

微酸性电解水对蓝莓保鲜效果的影响

Effects of slightly acidic electrolytic water on blueberry sterilization process and storage quality

黄丽萍¹ 靳学远¹ 李勇¹ 薛静²

HUANG LI-ping¹ JIN Xue-yuan¹ LI Yong¹ XUE Jing²

(1. 海南科技职业大学临床医药学院, 海南 海口 571126;

2. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

(1. College of Clinical Medicine, Hainan Vocational University of Science and Technology, Haikou, Hainan 571126, China; 2. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002, China)

摘要:目的:提高蓝莓保鲜品质。方法:以微酸性电解水有效氯质量浓度、处理温度和浸泡时间为影响因素,以蓝莓表面微生物杀菌率为响应值,采用正交试验优化工艺条件,将最优条件处理的蓝莓和以无菌水处理的蓝莓(对照组)于(25±1)℃贮藏,每7d取样测定蓝莓的坏果率、硬度、呼吸强度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、花青素含量及丙二醛(MDA)含量。结果:最佳杀菌条件为有效氯质量浓度120mg/L、处理温度20℃和浸泡时间20min,该条件下杀菌率为92.6%。结论:SAEW处理对蓝莓果实具有较好的保鲜效果。

关键词:微酸性电解水;蓝莓;保鲜;贮藏品质

Abstract: Objective: To improve the preservation quality of blueberry. Methods: Based on the influencing factors of the effective chlorine concentration, treatment temperature and soaking time of the SAEW, and the response value of the microbial sterilization rate on the surface of blueberries, the orthogonal test was used to optimize the process conditions. At the same time, the optimally treated blueberries and sterile water-treated blueberries (control group) were stored at (25±1)℃, and the bad fruit rate, hardness, respiration strength, soluble solids content, titratable acid content, anthocyanin content, and malondialdehyde (MDA) content of blueberries were measured every 7 days. Results: The optimal sterilization conditions were an effective chlorine concentration of 120 mg/L, a treatment temperature of 20℃ and a soaking time of 20 min, and the sterilization rate under this condition was 92.6%. Conclusion: The

SAEW treatment has a better preservation effect on the blueberry fruit.

Keywords: slightly acidic electrolytic water; blueberry; preservation; storage quality

蓝莓(Blueberry)学名越橘(*Vaccinium* ssp.),属杜鹃花科(*Ericaceae*)越橘属(*Vaccinium*)植物,富含微量元素、花青素和维生素等功能和营养成分^[1]。蓝莓果实皮薄汁多,采摘后容易失水软化,且容易受病原菌侵袭而腐烂变质^[2]。

程欣等^[3]发现茉莉酸甲酯复合涂膜可使蓝莓失重率和腐烂指数明显降低,糖、酸和花青素含量变化减缓,果实可保持较高的硬度和弹性;孙贵宝^[4]研究发现,高压静电场下的蓝莓果的贮藏保鲜度明显提高,呼吸量减小,新鲜物重的减少明显受到抑制;张红等^[5]采用紫外线照射结合保鲜膜挽口包装对蓝莓进行保鲜处理,可降低蓝莓腐烂率,延缓其可溶性固形物、花青素含量和微生物水平的下降,增加过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性;于刚等^[6]研究发现,蓝莓采摘后进行适当时长的UV-C处理,对控制病变、延长贮藏期、保障品质具有良好的效果。果蔬的腐烂与其表面的微生物数量密切相关。酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)是将电解质溶液经电解后,得到具有氧化能力的水^[7-8],具有低pH、高氧化还原电位的特性,且含有一定量的有效氯,可发挥氧化作用而杀灭细菌,具有安全、无残留、对环境无污染、价格低廉等优点,已被应用于果蔬的保鲜中^[9-11]。研究拟以蓝莓果实为原料,优化SAEW对蓝莓表面杀菌的工艺条件,并对贮藏期间蓝莓的坏果率、硬度、呼吸强度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、花青素含量和丙二醛(MDA)含量等相关参数进行分析,

基金项目:海南省重点研发计划(编号:ZDYF2021XDNY143)

作者简介:黄丽萍,女,河南科技职业大学药剂师,硕士。

通信作者:靳学远(1958—),男,海南科技职业大学教授,硕士。

E-mail:jxy28888@126.com

收稿日期:2022-02-15 改回日期:2022-08-17

以探究其对蓝莓的保鲜效果,为蓝莓的保鲜提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蓝莓:选取成熟度一致、大小均一、无机械损伤和病虫害的新鲜蓝莓,市售;

氯化钠、无水乙醇等:分析纯,河南省华丰化学试剂有限公司;

酸性氧化电位水生成器:HRW-1500型,火人京创(北京)医疗器材有限公司;

质构仪:TMS-Pro型,美国FTC公司;

紫外可见分光光度计:T6型,北京普析通用仪器有限责任公司;

气相色谱仪:SP-9890型,山东金普分析仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 蓝莓 SAEW 处理及贮藏 将蓝莓浸泡于 SAEW 中,取出晾干后用聚乙烯薄膜袋包装,于(25±1)℃恒温箱中贮藏,每7d取样测定蓝莓的坏果率、硬度、呼吸强度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、花青素含量、MDA含量,以蒸馏水浸泡样品为对照。

1.2.2 蓝莓 SAEW 处理单因素试验 以浸泡菌液后的蓝莓为试验材料,于不同处理温度(5,10,15,20,25℃)下,将蓝莓分别置于不同有效氯质量浓度(60,80,100,120,140 mg/L)的 SAEW 中分别浸泡 5,10,15,20,25 min,测定 SAEW 对蓝莓表面微生物的杀菌率;固定各因素水平为有效氯质量浓度 120 mg/L、处理温度 20℃、浸泡时间 20 min。

1.2.3 蓝莓 SAEW 处理工艺优化 在单因素试验基础上,以有效氯质量浓度、处理温度和浸泡时间为因素,采用 $L_9(3)^3$ 正交试验对 SAEW 处理工艺进行优化。

1.2.4 杀菌率测定 蓝莓经表面喷涂 75%酒精消毒后用无菌水去除酒精;制备金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的混合菌悬液,将蓝莓浸泡于菌悬液中,得到菌落总数为4~5 lg(CFU/g)的样品;采用 SAEW 处理,测定处理后的菌落总数,并按式(1)计算杀菌率。

$$S = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——杀菌率,%;

C_1 ——杀菌前菌落总数,lg(CFU/g);

C_2 ——杀菌后菌落总数,lg(CFU/g)。

1.2.5 坏果率测定 按式(2)计算坏果率。

$$R = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R——坏果率,%;

m_1 ——杀菌前贮藏果数,lg(CFU/g);

m_2 ——贮藏后坏果数,lg(CFU/g)。

1.2.6 呼吸强度测定 采用气相色谱法(GC),将蓝莓果实置于密封容器中,于常温条件下密闭1h后,抽取1mL气体,采用GC测定CO₂产生量。呼吸强度表示为单位质量、单位时间产生的CO₂体积^[12]。

1.2.7 理化指标测定

(1)果实硬度:采用质构仪测定。

(2)总可溶性固形物(TSS)含量:采用手持糖度仪测定。

(3)花青素含量:采用比色法^[13]。

(4)丙二醛(MDA)含量:采用硫代巴比妥酸法^[14]。

(5)可滴定酸含量:根据GB/T 12456—2008。

1.2.8 数据处理 每组数据测定3次,以 $N \pm SD$ 表示。采用Excel 2007软件绘图,SPSS 18.0软件进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 SAEW 处理单因素试验

由图1可知,随着酸性电解水有效氯质量浓度的增加,杀菌率增加,但达到120 mg/L后,杀菌率增加不显著,可能是酸性电解水杀菌主要是由于其中有效氯生成次氯酸,形成杀菌作用^[15]。有效氯浓度越大,次氯酸生成量大,但达到一定浓度后,耐受力弱的细菌基本被杀灭,其余耐受力强的芽孢菌等很难被继续杀灭。随着处理温度的升高,杀菌率增加,但达到20℃后,杀菌率增加不显著,是由于处理温度升高,有利于氯离子向细胞内的渗透,达到20℃后,渗透已经可以迅速完成。随着浸泡时间的延长,杀菌率增加,但达到20 min后,杀菌率增加不显著,是由于浸泡20 min后,渗透已达到平衡。综上,选用有效氯质量浓度120 mg/L、处理温度20℃、浸泡时间20 min为适宜的杀菌条件。

2.2 SAEW 处理工艺优化

在单因素基础上,选择有效氯质量浓度、处理温度和浸泡时间为影响因素,以杀菌率为指标进行正交试验,各因素水平见表1,正交试验设计及结果见表2。

由表2可知,各因素对 SAEW 杀菌处理影响大小为处理温度>有效氯质量浓度>浸泡时间。最佳杀菌条件为 $A_2 B_2 C_2$,即有效氯质量浓度120 mg/L、处理温度20℃、浸泡时间20 min。

由表3可知,处理温度和有效氯质量浓度对 SAEW 杀菌处理影响显著,浸泡时间对 SAEW 杀菌处理影响不显著,采用 SAEW 杀菌最佳条件进行重复3次处理,平均杀菌率为92.6%。

2.3 SAEW 处理对蓝莓贮藏品质特性的影响

2.3.1 坏果率 由图2可知,随着贮藏时间的延长,SAEW处理组和对照组处理的蓝莓果实坏果率均呈上升趋势,但经SAEW处理的蓝莓坏果率的增加幅度小于对

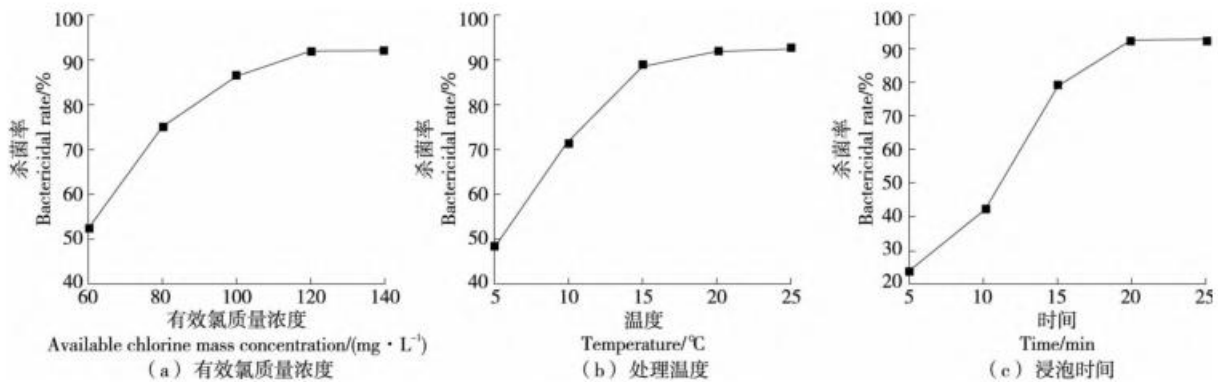


图 1 SAEW 处理对杀菌率的影响

Figure 1 Effects of the SAEW treatment on the sterilization rate

表 1 因素水平表

Table 1 Factor and level table

水平	A 有效氯质量浓度/(mg · L ⁻¹)	B 处理温度/℃	C 处理时间/min
1	115	15	15
2	120	20	20
3	125	25	25

表 2 正交试验设计及结果

Table 2 Results of orthogonal test design

试验号	A	B	C	杀菌率/%
1	1	1	1	81.1±0.6
2	1	2	2	90.2±1.2
3	1	3	3	80.3±1.1
4	2	1	2	85.6±0.9
5	2	2	3	91.3±0.8
6	2	3	1	91.2±0.7
7	3	1	3	80.1±0.4
8	3	2	1	88.6±1.1
9	3	3	2	85.6±0.6
k ₁	83.867	82.267	86.967	
k ₂	89.367	90.033	87.133	
k ₃	84.767	85.700	84.833	
R	5.500	7.766	3.233	

表 3 方差分析

Table 3 Analyses of variance

因素	偏差平方和	自由度	F/F _{0.05}	显著性
A	52.220	2	1.220	显著
B	90.887	2	2.124	显著
C	19.887	2	0.465	不显著
误差	171.160	8		

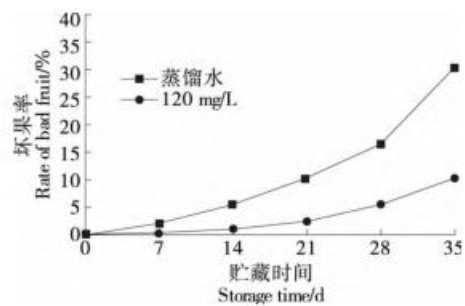


图 2 贮藏过程中蓝莓坏果率的变化

Figure 2 Changes of bad fruit rate of blueberries during storage

对照组。贮藏第 35 天,SAEW 处理组的坏果率是对照组的 34.1%,差异显著($P < 0.05$)。SAEW 处理使用的酸性电解水 pH 低、氧化还原电位高,并且含有一定量的有效氯,可发挥氧化作用而杀灭细菌,防止果实腐败。

2.3.2 硬度 由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,SAEW 处理组和对照组的硬度均呈下降趋势,但经 SAEW 处理的蓝莓硬度变化幅度小于对照组。贮藏第 35 天,SAEW 处理组的硬度是对照组的 1.42 倍,差异显著($P < 0.05$)。果实硬度降低是由于果实内部的果胶酶将果实细胞之间的果胶分解,而 SAEW 处理可以抑制酶活性,减缓果胶的分解,保持果实的硬度。

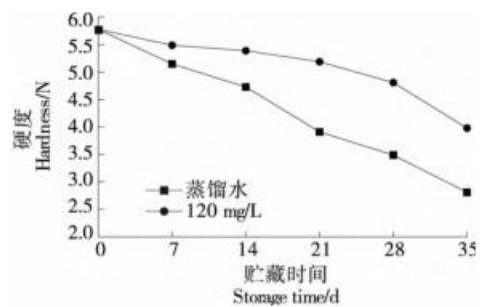


图 3 贮藏过程中蓝莓硬度的变化

Figure 3 Changes of hardness of blueberries during storage

2.3.3 呼吸强度 由图4可知,贮藏0~7 d,随着贮藏时间的延长,蓝莓果实的呼吸强度增加,但再延长贮藏时间,呼吸强度反而下降。经 SAEW 处理的蓝莓呼吸强度变化幅度小于对照组。贮藏第 35 天,SAEW 处理组的呼吸强度是对照组的 56.7%,差异显著($P<0.05$)。蓝莓在贮藏过程中仍具有生理代谢能力,但 SAEW 处理可改变细胞内的环境和细胞膜的通透性,影响其呼吸作用。

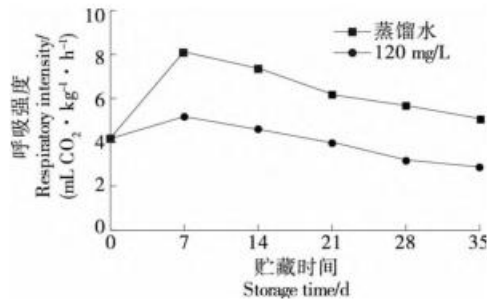


图4 贮藏过程中蓝莓呼吸强度的变化

Figure 4 Changes of respiration strength of blueberries during storage

2.3.4 可滴定酸含量 由图5可知,贮藏0~14 d,SAEW处理组和对照组处理的蓝莓果实可滴定酸含量下降,但继续延长贮藏时间,可滴定酸含量开始增加。经 SAEW 处理的蓝莓可滴定酸含量下降幅度小于对照组,贮藏第 35 天,SAEW 处理组的可滴定酸含量是对照组的 1.17 倍。蓝莓贮藏过程中,呼吸作用会消耗蓝莓果实中的总酸。

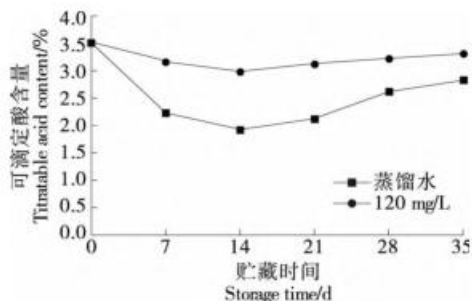


图5 贮藏过程中蓝莓可滴定酸含量的变化

Figure 5 Changes of titratable acid content in blueberries during storage

2.3.5 可溶性固形物含量 由图6可知,贮藏0~7 d,蓝莓果实的 TSS 含量增加,但继续延长贮藏时间,TSS 含量开始下降。经 SAEW 处理的蓝莓 TSS 含量变化幅度小于对照组,贮藏第 35 天,SAEW 处理组的 TSS 含量是对照组的 1.29 倍,差异显著($P<0.05$)。蓝莓贮藏过程中,由于仍有呼吸作用会将其他成分转化为 TSS,贮藏 7 d 后,呼吸作用转为消耗蓝莓果实内在储存物质,使 TSS 含量下降。

2.3.6 花青素含量 由图7可知,贮藏0~14 d,SAEW处理组和对照组处理的蓝莓果实花青素含量增加,但继

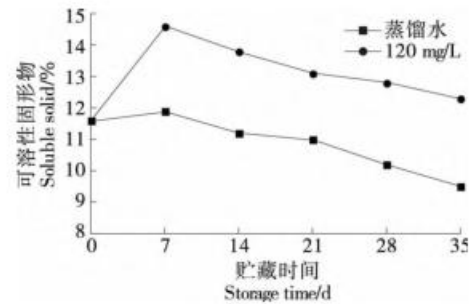


图6 贮藏过程中蓝莓 TSS 含量的变化

Figure 6 Changes of TSS in blueberries during storage

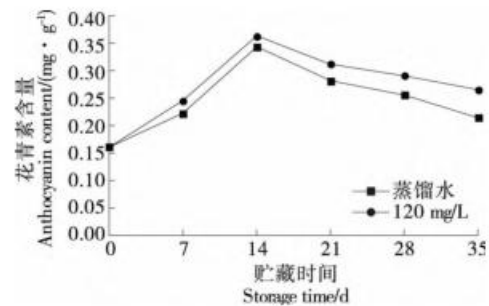


图7 SAEW处理的蓝莓在贮藏过程中花青素含量的变化

Figure 7 Changes of anthocyanin content in blueberries treated with SAEW during storage

续延长贮藏时间,花青素含量开始下降。经 SAEW 处理的蓝莓花青素含量变化幅度小于对照组,贮藏第 35 天,SAEW 处理组的花青素含量是对照组的 1.23 倍,差异显著($P<0.05$)。蓝莓贮藏过程中,由于发生呼吸作用,会将其他成分转化为花青素,贮藏 14 d 后,呼吸作用转为消耗蓝莓果实内在储存物质,使花青素含量下降。

2.3.7 MDA 含量 由图8可知,随着贮藏时间的延长,SAEW处理组和对照组处理的MDA含量增加。经 SAEW 处理的蓝莓 MDA 含量增加幅度小于对照组,贮藏第 35 天,SAEW 处理组 MDA 含量是对照组的 54.8%,差异显著($P<0.05$)。MDA 含量是果实贮藏过程中膜的过氧化程度指标。贮藏过程中,蓝莓果实会通过酶系统与非酶系统产生氧自由基攻击生物膜,导致膜的过

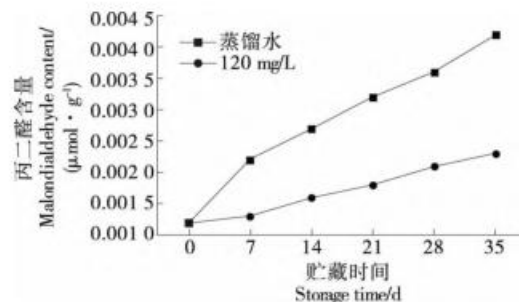


图8 贮藏过程中蓝莓 MDA 的变化

Figure 8 Changes of MDA in blueberries during storage

氧化,SAEW 处理能有效抑制蓝莓的采后呼吸作用,减缓氧化现象的发生。

3 结论

研究发现,微酸性电解水处理蓝莓的最佳杀菌条件为有效氯质量浓度 120 mg/L、处理温度 20 ℃、浸泡时间 20 min,该条件下杀菌率为 92.6%。微酸性电解水处理能有效抑制蓝莓呼吸作用,杀灭果实表面微生物,延缓其贮藏过程中果实硬度、可溶性固形物含量和花青素含量等成分下降,减少丙二醛生成,防止蓝莓烂果及品质指标下降。微酸性电解水对果蔬具有较好的杀菌效果,同时,克服了传统的化学杀菌方法对环境的不友好,且制备方便,成本低廉;在杀菌的同时,还可改善果蔬的贮藏品质,在果蔬保鲜领域具有很大开发价值。后续可进一步加强微酸性电解水对果蔬杀菌及品质影响机理的研究,进一步提高其对果蔬的杀菌和保鲜效果。

参考文献

[1] 金永学,冯建国,郑涛,等. 蓝莓的功能成分、保健作用及其开发利用[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 231-236.
JIN Y X, FENG J G, ZHENG T, et al. Blueberry functional components health function utilization [J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 231-236.

[2] 曹森,吉宁,巴良杰,等. 采前喷施保鲜剂对蓝莓贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 146-150.
CAO S, JI N, BA L J, et al. Effects of preharvest different preservatives spraying on postharvest storage quality of blueberry[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 146-150.

[3] 张莲莲,刘健彤,韩在刚,等. 蓝莓原花青素抗氧化应激高血压血管损伤的研究[J]. 中国地方病防治杂志, 2017, 32(10): 1 087-1 089.
ZHANG L L, LIU J T, HAN Z G, et al. Study on antioxidation stress of blueberry proanthocyanidins in hypertensive vascular injury[J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2017, 32(10): 1 087-1 089.

[4] 孙贵宝. 高压静电场长期贮藏保鲜蓝莓果的试验研究[J]. 农机化研究, 2003, 25(1): 121-123.
SUN G B. Experimental study on long-term storage of blueberry fruit in high-voltage electrostatic field[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 26(9): 11-13.

[5] 张红,李晴晴,许庆龙,等. 紫外线与保鲜膜对蓝莓冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 314-318.
ZHANG H, LI J J, XU Q L, et al. Effects of ultraviolet and plastic film on preservation of blueberry during cold storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(9): 314-318.

[6] 于刚,栾雨时,安利佳,等. UV-C 处理对蓝莓贮藏保鲜及品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(2): 92-95.
YU G, LUAN Y S, AN L J, et al. Effects of UV-C treatment on fresh-keeping and storage quality of blueberry[J]. Food Research and Development, 2013, 34(2): 92-95.

[7] 周智宇,罗正娅,高晴,等. 微酸性电解水杀菌工艺优化及对

云南鲜米线贮藏品质影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 204-210.
ZHOU Z Y, LUO Z Y, GAO Q, et al. Optimization of the sterilization process of slightly acidic electrolyzed water and Its effect on the storage quality of Yunnan fresh rice noodles [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 204-210.

[8] 乌云达来,郝建雄,刘海杰. 酸性电解水对苹果表面毒死蜱降解效果及降解途径分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 85-93.
WUYUN D L, HAO J X, LIU H J. Study of the removal chlorpyrifos in apples and the degradation pathway [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 85-93.

[9] 马江林,木泰华,张苗. 超声波与微酸性电解水在食品杀菌保鲜中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(13): 5 244-5 250.
MA J L, MU T H, ZHANG M, et al. Research progress on application of ultrasonic and slightly acidic electrolyzed water in food sterilization and preservation [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(13): 5 244-5 250.

[10] 纪颖,林河通,刘晔,等. 酸性电解水结合复合膜对橘柚保鲜效果的研究[J]. 热带作物学报, 2021, 42(8): 2 397-2 404.
JI Y, LIN H T, LIU Y, et al. Preservation effect of acidic electrolyzed water and composite coating on Tangelo [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(8): 2 397-2 404.

[11] 赵德馄,李凌飞,谭雷妹,等. 微酸性电解水对鲜切云南红梨贮藏品质影响研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 243-251.
ZHAO D K, LI L F, TAN L Z, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water on storage quality of fresh-cut Yunnan red pear [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(1): 243-251.

[12] LU J, ZHANG M, ZHANG J. Effects of methyl jasmonate on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and signaling pathway during postharvest ripening of apple fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 229: 157-166.

[13] 韦璐,陈悦,顾晶晶,等. 复合干燥对紫薯全粉细胞破损及花青素含量的影响[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(3): 160-166.
WEI L, CHEN Y, GU J J, et al. Effect of combined drying on cell breakage and anthocyanin content of purple sweet potato [J]. Granules Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(3): 160-166.

[14] 袁云香. 湿地芦苇不同组织超氧阴离子产生速率及丙二醛含量 [J]. 科学技术与工程, 2019, 19(11): 40-43.
CAO J K. The production rate and malondialdehyde content of different tissue superoxide anions in wetland phragmites australis [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(11): 40-43.

[15] 蓝蔚青,刘琳,孙晓红,等. 酸性电解水发生机理及在水产领域中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 294-298.
LAN W Q, LIU L, SUN X H, et al. Research progress on the occurrence mechanism of acidic electrolyzed water (AEW) and its application in aquaculture [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(4): 294-298.