9784 | 2.9309 | 9.8121 | -0.0702 | 0.9858 | 2.9180 |
| 310.15(37 ℃) | 9.1640 | -0.0905 | 0.9718 | | 9.9342 | -0.0960 | 0.9755 | |

表 4 蓝莓果汁饮料感官评价的 Arrhenius 方程
Table 4 Arrhenius equations for sensory evaluation of blueberry juice

| | 公式 | R ² | K ₀ | E _a |
|-------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 热杀菌 | lnK=-4315.9(1/T)+9.8539 | 0.9971 | 19032.44 | 35882.39 |
| 超高压杀菌 | lnK=-4592.1(1/T)+10.5935 | 0.9998 | 39847.81 | 38178.72 |

2.4.3 蓝莓果汁饮料贮藏过程感官评价的 Arrhenius 方程的建立 将表 4 中感官评分的 K 值代入式(2)计算 E_a 和 K₀。表 4 通过使用 Origin2021 软件进行线性回归分析得出。如表 4 所示, 两种灭菌方法处理的蓝莓果汁饮料感官评分回归方程的 R² 均大于 0.95, 进一步证实了感官评分可作为蓝莓果汁饮料货

架期预测模型建立的关键品质因子。

2.4.4 货架期预测模型的建立 在式(3)中带入不同温度得到的 K₀ 和 E_a, 可得到不同贮藏温度下以感官评分为质量指标的化学动力学货架期预测模型。两种杀菌方法对蓝莓果汁饮料感官评分的保质期模型如式(4)和式(5)所示。

$$SL_{\text{感官(热杀菌)}} = \frac{\ln A - \ln A_0}{19032.44 \times e^{-\left(\frac{35882.39}{R \times T}\right)}} \quad \text{式 (4)}$$

$$SL_{\text{感官(超高压杀菌)}} = \frac{\ln A - \ln A_0}{39847.81 \times e^{-\left(\frac{38178.72}{R \times T}\right)}} \quad \text{式 (5)}$$

2.4.5 货架期预测模型的验证与评价 表5是不同温度下贮藏蓝莓果汁饮料货架期品质的试验结果。可以看出,相对误差大多在10%以内。结果表明,货架期预测误差小于10%,具有较好的预测精度。本研究预测了蓝莓果汁饮料在不同贮藏温度(4、27、37℃)下的货架期。当蓝莓果汁饮料的感官评分低于5分时,即达到保质期结束。在保质期试验结束时,热灭菌和超高压灭菌样品的感官评分均高于5分(27℃)。因此,本实验建立的蓝莓果汁饮料剩余货架期预测模型具有较好的可靠性,能够有效预测蓝莓果汁饮料在4~37℃的剩余货架期,结果表明,超高压灭菌蓝莓果汁饮料的货架期高于热灭菌蓝莓果汁饮料,低温联合超高压灭菌蓝莓果汁饮料的贮藏期在6个月以上。

表5 货架期预测模型的验证与评价

Table 5 Validation and evaluation of shelf life predictive modeling

| | 温度(℃) | 预测值(d) | 测定值(d) | 误差(%) |
|-------|-------|--------|--------|-------|
| 热杀菌 | 4 | 155.41 | 168 | 7.49 |
| | 27 | 47.13 | 55 | 14.31 |
| | 37 | 29.64 | 32 | 7.38 |
| 超高压杀菌 | 4 | 201.07 | 220 | 8.60 |
| | 27 | 56.49 | 62 | 8.89 |
| | 37 | 34.49 | 38 | 9.23 |

3 结论

本研究通过微生物生长、感官评分、可溶性固形物、抗坏血酸含量等指标对蓝莓果汁饮料经超高压灭菌和热灭菌两种处理方式进行了对比,结果发现经超高压灭菌和热灭菌处理的蓝莓果汁饮料在贮藏结束时均未检测到微生物,说明这两种灭菌处理方式都可以达到完全灭菌的效果。但蓝莓果汁饮料经超高压灭菌后感官评分、可溶性固形物、抗坏血酸含量等指标均高于热灭菌,这可能是由于某些细胞由于高压而破裂,导致大量细胞内物质溶解增加,导致可溶性固形物含量增加。

将Arrhenius方程与动力学方程相结合预测货架期的研究已经非常广泛,并且具有较高的预测精度。本研究建立了蓝莓果汁饮料在4~37℃范围内品质劣化动力学模型和货架期预测模型,其决定系数R²均大于0.95,因此,模型拟合精度较高。该模型可以基于感官评分,实现对蓝莓果汁饮料品质变化和剩余货架期的快速实时监控。货架期预测建模有助于企业实时控制储运条件,从而有效降低质量损失,具有重要的现实意义。在蓝莓果汁饮料运输和贮藏的过程中,蓝莓果汁因光照、温度及运输过程等外

界因素的影响导致其色泽及口感发生变化可能对蓝莓果汁产生一定的影响,也是本试验尚待解决的问题。在今后的试验中致力解决其包装及运输过程对其带来的影响。也可以根据国标在其中加入一定的食品添加剂增加蓝莓果汁饮料稠度使其体系更加稳定。

参考文献

- [1] Rokaayya S, Jia F G, Li Y, et al. Application of nano-titanium dioxide coating on fresh Highbush blueberries shelf life stored under ambient temperature[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 137: 110422.
- [2] Hou Y N, Wang R X, Gan Z L, et al. Effect of cold plasma on blueberry juice quality[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 79–86.
- [3] Zhang W J, Shen Y X, Li Z D, et al. Effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on anthocyanin content, polyphenol oxidase and β-glucosidase activities, color, and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium* spp.) puree[J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128564.
- [4] Jia X Y, Wang Y H, Lin Y, et al. Blueberry polyphenols extract as a potential prebiotic with anti-obesity effects on C57BL/6J mice by modulating the gut microbiota[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2019, 64: 88–100.
- [5] Zhang H C, Tsai S, Tikekar R. Inactivation of *Listeria innocua* on blueberries by novel ultrasound washing processes and their impact on quality during storage[J]. Food Control, 2021, 121: 107580.
- [6] Orellana P, Petzold G, Pierre L, et al. Protection of polyphenols in blueberry juice by vacuum-assisted block freeze concentration[J]. Food & Chemical Toxicology, 2017, 109: 1093–1102.
- [7] 刘刚, 马岩, 孟宪军, 等. 响应面法优化酶法提取蓝莓果汁工艺条件[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 76–80. [Liu G, Ma Y, Meng X J, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis conditions for enhanced juice yield from blueberry fruits using response surface methodology[J]. Food Science, 2013, 34(14): 76–80.]
- [8] Zhu N, Zhu Y, Yu N, et al. Evaluation of microbial, physicochemical parameters and flavor of blueberry juice after microchip-pulsed electric field[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 146–155.
- [9] Porretta S, Birzi A, Ghizzoni C, et al. Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice[J]. Food Chemistry, 1995, 52(1): 35–41.
- [10] 朱香澔, 段振华, 刘艳, 等. 西番莲果汁饮料超高压灭菌工艺优化[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 18–24. [Zhu X H, Duan Z H, Liu Y, et al. Optimization of ultra-high pressure sterilization process of passion fruit juice beverage[J]. Food Industry, 2018, 39(11): 18–24.]
- [11] 吕长鑫, 刘苏苏, 李萌萌, 等. 超高压处理对南果梨汁杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016(6): 117–122. [Lv C X, Liu S S, Li M M, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on germicidal efficacy and quality of nanguo pear juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2016(6): 117–122.]
- [12] 史波林, 赵镭, 支瑞聪. 基于品质衰变理论的食品货架期预

- 测模型及其应用研究进展[J]. 食品科学, 2012(21): 345–350.
- [Shi B L, Zhao L, Zhi R C. Advances in predictive shelf life models based on food quality deterioration theory and their applications[J]. Food Science, 2012(21): 345–350.]
- [13] 谢旭. 高静水压及热处理对蓝莓汁抗氧化性和营养品质影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020. [Xie X. Effects of high hydrostatic pressure and thermal processing on the antioxidant and nutritional quality of blueberry juice[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.]
- [14] 迟恩忠, 王丽, 杜传来, 等. 蓝莓原汁贮藏品质的变化及其货架期预测[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 187–190. [Chi E Z, Wang L, Du C L, et al. Storage quality changes and the shelf life prediction of blueberry juice[J]. Food Industry, 2018, 39(2): 187–190.]
- [15] Tavarini S, Degl'Innocenti E, Remorini D, et al. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 282–288.
- [16] Barba F J, Ger H J, Meneses N, et al. Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 14: 18–24.
- [17] Ning Z, Yue Z, Ning Y, et al. Evaluation of microbial, physicochemical parameters and flavor of blueberry juice after microchip-pulsed electric field[J]. Food Chemistry, 2018, 274: 146–155.
- [18] 刘政权, 张惠, 王会芳, 等. 不同贮藏温度下抹茶品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2020, 40(3): 198–204. [Liu Z Q, Zhang H, Wang H F, et al. Quality changes and predictive modeling of shelf life of matcha stored at different temperatures[J]. Food Science, 2020, 40(3): 198–204.]
- [19] Zhang W, Lv Z Z, Shi B, et al. Evaluation of quality changes and elasticity index of kiwifruit in shelf life by a nondestructive acoustic vibration method[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 173: 111398.
- [20] 曹勇, 张隋鑫, 许秀颖, 等. 玉米薄饼贮藏品质分析及货架期预测模型建立[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 235–242. [Cao Y, Zhang S X, Xu X Y, et al. Quality analysis of stored corn pancake and establishment of shelf-life prediction model[J]. Food Science, 2021, 42(1): 235–242.]
- [21] 吉哲等编译. 感官分析方法[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1994: 176–199. [Ji Z. Sensory analysis method[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology and Health Press, 1994: 176–199.]
- [22] 毛明. 基于恒压式超高压技术的黄瓜汁杀菌与保鲜研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012. [Mao M. Inactivation of *Escherichia coli* in fresh cucumber juice and a shelf life study using high hydrostatic pressure[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.]
- [23] Zhang W, Luo Z W, Wang A C, et al. Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits[J]. LWT, 2021: 138.
- [24] 李娜. 橙与梨两种果汁产品配方研发及其货架期的预测[D]. 西安: 陕西师范大学, 2015. [Li N. The development of formulation and prediction of shelf life for two kinds' juice product with orange and pear[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2015.]
- [25] 王寅. 超高压处理对蓝莓汁的品质影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013. [Wang Y. The effect of ultra high pressure on the quality of blueberry juice[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.]
- [26] Guerrouj K, Rubio M, Taboada A, et al. Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice[J]. Food & Bioproducts Processing, 2016, 99: 20–28.
- [27] 夏晓雨, 王凤娟, 符群, 等. 几种单元操作对蓝莓果汁饮料酚类物质含量及抗氧化活性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(11): 125–131. [Xia X Y, Wang F J, Fu Q, et al. Effects of some unit operations on phenolic compounds content and antioxidant activity of blueberry juice beverage[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(11): 125–131.]
- [28] 张微. 超高压和热处理对热带果汁品质影响的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010. [Zhang W. Comparison of effects of ultra-high pressure treatment and heat treatment on qualities of tropical fruit juices[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.]
- [29] 邓红, 马婧, 李涵, 等. 超高压杀菌处理冷破碎猕猴桃果浆贮藏期的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 127–133, 139. [Deng H, Ma J, Li H, et al. Quality changes of cold broken kiwifruit pulp treated by ultra high pressure sterilization during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(8): 127–133, 139.]
- [30] Song Y, Hu Q, Wu Y, et al. Storage time assessment and shelf-life prediction models for postharvest *Agaricus bisporus*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 101: 360–365.