

# 磁场冷冻冷藏箱浆果保鲜案例分析

周宇益<sup>1</sup>, 李荣明<sup>1</sup>, 黄文哲<sup>1</sup>, 金亚美<sup>2</sup>, 徐学明<sup>2</sup>, 杨哪<sup>2\*</sup>

(1. 英都斯特(无锡)感应科技有限公司, 江苏 无锡 214000; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214000)

**摘要:** 冷冻冷藏保鲜是果蔬保藏的重要环节。磁场保鲜作为一种新型物理场技术, 影响果蔬的呼吸作用、水分蒸腾、生理特征及代谢活性。本文应用磁场冷冻冷藏箱对蓝莓进行保鲜处理, 对比不同恒稳磁场环境下蓝莓果实失重率、腐烂率、丙二醛摩尔质量和花青素质量分数等理化特性的变化, 探究恒稳磁场冷藏保鲜对果蔬冷藏品质的影响, 并为今后该设备在冷冻冷藏领域中的应用提供技术指导。

**关键词:** 恒稳磁场; 冷藏保鲜; 蓝莓; 品质; 活性成分

## Case analysis of magnetic field refrigerator on berry preservation

Zhou Yuyi<sup>1</sup>, Li Rongming<sup>1</sup>, Huang Wenzhe<sup>1</sup>, Jin Yamei<sup>2</sup>, Xu Xueming<sup>2</sup>, Yang Na<sup>2\*</sup>

(1. INDUC Scientific Co., Ltd. Wuxi 214035, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Refrigeration is an important link in the preservation of fruits and vegetables. As a new physical field technology, magnetic field preservation affects the respiration, water transpiration and physiological metabolism of fruits and vegetables. In this paper, the magnetic field refrigerated box was used to keep blueberries fresh, and the changes of physical and chemical properties of blueberries, such as weight loss rate, decay rate, molar mass of malondialdehyde and anthocyanin mass fraction, were compared under different constant magnetic field environments. The effects of constant magnetic field refrigerated storage on the quality of fruits and vegetables were explored, and technical guidance was provided for the future application of this equipment in the field of refrigeration.

**Keywords:** static magnetic field; preservation; Blueberry; quality; active ingredient

## 1 仪器设备

磁场冷冻冷藏箱(MFF10)如图1所示, 包括壳体、样品腔体、磁场发生器、PLC控

制器、空气加热的器、制冷压缩机和温度传感器。磁场冷冻冷藏箱可实现程控弱磁场环境的农产品、水产品及其加工制品、生化样品低能耗高品质冷藏保鲜关键技术，解决其在储藏过程中出现的品质劣变问题，实现高品质冷冻冷藏。



图 1 磁场冷冻冷藏箱

表 1 磁场冷冻冷藏箱技术参数

指标	仪器性能
磁场类型	恒稳磁场
磁场强度	0~10 mT
温度	-20℃~RT
腔体容积	50 L
输入电压	220 V

## 2 预处理流程及分析方法

### 2.1 样品处理与贮藏

称取形状和大小均匀，表皮无损伤的 100 g 蓝莓整果，置于磁场辅助冷冻冷藏箱，4 °C 下冷藏 7 d。在冷藏期间，1 d、3 d、5 d 和 7 d 取样，研究 0 mT（对照组）、3 mT、6 mT 和 10 mT 强度的恒稳磁场对蓝莓冷藏保鲜过程中失重率、腐烂率、MDA 摩尔质量、花青素质量分数的影响。

### 2.2 失重率的测定

$$\text{失重率}/\% = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100\%$$

式中： $m_0$ -样品的初始质量（g）； $m_t$ -贮藏 t 天的样品质量（g）。

### 2.3 腐烂率的测定

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{n_0 - n_t}{n_0} \times 100\%$$

式中： $n_0$ -初始果实数量（个）； $n_t$ -贮藏  $t$  天的果实腐烂数量（个），当果实腐烂面积超过 25%即视为腐烂。

## 2.4 MDA 摩尔质量的测定

参考 Shi 等人的方法<sup>[1]</sup>，称取 1 g 蓝莓样品，加入 5 mL 100 g/L 三氯乙酸溶液研磨成浆，在 4 °C，5000 r/min 下离心 20 min，取上清液 2 mL，加入 2 mL 6.7 g/L 硫代巴比妥酸溶液，混合均匀后降至室温，5000 r/min 下离心 20 min。测定其在 450nm、532nm 和 600 nm 波长下的吸光度值，重复测定 3 次。

$$\text{MDA 摩尔质}/(\mu\text{mol}/100\text{g}) = \frac{[6.45(OD_{532} - OD_{600}) - 0.56 \times OD_{450}] \times V}{m}$$

式中： $OD_{532}$ -混合液在 532nm 波长下的吸光度值； $OD_{600}$ -混合液在 600 nm 波长下的吸光度值； $OD_{450}$ -混合液在 450 nm 波长下的吸光度值； $V$ -样品提取液总体积（mL）； $m$ -样品重量（g）。

## 2.5 花青素质量分数的测定

采用 pH 示差法测定蓝莓中花青素的质量分数<sup>[2]</sup>，以丙酮：水：甲酸=80：20：0.2 为提取液，取 5 g 洗净擦干的蓝莓果实，加入 10 mL 提取液研磨成浆，混匀后 4 °C，5000 r/min 离心 20 min。上清液经 0.45  $\mu\text{m}$  有机系滤膜过滤后，取 1 mL，加入 pH1.0 的 0.25 mol/L 氯化钾缓冲溶液或 pH4.5 的 0.4 mol/L 醋酸钠缓冲溶液 4 mL，混合均匀后，测定样品在 520 nm 和 700 nm 处的吸光度值。

$$\text{花青素质量分数}/(\text{mg}/\text{g}) = \frac{A}{\epsilon L} \times 10^3 MbV$$

$$A = (A_{520\text{nm},\text{pH}1.0} - A_{700\text{nm},\text{pH}1.0}) - (A_{520\text{nm},\text{pH}4.5} - A_{700\text{nm},\text{pH}4.5})$$

式中： $A$ -吸光度值； $\epsilon$ -矢车菊花素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数， $\epsilon=26900$ ； $L$ -比色皿光路长度/cm， $L=1$  cm； $M$ -矢车菊花素-3-葡萄糖苷的摩尔质量 g/mol， $M=449.2$  g/mol； $b$ -稀释倍数； $V$ -最终体积 mL。

## 2.6 数据分析

使用 ORIGIN8.5 制图，SPSS22.0 进行数据分析。每个样品重复检测 3 次，取平均值。

# 3 磁场冷冻冷藏箱案例分析

## 3.1 恒稳磁场冷藏保鲜对蓝莓表观形态的影响

10 mT 恒稳磁场环境下，蓝莓冷藏保鲜 0~7 d 的表观形态变化如图 2 所示。4 °C 下贮藏 3 d 后，对照组中蓝莓果皮表面出现褶皱，5 d 后果皮褶皱愈加明显，果实出现瘫软，7 d 后果实失水加剧，果实干瘪瘫软。恒稳磁场环境冷藏 7 d 后仅有 3%的果皮表面出现褶皱，大部分蓝莓果实仍呈现饱满状态。恒稳磁场影响蓝莓内源酶活性，改善蓝莓表观状态。

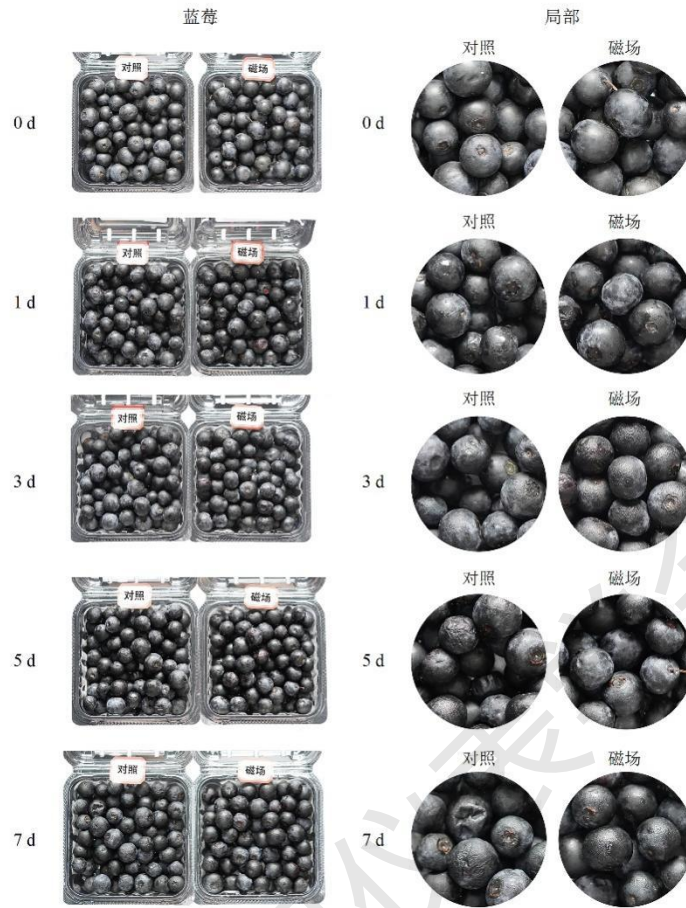


图 2 10 mT 恒稳磁场环境下蓝莓冷藏表现形态

### 3.2 恒稳磁场冷藏保鲜对蓝莓失重率的影响

水分是果蔬保鲜的重要因素，果蔬组织与空气间存在压力差，贮藏期间果蔬因呼吸作用及水分蒸腾效应，水分子在果蔬细胞和组织中扩散，水分流失，导致其重量减少，果实组织软化。从图 3 中可以发现，冷藏 7 d 时，对照组中蓝莓失重率达到 6.04%，而随恒稳磁场强度增加，蓝莓失重率显著下降，3、6 和 10 mT 恒稳磁场环境下的蓝莓失重率分别较对照组下降为 27.98%、38.74%和 55.63%。磁场环境下，蓝莓中自由离子和溶质分子受到洛伦兹力的作用，扩散和迁移速率减缓，细胞膜极性磷脂双分子层排列更加紧密有序，水分子跨膜扩散通量降低，细胞呼吸作用减弱<sup>[3,4]</sup>。恒稳磁场环境下冷藏保鲜蓝莓，在改善蓝莓表现形态的同时，可有效降低蓝莓失重率。

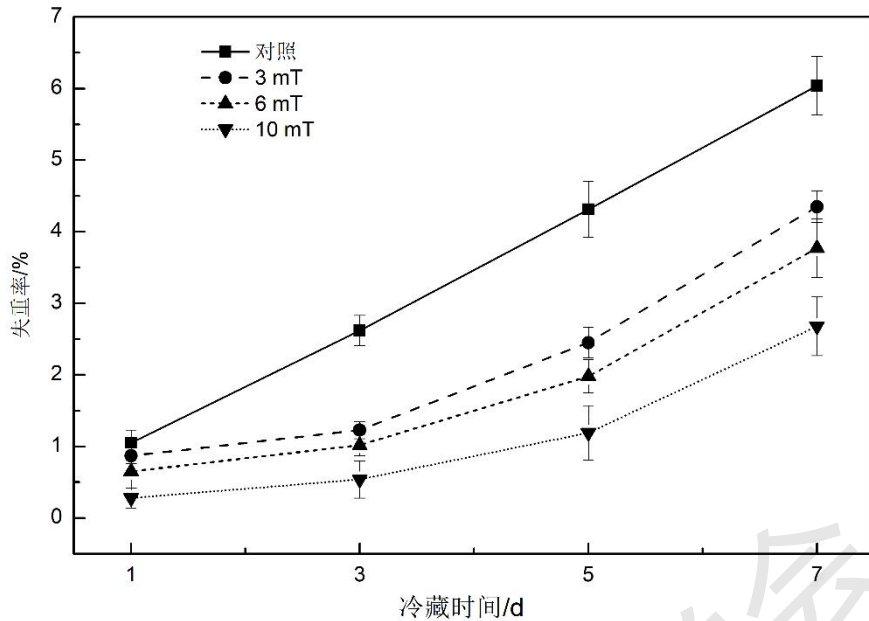


图3 恒稳磁场环境对蓝莓冷藏过程中失重率的影响

### 3.3 恒稳磁场冷藏保鲜对蓝莓腐烂率的影响

腐烂率是果蔬贮藏重要的质量评价指标。随果蔬贮藏期的延长，大肠杆菌、葡萄球菌和酵母菌等微生物代谢活性增强，果蔬腐烂率增加。从图4中可以发现，冷藏7d时，对照组中蓝莓的腐烂率达到5.23%，而随恒稳磁场强度增加，蓝莓腐烂率显著下降，10mT恒稳磁场环境下蓝莓的腐烂率仅为1.98%，蓝莓腐烂率降低62.14%。恒稳磁场环境可有效抑制蓝莓中的病原菌和腐败菌增殖，延缓蓝莓腐烂，显著提升蓝莓贮藏品质。

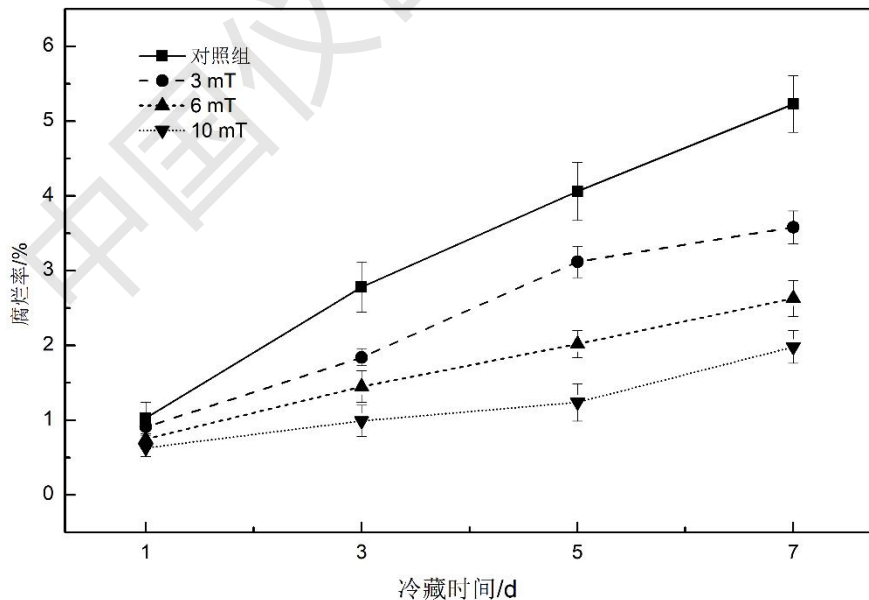


图4 恒稳磁场环境对蓝莓冷藏过程中腐烂率的影响

### 3.4 恒稳磁场冷藏保鲜对蓝莓MDA摩尔质量的影响

MDA是脂质过氧化的终产物之一，是衡量膜脂损伤的重要指标。蓝莓冷藏过程中细胞

组织发生氧化应激，抑制蛋白质合成，细胞膜泄露加剧。从图 5 中可以发现，蓝莓冷藏过程中，MDA 呈上升趋势，冷藏前 3 d，对照组与恒稳磁场环境下蓝莓 MDA 差异较小。冷藏 7 d 时，3、6 和 10 mT 恒稳磁场环境下，蓝莓 MDA 摩尔质量较对照组分别下降 4.96%、10.74% 和 19.01%，蓝莓中脂质过氧化物含量显著降低。在磁场作用下，化学反应中的塞曼分裂大于分子的超精细组装相互作用能，减少自由基形成<sup>[5]</sup>。恒稳磁场环境下，蓝莓果实中自由基减少，有效抑制 MDA 合成，减少脂质氧化，延长蓝莓贮藏时间。

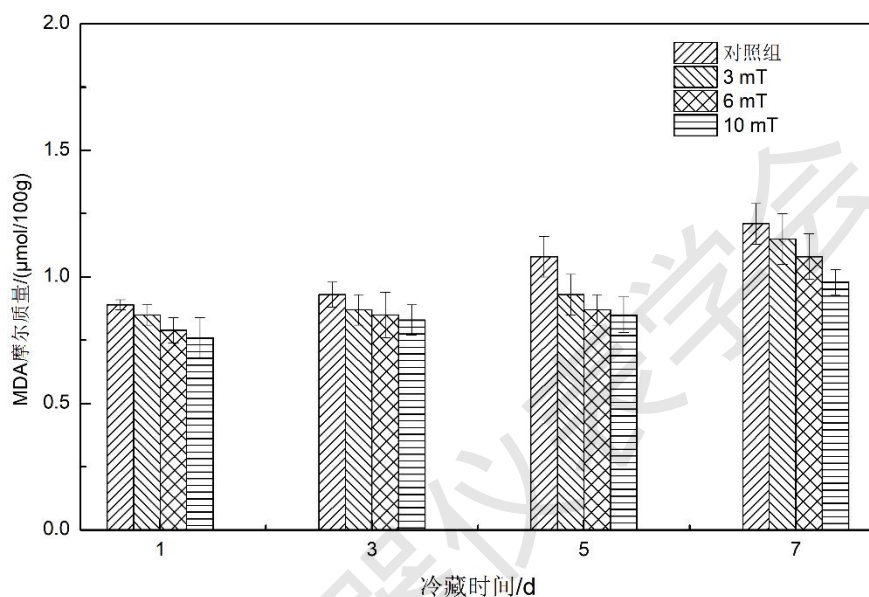


图 5 恒稳磁场环境对蓝莓冷藏过程中 MDA 摩尔质量的影响

### 3.5 恒稳磁场冷藏保鲜对蓝莓花青素质量分数的影响

蓝莓富含花青素，是其主要活性成分。从图 6 中可以发现，随贮藏时间延长，蓝莓中花青素质量分数逐渐下降。与蓝莓 MDA 变化结果一致，随恒稳磁场强度增加，脂质氧化减弱，果实中花青素等活性成分质量分数增加。贮藏 3 d，与对照组相比，10 mT 恒稳磁场环境下，蓝莓中花青素质量分数提高 7.25%。贮藏至 7 d 时，10 mT 恒稳磁场环境下，蓝莓中保留的花青素质量分数为对照组的 1.12 倍。恒稳磁场环境下，蓝莓中抗氧化酶活性增强，减少氧化，活性成分降解减缓，有效提高蓝莓冷藏保鲜品质。

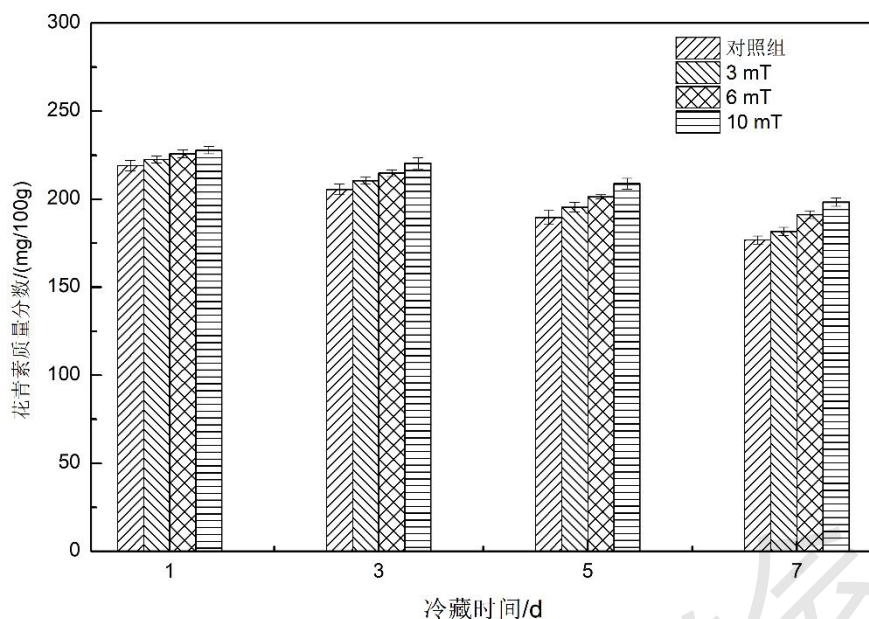


图6 磁场环境对蓝莓冷藏过程中花青素质量分数的影响

## 4 结论

以蓝莓为原料,在不同强度恒稳磁场环境下贮藏7天,对比磁场组与对照组,随恒稳磁场强度增加,蓝莓理化特性显著改善。磁场冷藏下蓝莓失重率和腐烂率下降,MDA摩尔质量显著下降,花青素氧化损伤减小。磁场技术运用于传统冷藏保鲜,延长果蔬货架期的同时,减少果蔬营养及活性成分损失,改善果蔬食用体验,为果蔬高品质冷藏保鲜提供新的技术方法。

### 参考文献:

- [1] Shi S Y, Wang W, Liu L Q, et al. Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 118(1): 125-131.
- [2] 王凤娟, 孙飞龙, 叶文文, 等. pH 示差法测定红菊苣中花青素条件的优化[J]. 包装与食品机械, 2018, 36(5): 61-64.
- [3] WANG Z, HAO F T, DING C, et al. Effects of static magnetic field on cell biomechanical property and membrane ultrastructure[J]. Bioelectromagnetics, 2014, 35(4):251-261.
- [4] CORTELLINO G, GOBBI S, BIANCHI G, et al. Modified atmosphere packaging for shelf life extension of fresh-cut apples[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 46(2):320-330.
- [5] WELLER A, NOLTING F, STAERK H. A quantitative interpretation of the magnetic field

effect on hyperfine-coupling-induced triplet formation from radical ion pairs[J]. Chemical Physics Letters, 1983, 96(1):24-27.

中国仪器仪表学会