

# 不同物理方式辅助处理对青梅盐胚脱盐效果和品质的影响

卜智斌<sup>1,2</sup>, 彭健<sup>1</sup>, 禹淞文<sup>3</sup>, 陈秋鹏<sup>2</sup>, 余元善<sup>1</sup>, 徐玉娟<sup>1\*</sup>, 邹波<sup>1</sup>

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 广东梅业食品有限公司, 广东潮州 515744)

(3. 常德市农林科学研究院, 湖南常德 415000)

**摘要:** 该研究采用振荡、超声波、间歇真空的物理辅助方式对比静置浸泡青梅盐胚脱盐, 分析不同处理方式对青梅盐胚脱盐效果和品质的影响。结果表明, 经振荡浸泡、超声辅助浸泡方式脱盐 4 h 后, 脱盐率与梅胚水分含量均达到相对平衡状态, 脱盐率超过 60%, 而间歇真空浸泡和静置浸泡方式脱盐 8 h 后脱盐率仍低于 60%; 超声波辅助浸泡脱盐后梅胚中有机酸含量 39.26 mg/g 显著高于其它脱盐方式, 多酚含量 458.06 mg/kg 仅次于间歇真空辅助浸泡方式的 501.56 mg/kg, 但显著高于振荡浸泡、静置浸泡, 四种方式脱盐的梅胚抗氧化活性无显著性差异; 振荡浸泡、超声辅助浸泡脱盐的梅胚渗糖 4 d 后青梅果脯总糖含量分别达 36.52%、34.10%, 优于静置浸泡、间歇真空辅助浸泡的 27.12%、24.37%。综上, 在确保脱盐效率前提下, 超声辅助浸泡为适合青梅盐胚脱盐较佳的物理辅助方式, 可有效保留梅胚有机酸并提升脱盐梅胚的渗糖效率。

**关键词:** 青梅; 脱盐; 超声波; 振荡

文章编号: 1673-9078(2023)11-190-196

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.11.1500

## Influences of Different Physical Assistive Treatments on Desalination Effectiveness and Quality of Salted *Prunus mume*

BU Zhibin<sup>1,2</sup>, PENG Jian<sup>1</sup>, YU Songwen<sup>3</sup>, CHEN Qiupeng<sup>2</sup>, YU Yuanshan<sup>1</sup>, XU Yujuan<sup>1\*</sup>, ZOU Bo<sup>1</sup>

(1. Sericultural and Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (2. Guangdong Meiye Food Co. Ltd., Chaozhou 515744, China)

(3. Changde Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Changde 415000, China)

**Abstract:** In this study, the effects of several physical assistive treatments such as oscillation, ultrasound and intermittent vacuum on the desalination effectiveness and qualities of salted *Prunus mume* were compared with the effect of the normal steeping approach. The results indicated that the desalination rate and the moisture content of salted *Prunus mume* a relative reached equilibrium after 4 h of immersion assisted with oscillation or ultrasound, with the desalination rate over 60%. Whereas, the desalination rate was lower than 60% after 8 h of desalination assisted with intermittent vacuum or normal steeping. The organic acid content of the salted *Prunus mume* produced with the aid of ultrasound (39.26 mg/g) was significantly higher than those resulting from other desalination methods. The polyphenol content of the ultrasonically treated *Prunus mume* (458.06 mg/kg) was second only to that of the salted *Prunus mume* subjected to intermittent vacuum (501.56 mg/kg), but was

引文格式:

卜智斌, 彭健, 禹淞文, 等. 不同物理方式辅助处理对青梅盐胚脱盐效果和品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(11): 190-196

BU Zhibi, PENG Jian, YU Songwen, et al. Influences of different physical assistive treatments on desalination effectiveness and quality of salted *Prunus mume* [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(11): 190-196

收稿日期: 2022-11-25

基金项目: 潮州市科技计划项目 (202102NY05); 广东省珍稀水果产业技术体系项目 (2022KJ116); 广东省农业科技创新推广项目 (粤财农[2021]170号); 广东省农业科学院学科团队建设项目 (202109TD); 揭阳市科技计划项目 (Dzxn010)

作者简介: 卜智斌 (1989-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: bzb81@126.com

通讯作者: 徐玉娟 (1974-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: guoshuxuyujuan@163.com

significantly higher than those produced after oscillation- assisted immersion and normal steeping. There were insignificant differences in antioxidant activity among the salted *Prunus mume* produced by the four methods. After 4 days of sugar oozing from plum embryo, the total sugar contents of the preserved *Prunus mume* subjected to oscillation or ultrasound reached 36.52% and 34.10%, respectively (which were higher than those of the preserved *Prunus mume* subjected to normal steeping or intermittent vacuum immersion (27.12% and 24.37%, respectively). Taken together, under the premise of ensuring the desalting efficiency, ultrasound-assisted immersion is a better physical assistive approach for desalination to produce salted *Prunus mume*, which can effectively retain the organic acids while improving the sugar oozing from plum embryo.

**Key words:** *Prunus mume*; desalting; ultrasound; oscillation

青梅 (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) 主要种植区域为广东、广西、福建等 18 个省区<sup>[1]</sup>, 我国种植面积和产量均居世界第一。青梅果实富含柠檬酸、苹果酸、酒石酸、琥珀酸等天然有机酸及黄酮、谷甾醇等功能成分<sup>[2,3]</sup>, 现代医学研究表明青梅及其加工制品具有抗氧化、降血脂、降血糖、减肥、抗菌、抗病毒、抗肿瘤等功能<sup>[3-5]</sup>。新鲜青梅口感极酸涩, 较少直接食用, 主要加工成青梅蜜饯销售, 传统高盐盐渍获得青梅盐胚 (以下简称“梅胚”) 是快速收储青梅原料的主要手段, 通过高浓度盐渍改善青梅质地韧性、水解单宁类涩味物质和糖苷类苦味成分, 在获得青梅盐胚中间原料的同时有效改善口感<sup>[1]</sup>。

脱盐则是梅胚加工成蜜饯的必经步骤, 由于流动水 (持续换水) 浸泡需要耗费大量水资源, 且脱盐过程中有机酸、多酚、黄酮也易随着盐离子脱出溶于水中, 造成营养成分大量损失, 影响产品品质。目前工业上多采用 2~3 次换水静置浸泡, 但存在脱盐时间长、效率低等产业问题, 其他研究较多的农产品或食品脱盐方法有剪切辅助热处理脱盐<sup>[6]</sup>、超声波辅助超滤脱盐<sup>[7]</sup>、凝胶法脱盐<sup>[8]</sup>、纳滤脱盐<sup>[9]</sup>等, 但基本不适用工业上对梅胚脱盐。因此在保持青梅营养品质的前提下, 寻找提升脱盐效率的方法成为行业技术提升的重点。

超声波具有高温空化作用, 可用于加速物质的渗透、迁移<sup>[10]</sup>。间歇真空则主要利用真空与常压循环操作, 通过压力差使原本存在物料细胞间隙的大量空气逸出, 提升细胞与渗透液之间的传质<sup>[11,12]</sup>, 可用于辅助脱盐提升脱盐效率, 但目前关于超声、真空等物理辅助手段辅助脱盐的研究较少, 且不同物理方式辅助脱盐对果蔬盐胚品质影响的研究未见报道, 主要集中在传统工艺优化研究, 杨慧等<sup>[13]</sup>研究了常压、真空及脉冲真空对保鲜剂乳酸钙渗透至双孢蘑菇内部的影响, 发现脉冲真空下渗透量最大, 并对双孢蘑菇品质及微观结构产生积极作用。史芳芳<sup>[14]</sup>研究了超声耦合柠檬酸溶液快速脱苦对苦杏仁理化指标的影响, 发现超声波传质作用可加速苦杏仁苷的迁移实现快速脱苦, 并可最大程度保留苦杏仁中蛋白质、还原糖、总

酚等营养物质。

因此, 本研究将以梅胚为主要原料, 通过前期预实验研究基础, 重点探讨振荡浸泡、超声波辅助浸泡、间歇真空辅助浸泡对梅胚脱盐效果及产品品质的影响, 以期产业化生产中改善脱盐工艺提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

梅胚 (含盐量 11.92%、水分含量 72.56%) 由广东梅业食品有限公司提供; Folin-Ciocalteu 试剂, 上海源叶生物科技有限公司; 芦丁、焦性没食子酸、柠檬酸、苹果酸、乳酸、1,1-二苯基-2-苦基胂 (均为标准品), 上海源叶生物科技有限公司; 草酸 (标准品), 天津市富宇精细化工有限公司; 葡萄糖 (标准品), 天津市福晨化学试剂厂; 酒石酸 (标准品), 天津市润捷化学试剂有限公司; 氢氧化钠、酚酞 (分析纯), 天津市大茂化学试剂厂; 邻苯二甲酸氢钾、碳酸钠、亚硝酸钠、过硫酸钾、磷酸氢二胺、铬酸钾、苯酚 (分析纯), 天津市福晨化学试剂厂; 浓硫酸 (分析纯), 广东广试试剂科技有限公司; 无水乙醇、无水甲醇 (分析纯), 天津市富宇精细化工有限公司; 偏磷酸 (分析纯)、磷酸、乙腈、甲醇 (色谱纯), 天津市科密欧化学试剂有限公司; 硝酸铝 (分析纯), 西陇化工股份有限公司; 硝酸银 (分析纯), 北京普析标准技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

SMF2002 磨粉机, 浙江苏泊尔股份有限公司; ALC-210.4 电子分析天平, 德国 ACCULAB 公司; HWS-24 电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; DL-800B 智能超声波清洗器, 上海之信仪器有限公司; ZQZY-88BV 振荡培养箱, 上海知楚仪器有限公司; GJG-0.5II-3A-JY 射频真空干燥机, 河北华氏纪元高频设备有限公司; 101-OAS 电热鼓风干燥机, 上海科恒实业发展有限公司; SHZ-D(III) 循环水式多用

真空泵, 上海力辰邦西仪器科技有限公司; PB-10pH 计, Sartorius 公司; UV1800 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; SIL2 0A 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; Synergy H1 酶标仪, 上海新领生物科技发展有限公司; JW-1042 低速离心机, 安徽嘉文仪器装备有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 工艺流程

工艺流程如下:

青梅盐胚→水洗表面盐分→沥干表面→脱盐处理→渗糖处理→糖渍青梅

(1) 挑选表面完整、无机械损伤的腌制青梅, 用蒸馏水将梅胚表面附着的盐渍洗去, 沥干备用。

(2) 脱盐处理: 将约 100 g 沥干的梅胚放入烧杯中, 按料液比 1:3 加入蒸馏水, 室温下分别进行静置浸泡、超声波辅助浸泡 (频率 25 Hz, 功率 400 W, 冷水循环保持室温)、振荡浸泡 (振荡转速为 150 r/min)、间歇真空辅助浸泡 (真空度  $0.05 \pm 0.005$  MPa, 真空和常压状态循环各持续 15 min) 脱盐处理 8 h, 每隔 1 h 取样。

(3) 渗糖: 将脱盐梅胚置入容器中, 按照料液比 1:2 加入质量分数 65% 的蔗糖溶液, 静置渗糖时间为 4 d, 每隔 12 h 取样。

#### 1.3.2 指标测定方法

##### (1) 水分含量的测定

采用直接干燥法, 参照 GB 5009.3-2016 (食品中水分的测定) [15]。

##### (2) 脱盐率的测定

采用直接滴定法, 参照 GB 5009.44-2016 (食品中氯化物的测定) [16] 测定梅胚中氯化钠含量, 按照公式 1 计算脱盐过程中梅胚的脱盐率:

$$D = \left(1 - \frac{A_x}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$D$ —脱盐率, 100%;

$A_0$ —初始梅胚氯化钠含量, mg;

$A_x$ —脱盐  $x$  小时后梅胚的氯化钠含量, mg。

##### (3) 有机酸种类及含量的测定

采用高效液相色谱法, 参考 GB 5009.157-2016 (食品有机酸的测定)。称取 1.0 g 梅胚果肉于离心管中, 加入 3 mL 0.3% 偏磷酸溶液 (质量分数), 超声辅助提取 15 min 后离心 (1 000 r/min, 4 °C, 10 min), 取上清液过水系 0.22  $\mu$ m 滤膜待测 [17]。

##### (4) 总酚、总黄酮含量的测定

称取 5.0 g 梅胚果肉于离心管中, 加入 15 mL 60% 乙醇 (体积分数), 超声波辅助提取 45 min 后离心 (8 000 r/min, 4 °C, 10 min), 取上清液备用。总酚采用 Folin-Ciocalteu 法, 以没食子酸为标准品, 760 nm 测定吸光度值, 总黄酮采用芦丁对照法 410 nm 测定吸光度值, 根据标准曲线算出相应的含量 [18,19]。

##### (5) DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) 自由基清除能力的测定

采用分光光度法, 参考赵谋明等 [20] 的方法并有所改进。称取 1.0 g 梅胚果肉于离心管中, 加入 5 mL 蒸馏水, 超声波辅助提取 30 min 后离心 (8 000 r/min, 4 °C, 10 min), 取上清为样液待测。吸取 1 mL 样液于试管中, 加入 5 mL DPPH, 漩涡震荡均匀, 室温暗室静置 20 min, 测得样液吸光值; 以无水乙醇代替 DPPH 测空白液吸光值, 以无水乙醇代替样液测对照吸光值。按照公式 2 计算 DPPH 自由基清除率:

$$S = \left(1 - \frac{A_x - A_0}{A_1}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$S$ —DPPH 自由基清除率, 100%;

$A_x$ —样液吸光值;

$A_0$ —空白吸光值;

$A_1$ —对照吸光值。

##### (6) ABTS<sup>+</sup> 自由基清除能力的测定

采用酶标仪法, 参考李梦杰等 [21] 的方法并有所改进。按照 (7) 中方法提取样液, 吸取 10  $\mu$ L 样液于酶标板中, 加入 200  $\mu$ L ABTS<sup>+</sup> 溶液后振荡 30 s, 室温条件下避光反应 6 min, 用酶标仪在波长 734 nm 测定样液吸光值。用无水乙醇代替 ABTS<sup>+</sup> 溶液作为空白, 用水代替样液测得空白吸光值。按照公式 3 计算 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除率:

$$C = \left(1 - \frac{A_x}{A_0}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$C$ —ABTS<sup>+</sup> 自由基清除率, 100%;

$A_x$ —样液吸光值;

$A_0$ —空白吸光值。

##### (7) 总糖含量的测定

称取 2.0 g 梅胚果肉于试管中, 加入 40 mL 蒸馏水, 沸水浴提取 30 min 后取出, 冷却后离心 (8 000 r/min, 4 °C, 10 min), 取上清液备用 [22]。采用苯酚-硫酸法 490 nm 处测定吸光值, 以空白为参比。根据吸光度值, 在标准曲线上查出相应蔗糖含量, 按照公式 4 计算总糖含量。

$$W = \frac{m' \times V \times N}{V_s \times m \times 10^3} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$W$ —总糖含量, %;

$m'$ —从标准曲线查得的蔗糖质量, mg;

$V$ —样品提取液总体积, mL;

$N$ —样液稀释倍数;

$V_s$ —测定时所取样品提取液体积, mL;

$m$ —试样质量, g。

### 1.3.3 数据分析

以上各项数据实验分别重复3次, 试验结果以均数±标准差 (mean±SD) 表示, 单因素方差分析采用SPSS 25.0 统计软件进行组间差异比较, 显著性水平为  $P < 0.05$ ; 并用 Origin 2019 软件制图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同物理方式辅助脱盐过程中梅胚脱盐率的变化

梅胚作为中间原料, 工业上需脱盐处理至含盐量4%左右, 方可用于加工青梅酱、糖渍青梅、青梅果脯等产品, 提升脱盐效率对降低生产成本、保持产品品质具有重要意义。不同物理方式辅助脱盐过程中梅胚脱盐率变化如图1所示, 由图中可知, 前期脱盐率快速升高, 梅胚经振荡浸泡、超声辅助浸泡脱盐4 h后脱盐率均超过60%, 并在4 h后脱盐率变化平稳, 振荡浸泡4 h后梅胚含盐量降至4.15%, 超声辅助浸泡6 h后梅胚含盐量降至4.19%; 而间歇真空浸泡和静置浸泡方式脱盐5 h后基本达到平衡状态, 8 h后脱盐率仍不足60%, 梅胚含盐量仍高于5%, 说明不同物理方式辅助对脱盐率的变化影响较大, 脱盐达到平衡所用时间也有区别, 脱盐时间相同的情况下, 振荡浸泡方式的脱盐效率最高、超声辅助浸泡方式次之, 均明显高于间歇真空浸泡和静置浸泡方式。细胞膜两侧的渗透压是脱盐的唯一动力, 只有当传质动力>阻力时, 传质才会进行<sup>[13]</sup>, 振荡浸泡、超声辅助浸泡方式脱盐效率高, 可能是由于超声波辅助处理产生机械效应、空化效应, 超声压强引起的搅拌、分散和冲击破碎作用, 使溶液产生剧烈振动<sup>[23]</sup>, 减小传质阻力, 增加水分子与盐离子的交换频率<sup>[24]</sup>; 而振荡处理通过加大梅胚与浸泡清水的接触, 加强溶质分子的运动<sup>[25]</sup>, 使得水中的盐离子浓度快速升高并达到平衡, 达到快速脱盐的效果; 真空辅助脱盐效率低, 可能是由于抽真空将梅胚内的气体排除, 加速使外部水分转移至果实内, 不断地真空与常压反复会导致细胞结构的收缩变形, 不利于传质的进行<sup>[26]</sup>, 增加果

实组织对盐分和营养组分的阻力, 使得脱盐效率与静置浸泡没有显著性差异。

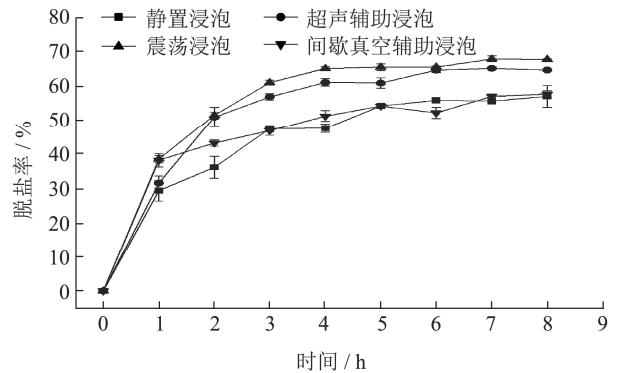


图1 不同物理辅助方式脱盐过程中脱盐率变化

Fig.1 The change of desalination rate of salted *Prunus mume* during different physical-assisted desalting process

### 2.2 不同物理方式辅助脱盐过程中梅胚水分含量的变化

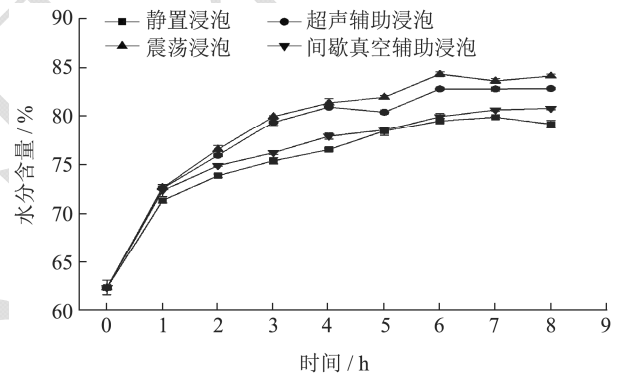


图2 不同物理方式辅助脱盐过程中梅胚水分含量变化

Fig.2 The change of water content of salted *Prunus mume* during different physical-assisted desalting process

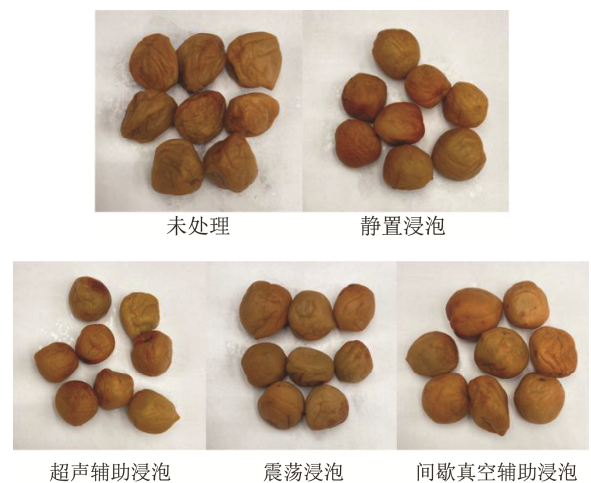


图3 不同物理方式辅助脱盐前后的梅胚

Fig.3 Comparison of salted *Prunus mume* in and after different physical-assisted desalted

脱盐是利用内外溶液浓度的差异发生渗透,使盐分从果实组织中析出,外界的水分则向果实内部渗透,使果实组织内部水分含量升高,从而达到脱盐的效果。因此,本研究还考察了不同物理方式辅助脱盐过程中梅胚水分含量变化,结果如图2所示,随着脱盐时间的延长,梅胚内水分含量不断升高,振荡浸泡和超声辅助浸泡方式脱盐4 h后,梅胚水分含量均达到80%,并在6 h达到平衡状态,同样的,间歇真空辅助浸泡、静置浸泡方式脱盐,梅胚水分含量同样在6 h达到平衡状态,但8 h后梅胚的水分含量才达到80%,与图1脱盐率的变化趋势类似。付咪<sup>[27]</sup>通过研究腌制蔬菜的脱盐的动力学,同样发现整个脱盐过程中,样品水分含量的变化呈正增长,氯化钠含量为负增长,认为当样品和浸泡液的渗透压相等时,体系物质处于动态平衡,氯化钠和水分才会趋于稳定。同样通过图3不同物理方式辅助脱盐前后的梅胚对照图,可以看出,未进行脱盐处理的梅胚表皮比较褶皱,通过四种物理辅助方式脱盐处理后,梅胚果肉相比脱盐前梅胚更加饱满,与上述观察到脱盐过程中梅胚水分含量不断升高的结果一致,由于脱盐过程发生分子交换,盐分析出水分渗入使得水分含量升高。

表1 不同物理方式辅助脱盐后梅胚有机酸含量对比

Table 1 Comparison of organic acid content in different physical-assisted desalted *Prunus mume* (mg/g)

处理方法	草酸	苹果酸	柠檬酸	有机酸总量
静置浸泡	0.59±0.05 <sup>b</sup>	5.15±0.53 <sup>a</sup>	31.83±0.08 <sup>b</sup>	37.57±0.29 <sup>b</sup>
超声辅助浸泡	0.66±0.03 <sup>a</sup>	4.93±0.27 <sup>a</sup>	33.67±0.05 <sup>a</sup>	39.26±0.16 <sup>a</sup>
振荡浸泡	0.63±0.02 <sup>ab</sup>	3.64±0.24 <sup>b</sup>	23.88±0.04 <sup>d</sup>	28.15±0.13 <sup>d</sup>
间歇真空辅助浸泡	0.67±0.06 <sup>a</sup>	3.66±0.16 <sup>b</sup>	25.86±0.03 <sup>c</sup>	30.19±0.17 <sup>c</sup>

注:同列中不同小写字母表示差异性显著( $P<0.05$ )。

## 2.4 不同物理方式辅助脱盐后梅胚总黄酮及

### 总酚含量比较

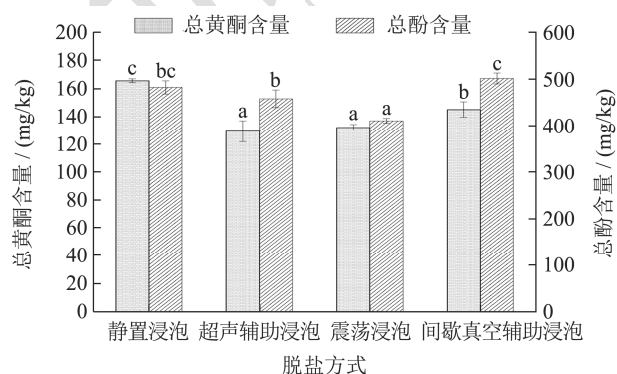


图4 不同物理方式辅助脱盐后梅胚总黄酮及总酚含量比较

Fig.4 Comparison of total flavonoids content and polyphenol content in different physical-assisted desalted *Prunus mume*

## 2.3 不同物理方式辅助脱盐后梅胚有机酸含量的比较

青梅中有机酸的种类与含量在水果中均位居前列,主要有柠檬酸、苹果酸、单宁酸、苦叶酸、琥珀酸、酒石酸等<sup>[28]</sup>,是青梅制品酸味的天然来源,具有促进胃酸分泌、促进肠道蠕动、健胃消食作用。不同物理方式辅助脱盐8 h后梅胚的有机酸含量对比如表1所示,青梅鲜果通过盐渍脱盐后,梅胚中均仅检出草酸、苹果酸、柠檬酸三种有机酸。4种不同脱盐方式处理后,梅胚的柠檬酸含量和有机酸总量存在显著性差异,超声辅助浸泡方式脱盐后梅胚中柠檬酸含量和有机酸总量最高,显著高于另外三种方式,分别为33.67、39.26 mg/g,振荡浸泡方式脱盐后梅胚中柠檬酸含量和有机酸总量最低,仅为23.88、28.15 mg/g。另外,振荡浸泡方式脱盐后梅胚中苹果酸含量显著低于静置和超声辅助浸泡,可能是由于振荡加大了梅胚在水溶液中运动的相对速度和动能,相比其他物理辅助方式加速了有机酸分子扩散和水分转移速度。

青梅中黄酮、酚类物质作为天然抗氧化剂可有效清除自由基实现抗氧化作用<sup>[17]</sup>。梅胚脱盐过程中,由于传质作用,水溶性的酚类和黄酮类物质同样会不同程度的随着盐离子渗出到浸泡液中,营养成分会受到不同程度的损失,进而影响后期糖渍青梅制品的品质。不同物理方式辅助脱盐8 h后青梅胚总酚和总黄酮含量如图4所示。从图4中可以看出,不同方式脱盐后梅胚中总酚、总黄酮含量有显著性差异,间歇真空辅助浸泡脱盐后梅胚的总酚含量最高为501.56 mg/kg,振荡浸泡最低为410.89 mg/kg,其中静置浸泡和超声辅助浸泡脱盐后总酚含量没有显著性差异,振荡浸泡和其他三种方式脱盐后总酚含量有显著性差异;静置浸泡脱盐后梅胚黄酮含量165.58 mg/kg,显著高于其他三种方式,超声辅助浸泡后最低为129.54 mg/kg,其中振荡浸泡与超声辅助浸泡两种方式脱盐后黄酮含量没有显著性差异。结合2.1部分的分析结果,在确

保脱盐效率的前提下, 超声波辅助浸泡脱盐能相对保留梅胚抗氧化成分物质。

### 2.5 不同物理方式辅助脱盐后梅胚抗氧化活性比较

青梅中所含的类黄酮、花青素等酚类物质具有良好的抗氧化性。有研究表明, 青梅的果皮抗氧化性比果肉更强<sup>[27]</sup>。DPPH 作为一种稳定的自由基, 可以接受电子或氢自由基而成为稳定的抗磁性分子, 被广泛用于评价活性化合物的抗氧化能力<sup>[30]</sup>。ABTS<sup>+</sup>自由基由于更易被清除且与抗氧化剂反应时间更短, 同样能很好地评价食品的抗氧化性能<sup>[31]</sup>。不同物理方式辅助脱盐后 8 h 后梅胚的 DPPH 和 ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力结果如图 5 所示, 发现采用不同评价方式对不同方式脱盐后梅胚的抗氧化活性均无显著性差异 ( $P>0.05$ )。青梅抗氧化活性的贡献来源于黄酮、多酚类物质以及部分有机酸等活性成分, 可能是脱盐过程中, 不同脱盐方式对青梅胚中总抗氧化活性成分的影响不大, 使得不同方式脱盐后四种梅胚之间的 DPPH 和 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率无显著性差异。

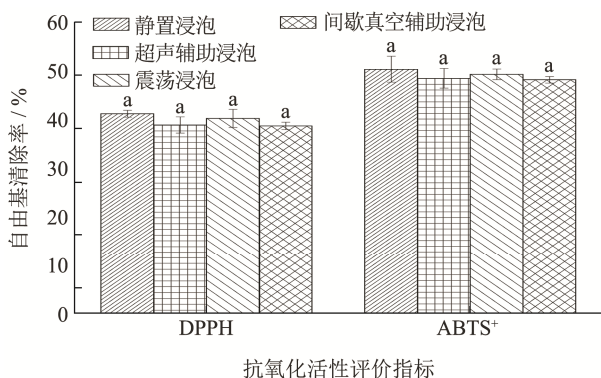


图 5 不同物理方式辅助脱盐后梅胚抗氧化活性比较  
Fig.5 Comparison of antioxidant activity in different physical-assisted desalted *Prunus mume*

### 2.6 不同物理方式辅助脱盐后梅胚渗糖效果比较

渗糖是脱盐青梅胚制作糖渍果脯的关键工艺环节, 传统方式是将脱盐梅胚置入高浓度糖液中静置渗糖, 通过渗透传质提升梅胚中总糖含量<sup>[32]</sup>。总糖含量是反映果脯品质的重要指标之一, 如何提升渗糖效率也是蜜饯果脯行业的研究重点, 因此本研究将渗糖效率作为考察脱盐工艺的指标之一, 不同物理方式辅助脱盐后梅胚渗糖效果如图 6 所示。从图 6 可以看出, 在相同的渗糖时间内, 振荡浸泡、超声辅助浸泡脱盐后梅胚的渗糖速率是

明显快于静置浸泡、间歇真空辅助浸泡, 渗糖 4 d 后青梅果脯总糖含量分别为 36.52%、34.10%、27.12%、24.37%, 渗糖速率的趋势与脱盐过程中含盐量和水分含量所反映出的规律基本一致, 超声波辅助浸泡和振荡浸泡脱盐相比静置浸泡脱盐能显著提高脱盐青梅胚的渗糖速率。可能由于超声波的微扰效应在降低梅胚表面对物料的吸附力的同时产生了微孔道, 在脱盐过程中产生了冲击流和射流的强度击穿了细胞膜<sup>[33]</sup>, 提高了渗透速率的同时也破坏了梅胚的内部结构, 使得梅胚渗糖效率较好; 振荡浸泡则可能是因为振荡机械效应加速分子运动, 提升传质效率, 盐分快速渗出时对梅胚组织结构产生较大破坏, 使得后续渗糖效率较好。

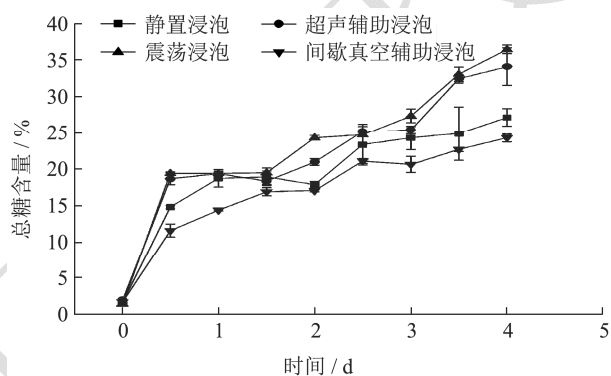


图 6 不同物理方式辅助脱盐后梅胚渗糖效果比较

Fig.6 Comparison of sugar permeability efficiency in different physical-assisted desalted *Prunus mume*

## 3 结论

本研究通过对比静置浸泡、超声辅助浸泡、振荡浸泡、间歇真空辅助浸泡 4 种脱盐方式对梅胚脱盐率、水分含量、总黄酮、多酚、有机酸、渗糖效率的影响, 发现振荡浸泡脱盐效率最高, 脱盐 4 h 后梅胚含盐量降至 4.15%, 超声辅助浸泡次之, 脱盐 6 h 后梅胚含盐量降至 4.19%, 而间歇真空辅助浸泡和静置浸泡脱盐 8 h 后梅胚含盐量仍高于 5%, 脱盐效率显著低于振荡浸泡和超声辅助浸泡方式; 超声波辅助脱盐后梅胚中柠檬酸、有机酸、总酚含量别为 33.67 mg/g、39.26 mg/g、458.06 mg/kg, 显著高于振荡浸泡的 23.88 mg/g、28.15 mg/g、410.89 mg/kg, 总黄酮和抗氧化活性则两者之间无显著性差异; 通过对比考察 4 种方式脱盐后梅胚的渗糖效率, 发现振荡脱盐和超声波脱盐梅胚的渗糖效率接近, 且显著高于另外两种方式。相比流动水脱盐浪费水资源的问题, 在确保脱盐效率的前提下, 综合考虑有机酸的保留、多酚等品质指标, 超声辅助浸泡是一种有效的脱盐手段, 在工业化生产中将会有广泛的应用前景; 如考虑生产成本及产业化生产的便利性, 振荡脱盐是青梅脱盐是工业生产中较优的方式。

## 参考文献

- [1] 刘功德,苏艳兰,黄富宇,等.青梅的功能价值及加工研究进展[J].农业研究与应用,2018,31(4):1-8.
- [2] 余洋洋,徐玉娟,余元善,等.青梅中有机酸的种类及营养健康效应研究进展[J].中国果菜,2020,40(12):24-28.
- [3] Debnath T, Bak J P, Samad N B, et al. Antioxidant activity of mume fructus extract [J]. Journal of Food Biochemistry, 2012, 36(2): 224-232.
- [4] You B Y, Yang S Y, Yu J W, et al. Effect of thermal and dry salt-curing processing on free and bound phenolics and antioxidant activity in *Prunus mume* fruits together with the phenolic bioaccessibility [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 145: 11355.
- [5] Wang X N, Du J C, Zhou J Z. Antibiotic activities of extracts from *Prunus mume* fruit against food-borne bacterial pathogens and its active components [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 133: 409-413.
- [6] 李明洁.鸭蛋腌制过程中蛋清蛋白质、风味及其热凝胶脱盐的研究[D].南宁:广西大学,2022.
- [7] 华俊杰.超声波辅助咸蛋清超滤脱盐工艺及装备研制[D].武汉:华中农业大学,2022.
- [8] Dai Y L, Zhao J Y, Liang H S, et al. Desalination of salted duck egg white assisted by gelatin: Foaming and interface properties of the mixed system [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 124: 107260.
- [9] 夏春荣,王晓杰,曲悦.玉米糖肽的纳滤脱盐工艺[J].食品与生物技术学报,2022,41(4):12-18.
- [10] 史芳芳,张清安.超声耦合不同酸度柠檬酸脱苦溶液对苦杏仁品质特性的影响[J].中国农业科学,2019,52(17):3034-3048.
- [11] 方小明,张晓琳,王军,等.荷花粉真空脉动干燥特性和干燥品质[J].农业工程学报,2016,32(10):287-295.
- [12] Wang X T, Gao Z J, Xiao H W, et al. Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117: 141-150.
- [13] 杨慧,张乐,王赵改,等.常压、真空及脉冲真空环境对双孢蘑菇中乳酸钙渗透规律的影响[J].中国食品学报,2016,16(9): 42-47.
- [14] 史芳芳.超声耦合柠檬酸溶液快速脱苦对苦杏仁理化指标的影响[D].西安:陕西师范大学,2019.
- [15] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [16] GB 5009.44-2016,食品安全国家标准 食品中氯化物的测定[S].
- [17] Yu Y Y, Xu Y J, Wen J, et al. *Prunus mume* polyphenols maintains the quality and nutrient values of winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits during storage [J]. CyTA - Journal of Food, 2021, 19(1): 552-559.
- [18] Lin X, Chen G H, Jin T Z, et al. Extension of shelf life of semi-dry longan pulp with gaseous chlorine dioxide generating film [J]. International Journal of Food Microbiology, 2021, 337: 108938.
- [19] Wen J, Ma L, Xu Y J, et al. Effects of probiotic litchi juice on immunomodulatory function and gut microbiota in mice [J]. Food Research International, 2020, 137:109433.
- [20] 赵谋明,董红竹,林恋竹.八种水果多酚的定量分析与抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2017,33(10):225-236.
- [21] 李梦杰,潘思轶.膳食结构对柑橘类胡萝卜素生物利用度和抗氧化活性的影响[J].食品科学,2022,1(11):1-11.
- [22] 陈晓维,余元善,吴继军,等.不同乳酸菌在冬瓜汁中的发酵特性研究[J].现代食品科技,2018,34(7):155-160.
- [23] Esclapez M, Garcia P J, Mulet A, et al. Ultrasound-assisted extraction of natural products [J]. Food Engineering Reviews, 2011, 3(2): 108-120.
- [24] Ozuna C, Puig A, Garcia-Perez J V, et al. Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59: 130-137.
- [25] 周冰.咸鸭蛋清的脱盐、特性及应用研究[D].无锡:江南大学,2015.
- [26] 李敏,关志强,吴阳阳,等.脉冲真空渗透预处理改善热泵干燥罗非鱼片品质[J].农业工程学报,2017,33(23):306-314.
- [27] 付咪.腌制蔬菜的脱盐过程、腐败菌相分析及基于C-聚赖氨酸的防腐研究[D].杭州:浙江工商大学,2019.
- [28] 凌志洲,夏雨,曾荣,等.超声波辅助提取青梅有机酸及其成分分析[J].食品研究与开发 2020,41(12):140-146.
- [29] Basanta M, Marin A, Deleo S A, et al. Antioxidant Japanese plum (*Prunus salicina*) microparticles with potential for food preservation [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 24(4): 287-296.
- [30] Yeo J D, Shahidi F. Critical re-evaluation of DPPH assay: Presence of pigments affects the results [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(26): 7526-7529.
- [31] Re R, Pellegrinin N, Proteggente A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26(9/10): 1231-1237.
- [32] Falade K O, Igbeka J C. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34: 29-43.
- [33] Cristina S A, Marta C M, Antonia M, et al. Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(13): 7715-7722.