

渗糖工艺对乳酸发酵橘皮果脯品质的影响

郭荣香, 李俊健, 黄思苑, 黎攀, 杜冰

Effects of Sugar Infiltration Processes on the Quality of Lactic Acid Fermented Orange Peels Preserved Fruit

GUO Rongxiang, LI Junjian, HUANG Siyuan, LI Pan, and DU Bing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022090206>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

猕猴桃果脯制作工艺优化

Optimization of Processing Technology of Preserved Kiwifruit

食品工业科技. 2019, 40(24): 152-159 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.025>

低糖樱桃番茄果脯渗糖工艺研究及品质评价

Study on the evaluation index of the quality of low sugar Cherry tomato preserved fruit

食品工业科技. 2017(03): 265-269 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.03.042>

乳酸菌发酵对茶花粉营养成分及生物活性的影响

Effects of lactic fermentation on the nutrient and biological activity of *Camellia pollen*

食品工业科技. 2018, 39(3): 44-47, 51 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.03.009>

无糖藜麦发酵乳复合发酵工艺优化及品质分析

Compound Fermentation Process Optimization and Quality Analysis of Sugar-free Quinoa Fermented Milk

食品工业科技. 2021, 42(17): 209-216 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020126>

响应面法优化杏梅超声波渗糖工艺

Optimization of Ultrasonic Sugar Osmotic Process of Preserved Apricot by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2018, 39(15): 165-170 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.030>

柑橘皮蛋白质提取工艺优化及抗氧化活性研究

Optimization of Extraction Process of Protein from Citrus Peel and Its Antioxidant Activity

食品工业科技. 2021, 42(16): 154-162 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110070>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

郭荣香, 李俊健, 黄思苑, 等. 渗糖工艺对乳酸发酵橘皮果脯品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(15): 101-107. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090206

GUO Rongxiang, LI Junjian, HUANG Siyuan, et al. Effects of Sugar Infiltration Processes on the Quality of Lactic Acid Fermented Orange Peels Preserved Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(15): 101-107. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090206

· 研究与探讨 ·

渗糖工艺对乳酸发酵橘皮果脯品质的影响

郭荣香, 李俊健, 黄思苑, 黎攀, 杜冰*
(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要:为评估渗糖工艺对发酵橘皮果脯品质的影响, 本研究以乳酸发酵橘皮为原料, 利用手持色差仪、质构仪和电子鼻等仪器对比常压渗糖、微波渗糖、超声渗糖、真空渗糖对发酵橘皮果脯色泽、总糖、复水性、质构、香气、感官评价的影响。结果发现: 超声渗糖工艺制得的果脯色泽 (46.01 ± 0.07) 最接近鲜果皮亮度 (52.69 ± 0.09), 总糖含量为 47.12% 显著高于常压渗糖 ($P < 0.05$), 果脯复水率约 135% 显著低于微波渗糖 ($P < 0.05$); 此外, 在质构方面, 除内聚性无显著差异 ($P > 0.05$), 超声渗糖工艺制得的橘皮果脯的硬度、咀嚼性和胶粘性 3 项指标均高于常压渗糖、微波渗糖和真空渗糖工艺下制得的橘皮果脯 ($P < 0.05$); 在香气方面, 超声渗糖制得的果脯能较好地保持橘皮的清香, 且在超声渗糖条件下制得的橘皮果脯感官评分 (81.67 分) 显著高于真空渗糖 (75.80 分)、常压渗糖 (71.48 分) 和微波渗糖 (49.03 分) 制得的橘皮果脯 ($P < 0.05$)。综上, 超声渗糖工艺下得到的发酵橘皮果脯品质最好且能较好保留橘皮的风味及营养。

关键词:橘皮果脯, 乳酸发酵, 渗糖工艺, 工艺优化

中图分类号: TS255.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)15-0101-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090206



本文网刊:

Effects of Sugar Infiltration Processes on the Quality of Lactic Acid Fermented Orange Peels Preserved Fruit

GUO Rongxiang, LI Junjian, HUANG Siyuan, LI Pan, DU Bing*

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The aim of present study was to investigate the effects of sugar infiltration processes on the quality of orange peels preserved fruit, the effects of different sugar infiltration processes including normal pressure sugar infiltration, microwave sugar infiltration, ultrasonic sugar infiltration, vacuum sugar infiltration on the color, total sugar, rehydration rate, texture properties, aroma, sensory evaluation of lactic acid fermented orange peels preserved fruit were compared using the handheld color difference instrument, texture analyzer, and electronic nose instruments. The results indicated that the color of fermented orange peels preserved fruit by ultrasonic sugar infiltration (46.01 ± 0.07) was closest to the fresh fruit (52.69 ± 0.09), while the total sugar content (47.12%) was significantly higher than that of normal pressure sugar infiltration ($P < 0.05$). The rehydration rate of preserved fruit was about 135%, which was significantly lower than that of microwave sugar infiltration ($P < 0.05$). Moreover, the three indicators of hardness, chewiness and adhesiveness of the orange peels preserved fruit prepared by the ultrasonic sugar infiltration process were higher than those made by the normal pressure sugar infiltration, microwave sugar infiltration and vacuum sugar infiltration process ($P < 0.05$) except that there was no significant difference for the cohesiveness in terms of the texture ($P > 0.05$). In terms of aroma, the preserved fruit made of ultrasonic sugar infiltration could better maintain the fragrance of orange peels, the sensory score (81.67 points) of the orange peels preserved fruit prepared under the condition of the ultrasonic sugar infiltration was significantly higher than that of the orange peels preserved fruit prepared by vacuum sugar infiltration (75.80 points), normal pressure sugar infiltration (71.48 points) and microwave sugar infiltration (49.03 points) ($P < 0.05$). The present results supported that the

收稿日期: 2022-09-22

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金 (2022KJ125)。

作者简介: 郭荣香 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与品质, E-mail: 2933284588@qq.com。

* 通信作者: 杜冰 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品的研究与评价, E-mail: dubing@scau.edu.cn。

ultrasonic sugar infiltration processes could help to retain the flavor and nutrition of lactic acid fermented orange peels preserved fruit.

Key words: orange peels preserved fruit; lactic fermentation; sugar infiltration process; process optimization

橘皮是芸香科植物橘及其栽培变种的干燥果皮,约占果重的 25%~40%,其干燥后被称为陈皮,是我国重要的药食同源资源^[1]。栽培变种主要有茶枝柑、福橘、大红袍等^[2]。茶枝柑主产于广东新会,是广陈皮的原料,具有理气健脾、燥湿化痰等功效,可用于治疗支气管炎、哮喘等呼吸系统疾病和消化不良等消化系统疾病^[3]。现阶段橘皮主要应用于中药材^[4]、食品包装材料^[5]、食品添加剂^[6]、抑菌剂^[7]等。然而广陈皮的加工方式仍为人工剥皮后翻晒,附加价值低,缺少精深加工方法,严重限制了广陈皮产业发展。因此,开发新型的陈皮加工手段,对于提升产品的附加值,具有重要的作用。

现有相关研究证明,乳酸发酵食品具有调节人体肠道菌群,维持肠道微生态平衡,增强机体免疫力等保健功能^[4]。从内蒙古传统发酵奶酪中分离得到的乳酸芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)DU-106 具有良好的产酸性能,且经小鼠毒理学评价对人体安全^[8],同时有研究表明经乳酸芽孢杆菌 DU-106 发酵后的果蔬营养价值和风味都得到改善,可用于开发功能性保健食品^[9]。李俊健等^[10]研究发现,接种乳酸芽孢杆菌 DU-106 发酵柚皮制作泡菜可以降低亚硝酸盐含量,显著提高泡菜的营养价值和改善风味。因此,将乳酸芽孢杆菌 DU-106 与橘皮进行有机结合,开发一种发酵橘皮果脯,可为橘皮的精深加工和利用提供一定的理论基础和数据支持,从而推进广陈皮加工产业的发展。

果脯的制备是果蔬副产品加工的一种新方法,而渗糖是果脯制作过程中最重要的一道工序^[11]。现阶段果脯制作过程中使用的渗糖方式主要有 4 种。煮制渗糖是传统的渗糖方式,它利用高浓度糖液产生的渗透压将原料中水分转移以脱除果蔬组织中的水分^[11]。真空渗糖是通过抽真空将原料内部及周边空气排除,并快速将原料内水分转移至糖液,完成渗糖过程^[12]。微波渗糖是利用微波作用将果蔬组织内部水分排出,形成网状多孔结构,增加组织通透性,提高渗糖效率^[13]。超声波渗糖是利用超声波产生的冲击波和射流强度击穿植物细胞的细胞膜,进而完成渗糖过程^[14]。孙丽婷等^[15]、颜娜等^[16]及盛金凤等^[17]通过真空渗糖、超声渗糖等加工工艺处理红宝石李、徐香猕猴桃及芒果果脯,发现能极大提高果脯品质。以上研究主要针对果肉果脯,而对果皮果脯的研究依旧较少,采用益生菌发酵制作果脯的研究也很少。

因此,本研究以茶枝柑果皮为原料,通过接种乳酸芽孢杆菌 DU-106 进行发酵,对比常压渗糖、微波渗糖、超声渗糖、真空渗糖这四种工艺对橘皮果脯品质的影响,以寻得最佳的渗糖工艺。为进一步提高橘皮资源的利用和高效微生物发酵提供一定的理论与

实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜橘皮,为茶枝柑 *Citrus reticulata* ‘Chachi’ 品种,2019 年 12 月取样 由广东省江门市新会区提供;乳酸芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)DU-106(10^{12} CFU/g)

由华南农业大学新资源与功能性原料研究及评价中心提供;乳酸(纯度 98%)、柠檬酸(纯度 97%)、橘皮素(纯度 98%) 标准品,均由上海源叶生物科技有限公司提供;食盐、白砂糖 市售。

DHP600 恒温培养箱 北京市永光明医疗仪器厂;PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司;WRH-100TB1 热泵干燥箱 广东威而信实业有限公司;Laborata 4000 旋转蒸发仪 德国 Heidolph 公司;ALPHA 2-4 LD plus 冻干机 德国 CHRIST 公司;WZ-100 恒温水浴锅 上海申生科技有限公司;DSH-50 水分测定仪 上海佑科仪器有限公司;EZ-SX 质构仪 日本岛津公司;BS110S 分析天平 北京赛多利斯天平有限公司;HB-113ATC 手持糖度测定仪 南北仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 发酵橘皮的制备 参考李俊健等^[10]的方法稍作修改,将橘皮切分、洗净,121 °C 高压蒸汽灭菌 15 min,冷却后按橘皮质量的两倍加入无菌水,再添加总质量的 2% 食盐和 4% 白砂糖搅拌均匀;按橘皮质量的 0.1% 添加浓度为 1×10^{12} CFU/g 的乳酸芽孢杆菌 DU-106,混匀,于 25 °C 下密封发酵 10 d。

1.2.2 不同渗糖方式制备橘皮果脯的工艺 操作要点:a.原料选择和预处理:挑选发酵结束后的橘皮将其切成边长约为 1 cm×1 cm 的块状,在 0.5% CaCl₂ 溶液中浸泡 1 h 硬化后,将浓度为 55°Brix 的糖液煮沸后按料液比 1:2 加入。

b.果脯渗糖:不同渗糖方式参考孙丽婷^[18]方法稍作改动,常压渗糖:常压下 60 °C 恒温水浴 1 h,常温渗糖 17 h;微波渗糖:微波炉 210 W 连续加热 1 h,常温渗糖 17 h;超声渗糖:置于 60 °C 450 W 功率下连续超声 1 h,常温渗糖 17 h;真空渗糖:置于 60 °C 0.08 MPa 真空度下 1 h,常温渗糖 17 h。

c.干燥:渗糖结束后,将果脯置于 55 °C 烘箱中热风干燥,用水分测定仪测定水分含量为 16%~22% 即可。

1.2.3 橘皮果脯各项评价指标的测定

1.2.3.1 色泽测定 参考王欢^[19]的方法便稍作改动,使用手持色差仪测定,结果用 L^* 、 a^* 、 b^* 表示,数值变化在 0~100 之间, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色。

a^* 值表示样品的红绿度, $a^*=0$ 表示绿色, $a^*=100$ 表示红色。 b^* 值表示样品的蓝黄度, $b^*=0$ 表示蓝色, $b^*=100$ 表示黄色, 每个样品平行测定 6 次。

1.2.3.2 总糖含量测定 参考余洋洋等^[12]的方法, 使用苯酚-硫酸法, 每个样品平行测定 3 次得到总糖标准曲线为 $y=8.5148x+0.0204(R^2=0.996)$ 。

1.2.3.3 复水率测定 参考胡翔等^[20]方法稍作改动, 准确称取 5 g 果脯置于 250 mL 烧杯中, 加入 100 mL 蒸馏水, 样品每隔 30 min 捞起, 吸干表面水分后进行称重, 计算公式如下:

$$W(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

式中: W 为复水率, %; m_1 为复水前质量, g; m_2 为复水后质量, g。

1.2.3.4 质构测定 参考于肖敏等^[21]的方法稍作修改, 采用岛津 EZ-SX 质构仪 TPA 模式进行质构测定, 选用 P/5 探头, 测前速度 1 mm/s, 起始检测压力 0.05 N, 测试速度 0.5 mm/s, 样品压缩形变程度 30%, 测后速度 1 mm/s。每种渗糖方式平行测定 5 次, 取平均值, 根据力-位移曲线图可得到果脯的硬度、内聚性、胶粘性、弹性和咀嚼性。

1.2.3.5 香气测定 参照雷炎等^[22]的研究方法, 采用电子鼻进行测定分析。准确称取 (5.00 ± 0.05) g 果脯, 密封于 50 mL 样品瓶中, 在 60 ℃ 下水浴平衡 30 min。传感器与样品流量均为 150 mL/min, 传感器清洗时间 150 s, 分析采样时间 120 s。电子鼻传感器性能描述见表 1。

表 1 PEN3 电子鼻传感器性能描述
Table 1 Description of the performance of the PEN3 electronic nasal sensor

传感器	性能描述
R(1)	对芳香成分灵敏
R(2)	灵敏度大, 对氮氧化合物灵敏
R(3)	氨水, 对芳香成分灵敏
R(4)	主要对氢气有选择性
R(5)	烷烃, 芳香成分
R(6)	对甲烷灵敏
R(7)	对无机硫化物灵敏
R(8)	对乙醇灵敏
R(9)	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
R(10)	对烷烃灵敏

1.2.3.6 感官评定 由通过感官分析培训的食品专业同学 10 名(男、女各 5 名)组成感官评价小组, 分别从色泽、组织形态、口感滋味进行评价, 参照孙丽婷等^[15]、颜娜等^[16]的方法制定的感官评分标准如表 2。

1.3 数据处理

每组数据至少重复三次实验, 数值表示为平均值±标准差, 结果采用 Excel 2019、SPSS 26.0 和 Origin 2019 等统计分析软件进行数据分析并作图。

表 2 橘皮果脯感官评定标准表
Table 2 Standards for sensory assessment of orange peel preserved fruit

项目	评分标准	分值
色泽(30分)	色泽透亮均匀, 有光泽	20~30
	色泽稍亮, 光泽一般	11~19
	色泽暗淡, 褐变严重, 无光泽	0~10
组织形态(30分)	组织形态饱满, 无破损, 渗糖均匀	20~30
	稍有干缩, 果皮稍有破损, 无结晶返砂	11~19
	形态不完整, 部分软烂破损, 返砂严重	0~10
口感滋味(40分)	酸甜适口, 软硬适中, 有橘皮清香味	30~40
	酸/甜味稍浓或稍淡, 软硬适中, 稍有橘皮清香, 无异味	16~29
	酸/甜味过浓或过淡, 过软或过硬, 有轻微异味	0~15

设定 $P<0.05$ 为差异具有显著性, $P<0.01$ 为差异具有极显著性。

2 结果与分析

2.1 不同渗糖方式对果脯色泽的影响

果脯的色泽是衡量其品质好坏的直接依据, 可以直接影响产品在市场上的接受程度^[20]。用手持式测色仪分别测定果脯不同位置的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。由表 3 可以看出, 经过不同渗糖处理后果脯 L^* 值有不同程度的下降, 表示经过渗糖和干燥处理后果脯表面颜色均没有鲜果皮透亮; 其中超声渗糖和真空渗糖下降幅度最小, 最接近鲜果皮亮度, 两者之间没有显著性差异 ($P>0.05$); 微波渗糖 L^* 值最小, 果脯表面颜色最暗, 可能与微波过程产生的高温引起褐变有关。各种渗糖处理的 a^* 和 b^* 值也出现了不同程度的下降, 其中超声渗糖方式的 a^* 和 b^* 值与鲜果皮最为接近, 超声渗糖和真空渗糖的 b^* 值没有显著性差异 ($P>0.05$), 两者都保持了较好的橘黄色。以上测定结果表明, 各种渗糖方式色泽排序为: 超声渗糖>真空渗糖>常压渗糖>微波渗糖, 超声渗糖能较好地保持鲜果皮颜色, 减少褐变。该研究结果与孙丽婷等^[15]的研究结果一致。

表 3 不同渗糖方式对果脯色泽的影响
Table 3 Effects of different sugar infiltration processes on color of preserved fruit

渗糖方式	L^*	a^*	b^*
鲜果皮	52.69±0.09 ^a	22.58±1.65 ^a	43.61±3.02 ^a
常压渗糖	41.49±0.06 ^c	18.53±1.99 ^c	25.21±1.86 ^c
微波渗糖	37.22±1.65 ^d	14.93±0.98 ^d	22.59±0.59 ^d
超声渗糖	46.01±0.07 ^b	20.98±0.43 ^b	32.22±1.86 ^b
真空渗糖	45.31±0.90 ^b	18.56±0.87 ^c	31.37±1.35 ^b

注: 同列中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 表 4、表 5 同。

2.2 不同渗糖方式对果脯总糖的影响

总糖含量是橘皮果脯渗糖效果的重要指标^[23], 可以反映相同时间内不同渗糖方式的速率。由图 1 可知, 采用常压、微波、超声、真空四种渗糖方式制得的橘皮果脯总糖含量分别为 38.67%、51.84%、

47.12%、46.65%，采用微波、超声和真空渗糖方式的果脯在干燥后总糖含量显著高于常压渗糖($P<0.05$)，明显提高了糖渍速率。不同渗糖方式之间也存在差异，微波渗糖总糖含量最高，显著高于超声和真空渗糖($P<0.05$)，超声和真空渗糖方式无显著差异($P>0.05$)。微波可以使原料内极性分子迅速摩擦升温，细胞内溶剂蒸发产生压力，内部水分在迁移溢出过程中形成无数通道，有利于糖液快速渗入^[24]；超声渗糖主要通过冲击波击破细胞膜^[25]，真空渗糖依靠压力差^[26]，两者在提高渗糖速率方面原理不同，但效果基本一致。该实验结果表明与常压渗糖相比，微波、超声和真空三种不同的渗糖方式均能加快果脯的渗糖速率，且微波渗糖效果最好。

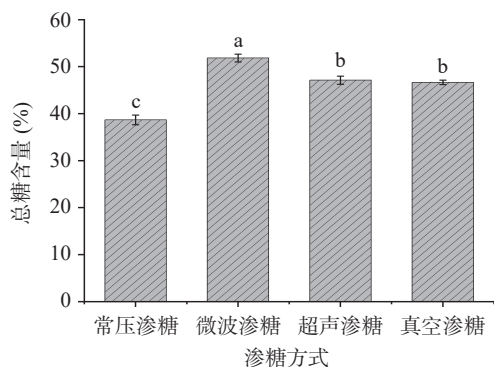


图1 不同渗糖方式对果脯总糖的影响

Fig.1 Effects of different sugar infiltration processes on total sugars of preserved fruit

注：不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同渗糖方式对果脯复水性的影响

橘皮果脯渗糖干燥后重新吸水恢复到原来新鲜程度的能力常用复水性表示，在果脯评价指标中被用来表示吸湿性，从而评价其耐储性能^[27]。如图2所示，四种渗糖方式加工的果脯复水率随着时间延长而上升，受浓度的影响，在前120 min 果脯复水效率最快，150 min 后趋于平缓。其中，微波渗糖果脯复水率明显高于其他三组，最高可达153%左右，原因是微波在原料内部产生的多孔通道有利于水分的渗入^[28]。

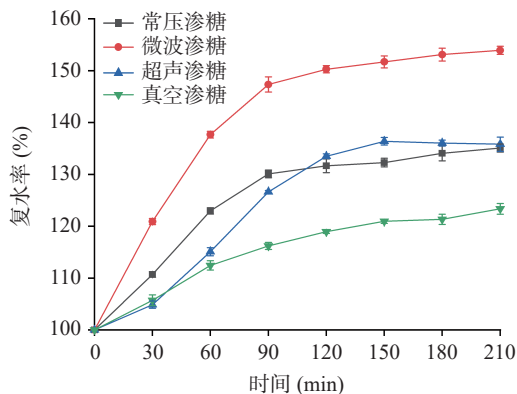


图2 不同渗糖方式对果脯复水性的影响

Fig.2 Effects of different sugar infiltration processes on rehydration rate of preserved fruit

与常压渗糖相比，超声渗糖方式因超声对橘皮内部结构破坏较小^[29-30]，不利于水分渗入，导致二者复水性差异不大，均为135%左右。而真空渗糖复水率约123%，略小于其他渗糖方式，其原因可能为橘皮组织间隙空气被排出，大量糖液浸渍阻碍了组织的复水^[31]。由此可见，微波渗糖方式能显著提高果脯的复水性，但较高的复水率不利于食品的储藏^[16]。因此，真空渗糖的果脯耐储性最佳，其次是超声渗糖和常压渗糖。

2.4 不同渗糖方式对果脯质构的影响

不同渗糖方式会对橘皮的组织结构产生不同影响，因此果脯的质构会存在差异^[32]。不同渗糖方式对果脯质构的影响如表4所示。硬度表示物体发生形变所需要的力，与口感直接相关，硬度高有利于切片和提高口感^[33]。不同渗糖方式对果脯硬度大小的影响为：超声渗糖>真空渗糖>常压渗糖>微波渗糖，各组样品之间存在显著差异($P<0.05$)，其中微波渗糖由于在较高功率下加热，组织最为软烂，硬度最低。内聚性表示样品内部的收缩力，用于抵抗受损保持形态，内聚力高有利于保持果脯的形态^[34]，其中超声和真空渗糖方式内聚性无明显差异，但显著高于其余两组($P<0.05$)。胶粘性是接触食品时最先感应到的抵抗力，数值上与硬度有关，不同工艺对果脯胶粘性大小影响与硬度一致，各组样品之间存在显著性差异($P<0.05$)。弹性表示物体受到外力作用后恢复原状态的能力，其影响力排序为：超声渗糖=常压渗糖>真空渗糖>微波渗糖，超声和常压渗糖无明显差异，微波渗糖显著低于其余三组($P<0.05$)。咀嚼性反映的是咀嚼时食物抵抗外力并紧密连接，使食物保持完整的性质，不同工艺对果脯咀嚼性大小影响为：超声渗糖>真空渗糖>常压渗糖>微波渗糖，超声渗糖果脯咀嚼性显著高于其他渗糖方法($P<0.05$)。

表4 不同渗糖方式对果脯质构的影响

Table 4 Effects of different sugar infiltration processes on proline structure of preserved fruit

渗糖方式	硬度(N)	内聚性	胶粘性(N)	弹性	咀嚼性(N)
常压渗糖	185.69±2.39 ^c	0.86±0.12 ^b	159.41±2.57 ^c	0.85±0.04 ^a	135.67±1.45 ^b
微波渗糖	124.23±2.64 ^d	0.76±0.23 ^c	115.98±2.68 ^d	0.55±0.01 ^c	121.25±2.60 ^c
超声渗糖	198.56±1.57 ^a	0.99±0.06 ^a	182.34±1.96 ^a	0.85±0.10 ^a	142.57±1.68 ^a
真空渗糖	195.08±0.34 ^b	0.95±0.31 ^a	174.63±1.42 ^b	0.79±0.08 ^b	136.37±1.03 ^b

2.5 不同渗糖方式对果脯香气的影响

果脯的气味会对消费者的选择造成影响，使用电子鼻对比不同渗糖方式对发酵橘皮果脯香气的影响如图3所示。由图可知，不同渗糖方式对果脯响应强度较大的传感器有R(2)、R(7)、R(9)，它们分别对氮化合物、无机硫化物和有机硫化物灵敏，说明这三种传感器在检测过程中贡献较大；超声渗糖在R(2)、R(7)、R(9)三种传感器上的响应值最高，其次是真空渗糖和常压渗糖，微波渗糖最低，原因是

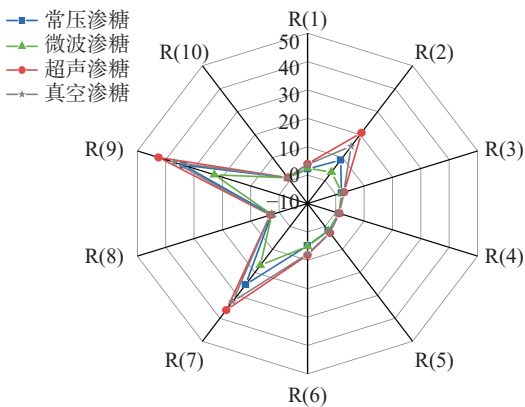


图 3 不同渗糖方式的电子鼻传感器响应强度雷达图
Fig.3 Radar diagram of electronic nose sensor response intensity of different sugar infiltration processes

微波渗糖过程中的高温使橘皮香气成分大量挥发, 超声渗糖方式最能保持橘皮清香味。

由图 4 可知, PC1 和 PC2 方差贡献率分别为 99.54% 和 0.40%, 两个主成分贡献率之和为 99.94%, 能较好反映原始数据的信息, 说明电子鼻能有效区分不同渗糖方式果脯中的挥发性成分。各组样品区分明显, 均为独立分布, 其中微波渗糖与其他样品组距离最远, 表示差异最大; 常压、超声、真空渗糖在 PC2 上距离较远, 但由于 PC2 所占比例较小, 所以以上三种渗糖方式样品差别不大, 此结果与雷达图分析一致。

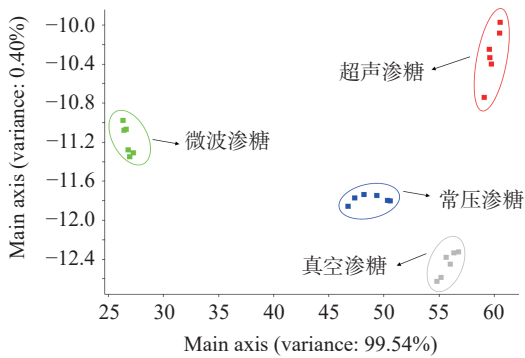


图 4 不同渗糖方式果脯的电子鼻 PCA 分析图
Fig.4 Electronic nasal PCA analysis of preserved fruit in different sugar infiltration processes

如图 5 所示, LD1 和 LD2 的贡献率分别为 71.26% 和 28.15%, 总贡献率为 99.41%; 不同渗糖方式果脯样品分散程度较大, 存在明显差异, 微波渗糖与其他三组样品差异主要体现在第一主成分轴; 超声渗糖与真空渗糖距离较近, 表示两者存在一定相似之处; PCA 和 LDA 分析能对所有样品进行区分, 区分效果良好, 与雷达图相符合。综上所述, 从电子鼻分析角度, 超声渗糖气味最强, 真空渗糖和常压渗糖次之, 微波渗糖气味损失最高, 故超声渗糖工艺更适合橘皮果脯的加工。

2.6 不同渗糖方式对果脯感官的影响

感官评价是食品风味最直接的评价指标^[34]。由

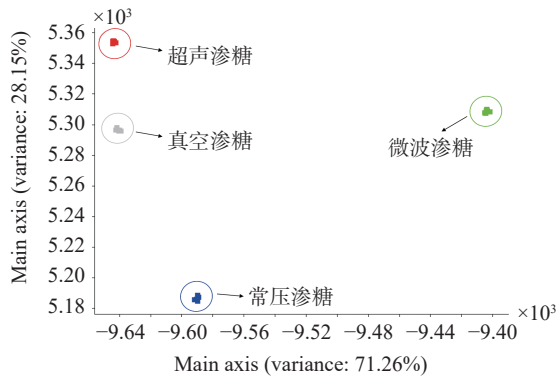


图 5 不同渗糖方式果脯的电子鼻 LDA 分析图
Fig.5 Electronic nasal LDA analysis of preserved fruit in different sugar infiltration processes

表 5 可知采用不同的渗糖方式对果脯品质产生了一定影响。在色泽方面, 超声渗糖显著优于其他渗糖方式 ($P<0.05$), 果脯颜色均匀透亮, 与色差仪结果一致。在组织形态方面, 四种渗糖方式制作的果脯分数排名与色泽一致, 超声渗糖果脯分数最高, 组织形态最为饱满, 真空渗糖与常压渗糖稍有不足, 微波渗糖果脯组织形态较差, 主要体现在硬度上的降低, 与质构仪数据分析相一致。在口感滋味方面, 超声渗糖果脯显著优于其他三种渗糖方式 ($P<0.05$), 酸甜软硬适中, 带有橘皮的清香味, 微波渗糖因为口感过软而得分较低, 四种渗糖方式制备的果脯均没有产生异味。从总分来看, 四种渗糖方式所得果脯成品得分分别为超声渗糖(81.67 分)>真空渗糖(75.80 分)>常压渗糖(71.48 分)>微波渗糖(49.03 分)。总体来说, 超声渗糖的各项感官指标显著优于其他渗糖方式 ($P<0.05$), 超声在加速糖液渗入的同时不会破坏果脯的组织形态; 真空渗糖和常压渗糖居中, 两者间差别不大; 微波渗糖对果脯破坏最大, 得分最低; 故从感官评价分析, 超声渗糖更适合于橘皮果脯加工。

表 5 不同渗糖方式对果脯感官的影响
Table 5 Effects of different sugar infiltration processes on senses of preserved fruit

渗糖方式	色泽(30分)	组织形态(30分)	口感滋味(40分)	总分(100分)
常压渗糖	16.05±1.57 ^b	24.33±3.06 ^c	31.10±2.54 ^c	71.48±0.87 ^c
微波渗糖	9.67±1.53 ^c	15.33±1.53 ^d	24.03±1.59 ^d	49.03±1.85 ^d
超声渗糖	17.67±1.53 ^a	28.33±1.53 ^a	35.67±1.15 ^a	81.67±3.79 ^a
真空渗糖	16.67±0.58 ^b	26.67±0.58 ^b	32.47±1.36 ^b	75.80±2.03 ^b

3 结论

本研究通过对比乳酸芽孢杆菌 DU-106 发酵后的茶枝柑橘皮在超声、真空、常压、微波渗糖工艺下得到的橘皮果脯品质, 发现超声渗糖制得的果脯色泽最接近鲜果皮色泽, 且制得的橘皮果脯的总糖含量较高, 显著高于常压渗糖 ($P<0.05$), 复水率显著低于微波渗糖 ($P<0.05$); 在香气和质构方面, 超声渗糖显著优于其他三种渗糖方式 ($P<0.05$), 且感官评分最高。综上, 超声渗糖更适合用于制作橘皮果脯。后续研究

可以超声渗糖工艺为基础进一步优化果脯的制作过程,同时可以以乳酸发酵橘皮为原料,开发发酵陈皮饮料、调味酱、中草药酵素等多种新型功能食品,进一步提高橘皮功能活性和推动产业的发展。

参考文献

- [1] 崔欣悦, 凌空, 周明, 等. 乳酸菌发酵柑橘皮的工艺研究及优化[J]. *食品研究与开发*, 2019(8): 8-10. [CUI X Y, LING K, ZHOU M, et al. Research and optimization of fermentation process citrus peel by lactic acid bacteria[J]. *Food Research and Development*, 2019(8): 8-10.]
- [2] 胡丽云, 余元善, 徐玉娟, 等. 自然发酵对新会茶枝柑果皮品质的影响[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(18): 77-81. [HU L Y, YU Y S, XU Y J, et al. Effects of natural fermentation on quality of citrus(*Citrus reticulata* cv. *Chachiensis*) peels from Xinhui City[J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2015, 42(18): 77-81.]
- [3] 彭珊珊. 清养润肺方“异病同治”小儿支气管哮喘慢性持续期和变应性咳嗽的疗效研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2021. [PENG S S. Study on the curative effect of Qing Yang Run Fei prescription treating different diseases with the same treatment on chronic duration of bronchial asthma and allergic cough in children[D]. Nanjing: Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2021.]
- [4] 梅全喜, 曾聪彦, 田素英, 等. 陈皮、广陈皮、新会陈皮炮制历史沿革及现代研究进展[J]. *中药材*, 2019, 42(12): 2992-2996. [MEI Q X, ZENG C Y, TIAN S Y, et al. Historical evolution and modern research progress of tangerine peel, Canton tangerine peel and Xinhui tangerine peel[J]. *Traditional Chinese Medicinal Materials*, 2019, 42(12): 2992-2996.]
- [5] ALPARSLAN Y, YAPICI H H, METIN C, et al. Quality assessment of shrimps preserved with orange leaf essential oil incorporated gelatin[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016(72): 457-466.
- [6] COLODEL C, VRIESMANN L C, LUCIA D. Rheological characterization of a pectin extracted from ponkan (*Citrus reticulata* blanco cv. *ponkan*) peel[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 94(SEP.): 326-332.
- [7] AMBROSIO C, IKEDA N Y, MIANO A C, et al. Unraveling the selective antibacterial activity and chemical composition of citrus essential oils[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 1-13.
- [8] PAN L, WENNI T, ZHUO J, et al. Genomic characterization and probiotic potency of *Bacillus* sp. DU-106, a highly effective producer of L-lactic acid isolated from fermented yogurt[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9(1): 1-14.
- [9] HUANG D R, CHEN Y L, CHEN H Z, et al. Supplementation of *Bacillus* sp. DU-106 alleviates antibiotic-associated diarrhea in association with the regulation of intestinal microbiota in mice[J]. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2022(prepublish): 1-12.
- [10] 李俊健, 高杰贤, 林锦铭, 等. 不同发酵方式对柚皮泡菜理化特性和风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(20): 212-218. [LI J J, GAO J X, LIN J M, et al. Effects of different fermentation methods on the physicochemical properties and flavor of pomelo peel kimchi[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(20): 212-218.]
- [11] 张绍阳, 吴仕敏, 李刚凤, 等. 低糖沙子空心李果脯的研制[J]. *食品工业*, 2020, 41(1): 8-11. [ZHANG S Y, WU S M, LI G F, et al. Development of low-sugar *Prunus salicina* Lindl. cv 'Shazi Kongxinli' preserved fruit[J]. *Food Industry*, 2020, 41(1): 8-11.]
- [12] 余洋洋, 毛雅莹, 余元善. 菠萝真空渗糖工艺的优化及其对品质的影响[J]. *农产品加工*, 2019(8): 38-42. [YU Y Y, MAO Y X, YU Y S. Optimization of vacuum sugar infiltration process of pineapple and its effect on quality[J]. *Farm Products Processing*, 2019(8): 38-42.]
- [13] 王顺民, 李勇, 曹卫兵. 低糖紫薯果脯微波真空渗糖工艺优化[J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 196-201. [WANG S M, LI Y, CAO W B. Study on process of sugar permeation by microwave vacuum technology in preserved fruit making of low sugar purple sweet potato[J]. *Food and Machinery*, 2016, 32(7): 196-201.]
- [14] NOWACKA M, TYLEWICZ U, LAGHI L, et al. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration[J]. *Food Chemistry*, 2014, 144(2): 18-25.
- [15] 孙丽婷, 刘立增, 刘爱国, 等. 不同渗糖方式对红宝石李果脯品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(1): 180-185. [SUN L T, LIU L Z, LIU A G, et al. Effects of different sugar infiltration methods on qualities of ruby plum preserved fruit[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(1): 180-185.]
- [16] 颜娜, 李华佳, 徐星烨, 等. 不同渗糖方式对徐香猕猴桃果脯品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(21): 71-75, 131. [YAN N, LI H J, XU X Y, et al. Effects of different sugar permeability methods on properties of Xuxiang kiwi preserved fruit[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(21): 71-75, 131.]
- [17] 盛金凤, 李丽, 孙健, 等. 不同渗糖方式对芒果果脯品质及组织细胞的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(6): 202-206. [SHENG J F, LI L, SUN J, et al. Effects of different sugar osmosis on the quality and tissue cells of preserved mango[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(6): 202-206.]
- [18] 孙丽婷. 低糖李子果脯加工工艺优化研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2020. [SUN L T. Study on optimization of processing technology of low-sugar plum preserved fruit[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2020.]
- [19] 王欢. 柚子皮低糖果脯加工工艺研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015. [WANG H. Research on the process of low sugar grapefruit preserves[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2015.]
- [20] 胡翔, 李洛欣, 冯建国, 等. 不同渗糖工艺对蓝莓果脯品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 254-260. [HU X, LI L X, FENG J G, et al. Effect of different sugar infiltration processes on quality of candied blueberry fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 254-260.]
- [21] 肖敏, 易建勇, 毕金峰, 等. 不同干燥方式对苹果皮质构的影响及其与果胶性质的关系[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(7): 157-162. [XIAO M, YI J Y, BI J F, et al. Influence of different dehydration processes on the texture and pectin characteristics of apple chips[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(7): 157-162.]
- [22] 雷炎, 李华佳, 望诗琪, 等. 不同干燥方式对猕猴桃果脯品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(24): 103-108. [LEI Y, LI H J, WANG S Q, et al. Effects of different drying methods on properties of kiwi preserved fruit[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(24): 103-108.]
- [23] 袁芳, 李丽, 黄秋婵, 等. 正交试验优化芒果果脯微波渗糖工艺[J]. *中国酿造*, 2019, 38(9): 172-176. [YUAN F, LI L, HUANG Q C, et al. Optimization of microwave-assisted sugar osmosis technology of preserved mango by orthogonal tests[J]. *China Brewing*, 2019, 38(9): 172-176.]
- [24] AMARNI F, KADI H. Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane: Comparison with the conventional extraction[J]. *Innovative Food Science &*

Emerging Technologies, 2010, 11(2): 322–327.

[25] 周筱莹, 石静, 王长, 等. 响应面法优化红枣凉果超声波渗糖工艺[J]. 新疆农业大学学报, 2017, 40(3): 191–197. [ZHOU X X, SHI J, WANG C, et al. Optimization of ultrasound-assisted sugar permeation for production of preserved red dates by response surface methodology[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2017, 40(3): 191–197.]

[26] ISHFAQ A, IHSAN M Q, SURAIYA J. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016(34): 29–43.

[27] NEGRO V, MANCINI G, RUGGERI B, et al. Citrus waste as feed stock for bio-based products recovery: Review on limonene case study and energy valorization[J]. Bioresource Technology, 2016: 806–815.

[28] GUO Q S, SUN D W, CHENG J H, et al. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 67: 236–247.

[29] 李明娟, 游向荣, 张雅媛, 等. 不同渗糖技术对龙滩珍珠李果脯品质及果实细胞结构的比较[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1653–1659. [LI M J, YOU X R, ZHANG Y Y, et al. Contrasts of different sugar permeability technologies on the preserved quality and cellular structure of ‘Longtan’ pearl plum[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(8): 1653–1659.]

[30] 李斌, 矫馨瑶, 孟宪军, 等. 蓝莓果脯真空渗糖工艺研究[J].

沈阳农业大学学报, 2014, 45(5): 552–558. [LI B, JIAO X Y, MENG X J, et al. Optimization of vacuum sugar permeability technology on preserved blueberry fruits by response surface methodology[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2014, 45(5): 552–558.]

[31] 李勤勤, 李佳慧, 马晓敏, 等. 果脯渗糖工艺研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(6): 362–366. [LI Q Q, LI J H, MA X M, et al. Research progress in sugar permeation technology of preserved fruits[J]. Food Industry, 2021, 42(6): 362–366.]

[32] 黄梓浩, 丁利君, 黄家晋. 百香果皮制备低糖果脯的工艺研究[C]//“健康中国 2030·健康食品的安全与创新”学术研讨会暨 2018 年广东省食品学会年会论文集. 2018: 65–69. [HUANG Z H, DING L J, HUANG J J. Study on the technique of preparing the dried fruit with low sugar content from the caraway peel[C]//“Healthy China 2030 Healthy Food Safety and Innovation” Academic Seminar and 2018 Annual Meeting of Guangdong Food Society. 2018: 65–69.]

[33] SATARI B, KARIMI K. Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization[J]. Resources Conservation & Recycling, 2018, 129: 153–167.

[34] 李珊珊. 中等水分芒果果脯的研制与保藏研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [LI S S. Study on preparation and preservation of preserved mango with medium moisture[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.]