

杀菌处理对发酵红枣汁品质的影响

Effects of different sterilization treatments on the quality of fermented jujube juice

张丽华^{1,2,3}冯路瑶¹唐培鑫¹李顺峰⁴纵伟^{1,2,3}ZHANG Li-hua^{1,2,3} FENG Lu-yao¹ TANG Pei-xin¹ LI Shun-feng⁴ ZONG Wei^{1,2,3}

(1. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 食品生产与安全河南省

协同创新中心, 河南 郑州 450001; 3. 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室,

河南 郑州 450001; 4. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450002)

(1. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou,

Henan 450001, China; 2. Collaborative Innovative Center of Food Production and Safety, Zhengzhou,

Henan 450001, China; 3. Henan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control,

Zhengzhou, Henan 450001, China; 4. Research Center of Agro-products Processing Science and

Technology, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China)

摘要:目的: 对比不同杀菌方式对发酵红枣汁品质的影响。方法: 红枣汁发酵前, 采用低温等离子体杀菌(CPS)和脉冲强光杀菌(PLS)对发酵前后红枣汁品质的影响, 以高压杀菌(SA)红枣汁为对照。结果: 采用 CPS 处理, 红枣汁发酵前后总糖、还原糖和可溶性固形物含量均显著高于另外两种杀菌方式, 发酵后红枣汁的总糖、还原糖和可溶性固形物含量分别为 1.7 mg/L、1.64 mg/L 和 12.4%; 采用 SA 处理, 红枣汁发酵前后总酚含量均为最低, 发酵后红枣汁的总酚含量仅为 2.19 mg/L; 采用 PLS 处理, 红枣汁发酵前后的色差值变化最小。经 CPS、PLS 和 SA 处理后的红枣汁, 接种植物乳杆菌发酵 48 h 后, 其活菌数均 $>6.48 \lg(\text{CFU/mL})$, 其中, PLS 处理后植物乳杆菌活菌总数最高 $[6.63 \lg(\text{CFU/mL})]$ 。结论: 非热杀菌处理(特别是 PLS)对发酵红枣汁的品质影响较小, 可作为发酵红枣汁加工中的杀菌处理技术。

关键词: 发酵; 红枣汁; 低温等离子体杀菌; 脉冲强光杀菌; 品质

Abstract: Objective: This study aimed to compare the effects of different sterilization on the quality of fermented jujube juice.

Methods: The effects of cold plasma sterilization (CPS) and pulsed strong light sterilization (PLS) on the quality of jujube

juice before and after fermentation were studied, with high pressure sterilization (SA) jujube juice as the control. **Results:** The contents of total sugar, reducing sugar and soluble solid in jujube juice before and after fermentation by CPS treatment were significantly higher than those of the other two sterilization methods, and the contents of total sugar, reducing sugar and soluble solid in jujube juice after fermentation were 1.7 mg/L, 1.64 mg/L and 12.4%, respectively. With SA treatment, the total phenol content of jujube juice before and after fermentation was the lowest, and the total phenol content of jujube juice after fermentation was only 2.19 mg/L. The color of jujube juice treated by PLS changed minimally before and after fermentation. The viable count of *Lactobacillus plantarum* in jujube juice treated by CPS, PLS and SA were more than $6.48 \lg(\text{CFU/mL})$ after 48 h fermentation by *L. plantarum*, and the viable count of *L. plantarum* in jujube juice was the highest $6.63 \lg(\text{CFU/mL})$ after PLS treatment. **Conclusion:** Non-thermal sterilization (especially PLS) has little effect on the quality of fermented jujube juice and could be applied in the processing of fermented jujube juice.

Keywords: fermented; jujube juice; cold plasma sterilization; pulsed strong light sterilization; quality

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(编号: 222102110408, 222102110287)

作者简介: 张丽华, 女, 郑州轻工业大学副教授, 博士。

通信作者: 纵伟(1965—), 男, 郑州轻工业大学教授, 博士。

E-mail: zongwei1965515@163.com

收稿日期: 2022-09-06

改回日期: 2023-01-12

传统果蔬汁饮料是通过热处理来减少微生物数量的, 然而, 热杀菌会改变果汁的色泽、造成营养物质大量流失, 导致其风味和质地发生变化, 从而降低果汁质量^[1]。低温等离子体杀菌(CPS)作用时间短、杀菌温度低且对食品营养价值和感官性能破坏较小。王卓等^[2]研究发现, CPS 处理蓝莓果实后, 其表面细菌和真菌数量明显

下降。脉冲强光杀菌(PLS)具有低温杀菌、可即时控制、穿透性高、安全性高等优点。Bharati 等^[3]发现,利用 PLS 处理后的石榴汁中大肠杆菌、需氧嗜温菌、酵母菌和霉菌等显著减少。

在益生菌发酵果蔬汁前,常采用热杀菌技术来确保后续益生菌的发酵性能,而关于非热杀菌处理能否确保益生菌发酵果蔬汁发酵性能的研究较少。课题组^[4]前期研究发现,非热杀菌处理可提高枣汁体系的稳定性,且发酵后的枣汁中植物乳杆菌活菌数均较高。由于不同杀菌处理对发酵果蔬汁品质的影响较大,研究拟采用 CPS、PLS 和高压杀菌(SA) 3 种不同杀菌方式处理植物乳杆菌发酵前的红枣汁,分析其对红枣汁发酵前后品质的影响,为非热杀菌在发酵红枣汁加工中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红枣:哈密大枣,市售;

植物乳杆菌(CICC 20022):中国工业微生物菌种保藏管理中心;

MRS 琼脂培养、PCA 琼脂培养基:北京奥博星生物技术有限责任公司;

福林—酚试剂:生化试剂,北京索莱宝科技有限公司;

果胶酶:100 000 U/g,江苏锐阳生物科技有限公司;

纤维素酶:50 000 U/g,江苏锐阳生物科技有限公司;

硝酸钠、硝酸铝:分析纯,天津市永大化学试剂有限公司;

3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂:分析试剂,天津市永大化学试剂有限公司;

电热恒温培养箱:DNP-9052A 型,上海鸿都电子科技有限公司;

紫外可见分光光度计:T6 新世纪型,北京普析通用仪器有限责任公司;

全自动色差计:SC-80C 型,北京康光光学仪器有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

等离子体表面处理机:TS-PL200 型,深圳市东信高科自动化设备有限公司;

脉冲强光处理设备:ZWS-Y2-D1T 型,常州市兰诺光电科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 红枣汁的制备 哈密大枣清洗,65 ℃烘干后磨成粉,按 $m_{\text{红枣粉}}:V_{\text{水}}=1:10$ (g/mL) 配制红枣汁,加入果胶酶和纤维素酶酶解($m_{\text{果胶酶}}:m_{\text{纤维素酶}}$ 为 1:2,温度 40 ℃,时间 4 h,酶用量 2.4 g/L),离心(4 ℃,3 000 r/min,10 min)弃去沉淀后即得到红枣清汁,备用。

1.2.2 杀菌处理对红枣汁细菌总数的影响

(1) 低温等离子体杀菌(CPS):取红枣清汁 50 mL 装

入无菌瓶,放电功率为 750 W,考察不同低温等离子体处理时间(0,30,60,90,120,150 s)对红枣汁细菌总数的影响。

(2) 脉冲强光杀菌(PLS):取红枣清汁 10 mL 装入无菌培养皿,考察脉冲能量为 600 J 时脉冲次数(5,10,15,20,25,30 次)和脉冲次数 10 次时不同脉冲能量(500,600,700,800,900,1 000 J)对红枣汁细菌总数的影响。

(3) 高压杀菌(SA):取红枣清汁 25 mL 装入 50 mL 锥形瓶,考察 SA 处理(121 ℃,15 min)对红枣汁细菌总数的影响。

1.2.3 红枣汁发酵 取 1 mL 植物乳杆菌培养物,接种到 100 mL 已灭菌的 MRS 液体培养基中,37 ℃恒温培养 48 h,将 1 mL 所得益生菌悬浮液用作 100 mL MRS 肉汤的接种物,37 ℃继续培养 48 h。4 ℃、6 000 r/min 离心 15 min,收集菌种沉淀,无菌水洗沉淀物两次,制备成初始浓度为 4.32 lg(CFU/mL)的悬浮液备用。按红枣汁体积的 3% 接种植物乳杆菌,37 ℃发酵 48 h,得发酵红枣汁。

1.2.4 发酵红枣汁品质评价

(1) 细菌总数:按 GB 4789.2—2022 执行。

(2) 植物乳杆菌活菌数:按 GB 4789.35—2016 执行。

(3) 总糖和还原糖含量:采用 DNS 比色法和苯酚硫酸法^[5]。

(4) 总酚含量:采用福林—酚比色法^[6]。

(5) 总黄酮含量:采用硝酸铝比色法^[7]。

(6) 色差(L^* 、 a^* 、 b^*):使用 SC-80C 型全自动色差仪测定。

(7) pH 值:使用 pH 计测定。

(8) 可溶性固形物含量:利用数显折光糖度仪测定。

2 结果与分析

2.1 杀菌处理对红枣汁细菌总数的影响

由图 1(a)可知,红枣汁的初始细菌总数约为 110 CFU/mL,经 CPS 处理后,其细菌总数显著下降($P<0.05$),当处理时间为 90 s 时,细菌总数减少至 29 CFU/mL;当处理时间为 120 s 时,红枣汁的细菌总数最低(27 CFU/mL),处理时间为 90,120 s 之间无显著性差异,因此选择 90 s 作为红枣汁 CPS 处理的条件。

由图 1(b)和图 1(c)可知,当处理次数为 10 次时菌落数最低,且处理 5 次组和处理 10 次组有显著性差异,因此选择脉冲处理次数为 10 次;当处理次数为 10 次,脉冲能量为 600 J 时,红枣汁中的细菌总数最低,且脉冲能量为 500,600 J 之间有显著性差异。因此,最终确定选择脉冲强光处理次数为 10 次,脉冲能量为 600 J。袁永军等^[8]利用 PLS 技术,在流速为 1 L/min 时,循环处理 3 次的黄酒与处理 1 次的相比,循环 3 次能显著提高黄酒中细菌、霉菌、酵母菌的杀菌效果。陈金定等^[9]研究发现,PLS 处理饮料瓶盖,照射距离越短、闪烁次数越多,杀菌效率越

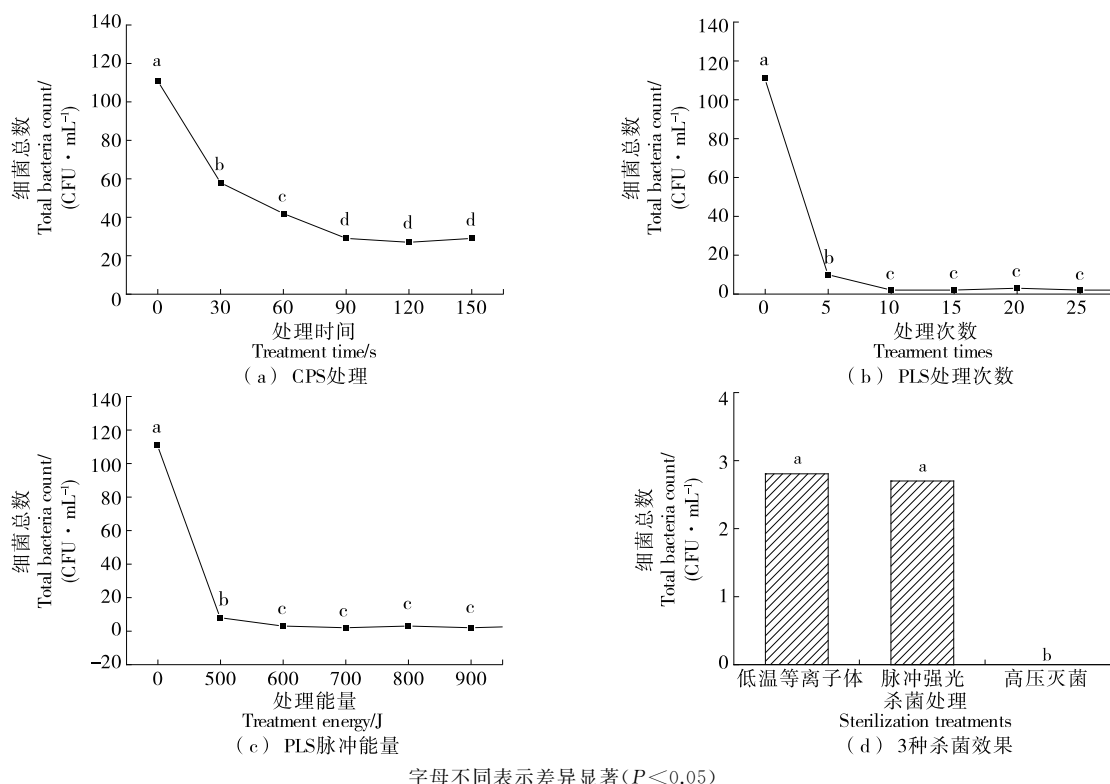


图 1 杀菌处理对红枣汁中细菌总数的影响

Figure 1 Effects of different sterilization treatments on total bacteria count in jujube juice

高。一般情况下,在处理能量较高时,PLS 处理次数越多,杀菌效果越好。

由图 1(d)可知,经 SA 杀菌处理后,红枣汁中的细菌总数为 0 CFU/mL,可完全杀灭红枣汁中的微生物。经 CPS 和 PLS 处理后,红枣汁中仍有少量微生物,但两组之间无显著差异。王小媛等^[10]在放电功率为 750 W,处理时间为 90,120,150,180 s 的条件下对杜仲油苹果汁进行 CPS 杀菌处理,样品细菌总数均降至 2 lg(CFU/mL)以下。Chakraborty 等^[11]在强度为 30 W/cm²,时间为 167 s 的 PLS 条件下处理杨桃汁和黑葡萄汁配制的混合水果饮料,导致其微生物群(酵母和霉菌)和酶完全失活。上述研究与试验结果一致,3 种不同杀菌处理对红枣汁均有良好的杀菌效果。

2.2 杀菌处理对红枣汁发酵前后营养成分的影响

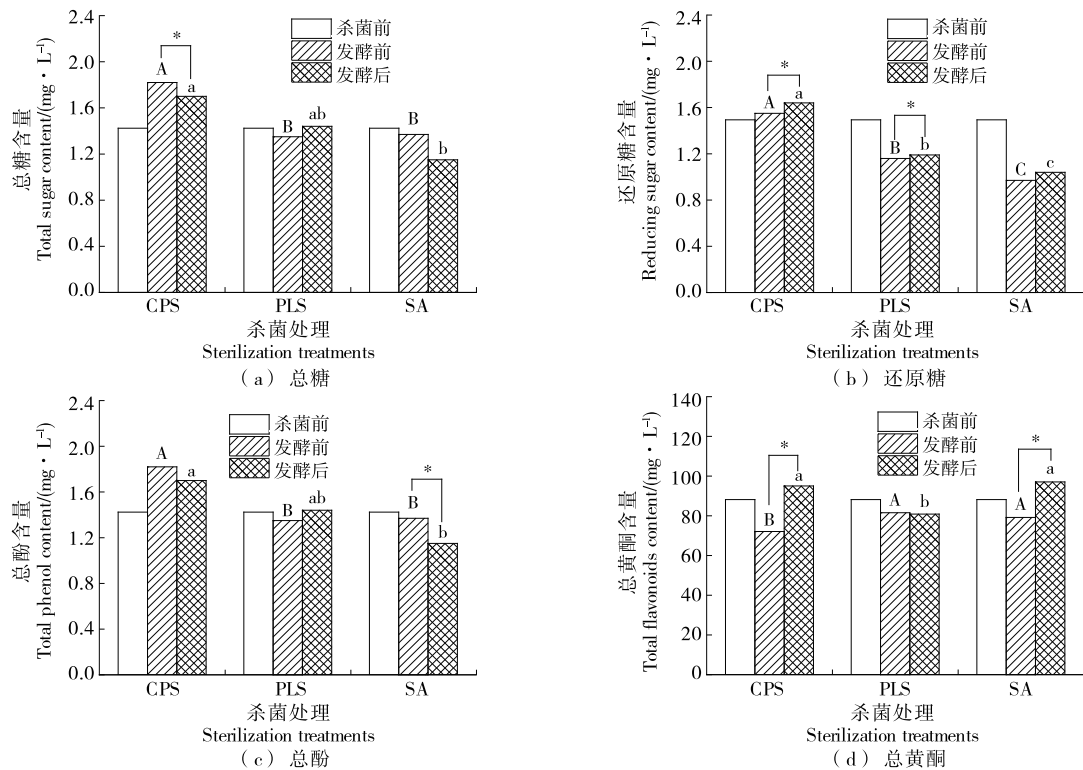
由图 2(a)可知,CPS 处理红枣汁后总糖含量显著增加($P < 0.05$),发酵后 CPS 的总糖含量为 1.7 mg/L,显著高于 SA 的。经 PLS 和 SA 处理的红枣汁发酵后总糖含量无显著差异。

由图 2(b)可知,3 种处理组发酵后的还原糖含量均增加,其中 CPS 处理和 SA 处理发酵前后还原糖含量变化显著。CPS 处理发酵前和发酵后的还原糖含量分别为 1.55,1.64 mg/L,显著高于 PLS 处理和 SA 处理的($P < 0.05$)。江天宝等^[12]在闪照频率为 3 次/s,每次闪照能量

为 6 J/cm²的条件下对熟地瓜干进行 25 s 的 PLS 处理,结果显示杀菌后的总糖含量变化率不超过 0.30%。

由图 2(c)可知,CPS 处理和 PLS 处理的红枣汁经发酵后总酚含量无明显差异,SA 处理的总酚含量降低,且 CPS 处理发酵前后的总酚含量显著高于 PLS 处理和 SA 处理的。于弘慧等^[13]研究发现,新鲜的梨汁和 CPS 处理后的梨汁中共检出 6 种酚类物质,超高温瞬时杀菌处理只检出 3 种物质,且 CPS 处理后的梨汁酚类物质保留率达 75.14%,而超高温瞬时杀菌和巴氏杀菌的酚类物质保留率仅为 14.18%和 13.86%。Hou 等^[14]研究表明,与热处理相比,不同处理时间和放电频率的 CPS 处理显著提高了蓝莓汁中酚类物质含量,但不同处理组的总酚含量不同。Pankaj 等^[15]发现延长 CPS 的处理时间会导致葡萄汁总酚含量降低,可能由于总酚中芳环结构的降解,不同种类水果也会出现类似的降解情况。而 Avalos-Llano 等^[16]运用强度为 4~16 J/cm²的 PLS 处理鲜切草莓,发现其草莓对总酚含量无显著影响。因此,杀菌处理对果蔬中酚类物质含量的影响与果蔬种类和处理参数有关。

由图 2(d)可知,CPS 处理和 SA 处理的红枣汁发酵后总黄酮含量显著增加($P < 0.05$),其中发酵前 PLS 处理和 SA 处理的总黄酮含量分别为 81.54,79.18 mg/L,显著高于 CPS 处理的($P < 0.05$);发酵后 CPS 处理和 SA 处理的总黄酮含量分别为 95.04,97.07 mg/L,显著高于 PLS



* 表示处理组红枣汁发酵前后差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示发酵前不同杀菌方式处理的红枣汁之间差异显著 ($P < 0.05$); 小写字母不同表示发酵后不同杀菌方式处理的红枣汁之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 杀菌处理对红枣汁发酵前后营养成分的影响

Figure 2 Effects of different sterilization treatments on nutrient composition of jujube juice before and after fermentation

处理的 ($P < 0.05$), CPS 处理和 SA 处理发酵前后的总黄酮含量均有显著性差异 ($P < 0.05$)。王小媛等^[10]研究发现,经 CPS 处理后的杜仲籽油苹果汁饮料黄酮类化合物可以得到较好保留,可能是由于 CPS 处理可在一定程度上将结合态的黄酮转化为游离态,使黄酮含量增加。

2.3 杀菌处理对红枣汁色差的影响

研究^[17]表明,低剂量脉冲强光对食品色泽有一定保护作用,而高剂量脉冲强光会引起食品色泽变化。由表 1 可知,发酵前后色差值均有所下降,其中 L^* (明亮值) 偏差明显, a^* (红绿值) 和 b^* (黄蓝值) 变化较小,特别是 SA 处理,溶液颜色变化最为显著。色差值显著下降,可能是由于乳杆菌发酵增殖使发酵红枣汁的亮度变低 (溶液有

显著浑浊)。解梦梦等^[18]研究发现, CPS 处理对鲜切猕猴桃片中色泽的影响不显著,能较好地保持鲜切猕猴桃片的原有色泽、口感与营养品质。Lopes 等^[19]研究表明,经 PLS 处理 (0.6 J/cm^2) 的芒果贮藏 7 d 后,果皮的色度值增加了 140%,果肉的色度值增加了 130%。Gomez-Lopez 等^[20]研究发现,利用 PLS 在脉冲距离为 12.8 cm,脉冲能量为 7 J,脉冲数量为 2 700 个时,处理后的莴苣会出现变色,鲜切白菜也会出现异味。

2.4 杀菌处理对红枣汁其他理化性质的影响

由表 2 可知,由于发酵导致红枣汁的总酸不断上升,3 种处理的 pH 值均有所下降,是因为植物乳杆菌消耗糖类物质代谢产生乳酸,使酸度上升。张佰清等^[21]研究发

表 1 杀菌处理对红枣汁色差的影响[†]

Table 1 Effects of different sterilization treatments on color difference of jujube juice

杀菌 方式	L^*			a^*			b^*		
	杀菌前	发酵前	发酵后	杀菌前	发酵前	发酵后	杀菌前	发酵前	发酵后
CPS	60.92±0.11	52.18±0.24 ^C	20.10±1.40 ^c	6.20±0.04	11.00±0.59 ^A	8.37±0.56 ^a	38.36±0.04	42.15±0.15 ^B	22.83±0.53 ^c
PLS		58.70±0.02 ^B	27.36±0.12 ^b		7.11±0.03 ^C	7.06±0.16 ^b		37.44±0.04 ^C	24.67±0.11 ^b
SA		79.28±0.71 ^A	27.64±0.37 ^a		9.11±0.13 ^B	7.25±0.07 ^b		55.68±0.33 ^A	28.23±0.21 ^a

[†] 大写字母不同表示发酵前不同杀菌处理的红枣汁之间差异显著 ($P < 0.05$); 小写字母不同表示发酵后不同杀菌处理的红枣汁之间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 杀菌处理对红枣汁其他理化性质的影响[†]

Table 2 Effects of different sterilization treatments on other physicochemical properties of jujube juice

杀菌方式	pH			可溶性固形物/%		
	杀菌前	发酵前	发酵后	杀菌前	发酵前	发酵后
CPS	3.95±0.01	4.01±0.02 ^C	3.57±0.01 ^a	9.97±0.06	11.3±0.06 ^A	12.4±0.06 ^a
PLS		4.32±0.01 ^A	3.33±0.01 ^c		9.4±0.06 ^C	8.8±0.06 ^b
SA		4.24±0.01 ^B	3.44±0.02 ^b		9.7±0.06 ^B	8.8±0.06 ^b

杀菌方式	电位/mV			粒径/nm		
	杀菌前	发酵前	发酵后	杀菌前	发酵前	发酵后
CPS	-4.45±0.16	-1.58±0.53 ^A	-7.22±0.77	729±51.07	1 003±59.40 ^A	806±119.02 ^b
PLS		-6.41±0.62 ^B	-8.91±0.51		885±162.29 ^A	1 957±450.62 ^a
SA		-5.51±1.82 ^B	-8.51±0.55		544±89.14 ^B	2 210±384.13 ^a

† 大写字母不同表示发酵前不同杀菌处理的红枣汁之间差异显著($P<0.05$);小写字母不同表示发酵后不同杀菌处理的红枣汁之间差异显著($P<0.05$)。

现,PLS 处理有利于提高或保持啤酒酵母菌种的发酵性能。与 CPS 处理和 SA 处理相比,PLS 处理的 pH 降幅较大,可能是 PLS 处理提高了植物乳杆菌的产酸性能。

3 种不同杀菌处理的红枣汁发酵前后的可溶性固形物含量变化不明显,其中 CPS 处理发酵前后的可溶性固形物含量均为最高。Amanda 等^[22]研究表明植物乳杆菌发酵西瓜汁后,可溶性固形物含量无明显变化,可能是植物乳杆菌在发酵过程中产生的乳酸对可溶性固形物的测量造成影响,或植物乳杆菌对不溶性糖的水解作用促进了可溶性固形物含量的平衡^[23]。马晓艳等^[24]利用 CPS 在 110 kV、110 Hz 下处理鲜黄花菜 150 s,于(4±1)℃贮藏,发现 CPS 处理维持了黄花菜可溶性固形物含量。

不同杀菌方式处理红枣汁,发酵后的电位绝对值均上升,且发酵后 3 种处理之间无显著性差异,表明 3 种处理的红枣汁体系稳定性增加。CPS 处理的粒径由发酵前的 1 003 nm 降低至发酵后的 806 nm,PLS 处理由 885 nm 增大至 1 957 nm,SA 处理发酵前后粒径变化较大(由 544 nm 增大至 2 210 nm),可能是由于高温下颗粒布朗运动的加剧和颗粒间的强烈团聚所致^[4]。通过粒径和电位综合来看,CPS 处理更有利于保持红枣汁体系的稳定性。

2.5 杀菌处理对植物乳杆菌活菌数的影响

由图 3 可知,PLS 处理植物乳杆菌生长情况最好,达到 6.63 lg(CFU/mL),SA 处理略低,为 6.48 lg(CFU/mL),3 种杀菌方式处理之间无显著性差异($P>0.05$)。Zheng 等^[25]研究发现,热处理和超高压处理的荔枝汁中干酪乳杆菌的活菌量无显著差异,与试验结果一致。因此,杀菌处理方式对发酵红枣汁中植物乳杆菌的生长情况无显著影响。

3 结论

试验表明,采用低温等离子体杀菌处理 90 s 可显著降低红枣汁的细菌总数;采用脉冲强光杀菌处理在处理次数为 10 次,脉冲能量 600 J 时,红枣汁中的细菌总数最

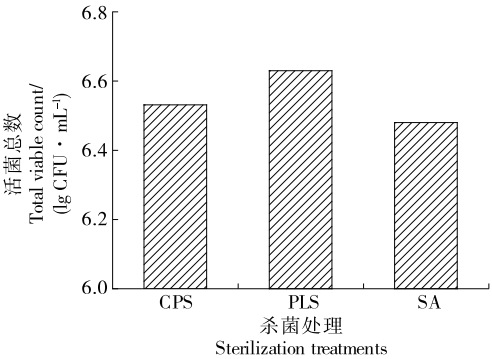


图 3 杀菌处理对植物乳杆菌活菌数的影响
Figure 3 Effects of different sterilization treatments on viable count of *L. plantarum*

低,处理效果最佳。采用低温等离子体杀菌处理,红枣汁发酵前后总糖、还原糖和可溶性固形物含量均显著高于另外两种杀菌方式,发酵后的总糖、还原糖和可溶性固形物含量分别为 1.7 mg/L、1.64 mg/L 和 12.4%;采用高压杀菌处理,红枣汁发酵前后总酚含量均为最低,其中,发酵后的总酚含量为 2.19 mg/L;采用脉冲强光杀菌处理,红枣汁发酵前后的色差值变化最小,而采用高压杀菌处理的色差值变化最大。低温等离子体杀菌、脉冲强光杀菌和高压杀菌处理的红枣汁,在发酵 48 h 后,植物乳杆菌活菌数均>6.48 lg(CFU/mL),其中,脉冲强光杀菌处理后植物乳杆菌活菌总数最高,为 6.63 lg(CFU/mL)。综上,与高压杀菌这种传统热杀菌方式相比,低温等离子体杀菌和脉冲强光杀菌处理对发酵红枣汁营养物质、色差和发酵性能的影响较低,可作为红枣汁发酵前的非热杀菌技术。研究主要考察了 3 种杀菌处理对发酵红枣汁的主要营养成分和理化性质的影响,而非热杀菌技术如何有效地在果蔬汁加工中进行应用需进一步研究。

参考文献

[1] 夏涛, 吴云峰, 王胜利, 等. 高压脉冲电场杀菌系统中高压脉冲

- 发生器研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 229-231, 236.
- XIA T, WU Y F, WANG S L, et al. Research advance of high-voltage pulsed generator in high-voltage pulsed electric field sterilization system [J]. Food & Machinery, 2016, 32(5): 229-231, 236.
- [2] 王卓, 周丹丹, 彭菁, 等. 低温等离子体对蓝莓果实的杀菌效果及其品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 101-107.
- WANG Z, ZHOU D D, PENG J, et al. Efficacy of cold plasma on microbial decontamination and storage quality of blueberries [J]. Food Science, 2018, 39(15): 101-107.
- [3] BHARATI B, SNEHASIS C. Potential of pulsed light treatment to pasteurize pomegranate juice: Microbial safety, enzyme inactivation, and phytochemical retention[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 159: 113215.
- [4] ZHANG L H, ZHA M M, LI S F, et al. Investigation on the effect of thermal sterilization versus non-thermal sterilization on the quality parameters of jujube juice fermented by *Lactobacillus plantarum* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2022: 59(10): 1-10.
- [5] 吴万林, 余元善, 肖更生, 等. 蓝莓汁乳酸菌的发酵特性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 159-166.
- WU W L, YU Y S, XIAO G S, et al. Fermentation characteristics of lactic acid bacteria in blueberry juice[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 159-166.
- [6] 李相禹, 韦青海, 彭佳丽, 等. 植物乳杆菌发酵富集猕猴桃多酚工艺优化及其对多酚生物可及性的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(11): 15-20.
- LIN X Y, WEI Q H, PENG J L, et al. Process optimization of polyphenol accumulation in kiwifruit fermented with *Lactobacillus plantarum* and the effect on bioaccessibility of polyphenol[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(11): 15-20.
- [7] 叶盼, 吴慧, 王德纯, 等. 发酵苹果汁的抗氧化性能变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(4): 114-119.
- YE P, WU H, WANG D C, et al. Changes on antioxidant activity of fermented apple juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(4): 114-119.
- [8] 袁勇军, 唐敏, 陈伟, 等. 脉冲强光对连续流动状态下黄酒杀菌效果及品质的影响[J]. 中国酿造, 2011(1): 71-74.
- YUAN Y J, TANG M, CHEN W, et al. Effect of flow-through pulsed light on the sterilization and quality of rice wine[J]. China Brewing, 2011(1): 71-74.
- [9] 陈金定, 王媛, 毛立科, 等. 脉冲强光对饮料瓶盖杀菌效果[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 183-187, 212.
- CHEN J D, WANG Y, MAO L K, et al. Effect of pulsed light on bacterium sterilization of beverage bottle cap[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 183-187, 212.
- [10] 王小媛, 牛涵, 靳学远, 等. 杜仲籽油苹果汁饮料低温等离子体和热杀菌的比较分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 206-214.
- WANG X Y, NIU H, JIN X Y, et al. Comparative analysis of cold plasma and thermal sterilization of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 206-214.
- [11] CHAKRABORTY S, MAHALE S, DHAR R, et al. Development of a mixed fruit beverage and pulsed light treatment thereof to obtain a microbially safe and enzymatically stable product [J]. Food Bioscience, 2022, 45: 101508.
- [12] 江天宝, 陆燕, 陆则坚. 脉冲强光对熟地瓜干杀菌效果及品质的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2007(2): 201-204.
- JIANG T B, LU Z, LU Z J. Effects of pulsed light on the sterilization and quality of cooked sweet potato slice[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2007(2): 201-204.
- [13] 于弘慧, 孔祥拯, 陈璧州, 等. 低温等离子体杀菌后梨汁酚类物质的变化[J]. 北京农学院学报, 2018, 33(4): 104-107.
- YU H H, KONG X Z, CHEN B Z, et al. Changes on polyphenol composition and contents of pear juice after sterilization by low temperature plasma [J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2018, 33(4): 104-107.
- [14] 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.
- [15] PANKAJ S K, WAN Z, COLONNA W, et al. Effect of high voltage atmospheric cold plasma on white grape juice quality[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, 97(12): 4 016.
- [16] AVALOS-LLANO K R, MARTIN-BELLOSO O, SOLIVA-FORTUNY R. Effect of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut strawberries[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 393-400.
- [17] 王龔, 郑勇, 杨开. 脉冲强光在食品杀菌中的应用研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 397-408.
- WANG Y, ZHENG Y, YANG K. Research progress on application of pulsed light in food sterilization[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 397-408.
- [18] 解梦梦, 赵武奇, 贾梦科, 等. 低温等离子体处理对鲜切猕猴桃片质构及理化特性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 133-142.
- XIE M M, ZHAO W Q, JIA M K, et al. Effects of low temperature plasma treatment on texture and physicochemical properties of fresh-cut kiwi slices [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 133-142.
- [19] LOPES M M A, SILVA E O, CANUTO K M, et al. Low fluence pulsed light enhanced phytochemical content and antioxidant potential of 'Tommy Atkins' mango peel and pulp[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 216-224.
- [20] GOMEZ-LOPEZ V M, DELIEGHERE F, BONDUELLE V, et al. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 103(1): 79-89.
- [21] 张佰清, 孙栏梦. 脉冲强光对啤酒酵母的诱变效应[J]. 食品科学, 2015, 36(7): 153-157.
- ZHANG B Q, SUN L M. Mutagenic effects of pulsed light irradiation on *saccharomyces cerevisiae* [J]. Food Science, 2015, 36(7): 153-157.

(下转第 142 页)

- material quality and brine salting[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(1): 46-54.
- [13] LIU S L, ZENG X H, ZHANG Z Y, et al. Effects of immersion freezing on ice crystal formation and the protein properties of snakehead (*Channa argus*) [J]. Foods, 2020, 9(4): 411.
- [14] SHI L, XIONG G, YIN T, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the protein denaturation and water properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 133: 110124.
- [15] JIANG Q, OKAZAKI E, ZHENG J, et al. Structure of northern snakehead (*Channa argus*) meat: Effects of freezing method and frozen storage[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 1 166-1 179.
- [16] LI D, QIN N, ZHANG L, et al. Degradation of adenosine triphosphate, water loss and textural changes in frozen common carp (*Cyprinus carpio*) fillets during storage at different temperatures[J]. International Journal of Refrigeration, 2019, 98: 294-301.
- [17] VILAS C, ALONSO A A, HERRERA J R, et al. A mathematical model to predict early quality attributes in hake during storage at low temperature[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 222: 11-19.
- [18] 张艳霞. 养殖大黄鱼品质评价及冻藏过程中品质变化规律的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 33-34.
- ZHANG Y X. Quality evaluation of cultured *Pseudosciaena crocea* and its quality changes during frozen storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 33-34.
- [19] PAN S K, WU S J. Effect of Chitooligosaccharides on the denaturation of weever myofibrillar protein during frozen storage [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 65: 549-552.
- [20] NGUYEN A T, DONALDSON R P. Metal-catalyzed oxidation induces carbonylation of peroxisomal proteins and loss of enzymatic activities[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2005, 439(1): 25-31.
- [21] 丘静, 秦德丽, 刘纯友, 等. 低温贮藏过程中水牛肉蛋白质的变化[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 137-142.
- QIU J, QIN D L, LIU C Y, et al. Protein changes of buffalo meat during low temperature storage[J]. Food & Machinery, 2022, 38 (2): 137-142.
- [22] 张志广. 冷冻对养殖大黄鱼品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010: 28-29.
- ZHANG Z G. Study on quality changes of cultured large yellow croaker subjected to different freezing methods [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010: 28-29.
- [23] 鲁珺. 液氮深冷速冻对带鱼和银鲳品质及其肌肉组织的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015: 33-36.
- LU J. Effect of cryogenic freezing by liquid nitrogen on the quality and microstructure of hairtail and silver pomfret [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015: 33-36.
- [24] BADII F, HOWELL N K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage [J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(4): 313-319.
-
- (上接第 127 页)
- [34] 马晓艳, 王娟, 张海红, 等. 低温等离子体处理对采后黄花菜活性氧代谢和品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(23): 254-260.
- MA X Y, WANG J, ZHANG H H, et al. Effect of low-temperature plasma treatment on reactive oxygen species metabolism and quality of postharvest day lilies[J]. Food Science, 2021, 42(23): 254-260.
- [35] DONG T, CAO Y, LI G, et al. A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 172: 111353.
- [36] 史蔓蔓, 张文, 刘飞翔, 等. 竹笋采后生理生化变化及贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(7): 1-20.
- SHI M M, ZHANG W, LIU F X, et al. Progress on physiological and biochemical changes and storage and preservation of bamboo shoots after harvest[J]. Food Science, 2023, 44(7): 1-20.
- [37] 刘瑶, 郑秋丽, 左进华, 等. 茉莉酸甲酯结合低温预贮对尖椒采后品质及生理特性的影响 [J]. 食品科学, 2020, 41(3): 178-184.
- LIU Y, ZHENG Q L, ZUO J H, et al. Effects of methyl jasmonate combined with low temperature pre storage on post harvest quality and physiological characteristics of pepper[J]. Food Science, 2020, 41(3): 178-184.
-
- (上接第 133 页)
- [22] AMANDA E, CHOO W S. Effect of refrigerated storage on the physicochemical characteristics and viability of *Lactobacillus plantarum* in fermented watermelon juice with or without supplementation with inulin or fructooligosaccharide[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(12): e13831.
- [23] OLIVEIRA P M D, JUNIOR B R D C L, MARTINS E M F, et al. Mango and carrot mixed juice: A new matrix for the vehicle of probiotic lactobacilli[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(1): 98-109.
- [24] 马晓艳, 王娟, 张海红, 等. 低温等离子体处理对采后黄花菜活性氧代谢和品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(23): 254-260.
- MA X Y, WANG J, ZHANG H H, et al. Effect of cold plasma treatment on reactive oxygen species metabolism and quality of postharvest daylily[J]. Food Science, 2021, 42(23): 254-260.
- [25] ZHENG X, YU Y S, XIAO G S, et al. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 23: 61-67.