

低压静电场辅助低温对葡萄和无花果保鲜效果的影响

崔 帅^{1,2}, 段玉权^{1*}, 侯华铭², 赵焱焱¹, 陈益胜^{2*}

(1. 农业农村部农产品加工与贮藏重点实验室、农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室, 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193; 2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 食品营养与安全检测研究中心, 太原 030801)

摘 要: 目的 探讨了低压静电场(low voltage electrostatic field, LVEF)处理对水果采后贮藏过程中腐烂程度、生理品质的影响。**方法** 以葡萄和无花果为实验材料, 以纯低温组作为对照, 探讨 LVEF 辅助低温环境下对两种水果感官品质、失重率、可溶性固形物含量、总酸含量、腐烂率等重要新鲜度指标的影响。**结果** LVEF 辅助低温能更好地保持葡萄和无花果的感官品质; 随着贮藏时间的延长, LVEF 处理能有效抑制葡萄、无花果果实失重率的上升, 贮藏到 12 d 时, 低温组葡萄、无花果失重率分别为 11.74%和 5.55%, LVEF 处理组分别为 0.64%和 1.34%, LVEF 处理组仅为低温组的 5.45%和 24.14%; 可有效减缓葡萄、无花果腐烂率的升高, 储藏过程中葡萄、无花果一直保持良好的感官性状, 腐烂率仅 1.76%、21.46%; 可有效抑制葡萄、无花果果实可溶性固形物含量下降, 低温组葡萄、无花果可溶性固形物含量分别为 16.90%和 8.87%, LVEF 处理组分别为 17.10%和 9.50%; 低温组葡萄、无花果的总酸含量分别为 0.25%和 0.05%, LVEF 处理组分别为 0.38%和 0.14%, 处于 LVEF 的葡萄、无花果中总酸含量分别是低温组的 1.52 倍和 2.80 倍。**结论** LVEF 辅助低温保鲜效果明显优于低温保鲜, 通过 LVEF 辅助低温保鲜方式有利于保持葡萄和无花果的生理品质, 大大延长了贮藏时间。

关键词: 葡萄; 无花果; 低压静电场; 低温保鲜

Effects of low voltage electrostatic field assisted low temperature on preservation of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.

CUI Shuai^{1,2}, DUAN Yu-Quan^{1*}, HOU Hua-Ming², ZHAO Yao-Yao¹, CHEN Yi-Sheng^{2*}

(1. Key Laboratory of Agro-Products Processing, Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing, 100193, China; 2. Institute of Food Nutrition and Safety, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030801, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of low voltage electrostatic field (LVEF) treatment on the level of fruit decay and its physiological quality during postharvest storage. **Methods** The *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. was used as research materials and pure low temperature group as control. On this basis, the influence of

基金项目: 农业农村部农产品加工重点实验室项目、农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室项目(S2021KFKT-26)

Fund: Supported by the Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, and the Key Laboratory of Quality, Safety, Storage, and Transportation Control of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (S2021KFKT-26)

***通信作者:** 段玉权, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品保鲜与贮藏。E-mail: caudyq7851@126.com

陈益胜, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品质量与加工。E-mail: cheniyisheng@sxau.edu.cn

***Corresponding author:** DUAN Yu-Quan, Ph.D, Associate Professor, Key Laboratory of Agro-products Processing, Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China. E-mail: caudyq7851@126.com

CHEN Yi-Sheng, Ph.D, Professor, Institute of Food Nutrition and Safety, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030801, China. E-mail: cheniyisheng@sxau.edu.cn

LVEF-assisted low temperature on certain indicators for elevating the freshness of the two fruits was discussed, such as sensory quality, weight loss rate, soluble solids content, total acid content, and rot rate. **Results** The LVEF-assisted low temperature could maintain good sensory quality. With the extension of storage time, the LVEF treatment could effectively inhibit the increase of weight loss rate in the fruit of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn., and when stored for 12 days the weight loss rates of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. were 11.74% and 5.55% in the low-temperature group, and the LVEF group were 0.64% and 1.34%, and the LVEF group were 5.45% and 24.14% of the low-temperature group, respectively. The LVEF treatment can effectively slow down the increase of the decay rate of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.. The two fruits have maintained good sensory characteristics during storage, and the decay rate were only 1.76% and 21.46% in LVEF group. The contents of soluble solids in *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. fruit were 16.90% and 8.87% in low-temperature group, and the LVEF group were 17.1% and 9.50%, respectively. The total acid content of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. in low-temperature group was 0.25% and 0.05%, and that in LVEF group was 0.38% and 0.14%, respectively. The total acid content of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. in LVEF group was 1.52-fold and 2.80-fold of that in low-temperature group, respectively. **Conclusion** The effects of the LVEF-assisted low temperature treatment is significantly better than the low temperature, and the preservation method of LVEF-assisted low temperature can contribute to keep the physiological quality of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn. and greatly prolongs the storage time.

KEY WORDS: *Vitis vinifera* Linn.; *Ficus carica* Linn.; low voltage electrostatic field; low temperature preservation

0 引 言

葡萄(*Vitis vinifera* Linn.)和无花果(*Ficus carica* Linn.)的果实因口感酸甜、富含多种维生素和营养物质,更具有抗氧化衰老、抑菌防癌等保健功能^[1],深受人们喜爱。葡萄属于非呼吸跃变型水果^[2],由于其果穗松散和果肉柔软的特性,使其易受到机械损伤,极易脱落、破皮^[3-4]。无花果属桑科榕属植物^[5],属于呼吸跃变型果实^[6],成熟无花果含水量高,果皮较薄易受机械损伤,八成熟的无花果放置 2~3 d 就会软化褐变、失水皱缩、霉变流水而达到贮藏极限^[7]。目前对于葡萄和无花果的贮藏与保鲜,主要的技术为 SO₂ 熏蒸贮藏、臭氧保鲜技术、热激处理、冷激处理、中草药提取物处理、涂膜处理、化学保鲜剂处理等。然而,传统的 SO₂ 熏蒸贮藏会对果实造成漂白伤害,同时会产生具有刺激性气味的酚类化合物,且 SO₂ 残留问题并未完全得到解决^[8];多次臭氧处理会加速维生素 C 和单宁物质的氧化,降低可滴定酸的含量^[9];热激处理、冷激处理、中草药提取物处理都会对无花果原有的组织产生一些影响;涂膜处理会严重地影响葡萄和无花果的外观,化学保鲜剂处理后容易使果实表面存在化学物质残留^[10]。相较于传统的保鲜技术,物理保鲜技术是一种绿色、无接触、无损、有效的保鲜技术。

物理场保鲜技术是利用物理场对农产品进行保鲜。不同于化学保鲜,物理场保鲜更加的安全、有效、清洁。常见用于保鲜的物理场有:温度场、光、电场、磁场、超声波、辐照以及多物理耦合场。其中低压静电场(low voltage electrostatic field, LVEF)保鲜技术尤其引人注目。静电场技术是利用电场放电原理在一定空间内形成一个负离子

环境^[11],负离子具有抑制果蔬新陈代谢、减缓呼吸活动、降低酶活性等作用^[12]。避免了电场板直接接触物料,还可以增强超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性,清除自由基。LVEF 技术最初主要用于水产品及肉类的解冻^[12],现已逐渐应用于果蔬的保鲜。徐纯^[13]探究了 LVEF 处理对振动损伤后草莓果实品质的影响,结果表明,经过 LVEF 处理的草莓组能更好地保持草莓的硬度,降低了草莓果实的重量损失,提高了可溶性固形物的保有率,并且有效地抑制了损伤草莓的呼吸强度。郭家刚等^[14]研究了 LVEF 辅助冷冻对竹笋冻结特性的影响。结果表明,在竹笋样品与静电板 10~40 cm 间距条件下, LVEF 辅助冷冻提高了冻结效率,改变了冰晶形态及分布,减轻了组织微观结构破损程度,改善了解冻汁液流失情况。孟晓曼等^[15]将 LVEF 保鲜技术与真空协同贮藏保鲜技术相结合,探究 LVEF-真空处理对白玉菇的保鲜效果。结果表明, LVEF-真空处理具有协同增效的作用,且经 LVEF 处理的白玉菇的感官品质得到了改善。杨亚丽^[16]研究了采前优选生理调节剂与采后低温 LVEF 处理相结合的保鲜效果。结果表明,灵武长枣经 4 种不同电场强度的处理后,灵武长枣的贮藏品质和贮藏期都得到了提高。其中在 150 mV 的场强下,这种保鲜效果会更好,说明适宜的电场强度对枣的保鲜效果影响显著。

综上所述, LVEF 对果蔬产品有良好的保鲜效果,但目前未见针对葡萄、无花果的相关研究。因此本研究选用葡萄、无花果进行贮藏保鲜实验,以贮藏条件为实验因素,以感官品质、失重率、可溶性固形物(soluble solid, TSS)含量、总酸含量和腐烂率等作为指标,来验证 LVEF 保鲜技术的通用性,评价 LVEF 在低温贮藏下对葡萄、无花果的保鲜

效果, 以期为葡萄和无花果保鲜技术的综合利用与开发提供有价值的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本研究中葡萄品种选用巨峰, 订购自辽宁北镇巨峰葡萄种植基地, 并在采后 2 h 内运回实验室。选择果形整齐、大小均匀、无病虫害和机械损伤、色泽及成熟度一致的果实进行实验。无花果订购自云南禾语鲜种植基地, 采摘时排除任何有明显机械损伤或者病害的水果。挑选大小均一, 成熟度基本一致, 无病虫害及机械损伤果实作为试验对象。

氢氧化钠(分析纯, 天津市北辰方正试剂厂); 酚酞、邻苯二甲酸氢钾(分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司); 实验用水为超纯水。

1.2 仪器与设备

HH-4 数显恒温水浴锅(常州国华电器有限公司); SN-DR-3205 数显糖度计(上海力辰科学仪器有限公司); DENBA-08LVEF 发生器(广州保鲜科技有限公司); CN-LQC 型高精度电子天平秤(精度 0.001 g, 昆山优科维特电子科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 低温保鲜实验

将挑选好的葡萄、无花果分别装入长 30 cm 宽 20 cm 保鲜盒中, 随后进行分组: 选择 3 串外观品质良好的葡萄

和 9 个无机械损伤、色泽鲜艳的无花果果实分别置于保鲜盒内, 每天拍照记录这个组内水果的外观的变化; 选取 6 个无花果和 3 串葡萄果实固定作为失重率的测量对象, 分别置于保鲜盒内, 每天称重记录这个组内水果重量的变化, 共 3 盒; 选取果形整齐、大小均匀、无病虫害和机械损伤、色泽及成熟度一致的葡萄果实, 共计 3 串葡萄果实, 放置于保鲜盒内, 每天记录葡萄的霉斑数量, 共 3 盒; 选取 3 串葡萄和 6 个无花果, 分别置于不同的保鲜盒内, 用于测定总酸含量、TSS 含量等指标, 共 12 盒。然后放置在温度 4℃、相对湿度 85%左右的冷库中进行保鲜实验。每两天测定一次指标, 以上组别涉及指标的测定均重复 3 次。

1.3.2 LVEF 结合低温保鲜实验

将挑选好的葡萄、无花果分别装入保鲜盒中, 随后按上述方法进行分组。将低压电场装置放置于上述冷库内, 然后将两种水果放置在低温电场环境下, 进行保鲜实验。每两天测定一次指标, 以上组别涉及指标的测定均重复 3 次。

1.3.3 感官品质和腐烂程度记录

分别选择 6 串外观品质良好的葡萄和 180 个无机械损伤、色泽鲜艳的无花果果实, 分为低温组与 LVEF+低温组。其中葡萄果实低温组颗粒数为 200, LVEF+低温组颗粒数为 303, 每组共计 3 串; 无花果低温组个数为 90, LVEF+低温组个数为 90。每天拍照观察^[17], 同时记录葡萄和无花果的霉斑数量, 参考文献[18]计算葡萄和无花果果实的腐烂率。葡萄感官评价表(表 1)参考文献[19], 无花果感官评价表(表 2)参考文献[10]。

表 1 葡萄感官评价指标
Table 1 Sensory evaluation index of *Vitis vinifera* Linn.

指标	评价标准(满分 100 分)
风味(25 分)	风味浓郁(17~25 分)、风味正常(9~16 分)、风味淡或异常(0~8 分)
色泽(25 分)	色泽鲜艳光亮(17~25 分)、色泽较暗(9~16 分)、色泽暗淡转褐(0~8 分)
质地(25 分)	果实饱满, 无皱缩(17~25 分)、果实轻微变软皱缩(9~16 分)、果实明显变软皱缩, 出现霉斑(0~8 分)
果梗(25 分)	果梗鲜绿(17~25 分)、果梗轻微褐变且略失水(9~16 分)、果梗严重褐变并明显失水(0~8 分)

表 2 无花果感官评价指标
Table 2 Sensory evaluation index of *Ficus carica* Linn.

指标	感官等级	分值
颜色与腐烂面积	颜色红润, 光泽饱满, 无腐烂	5
	颜色加深, 无光泽, 无腐烂	4
	深红颜色, 轻度褐变, 腐烂率<10%	3
	中度褐变, 腐烂率 10%~80%	2
	严重褐变, 腐烂率>80%	1
硬度	硬度良好	5
	硬度较好	4
	个别无花果软化, 起皱	3
	严重软化, 无汁液流出, 有水渍	2
	严重软化, 有汁液从底端流出	1
风味	风味正常, 有无花果的清香气味	5
	正常, 无气味	4
	微有酸味	3
	有霉腐味和酸味	2
	浓重的霉腐味和酸味	1

1.3.4 失重率测定

参考文献[13]并略作修改。将每组中的 6 颗无花果和 3 串葡萄果实固定作为失重率的测量对象并在分析天平上称重, 每组 3 个平行, 记录数据, 之后就随着实验的进行, 定时测量每组水果的重量, 按公式(1)计算失重率, 结果取平均值。

$$\text{失重率}/\% = \frac{\text{贮藏前果实重量} - \text{贮藏后果实重量}}{\text{贮藏前果实重量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.5 TSS 含量的测定

TSS 含量用糖酸度计测量, 根据文献[8]并略作修改。各处理组随机选取 30 个果粒, 设 3 个平行。称取 25 g 可食部分样品, 放入研钵中捣碎, 用纱布挤出汁液测定, 记录糖度计上的数据为 TSS 含量值, 每次操作均重复 3 次, 结果取平均值。

1.3.6 总酸含量的测定

总酸含量的测定采用酸碱中和滴定法, 参考文献[20]并略作修改。分别选取 3 颗葡萄、无花果, 放入研钵中捣碎, 用蒸馏水定容至 250 mL。静置 10 min 后过滤, 吸取 50 mL 提取液。用氢氧化钠标准溶液滴定葡萄、无花果的提取液, 向其中滴加 1 滴~2 滴酚酞指示剂, 通过计算消耗的氢氧化钠体积得到样品提取液中总酸含量。按式(2)计算总酸含量, 结果取平均值:

$$\text{总酸} = c \times V \times K \times V_0 / (m \times V_1) \times 100 \quad (2)$$

式中: c 为氢氧化钠溶液的浓度, 0.01 mol/L; V 为消耗的氢氧化钠体积, mL; V_0 为样品的总体积, mL; V_1 为滴定时所取样品上清液的体积, mL; m 样品质量, g。 K —换算系数, 即 1 mmol NaOH 相当于主要酸的质量, g。

1.3.7 数据处理

以上指标测定均重复 3 次, 采用 Origin 2022 进行作图, 采用 SPSS 26 软件进行单因素方差分析, 用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 LVEF 对贮藏中葡萄、无花果感官品质的影响

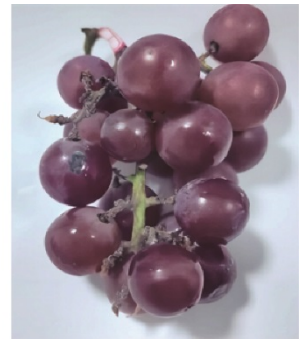
感官是衡量果蔬品质的重要指标之一, 它能直观反映果实整个贮藏期间的成熟度及新鲜程度, 给消费者留下第一印象。图 1、2 分别为葡萄、无花果贮藏后期第 8 d 的感官实物图。图 3 为低温组、LVEF+低温组葡萄感官品质雷达图。图 4 为低温组、LVEF+低温组无花果感官品质雷达图。果梗褐变的等级直接关系到消费者是否购买葡萄的决定^[21]。葡萄在低温环境下第 4 d 有部分果粒出现了失水褐变现象, 而经 LVEF+低温处理的葡萄变化不明显, 贮藏后期第 8 d 时部分果粒出现褐变现象。与 LVEF+低温组相比, 低温组在贮藏后期第 8 d 时出现了大面积果梗与果粒霉斑的现象, 果梗严重褐变并明显失水, 使葡萄出现了腐烂的气味, 感官评分值为 18.33 分, 失去了食用价值。在

整个贮藏期间, 经 LVEF+低温处理的葡萄无论外观还是气味都没有太大的变化, 果梗翠绿, 果粒饱满富含浓郁的香气, 感官评分最高, 达 64.00 分, 可以正常食用。原因可能是葡萄经低压电场处理后, 使得自身固有电场受到干扰, 降低了呼吸酶的活性, 抑制了葡萄的各项新陈代谢作用及生化反应, 延缓了葡萄的衰老过程, 维持其营养价值和食用品质^[17]。由图 3 可知, 当葡萄开始发生品质劣变时, 2 种处理组的葡萄的风味、果梗、色泽和质地 4 个感官指标差异较大, LVEF+低温处理组评分最佳。综上所述, LVEF 结合低温处理能够延缓葡萄感官品质中风味、果梗、色泽和质地品质的下降, 可以明显延长其货架期。

与葡萄果实相同, 无花果在低温环境下第 6 d 也出现大面积褐变现象, 而经 LVEF+低温处理的无花果并没有出现任何变化。由图 2、4 可知, 到贮藏后期第 8 d 时, 低温组所有果实都长满了厚厚的菌斑, 腐烂率达 80.00% 以上, 果实表皮发生严重软化, 有大量汁液从底端流出, 并有浓重的霉味和酸味, 感官评分仅有 1.33 分, 已失去了食用价值; 而 LVEF+低温组的无花果果实只有极少的褐变现象, 腐烂率仅有 10.00% 左右, 仅有个别果实出现软化, 气味略带酸味, 感官评分达 3.33 分。因此, LVEF 结合低温处理对无花果的感官品质具有较好的维持效果。



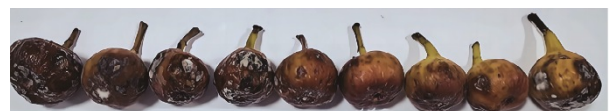
低温组贮藏第8 d实物图



LVEF+低温组贮藏第8 d实物图

图 1 葡萄感官实物图

Fig.1 Sensory quality map of *Vitis vinifera* Linn.



低温组贮藏第8 d实物图



LVEF+低温组贮藏第8 d实物图

图 2 无花果感官实物图

Fig.2 Sensory quality map of *Ficus carica* Linn.

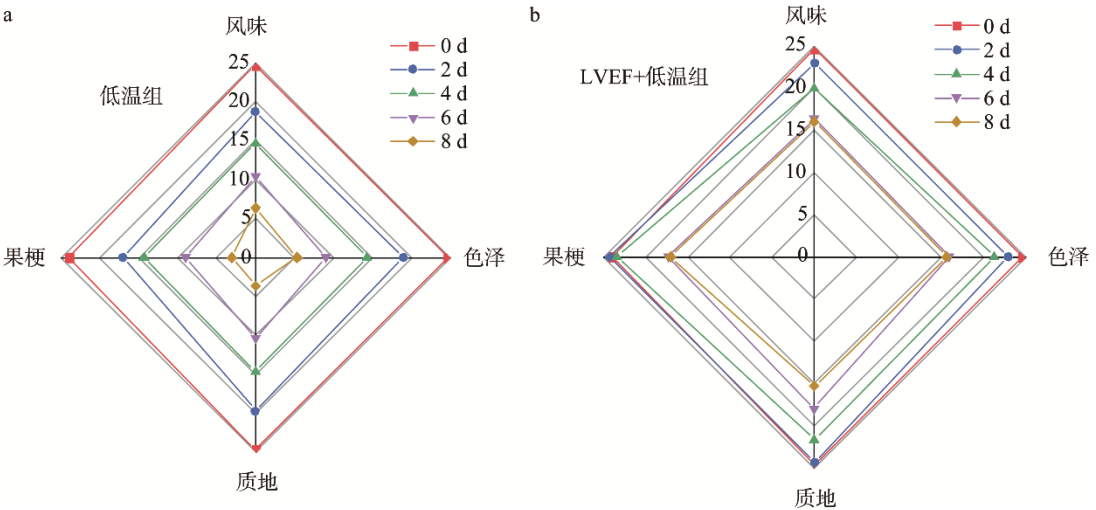


图 3 葡萄感官品质雷达图
Fig.3 Radar chart of the sensory qualities of *Vitis vinifera* Linn.

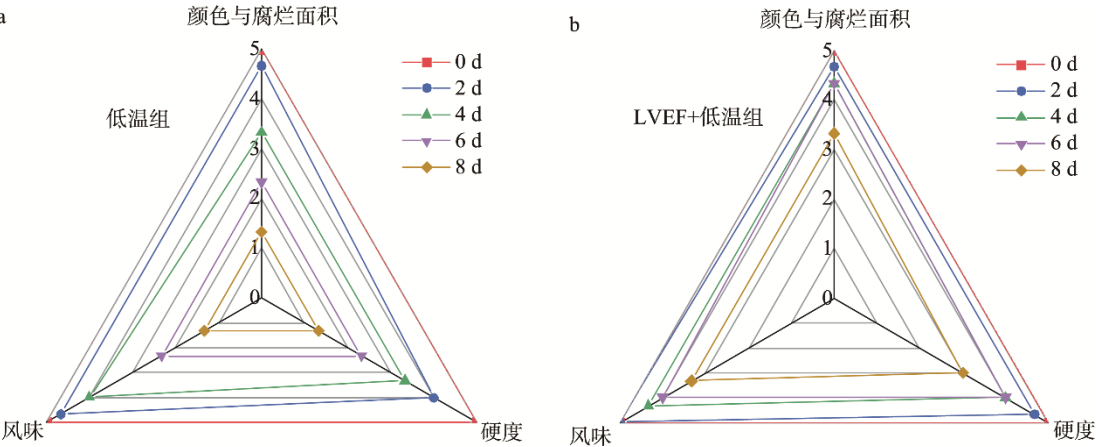


图 4 无花果感官品质雷达图
Fig.4 Radar chart of the sensory quality of *Ficus carica* Linn.

2.2 LVEF 对贮藏中葡萄、无花果失重率的影响

失重率是影响果实品质的重要因素,水果被采摘后,呼吸、蒸腾等生理作用所引起的营养物质与水分的代谢都会使果实的质量降低^[22]。图 5 为 LVEF 处理对葡萄和无花果失重率的影响变化图,可以看出两种水果无论在何种环境下,失重率都会随着贮藏时间的增长呈上升趋势,低温组上升速率最快,LVEF+低温组上升缓慢,且 LVEF+低温组的失重率始终低于低温组。贮藏到 12 d 时,低温组葡萄、无花果失重率分别为 11.74%和 5.55%,LVEF+低温处理组分别为 0.64%和 1.34%。与低温组相比,经 LVEF+低温处理后,葡萄与无花果果实的失重率均具有显著性差异 ($P<0.05$); LVEF+低温处理葡萄、无花果失重率变化最小。在贮藏 12 d 时,低温组葡萄、无花果的失重率比 LVEF+低温组分别高 94.55%、75.86%。可能是果实水分的流失^[23],水分损失降低了果实品质和细胞张力,导致新鲜度和商品

价值降低^[24]。这与吴玉婷等^[25]的研究结果一致,他们发现 LVEF 协同低温贮藏能减少水分和营养物质的流失。失重率前期变化缓慢后期出现大幅度失重原因可能是贮藏期间呼吸作用、蒸腾作用引起的。相比葡萄果实,无花果果实后期变化幅度更大,原因是无花果属于呼吸跃变型水果,后期出现较大的呼吸高峰,导致质量损失较大。经 LVEF+低温处理可以明显抑制两种水果失重率的上升,说明 LVEF 在很大程度上降低了呼吸强度。这一结果很好证实了周英杰等^[26]的研究。LVEF 处理抑制了葡萄、无花果失重率的上升,对贮藏后期的果实更为显著。

2.3 LVEF 对贮藏中葡萄、无花果 TSS 含量的影响

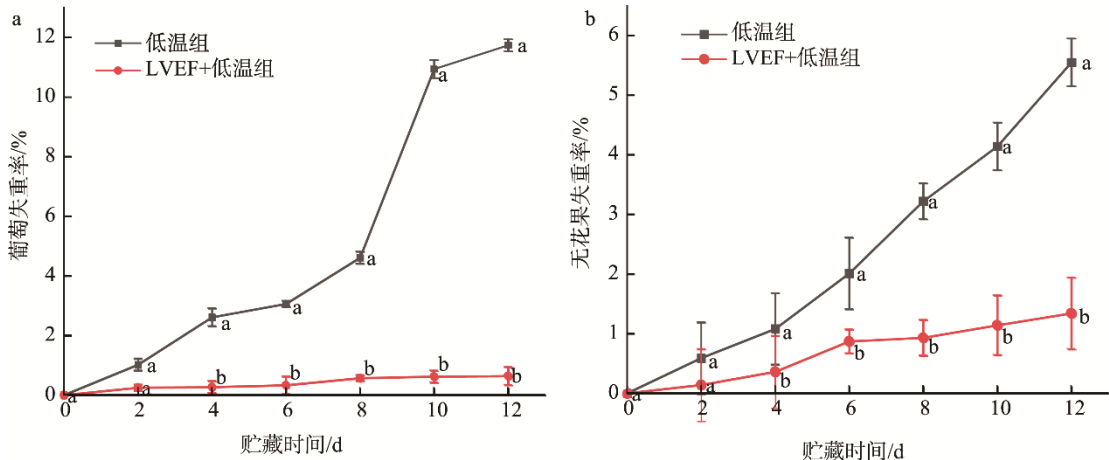
TSS 为以糖类为主的,酸、维生素、矿物质等水溶性化合物的总称^[27]。水果中以可溶性糖为主。葡萄果实中的 TSS 含量直接影响着葡萄的口感和风味^[28]。图 6 为 LVEF 处理对葡萄和无花果 TSS 的影响变化图。由图 6 可知,随

着贮藏时间的延长, 葡萄、无花果的 TSS 整体呈下降趋势。贮藏第 0 d, 葡萄、无花果 TSS 含量分别为 18.20%、11.03%。贮藏 12 d 时, 低温组、LVEF+低温组的葡萄 TSS 含量为 16.90%、17.10%; 无花果 TSS 含量为 8.87%、9.50%, 比初始两种水果的 TSS 含量分别降低了 7.14%、6.04%、19.58%、13.87%。TSS 含量下降原因可能是随着呼吸速率的增大使可溶性物质分解为 CO_2 和 H_2O 所致^[29]。这与左志强等^[30]的研究结果一致, 随着贮藏时间延长, 由于呼吸等生命活动消耗营养物质, 导致果实中 TSS 含量下降。这说明 LVEF 可以减慢葡萄和无花果果实的呼吸作用, 对延缓 TSS 损失具有一定作用。

2.4 LVEF 对贮藏中葡萄、无花果总酸含量的影响

总酸含量是影响果实风味的一个重要因素。果蔬中含有苹果酸、柠檬酸、酒石酸等多种有机酸, 总酸含量对果蔬风味、贮藏性、加工性均有影响, 且果蔬的总酸含量随着果蔬的成熟度而不断变化, 酸度降低, 果蔬品质也会有所下降^[31]。

图 7 为 LVEF 处理对葡萄和无花果总酸含量的影响变化图。由图 7 可知, 随着贮藏时间的延长, 葡萄、无花果中总酸含量呈现逐渐减少的总趋势。ZHANG 等^[32]认为这一现象可能是果实在储存期间, 有机酸作为呼吸底物的消耗导致酸含量下降。在贮藏第 2 d 后 LVEF+低温组的总酸含量较低温组下降缓慢, 且第 2 d 至第 12 d, LVEF+低温组的总酸含量一直高于低温组, 贮藏第 0 d, 葡萄、无花果总酸含量分别为 0.73%、0.19%。贮藏第 12 d 时, 低温组葡萄、无花果的总酸含量分别为 0.25% 和 0.05%, LVEF+低温处理组分别为 0.38% 和 0.14%, 葡萄、无花果经 LVEF+低温组处理的总酸含量分别高于低温组 34.21%、66.09%。经 LVEF+低温处理的无花果果实总酸含量变化更小, 说明 LVEF 不仅降低了呼吸强度, 还可能会推迟呼吸跃变型水果呼吸高峰的出现。张浩宇等^[33]推断原因是低压静电场未打乱原先的电子传递过程, 但减弱了电子传递过程的速率。说明 LVEF 处理能有效延缓两种水果贮藏后期总酸含量的降低。



注: 不同小写字母表示同一时间不同处理具有显著性差异($P<0.05$), 下同。

图 5 LVEF 处理对葡萄、无花果失重率的影响

Fig.5 Effects of LVEF treatment on weight loss rate of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.

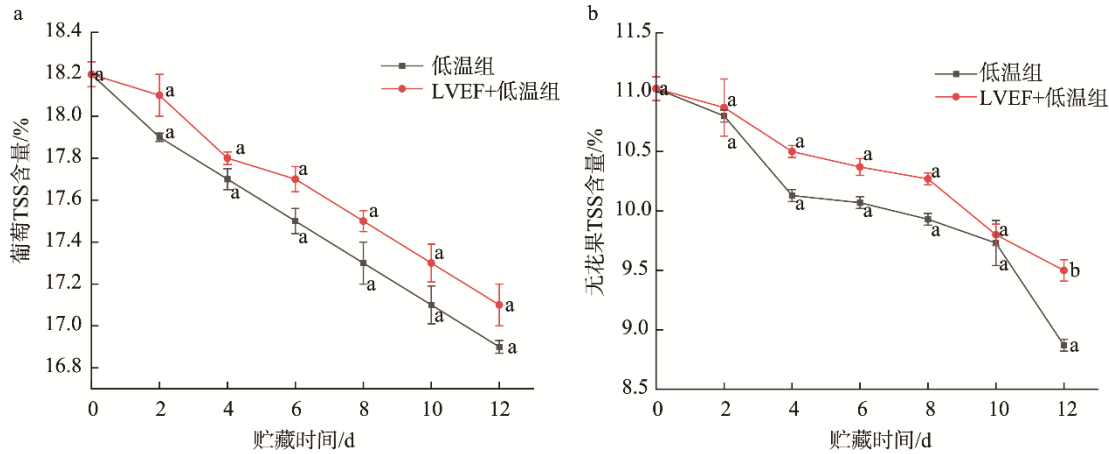


图 6 LVEF 处理对葡萄、无花果 TSS 含量的影响

Fig.6 Effects of LVEF treatment on TSS content in *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.

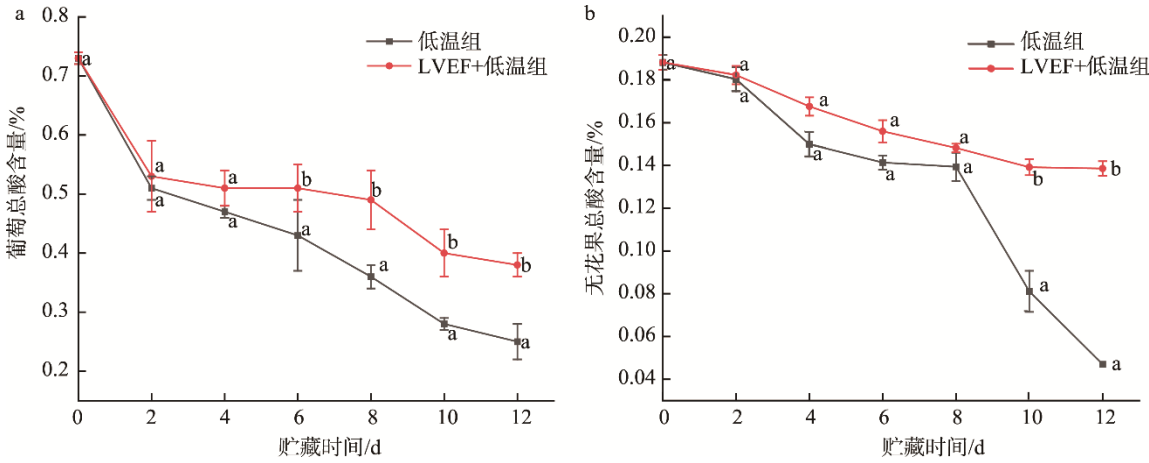


图 7 LVEF 处理对葡萄、无花果总酸含量的影响
Fig.7 Effects of LVEF treatment on total acid content of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.

2.5 LVEF 对贮藏中葡萄、无花果腐烂率的影响

葡萄、无花果果实的腐烂率是判断葡萄、无花果感官品质最直观的指标,可以直接反映葡萄、无花果的贮藏效果^[34]。图 8 为 LVEF 处理对葡萄、无花果腐烂率的影响。由图 8 可知,各组葡萄、无花果的腐烂率随着贮藏时间的延长持续上升,2 组处理组共同呈现出增长趋势。低温组在整个贮藏期间腐烂率变化最大,贮藏第 12 d 时,葡萄、无花果腐烂率分别高达 15.30%、98.62%。LVEF+低温组在第 12 d 时,仍然保持着较低的腐烂率,分别仅有 1.76%、21.46%。在整个贮藏期间,两种水果经 LVEF+低温处理的腐烂率显著低于低温组($P<0.05$),相似的结果在李海波等^[35]的研究中也被发现,这可能是由于 LVEF 导致臭氧产生,抑制了果实致病菌的生长繁殖,从而降低了腐烂率的升高。说明 LVEF 可以抑制葡萄、无花果组织有害微生物的生长繁殖,可以有效控制葡萄、无花果果实的腐烂率。

3 结 论

通过实验研究 LVEF 结合低温对葡萄、无花果的保鲜效果。结果表明:添加 LVEF 下的葡萄、无花果保鲜 12 d 后失重率分别为 0.64%、1.34%,LVEF 处理组仅为低温组的 5.45%和 24.14%。TSS 含量分别减少了 1.10%、1.53%;总酸含量分别减少了 0.35%、0.05%;且保鲜储藏过程中葡萄、无花果一直保持良好的感官性状;腐烂率分别仅有 1.76%、21.46%。与低温贮藏环境相比,LVEF 处理能抑制葡萄、无花果果实失重率的上升,减缓葡萄、无花果果实 TSS 含量下降;可有效减缓葡萄、无花果腐烂率的升高;维持总酸含量;大大延长了葡萄、无花果的贮藏时间。通过贮藏实验可得:LVEF 结合低温处理的保鲜效果明显优于单一低温贮藏,有利于保持葡萄、无花果的感官品质。后续可通过进一步的 LVEF 贮藏实验,寻求两种水果的最优电场场强,提高葡萄、无花果的贮藏品质。

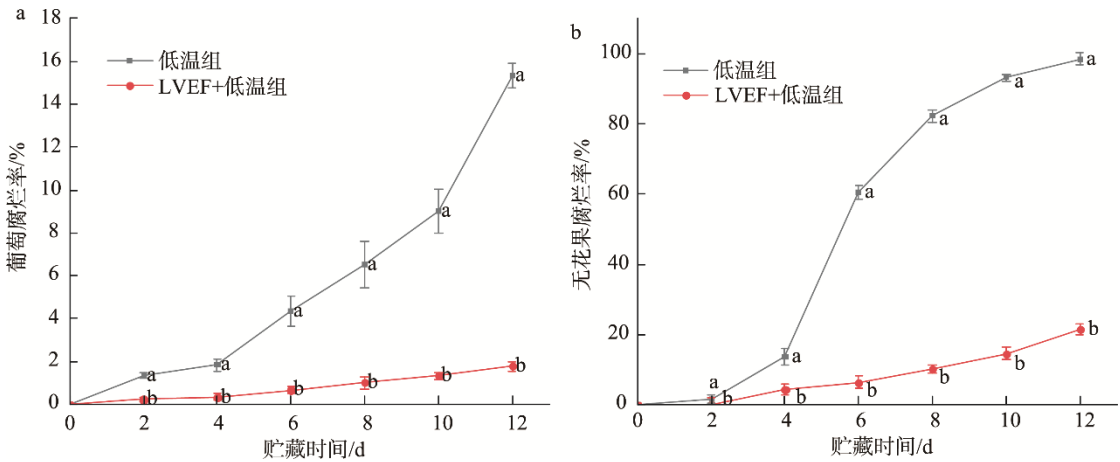


图 8 LVEF 处理对葡萄、无花果腐烂率的影响
Fig.8 Effects of LVEF treatment on the rot rate of *Vitis vinifera* Linn. and *Ficus carica* Linn.

参考文献

- [1] SOLOMON A, GOLUBOWICZ S, YABLOWICZ Z, *et al.* Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.) [J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54(20): 7717–7723.
- [2] 孟创鸽, 曹红霞, 韩峪, 等. 葡萄贮藏保鲜技术研究进展[J]. *黑龙江农业科学*, 2022, (5): 102–106.
MENG CG, CAO HX, HAN Y, *et al.* Research progress of grape storage and preservation technology [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2022, (5): 102–106.
- [3] ISHIMARU M, SMITH DL, GROSS KC, *et al.* Expression of three expansin genes during development and maturation of kyoho grape berries [J]. *J Plant Physiol*, 2007, 164(12): 1675–1682.
- [4] LI Y, MA R, XU Z, *et al.* Identification and quantification of anthocyanins in kyoho grape juice-making pomace, Cabernet Sauvignon grape winemaking pomace and their fresh skin [J]. *J Sci Food Agric*, 2013, 93(6): 1404–1411.
- [5] DEEPA P, SOWNDHARARAJAN K, KIM S, *et al.* A role of *Ficus* species in the management of diabetes mellitus: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 215: 210–232.
- [6] 颜道民, 尹金晶, 唐晋文, 等. 鲜食无花果贮藏保鲜技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(9): 2462–2467.
YAN DM, YIN JJ, TANG JW, *et al.* Research advances on storage and fresh-keeping technology of fresh *Ficus carica* [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(9): 2462–2467.
- [7] 杜佳铭, 谷诗雨, 杨永佳, 等. 1-MCP 复合 MAP 包装对无花果贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2015, 43(7): 11–17.
DU JM, GU SY, YANG YJ, *et al.* Effects of combined treatment of 1-MCP and MAP packaging on storage quality of figs [J]. *Packag Eng*, 2015, 43(7): 11–17.
- [8] 冯志宏, 赵猛, 赵迎丽, 等. 葡萄降硫和非硫保鲜措施研究进展[J]. *农学报*, 2015, 5(5): 85–88.
FENG ZH, ZHAO M, ZHAO YL, *et al.* Advance in sulfur reduction and non-sulfur preservation measures of grape storage [J]. *J Agric*, 2015, 5(5): 85–88.
- [9] 杨虎清, 王文生. 化学保鲜剂和臭氧对巨峰葡萄贮藏保鲜的比较研究[J]. *食品科学*, 2001, (10): 91–94.
YANG HQ, WANG WS. Chemical preservatives and ozone for the storage and preservation of jufeng grapes comparative studies [J]. *Food Sci*, 2001, (10): 91–94.
- [10] 滑艳稳, 申亚倩, 安永超. 不同保鲜薄膜对无花果保鲜性能的比较研究[J]. *包装学报*, 2014, 6(2): 6–11, 40.
HUA YW, SHEN YQ, AN YC. Comparative study of figs preservation with different fresh keeping films [J]. *Packag J*, 2014, 6(2): 6–11, 40.
- [11] ZHAO YM, DE-ALBA M, SUN DW, *et al.* Principles and recent applications of novel non-thermal processing technologies for the fish industry—A review [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2019, 59(5): 728–742.
- [12] XIE Y, ZHOU K, CHEN B, *et al.* Applying low voltage electrostatic field in the freezing process of beef steak reduced the loss of juiciness and textural properties [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2021, 68: 102600.
- [13] 徐纯. 低压静电场结合低温对草莓保鲜机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- XU C. Study on the fresh-keeping mechanism of strawberry by low voltage electrostatic field combined with low temperature [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [14] 郭家刚, 杨松, 童光祥, 等. 低压静电场辅助冷冻对竹笋品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 82–88.
GUO JG, YANG S, TONG GX, *et al.* Effects of low voltage electrostatic field-assisted freezing on quality of bamboo shoot [J]. *Food Sci*, 2022, 43(23): 82–88.
- [15] 孟晓曼, 孙亚男, 程儒杨, 等. 低压静电场-真空协同保鲜对白玉菇采后品质和抗氧化代谢的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 72–81.
MENG XM, SUN YN, CHENG RY, *et al.* Effects of low-voltage electrostatic field/vacuum co-treatment on postharvest quality and antioxidant metabolism of white hysizyus marmoreus during storage [J]. *Food Sci*, 2022, 43(23): 72–81.
- [16] 杨亚丽. 采前生理调节剂结合采后低温静电场对灵武长枣保鲜效果的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
YANG YL. Pre-harvest Physiological regulator combined with post-harvest low temperature electrostatic field Study on the fresh-keeping effect of lingwu changzao [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020.
- [17] 朱莹莹. 高压静电协同低温对采后葡萄保鲜效果的影响[J]. *苏州市职业大学学报*, 2019, 30(3): 52–57.
ZHU YY. Effect of high voltage electrostatic field preservation technology on the quality of grapes [J]. *J Suzhou Vocati Univ*, 2019, 30(3): 52–57.
- [18] 王宁, 邓冰, 李珍, 等. 1-MCP 处理对无核白葡萄销地低温贮藏效果的影响[J]. *包装工程*, 2015, 36(9): 48–53.
WANG N, DENG B, LI Z, *et al.* Effect of 1-MCP treatment on hypothermia storage quality of thompson seedless grapes at sales site [J]. *Packag Eng*, 2015, 36(9): 48–53.
- [19] 赵晓彤. 壳聚糖处理对红地球葡萄保鲜效果研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2021.
ZHAO XT. Study on fresh keeping effect of chitosan selenium treatment on red globe grape [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2021.
- [20] 石飞, 李洋洋, 王君. 茶多酚处理对玫瑰香葡萄保鲜效果的研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(23): 102–106.
SHI F, LI YY, WANG J. Effects of tea polyphenol treatment on storage quality of muscat grape [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(23): 102–106.
- [21] GUIFENG L, XINGHUA L. Effects of edible coating on browning and senescence of red-globe grape [J]. *J Hebei Agric Univ*, 2006, 29(2): 34–37.
- [22] 卢芳芳, 张岩, 王保营, 等. 不同材料协同蓄冷剂对草莓呼吸速率等生理指标的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(18): 7127–7132.
LU FF, ZHANG Y, WANG BY, *et al.* Effects of different materials and cold storage agents on respiratory rate and other physiological indexes of strawberries [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(18): 7127–7132.
- [23] ZHANG J, LI D, XU W, *et al.* Preservation of Kyoho grapes stored in active, slow-releasing pasteurizing packaging at room temperature [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2014, 56(2): 440–444.
- [24] DENG J, CHEN QJ, PENG ZY, *et al.* Nano-silver-containing polyvinyl alcohol composite film for grape fresh-keeping [J]. *Mater Express*, 2019, 9(9): 985–992.
- [25] 吴玉婷, 谢超, 周卓颖, 等. 基于低压静电场协同低温对贵妃红桃保鲜效果的影响[J]. *食品工业*, 2022, 43(11): 167–172.

- WU YT, XIE C, ZHOU ZY, *et al.* Effect of low voltage electrostatic field combined with low temperature on preservation of guifei red peach [J]. Food Ind, 2022, 43(11): 167–172.
- [26] 周英杰, 谢超, 梁佳, 等. 低压静电场协同低温对水蜜桃储藏保鲜过程中品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2019, 38(5): 429–435.
- ZHOU YJ, XIE C, LIANG J, *et al.* Effect of cooperative low temperature based on low voltage electrostatic field technology on the quality of honey peach during storage and preservation [J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci Ed), 2019, 38(5): 429–435.
- [27] 高丕生, 张平, 朱志强. 不同保鲜剂对“早黑宝”葡萄贮藏保鲜的效果比较[J]. 北方园艺, 2013, (2): 116–119.
- GAO PS, ZHANG P, ZHU ZQ. Study on comparison of different preservatives in the “zaohuibao” grape storage [J]. North Hortic, 2013, (2): 116–119.
- [28] 赵鑫, 陈国刚, 郭文波. 黑提葡萄临界低温高湿贮藏过程中品质变化的研究[J]. 中国果菜, 2016, 36(10): 10–14.
- ZHAO X, CHEN GG, GUO WB. Quality change of black grape under critical low temperature and high humidity storage conditions [J]. China Fruit Veg, 2016, 36(10): 10–14.
- [29] 李江阔, 张鹏, 关筱歆, 等. 1-MCP结合 ClO_2 处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 302–307.
- LI JK, ZHANG P, GUAN XX, *et al.* Effect of 1-MCP treatment coupled with ClO_2 on postharvest quality and physiology of red globe grapes during freezing-point storage [J]. Food Sci, 2012, 33(22): 302–307.
- [30] 左志强, 何庆, 吴斌, 等. 复合保鲜剂对无核白葡萄保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 28–35.
- ZUO ZQ, HE Q, WU B, *et al.* Fresh-keeping effect of compound preservative on seedless white grapes [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(11): 28–35.
- [31] SAKI M, VALIZADEHKAJI B, ABBASIFAR A, *et al.* Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage [J]. J Food Meas Charact, 2019, 13: 1147–1158.
- [32] ZHANG M, HUAN Y, TAO Q, *et al.* Studies on preservation of two cultivars of grapes at controlled temperature [J]. LWT-Food Sci Technol, 2001, 34(8): 502–506.
- [33] 张浩宇, 刘慧燕, 杨亚丽, 等. 低压静电场对灵武长枣低温贮藏品质及呼吸强度的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(1): 211–215.
- ZHANG HY, LIU HY, YANG YL, *et al.* Effect of low voltage electrostatic field on low temperature storage quality and respiratory intensity of *Zizphus jujuba* mill cv. Lingwu changzao [J]. Food Ind, 2021, 42(1): 211–215.
- [34] LIU M, ZHOU H, WU Z, *et al.* Effects of natamycin coating compounds on fresh-keeping of grape during storage [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(10): 259–266.
- [35] 李海波, 谢超, 梁瑞萍, 等. 基于低压静电场技术(LVEF)协同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 265–270.
- LI HB, XIE C, LIANG RP, *et al.* Effect of low voltage electrostatic field combined with low temperature on quality of zhoushan bayberry during fresh-keeping [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(7): 265–270.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介

崔 帅, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品贮藏与保鲜。

E-mail: 3288484607@qq.com

段玉权, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品保鲜与贮藏。

E-mail: caudyq7851@126.com

陈益胜, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农产品质量与加工。

E-mail: cheniyisheng@sxau.edu.cn