

DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2022.19.003

高温短时杀菌和声热杀菌对黑胡萝卜汁品质影响的比较研究

吕欣然¹, 鲍诗晗¹, 赵沁雨¹, 李彩虹², 葛谦^{1,2*}, 马婷婷^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学 食品学科与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 杀菌是黑胡萝卜汁生产中重要的单元加工操作, 不同的杀菌方式会明显影响黑胡萝卜汁产品的理化指标、功能性物质含量及感官品质。该文研究两种不同杀菌方式 [高温短时杀菌 (high-temperature-short time sterilization, HTST) 和声热杀菌 (thermosonication, TS)] 对黑胡萝卜汁的理化特性、功能性物质及感官品质的影响。结果表明: HTST 较好地保持了黑胡萝卜汁的理化特性, TS 处理导致黑胡萝卜汁的可溶性固形物 (total soluble solids, TSS) 含量和黏度显著下降 ($p < 0.05$)。此外, HTST 处理导致黑胡萝卜汁中 4 种功能性成分含量和抗氧化活性显著下降 ($p < 0.05$), 而 TS 处理较好保留或明显提升了黑胡萝卜汁中的功能性物质含量和抗氧化能力。两种杀菌处理均未对黑胡萝卜汁的感官品质产生显著影响。

关键词: 黑胡萝卜汁; 高温短时杀菌; 声热杀菌; 理化指标; 功能性物质; 感官品质

Comparison of the Effects of High-Temperature Short-Time Sterilization and Thermosonication on the Quality of Black Carrot Juice

LÜ Xin-ran¹, BAO Shi-han¹, ZHAO Qin-yu¹, LI Cai-hong², GE Qian^{1,2*}, MA Ting-ting^{1,2*}

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Ningxia Institute of Agricultural Products Quality Standards and Testing Technology, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: Sterilization is an important link in the production of black carrot juice. Different sterilization methods will significantly affect the physicochemical indicators, functional component content and sensory quality of black carrot juice products. The effects of high-temperature short-time sterilization (HTST) and thermosonication (TS) on the physicochemical properties, functional components, and sensory quality of black carrot juice were investigated. The results showed that HTST sterilization well maintained the physicochemical properties of black carrot juice, while TS significantly decreased the total soluble solids (TSS) and viscosity of the product ($p < 0.05$). In addition, HTST treatment significantly decreased the content of four functional components and the antioxidant activity ($p < 0.05$), while TS well retained or significantly increased the functional components and antioxidant capacity of black carrot juice. Neither sterilization treatment had significant effect on the sensory quality of black carrot juice.

Key words: black carrot juice; high-temperature short-time sterilization; thermosonication; physicochemical indicator; functional component; sensory quality

基金项目: 国家自然科学基金(31801560); 陕西省重点研发计划(2022ZDLNY04-04)

作者简介: 吕欣然(2001—), 女(汉), 本科在读, 研究方向: 食品科学。

* 通信作者: 葛谦(1988—), 女(汉), 副研究员, 硕士生导师, 研究方向: 食品科学; 马婷婷(1987—), 女(汉), 副教授, 博士生导师, 研究方向: 食品科学。

引文格式:

吕欣然,鲍诗晗,赵沁雨,等.高温短时杀菌和声热杀菌对黑胡萝卜汁品质影响的比较研究[J].食品研究与开发,2022,43(19):19-26.

LÜ Xinran, BAO Shihan, ZHAO Qinyu, et al. Comparison of the Effects of High-Temperature Short-Time Sterilization and Thermosonication on the Quality of Black Carrot Juice[J]. Food Research and Development, 2022, 43(19): 19-26.

黑胡萝卜(*Daucus carota* L.),其根部呈紫黑色,原产于土耳其、阿富汗等国家,距今已有3 000多年的种植历史^[1]。黑胡萝卜富含多种维生素、矿物质、纤维素、类胡萝卜素、酚类、花青素等营养物质与生物活性物质,尤其是花青素含量高达1 750 mg/kg鲜重^[2-3],是膳食花青素的良好来源^[4]。黑胡萝卜中含量较高的花青素对其各项生理活性做出了极大贡献,其抗氧化活性是其他颜色品种胡萝卜的10倍以上^[5]。研究表明,花青素除了具有较强的抗氧化作用,还具有防紫外线^[6]、抗癌、抗感染、改善肝功能损伤、预防糖尿病和保护视力等功效^[7]。同时,黑胡萝卜中的花青素多为酰化花青素^[8],而酰基基团的存在使花青素在光、热以及中性与弱酸性基质等不利条件下的稳定性大幅增强且具有更高显色性^[9-10]。

黑胡萝卜是一种营养丰富并且极具保健功能的蔬菜,然而,黑胡萝卜中较高含量的萜烯类化合物使其萜烯味、药腥味浓重^[11],不容易被消费者接受,因此,黑胡萝卜通常在加工或烹饪后食用。目前对果蔬制品而言,制汁是最常见的且深受消费者青睐的深加工方式之一,胡萝卜汁也是各类胡萝卜深加工中的常见产品类型。杀菌是果蔬汁生产中重要的单元加工操作,不同的杀菌方式会影响果蔬汁的理化指标、功能性物质及感官品质^[12-13]。目前,传统热杀菌仍然是果蔬汁加工中应用最广泛、最经济有效的杀菌钝酶方式。然而,高温处理会使果蔬汁风味劣变^[14],热敏性营养物质和功能物质损耗^[15],明显降低果蔬汁产品的功能特性和感官品质。近年来,随着消费者对安全、营养、感官品质优良的果蔬汁产品需求的日益增长,众多新型杀菌技术应运而生。

超声波(ultrasonication, US)处理是一种绿色高效的物理杀菌技术,近年来在液体食品的杀菌中受到了广泛关注。声热杀菌(thermosonication, TS)技术是将超声波与温和热处理(<60 ℃)相结合,通过超声的空化效应联合温和热效应从而加速微生物和酶失活的新型杀菌方式^[16]。研究表明,TS处理可以较好地保持果蔬汁的理化、功能性物质和感官属性,并且适宜的声热处理参数可以明显提升果蔬汁中营养、功能物质的

含量^[17]。目前,TS处理在猕猴桃汁^[18]、苹果汁^[19]和杨梅汁^[20]等中均有应用。本文选取传统热杀菌中的应用较为广泛的高温短时杀菌(high-temperature short-time sterilization, HTST)和新型的TS技术对黑胡萝卜汁进行杀菌处理,探究两种杀菌方式对黑胡萝卜汁理化特性、功能性物质含量及感官品质的影响,研究结果以期期为生产高品质的黑胡萝卜汁提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜黑胡萝卜(品种选用“Purple 68”):市售,选用外表无机械损伤、无病虫害的新鲜成熟黑胡萝卜。

没食子酸标准品、儿茶酚标准品、6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(Trolox)标准品、福林酚、2,4,6-三吡啶基三嗪[2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine, TPTZ]、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]:美国Sigma公司;所用标准品均为色谱纯,其余试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

手持糖度仪(PAL-1):日本ATAGO公司;pH计(雷磁PHS-3E):上海仪电科学仪器股份有限公司;电子鼻(PEN 3):德国Airsense公司;色度仪(Ci7600):爱色丽(上海)色彩科技有限公司;紫外分光光度计(UV2800):上海尤尼柯仪器有限公司;旋转黏度仪(NDJ-5S):上海平轩科技仪器有限公司;超高温瞬时灭菌系统(FT74X):英国Armfield公司;低温冷冻离心机(GL-10MD):湖南湘仪仪器有限公司;超声波处理器(ATPIO-1000D)、恒温器(XODC-0515-II):中国江苏南京先欧有限公司。

1.3 黑胡萝卜汁样品处理

将新鲜黑胡萝卜清洗晾干去皮后切成厚度约为1 cm的薄片,于90 ℃、0.2%维生素C水溶液中热烫5 min,随后添加黑胡萝卜总质量50%的热烫水混合打浆,200目纱布过滤后将黑胡萝卜汁在温度4 ℃、

7 000×g 条件下离心 20 min 后得到上清液,于 4 ℃ 下保存在食品级无菌瓶中备用。

以制备好的黑胡萝卜汁为对照组(check, CK),分别对黑胡萝卜汁进行 HTST 和 TS 处理。HTST 处理采用超高温瞬时灭菌系统,处理温度与时间为 110 ℃、8.6 s,TS 处理采用内置探头的超声波处理器处理,处理过程中将容器连接到恒温器内使温度稳定在 55 ℃,处理时间 10 min、超声功率 700 W、超声频率 25 kHz、脉冲持续时间 2 s,停止 3 s。处理结束后,迅速将黑胡萝卜汁在无菌条件下转入聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene glycol terephthalate, PET)瓶中。杀菌处理结束后,立即取部分黑胡萝卜汁进行微生物指标测定,其余黑胡萝卜汁置于 4 ℃ 保存,于 24 h 内完成其他指标的测定。

1.4 指标测定

1.4.1 微生物指标测定

微生物指标检测依据 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》、GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》和 GB 4789.15—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》进行菌落总数、大肠杆菌、霉菌和酵母的检测,结果以 CFU/mL 和 MPN/mL 表示。

1.4.2 理化指标测定

黑胡萝卜汁的黏度采用 NDJ-5S 旋转黏度仪进行测定,测定结果用 mPa·s 表示。pH 值采用 PHS-3E pH 计进行测定。褐变指数值(browning index, BI)采用 UV2800 紫外分光光度计测定^[21]。总可溶性固形物值(total soluble solid, TSS)采用 PAL-1 手持糖度仪测定,结果用°Brix 表示。

1.4.3 功能性指标测定

黑胡萝卜汁中的总酚含量(total polyphenol content, TPC)采用福林酚法进行测定^[22],结果用 mg 没食子酸当量(gallic acid equivalent, GAE)/L 表示。总黄酮含量(total flavonoid content, TFC)采用 AlCl₃ 比色法进行测定^[23],结果用 mg 儿茶酚当量(catechin equivalents, CAE)/L 表示。参考 Sun 等^[24]的方法,黑胡萝卜汁中的总花色苷含量(total anthocyanin content, TAC)采用双波长 pH 示差法进行测定,结果用 mg 花青素-3-葡萄糖苷(cyanoside-3-glycoside, C3GE)/L 表示。总类胡萝卜素含量(total carotenoid content, TCC)参考 De Carvalho 等^[25]的方法,采用萃取-比色法进行测定,结果以 mg β-胡萝卜素/L 表示。

1.4.4 抗氧化活性测定

参考 Ozgen 等^[26]的方法并结合实际情况进行修

改,采用 3 种不同的方法来对黑胡萝卜汁的抗氧化活性进行测定,包括 DPPH 自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力和铁离子还原能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)的测定,结果以 mmol Trolox/L 表示。

1.4.5 颜色特征检测

黑胡萝卜汁的颜色特征通过 Ci 7600 色度仪进行测定,采用全透射观察模式^[27],以 CK 为对照,每组样品平行测定 3 次。所测参数包括亮度 *L**、红绿度 *a** 与黄蓝度 *b**。总色差 ΔE 、色相角 *h* 和饱和度 *C** 由色度仪自带的软件计算得出。

1.4.6 电子鼻检测

采用含有 10 个金属氧化物半导体的 PEN 3 电子鼻对黑胡萝卜汁的整体气味特征进行评估,根据 Lan 等^[22]的研究方法稍作修改。将 10 mL 黑胡萝卜汁放入 20 mL 的顶空瓶中,在 25 ℃ 下平衡 10 min 后开始检测,每组样品重复测定 8 次。具体检测参数:载气流速 300 mL/min、检测时间 60 s、清洗时间 30 s。

1.4.7 感官品质评价

由 30 名经过训练的西北农林科技大学食品学院师生(15 男,15 女,年龄 20 周岁~50 周岁)组成感官品评小组,感官品评员独立品尝样品后,对感官品评标准表进行讨论并调整,最终确定感官品评标准见表 1。之后将 25 ℃ 下随机 3 位数编码后的样品置于 50 mL 透明玻璃瓶中,提供给感官品评员进行正式感官品评。

表 1 黑胡萝卜汁感官品评标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of black carrot juice

分数	色泽	组织状态	香气	滋味	总体可接受性
16-20	暗紫色、光泽好	澄清,透明,无沉淀,不分层	香气浓郁,无蒸煮味等不良气味	口感甘甜圆润,酸甜可口,无涩、苦等不良味道	非常乐意接受
11-15	紫色较深或较淡,有光泽	微浑浊,略有沉淀、分层现象	香气一般,无不良气味	口感宜人,有略微涩味、无苦味、无异味	基本能接受
6-10	褐色或几乎无色、光泽差	较混浊,有少量沉淀或轻微分层	香气较淡,带有轻微不良气味	口感单薄,有略微涩味、无苦味、略带异味	基本不能接受
1-5	褐色或无色、无光泽	严重浑浊或沉淀较多,有分层现象	基本没有香气,有明显的蒸煮味等不良气味	口感单薄,有较重涩味、苦味及异味	完全不能接受

1.5 数据统计分析

本试验使用 Origin 2022 软件进行数据处理并分析制作图片,除特殊说明外,本次试验数据结果以 3 次平行测定结果的平均值±标准差表示。采用 SPSS20 统计分析软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)、邓肯多变量测试 ($p < 0.05$)、显著性分析以及生成电子鼻线性判别 (linear discriminant analysis, LDA) 图谱。以 $p < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的杀菌效果

HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的杀菌效果见表 2。

表 2 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的杀菌效果

Table 2 Germicidal effect of HTST and TS on black carrot juice

组别	菌落总数/ (CFU/mL)	大肠菌群/ (MPN/mL)	霉菌和酵母/ (CFU/mL)
CK	275.00±14.14 ^a	0.64±0.40	1.17±1.18
HTST	4.50±5.89 ^b	nd	nd
TS	7.95±2.89 ^b	nd	nd

注:nd 表示未检出。同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

由表 2 可知,与 CK 相比,两种杀菌方式均能显著降低黑胡萝卜汁中的菌落总数 ($p < 0.05$),并且杀菌处理后大肠菌群、酵母和霉菌均未检出。两种杀菌处理后黑胡萝卜汁中的菌落总数、大肠杆菌、霉菌和酵母均可达到 GB 7101—2015《食品安全国家标准 饮料》中所规定的商业无菌条件,可以安全饮用。因此,HTST 和 TS 处理均可确保黑胡萝卜汁的微生物安全性。

2.2 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的理化指标影响

HTST 和 TS 处理黑胡萝卜汁的理化指标测定结果如表 3 所示。

表 3 HTST 和 TS 处理黑胡萝卜汁的理化指标测定结果

Table 3 Physicochemical indexes of black carrot juice treated by HTST and TS

组别	TSS/°Brix	pH 值	黏度/(mPa·s)	BI 值
CK	5.07±0.06 ^a	5.98±0.00 ^a	2.73±0.01 ^a	3.10±0.03 ^a
HTST	5.00±0.00 ^a	5.93±0.01 ^b	3.17±0.39 ^a	2.32±0.02 ^b
TS	2.60±0.00 ^b	5.81±0.01 ^c	1.57±0.15 ^b	3.09±0.02 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

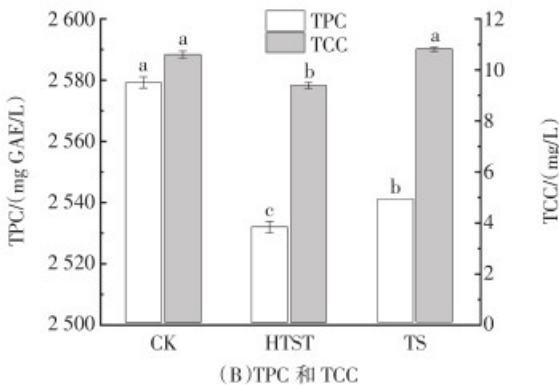
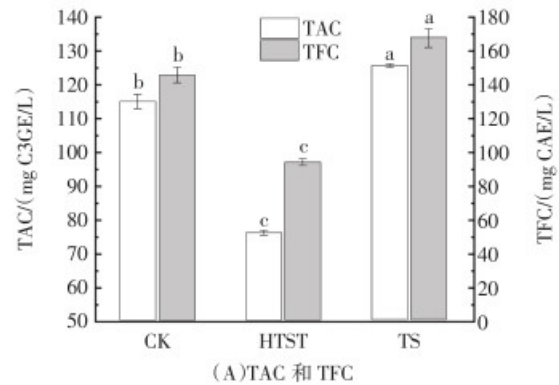
由表 3 可知,CK 中黑胡萝卜汁的 pH 值为 5.98,两种杀菌处理均造成了黑胡萝卜汁 pH 值的显著下降 ($p < 0.05$),且 TS 处理相较于 HTST 处理后的黑胡萝卜汁的 pH 值下降更为显著 ($p < 0.05$)。有研究在橙色胡萝卜汁中也发现了这一现象,这有可能是杀菌导致果蔬汁中酸分子中的氢离子被释放到环境中最终使 pH 值

下降^[27]。与 CK 相比,HTST 处理后的黑胡萝卜汁中 TSS 未发生显著变化 ($p > 0.05$),而 TS 处理后黑胡萝卜汁的 TSS 显著下降 ($p < 0.05$)。同样,黏度的测定结果发现 TS 处理后黑胡萝卜汁黏度显著下降 ($p < 0.05$)。Ma 等^[28]在 TS 处理的葡萄汁中也得出了类似结论。

此外,由表 3 可知,TS 处理后黑胡萝卜汁的 BI 值与 CK 相比未发生显著变化 ($p > 0.05$),而 HTST 处理后 BI 值与 CK 相比显著下降 ($p < 0.05$),这表明 HTST 处理有效地抑制了黑胡萝卜汁的褐变。在热杀菌处理的葡萄汁^[28]、苹果汁^[29]中也观察到了相同的结果,这主要是由于高温杀菌过程中多酚氧化酶、过氧化物酶等与酶促褐变密切相关的内源酶被灭活^[30]。

2.3 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的功能性物质和抗氧化能力的影响

不同杀菌方式处理的黑胡萝卜汁的功能性物质的测定结果如图 1 所示。



同一指标不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

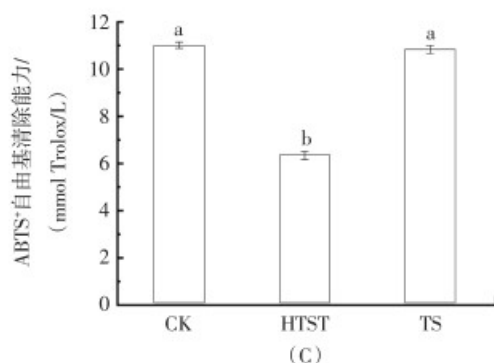
图 1 HTST 和 TS 处理黑胡萝卜汁的功能性物质测定结果
Fig.1 Functional substance and antioxidant indexes of black carrot juice treated by HTST and TS

由图 1(A)可知,CK 的 TAC 为 114.87 mg、TFC 为 145.52 mg CAE/L,与 CK 相比,HTST 处理造成了黑胡萝卜汁中 TAC 含量和 TFC 含量显著下降 ($p < 0.05$),两者分

别下降了 33.92% 和 35.63%。这是由于花色苷和黄酮对温度敏感, HTST 处理中 110 °C 的高温导致其含量明显下降^[31-32]。相反, TS 处理分别使 TAC 和 TFC 的含量显著提升了 9.28% 和 15.02%。由图 1(B) 可知, 3 组黑胡萝卜汁中 TPC 差异显著 ($p < 0.05$), 但 HTST 和 TS 处理后 TPC 依然保持在 2 531 mg GAE/L 以上, 这说明杀菌处理后黑胡萝卜汁中总酚水平仍然较高。这可能是由于稳定的酰化花青素是黑胡萝卜汁中总酚的重要组成部分, 因此, 黑胡萝卜汁中 TPC 较为稳定^[33]。此外, 由图 1(B) 可知, TS 处理并未造成黑胡萝卜汁中的 TCC 的显著变化 ($p > 0.05$), 然而, HTST 处理后 TCC 显著下降 ($p < 0.05$), 这可能是由于高温处理导致了类胡萝卜素的氧化降解^[34]。以上结果表明, 在本试验的操作条件下, TS 处理明显提升或高度保留了黑胡萝卜汁中的功能性物质含量, 这可能是由于 TS 处理的空化效应破坏了植物细胞壁, 促进了其中功能性成分的释放^[15]。

在抗氧化活性方面, 采用 DPPH、FRAP、ABTS 这 3 种常用的抗氧化能力测定方法对黑胡萝卜汁抗氧化能力进行测定, 测定结果见图 2。

由图 2(A) 可知, 与 CK 相比, TS 处理使 DPPH 自由基清除能力提升了 4.82%, 而 HTST 导致其显著下降了 20.48% ($p < 0.05$)。由图 2(B) 可知, CK 的 FRAP 为 10.63 mmol Trolox/L, 与 CK 相比, HTST 和 TS 均会导致 FRAP 显著下降 ($p < 0.05$), 然而, HTST 处理较 TS 处理



(A) DPPH 自由基清除能力; (B) FRAP; (C) ABTS 自由基清除能力。
不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

图 2 HTST 和 TS 处理黑胡萝卜汁的抗氧化指标测定结果

Fig. 2 Antioxidant indexes of black carrot juice treated by HTST and TS

后显著下降 42.34% ($p < 0.05$), 这表明高温处理对 FRAP 影响更大。由图 2(C) 可知, CK 的 ABTS 自由基清除能力为 11.00 mmol Trolox/L, TS 处理后未发生明显变化, 而 HTST 处理后显著下降 ($p < 0.05$)。

图 1 和图 2 的结果表明, TS 处理对黑胡萝卜汁中功能成分、抗氧化能力的保留或提升具有非常积极的促进作用, 功能性物质含量和抗氧化能力的提升是黑胡萝卜汁营养价值的重要体现。因此, TS 可作为一种有潜力的黑胡萝卜汁营养高值化加工方法。

2.4 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁的感官品质影响

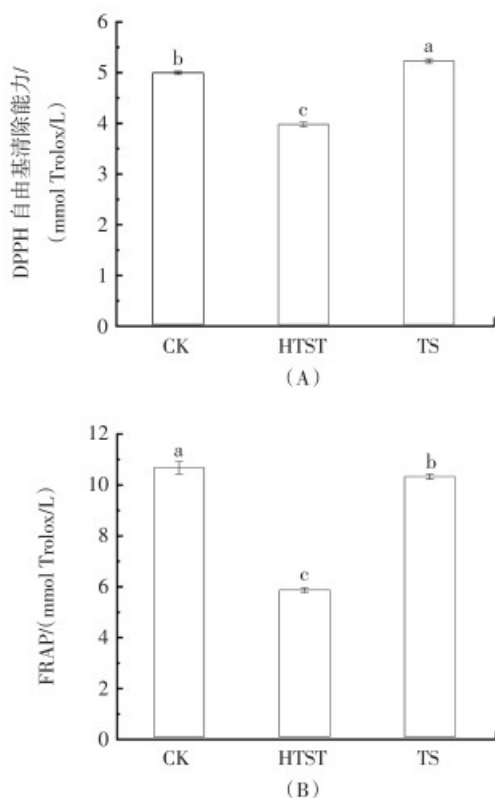
2.4.1 色泽特性分析

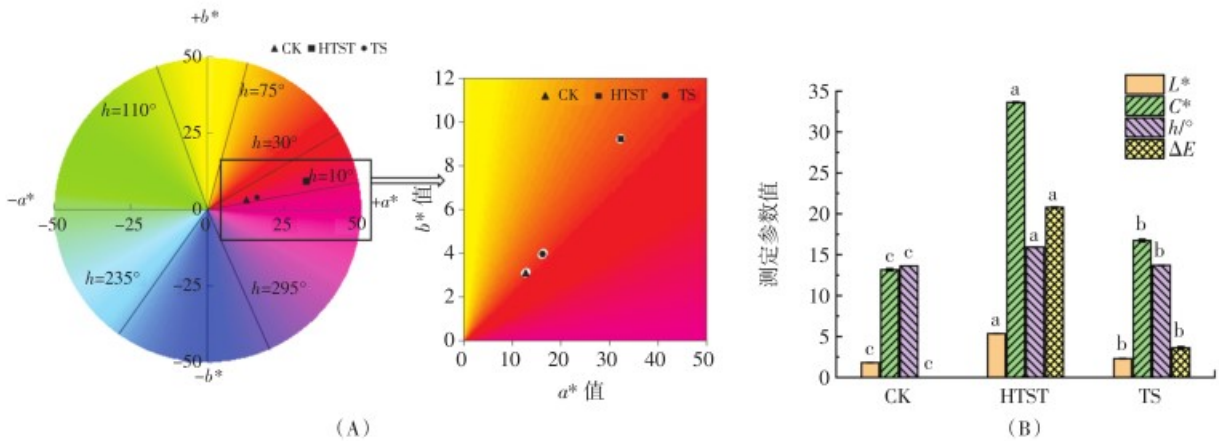
色泽是果蔬汁最重要的感官属性之一, 直接影响消费者对食物的偏好、接受度及最终选择。通过色度仪对黑胡萝卜汁色泽参数进行分析, 结果见图 3。

由图 3 可知, CK 的 a^* 值为 12.79、 b^* 值为 3.10、 L^* 值为 1.80、 C^* 值为 13.16、 h 值为 13.63°, 两种杀菌处理均使胡萝卜汁的 a^* 、 b^* 、 L^* 、 C^* 值和 h 值得到显著提升 ($p < 0.05$)。这表明两种杀菌处理后黑胡萝卜汁的红度、黄度、亮度与色彩饱和度明显提高, 且相较于 TS 组, HTST 组在各个色泽参数上显著提升 ($p < 0.05$)。HTST 和 TS 组的 ΔE 值分别为 20.78 和 3.61, 均大于 3, 即可通过肉眼分辨出色彩差异^[35], 且 HTST 组颜色差异更大。以上结果表明, 两种杀菌处理均会使黑胡萝卜汁色泽发生明显改变, 使整体颜色特征向着更受消费者喜爱的方向变化, 且 HTST 处理相较于 TS 处理对黑胡萝卜汁色泽影响更佳。

2.4.2 电子鼻分析

LDA 被认为是最基本和最广泛使用的监督学习算法之一, LDA 是一个变量线性组合, 用于根据 fisher 线性判别式检索和分离不同研究对象的特征^[36]。本研



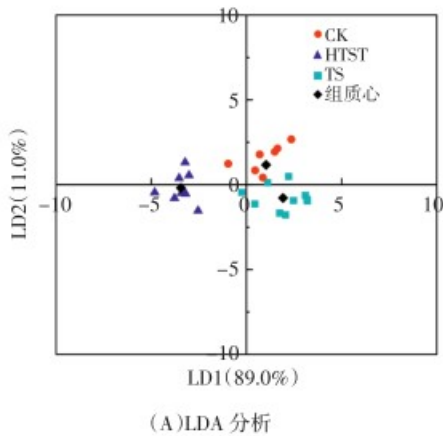


(A)色度分布图;(B) a^* 、 b^* 、 L^* 、 C^* 、 h 和 ΔE 值。不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

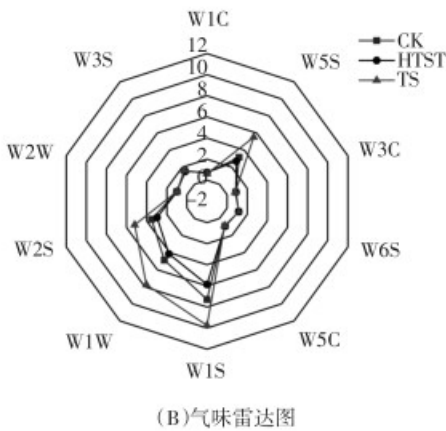
图3 HTST 和 TS 处理对黑胡萝卜汁色泽参数的影响

Fig.3 Effect of HTST and TS on color parameters of black carrot juice

究采用 LDA 线性判别法分析了电子鼻传感器在 50 s~55 s 稳定信号的平均值,并使用电子鼻不同传感器对黑胡萝卜汁中气味物质形成响应雷达图,结果见图 4。



(A)LDA 分析



(B)气味雷达图

图4 不同杀菌方式的黑胡萝卜汁的气味 LDA 分析图及气味雷达图

Fig.4 Odour LDA analysis diagram and aroma radar diagram of black carrot juice with different sterilization methods

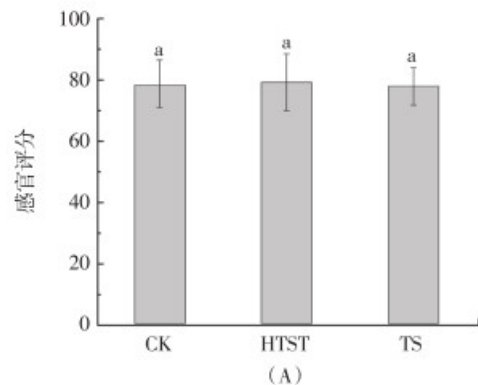
由图 4(A)可知,两个判别函数可以解释整个方差的 100.0%,其中 LD1 解释了 89.0%,LD2 解释了 11.0%。即利用 LDA 线性判别模型可以很好解释电子鼻数据结果。不同杀菌处理后黑胡萝卜汁的气味特征可以被明显区分。其中 CK 和 TS 组较为接近,说明 TS 处理后与 CK 气味特征接近,HTST 组和 CK 及 TS 组距离较远,说明 HTST 处理对黑胡萝卜汁气味特征影响较大。

如图 4 (B) 所示,3 种黑胡萝卜汁样品对传感器 W5S(氮氧化物)、W1S(甲基化合物)、W2S(醇类物质与醛酮类物质)和 W1W(硫化物与萜烯类物质)的响应较高。相较于 CK,HTST 处理后黑胡萝卜汁对这 4 个传感器的响应值降低,TS 组对这 4 个传感器的响应值升高,这可能是因为超声处理促进了黑胡萝卜汁中结合态香气物质的释放^[37]。

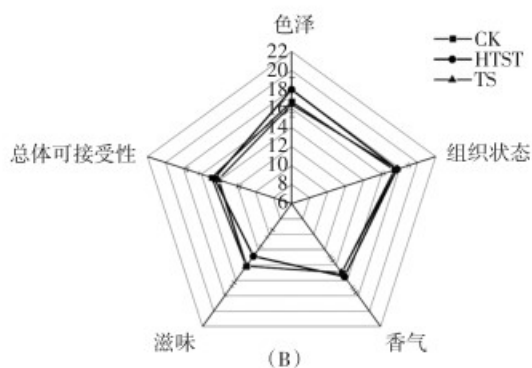
2.4.3 感官品质评价分析

对收集的黑胡萝卜汁样品的感官品评结果进行分析,结果见图 5。

由图 5(A)可知,HTST 和 TS 处理后黑胡萝卜汁的感官总分并未发生显著变化($p > 0.05$),这表明两种杀



(A)



(A)感官评分;(B)感官评价雷达图。不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

图5 不同杀菌方式处理黑胡萝卜汁的感官品评结果

Fig.5 Sensory evaluation of black carrot juice treated by different sterilization methods

菌处理均未对黑胡萝卜汁样品的感官品质造成显著影响。图5(B)为感官品评的单项评分,结果表明,两种杀菌处理同样未对黑胡萝卜汁的单个属性得分造成显著影响($p > 0.05$),但HTST处理后黑胡萝卜汁的色泽得分高于其他两组,这与色度仪测量结果一致。而TS处理后的黑胡萝卜汁的滋味得分高于HTST组。

3 结论

本文对比研究了HTST和TS两种杀菌处理对黑胡萝卜汁的理化指标、功能特性和感官品质的影响。结果表明,在理化指标方面,HTST较好保持了黑胡萝卜汁的理化特性,然而,TS处理导致黑胡萝卜汁的TSS和黏度显著下降($p < 0.05$)。就功能性指标和抗氧化活性而言,HTST处理导致了黑胡萝卜汁中4种功能性成分含量和抗氧化活性显著下降($p < 0.05$),而TS处理较好保留或明显提升了黑胡萝卜汁中的功能性物质含量和抗氧化能力。因此,TS可作为一种有潜力的黑胡萝卜汁营养高值化加工方法。就感官品质方面,3组黑胡萝卜汁样品的感官总分并无明显差异,即两种杀菌处理均未使黑胡萝卜汁的感官品质发生明显变化。但通过色度与人体感官评价结果可以发现,HTST处理后黑胡萝卜汁色泽表现明显优于CK和TS组。因此,不同杀菌方式对黑胡萝卜汁品质属性的影响较大,加工时应根据产品需求合理选择杀菌方式,从而获得高品质的黑胡萝卜汁产品。

参考文献:

[1] SCHWARZ M, WRAY V, WINTERHALTER P. Isolation and identification of novel pyranoanthocyanins from black carrot (*Daucus carota* L.) juice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(16): 5095-5101.

[2] PANDEY P, GROVER K. Characterization of black carrot (*Daucus carota* L.) polyphenols; role in health promotion and disease prevention: An overview[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2020, 9(5): 2784-2792.

[3] ALAGÖZ KABAKCI S, TÜRKÜYLMAZ M, ÖZKAN M. Effects of fermentation time and pH on quality of black carrot juice fermented by kefir culture during storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(6): 2563-2574.

[4] ALGARRA M, FERNANDES A, MATEUS N, et al. Anthocyanin profile and antioxidant capacity of black carrots (*Daucus carota* L. ssp. sativus var. atrorubens Alef.) from Cuevas Bajas, Spain[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(1): 71-76.

[5] SINGH B K, KOLEY T K, MAURYA A, et al. Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. sativus Schubl. & Martens)[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2018, 24(5): 899-907.

[6] 张苗. 花青素的生物学特性及其在动物生产中的应用研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2019, 35(5): 87-88.
ZHANG Miao. Biological characteristics of anthocyanins and their application in animal production[J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2019, 35(5): 87-88.

[7] 钟兰兰, 屠迪, 杨亚, 等. 花青素生理功能研究进展及其应用前景[J]. 生物技术进展, 2013, 3(5): 346-352.
ZHONG Lanlan, TU Di, YANG Ya, et al. Research progress on physiological functions of anthocyanins and their application prospects[J]. Current Biotechnology, 2013, 3(5): 346-352.

[8] MIZGIER P, KUCHARSKA A Z, SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA A, et al. Characterization of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of red cabbage and purple carrot extracts[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 133-146.

[9] 徐青, 王代波, 刘国华, 等. 花青素稳定性影响因素及改善方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 218-224.
XU Qing, WANG Daibo, LIU Guohua, et al. Influencing factors and improving methods of anthocyanin stability[J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 218-224.

[10] 张丽, 范维娟, 郑臻颖, 等. 花青素糖基化、甲基化和酰基化修饰的研究现状[J/OL]. 分子植物育种, 2022: 1-13[2022-06-01]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=FZZW20220302001&uniplatform=NZK-PT&v=zovg2PWufFmiJdNoyysqifJcIdmQFQ8AiroGmB4FnUDzQBj-DUoZ4YKChknKmyzaI>.
ZHANG Li, FAN Weijuan, ZHENG Zhenying, et al. Research progress of anthocyanin glycosylation, methylation and acylation modification in plants[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2022: 1-13 [2022-06-01]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=FZZW20220302001&uniplatform=NZKPT&v=zovg2PWufFmiJdNoyysqifJcIdmQFQ8AiroGmB4FnUDzQBjDU-oZ4YKChknKmyzaI>.

[11] 李瑜. 新鲜胡萝卜和胡萝卜混汁挥发性风味物质的研究[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(5): 253-255.
LI Yu. Study on volatile flavor compounds of fresh carrot and carrot mixed juice[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009, 37(5): 253-255.

[12] MA T T, TIAN C R, LUO J Y, et al. Influence of technical process-

- ing units on polyphenols and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carota* L.) juice[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 1637–1644.
- [13] MA T T, TIAN C R, LUO J Y, et al. Influence of technical processing units on the α -carotene, β -carotene and lutein contents of carrot (*Daucus carota* L.) juice[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 16: 104–113.
- [14] KHANDPUR P, GOGATE P R. Understanding the effect of novel approaches based on ultrasound on sensory profile of orange juice[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 27: 87–95.
- [15] ZHAO Q Y, YUAN Q Y, GAO C X, et al. Thermo-sonication combined with natural antimicrobial nisin: A potential technique ensuring microbiological safety and improving the quality parameters of orange juice[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(8): 1851.
- [16] 盖作启. 热-超声联合处理对牛奶的杀菌效果及对其品质影响的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2009.
- GAI Zuoqi. Study on bactericidal effect and quality of milk treated by heat-ultrasonic combined treatment[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.
- [17] 刘伟, 宋弋, 张洁, 等. 超声波对果蔬汁杀菌和品质影响的研究进展[J]. 现代食品科技, 2018, 34(5): 276–289.
- LIU Wei, SONG Yi, ZHANG Jie, et al. Research progress on the effect of ultrasound on the microbial inactivation and qualities of fruit and vegetable juice[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(5): 276–289.
- [18] 叶青, 赵武奇, 白斯可, 等. 热辅助超声波处理对猕猴桃浊汁的杀菌效果及品质影响研究[J]. 核农学报, 2021, 35(12): 2776–2786.
- YE Qing, ZHAO Wuqi, BAI Sike, et al. Study on the sterilization effect and quality of cloudy kiwifruit juice treated by thermal-assisted ultrasonic[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(12): 2776–2786.
- [19] ZHU D S, ZHANG Y Y, KOU C C, et al. Ultrasonic and other sterilization methods on nutrition and flavor of cloudy apple juice[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2022, 84: 105975.
- [20] CAO X M, CAI C F, WANG Y L, et al. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 45: 169–178.
- [21] ZERDIN K, ROONEY M L, VERMUE J. The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material[J]. Food Chemistry, 2003, 82(3): 387–395.
- [22] LAN T, BAO S H, WANG J Q, et al. Shelf life of non-industrial fresh mango juice: Microbial safety, nutritional and sensory characteristics[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101060.
- [23] MA T T, LAN T, JU Y L, et al. Comparison of the nutritional properties and biological activities of kiwifruit (*Actinidia*) and their different forms of products: Towards making kiwifruit more nutritious and functional[J]. Food & Function, 2019, 10(3): 1317–1329.
- [24] SUN X Y, CHENG X H, ZHANG J Z, et al. Letting wine polyphenols functional: Estimation of wine polyphenols bioaccessibility under different drinking amount and drinking patterns[J]. Food Research International, 2020, 127: 108704.
- [25] DE CARVALHO L M J, GOMES P B, DE OLIVEIRA GODOY R L, et al. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study[J]. Food Research International, 2012, 47(2): 337–340.
- [26] OZGEN M, REESE R N, TULLIO A Z Jr, et al. Modified 2, 2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (abts) method to measure antioxidant capacity of Selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(4): 1151–1157.
- [27] POKHREL P R, TONIAZZO T, BOULET C, et al. Inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* in carrot juice by combining high pressure processing, nisin, and mild thermal treatments[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 93–102.
- [28] MA T T, WANG J Q, WANG L K, et al. Ultrasound-combined sterilization technology: An effective sterilization technique ensuring the microbial safety of grape juice and significantly improving its quality[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2020, 9(10): 1512.
- [29] SUN Y J, ZHONG L Z, CAO L F, et al. Sonication inhibited browning but decreased polyphenols contents and antioxidant activity of fresh apple (*Malus pumila* mill, cv. Red Fuji) juice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 8336–8342.
- [30] SZCZEPAŃSKA J, BARBA F J, SKŃPSKA S, et al. High pressure processing of carrot juice: Effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour[J]. Food Chemistry, 2020, 307: 125549.
- [31] 谷玉洪, 罗濛, 徐飞, 等. 超临界 CO₂ 提取蜂胶中总黄酮的工艺研究[J]. 中草药, 2006, 37(3): 380–382.
- GU Yuhong, LUO Meng, XU Fei, et al. Extraction of total flavonoids from propolis by supercritical CO₂[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(3): 380–382.
- [32] 吕欣然, 李欣洁, 梁源, 等. 基于文献计量学的胡萝卜汁研究现状可视化分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 320–328.
- LÜ Xinran, LI Xinjie, LIANG Yuan, et al. Visual analysis of carrot juice research status based on bibliometrics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 320–328.
- [33] GRAS C C, BOGNER H, CARLE R, et al. Effect of genuine non-anthocyanin phenolics and chlorogenic acid on color and stability of black carrot (*Daucus carota* ssp. sativus var. atropubens Alef.) anthocyanins[J]. Food Research International, 2016, 85: 291–300.
- [34] NGAMWONGLUMLERT L, DEVAHASTIN S, CHIEWCHAN N, et al. Plant carotenoids evolution during cultivation, postharvest storage, and food processing: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(4): 1561–1604.
- [35] CEJUDO-BASTANTE M J, RODRÍGUEZ-MORGADO B, JARA-PALACIOS M J, et al. Pre-fermentative addition of an enzymatic grape seed hydrolysate in warm climate winemaking. Effect on the differential colorimetry, copigmentation and polyphenolic profiles[J]. Food Chemistry, 2016, 209: 348–357.
- [36] QIU S S, WANG J, DU D D. Assessment of high pressure processed mandarin juice in the headspace by using electronic nose and chemometric analysis[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 42: 33–41.
- [37] SUN Y J, PENG W, ZENG L, et al. Using power ultrasound to release glycosidically bound volatiles from orange juice: A new method[J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128580.