

超声辅助低温固态渗透脱水制备茉莉花风味糖浆 工艺优化及品质分析

侯丽冉¹, 张志明², 胡娜¹, 余俊哲¹, 谢彩锋^{1*}

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530000) (2. 韶关学院旅游与地理学院, 广东韶关 512000)

摘要: 随着中国风味食品和功能饮料市场的不断发展, 具有特定营养和健康功效的风味糖浆被用来满足人们对风味饮料的需求。然而目前我国风味糖浆主要采用热浓缩技术进行生产, 易导致热敏性芳香物质损失。鉴于此, 该研究以茉莉花和黄冰糖为原料, 采用超声辅助低温固态渗透脱水方法 (Ultrasonic-Assisted Solid Osmotic Dehydration, USOD) 制备茉莉花风味糖浆, 通过单因素试验确定最佳工艺条件为: 黄冰糖用量为茉莉花质量的 120% (m/m)、颗粒度为 6~20 目、渗透时间为 168 h 及超声时间 120 min。在此条件下风味糖浆得率为 41.40%; 总酚含量、总黄酮含量和 DPPH 自由基清除能力分别为 175.18 mg GAE/kg dw、187.92 mg RE/kg dw 和 313.55 mg Trolox/kg dw; 茉莉花中绝大部分风味化合物都能被有效地提取出来, 尤其是醇类化合物, 芳樟醇 37.94%~46.06%, 其次是苯甲醇 20.80%~23.90%, 说明 SOD 工艺条件对风味物质提取影响显著。因此, 该研究能有效提高风味糖浆得率且保留了茉莉花本身的风味成分和营养物质, 为风味糖浆的开发利用奠定了一定的理论基础。

关键词: 风味糖浆; 黄冰糖; 茉莉花; 固态渗透脱水; 超声

文章编号: 1673-9078(2023)09-175-186

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1136

Process Optimization and Quality Analysis of Jasmine Flavor Syrup Preparation by Ultrasonic-assisted Low-temperature Solid Osmotic Dehydration

HOU Liran¹, ZHANG Zhiming², HU Na¹, YU Junzhe¹, XIE Caifeng^{1*}

(1. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

(2. College of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan 512000, China)

Abstract: With the development of the market for flavoured foods and functional beverages in China, flavoured syrup with specific nutrition and health benefits are being used to meet the demand for flavored beverages. However, at present, flavored syrups are mainly produced by thermal concentration technologies, which can easily lead to the loss of heat-sensitive aromatic substances. Accordingly, in this study, jasmine flowers and yellow rock sugar were used as the raw materials to prepare jasmine flower flavor syrup via ultrasonic-assisted low-temperature solid osmotic dehydration (USOD). The optimum conditions obtained by single-factor experiments were: the amount of yellow rock sugar was 120% of that of jasmine (m/m), sugar size as 6~20 mesh, osmosis time as 168 h and ultrasonic time as 120 min. Under these conditions, the yield of the flavoured syrup was 41.40%, the contents of total phenolics and total flavonoids were 175.18 mg GAE/kg dw and 187.92 mg RE/kg dw, respectively, and the DPPH radical scavenging capacity of the flavored syrup was 313.55 mg Trolox/kg dw; Most flavour compounds of jasmine flower were effectively extracted, especially the alcohols, with linalool being 37.94%~46.06%, followed by benzyl

引文格式:

侯丽冉, 张志明, 胡娜, 等. 超声辅助低温固态渗透脱水制备茉莉花风味糖浆工艺优化及品质分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(9): 175-186

HOU Liran, ZHANG Zhiming, HU Na, et al. Process optimization and quality analysis of jasmine flavor syrup preparation by ultrasonic-assisted low-temperature solid osmotic dehydration [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 175-186

收稿日期: 2022-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32160570); 国家糖料产业技术体系 (CARS-170502)

作者简介: 侯丽冉 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 糖料资源功能研究与综合利用, E-mail: 1442543228@qq.com

通讯作者: 谢彩锋 (1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 糖料资源功能研究与综合利用, E-mail: fexl1@163.com

alcohol (20.80%~23.90%), indicating that the SOD process had a significant effect on the extraction of flavor compounds. Therefore, the yield of flavored syrup was effectively improved and the flavor components and nutrients of jasmine flowers were retained in this study. This study lays a theoretical foundation for the development and utilization of flavored syrup.

Key words: flavoured syrup; yellow rock sugar; jasmine flowers; solid osmotic dehydration; ultrasound

目前,风味糖浆多是在固体糖或糖浆中添加红枣、枸杞等活性物质或直接添加芳香物质,再进行加热浓缩制得。然而,因红枣、枸杞等芳香物质大多对热敏感,在加热过程中受损,导致成品风味糖浆的营养及风味特性降低,而且由于固形物的存在导致糖浆非均相,限制了应用范围。因此急需开发一种能够很好保留红枣、枸杞等功能活性及风味成分,且为均一相的风味糖浆生产技术。

渗透脱水有液态渗透脱水和固态渗透脱水两种。在固态渗透脱水过程中渗透组织自身的溶质(糖、有机酸、矿物质、维生素等),在渗透压作用下随水分扩散至渗透溶液或渗透剂中,然后将其周围的固体糖溶解,从而获得含有多种天然营养、活性物质及特有芳香化合物的糖浆。目前国内外也缺乏对固态渗透脱水制备糖浆的报道。Ramalingam等^[1]以未成熟的芒果、醋栗为渗透组织,与红糖1:1进行混合再进行固态渗透制备芒果风味糖浆和醋栗风味糖浆,发现糖浆含有大量矿物质、多酚类物质、单宁和维生素D,且具有良好抗氧化、抗菌特性及浓郁的芒果和醋栗风味;王俊涛等^[2]研究使用固态渗透和液态渗透来对芒果进行渗透脱水,发现前者的脱水效率明显高于后者,且固态渗透所得糖浆营养价值高于液态渗透的。国内外学者对液态渗透脱水的工艺做了大量的研究,如芒果、猕猴桃、黑莓、鲈鱼等。但因其脱水效率较低,故用来制备风味糖浆的话,存在糖浆得率较低的问题。

茉莉花富含多糖、黄酮、甘露醇等营养物质及酚香成分,具有较高经济价值和药用价值。目前主要以制作花茶为主,也可以用来提取精油、净油、浸膏,再应用于食品、化妆品等行业。但我国茉莉花利用仍以初加工为主,精深加工较少,进而限制茉莉花产业

高质量发展。李少华等^[3]将新鲜的茉莉花瓣加工成茉莉花酱,再添加到冰淇淋中,发现所制作出的冰淇淋具有浓郁茉莉花风味,具有降低血糖和抗衰老等功效。

本文以黄冰糖和新鲜双瓣茉莉花为原料,采用超声辅助低温固态渗透技术制备茉莉花风味糖浆,考察糖用量、糖颗粒度、渗透时间及超声作用时间对风味糖浆得率及品质的影响,探讨风味糖浆新的制备方法,为糖品结构多样化和茉莉花深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

茉莉花,购自南宁横县市场;黄冰糖,购自广西柳州;没食子酸、福林酚、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、氯化钠等,国药集团化学试剂有限公司;甲醇,广东光华科技股份有限公司;芦丁,上海源叶生物科技有限公司、2,2-联苯基-1-苦基肼基(2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl, DPPH)、奎诺二甲基丙烯酸(6-Hydroxy-2,5,7,8-Tetramethylchromane-2-Carboxylic acid, Trolox),美国Sigma公司。

pH计,梅特勒托利多仪器(上海)有限公司;数控超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司;阿贝折光仪,上海精密科学仪器有限公司;酶标仪,帝肯(上海)贸易有限公司;气相色谱-质谱仪,安捷伦科技(美国)有限公司;电热鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 低温固态渗透脱水制备茉莉花风味糖浆的工艺流程

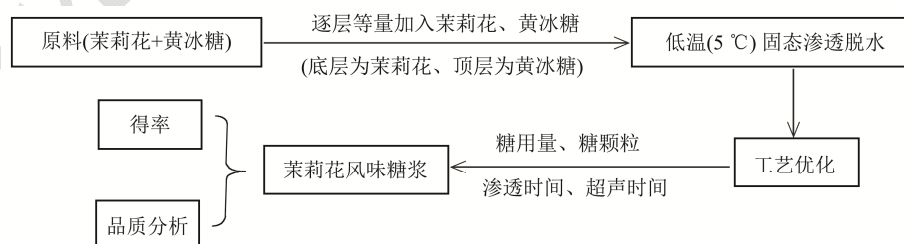


图1 茉莉花风味糖浆制备流程示意图

Fig.1 Schematic representation of preparation of jasmine flavor syrup

将洁净茉莉花(质量为200g)和按试验设定比例的黄冰糖逐层交替混合,即容器底部加入一层花,接

着在上面铺一层黄冰糖,黄冰糖和花交替放置。顶层是黄冰糖(顶层糖量约占总黄冰糖质量的20%,其余

各层黄冰糖用量保持一致, 每层茉莉花量也保持一致), 然后密封, 于 5℃冷库内静置指定时间。流程示意如图 1 所示。

低温渗透操作要点: 固态渗透过程是在 5℃冷库中进行, 渗透脱水 168 h, 然后采用 200 目过滤网在低温 (5℃) 对渗透所得物料进行常压过滤, 直至没有糖浆滤出。

1.2.2 单因素试验

1.2.2.1 黄冰糖用量对茉莉花风味糖浆得率的影响

在黄冰糖颗粒度为 6~20 目, 固态渗透平衡时间 168 h, 渗透温度为 5℃的条件下, 取茉莉花质量为 200 g, 改变黄冰糖用量对茉莉花质量百分比 (40%、60%、80%、100%、120%、140%), 按图 1 工艺流程进行低温固态渗透试验, 考察黄冰糖用量对茉莉花风味糖浆得率的影响。

1.2.2.2 渗透时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

在黄冰糖用量为茉莉花质量的 120%, 颗粒大小为 6~20 目, 渗透温度为 5℃的条件下, 考察渗透时间为 0、24、48、72、96、120、144、168 和 192 h 对茉莉花风味糖浆得率的影响。

1.2.2.3 黄冰糖颗粒度对茉莉花风味糖浆得率的影响

在渗透时间 168 h, 黄冰糖用量为茉莉花质量 120% (m/m), 渗透温度在 5℃的条件下, 考察黄冰糖目数为 ≤6、6~20、20~40 目时对茉莉花风味糖浆得率的影响。

1.2.2.4 超声时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

在茉莉花固态渗透脱水过程 (茉莉花质量为 200 g, 黄冰糖用量为 240 g, 糖颗粒度为 6~20 目, 渗透时间为 168 h), 使用槽式超声发生仪 (频率为 40 kHz, 功率为 500 W) 对渗透过程中的茉莉样品进行三次处理, 即在渗透时间为 48、60 和 84 h 时各一次, 每次处理时间分别为 20、30 和 40 min, 对应超声处理总时间分别为 60、90 和 120 min。为了保证超声处理过程样品温度一直保持在 5℃, 采用冰浴方式对样品进行冷却处理。以不使用超声处理的同等条件下的固态渗透样品作为对照样。

1.2.3 风味糖浆得率

$$Y = \frac{m_0}{m_1 + m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

Y ——在 5℃下, 渗透达到平衡时将样品用滤网 (200 目) 过滤所得糖浆得率, %;

m_0 ——在 5℃下, 渗透达到平衡时将样品用滤网 (200 目) 过滤所得糖浆产量, g;

m_1 ——渗透试验所用茉莉花质量, g;

m_2 ——渗透试验所用黄冰糖质量, g。

1.2.4 糖浆品质的研究

1.2.4.1 干固物含量

$$C = \frac{w_2 - w_1}{m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

C ——采用真空干燥箱在 70℃、100 kPa 压力下干燥渗透所得糖浆样品至恒重的干固物含量, %;

w_1 ——洁净且干燥至恒重时称量瓶质量, g;

w_2 ——干燥后称量瓶和糖浆的总质量, g;

m ——干燥试验所称取得的糖浆质量, g。

1.2.4.2 pH 值

在室温下使用 pH 计测定糖浆 pH 值。

1.2.4.3 总酚含量测定

根据 Cheng 等^[4]的方法并略作修改。分别将 1 mL、5 mg/mL 茉莉花糖浆溶液与 1 mL 福林酚在室温下混匀 5 min, 然后再加 5 mL、1 mol/L Na_2CO_3 溶液, 最后再加 3 mL 蒸馏水, 摇匀, 避光室温反应 60 min, 于 760 nm 波长处测定吸光度。用没食子酸制作浓度-吸光度的标准曲线, 根据风味糖浆吸光度测量结果和标准曲线计算出总酚含量, 结果以每千克糖浆样品中没食子酸当量毫克数表示 (mg GAE/kg dw)。

1.2.4.4 总黄酮含量测定

总黄酮的测定依据 Wang 等^[5]的方法, 并稍作修改。将 1 mL、5 mg/mL 茉莉花糖浆溶液置于 10 mL 容量瓶中, 加入 0.40 mL 质量分数为 5%亚硝酸钠溶液。6 min 后加入 0.40 mL 质量分数 10%的硝酸铝。6 min 后, 加入 4 mL 质量分数为 4%氢氧化钠, 加甲醇共制得 10 mL, 再次混合均匀, 15 min 后在 510 nm 处与空白对照测定吸光度。以芦丁为标准品制作浓度-吸光度的标准曲线。根据风味糖浆吸光度测量结果和标准曲线计算出总黄酮的含量, 结果以每千克糖浆样品中芦丁当量毫克数表示 (mg RE/kg dw)。

1.2.4.5 抗氧化活性的测定

根据 Goslinski 等^[6]的方法测定糖浆清除 DPPH 自由基能力。将总共 0.1 mL、8 g/mL 的糖浆溶液加入 2.9 mL 的 0.1 mmol/L DPPH 甲醇溶液中, 混匀后在室温下避光反应 30 min, 于 517 nm 波长处记录糖浆样品的吸光度, 甲醇用作空白。使用 Trolox 的标准曲线, 线性范围为 0 mg/mL 至 0.4 mg/mL ($R^2 > 0.999$)。抗氧化能力表示为每千克糖浆样品中的 Trolox 当量毫克数 (mg Trolox/kg dw)。

$$F = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

F —DPPH 自由基清除率, %;

A_1 —DPPH 空白溶液的吸光度;

A_2 —样品溶液的吸光度。

1.2.4.6 挥发性化合物的测定

萃取条件: 参照任佳淼^[7]方法并稍作修改, 首先将 SPME 萃取头老化处理 30 min。称取风味糖浆样品 2 g、饱和 NaCl 溶液 2.5 mL 于 20 mL 的顶空瓶内, 50 °C 下磁力搅拌顶空瓶 30 min, 使体系平衡。称取新鲜茉莉花 2 g 置于 20 mL 的顶空瓶, 在 50 °C 的烘箱中保持 30 min。在顶空瓶中, 50 °C 下将推出纤维头的 SPME 萃取头吸附 40 min, 然后再插入气质联用仪的前进样口, 解析 5 min, 取出萃取头, 最后进行 GC-MS 分析。

GC 条件: 色谱柱为 DB-WAX (60 m×0.25 mm×0.25 μm) 毛细管柱; 在初始温度 40 °C 下保持 2 min, 以 4 °C/min 的升温速率升温至 160 °C, 接着保持 2 min, 之后以 10 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min。进样口温度、流速和压强分别为 250 °C、1.50 mL/min、82 475.08 Pa; 载气 He, 不分流。

MS 条件: EI 电离; 70 eV 的电子能量; 离子源温度、接口温度分别为 230 °C、280 °C; 扫描质量范围 35~500 u。扫描速度 1 000 u/s。通过计算机谱库 (NIST05/NIST05s) 进行初步检索, 仅选取匹配度≥80%的组分, 并结合参考文献进行定性分析, 采用归一化法确定糖浆中各挥发性成分的相对含量。

1.3 数据分析

单因素对茉莉花风味糖浆得率及品质数据分析, 所得结果如下。所有试验平行测定 3 次。统计分析 SPSS 20.0、作图表 Origin 2018 软件、数据归类 Excel 2010。图表中实验结果表示为平均值±标准差。

2 结果与讨论

2.1 黄冰糖用量对茉莉花风味糖浆得率的影响

如图 2 所示, 黄冰糖用量对糖浆得率有显著影响。在糖用量为 40%~120%时, 随着黄冰糖用量的增加, 茉莉花风味糖浆的得率显著增加 ($P<0.05$), 从 13.41%升到 27.32%。这是因为糖用量越大, 渗透剂与茉莉花之间渗透压越高, 故茉莉花细胞渗透出水越多, 所溶解糖量越多, 因此糖浆得率也越高^[8]。但当糖用量>120%时, 继续增大糖用量, 糖浆得率增加趋势不再明显, 因为此时体系中过量黄冰糖会使风味糖浆浓度较高, 粘度变大, 水析出与扩散速度阻力增大且水分活度降低, 故溶解糖量增加幅度不明显。这与 Etemadi 等^[9]使用不同浓度蔗糖溶液对苹果进行渗透

处理, 发现溶液浓度增加 20%会导致粘度增加约 2.6 倍所得的结论一致。且在试验过程观察到, 直至渗透平衡时, 还有一些糖颗粒虽吸收水分形成“糖泥”, 但并未溶解成糖浆, 因此过滤时会被截留成为滤渣, 使糖份损失增大。同时, 当糖用量过多时, 糖层结构过于紧凑, 水和可溶性固体的传质阻力增加, 传质速率降低, 也会影响茉莉花水分渗出, 故风味糖浆得率增速减缓^[10]。故 120% (m/m) 黄冰糖用量时, 既能使茉莉花风味糖浆得率较高。

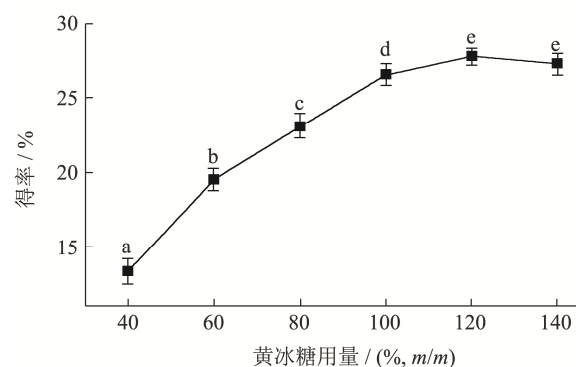


图2 黄冰糖用量 (m/m) 对茉莉花风味糖浆得率的影响

Fig.2 Effect of brown rock sugar dose (m/m) on yield of jasmine flavor syrup

注: 图中不同字母表示相同工艺条件下有显著性差异 ($P<0.05$)。下同。

2.2 渗透时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

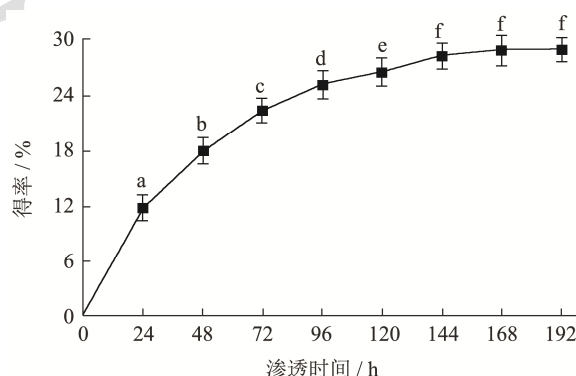


图3 渗透时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

Fig.3 Effect of osmosis time on yield of jasmine flavor syrup

如图 3 所示, 随着渗透时间的延长, 糖浆得率呈现先快速增加后缓慢增加的趋势。在渗透初期 0~96 h 时, 茉莉花与周围高渗介质之间的巨大渗透驱动力, 茉莉花水分快速析出, 所以茉莉花风味糖浆得率快速增加至 25.10%; 但随着渗透时间进一步延长 (96~144 h 内), 糖浆得率只增加了 3.13%。这是因为黄冰糖逐渐溶解, 茉莉花细胞内外浓度梯度变小, 故茉莉花水分渗出驱动力下降, 水分析出速度较慢, 因此糖浆得率增速减缓^[11,12]。Hanna 等^[13]对苹果、南瓜和胡萝卜进

行渗透脱水, 180 min 时其水分含量均保持不变, 即为平衡状态时间。本试验渗透时间超过 168 h 时, 糖浆得率基本保持不变, 表明渗透时间为 168 h 时, 渗透已基本达到平衡。故本试验采用 168 h 作为渗透处理时间。

2.3 黄冰糖颗粒度对茉莉花风味糖浆得率的影响

如图 4 所示, 黄冰糖颗粒度过大或过小都会影响茉莉花风味糖浆得率。当糖颗粒度介于 6~20 目间时, 风味糖浆得率最高, 达到 37.20%。但当糖颗粒太大时 (≤ 6 目), 糖与花之间接触面积较少, 导致茉莉花水分渗出缓慢, 固体糖的溶解较慢, 因此糖浆得率低至 33.93%。与此同时, 当糖颗粒太小 (20~40 目) 时, 糖层结构紧凑, 糖粒之间的通道很小, 水分扩散阻力增大, 导致茉莉花水分渗出速度较慢^[14], 故糖浆得率也不高, 为 34.31%。故本试验黄冰糖颗粒度选择 6~20 目。

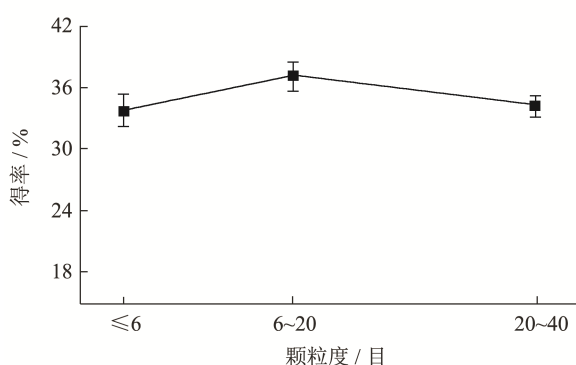


图 4 黄冰糖颗粒度对茉莉花风味糖浆得率的影响

Fig.4 Effect of size of brown rock sugar on yield of jasmine flavor syrup

2.4 超声时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

如图 5 所示, 在超声作用时间分别为 0、60、90 和 120 min 时, 糖浆得率由 36.09% 提高至 37.79%、39.13%、41.40%, 分别提高了 1.70%、3.04% 及 5.31%, 且超声作用时间越长, 糖浆得率显著增加 ($P < 0.05$)。这可能是因为超声波空化与机械作用下, 茉莉花瓣表层及内部形成众多微通道, 且微通道数量会随着超声波处理时间延长而增加, 有利于茉莉花水分析出。因此在超声作用下, 茉莉花花瓣脱水更彻底, 所析出水量更多, 故所溶解黄冰糖数量更多, 因此所得糖浆得率显著增加, 故使用超声波来辅助低温固态渗透并延长超声处理时间, 有利于提高糖浆得率^[15]。Barman 等^[16]在 50 °C、66 °Bx 蔗糖溶液中, 超声 30 min 辅助杨桃切片渗透脱水 180 min, 比对照组析水率高 5.62%,

说明超声波可通过破坏渗透组织形成了更多的微观通道, 导致渗透溶液质量增加, 提高渗透效率。

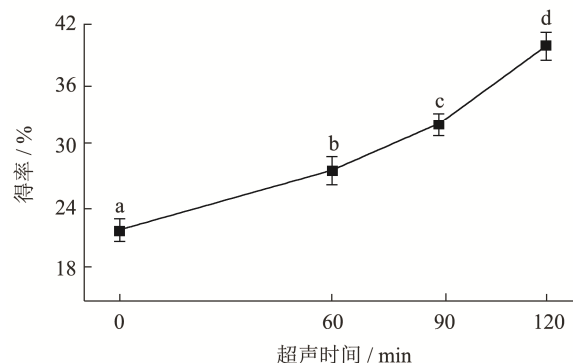
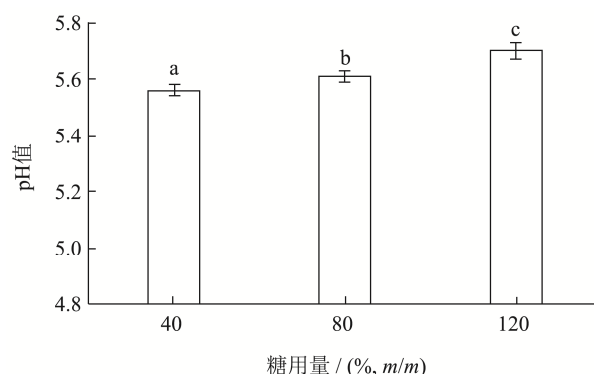


图 5 超声时间对茉莉花风味糖浆得率的影响

Fig.5 Effect of ultrasound time on yield of jasmine flavor syrup

2.5 糖用量、糖颗粒度和超声时间对茉莉花风味糖浆 pH 值、可溶性固形物、干质量的影响

如图 6 所示, 不同糖用量、糖颗粒度和超声时间下的糖浆 pH 值没有明显变化趋势, 分别为 5.56~5.70、5.50~5.64 和 5.44~5.54。由表 1 可得, 与糖用量 40%、80% 样品相比, 120% 糖用量糖浆的干质量 (64.34%) 和可溶性固形物含量 (64.30 °Bx) 相对较高, 这可能是因为相对较高的糖用量促进茉莉花渗透出水, 导致更多的黄冰糖被溶解^[17]。Ramalingam 等^[1]用 100% 蔗糖用量和芒果制备芒果糖浆, 总可溶性固形物为 57.96 °Bx。目数越大, 糖颗粒越小, 糖浆干质量和可溶性固形物含量均增加, 这可能是因为较小颗粒的糖相对更容易溶解^[18]。超声处理后糖浆的干质量 (64.21%~65.35%) 和可溶性固形物 (64.50%~64.87%) 含量值均高于未进行超声的对照组 (干质量和可溶性固形物分别为 63.91%、64.23%), 这可能是因为超声处理促进了更多的水和水溶性物质从茉莉花扩散到糖浆中。Bozkir 等^[19]把柿子置于质量分数为 70% 蔗糖溶液渗透脱水 2 h 过程中超声 30 min, 柿子失水率比未超声组高 5.12%, 说明超声波会使渗透组织失水和渗透剂干质量和可溶性固形物增加更快。



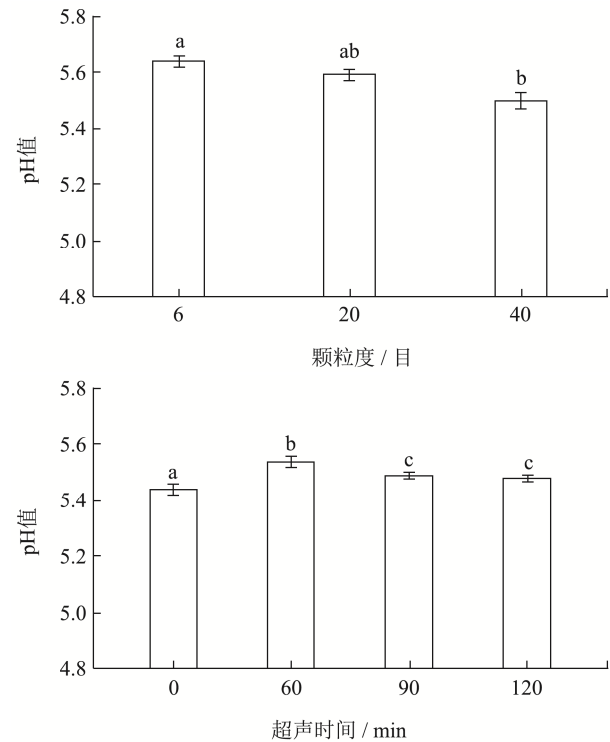


图6 糖用量、颗粒度和超声时间对糖浆 pH 值的影响

Fig.6 Effect of sugar dose, sugarsize and ultrasound time on the pH of jasmine flavored syrup

表 1 不同工艺条件对茉莉花风味糖浆可溶性固形物和干质量的影响

Table 1 Effect of different process parameters on the soluble solids and dry weight of jasmine flavored syrup

项目	工艺条件	可溶性固形物/°Bx	干质量/%
糖用量 (m/m)	40%	55.30±0.82 ^c	54.84±0.50 ^c
	80%	60.20±0.53 ^b	60.47±0.25 ^a
	120%	64.30±0.36 ^a	64.34±0.25 ^a
颗粒度 /目	6	63.37±0.31 ^b	64.19±0.46 ^b
	6~20	65.03±0.15 ^a	64.70±0.53 ^{ab}
	20~40	65.30±0.20 ^a	65.18±0.34 ^a
超声时间 /min	0	64.23±0.25 ^b	63.91±0.57 ^b
	60	64.73±0.21 ^a	64.21±0.28 ^b
	90	64.87±0.15 ^a	65.05±0.32 ^a
	120	64.50±0.10 ^{ab}	65.35±0.51 ^a

注：表中不同字母表示相同工艺条件下有显著性差异 ($P<0.05$)。下表同。

2.6 糖用量、糖颗粒度和超声时间对茉莉花风味糖浆总酚和总黄酮含量的影响

表 2 不同工艺条件对茉莉花风味糖浆总酚和总黄酮含量的影响

Table 2 Effect of different process parameters on the contents of total phenol and total flavonoid of jasmine flavored syrup

项目	工艺条件	总酚含量/(mg GAE/kg dw)	总酚质量/mg	总黄酮含量/(mg RE/kg dw)	总黄酮质量/mg
糖用量 (m/m)	40%	297.25±3.44 ^a	10.46±0.12 ^a	347.59±2.24 ^a	14.84±0.44 ^a
	80%	156.51±0.64 ^b	11.82±0.05 ^b	182.57±8.31 ^b	15.73±0.24 ^b
	120%	124.04±0.61 ^c	12.78±0.06 ^c	151.71±3.16 ^c	16.58±0.48 ^c
颗粒度 /目	6	112.71±1.78 ^b	10.80±0.17 ^a	141.37±3.92 ^a	16.32±0.76 ^{ab}
	6~20	114.42±1.12 ^b	12.12±0.12 ^b	151.84±1.04 ^b	17.17±0.39 ^a
	20~40	128.96±3.49 ^a	12.69±0.34 ^c	160.10±4.42 ^c	15.81±0.63 ^b
超声时间 /min	0	126.03±2.16 ^c	12.79±0.22 ^a	162.85±5.57 ^b	16.29±0.35 ^a
	60	162.10±4.57 ^b	17.31±0.49 ^b	185.13±0.94 ^a	24.65±0.53 ^b
	90	166.24±2.23 ^b	18.62±0.25 ^c	186.73±3.07 ^a	28.19±0.76 ^c
	120	175.18±1.37 ^a	20.85±0.16 ^d	187.92±5.91 ^a	37.33±1.97 ^d

表 2 是在不同糖用量、糖颗粒度和超声时间下渗透得到的风味糖浆中总酚和总黄酮含量的结果。所考察的是在固态渗透脱水过程中不同工艺条件对生物活性化合物的传质有显著影响 ($P<0.05$)。随着糖用量的增加，糖浆里的总酚和总黄酮浓度分别从 297.25 mg GAE/kg dw 下降至 124.04 mg GAE/kg dw、347.59 mg RE/kg dw 下降至 151.71 mg RE/kg dw，这可能是因为水分扩散速度大于水溶性物质扩散速度，导致总酚、总黄酮浓度降低^[20]。但因为糖浆得率增加（如图 2，得率从 13.41%增加至 27.86%），最终所渗出总酚和总黄酮质量（mg）均呈增加趋势。因此糖用

量越多，茉莉花细胞之间、细胞内外的浓度梯度越高，导致更多酚类物质和黄酮类物质从茉莉花细胞中扩散到糖浆中。

当黄冰糖颗粒度由 6 目增至 40 目时，总酚、总黄酮浓度分别从 112.71 mg GAE/kg dw、141.37 mg RE/kg dw 增加至 128.96 mg GAE/kg dw、160.10 mg RE/kg dw，表明糖颗粒越小，酚类和黄酮类物质越容易渗出，酚类化合物和类黄酮化合物也易溶于水中，因此伴随着茉莉花析水渗透至糖浆中。

超声处理的样品总酚和总黄酮浓度分别为 162.10~175.18 mg GAE/kg dw 和 186.73~187.92 mg RE/kg dw，

较对照样分别高了 28.62%~39.00%和 11.84%~13.55%，表明超声波可促进固态渗透茉莉花中酚类化合物和黄酮类化合物的渗出。同时超声处理所得样品中总酚和总黄酮的质量 (mg) 显著高于对照样品 ($P<0.05$)，且超声作用时间越长，糖浆样品中总酚与总黄酮量越多。这可能是因为超声作用使茉莉花细胞破裂并形成微通道，因此茉莉花内部游离或结合的酚类化合物和黄酮类化合物更易扩散至糖浆中^[21]。这与 Tayyab-Rashid 等^[22]研究超声处理甘薯中总酚和总黄酮扩散至渗透液中的结论一致，即超声 45 min 比超声 10 min 后渗透剂中的总酚和总黄酮含量分别高 38.42%、23.53%。由此可见，使用超声来辅助固态渗透脱水制备风味糖浆，不仅可提高糖浆得率，还能使更多酚类化合物和黄酮类化合物渗出。因此该工艺不仅强化了糖浆的风味，而且还有利于糖浆保健功效的提高。

2.7 糖用量、糖颗粒度和超声时间对茉莉花风味糖浆抗氧化活性的影响

图 7 是采用 DPPH 法测定了糖用量、糖颗粒度和超声时间对糖浆中抗氧化活性影响的结果。在不同工艺条件下渗透所得糖浆具有统计学意义较高的抗氧化活性。其中，糖用量和超声时间对糖浆 DPPH 有显著影响 ($P<0.05$)，随着糖用量的增加，风味糖浆清除 DPPH 自由基的能力从 421.90 mg Trolox/kg dw 降至 158.37 mg Trolox/kg dw，但因为糖浆得率的增多 (如图 2，得率从 13.41%增加至 27.86%)，最终清除 DPPH 的质量 (mg) 也是增加的，进一步证实了抗氧化活性和总酚之间含量成正相关的关联。随着超声作用时间的延长，风味糖浆清除 DPPH 自由基的能力从 160.55 mg Trolox/kg dw 增加至 313.55 mg Trolox/kg dw。这是因为在固态渗透中，在浓度梯度和超声共同作用下，茉莉花中酚类等活性物质更容易扩散至糖浆中。这与 Alolga 等^[23]研究的超声辅助能提高新鲜大蒜切片渗透液的总酚含量，比对照组高 33.05 mg GAE/kg dw，且 DPPH 自由基清除率比对照组高 36.24%的结果一致。不同颗粒度的黄冰糖渗透所得糖浆样品的 DPPH 值为 160.70~170.26 mg Trolox/kg dw，差异不显著 ($P>0.05$)，表明糖颗粒度对糖浆 DPPH 值没有显著影响，这主要是因为糖颗粒度对风味糖浆总酚浓度的影响不明显，故糖浆的抗氧化性也无显著差异。可见，糖浆的抗氧化性高低主要与总酚含量多少相关。

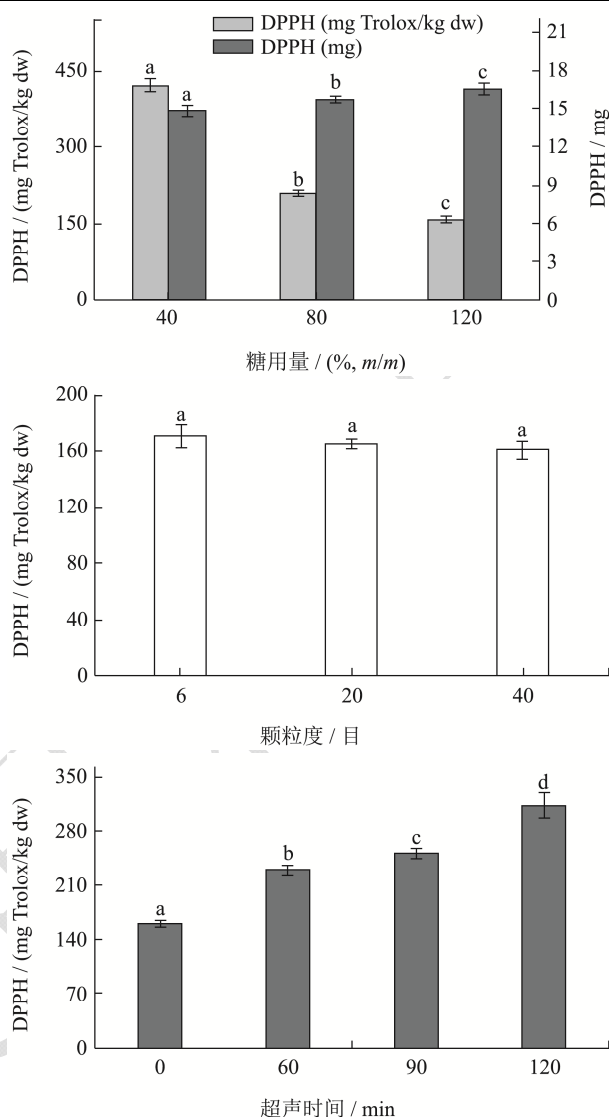


图 7 糖用量、颗粒度和超声时间对茉莉花风味糖浆抗氧化性的影响

Fig.7 Effect of sugar dose, sugar size and ultrasound time on antioxidant properties of jasmine flavored syrup

2.8 糖用量、糖颗粒度和超声时间对茉莉花风味糖浆挥发性化合物的影响

由 Issa 等^[24]文献可知，试验所用茉莉花大约有 81 种挥发性化合物，主要是芳樟醇 (21.47%)、 α -法尼烯 (21.13%)、苯甲醇 (7.52%)、顺-3-己烯基苯甲酸酯 (7.32%)、乙酸苄酯 (3.04%)、水杨酸甲酯 (3.02%) 和邻氨基苯甲酸甲酯 (2.62%)。

如表 3~5 所示，本试验固态渗透所得的茉莉花风味糖浆中含有 50 多种挥发性物质，包括酯类、醇类、

醛类、萜烯类、苯类、呋喃类、酸类等 7 类,以芳樟醇 (37.94%~46.06%) 为主,其次是苯甲醇 (20.80%~23.90%)、水杨酸甲酯 (8.53%~9.51%)、邻氨基苯甲酸甲酯 (2.95%~5.87%)、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯 (2.23%~3.90%)。这表明低温固态渗透茉莉花能有效地将茉莉花中的挥发性化合物提取出来,尤其是醇类化合物,这可能是因为糖浆渗透过程中醇类化合物中羟基具有较强的亲水性使其更容易溶于水浸出^[25]。这与 Ramalingam 等^[1]研究结果类似。但糖用量、糖颗粒度对风味糖浆提取到的主要挥发性物质含量差异不显

著 ($P>0.05$),表明这两工艺条件对茉莉花挥发性物质的浸出没有显著影响。同时,渗透所得的风味糖浆中还含有一些低浓度的、不是来源于茉莉花本身的挥发性物质,如辛醛、癸醛、肉桂醛、乙酸,可能是在低温固态渗透过程中因酶促反应或微生物发酵产生的^[1]。此外,在超声作用下,糖浆也含有反式-4-癸烯酸乙酯、别罗勒烯等新的挥发性物质,可能因为超声空化作用促使某些挥发性成分发生分解、异构化和氧化等产生的^[26]。

表 3 糖用量对茉莉花风味糖浆中的挥发性化合物的影响

Table 3 Effect of sugar dose on volatile flavor compounds of jasmine flavored syrup

挥发性化合物名称	保留时间/min	糖用量/(%, m/m)		
		40	80	120
醇类	正己醇	12.46	0.33±0.03 ^a	0.36±0.05 ^a
	反-3-己烯醇	13.24	3.87±0.26 ^a	4.00±0.34 ^a
	芳樟醇	17.78	43.16±1.51 ^{ab}	46.06±2.26 ^a
	松油醇	20.85	0.30±0.02 ^a	0.25±0.02 ^b
	橙花醇	23.29	0.06±0.01 ^a	0.06±0.00 ^a
	香叶醇	24.31	0.47±0.05 ^{ab}	0.54±0.09 ^a
	苯甲醇	24.71	21.45±2.49 ^a	20.80±1.78 ^a
	反式-橙花叔醇	28.22	0.09±0.03 ^a	0.06±0.01 ^a
	tau-杜松醇	30.56	0.25±0.06 ^a	0.23±0.01 ^{ab}
	(-)- α -毕橙茄醇	30.85	0.56±0.08 ^a	0.43±0.02 ^b
	α -毕橙茄醇	31.67	0.73±0.14 ^a	0.56±0.02 ^{ab}
	肉桂醇	32.48	0.13±0.02 ^a	0.11±0.03 ^a
	2-己烯醛	8.46	0.09±0.01 ^a	0.19±0.02 ^b
醛类/呋喃/苯	2-[(2Z)-2-戊烯基]呋喃	10.09	0.19±0.04 ^a	0.13±0.00 ^b
	辛醛	10.25	0.04±0.01 ^a	0.06±0.02 ^{ab}
	癸醛	15.98	0.16±0.04 ^a	0.18±0.05 ^a
	苯甲醛	16.36	0.93±0.10 ^a	1.34±0.03 ^b
	反,顺-2,6-壬二烯醛	18.29	-	0.17±0.04 ^a
	肉桂醛	27.81	0.04±0.00 ^a	0.04±0.00 ^a
	丁香酚	30.30	0.24±0.02 ^a	0.18±0.01 ^b
萜烯类	月桂烯	6.86	0.25±0.05 ^a	0.55±0.06 ^b
	d-柠檬烯	7.66	0.08±0.02 ^a	0.22±0.04 ^b
	(E)- β -罗勒烯	8.87	0.18±0.04 ^a	0.18±0.02 ^a
	γ -松油烯	9.16	0.02±0.01 ^a	0.02±0.00 ^a
	罗勒烯	9.35	0.33±0.03 ^a	0.33±0.02 ^a
	α -异松油烯	10.17	0.09±0.03 ^a	0.07±0.01 ^a
	(3E,5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	14.64	0.04±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a
	γ -依兰油烯	20.60	0.02±0.01 ^a	0.04±0.00 ^a
	α -法尼烯	22.04	0.17±0.03 ^a	0.21±0.03 ^a
	(+)- δ -杜松烯	22.12	0.89±0.13 ^a	0.84±0.07 ^a

续表 3

挥发性化合物名称	保留时间/min	糖用量/(%, m/m)		
		40	80	120
酯类	(E)-己-3-烯酸甲酯	9.63	0.05±0.02 ^a	0.03±0.01 ^a
	2-己烯酸甲酯	10.46	0.06±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a
	乙酸, 己基-4-烯-1-醇	11.32	0.26±0.01 ^a	0.31±0.03 ^b
	(E)-己-3-烯基丁酸酯	15.21	0.06±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a
	2-(5-甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-基)丙烷-2-基碳酸乙酯	15.46	1.73±0.17 ^a	1.50±0.18 ^{ab}
	苯甲酸甲酯	18.88	0.15±0.02 ^a	0.11±0.01 ^b
	乙酸苄酯	21.42	1.02±0.02 ^a	0.57±0.02 ^b
	水杨酸甲酯	22.31	9.22±0.48 ^a	8.70±0.48 ^a
	水杨酸乙酯	23.14	0.26±0.02 ^a	0.13±0.01 ^b
	N-甲基邻氨基苯甲酸甲酯	28.42	0.18±0.03 ^a	0.13±0.01 ^b
	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	29.58	2.60±0.20 ^a	2.71±0.30 ^a
	邻氨基苯甲酸甲酯	31.50	4.28±0.31 ^a	3.20±0.27 ^b
	苯甲酸苄酯	37.66	0.12±0.01 ^a	0.12±0.02 ^a
酸类	乙酸	14.85	0.07±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a
	正己酸	24.12	0.67±0.11 ^a	0.61±0.04 ^{ab}
	反-3-己烯酸	26.36	0.36±0.10 ^a	0.27±0.08 ^a
	反式-2-己烯酸	26.57	0.39±0.07 ^a	0.34±0.09 ^a

表 4 糖颗粒度对茉莉花风味糖浆中的挥发性化合物的影响

Table 4 Effect of sugar size on volatile flavor compounds of jasmine flavored syrup

挥发性化合物名称	保留时间/min	颗粒度/目		
		≤ 6	6~20	20~40
醇类	正己醇	12.46	0.26±0.03 ^a	0.40±0.01 ^b
	反-3-己烯醇	13.24	3.97±0.50 ^a	4.81±0.12 ^b
	芳樟醇	17.78	44.51±1.63 ^a	42.98±1.04 ^{ab}
	松油醇	20.85	0.19±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a
	橙花醇	23.29	0.06±0.01 ^a	0.06±0.00 ^a
	香叶醇	24.31	0.34±0.04 ^a	0.32±0.01 ^a
	苯甲醇	24.71	23.13±1.26 ^a	23.16±1.74 ^a
	α-毕橙茄醇	25.44	0.42±0.05 ^a	0.51±0.10 ^{ab}
	tau-杜松醇	30.56	0.28±0.04 ^a	0.32±0.03 ^a
	(-)-α-毕橙茄醇	30.85	0.34±0.04 ^a	0.38±0.10 ^{ab}
	肉桂醇	32.48	0.09±0.02 ^a	0.16±0.05 ^b
醛类/呋喃/苯	正己醛	4.99	0.10±0.01 ^a	0.12±0.00 ^b
	2-己烯醛	8.46	0.09±0.01 ^a	0.29±0.01 ^b
	2-[(2Z)-24-戊烯基]呋喃	10.09	0.19±0.04 ^a	0.13±0.00 ^b
	辛醛	10.25	0.04±0.01 ^a	0.06±0.02 ^{ab}
	癸醛	15.98	0.41±0.10 ^a	0.30±0.02 ^a
	反,顺-2,6-壬二烯醛	18.29	0.21±0.07 ^a	0.26±0.04 ^a
	肉桂醛	27.81	0.03±0.01 ^a	0.05±0.01 ^b
	丁香酚	30.30	0.16±0.02 ^a	0.17±0.04 ^a

续表 4

挥发性化合物名称	保留时间/min	颗粒度/目			
		≤6	6~20	20~40	
萜烯类	月桂烯	6.86	0.29±0.06 ^a	0.67±0.08 ^b	0.63±0.03 ^b
	d-柠檬烯	7.66	0.20±0.10 ^a	0.27±0.03 ^a	0.25±0.02 ^a
	(E)- β -罗勒烯	8.87	0.18±0.04 ^a	0.20±0.03 ^a	0.19±0.01 ^a
	γ -松油烯	9.16	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a
	罗勒烯	9.35	0.37±0.05 ^a	0.32±0.04 ^a	0.30±0.01 ^a
	α -异松油烯	10.17	0.08±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a
	(3E,5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	14.64	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a
	γ -依兰油烯	20.60	0.04±0.01 ^a	0.05±0.00 ^a	0.08±0.01 ^b
	(+)- δ -杜松烯	22.12	0.80±0.14 ^a	1.01±0.09 ^b	1.36±0.07 ^c
	α -法尼烯	22.38	0.25±0.02 ^a	0.17±0.03 ^b	0.50±0.03 ^c
	(-)- α -杜松烯	23.05	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	0.05±0.01 ^b
酯类	(E)-己-3-烯酸甲酯	9.63	0.01±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.04±0.01 ^b
	2-己烯酸甲酯	10.46	0.09±0.01 ^a	0.11±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^a
	乙酸, 4-烯-1-醇	11.32	0.32±0.03 ^a	0.26±0.04 ^a	0.27±0.02 ^a
	(E)-己-3-烯基丁酸酯	15.21	0.15±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a	0.12±0.01 ^a
	2-(5-甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-基)丙烷-2-基碳酸乙酯	15.46	1.34±0.05 ^{ab}	1.38±0.06 ^a	1.25±0.03 ^b
	苯甲酸甲酯	18.88	0.07±0.03 ^a	0.09±0.02 ^a	0.07±0.03 ^a
	乙酸苄酯	21.42	0.50±0.07 ^a	0.52±0.02 ^a	0.65±0.04 ^b
	水杨酸甲酯	22.31	9.02±0.38 ^{ab}	8.77±0.32 ^a	9.51±0.05 ^b
	水杨酸乙酯	23.14	0.18±0.01 ^a	0.13±0.01 ^b	0.16±0.01 ^a
	N-甲基邻氨基苯甲酸甲酯	28.42	0.13±0.03 ^a	0.10±0.02 ^a	0.11±0.01 ^a
酸类	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	29.58	3.15±0.22 ^b	2.23±0.27 ^c	3.90±0.16 ^a
	邻氨基苯甲酸甲酯	31.50	2.77±0.37 ^a	3.27±0.46 ^a	3.36±0.13 ^a
	苯甲酸苄酯	37.66	0.13±0.01 ^a	0.08±0.02 ^b	0.12±0.01 ^a
	邻苯二甲酸二丁酯	38.53	0.02±0.01 ^a	0.04±0.03 ^a	0.02±0.01 ^a

表 5 超声时间对茉莉花风味糖浆中的挥发性化合物的影响

Table 5 Effect of ultrasound time on volatile flavor compounds of jasmine flavored syrup

挥发性化合物名称		保留时间/min	超声时间/min			
			0	60	90	120
醇类	正己醇	12.46	0.24±0.01 ^{ac}	0.28±0.03 ^a	0.33±0.02 ^b	0.21±0.03 ^c
	反-3-己烯醇	13.24	3.54±0.42 ^a	4.31±0.18 ^{ab}	4.80±0.29 ^b	3.51±0.66 ^a
	反式-2-己烯-1-醇	13.81	0.10±0.02 ^{ab}	0.07±0.01 ^a	0.09±0.01 ^{ab}	0.13±0.04 ^b
	芳樟醇	17.78	40.13±1.06 ^a	38.40±1.59 ^a	39.51±1.05 ^a	37.94±0.22 ^a
	松油醇	20.85	0.18±0.02 ^a	0.22±0.02 ^b	0.22±0.01 ^b	0.18±0.01 ^a
	香叶醇	24.31	0.46±0.01 ^a	0.44±0.03 ^a	0.37±0.01 ^b	0.43±0.03 ^a
	苯甲醇	24.71	23.06±0.18 ^a	23.61±0.95 ^a	23.66±0.96 ^a	23.90±0.27 ^a
	苯乙醇	25.40	0.15±0.01 ^a	0.16±0.04 ^a	0.17±0.05 ^a	0.20±0.01 ^a
	(-)- α -萜澄茄醇	30.85	0.44±0.05 ^a	0.38±0.04 ^a	0.40±0.06 ^a	0.46±0.06 ^a
	α -萜澄茄醇	31.67	0.50±0.11 ^a	0.50±0.07 ^a	0.51±0.06 ^a	0.57±0.07 ^a
	肉桂醇	32.48	0.15±0.03 ^a	0.21±0.05 ^{ab}	0.16±0.01 ^{ab}	0.26±0.08 ^b

续表 5

挥发性化合物名称	保留时间/min	超声时间/min				
		0	60	90	120	
醛类/呋喃/苯	己醛	4.99	0.08±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b	0.11±0.02 ^a	0.07±0.01 ^b
	2-己烯醛	8.46	0.22±0.01 ^a	0.22±0.04 ^a	0.17±0.02 ^b	0.19±0.01 ^{ab}
	2-[(2Z)-2-戊烯基]呋喃	10.09	0.07±0.01 ^b	0.10±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a	0.08±0.00 ^{ab}
	辛醛	10.25	-	0.05±0.01 ^b	0.08±0.01 ^a	0.09±0.01 ^a
	壬醛	13.18	-	0.27±0.08 ^b	0.45±0.05 ^a	0.46±0.04 ^a
	癸醛	15.98	0.08±0.03 ^b	0.26±0.06 ^a	0.27±0.05 ^a	0.31±0.01 ^a
	苯甲醛	16.36	1.20±0.03 ^a	1.45±0.04 ^b	1.65±0.07 ^c	1.27±0.02 ^a
	反,顺-2,6-壬二烯醛	18.29	0.18±0.02 ^c	0.29±0.01 ^b	0.35±0.01 ^a	0.22±0.04 ^c
	肉桂醛	27.81	0.03±0.01 ^b	0.07±0.01 ^a	0.05±0.02 ^{ab}	0.05±0.01 ^{ab}
	丁香酚	30.30	0.18±0.03 ^c	0.24±0.03 ^{ab}	0.24±0.01 ^a	0.20±0.02 ^{bc}
2,4-二特丁基苯酚	33.11	1.71±0.39 ^a	0.42±0.06 ^b	0.52±0.03 ^c	1.26±0.19 ^c	
萜烯类	月桂烯	6.86	1.00±0.09 ^a	0.39±0.05 ^c	0.38±0.06 ^c	0.41±0.08 ^b
	d-柠檬烯	7.66	0.36±0.05 ^a	0.13±0.01 ^b	0.15±0.01 ^b	0.28±0.02 ^a
	(E)- β -罗勒烯	8.87	0.34±0.04 ^{ab}	0.30±0.06 ^b	0.48±0.16 ^a	0.25±0.02 ^b
	γ -松油烯	9.16	0.04±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a
	罗勒烯	9.35	0.54±0.07 ^a	0.51±0.03 ^a	0.56±0.05 ^a	0.41±0.04 ^b
	α -异松油烯	10.17	0.10±0.02 ^{ab}	0.10±0.01 ^{ab}	0.11±0.02 ^a	0.07±0.03 ^b
	γ -依兰油烯	20.60	0.06±0.01 ^a	-	-	0.09±0.01 ^b
	(+)- δ -杜松烯	21.92	0.99±0.05 ^a	0.36±0.10 ^b	0.38±0.04 ^b	1.07±0.02 ^a
	α -法尼烯	22.38	0.25±0.03 ^a	0.16±0.01 ^b	0.29±0.08 ^a	0.28±0.02 ^a
	(-)- α -杜松烯	23.05	0.05±0.01 ^a	-	-	0.04±0.01 ^a
酯类	乙酸, 己基-4-烯-1-醇	11.32	0.28±0.04 ^a	0.17±0.03 ^b	0.21±0.02 ^b	0.21±0.02 ^b
	2-(5-甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-基)丙烷-2-基碳酸乙酯	15.46	1.27±0.02 ^a	1.21±0.06 ^{ab}	1.19±0.06 ^{ab}	1.16±0.03 ^b
	苯甲酸甲酯	18.88	-	0.11±0.04 ^a	0.11±0.03 ^a	0.12±0.03 ^a
	反式-4-癸烯酸乙酯	20.23	-	-	0.25±0.04 ^a	0.46±0.03 ^b
	乙酸苄酯	21.42	0.41±0.01 ^a	0.51±0.08 ^{ab}	0.41±0.05 ^a	0.56±0.04 ^b
	水杨酸甲酯	22.31	9.39±0.52 ^{ab}	9.53±0.17 ^{ab}	9.97±0.08 ^a	9.24±0.35 ^b
	水杨酸乙酯	23.14	0.11±0.01 ^b	0.16±0.01 ^a	0.15±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a
	N-甲基邻氨基苯甲酸甲酯	28.42	0.13±0.02 ^b	0.19±0.04 ^a	0.18±0.01 ^a	0.15±0.01 ^{ab}
	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	29.58	3.39±0.35 ^a	3.69±0.18 ^a	3.62±0.16 ^a	3.49±0.21 ^a
	邻氨基苯甲酸甲酯	31.50	3.22±0.37 ^a	5.87±0.71 ^b	3.69±0.43 ^c	3.26±0.06 ^a
苯甲酸苄酯	37.66	0.14±0.03 ^a	0.11±0.02 ^{ab}	0.10±0.02 ^b	0.14±0.00 ^a	

3 结论

超声辅助低温固态渗透茉莉花制备风味糖浆的最优工艺参数为：渗透时间 168 h、黄冰糖用量 120% (m/m)、黄冰糖颗粒度为 6~20 目及超声时间 120 min。此时糖浆得率 41.40%、总酚含量 175.18 mg GAE/kg dw 和总黄酮含量 (187.92 mg RE/kg dw) 都最高, DPPH 自由基清除能力为 313.55 mg Trolox/kg dw。另外, 茉莉花中芳香化合物尤其是醇类物质 (68.08%), 也能

被有效渗透出来, 使渗透所得糖浆具有浓郁茉莉花风味。结果表明, 采用超声辅助低温固态渗透来制备风味糖浆是一种可行的方法。

参考文献

[1] Ramalingam S, Dhatchanamoorthis I, Arumugam A, et al. Functional, nutritional, antinutritional, and microbial assessment of novel fermented sugar syrup fortified with pre-mature fruits of *Totapuri mango* and star gooseberry [J].

- LWT, 2021, 136(1): 110276.
- [2] 王俊涛,滕建文,韦保耀,等.不同渗透方式对芒果脱水效率和品质的影响[J].食品科学,2021,42(1):149-156.
- [3] 李少华,李善斌.茉莉花冰淇淋的制作工艺[J].食品研究与开发,2012,33(4):111-114.
- [4] Cheng N, Du B, Wang Y, et al. Antioxidant properties of jujube honey and its protective effects against chronic alcohol-induced liver damage in mice [J]. Food and Function, 2014, 5(5): 900-908.
- [5] Wang Y, Li D, Cheng N, et al. Antioxidant and hepatoprotective activity of vitex honey against paracetamol induced liver damage in mice [J]. Food and Function, 2015, 6(7): 2339-2349.
- [6] Goslinski M, Nowak D, Szwengiel A. Multidimensional comparative analysis of bioactive phenolic compounds of honeys of various origin [J]. Antioxidants, 2021, 10(4): 530-543.
- [7] 任佳淼.蜂蜜挥发性成分的研究[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [8] Zuniga, Pedreschi. Study of the pseudo-equilibrium during osmotic dehydration of apples and its effect on the estimation of water and sucrose effective diffusivity coefficients [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 5(7): 2717-2727.
- [9] Etemadi A, Alizadeh R, Sirousazar M. The Influence of natural basil seed gum coats on the kinetics of osmotic dehydration of apple rings [J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(1): 1505-1515.
- [10] Prithani R, Dash K K. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 64: 102407.
- [11] Dash, Balasubramaniam, Kamat. High pressure assisted osmotic dehydrated ginger slices [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 247: 19-29.
- [12] Alakali, Ariahu, Nkpa. Kinetics of osmotic dehydration of mango [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2006, 30(5): 597-607.
- [13] Kowalska, Lenart. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables [J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(2): 137-140.
- [14] Ramya V, Jain. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: an integrated approach [J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40: 12440.
- [15] Bozkir H, Ergun A, Serdar E, et al. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 135-141.
- [16] Barman N, Badwaik L S. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration [J]. Ultrason Sonochem, 2017, 34: 37-44.
- [17] 王俊涛.固体糖渍对芒果脱水传质和品质的影响研究[D].南宁:广西大学,2020.
- [18] Fong-In S, Nimitkeatkai H, Prommajak T, et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of litchi: effect of pretreatment on mass transfer and quality attributes during frozen storage [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(14): 3590-3597.
- [19] Bozkir H, Ergün A. Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 131: 109704.
- [20] Bozkir H, Rayman Ergün A, Serdar E, et al. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 135-141.
- [21] Rahaman A, Zeng X A, Kumari A, et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 58: 104643.
- [22] Tayyab Rashid M, Ahmed Jatoti M, Safdar B, et al. Modeling the drying of ultrasound and glucose pretreated sweet potatoes: The impact on phytochemical and functional groups [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 68: 105226.
- [23] Alolga R N, Osae R, Essilfie G, et al. Sonication, osmosonication and vacuum-assisted osmosonication pretreatment of Ghanaian garlic slices: Effect on physicochemical properties and quality characteristics [J]. Food Chemistry, 2020, 343(3): 128535.
- [24] Issa M Y, Mohsen E, Younis I Y, et al. Volatiles distribution in jasmine flowers taxa grown in Egypt and its commercial products as analyzed via solid-phase microextraction coupled to chemometrics [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 144: 112002.
- [25] Loey A V, Methven L, Elmore J S. Effect of sugar reduction on flavour release and sensory perception in an orange juice soft drink model [J]. Food Chemistry, 2019, 284: 125-132.
- [26] An K, Tang D, Wu J, et al. Comparison of pulsed vacuum and ultrasound osmotic dehydration on drying of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles [J]. Food Science and Nutrition, 2019, 7(8): 2537-2545.