doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.05.011　　文章编号:2095-6002(2019)05-0083-08
引用格式:龙晓珊,廖森泰,胡腾根,等. 基于微生物发酵的低糖型桑椹精粉制备工艺研究[J]. 食品科学技术学报,2019,37(5):83-90.
LONG Xiaoshan, LIAO Sentai, HU Tenggen, et al. Study on preparation of low-sugar mulberry extract powder based on microbial fermentation[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(5):83-90.

基于微生物发酵的低糖型桑椹精粉制备工艺研究

龙晓珊, 廖森泰*, 胡腾根*, 邹宇晓, 李 倩, 黎尔纳, 庞道睿, 沈维治
(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)

摘 要: 以改善桑椹精粉的加工特性(粒径、粉体特性、色泽)和保持脱氧野尻霉素(DNJ)、总多酚、总黄酮和花青素等活性成分为目标,通过微生物发酵技术研究营养和外观品质俱佳的低糖型桑椹精粉的制备工艺。将桑椹原浆经肠膜明串珠菌(*Leuconstoc mesenteroides*)和葡萄酒高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)发酵、冻干后制备低糖型桑椹精粉,并以干桑椹直接粉碎后的桑椹原粉为对照,比较桑椹原粉、桑椹精粉和添加黄豆辅料的桑椹精粉的加工特性以及活性成分含量。与桑椹原粉相比,2 种低糖型桑椹精粉的葡萄糖和果糖含量、水分含量、水分活度、吸湿性、堆密度、休止角、粒径都明显降低,色泽、流动性等加工特性显著改善。桑椹原粉的 DNJ 含量为 0.68 mg/g,发酵后 DNJ 含量显著提高,为 2.07 mg/g,冻干处理后为 1.39 mg/g,冻干并添加辅料处理后其含量为 1.03 mg/g。发酵、冻干以及添加黄豆辅料对总多酚、总黄酮含量没有显著影响;桑椹原粉、桑椹发酵液、桑椹精粉、添加黄豆辅料的桑椹精粉的总多酚含量分别为 27.70、28.55、25.83、25.85 mg/g,总黄酮含量分别为 1.24、1.01、1.16、1.30 mg/g。发酵处理造成花青素含量显著下降,而冻干和添加黄豆辅料对花青素含量没有显著影响。桑椹经发酵、添加黄豆冻干处理后,其加工特性得到改善,DNJ 含量增加,花青素含量降低,而总多酚和总黄酮含量没有明显变化。

关键词: 发酵; 冻干; 桑椹; 加工特性; 活性物质
中图分类号: TS255.4; TS205.5　　**文献标志码:** A

桑椹又名桑果,为桑科落叶乔木桑树(*Morus alba* Linn.)的果实[1],富含氨基酸和维生素等营养成分以及脱氧野尻霉素(DNJ)等活性物质[2-4],具有抗氧化、降血糖等多种营养和保健功能[5],已被我国卫生部列入“既是食品又是药品”名录[6-7]。尽管桑椹富含的 DNJ 等降血糖功能因子,在中医临床和民间食疗养生中应用广泛,但桑椹作为一种天然浆果,其中还含有一定量的葡萄糖和果糖等碳水化合物,如果能通过现代食品加工技术将这些碳水化合物脱除,且尽可能减少 DNJ 等降血糖功能因子

收稿日期: 2019-01-08
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403064);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-18);广东省科技计划项目(2015A030302049;2017B020207006);广东省现代农业产业技术体系创新团队资助项目(2016LM1087;2016LM2151);广州市产学研协同创新联盟专题资助项目(201604046016);广东省农业科学院学科团队建设资助项目(201607TD);中山市科技计划项目(2016A1033)。
第一作者: 龙晓珊,女,研究实习员,硕士, 主要从事蚕桑与药食资源综合利用方面的研究。
*通信作者: 廖森泰,男,研究员,硕士,主要从事蚕桑与药食资源综合利用方面的研究;
胡腾根,男,助理研究员,硕士,主要从事农产品加工方面的研究。

的损失,将有利于改善桑椹的加工性能,拓宽桑椹在食品,尤其是功能食品中的应用领域。乳酸菌和酿酒酵母等微生物可高效脱除桑椹中的碳水化合物[8-10],同时为发酵产物带来益生菌,有利于提高桑椹的营养价值和保健功能[11]。针对加工过程桑椹发酵液中益生菌损失较大的问题,可加入黄豆辅料作为保护剂,研究表明,黄豆富含异黄酮、卵磷脂、低聚糖、豆甾醇等功能性物质,可以减少冻干过程中益生菌的损失[11-12]。文章以桑椹为研究对象,考察微生物发酵和冻干处理制备的桑椹精粉在理化特性和加工特性方面的主要变化,为拓展桑椹精粉在食品中的应用积累经验。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

"粤椹大 10"新鲜桑椹:成熟度均一(八至九成熟),无污染、无病虫害。黄豆,黑龙江北纯农产品开发有限公司。

肠膜明串珠菌(*Leuconstoc mesenteroides*)、葡萄酒高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所菌种保藏中心。

焦性没食子酸(分析纯),德州润昕实验仪器有限公司;福林酚试剂(分析纯),上海荔达生物科技有限公司。甲醇、乙腈,色谱纯,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;琼脂、细菌学蛋白胨、MRS 肉汤,广东环凯微生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

LabSwift-Novasia 型水分活度仪,瑞士 NOVASINA 公司;Agilent 1200 series 型高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;UitraScan-VIS 型自动色差仪,美国 HunterLab 公司;UV-1800 型紫外分光光度计,日本岛津有限公司;WJL-628 型激光粒度分析仪,珠海欧美克仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品的制备

桑椹原粉(mulberry powder, MP)制备:将采摘得到的八九成熟的新鲜桑椹置于 60 ℃烘箱中干燥至恒重后取出,粉碎后过 40 目筛,获得 MP。

发酵液(fermented mulberry, FM)制备:样品制备方法参照文献[10]。取一定质量的桑椹原粉,加入 4 倍的蒸馏水后混匀,高压灭菌(121 ℃,20 min)。冷却后,接入肠膜明串珠菌(接种量为 3.95×10^8 CFU/mL),将接种后的桑椹浆置于摇床中(30 ℃,150 r/min),发酵 96 h 后,再接入酵母菌(接种量为 1.76×10^5 CFU/mL),放置于摇床中发酵 6 h(28 ℃,150 r/min),即得 FM。

桑椹精粉(mulberry extract powder)制备:FM 冷冻干燥后得到未添加黄豆辅料的桑椹精粉(freeze-dried fermented mulberry, DFM)。黄豆浸泡 3 h 后经打浆机打成浆,与发酵液混合均匀并冷冻干燥后得到添加黄豆辅料的桑椹精粉(freeze-dried fermented mulberry mixed with soybean, DFMS),黄豆和发酵液的质量比为1∶5。

1.3.2 单糖含量的测定

参考 Zheng 等[13]的方法并加以适当的改进。将待测样品用适量的水溶解,超声辅助提取 30 min,离心 10 min(10 000 r/min,4 ℃),取上清液,用 0.22 μm 滤膜过滤后用于高效液相色谱分析单糖含量。色谱条件:检测器为蒸发光检测器,ELSD 漂移管温度为 45 ℃;色谱柱型号为 Shodex Asahipak NH2P-504E(4.6 mm×250 mm, 5 μm),柱温 30 ℃;流动相为体积分数 75% 乙腈,流速为 1 mL/min,进样量为 20 μL。以标准品溶液质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘制标准曲线,计算得到样品的单糖含量。

1.3.3 粒径的测定

参照文献[14],采用 WJL-628 型激光粒度仪测定样品的粒径,测定 D_{90}、D_{50}、D_{10}及分散度,重复 3 次以上。D_n表示有 n% 的颗粒粒径小于该数值。

1.3.4 水分含量、水分活度、吸湿性的测定

水分含量的测定:采用直接干燥法,称取 1 ~2 g 待测样品,105 ℃烘干至恒重后称重计算[15]。

水分活度的测定:使用 LabSwift-Novasia 型水分活度仪进行测定,重复测定 3 次以上。

吸湿性的测定:参考蔡延渠等[16]的方法并改进,将饱和 NaCl 溶液放置在玻璃干燥器中 24 h,形成保湿器。称取 1 ~2 g 待测样品于已干燥至恒重的称量瓶中,在 105 ℃条件下烘干至恒重后称重,放入保湿器中,7 d 后,称量样品和称量瓶的总质量。

1.3.5 休止角的测定

在水平实验台上放置白纸,漏斗固定在白纸上方,漏斗下端与白纸之间的垂直距离为 h;将待测样

品放置在漏斗中，让其自由散落到白纸上，直至样品与漏斗下端接触，并形成圆锥形。测量出圆锥形的半径 r，h 与 r 的比值即为休止角 θ 的正切值，从而计算出 θ[17]。

1.3.6 堆密度的测定

将样品从漏斗中自由散落至 10 mL 的量筒中，测定样品的质量和体积，至少重复 3 次，平行样品之间的堆密度差值不超过 0.01 g/cm^3。

1.3.7 色泽的测定

采用全自动色差仪测定样品的色泽[18]。L^* 表示亮度，值越大，亮度越大；a^* 表示颜色从绿色（$-a^*$）向红色（$+a^*$）变化，值越大，代表颜色向红色度偏移；b^* 表示颜色从蓝色（$-b^*$）向黄色（$+b^*$）变化，值越大，代表色泽向黄色度偏移。ΔE 是指总色差，计算见式(1)：

$$\Delta E = \sqrt{((L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2)} \quad (1)$$

1.3.8 桑椹发酵前后活性成分含量测定

1.3.8.1 DNJ 含量的测定

样品的提取：精确称取 0.5 g 样品，加入 0.05 mol/L 盐酸溶液 30 mL，充分混匀后超声 30 min，离心后收集上清液，将滤渣用同样的方法再次提取，重复提取 3 次，合并上清液。

配制 10、20、40、200 μg/mL 的 DNJ 标准溶液[19]，样品与标准溶液衍生化后待测。

色谱条件：色谱柱型号为 ZORBAX SB－C18（250 mm × 4.6 mm，5 μm）；流动相为体积分数 0.1% 醋酸和乙腈（体积比 60∶40），进样量为 20 μL，流速为 1 mL/min，等度洗脱 25 min；检测器为 DAD 型紫外检测器，检测波长 254 nm，柱温 30 ℃[20]。

1.3.8.2 总多酚含量的测定

配制 4、8、12、16、20、24 μg/mL 的焦性没食子酸标准溶液[21]。精确称取适量样品，用体积分数 60% 乙醇溶解，超声辅助提取 27 min，离心后取上清液，重复提取 3 次。用 60% 乙醇将上清液定容至 50 mL，混合均匀后待测。

含量测定：采用福林酚比色法，取 1 mL 标准溶液（或样品提取物）于 10 mL 试管中，先加入 1 mL 福林酚试剂，混合均匀后加入 2 mL 0.10 g/mL 碳酸钠溶液，混匀，于 25 ℃下避光反应 60 min 后，765 nm 测定吸光度。以焦性没食子酸质量浓度为横坐标，吸光度值为纵坐标绘制标准曲线，采用外标法测定多酚含量。

1.3.8.3 花青素含量的测定

样品制备：用酸性乙醇（10 mL 体积分数 0.1% 盐酸溶液，20 mL 体积分数 95% 乙醇）溶解样品，50 ℃超声辅助提取 1 h，离心后取上清液重复提取 3 次。

含量测定：采用 pH 示差法[22]。14.90 mg/mL 氯化钾溶液和 0.2 mol/L 盐酸溶液以体积比 25∶67 混合，并用氯化钾溶液调 pH 值，得到 pH 值 1.0 的缓冲溶液。称取 8.20 g 醋酸钠用蒸馏水定容至 500 mL，用 0.2 mol/L 盐酸溶液调 pH 值，得到 pH 值 4.5 的缓冲溶液。准确量取 5 mL 样品 2 份，分别用 pH 值 1.0、pH 值 4.5 的缓冲液定容至 25 mL，平衡 2 h 后，分别于 510、700 nm 处测吸光度。花青素得率计算见式(2)。

$$\text{花青素得率} = \frac{A}{26\,900 \times 1} \times 449.2 \times DF \times \frac{V}{M} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中，吸光度 $A = (A_{510\,nm,pH1.0} - A_{700\,nm,pH1.0}) - (A_{510\,nm,pH4.5} - A_{700\,nm,pH4.5})$；26 900 为矢车菊花素-3-葡萄糖苷的消光系数；1 为光程 1 cm；449.2 为矢车菊花素-3-葡萄糖苷的相对分子质量；DF 为稀释倍数；V 为待测花青素样品储备液体积，mL；M 为待测样品质量，mg。

1.3.8.4 总黄酮含量的测定

标准溶液的配制及标准曲线的绘制：准确称取芦丁标准品 10 mg，用体积分数 60% 乙醇溶解并定容至 100 mL，配制成 0.1 mg/mL 的标准品溶液。准确量取芦丁标准品溶液 0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL 于 10 mL 容量瓶中，加入体积分数 60% 的乙醇溶液至体系的体积为 5.0 mL，加入 0.3 mL 质量分数 5% 的亚硝酸钠溶液，混匀后静置 6 min。加入 0.3 mL 质量分数 10% 的硝酸铝溶液，混匀后静置 6 min，再加入 4.0 mL 质量分数 4% 的 NaOH 溶液，最后用体积分数 60% 的乙醇溶液定容。混匀后在波长 510 nm 处测吸光度，以标准溶液的质量浓度为横坐标，吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

样品的提取及测定[23－24]：样品加入体积分数 60% 的乙醇，60 ℃利用超声波辅助提取 45 min，离心后取上清液。滤渣用同样的条件再次提取，重复提取 3 次，合并上清液。60% 无水乙醇定容至

50 mL,取0.6 mL 反应,反应条件同标准溶液。

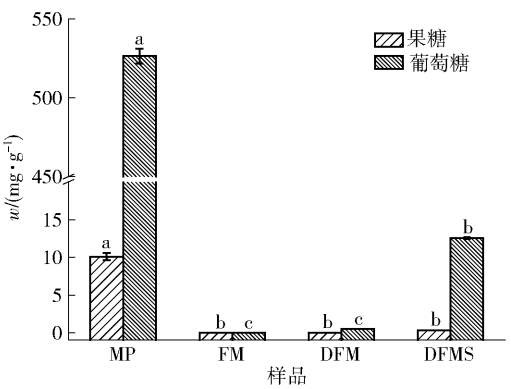
1.4 数据处理

实验数据表示为 $x \pm s$,采用 Word 2010 软件和 Origin 8.0 软件绘制图表。单因素方差分析采用 SPSS 19.0 软件。

2 结果与分析

2.1 低糖型桑椹精粉制备过程中果糖和葡萄糖含量分析

MP 的果糖和葡萄糖含量分别是 10.09、526.41 mg/g,发酵处理之后,果糖和葡萄糖含量降低为 0(见图 1),这是因为微生物在发酵过程中将桑椹的单糖作为能源物质进行充分利用。DFM 和 DFMS 的果糖和葡萄糖含量明显低于 MP,且接近于 0,表明低糖型桑椹精粉制备成功。



不同字母表示不同样品同一指标之间差异显著($P<0.05$)。

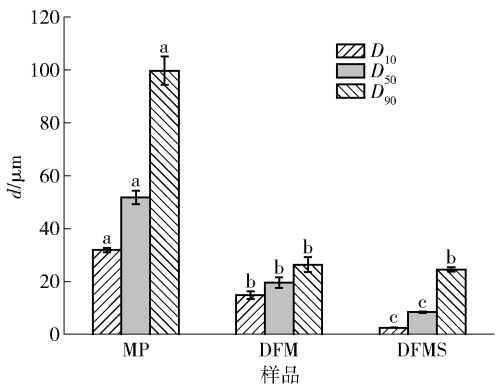
图 1 低糖型桑椹精粉制备过程中果糖和葡萄糖含量的变化

Fig. 1 Changes of fructose and glucose content during preparation of low-sugar mulberry extract powder

2.2 低糖型桑椹精粉制备过程中加工特性分析

2.2.1 制备过程对桑椹精粉粒径的影响

图 2 显示了发酵、冻干及添加黄豆辅料处理对桑椹粒径变化的影响。由图 2 可知,MP 平均粒径 51.74 μm,有 10% 的颗粒粒径小于 31.90 μm,90% 的颗粒粒径小于 99.74 μm。当桑椹发酵液经冻干处理后,DFM 的平均粒径为 19.56 μm,10% 的颗粒粒径小于 14.86 μm,90% 的颗粒粒径小于 26.34 μm,表明冻干降低了粉末的粒径。这可能是由于冻干过程中桑椹发酵液内部溶质趋于均匀分布,形成细小的冰晶,在冻干结束后导致其粒径变小。添加黄豆辅料后,DFMS 的平均粒径最小,为 8.42 μm,其中 90% 的颗粒粒径小于 24.59 μm,10% 的颗粒粒径低于 2.53 μm,粉末最细腻。相对于桑椹而言,黄豆在冻干过程中形成的冰晶更小,因此粒径更小。而且,糖含量可通过影响冻干和粉碎过程中粉体的黏度从而影响粒径大小。由图 1 可知,DFM 和 DFMS 的果糖和葡萄糖含量明显低于 MP,因此低糖型桑椹精粉的黏度显著小于 MP,也是桑椹精粉粒径明显小于桑椹原粉的原因($P<0.05$)。粒径的减小,使桑椹粉体的比表面积增大,表面聚合力和吸附力更大,有利于提高粉体的流动性和产品稳定性;同时,有利于增大桑椹活性成分与其提取溶剂的接触面积,提高活性成分的提取率。



不同字母表示不同样品同一指标之间差异显著($P<0.05$)。

图 2 发酵、冻干及添加辅料对桑椹精粉粒径的影响

Fig. 2 Effect of fermentation, freeze-drying and excipient addition on particle size of mulberry extract powder

2.2.2 制备过程对桑椹精粉粉体特性的影响

DFM 的水分含量和水分活度最低,分别为 4.85%、0.27,其次是 DFMS,水分含量和水分活度分别为 8.61%、0.33;而 MP 的水分含量和水分活度是最高的,分别为 14.44%、0.47,见表 1。主要是因为 MP 是使用热泵干燥技术烘干的,而 DFM 和 DFMS 是利用冷冻干燥技术干燥的,水分会减少得更多。MP 的吸湿性比 DFM 和 DFMS 都高,三者的吸湿性依次为 7.31%、6.59%、6.38%。由此说明发酵后冻干处理能显著降低桑椹粉的水分含量、水分活度和吸湿性($P<0.05$),提高桑椹粉的贮藏稳定性。

MP 的堆密度为 0.43 g/cm^3,DFMS 和 DFM 的堆密度较小,分别为 0.18、0.22 g/cm^3,说明发酵后冻干以及添加黄豆辅料都会使桑椹的堆密度明显变小($P<0.05$),桑椹粉体之间空隙变大,容量变小。

可能是由于桑椹发酵冻干后，粉体粒径减小，造成粉体比表面积增大，表面聚合力增大，从而导致其堆密度变小。DFMS 和 DFM 的休止角没有显著性差异（$P>0.05$），分别为 39.31°和 38.88°，都显著小于 MP（45.51°），说明发酵后冻干处理会使桑椹粉的休止角明显变小（$P<0.05$），粉体流动性变好。由表 1 可知，与 MP 相比，DFM 和 DFMS 的吸湿性较低，暴露在空气中吸收的水分较少；粉体颗粒之间的黏着性越小，其摩擦力小，因此流动性更好。总体而言，桑椹经发酵、冻干及辅料优化后，贮藏稳定性提高，粉体流动性更好。

表 1　发酵、冻干及添加辅料对桑椹精粉粉体特性的影响

Tab. 1　Effect of fermentation, freeze-drying and excipient addition on physical properties of mulberry extract powder

样品	水分含量/%	水分活度	吸湿性/%	堆密度/(g·cm^{-3})	休止角/°
MP	14.44±0.028^{a}	0.47±0.003 3^{a}	7.31±0.312^{a}	0.43±0.009 0^{a}	45.51±0.96^{a}
DFM	4.85±0.077^{c}	0.27±0.005 8^{c}	6.59±0.055^{b}	0.22±0.014 0^{b}	38.88±0.41^{b}
DFMS	8.61±0.125^{b}	0.33±0.015 3^{b}	6.38±0.144^{b}	0.18±0.016 3^{c}	39.31±0.74^{b}

不同字母表示同列数值之间差异显著（$P<0.05$）。

2.2.3　制备过程对桑椹精粉色泽的影响

以 MP 作为对照组，对比了发酵、冻干及添加辅料等不同处理后色泽的变化，见表 2。MP 的 L^* 值、a^* 值、b^* 值分别为 37.22、5.71、2.82，DFM 和 DFMS 的 L^* 值、a^* 值、b^* 值都显著大于 MP（$P<0.05$），说明冻干以及添加黄豆辅料都会使桑椹亮度增加，向红色度和黄色度偏移。这可能与桑椹的粒径有关，粉体粒径越小，其混合均匀度和比表面积越大，色泽改善效果更好[15]。由图 2 可知，DFM 和 DFMS 的粒径明显小于 MP，与表 2 结果一致。以 MP 作为对照，DFMS、DFM 的色差值分别为 10.34、20.06。由以上论述可以说明发酵后冻干及添加辅料处理都会明显改善桑椹的色泽。

表 2　发酵、冻干及添加辅料对桑椹精粉色泽的影响

Tab. 2　Effect of fermentation, freeze-drying and excipient addition on color of mulberry extract powder

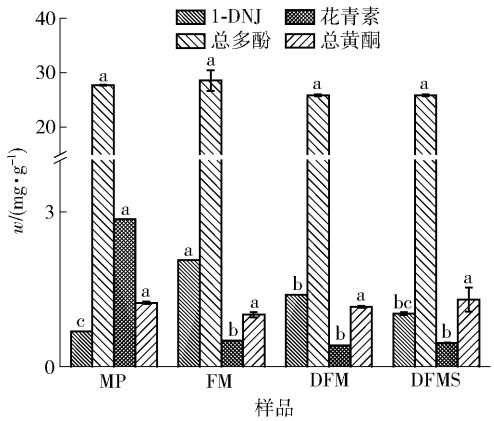
样品	L^*	a^*	b^*	ΔE
MP	37.22±0.391^{c}	5.71±0.169^{c}	2.82±0.040^{c}	——
DFM	56.48±0.044^{a}	7.04±0.035^{b}	8.25±0.050^{a}	20.06±0.370^{a}
DFMS	46.64±0.426^{b}	7.52±0.067^{a}	6.65±0.021^{b}	10.34±0.035^{b}

不同字母表示同列数值之间差异显著（$P<0.05$）。

2.3　低糖型桑椹精粉制备过程中活性物质含量分析

为研究发酵、冻干及添加黄豆辅料等工艺对桑椹 DNJ、总多酚、花青素、总黄酮等活性物质含量的影响，对其含量进行了检测分析，如图 3。MP 和 FM 的 DNJ 含量分别为 0.68、2.07 mg/g，发酵处理能明显增加桑椹粉 DNJ 含量，与肖洪等[25]的研究结果一致。而 DFM 和 DFMS 的 DNJ 含量分别为 1.39 mg/g 和 1.03 mg/g，都显著低于 FM（$P<0.05$），但明显高于 MP（$P<0.05$），说明冻干降低了 DNJ 的含量。MP、FM、DFM 和 DFMS 的总多酚含量分别为 27.70、28.55、25.83、25.85 mg/g，没有显著性差异（$P>0.05$）。说明发酵、冻干以及添加黄豆辅料对桑椹总多酚含量没有影响。MP 的花青素含量为 2.86 mg/g，而 FM、DFM 和 DFMS 的花青素含量分别为 0.50、0.41、0.47 mg/g，三者没有显著性差异（$P>0.05$），说明发酵会对桑椹花青素造成损失，冻干和添加黄豆辅料不会改变桑椹花青素的含量。有研究表明，微生物发酵桑椹时会产生代谢物，与花青素产生反应，将花青素转化为其他大分子物质，使花青素含量明显降低（$P<0.05$）[26]。MP、FM、DFM、DFMS 的总黄酮含量分别为 1.24、1.01、1.16、1.30 mg/g，没有显著性的差异（$P>0.05$），说明发酵、冻干以及添加黄豆辅料对总黄酮的含量没有影响。研究表明[25]，发酵菌种、接种量、时间、温度等都会对活性物质含量产生一定的影响，发酵条件的改变会使活

性物质含量增加或者减少,也有可能不变。



不同字母表示不同样品同一指标之间差异显著($P < 0.05$);1-DNJ、总多酚、花青素、总黄酮的计算结果都是将样品折算为同等质量的桑椹干重得到的。

图 3 发酵、冻干及添加辅料对桑椹精粉活性物质含量的影响

Fig. 3 Effect of fermentation, freeze-drying and excipient addition on active substance contents of mulberry extract powder

3 结 论

经发酵、冻干及辅料优化处理后得到的低糖型桑椹精粉,其加工特性得到改善,部分活性物质含量得到提高。低糖型桑椹精粉水分含量、水分活度、吸湿性明显小于发酵前,说明发酵冻干后的桑椹粉更耐储存。与发酵前比,低糖型桑椹精粉堆密度、休止角和粒径都明显降低,粉体流动性变好,粉末更加细腻光滑。与未发酵的桑椹粉比较,发酵冻干后,桑椹精粉色泽变亮,向红色和黄色偏移。发酵提高了桑椹 DNJ 的含量,但冻干后略微降低;发酵还降低了花青素的含量,但对总多酚、总黄酮含量几乎没有影响;冻干以及添加黄豆辅料对总多酚、总黄酮和花青素含量没有明显的影响。

桑椹的采摘期集中且储藏困难,不易保存,将桑椹进行加工处理是必要手段。本实验证明桑椹经过加工处理后得到的低糖型桑椹精粉具备良好的加工特性,同时部分活性物质含量得到提高,为桑椹的保存和拓宽桑椹在功能食品上的应用,提供了理论依据。

参考文献:

[1] 李辰辰,陆小腾驾,童华荣. HPLC-Q-TOF-MS-MS 测定桑椹中多酚类物质[J]. 食品科学,2015,36(2):101-104.
LI C C, LU X T J, TONG H R. Determination of polyphenols in mulberry by HPLC-Q-TF-MS-MS[J]. Food Science,2015,36(2):101-104.

[2] LI Y G, ZHONG S Y, YU J Q, et al. The mulberry-derived 1-deoxynojirimycin (DNJ) inhibits high-fat diet (HFD)-induced hypercholesteremia and modulates the gut microbiota in a gender-specific manner[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 52:63-72.

[3] JIAO Y K, WANG X Q, XIANG J, et al. Antidiabetic effects of *Morus alba*, fruit polysaccharides on high-fat diet and streptozotocin-induced type 2 diabetes in rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 199:119-127.

[4] CHEN C, HUANG Q, LI C, et al. Hypoglycemic effects of a *Fructus Mori* polysaccharide *in vitro* and *in vivo*[J]. Food & Function, 2017, 8(7):2523-2535.

[5] LI F, ZHANG B, CHEN G, et al. The novel contributors of anti-diabetic potential in mulberry polyphenols revealed by UHPLC-HR-ESI-TOF-MS/MS[J]. Food Research International, 2017, 100(1):873.

[6] ZHANG J Z. Abstracts from the 2nd international symposium on phytochemicals in medicine and food (2-ISPMF)[J]. Chinese Medicine, 2018, 13(s1):26.

[7] LOWN M, FULLER R, LIGHTOWLER H, et al. Mulberry extract to modulate blood glucose responses in normoglycaemic adults (mulberry): study protocol for a randomised controlled trial[J]. Trials, 2015, 16(1):486.

[8] GAN L C, FENG J Z, JIAN S, et al. Production and characteristics of high quality vinegar from sugarcane juice [J]. Sugar Tech, 2015, 17(1):89-93.

[9] MOHSIN A, SUN J, KHAN I M, et al. Sustainable biosynthesis of curdlan from orange waste by using *Alcaligenes faecalis*: a systematically modeled approach[J]. Carbohydrate Polymers, 2019,205:623-625.

[10] LI E, YANG H, ZOU Y X, et al. *In vitro* digestion by simulated gastrointestinal juices of *Lactobacillus rhamnosus* cultured with mulberry oligosaccharides and subsequent fermentation with human fecal inocula[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019,101:61-68.

[11] KIM J H, AHN H J, KIM D H, et al. Irradiation effects on biogenic amines in Korean fermented soybean paste during fermentation [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1):5.

[12] BATT H P, THOMAS R L, RAO A. Characterization of isflavones in membrane-processed soy protein concen-

trate [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1):4.

[13] ZHENG X, YU Y S, XIAO G S, et al. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 23(3):61 - 67.

[14] 赵广河,张名位,张瑞芬,等. 气流超微粉碎对桃金娘果粉物理化学性质的影响[J]. 食品科学,2016,37(1):17 - 21.
ZHAO G H, ZHANG M W, ZHANG R F, et al. Effects of ultra-fine pulverization on physical and chemical properties of myrtle fruit powder [J]. Food Science, 2016, 37(1):17 - 21.

[15] 步正延,李臻峰,宋飞虎,等. 基于太赫兹成像技术的大豆叶片水分含量测定[J]. 浙江农业学报,2018,30(8):1420 - 1426.
BU Z Y, LI Z F, SONG F H, et al. Determination of water content in soybean leaves based on terahertz imaging technology [J]. Journal of Zhejiang Agriculture, 2018, 30(8):1420 - 1426.

[16] 蔡延渠,董碧莲,邓剑壕,等. 改良桃胶多糖的吸湿保湿性能及体外透皮吸收研究[J]. 广州中医药大学学报,2018,35(4):711 - 716.
CAI Y Q, DONG B L, DENG J H, et al. Study on moisture absorption and transdermal absorption of modified peach gum polysaccharides [J]. Journal of Guangzhou University of Chinese Medicine, 2018, 35(4): 711 - 716.

[17] 马永轩,魏振承,张名位,等. 改善营养糊冲调性和流动性的配方优化和工艺研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(7):81 - 87.
MA Y X, WEI Z C, ZHANG M W, et al. Research on formula optimization and process for improving the fluidity and consistency of nutrient paste [J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2013, 28(7):81 - 87.

[18] YU Y S, XIAO G S, XU Y J, et al. Effects of dimethyl dicarbonate (DMDC) on the fermentation of litchi juice by *Lactobacillus casei* as an alternative of heat treatment [J]. Journal of Food Science, 2014, 79(5):947 - 954.

[19] 蒲俊松,陈虎,向仲怀,等. 超高效液相色谱法检测药桑椹中 1-脱氧野尻霉素[J]. 食品科学, 2015, 36(20):207 - 210.
PU J S, CHEN H, XIANG Z H, et al. Detection of 1-deoxynojiri mycin in mulberry by ultra-high performance liquid chromatography [J]. Food Science, 2015, 36(20):207 - 210.

[20] 郑晓静, 伍金娥, 何计国,等. RP-HPLC 法测定桑叶中 1-脱氧野尻霉素的含量[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1):188 - 194.
ZHENG X J, WU J E, HE J G, et al. RP - HPLC method for determination of 1-deoxynojiri mycin in mulberry leaves [J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2013, 13(1):188 - 194.

[21] 刘丹,陈虎,蒲俊松,等. 药桑桑椹总多酚的提取工艺条件优化及抗氧化活性分析[J]. 蚕业科学, 2016(6):1068 - 1076.
LIU D, CHEN H, PU J S, et al. Optimization of extraction conditions and antioxidant activity analysis of total polyphenols from mulberry [J]. Silkworm Science, 2016(6):1068 - 1076.

[22] 江岩. 新疆药桑椹花青素的提取和测定[J]. 食品科学, 2010, 31(14):93 - 96.
JIANG Y. Extraction and determination of mulberry anthocyanin from Xinjiang [J]. Food Science, 2010, 31(14):93 - 96.

[23] 陈虎,蒲俊松,向仲怀,等. 药桑葚总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 7 - 12.
CHEN H, PU J S, XIANG Z H, et al. Extraction process and antioxidant activity analysis of flavonoids from *Fructus mori* [J]. Food Science, 2014, 35(12): 7 - 12.

[24] 罗国庆,吴亦集,王振江,等. 桑白皮总黄酮的提取工艺优化及不同方法获取桑白皮的总黄酮提取效果[J]. 蚕业科学, 2010, 36(5):738 - 742.
LUO G Q, WU Y J, WANG Z J, et al. Extraction process optimization of total flavonoids from mulberry bark and extraction effect of total flavonoids from mulberry bark obtained by different methods [J]. Silkworm Science, 2010, 36(5):738 - 742.

[25] 肖洪,沈以红,黄先智,等. 发酵桑叶茶生物活性成分变化研究[J]. 食品科学,2013,34(19):176 - 180.
XIAO H, SHEN Y H, HUANG X Z, et al. Changes of bioactive components in fermented mulberry leaf tea [J]. Food Science, 2013, 34(19):176 - 180.

[26] 赖剑峰, 杨荣玲, 陈智毅,等. 不同因子对酿酒酵母降解桑椹花青素的影响研究[J]. 酿酒科技, 2016(8):36 - 39.
LAI J F, YANG R L, CHEN Z Y. Effects of different factors on the degradation of mulberry anthocyanin by *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Science and Technology of Brewing, 2016(8):36 - 39.

Study on Preparation of Low-Sugar Mulberry Extract Powder Based on Microbial Fermentation

LONG Xiaoshan, LIAO Sentai*, HU Tenggen*, ZOU Yuxiao, LI Qian, LI Erna, PANG Daorui, SHEN Weizhi

(*Sericultural & Agri-Food Research Institute/Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou* 510610, *China*)

Abstract: In order to improve the processing characteristics (particle size, powder characteristics, color) and maintain the active substances such as deoxynojirimycin (DNJ), total polyphenols, total flavonoids and anthocyanins, the low-sugar mulberry extract powder with good nutrition and appearance quality was prepared by microbial fermentation technology. Two kinds of low-sugar mulberry extract powders (with or without soybean addition) were prepared by fermentation of mulberry protoplasm through *Leuconstoc mesenteroides* and *Saccharomyces cerevisiae* and freeze-drying. The processing characteristics and active substance contents of the low-sugar mulberry extract powder were compared with that of the mulberry powder directly crushed by dry mulberry. Compared with mulberry powder, the glucose content, fructose content, water content, water activity, hygroscopicity, bulk density, resting angle and particle size of two kinds of low-sugar mulberry extract powder were significantly decreased after fermentation and freeze-drying, and their processing properties such as color and fluidity were significantly improved. The DNJ content of mulberry powder was 0.68 mg/g, which was significantly increased to 2.07 mg/g after fermentation, 1.39 mg/g after freezing-drying, and 1.03 mg/g after freezing-drying and addition of soybean. The contents of total polyphenols and total flavonoids were not significantly affected by fermentation, freezing-drying and addition of soybean. The total polyphenols contents of mulberry powder, fermented mulberry, freeze-dried fermented mulberry, freeze-dried fermented mulberry with soybean addition were 27.70, 28.55, 25.83, and 25.85 mg/g, and the contents of total flavonoids were 1.24, 1.01, 1.16 and 1.30 mg/g, respectively. The content of anthocyanin decreased significantly after fermentation, while the content of anthocyanin did not change significantly after freezing-drying and soybean addition. After fermentation and freezing-drying, the processing characteristics of low-sugar mulberry extract powder were improved. The content of DNJ was increased, and the content of anthocyanin was decreased. However the contents of total polyphenols and total flavonoids were not significantly changed.

Keywords: fermentation; freeze-drying; mulberry; processing property; active substance

(责任编辑:张逸群)