

杜仲籽油苹果汁饮料低温等离子体和热杀菌的比较分析

王小媛¹, 牛涵¹, 靳学远², 赵光远^{1*}, 纵伟¹

(1. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南郑州 450002)

(2. 海南科技职业大学临床医药学院, 海南海口 571126)

摘要: 以杜仲籽油苹果汁饮料为研究对象, 用低温等离子体 (放电功率为 750 W, 处理 90、120、150、180 s) 或热处理 (65 °C 30 min、80 °C 20 min、90 °C 10 min 和 90 °C 15 min) 进行杀菌, 测定各理化指标进行分析比较。结果表明, 等离子体和热处理后菌落总数均未检出, pH 无显著变化 ($p>0.05$); 等离子体处理使可溶性固形物含量最高增加 17.73%, 热处理影响不显著 ($p>0.05$); 总酚和黄酮含量在等离子体处理后能较好保持, 而热处理使黄酮含量最大降低 6.34%; 等离子体和热处理后总糖含量最大降幅分别为 11.42%、20.48%, 还原糖含量最大增幅分别为 18.46%、10.34%; 等离子体处理使饮料总酸含量最高增加 26.23%; 两种方法对抗氧化性均有一定程度的降低, 但影响程度相近; 在稳定性方面, 热杀菌粒径最高增加 8.19%, ζ -电位绝对值最大降低 6.54%, 而等离子体处理对 ζ -电位无显著影响 ($p>0.05$)。综合来说, 较于热杀菌, 低温等离子体杀菌更适合杜仲籽油苹果汁饮料, 杀菌时间短, 效率高, 且能较好地保持其品质。

关键词: 杜仲籽油; 苹果汁; 热处理; 低温等离子体; 品质

文章编号: 1673-9078(2022)09-206-214

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1134

Comparative Analysis of Cold Plasma and Thermal Sterilization of *Eucommia ulmoides* Seed Oil-apple Juice Beverage

WANG Xiaoyuan¹, NIU Han¹, JIN Xueyuan², ZHAO Guangyuan^{1*}, ZONG Wei¹

(1. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

(2. College of Clinical Medicine, Hainan Vocational University of Science and Technology, Haikou 571126, China)

Abstract: *Eucommia ulmoides* seed oil-apple juice beverage was used as the research object, and sterilized by cold plasma (discharge power 750 W, treatment 90, 120, 150 or 180 s) or thermal treatment (65 °C 30 min, 80 °C 20 min, 90 °C 10 min or 90 °C 15 min). The physical and chemical indexes were determined for analysis and comparison. The results showed that the total number of colonies was not detected for both the thermal treatment and cold plasma treatment with insignificant change in pH ($p>0.05$). The plasma treatments increased the soluble solids content (by up to 7.73%), whilst the heat treatments had insignificant effect ($p>0.05$). The total phenolic content and content of flavonoids were well maintained after the plasma treatments, whilst the thermal treatments decreased the flavonoids content (by up to 6.34%). The cold plasma treatment and heat treatment led to the maximum decreases of total sugar content by 11.42% and 20.48% respectively, and the maximum increases of reducing sugar content by 18.46% and 10.34% respectively. The cold plasma treatments increased the total acid content of the beverage (by up to 26.23%). Both treatments caused a certain degree of reduction in the antioxidant activity of the beverage, and the changes were similar. In terms of stability, the heat treatments increased the particle size by up to 8.19% and decreased the absolute value of

引文格式:

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 Xiaoyuan, NIU Han, JIN Xueyuan, 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

收稿日期: 2021-10-13

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2021XDNY143); 河南省科技攻关项目 (212102110345)

作者简介: 王小媛 (1986-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬加工及安全控制, E-mail: wang459381@163.com

通讯作者: 赵光远 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工及安全控制, E-mail: guangyuan-zhao@163.com

ζ -potential by up to 6.54%. Whereas, the plasma treatments had insignificant effects on ζ -potential ($p>0.05$). In general, compared with thermal sterilization, cold plasma sterilization is more suitable for the *Eucommia ulmoides* seed oil-apple juice beverage, with a shorter sterilization time, higher efficiency and better maintenance of beverage quality.

Key words: *Eucommia ulmoides* seed oil; apple juice; thermal treatment; cold plasma; quality

杜仲籽油具有优良的理化性质,其主要脂肪酸为亚麻酸,具有保护心脏、调节炎症反应和对中枢神经系统功能有积极影响等有益作用,具有巨大的经济价值和广泛的开发潜力,杜仲籽油早在2009年被批准为食品新资源,但由于油脂不溶于水、有特殊香气和容易产生油腻感等特点,不宜直接添加到产品中^[1-3]。经过前期研究,本团队以苹果汁和杜仲籽油为原料,制作了一种杜仲籽油苹果汁饮料,该产品状态均匀、稳定、呈乳浊状,具有苹果汁香气和杜仲籽油特有脂香,香气适宜,口感细腻,酸甜适口。为了使其能够长期存放且保持较好的品质,本文将进一步研究不同杀菌方法对杜仲籽油苹果汁饮料品质的影响。

热巴氏杀菌是一种常见的相对温和的杀菌形式,除了杀灭微生物外,还能灭活果汁变质有关的酶,但同时会对饮料中的热敏感物质造成影响^[4],而低温等离子体技术是一种新兴的绿色非热食品加工技术。等离子体的组成是复杂的,它是物质的第四种状态,是一种电离气体,包含多种不同的活性物质,如电子、自由基、离子等,这些物质单独或联合作用于微生物,从而达到杀灭微生物的效果,微生物杀灭效率受等离子体体系和处理参数等的影响^[5,6]。使用等离子体技术进行杀菌可降低成本并有效保持食品原有的品质,是热杀菌的合适替代方案^[7],现已有利用等离子体处理谷物、肉制品、水果蔬菜及其制品等的相关报道,研究表明,低温等离子体能够灭活食品中的有害微生物,且能够有效保持食品品质^[8,9]。

本研究比较了不同条件的低温等离子体和热处理对杜仲籽油苹果汁饮料微生物指标(菌落总数)、主要理化指标(pH、可溶性固形物含量、总酚含量、黄酮含量、总糖含量、还原糖含量、总酸)及抗氧化性(DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除率)及稳定性(粒径、 ζ -电位)的影响,为杜仲籽油苹果汁饮料的灭菌方式提供相关理论依据和开辟新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果汁,北京汇源饮料食品集团有限公司;杜仲籽油,陕西宝禾生物科技有限公司;罗汉果苷、黄原胶,食品级,河南万邦化工科技有限公司;平板计数

琼脂,青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;氢氧化钠、酒石酸钾钠、亚硫酸钠、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、硫酸,分析纯,天津市大茂化学试剂厂;苯酚,99.5%,上海易恩化学技术有限公司;福林酚试剂,北京索莱宝科技有限公司;过硫酸钾,≥99%,国药集团化学试剂有限公司;3,5-二硝基水杨酸、没食子酸、芦丁、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(ABTS),≥98%,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

新芝 SCIENTZ-207A 超高压均质机,宁波新芝生物科技股份有限公司;TS-PL200 等离子表面处理机,深圳市东信高科技自动化设备有限公司;TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;HC-3018R 高速冷冻离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;HH-4 恒温搅拌水浴锅,金坛区西城新瑞仪器厂;Zetasizer NANO-ZS90 型纳米粒度表面电位分析仪,英国 Malvern 公司;PHS-3C pH 计,上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 杜仲籽油苹果汁饮料的制备工艺流程

黄原胶、罗汉果苷→混匀→苹果汁→搅拌溶解→加入杜仲籽油→均质→杀菌→灌装→成品

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 调配及均质

根据之前的研究,杜仲籽油苹果汁饮料的制备工艺为:按质量分数添加 0.014%罗汉果苷、0.59%的杜仲籽油和 0.3%黄原胶后,在 43 °C 下以 34 MPa 的压力均质 3 次。

1.3.3 杀菌方法

热处理:将 40 mL 样品置于 50 mL 离心管中进行热处理,采用四种不同的处理温度和时间,分别为 65 °C 处理 30 min、80 °C 处理 20 min、90 °C 处理 10 min 和 90 °C 处理 15 min;

低温等离子体处理:采用常压等离子体喷射(APPJ)装置产生低温等离子体,设备采用高工作电压和高频正弦波逆变器(5 kV、40 kHz),放电功率为 750 W,以低压空气(0.18 MPa)为载体气体,气

体流量 30 L/min, 将 150 mL 样品放置于冰水浴的塑料杯(高 14 cm、直径 7 cm)中, 喷嘴与饮料样品面之间的距离约为 5 cm, 处理时间为 90、120、150、180 s。处理样品时每工作 10 s 搅拌 30 s, 使低温等离子体活性成分在样品中分布均匀, 从而达到杀菌效果。

1.3.4 指标及测定方法

1.3.4.1 菌落总数的测定

参考 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的方法进行测定。

1.3.4.2 pH 测定

使用 pH 计测定。

1.3.4.3 总酸测定

参考 GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》采用酸碱滴定法测定, 结果以苹果酸当量计。

1.3.4.4 可溶性固形物含量测定

利用手持阿贝折光仪测定。

1.3.4.5 总糖含量测定

采用苯酚-硫酸法测定杜仲籽油果汁饮料中总糖的含量。

1.3.4.6 还原糖含量测定

采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定杜仲籽油果汁饮料中还原糖的含量。

1.3.4.7 总酚含量测定

采用福林酚比色法对杜仲籽油苹果汁饮料的总酚含量进行测定, 以没食子酸计算, 结果以每毫升样品含有相当于没食子酸(mg)表示。

1.3.4.8 黄酮含量测定

黄酮的测定采用郑若宇^[10]的方法。

1.3.4.9 DPPH 自由基清除率测定

参考于弘慧等等^[11]的方法, DPPH 自由基清除率计算公式如式(1)所示。

$$R = 1 - \left(\frac{A_1 - A_2}{A_3} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

R—样品的 DPPH 自由基清除率, %;

A₁—样品加 DPPH 溶液的吸光值;

A₂—样品加无水乙醇的吸光值;

A₃—DPPH 溶液加无水乙醇的吸光值。

1.3.4.10 ABTS⁺自由基清除率测定

参考尤菊^[12]的方法, ABTS⁺清除率计算公式如式(2)所示。

$$X = 1 - \left(\frac{A_1 - A_2}{A_3} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

X—样品的 ABTS⁺自由基清除率, %;

A₁—样品加 ABTS 溶液的吸光值;

A₂—样品加无水乙醇的吸光值;

A₃—ABTS 溶液加无水乙醇的吸光值。

1.3.4.11 粒径、电位测定

采用 Zetasizer NANO-ZS 90 纳米粒度表面电位分析仪测定杜仲籽油苹果汁的粒径和电位。粒径测定相关参数: 将杜仲籽油苹果汁饮料按体积稀释 50 倍后进行测定, 以避免高质量分数引起的多重散射效应^[13], 测试温度为恒温 25 °C, 平衡时间为 120 s; 电位测定相关参数: 将杜仲籽油苹果汁饮料稀释 5 倍后进行测定, 测试温度为恒温 25 °C, 平衡时间为 120 s。

1.4 数据处理

每个实验做 3 次平行, 数据以平均值±标准差表示, 使用 SPSS 21.0 软件进行显著性分析, 采用 Duncan 多重比较法, 当 $p < 0.05$ 时, 数据被视为具有显著性差异, 图使用 Origin Pro 9.4 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料菌落总数、pH 及可溶性固形物的影响

不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料菌落总数、pH 及可溶性固形物的影响如表 1 所示, 实验所选取的不同条件的低温等离子体和热处理后, 菌落总数从 350 CFU/mL 降到了检测限以下, 说明两种处理方式均有较好的杀菌效果, 但苹果汁中可能含有嗜酸耐热菌和耐高渗酵母, 如脂环酸芽孢杆菌、鲁氏接合酵母等^[14,15], 在后续储藏过程中芽孢可能会重新萌发。热杀菌目前在食品行业已经得到了广泛的应用, 而低温等离子体杀菌目前也有研究证明是一种有效的杀菌方式^[16]。

未处理的杜仲籽油苹果汁饮料 pH 值为 3.83, 低温等离子体和热处理对于 pH 的影响均不显著 ($p > 0.05$), 在 De 等^[17]采用巴氏杀菌处理果汁的研究中得出了相似的结果, Paixão 等^[18]利用低温等离子体处理巴西金桔汁后, pH 值与未处理的果汁保持在相同的水平。

热处理对于杜仲籽油苹果汁可溶性固形物含量的影响不显著 ($p > 0.05$), 这与 Alongi 等^[19]对于苹果汁巴氏杀菌的研究结果类似, 而低温等离子体处理显著增加了可溶性固形物含量 ($p < 0.05$), 随着处理时间的增加, 可溶性固形物含量从未处理的 11.47 °Bx 增大到 13.50 °Bx, 其值升高可能是因为处理过程中酶的变化或水分的散失^[20,21]。

表 1 热处理及低温等离子体处理对杜仲籽油苹果汁饮料菌落总数、pH 及可溶性固形物的影响

Table 1 Effect of thermal treatment and cold plasma on total number of colonies, pH and soluble solids content in *Eucommia ulmoides*

seed oil apple juice beverage				
		菌落总数/(CFU/mL)	pH	可溶性固形物含量/°Bx
CK		350±28	3.83±0.01 ^a	11.47±0.06 ^a
热处理	65 °C 30 min	ND	3.83±0.01 ^a	11.43±0.06 ^a
	80 °C 20 min	ND	3.84±0.02 ^a	11.43±0.06 ^a
	90 °C 10 min	ND	3.84±0.01 ^a	11.37±0.15 ^a
	90 °C 15 min	ND	3.84±0.01 ^a	11.43±0.12 ^a
低温等离子体处理	90 s	ND	3.77±0.03 ^a	12.27±0.06 ^b
	120 s	ND	3.75±0.01 ^a	12.83±0.06 ^c
	150 s	ND	3.74±0.02 ^a	13.10±0.10 ^d
	180 s	ND	3.72±0.05 ^a	13.50±0.00 ^e

注：同一列中不同小写字母表示具有显著性差异 ($p < 0.05$)，ND 表示未检出。

2.2 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总酚含量的影响

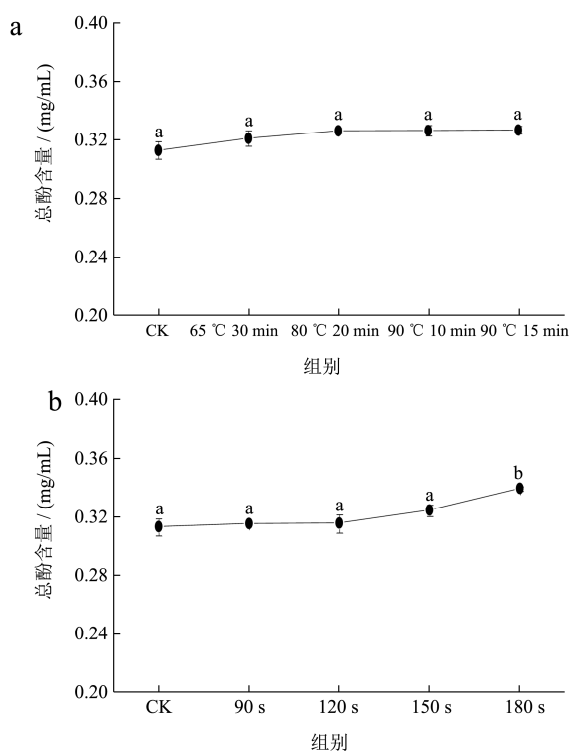


图 1 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总酚含量的影响
Fig.1 Effect of different sterilization methods on total phenolic content of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

注：(a) 热处理；(b) 低温等离子体处理。图 2~8 同。

酚类物质具有多种对人体有益的生理特性，例如抗氧化、抗病毒、抗炎症等。果汁在加工和贮藏过程中，多酚会发生氧化、降解、聚合等，会影响果汁的感官及理化特性，因此总酚含量是评判果汁品质的重

要指标之一。不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总酚含量的影响如图 1 所示，未处理的饮料总酚含量为 0.31 mg/mL，热杀菌对果汁饮料的总酚含量无显著差异，He 等^[22]对于苹果汁的热处理研究中有类似的结果。低温等离子体处理果汁饮料时间少于 150 s 时，总酚含量无显著差异，当处理时间达到 180 s 时，总酚含量显著升高 8.39% ($p < 0.05$)。Hou 等^[23]用低温等离子体处理蓝莓汁，结果表明蓝莓汁的总酚含量无显著变化。本研究中处理 180 s 后的显著升高可能是因为低温等离子体处理所施加的能量及其产生的活性物质作用于结合态的酚类化合物，使其转变成游离态，从而提高酚类物质的含量^[24]。与热处理相比，低温等离子体处理不仅能较好地保持饮料的多酚含量，且当处理时间延长到 180 s 时，能提高多酚的含量。

2.3 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料黄酮含量的影响

黄酮是植物产生的天然多酚，与多酚一样，植物类黄酮也有多种有益的生物学特性。由图 2 知，热杀菌饮料的黄酮含量显著降低 ($p < 0.05$)，在 90 °C 15 min 时黄酮含量最大损失了 6.34%，通常，在热处理过程中，热降解、解聚合等各种反应是导致黄酮类化合物降解的主要原因^[25]；而低温等离子体处理的黄酮含量有所升高但变化不显著 ($p < 0.05$)，在 180 s 时达到最大值 0.22 mg/mL，比未杀菌的样品增加了 2.80%，这可能由于部分黄酮类化合物原本以结合状态存在于细胞膜上，低温等离子体处理提供了一定水平的能量使黄酮变成游离状态，从而导致含量略微增加^[26]。

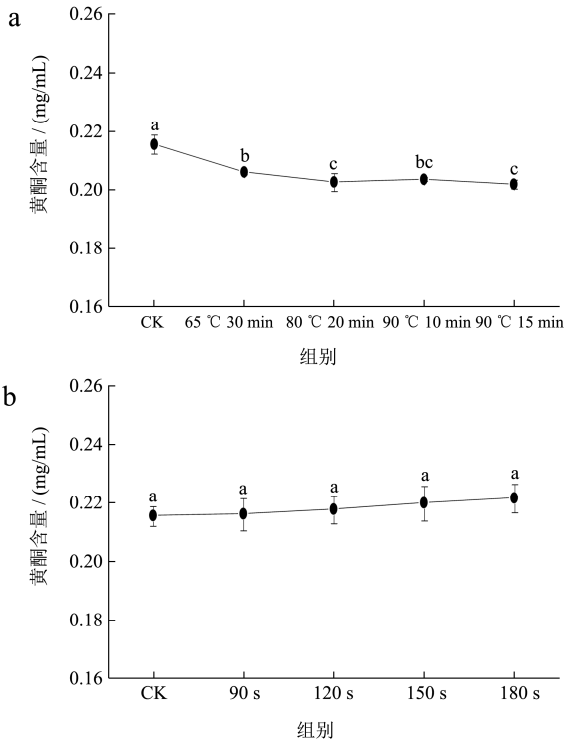


图2 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料黄酮含量的影响

Fig.2 Effect of different sterilization methods on total flavonoid content of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

2.4 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总糖含量的影响

由图3知,杜仲籽油苹果汁饮料在经过热处理后,果汁饮料的总糖含量显著降低 ($p < 0.05$), 其中在 65 °C 30 min 时降幅最大为 20.48%, 刘苏苏^[27]对南果梨汁进行热处理后也观察到总糖含量的下降; 低温等离子体处理 90 s 时对果汁饮料的总糖含量无显著影响, 随着处理时间的延长, 总糖含量均显著降低 ($p < 0.05$), 最大降幅为 11.42%, 降低程度小于热处理。有研究表明, 臭氧降解是低温等离子体处理过程中多糖降解的主要途径, 糖苷键断裂导致大分子解聚和官能团氧化形成羰基和羧基化合物、内酯、过氧化氢和二氧化碳^[28], 因此总糖含量减少。

2.5 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料还原糖含量的影响

由图4以发现, 低温等离子体和热处理均使杜仲籽油苹果汁饮料还原糖含量显著增大 ($p < 0.05$), 热处理 65 °C 30 min 和低温等离子体处理 90 s 后还原糖含量分别增加了 10.34%、11.76%, 影响幅度相近。还原糖含量的增加可能是由于非还原糖转化为还原糖所

致^[29]。Dong 等^[30]利用等离子体处理蓝莓后还原糖含量也有所增加。

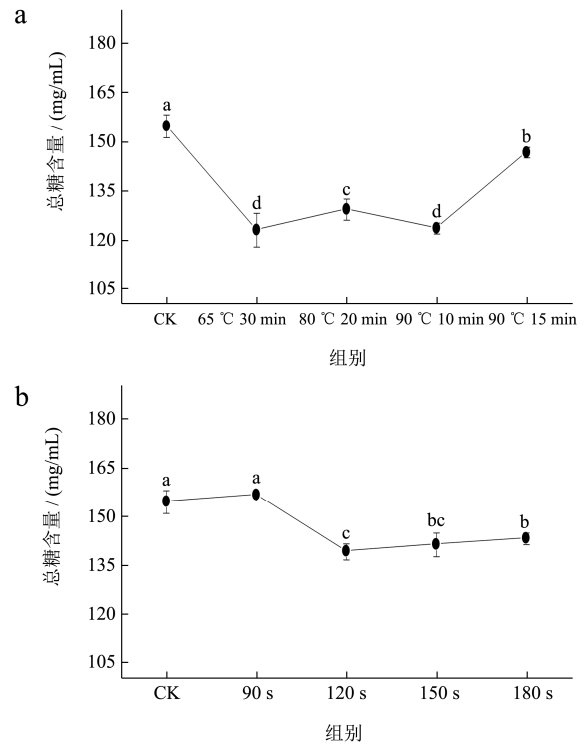


图3 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总糖含量的影响

Fig.3 Effect of different sterilization methods on total sugar content of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

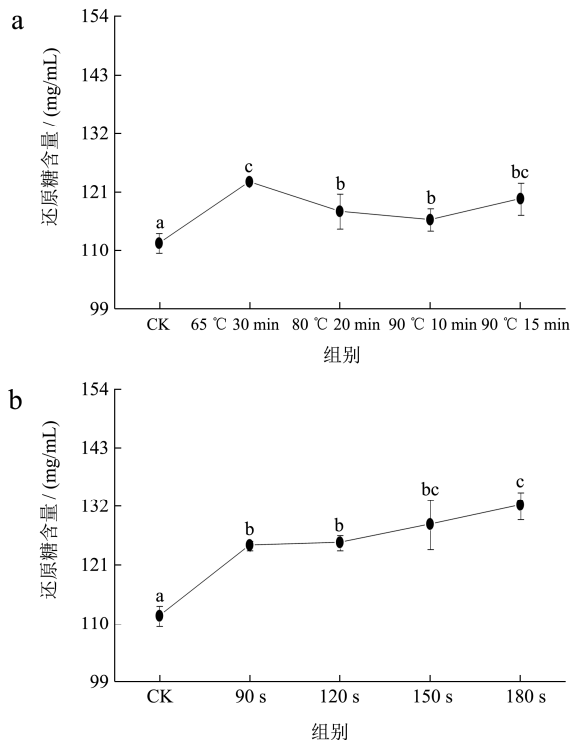


图4 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料还原糖含量的影响

Fig.4 Effect of different sterilization methods on reducing sugar content of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

2.6 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总酸含量的影响

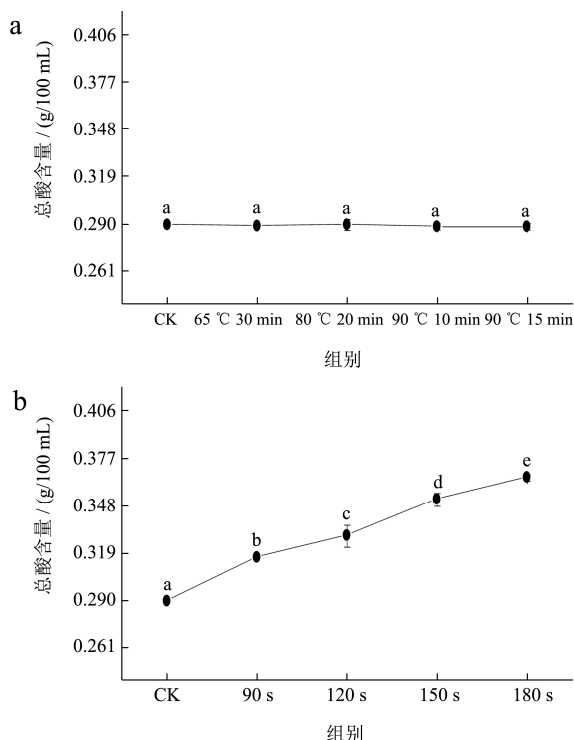


图5 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料总酸的影响

Fig.5 Effect of different sterilization methods on total acid content of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

由图 5 知, 热处理对杜仲籽油苹果汁饮料总酸含量没有显著影响($p>0.05$), 基本保持在 0.29 g/100 mL, 而低温等离子体处理使杜仲籽油苹果汁饮料的总酸含量显著升高 ($p<0.05$), 在 180 s 时与未杀菌的样品相比最大增加了 26.23%, 但仍在正常范围。Pankaj 等^[31]用等离子体处理白葡萄汁后总酸含量也显著降低, 这可能是因为低温等离子体产生的自由基或臭氧可将苹果汁中的部分醛类氧化成酸性化合物, 从而导致总酸升高。

2.7 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料 DPPH 自由基清除率的影响

DPPH 自由基清除实验是根据待测样品对 DPPH 自由基的还原能力来衡量其抗氧化能力。由图 6 知, 热处理显著降低了 DPPH 自由基清除率, 随着加热温度的升高, 清除率的降低幅度越大, 在 90 °C 15 min 时降幅最大为 6.49%, 杨培青等^[32]对沙棘汁热杀菌的研究中也发现 DPPH 自由基清除率降低; 低温等离子体处

理对于饮料的 DPPH 自由基清除率也产生了负面影响, 处理 90 s 后清除率降为 71.80%, 不同处理时间之间没有显著变化 ($p>0.05$), Park 等^[33]利用等离子体处理浆果提取物和 Ramazzina 等^[34]对于鲜切苹果的研究同样发现了等离子体使 DPPH 自由基清除率降低。

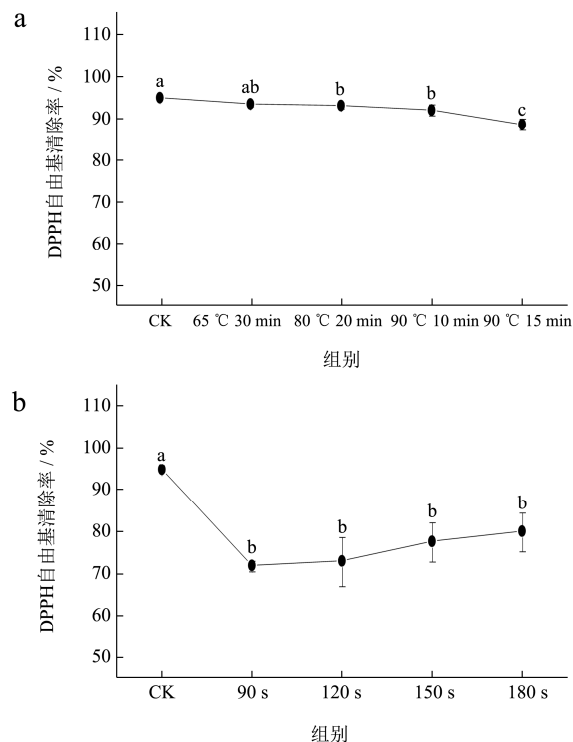


图6 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料 DPPH 自由基清除率的影响

Fig.6 Effect of different sterilization methods on DPPH radical clearance of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

2.8 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料 ABTS⁺自由基清除率的影响

图 7 示了不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料 ABTS⁺自由基清除率的影响, 可见经过低温等离子体和热处理后均显著降低 ($p<0.05$), 变化趋势与 DPPH 自由基清除率相似, 其中热处理降低程度最大的是 90 °C 处理 15 min 后降为 94.53%, 低温等离子体处理后 ABTS⁺自由基清除率最低为 93.51%, 处理 90 s 后清除率不再发生显著变化 ($p>0.05$)。虽然杀菌过程会对饮料的抗氧化性有负面影响但是仍保持了较高的抗氧化活性, 且两种杀菌方式对 ABTS⁺自由基清除率的影响程度大小相似。Cosentino 等^[35]在巴氏杀菌乳饮料和 Almeida 等^[36]用等离子体处理橙汁后也观察到相似的抗氧化能力的下降。

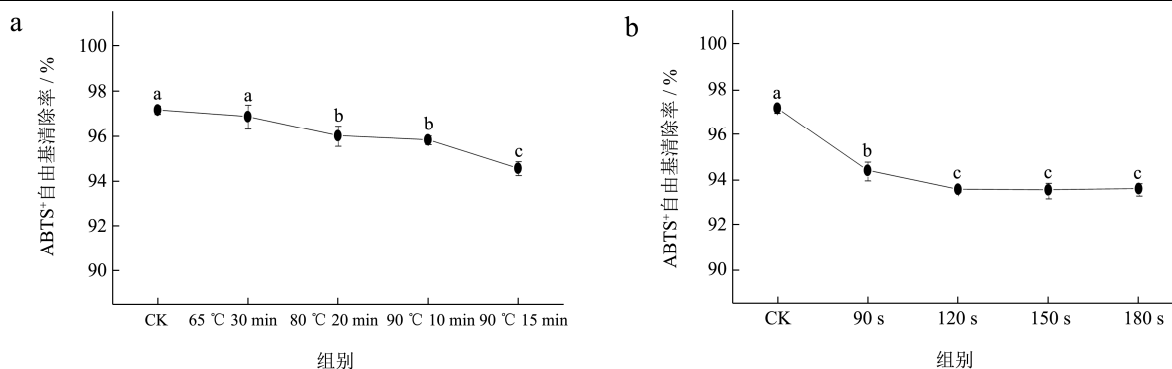


图7 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料 ABTS⁺自由基清除率的影响

Fig.7 Effect of different sterilization methods on ABTS⁺ radical clearance of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

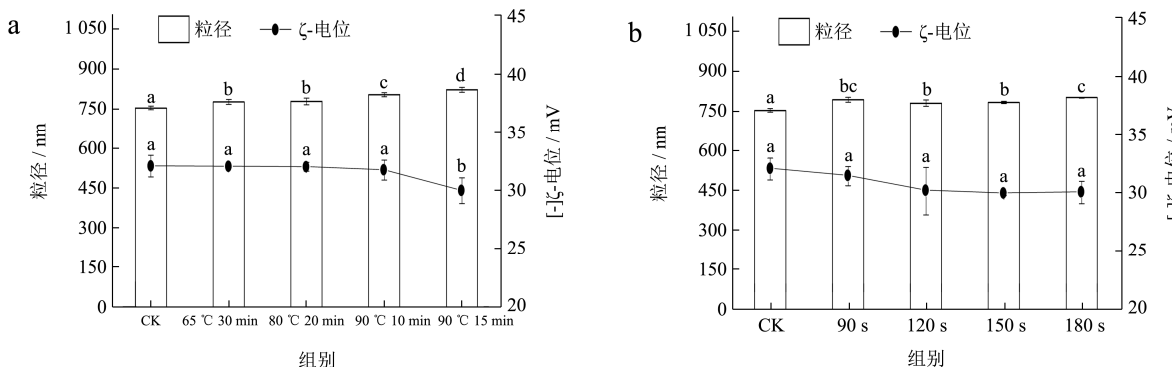


图8 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料粒径、ζ-电位的影响

Fig.8 Effect of different sterilization methods on particle size and ζ-potential of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

2.9 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料粒径、ζ-电位的影响

子体处理 180 s 后，粒径最高增加了 5.87%，与热处理的样品相比粒径更小；等离子体处理对饮料的 ζ-电位无显著变化 ($p>0.05$)，而热处理温度升高到 90 °C 处理 15 min 后 ζ-电位绝对值显著降低 6.54% ($p<0.05$)，小于等离子体处理组。图 9 为饮料的粒径分布图，可以看出，杜仲籽油苹果汁饮料经过杀菌后其粒径分布没有明显变化，基本呈单峰分布，说明杜仲籽油苹果汁饮料经过杀菌后仍有较好的稳定性。由粒径、ζ-电位综合来看，等离子体处理更有利于保持饮料的稳定性。

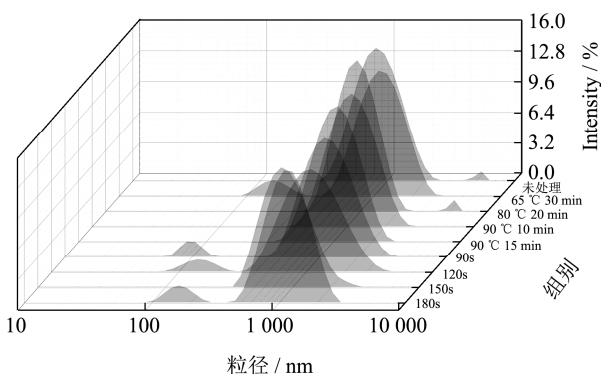


图9 不同杀菌方式对杜仲籽油苹果汁饮料粒径分布的影响

Fig.9 Effect of different sterilization methods on particle size distribution of *Eucommia ulmoides* seed oil apple juice beverage

乳液体系的粒径和 ζ-电位能反映其稳定性^[37]，粒径越小、ζ-电位的绝对值越大，说明乳液体系越稳定，本文利用粒径和 ζ-电位来考察杜仲籽油苹果汁饮料的稳定性。由图 8 可知，低温等离子体和热处理后，杜仲籽油苹果汁饮料的粒径均显著升高 ($p<0.05$)，90 °C 热处理 15 min 后，粒径最高增加了 8.19%，低温等离

3 结论

本实验研究了不同杀菌方法对于杜仲籽油苹果汁饮料品质的影响，结果表明，低温等离子体和热处理后菌落总数均未检出，有较好的杀菌效果，对于饮料的抗氧化性会有一定程度的降低，但仍然保持较高的水平。此外，热杀菌会显著降低黄酮含量，而等离子体杀菌对黄酮含量无显著影响，且等离子体能够更好地保持饮料多酚含量。在饮料稳定性方面，低温等离子体杀菌能更好地保持饮料的粒径和 ζ-电位。综合考虑，低温等离子体杀菌能够更好地保持果汁饮料的品质，且杀菌时间短，更适合杜仲籽油苹果汁饮料的杀菌。该研究结果为杜仲籽油苹果汁饮料的杀菌提供了理论依据和参考，后续可以对等离子体杀菌条件进一

步优化,以获得更好的杀菌效果和储藏品质。

参考文献

- [1] Xing Y F, He D, Wang Y, et al. Chemical constituents, biological functions and pharmacological effects for comprehensive utilization of *Eucommia ulmoides* oliver [J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(2): 177-188
- [2] Zhang Z S, Liu Y L, Che L M. Characterization of a new α -linolenic acid-rich oil: *Eucommia ulmoides* seed oil [J]. Journal of Food Science, 2018, 83(3): 617-623
- [3] Yang R, Zhang L, Li P, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 74: 26-32
- [4] Ağçam E, Akyıldız A, Dündar B. Thermal Pasteurization and Microbial Inactivation of Fruit Juices [M]. London: Academic Press, 2018: 309-339
- [5] Li X, Farid M. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 182: 33-45
- [6] Ganesan A R, Tiwari U, Ezhilarasi P N, et al. Application of cold plasma on food matrices: a review on current and future prospects [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(1): e15070
- [7] Ekezie F G C, Sun D W, Cheng J H. A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: current applications and future trends [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 69: 46-58.
- [8] Ozen E, Singh R K. Atmospheric cold plasma treatment of fruit juices: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 103: 144-151
- [9] Saremnezhad S, Soltani M, Faraji A, et al. Chemical changes of food constituents during cold plasma processing: a review [J]. Food Research International, 2021: 10552
- [10] 郑若宇. 益生菌发酵苹果汁工艺优化及发酵过程中风味物质和功能性成分的变化[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020
ZHENG Ruoyu. Optimization of fermentation technology of apple juice by probiotics and changes of flavor substances and functional components during fermentation [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020
- [11] 于弘慧, 马挺军, 孙运金, 等. 低温等离子体杀菌工艺的优化及其对梨汁品质和抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 212-216, 221
YU Honghui, MA Tingjun, SUN Yunjin, et al. Optimization of processing parameters of low temperature plasma sterilization and its effect on quality and oxidation resistance of pear juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 212-216, 221
- [12] 尤菊. 非热加工技术对鲜榨苹果汁品质的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017
YOU Ju. Effects of non-thermal technology on the quality of fresh apple juice [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017
- [13] De Folter J W J, Van Ruijven M W M, Velikov K P. Oil-in-water pickering emulsions stabilized by colloidal particles from the water-insoluble protein zein [J]. Soft Matter, 2012, 8(25): 6807-6815
- [14] 张金叶. 基于微滤膜的苹果汁酸土脂环酸芽孢杆菌分离与杀灭研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2020
ZHANG Jinye. Study of exclusion and inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice by microfiltration membrane [D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020
- [15] 夏秋霞, 段腾飞, 王周利, 等. 脉冲放电等离子体杀灭苹果汁中鲁氏接合酵母及对苹果汁品质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 141-150
XIA Qiuxia, DUAN Tengfei, WANG Zhouli, et al. Effect of pulsed discharge plasma on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice and quality of the juice [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(7): 141-150
- [16] Sarangapani C, Patange A, Bourke P, et al. Recent advances in the application of cold plasma technology in foods [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2018, 9: 609-629
- [17] De Souza V R, Popović V, Bissonnette S, et al. Quality changes in cold pressed juices after processing by high hydrostatic pressure, ultraviolet-c light and thermal treatment at commercial regimes [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 64: 102398
- [18] Paixão L M N, Fonteles T V, Oliveira V S, et al. Cold plasma effects on functional compounds of siriguela juice [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 12(1): 110-121
- [19] Alongi M, Verardo G, Gorassini A, et al. Phenolic content and potential bioactivity of apple juice as affected by thermal and ultrasound pasteurization [J]. Food & Function, 2019, 10(11): 7366-7377
- [20] Wang R X, Nian W F, Wu H Y, et al. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physicochemical properties

- evaluation [J]. The European Physical Journal D, 2012, 66(10): 1-7
- [21] Ali M, Cheng J H, Sun D W. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatments on degradation of anilazine fungicide and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) juice [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 56(1): 69-75
- [22] He Z, Tao Y, Zeng M, et al. High pressure homogenization processing, thermal treatment and milk matrix affect *in vitro* bioaccessibility of phenolics in apple, grape and orange juice to different extents [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 107-116
- [23] Hou Y, Wang R, Gan Z, et al. Effect of cold plasma on blueberry juice quality [J]. Food Chemistry, 2019, 290: 79-86
- [24] Illera A E, Chaple S, Sanz M T, et al. Effect of cold plasma on polyphenol oxidase inactivation in cloudy apple juice and on the quality parameters of the juice during storage [J]. Food Chemistry: X, 2019, 3: 100049
- [25] Ahmed M, Eun J B. Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(18): 3159-3188
- [26] Rodríguez Ó, Gomes W F, Rodrigues S, et al. Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 84: 457-463
- [27] 刘苏苏.南果梨果汁饮料工艺技术及其稳定性研究[D].锦州:渤海大学,2016
LIU Susu. The study of nanguo pear juice beverage processing technology and the stability [D]. Jinzhou: Bohai University, 2016
- [28] Pankaj S K, Wan Z, Keener K M. Effects of cold plasma on food quality: a review [J]. Foods, 2018, 7(1): 4
- [29] Kumar S, Khadka M, Mishra R, et al. Effects of conventional and microwave heating pasteurization on physicochemical properties of pomelo (*Citrus maxima*) juice [J]. Journal of Food Processing & Technology, 2017, 8(7): 1000683
- [30] Dong X Y, Yang Y L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(8): 1409-1421
- [31] 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 and Agriculture, 2017, 97(12): 4016-4021
- [32] 杨培青,王永涛,吴晓蒙,等.超高压和高温短时杀菌对沙棘汁品质的影响[J].食品科学,2022,43(130):23-32
YANG Peiqing, WANG Yongtao, WU Xiaomeng, et al. Effect of high pressure processing and high temperature short time on sea buckthorn juices [J]. Food Science, 2022, 43(130): 23-32
- [33] Park Y J, Puligundla P, Mok C. Decontamination of chokeberries (*Aronia melanocarpa* L.) by cold plasma treatment and its effects on biochemical composition and storage quality of their corresponding juices [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(3): 405-411
- [34] Ramazzina I, Tappi S, Rocculi P, et al. Effect of cold plasma treatment on the functional properties of fresh-cut apples [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(42): 8010-8018
- [35] Cosentino C, Labella C, Musto M, et al. Effect of different physical treatments on antioxidant activity of jenny milk [J]. International Journal of Agricultural Sciences, 2015, 5(7): 874-877
- [36] Almeida F D L, Cavalcante R S, Cullen P J, et al. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 32: 127-135
- [37] Ma P, Zeng Q, Tai K, et al. Preparation of curcumin-loaded emulsion using high pressure homogenization: impact of oil phase and concentration on physicochemical stability [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 84: 34-46